

## بررسی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده هواشناسی در شهرستان اصفهان

محمد سالاریان

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی فردوسی مشهد، salarian\_mohammad@yahoo.com

معصومه نجفی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی فردوسی مشهد، mn6941@yahoo.com

کامران داوری

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، k.davary@gmail.com

سید سعید اسلامیان

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، saeid@cc.iut.ac.ir

محمد حیدری

دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشگاه UM مالزی، m3heydariiii@yahoo.com

### چکیده

روش‌های متداولی برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق وجود دارد. پژوهش حاضر در اصفهان انجام شد که در آن صحت شش روش تجربی محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (روش تشعشعی-فائو ۲۴، بلانی-کریدل فائو، هارگریوز-سامانی، پرستلی تیلور، مکینگ ۱۹۵۷ و تورک) در مقابل روش پرکاربرد فائو پنمن-مانتیت مقایسه گردید. به کمک نرم‌افزار Ref-ET در طی آمار ۴۷ ساله (۱۹۶۴-۲۰۱۰) برای ماه‌های سرد و گرم سال که بر اساس متوسط دما به کمک نرم‌افزار SAS تقسیم‌بندی شده‌اند محاسبات انجام شد. نتایج نشان داده در اکثر موارد این معادلات برای ماه‌های سرد سال کاربرد داشته که در آن به ترتیب استفاده از معادلات بلانی کریدل، مکینگ، تشعشعی، هارگریوز، تورک، تیلور به دلیل دارا بودن ضریب تعیین تعدیل یافته  $\bar{R}^2$  بزرگ‌تر (نزدیک به یک)، خطای RMSE کمتر (نزدیک به صفر) و در نتیجه نسبت  $\bar{R}^2$ /RMSE بیشتر (بزرگ‌تر از یک)، جایگزین مناسب برای معادله فائو پنمن-مانتیت می‌باشند. برای ماه‌های گرم سال با توجه به  $\bar{R}^2$  کم و خطای RMSE زیاد پیشنهاد می‌شود تنها از بلانی-کریدل استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، SAS، Ref-ET، پنمن، نیاز آبی

## مقدمه

برنامه‌ریزی آبیاری به منظور به روز کردن بیلان آب خاک و پیش بینی مصرف آینده آب بر پایه‌ی محاسبه یا اندازه‌گیری مقدار تبخیر و تعرق (ET<sub>0</sub>) بنا شده است تا توسط آن بتوان زمان رسیدن به حد مجاز تخلیه را پیش‌بینی کرد. در کشاورزی آب مورد مصرف زراعت (CU, Consumptive Use) به مجموع تبخیر از سطح خاک و مقدار آبی گفته می‌شود که توسط ریشه گیاه از خاک جذب می‌شود. اختلاف ET و CU تنها در مقدار آبی است که صرف فتوسنتز و انتقال مواد در داخل گیاه می‌شود و یا در ساختمان اسکلت گیاه بکار می‌رود. چون این مقدار در قیاس با تعرق بسیار ناچیز است، عملاً تبخیر-تعرق را با آب مورد مصرف در زراعت برابر در نظر می‌گیرند. تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین راه‌های مصرف یا هدر رفت آب در یک حوزه آبخیز است که پایش و بررسی تغییرات آن در دوره‌های زمانی معین می‌تواند ضمن نشان دادن میزان آب مصرفی در هر کاربری اراضی، در مدیریت آب در مقیاس حوزه و تعیین میزان آب مورد نیاز جهت تخصیص به هر کاربری اراضی، مورد استفاده واقع شود (پورمحمدی، ۱۳۸۹). پدیده تبخیر و تعرق باعث تلفات آب و رطوبت از سطوح آبی، خاک و پوشش گیاهی شده و محاسبه آن از طریق روشی مناسب با توجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب در ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در دو گروه تجربی و ترکیبی قرار می‌گیرند. در روش‌های تجربی اساس کار بر روی فشارسنج هوا دما قرار دارد و با استفاده از دمای محیط، تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه می‌گردد. در روش‌های ترکیبی برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل از دو فرایند توازن انرژی و انرژی پتانسیل استفاده می‌شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر-تعرق ارائه شده است (کوچک‌زاده، ۲۰۰۴). که هر یک تابع متغیرهای اقلیمی خاصی می‌باشند. مطالعاتی که تاکنون انجام شده است نشان می‌دهد که در شرایط اقلیمی گوناگون، پاسخ مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق به فشارسنج هواشناسی یکسان نیست (تفضلی، ۱۳۸۵). حال کدام یک از روش‌های موجود برای منطقه مورد مطالعه طرح مناسب است جای سؤال دارد. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی محلی به دست آمده‌اند و اعتبار جهانی محدودی دارند (آلن، ۱۹۹۱). کمیته نیاز آبیاری انجمن مهندسان عمران آمریکا، آب مورد نیاز آبیاری را با ۲۰ روش به طور ماهانه در مناطق مختلف برآورد و با نتایج لایسیمتر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که روش پنمن-مانتیت بهترین برآورد را دارد (جنسن، ۱۹۹۰). جاکوبز و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای روی یک چمنزار مرطوب در فلوریدا آمریکا نتیجه گرفتند که مدل پنمن مانیتیت واسنجی شده نتایج خوبی برای تبخیر-تعرق پتانسیل ارائه داده است ولی روش‌های پرستلی-تایلور و پنمن، تبخیر-تعرق را بیشتر تخمین زده‌اند و همچنین روش‌های تورک و مکینک تقریباً به خوبی روش پنمن مانیتیت عمل کرده‌اند. کاستاندا و راثو (۲۰۰۵) طی تحقیقی چهار روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (تورنت وایت، بلانی-کریدل، تورک و ماکینک) را در جنوب کالیفرنیا استفاده و با روش فائو پنمن-مانتیت مقایسه کردند. بر اساس بررسی‌های آماری صورت گرفته روش‌هایی که برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل بهتر ترجیح داده شدند، به وسیله واسنجی مجدد آن‌ها برای استفاده در جنوب کالیفرنیا توصیه شده‌اند. در ایران مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر-تعرق یونجه با مقادیر محاسبه شده در باجگاه فارس نشان داد که نتایج حاصل از روش پنمن اصلاح شده فائو از روش‌های دیگر به مقادیر لایسیمتر نزدیک‌تر است (سپاسخواه، ۱۳۷۵). روش‌های پنمن که در حقیقت از روش پنمن مشتق شده‌اند به پارامترهای هواشناسی زیادی احتیاج دارند. این روش‌ها به دلیل استفاده از تعداد زیادی پارامتر اقلیمی در محاسبه قابل قبول است، ولی به دلیل اینکه همه اطلاعات مورد نیاز محاسبه نمی‌گردند، نمی‌توانند تخمین مناسبی ارائه دهند. رحیم زادگان (۱۳۷۰) مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع را با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در اصفهان طی دو سال اندازه‌گیری کرده و سپس با نتایج ۱۲ روش محاسباتی مقایسه کرد و به ترتیب روش‌های جنس هیز، کریستین سن-هارگریوز و بلانی-کریدل اصلاح شده را به عنوان مناسب‌ترین روش‌ها برای این منطقه

