

مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده هواشناسی در ماه‌های گرم و سرد سال (مطالعه موردی شهرستان اصفهان)

محمد سالاریان^{۱*}، معصومه نجفی^۲، کامران داوری^۳، سید سعید اسلامیان^۴، محمد حیدری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۷

چکیده

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 متداولی برای محاسبه تبخیر و تعرق وجود دارد. پژوهش حاضر در اصفهان انجام شد که در آن صحت روش تجربی محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (روش تشعشی-فائو ۲۴، بلانی-کریدل فائو، هارگریوز-سامانی، پرستلی تیلور، مکینگ ۱۹۵۷ و تورک) در مقابل روش پر کاربرد 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، تشعشی، هارگریوز، تورک، تیلور به دلیل دارا بودن ضریب تعیین تعدیل یافته R^2 بزرگ‌تر (نزدیک به یک)، خطای RMSE کمتر (نزدیک به صفر) و در نتیجه نسبت $R^2/RMSE$ بیش‌تر (بزرگ‌تر از یک)، جایگزین مناسب برای معادله فائو پنمن-مانتیت می‌باشند. برای ماه‌های گرم سال با توجه به 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

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 آئرودینامیک استفاده می‌شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر-تعرق ارائه شده است

برنامه‌ریزی آبیاری به منظور بهره‌روز کردن بیلان آب خاک و پیش بینی مصرف آینده آب بر پایه‌ی محاسبه یا اندازه‌گیری مقدار تبخیر و تعرق ($E+T$) 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

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۵- دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه UM مالزی

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

لایسی‌مترها تأیید کرد (Lopez-Urrea, Berengena et al, 2005). سالیه و سندیل روش جنسن هیز را برای کالیبره کردن روابط تجربی در مناطقی با اقلیم خشک مثل عربستان سعودی مناسب دانستند (Salih & Sendil, 1983). در مطالعه‌ای دیگر، روش جنسن هیز و هارگریوز برای اقلیم‌های خشک و نیمه خشک پیشنهاد گردید (Irmak et al, 2003). البته روش مناسب تعیین ET_c در هر منطقه بستگی به شرایط اقلیمی، داده‌های مورد نیاز و هزینه‌های مربوط به آن دارد (Sabziparvar et al, 1983). تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع از روش‌های هارگریوز سامانی، ماکینگ، تورک و پاپاداکیس (Makkink, Hargreaves & Samani) برای اقلیم‌های مختلف ایران بر اساس اقلیم نمای کوپن محاسبه گردید و با روش استاندارد پنمن مانتیث 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 نیمه‌خشک؛ روش ماکینگ در اقلیم‌های مدیترانه‌ای مرطوب، خیلی مرطوب و روش تورک در اقلیم فرا خشک مناسب تشخیص داده شد (Kouchakzadeh & Nikbakht, 2004). برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از روش پنمن مانتیث 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 پنمن 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، ماکینگ و تورک به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل دشت اصفهان و ارزیابی دقت روش‌های مورد استفاده بر اساس روش پنمن-مانتیث 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 ۳۹° ۵۱' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶° ۳۲' 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

(Kouchakzadeh & Nikbakht, 2004). 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 (Allen & Pruitt, 1991). 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-مانتیث بهترین برآورد را دارد (Jensen et al, 1990). جاکوبز و همکاران در مطالعه‌ای روی یک چمنزار مرطوب در فلوریدا آمریکا نتیجه گرفتند که مدل پنمن مانتیث واسنجی شده نتایج خوبی برای تبخیر-تعرق پتانسیل ارائه داده است ولی روش‌های پرستلی-تیلور و پنمن، تبخیر-تعرق را بیشتر تخمین زده‌اند و همچنین روش‌های تورک و ماکینگ تقریباً به خوبی روش پنمن مانتیث عمل کرده‌اند (Jacobs et al, 2002). کاستاندا و راثو طی تحقیقی چهار روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل (تورنت وایت، بلانی-کریدل، تورک و ماکینگ) را در جنوب کالیفرنیا استفاده و با روش فائو پنمن-مانتیث 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 (Castaneda & Roa, 2005). 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 در یک تحقیق مشخص کردند که روش‌های تخمین تبخیر و تعرق پنمن مانتیث نسبت به دیگر روش‌های معمول از یک پایه تئوریک قوی برخوردار می‌باشد، بنابراین نتایج قابل اعتمادی از کاربرد این روش بدست می‌