معرفی کرد. آمیتیا و همکاران (۱۹۹۵) در یک تحقیق مشخص کردند که روش‌های تخمین تبخیر و تعرق پمن مانیتیت نسبت به دیگر روش‌های معمول از یک پایه تئوریک قوی برخوردار می‌باشد، بنابراین نتایج قابل اعتمادی از کاربرد این روش بدست می‌آید. مطالعات بعدی برتری روش فائو پمن مانیتیت را بر دیگر روش‌ها در مقایسه این روش با اندازه‌گیری لایسیمترها تأیید کرد (برنگنا، ۲۰۰۵؛ لوپز، ۲۰۰۶). سالیه و سندیل (۱۹۸۳) روش جنسن هیز را برای کالیبره کردن روابط تجربی در مناطقی با اقلیم خشک مثل عربستان سعودی مناسب دانستند. در مطالعه‌ای دیگر، روش جنسن هیز و هارگریوز برای اقلیم‌های خشک و نیمه خشک پیشنهاد گردید (ایرمارک، ۲۰۰۳). البته روش مناسب تعیین  $ET_0$  در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، داده‌های مورد نیاز و هزینه‌های مربوط به آن دارد (سبزی‌پرور، ۱۹۸۳). تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع از روش‌های هارگریوز سامانی، ماکینگ، تورک و پاپاداکیس برای اقلیم‌های مختلف ایران بر اساس اقلیم نمای کوپن محاسبه گردید و با روش استاندارد پمن مانیتیت فائو مقایسه شد، نتایج آنان نشان داد که روش هارگریوز سامانی در اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه خشک و مدیترانه‌ای؛ روش تورک در اقلیم‌های فراخشک، مرطوب و خیلی مرطوب؛ و روش ماکینگ در اقلیم خیلی مرطوب مناسب است. در مقیاس ماهانه نیز روش هارگریوز سامانی در اقلیم‌های خشک بیابانی و نیمه خشک؛ روش ماکینگ در اقلیم‌های مدیترانه‌ای مرطوب، خیلی مرطوب؛ و روش تورک در اقلیم فرا خشک مناسب تشخیص داده شد (کوچک‌زاده، ۲۰۰۴). برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از روش پمن مانیتیس نیاز به داده‌هایی همانند: تابش، دما، رطوبت و سرعت باد و از آنجا که در برخی ایستگاه‌های هواشناسی، دما تنها داده ثبت شده می‌باشد، بنابراین بررسی درجه دقت روش‌های تجربی که فقط به عامل دما نیازمند می‌باشد، ضرورت می‌یابد. البته روش پمن برای مناطق مرطوب آب و هوایی انگلستان معرفی شده است و برای شرایط خشک و نیمه خشک مانند اصفهان مناسب نمی‌باشد. هدف از پژوهش حاضر مقایسه روش تشعشعی، بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، پرستلی تیلور، مکینک و تورک به منظور برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل دشت اصفهان و ارزیابی دقت روش‌های مورد استفاده بر اساس روش پمن-مانیتیت و در نتیجه تعیین مناسب‌ترین روش جهت برآورد تبخیر-تعرق منطقه مذکور در ماه‌های سرد و گرم سال در صورت نبود پارامترهای هواشناسی کافی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه آمار و داده‌های مورد نیاز جهت پیشبرد اهداف پژوهش از سازمان مربوطه ایستگاه سینوپتیک اصفهان جمع آوری شد و در نهایت یک دوره آماری ۴۷ ساله به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب گردید. موقعیت شهرستان اصفهان در طول جغرافیایی  $39^{\circ}$  شرقی و عرض جغرافیایی  $36^{\circ}$  شمالی و ارتفاع ۱۵۹۰ متر از سطح آب‌های آزاد واقع شده است که نمای شماتیک آن در شکل ۱ آورده شده است. در ابتدا برای طبقه بندی ماه‌های سال به دو گروه سرد و گرم از نرم افزار آماری SAS و آزمون LSD در سطح  $0/05$  استفاده گردید. گروه‌بندی بر مبنای متوسط دمای ماهانه از سال ۱۹۶۴-۲۰۱۰ صورت گرفته است. مقدار تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵ درصد ماه‌های سال را تحت سه عنوان A، B، AB تقسیم‌بندی کرد که A معرف ماه‌های گرم، B مربوط مربوط معرف ماه‌های سرد سال و AB حد وسط ماه گرم و سرد می‌باشد که با توجه به نزدیکی خصوصیات گروه AB به گروه A، این گروه را نیز تحت عنوان گروه A قرارداده شد و همچنین ماه‌های سال مطابق جدول ۱ به ترتیب فروردین (شماره ۱) تا اسفند (شماره ۱۲) نام‌گذاری شده است نتایج نشان داد که از ماه اردیبهشت تا مهر جز ماه‌های گرم و از ماه آبان تا فروردین جز ماه‌های سرد سال می‌باشند. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار  $ET - Ref$  و با استفاده از آمار و اطلاعاتی از قبیل: تابش کل خورشیدی، تابش خالص، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر، ساعات آفتابی، سرعت باد و رطوبت نسبی مقدار  $ET_0$  برای هفت روش تشعشعی، بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، پرستلی تیلور، مکینک، تورک و فائو پمن-مانیتیت محاسبه شده است.



شکل(۱): نمای شماتیک از موقعیت اصفهان

جدول(۱): تقسیم‌بندی ماه‌های سال به گروه‌های سرد و گرم به کمک نرم‌افزار SAS

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
میانگین	۱۶/۲	۲۱/۲	۲۷/۰	۲۹/۰	۲۷/۸	۲۳/۶	۱۷/۴	۱۱/۰	۵/۲	۳/۳	۵/۹	۱۰/۶
گروه	B	AB	A	A	A	AB	AB	B	B	B	B	B

## نتایج و بحث

با تقسیم بندی صورت گرفته در قسمت قبل و مشخص شدن ماه‌های سرد و گرم سال، در ادامه با استفاده از اطلاعات ۴۷ ساله ایستگاه شهرستان اصفهان و با استفاده از نرم‌افزار Ref – ET به محاسبه ۷ روش برآورد تبخیر تعرق مرجع پرداخته شده است (جدول ۲). با توجه به این جدول ماه‌های گرم که از اردیبهشت شروع و مهر خاتمه می‌یابد معادله هارگریوز سامانی و مکینگ به لحاظ میانگین به معادله مرجع یعنی پنمن-مانتیت نزدیک‌تری دارند و در ماه‌های سرد سال که از آبان شروع و در فروردین خاتمه می‌یابد معادلات بلانی کریدل و مکینگ به معادله مرجع یعنی پنمن-مانتیت نزدیک‌تری دارند. اما چون شاخص میانگین نمی‌تواند تنها معیار برای انتخاب بهترین رابطه برای ماه‌های مختلف باشد، از این رو در ادامه با استفاده از شاخص‌های آماری همانند، شاخص توافق، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار انحراف (MBE)، معیار دقت (MAE)، ضریب تعیین  $R^2$  و ضریب تعیین تصحیح یافته  $adjR^2 (\bar{R}^2)$  و به کمک نرم افزارهای آماری SAS و نرم افزار اکسل محاسبات برای ماه‌های مختلف سال صورت گرفته است.

جدول(۲): میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در ۴۷ سال

ماه	تورک ۱۹۶۱	مکینگ ۱۹۵۷	تیلور ۱۹۷۲	هارگریوز سامانی	بلانی- کریدل	تشعشعی فانو	فانو PM
فروردین	۴/۱۱	۳/۴۵	۱/۰۳	۴/۱۲	۴/۶۶	۵/۸۴	۴/۵۵
اردیبهشت	۵/۶۳	۴/۴۵	۱/۵۷	۵/۴۵	۶/۵۷	۷/۷۰	۵/۷۶
خرداد	۷/۱۳	۵/۲۴	۲/۵۱	۶/۷۴	۸/۷۰	۹/۳۴	۶/۶۷
تیر	۸/۰۸	۵/۳۲	۳/۶۲	۷/۰۲	۹/۱۴	۹/۴۸	۶/۹۰
مرداد	۷/۵۶	۴/۹۸	۴/۸۰	۶/۴۴	۸/۲۰	۸/۷۶	۶/۳۱
شهریور	۶/۱۲	۴/۰۴	۵/۵۰	۵/۱۱	۶/۲۳	۶/۹۰	۴/۸۶
مهر	۴/۲۲	۲/۹۱	۵/۷۴	۳/۳۹	۴/۰۰	۴/۶۹	۳/۳۲

آبان	۱/۹۲	۲/۶۳	۱/۹۹	۲/۰۰	۵/۳۶	۱/۷۹	۲/۲۰
آذر	۱/۲۷	۱/۷۴	۰/۹۲	۱/۳۰	۴/۱۸	۱/۲۸	۱/۰۳
دی	۱/۲۱	۱/۷۸	۰/۷۶	۱/۲۸	۲/۸۵	۱/۳۱	۱/۲۱
بهمن	۲/۰۴	۲/۷۲	۱/۶۴	۱/۸۹	۱/۶۸	۱/۸۰	۱/۴۳
اسفند	۳/۲۵	۴/۲۸	۳/۰۶	۲/۸۴	۱/۱۲	۲/۶۳	۲/۷۰

در اینجا بهتر است یاد آوری شود که ضریب همبستگی  $R^2$  همواره بین صفر و یک قرار دارد. در عین حال یک مقدار بزرگ  $R^2$  الزاماً بدین مفهوم نیست که الگوی رگرسیونی یک الگوی خوبی است. اضافه کردن یک متغیر مستقل به الگو همیشه  $R^2$  را افزایش می‌دهد بدون اینکه متغیر اضافه شده به الگو به متغیر وابسته (پاسخ) ارتباط داشته باشد یا خیر. بنابراین ممکن است الگویی وجود داشته باشد که مقدار  $R^2$  بزرگ داشته باشد ولی برازش خوبی را نشان ندهد. پژوهشگران برای اینکه با چنین مشکلی مواجه نشوند سعی در استفاده از  $R^2$  تعدیل یافته یا همان مقدار  $\bar{R}^2$  می‌کنند که به صورت زیر به دست می‌آید (نیکوکار، ۱۳۸۴):

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\sum e_i^2}{\sum y_i^2} = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2) \quad (9)$$

که در آن:  $n$  حجم نمونه و  $k$  تعداد متغیرها می‌باشد که مقادیر آن در معادله فائو پنمن مانیتیس برابر ۷، معادله تشعشی-فائو ۲۴ برابر ۷، معادله بلانی-کریدل فائو برابر ۴، معادله هارگریوز-سامانی برابر ۲، معادله پرستلی تیلور برابر ۵، معادله مکینگ ۱۹۵۷ برابر ۳ و معادله تورک برابر ۴ می‌باشد. اگر مقدار دو آماره  $R^2$  و  $\bar{R}^2$  خیلی باهم تفاوت داشته باشند در اینجا کاملاً مشخص می‌شود که متغیرهای مستقل بی‌ارتباط با متغیر وابسته در الگو لحاظ شده‌اند. بنابراین آماره  $\bar{R}^2$  تعدیل شده می‌تواند در ارزیابی و انتخاب بین الگوهای رگرسیون مفید واقع شود. در جداول ۳ الی ۸ برای انتخاب بهترین معادله در ماه‌های مختلف از نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  استفاده شده است که در آن  $\bar{R}^2$  هرچه به یک نزدیک‌تر و  $RMSE$  هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر می‌باشند، لذا نسبت این دو شاخص هرچه از یک بزرگ‌تر باشد نشان از تطابق بهتر آن معادله با قبول سایر شرایط به معادله پنمن مانیتیس (Penman - Monteith ~ PM) می‌باشد.

مطابق جدول ۳ نتایج به دست آمده از معادله مکینگ در برابر معادله PM است که نشان می‌دهد این معادله برای ماه آذر، دی، بهمن (هرسه جزء ماه سرد هستند) با نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  به ترتیب ۱/۲۲، ۴/۰۶ و ۱/۲۵ مناسب می‌باشد. جدول ۴ نتایج به دست آمده از معادله تورک در برابر معادله PM است که نشان می‌دهد این معادله برای ماه اردیبهشت که جزء ماه‌های گرم می‌باشد با نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  برابر ۰/۷۶ می‌تواند روشی مناسب باشد. جدول ۵ نتایج به دست آمده از معادله تیلور در برابر معادله PM است که نشان می‌دهد این معادله برای ماه دی که جزء ماه‌های سرد سال دارد با نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  برابر ۰/۹۸ مناسب بوده است. جدول ۶ نتایج به دست آمده از معادله تشعشی در برابر معادله PM بوده است که نشان می‌دهد که این معادله برای ماه دی و بهمن که جزء ماه‌های سرد سال هستند با نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  به ترتیب ۱/۲۳ و ۱/۰۰ مناسب ترجیح داده شده است. جدول ۷ نتایج به دست آمده از معادله بلانی-کریدل در برابر معادله PM می‌باشد که این معادله را برای ماه‌های فروردین، دی، بهمن و اسفند که جزء ماه‌های سرد سال هستند با نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  به ترتیب ۱/۱۴، ۱/۲۱، ۱/۵۸ و ۱/۶۳ مناسب نشان می‌دهد. در جدول ۸ نتایج به دست آمده از معادله هارگریوز سامانی در برابر معادله PM را نشان می‌دهد که این معادله برای ماه‌های دی و بهمن که این دو ماه نیز جزء ماه‌های سرد سال هستند با نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  برابر ۲/۶۳ و ۰/۹۶ مناسب است. از شاخص‌های آماری محاسبه شده در جداول ۳ الی ۸ می‌توان برداشتی چنین داشت که روش‌های مطرح شده برای مقایسه در این پژوهش

بیشتر مناسب ماه‌های سرد سال بوده و کمتر در ماه‌های گرم سال مناسب تشخیص داده می‌شود. به عنوان مثال اگرچه معادله تورک برای ماه اردیبهشت که جزء ماه‌های گرم سال است نسبت به روش‌های دیگر مناسب تشخیص داده شده است اما با توجه به مشاهدات دیده می‌شود که مقدار ضریب تعیین تعدیل یافته آن ۰/۴۲ و مقدار RMSE آن ۰/۵۶ به دست آمده که استفاده از آن خطای بالایی را به همراه خواهد داشت. در جدول ۹ نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  برای همه‌ی روش‌های موجود را برای هر ماه آورده شده است و در جدول ۱۰ به ترتیب روش‌هایی که می‌توانند جایگزین روش پنمن مان‌تیس در ماه‌های مختلف شوند با توجه خطا، ضریب تعیین تعدیل یافته و نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  آورده شده است.

جدول (۴): شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله تورک

تورک	D	RMSE	MAE	MAXE	R <sup>t</sup>	$\bar{R}^2$	$\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$
اردیبهشت	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۴۶	۱/۱۶	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۷۶
اسفند	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۵۶	۱/۷۲	۰/۴۵	۰/۴	۰/۵۹
بهمن	۰/۵۵	۰/۶۹	۰/۶۲	۱/۳۲	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۵۳
دی	۰/۴۸	۰/۷۵	۰/۵۵	۳/۱۰	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۴۶
آذر	۰/۵۲	۰/۴۰	۰/۳۳	۱/۰۱	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۴۶
فروردین	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۵۴	۲/۰۹	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۴
آبان	۰/۵۷	۰/۴۲	۰/۳۲	۱/۳۳	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۳۳
خرداد	۰/۵۳	۰/۹۱	۰/۸۰	۲/۰۱	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵
شهریور	۰/۳۹	۱/۴۰	۱/۲۶	۲/۷۴	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۲
مهر	۰/۳۵	۱/۰۶	۰/۹۴	۲/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱
تیر	۰/۴۳	۱/۴۶	۱/۲۴	۲/۷۵	۰/۰۵	۰/۰	۰/۰
مرداد	۰/۳۴	۰/۵۱	۱/۲۹	۲/۷۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰

جدول (۳): شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله مکینگ

مکینگ	D	RMSE	MAE	MAXE	R <sup>t</sup>	$\bar{R}^2$	$\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$
دی	۰/۸۶	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۶۵	۴/۰۶
بهمن	۰/۶۸	۰/۳۵	۰/۲۷	۱/۰۷	۰/۴۶	۰/۴۴	۱/۲۵
آذر	۰/۷۰	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۴۶	۰/۲۵	۰/۲۲	۱/۲۲
اسفند	۰/۵۹	۰/۷۲	۰/۶۳	۱/۴۹	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۷۰
آبان	۰/۵۷	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۶۸	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۴۷
فروردین	۰/۴۷	۱/۱۸	۱/۰۹	۲/۵۴	۰/۳۹	۰/۳۶	۰/۳۱
اردیبهشت	۰/۴۵	۱/۴۰	۱/۳۱	۲/۶۶	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۲۴
شهریور	۰/۴۶	۰/۹۴	۰/۸۳	۱/۹۷	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۵
خرداد	۰/۳۶	۱/۵۱	۱/۴۳	۲/۴۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۲
مهر	۰/۴۹	۰/۵۷	۰/۴۴	۲/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
تیر	۰/۳۷	۱/۷۱	۱/۵۸	۳/۲۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
مرداد	۰/۳۶	۱/۴۷	۱/۳۳	۲/۵۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰

جدول (۶): شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله تشعشی

تشعشی	D	RMSE	MAE	MAXE	R <sup>t</sup>	$\bar{R}^2$	$\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$
دی	۰/۵۰	۰/۶۱	۰/۵۷	۱/۱۲	۰/۷۸	۰/۷۵	۱/۲۳
بهمن	۰/۵۸	۰/۷۲	۰/۶۸	۱/۵۶	۰/۷۶	۰/۷۲	۱/۰۰
اسفند	۰/۵۶	۱/۰۶	۱/۰۲	۲/۲۵	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۷۲
آذر	۰/۴۵	۰/۵۳	۰/۴۷	۱/۲۸	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۶۰
فروردین	۰/۵۱	۱/۳۵	۱/۳۰	۲/۴۱	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۵۱
آبان	۰/۴۱	۰/۷۶	۰/۷۱	۱/۴۲	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۳۷
اردیبهشت	۰/۴۲	۱/۹۸	۱/۹۳	۲/۹۴	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۳۳
خرداد	۰/۲۵	۲/۷۲	۲/۶۸	۳/۴۸	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۰۸
شهریور	۰/۲۹	۲/۱۰	۲/۰۴	۳/۰۱	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۰۷
مهر	۰/۳۰	۱/۴۶	۱/۳۷	۲/۲۵	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۰۵
تیر	۰/۳۱	۲/۶۵	۲/۵۸	۳/۷۴	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۵
مرداد	۰/۲۷	۲/۵۲	۲/۴۵	۳/۵۵	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱

جدول (۵): شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله تیلور

تیلور	D	RMSE	MAE	MAXE	R <sup>t</sup>	$\bar{R}^2$	$\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$
دی	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۶۷	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۹۸
اسفند	۰/۴۸	۰/۸۷	۰/۷۵	۱/۷۱	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۵
فروردین	۰/۴۶	۱/۰۷	۰/۹۴	۲/۳۸	۰/۱۹	۱/۱۱	۰/۱۱
اردیبهشت	۰/۴۶	۱/۱۵	۰/۹۷	۲/۶۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۸
بهمن	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۴۸	۱/۴۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴
آبان	۰/۴۰	۰/۳۷	۰/۲۷	۰/۹۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳
مرداد	۰/۴۰	۱/۱۴	۰/۹۸	۲/۳۸	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
تیر	۰/۴۱	۱/۳۵	۱/۱۶	۳/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
خرداد	۰/۳۸	۱/۲۹	۱/۱۷	۲/۳۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
شهریور	۰/۴۵	۰/۸۶	۰/۷۰	۲/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
مهر	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۵۱	۱/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
آذر	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۷۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول (۷): شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله بلانی-کریدل      جدول (۸): شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله هارگریوز

هارگریوز	D	RMSE	MAE	MAXE	$R^2$	$\bar{R}$	$R^2/R$
دی	۰/۸۱	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۴۷	۲/۶۳
بهمن	۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۲۵	۱/۱۳	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۹۶
اردیبهشت	۰/۶۷	۰/۵۹	۰/۴۶	۱/۷۴	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۵۴
آذر	۰/۵۹	۰/۲۶	۰/۱۹	۱/۰۱	۰/۱۴	۰/۴۷	۰/۴۷
اسفند	۰/۵۹	۰/۵۹	۰/۴۴	۱/۴۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۴۲
آبان	۰/۵۷	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۶۷	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۳۷
مهر	۰/۵۴	۰/۴۱	۰/۳۳	۱/۳۷	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱۶
فروردین	۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۵۱	۲/۳۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۷
خرداد	۰/۴۶	۰/۵۸	۰/۵۰	۱/۵۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲
شهریور	۰/۴۵	۰/۵۷	۰/۴۷	۱/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰
مرداد	۰/۳۱	۰/۷۶	۰/۶۳	۱/۶۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰
تیر	۰/۲۷	۰/۸۱	۰/۶۷	۲/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

بلانی-کریدل	D	RMSE	MAE	MAXE	$R^2$	$\bar{R}$	$R^2/R$
اسفند	۰/۸۶	۰/۴۴	۰/۳۳	۱/۰۴	۰/۷۴	۰/۷۲	۱/۶۳
بهمن	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۴۱	۱/۰۷	۰/۸۱	۰/۷۹	۱/۵۸
دی	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۴۶	۱/۰۳	۰/۶۷	۰/۶۴	۱/۲۱
فروردین	۰/۸۵	۰/۵۲	۰/۴۳	۱/۱۶	۰/۶۲	۰/۵۹	۱/۱۴
آبان	۰/۶۸	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۹۷	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۸۵
آذر	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۱	۱/۱۵	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۷۷
اردیبهشت	۰/۶۹	۱/۰۱	۰/۹۲	۱/۷۲	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۶۱
مهر	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۷۹	۲/۱۰	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۳
شهریور	۰/۴۱	۱/۵۲	۱/۳۷	۲/۴۳	۰/۳۳	۱/۲۷	۰/۱۸
خرداد	۰/۳۲	۲/۱۶	۲/۰۳	۲/۹۲	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۱۱
تیر	۰/۳۶	۲/۳۶	۲/۲۴	۳/۷۴	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۱۰
مرداد	۰/۳۶	۲/۰۱	۱/۸۹	۳/۳۸	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۱۰

جدول (۹): نسبت  $R^2/RMSE$  در ماه‌های مختلف سال

	مکینگ	تیلور	بلانی	هارگریوز	تورک	تشمعی
فروردین	۰/۳۱	۰/۱۱	۱/۱۴	۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۵۱
اردیبهشت	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۷۶	۰/۳۳
خرداد	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
تیر	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵
مرداد	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱
شهریور	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۷
مهر	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۰۵
آبان	۰/۴۷	۰/۰۳	۰/۸۵	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۷
آذر	۱/۲۲	۰/۰۰	۰/۷۷	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۶۰
دی	۴/۰۶	۰/۹۸	۱/۲۱	۲/۶۳	۰/۴۶	۱/۲۳
بهمن	۱/۲۵	۰/۰۴	۱/۵۸	۰/۹۶	۰/۵۳	۱/۰۰
اسفند	۰/۷۰	۰/۱۵	۱/۶۳	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۷۲

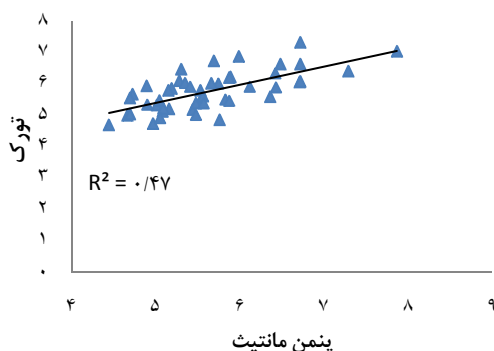
جدول (۱۰): ترتیب روش‌های مناسب جایگزین روش پنمن

	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
فروردین	بلانی	تشمعی	تورک	مکینگ	تیلور	هارگریوز
اردیبهشت	تورک	بلانی	هارگریوز	تشمعی	مکینگ	تیلور
خرداد	بلانی	تشمعی	تورک	هارگریوز	مکینگ	تیلور
تیر	بلانی	تشمعی	مکینگ	تورک	هارگریوز	تیلور
مرداد	بلانی	تشمعی	تیلور	تورک	هارگریوز	مکینگ
شهریور	بلانی	تشمعی	مکینگ	تورک	هارگریوز	تیلور
مهر	بلانی	هارگریوز	تشمعی	مکینگ	تورک	تیلور
آبان	بلانی	تشمعی	مکینگ	هارگریوز	تشمعی	تیلور
آذر	مکینگ	بلانی	تشمعی	هارگریوز	تورک	تیلور
دی	مکینگ	هارگریوز	تشمعی	بلانی	تیلور	تورک
بهمن	بلانی	مکینگ	تشمعی	هارگریوز	تورک	تیلور
اسفند	بلانی	تشمعی	مکینگ	تورک	هارگریوز	تیلور

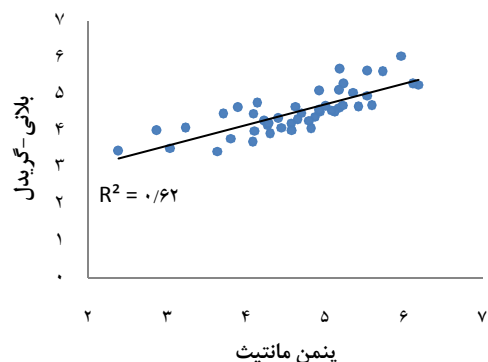
نتایج حاصل از جدول شماره ۱۰ که بیان کننده بهترین جایگزین برای معادله پنمن مانیتیس می باشد را به صورت نمودارهای شکل های ۲ الی ۱۳ می توان نشان داد. نقاط دایره ای شکل در این نمودارها مربوط به ماه های گرم سال و نقاط مثلث شکل مربوط به ماه های سرد سال می باشند. با توجه به نمودارهای ۳ الی ۸ که مربوط به ماه های گرم می باشند مقدار ضریب تعیین به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۳۰، ۰/۳۰، ۰/۲۶، ۰/۳۳ و ۰/۲۷ می باشد که مقادیر ناچیز می باشند و این نیز نشان از غیرقابل اعتماد بودن محاسبات در این معادلات در این ماه ها به جای معادله PM می باشد. از سوی دیگر به توجه به نمودارهای ۲ و ۷ الی ۱۳ که مربوط به ماه های سرد سال می باشد مقدار ضریب تعیین بالایی را شاهد بوده بطوری که در ماه های دی، بهمن، اسفند و فروردین به ترتیب دارای ضریب همبستگی برابر ۰/۶۶، ۰/۸۰، ۰/۷۴ و ۰/۶۶ هستند که این نشان از دقت بالای معادله مکینگ و به خصوص معادله بلانی کریدل در محاسبات تبخیر و تعرق که جایگزین معادله PM در دشت اصفهان می شوند دارد. در جدول ۱۱ معادلات رگرسیون خطی بدست آمده از این نمودارها آورده شده است.

جدول (۱۱): معادلات رگرسیونی بدست آمده از محاسبات ماهها

ماه	نام معادله	رگرسیون خطی
فروردین	بلانی	$y = 0.56x + 1.93$
اردیبهشت	تورک	$y = 0.58x + 2.49$
خرداد	بلانی	$y = 0.31x + 0.4$
تیر	بلانی	$y = 0.39x + 3.24$
مرداد	بلانی	$y = 0.36x + 3.33$
شهریور	بلانی	$y = 0.33x + 2.79$
مهر	بلانی	$y = 0.26x + 2.26$
آبان	بلانی	$y = 0.39x + 1.31$
آذر	مکینگ	$y = 0.55x + 0.56$
دی	مکینگ	$y = 0.87x + 0.06$
بهمن	بلانی	$y = 0.55x + 1.13$
اسفند	بلانی	$y = 0.58x + 1.47$

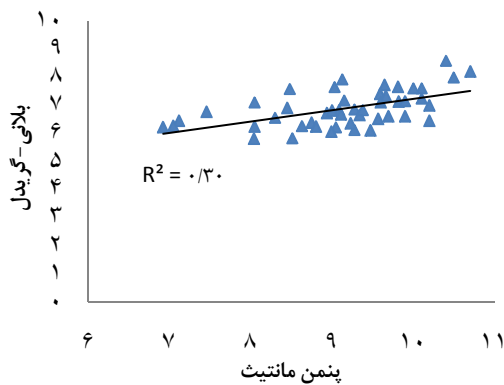


شکل (۳): نمودار مربوط به اردیبهشت (تورک-PM)

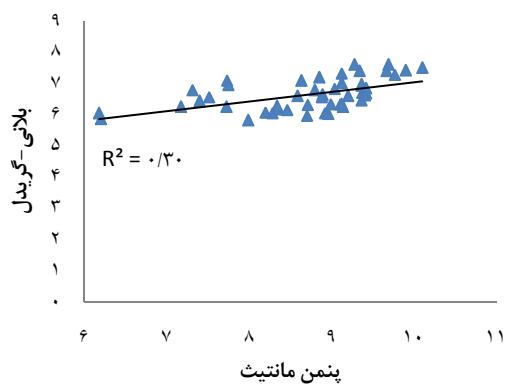


شکل (۲): نمودار مربوط به فروردین (بلانی کریدل-PM)

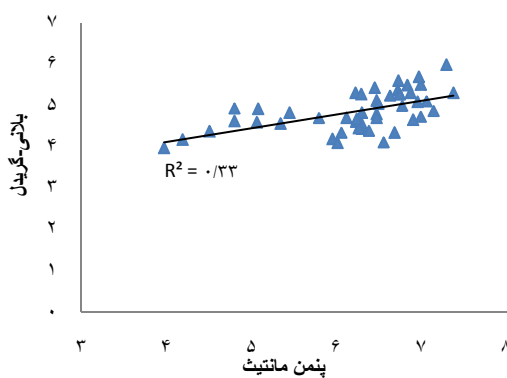




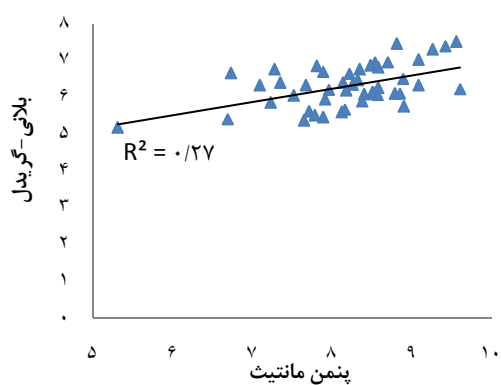
شکل (۵): نمودار مربوط به تیر (بلانی کریدل-PM)



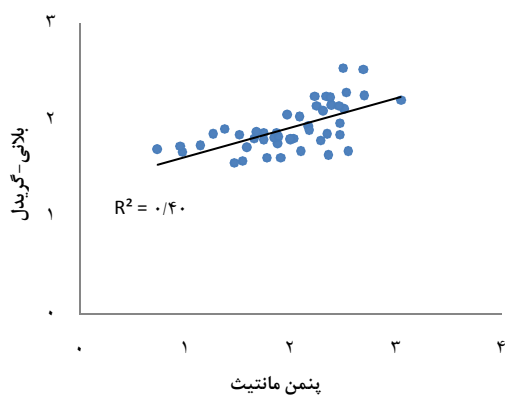
شکل (۴): نمودار مربوط به خرداد (بلانی کریدل-PM)



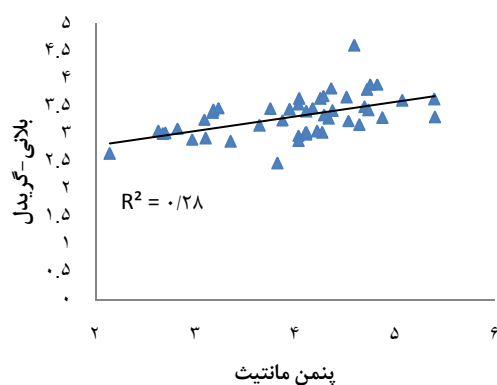
شکل (۷): نمودار مربوط به شهریور (بلانی کریدل-PM)



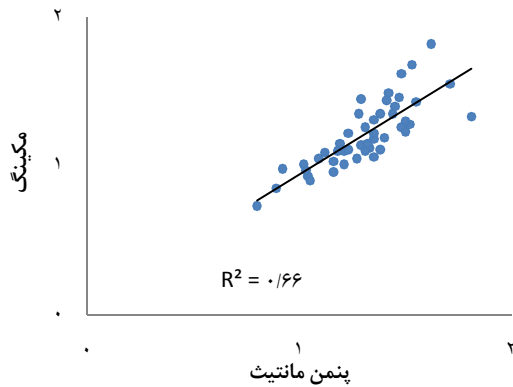
شکل (۶): نمودار مربوط به مرداد (بلانی کریدل-PM)



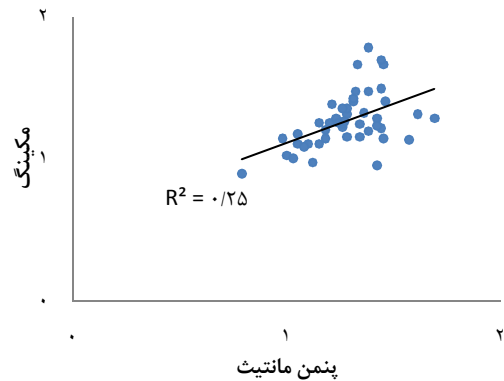
شکل (۹): نمودار مربوط به آبان (بلانی کریدل-PM)



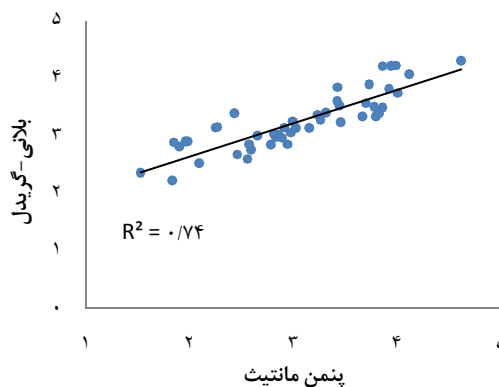
شکل (۸): نمودار مربوط به مهر (بلانی کریدل-PM)



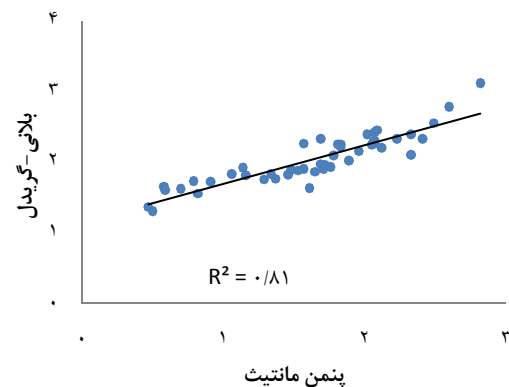
شکل (۱۱): نمودار مربوط به دی (مکینگ-PM)



شکل (۱۰): نمودار مربوط به آذر (مکینگ-PM)



شکل (۱۳): نمودار مربوط به اسفند (بلانی-گریدل-PM)



شکل (۱۲): نمودار مربوط به بهمن (بلانی-گریدل-PM)

### نتیجه‌گیری

با توجه به اطلاعات ۴۷ ساله به دست آمده از ایستگاه دشت اصفهان و محاسبات صورت گرفته برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در این دشت به شش روش تشعشعی-فائو-۲۴، بلانی-گریدل فائو، هارگریوز-سامانی، پریستلی تیلور، مکینگ ۱۹۵۷ و تورک که نیاز به داده‌های کمتری نسبت به روش فائو پنمن مانتیث داشته‌اند، و با تقسیم بندی ماه‌های ۱۲ گانه سال به کمک نرم‌افزار SAS به دو گروه گرم و سرد، نتایج محاسبات نشان داده است که اگرچه برای هر ماه معادله‌ای مناسب تشخیص داده شده است ولی در مواردی مشاهده شده که معادله‌ای برای ماه به‌خصوصی انتخاب گردیده ولی دارای ضریب تعیین تعدیل یافته  $\bar{R}^2$  کم و یا دارای RMSE بالایی می‌باشد که این موارد بیشتر در ماه‌های گرم سال که از اردیبهشت شروع و در مهر خاتمه می‌یابد دیده شده است. ولی در ماه‌های سرد سال، ضریب تعیین تعدیل یافته بزرگ‌تر (نزدیک به یک) و خطای کمتر (نزدیک به صفر) را شاهد بوده‌ایم. در بین شش معادله مورد بررسی مشاهده شده که در ماه‌های گرم سال، در ماه اردیبهشت، معادله تورک را می‌توان جایگزین مناسبی برای معادله پنمن مانتیث انتخاب کرد ولی دقت بالایی نخواهد داشت. در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، و شهریور جایگزینی این معادلات، به جای معادله فائو پنمن مانتیث توجیه خاصی نداشته است و بهتر است استفاده نشود. در ماه مهر معادله بلانی گریدل می‌تواند جایگزین خوبی به نسبت سایر معادلات برای روش PM انتخاب شود که

این معادله نیز با توجه به شاخص‌های آماری محاسبه شده دقت بالایی را نشان نمی‌دهد. لذا می‌توان گفت استفاده از شش معادله مطرح شده برای ماه‌های گرم سال در دشت اصفهان توجیه نمی‌شود. در مجموع برای ماه‌های گرم در صورت استفاده از این معادلات تنها معادله بلانی-کریدل پیشنهاد می‌شود. در ماه‌های سرد همانند آبان، بهمن، اسفند و فروردین با توجه به خطای کم و نسبت تعیین تعدیل یافته بالای معادله بلانی-کریدل، پیشنهاد می‌شود این معادله جایگزین معادله PM شود و در ماه‌های آذر و دی نیز با توجه به خطای کمتر و نسبت تعیین تعدیل یافته بالاتر و در نتیجه نسبت  $\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$  بالاتر استفاده از معادله مکینگ جایگزین خوبی برای معادله فائو پنمن ماننسیس خواهد بود. در مجموع برای ماه‌های سرد سال به ترتیب استفاده از معادلات بلانی-کریدل، مکینگ، تشعشعی، هارگریوز، تورک، تیلور به عنوان جایگزین برای معادله فائو پنمن ماننسیس پیشنهاد می‌شود.

### منابع

۱. پورمحمدی، س. دستورانی، م، ت. مختاری، م، ح. رحیمیان، م، ح. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه بندی تبخیر و تعرق واقعی توسط فن سنجش از دور و الگوریتم سبال ( مطالعه موردی : حوزه آبخیز منشا در استان یزد). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال چهارم. شماره ۱۳. زمستان ۱۳۸۹.
۲. تفضلی، ف. ۱۳۸۵. ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق به تابش ورودی روزانه در شرایط اقلیمی همدان. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
۳. رحیم زادگان، ر. ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق در منطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۲(۲و۱): ۹-۱.
۴. سپاسخواه، ع. ک و محمدی، ا. ۱۳۷۵. تعیین تبخیر و تعرق یونجه و کنجد به روش پنمن -مانتیت در منطقه باجگاه. ششمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر ۱۰الی ۱۱ شهریور. دانشگاه کرمان.
۵. نیکوکار، ح. ع. حسینی، م، ر. ۱۳۸۴. آمار کاربردی. چاپ اول. نشر اقلیدس، مشهد.
۶. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration – uidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
۷. Amatya D.M., Skaggs R.W., and Gregory J.D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Proc. ASCE J. Irrig. Drain. Eng. 121 (6), 427-435.
۸. Berengena J., and Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 131 (2), 147-163.
۹. Castaneda, L. and P. Rao. 2005. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in southern California. Journal of Environmental Hydrology, Vol. 1۳, paper 14.
۱۰. Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G. and Jones, J.W., 2003, Solar and Net Radiation based Equations to Estimate Reference Evapotranspiration in Humid Climates, J. Irrig. Drain. Eng. 129(5): 336-347.
۱۱. Jacobs, J.M., S.L. Mergelsberg, A.F. Lopera and D.A. Myers. 2002. Evaporation from a wet prairie wetland under drought conditions. Paynes Prairie Preserve, Florida, USA, Wetlands, 22(2), pp. 374-385.
۱۲. Jensen, M.E., R.D. Burman and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE manuals and report on engineering practices No. 70. American Society of Civil Engineers, New York, ISBN 0-87262-763-2, 360 p.

۱۳. Kouchakzadeh, M. and Nikbakht, J., 2004, Comparison of Different Methods to Estimate Reference vapotranspiration in Iran Different Climate with PMFAO Standard Method, *Agricultural Sciences*, 10(3): 43-57.
۱۴. Lopez-Urrea R., Martin de Santa Olalla F., Fabeiro C., and Moratalla A. 2006. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration Equations for semiarid conditions. *Agricultural water management*. (86) 277-282.
۱۵. PRIESTLEY, C. H. B., R. J. TAYLOR, 1972: On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Mon. Wea. Rev.*, 100,81-92.
۱۶. Sabziparvar, A.A., Tafazoli, F., Zare byaneh, H., Banejad, H., Mousavi Bayegi, M., Ghafouri, Salih, A.M. and Sendil, U., 1983, Evapotranspiration under Extremely Arid Environment, *J. Irrig. Drain. Eng.* 110(3): 289–303.
۱۷. alih, A.M. and Sendil, U., 1983, Evapotranspiration under Extremely Arid Environment, *J. Irrig. Drain. Eng.* 110(3): 289–303. S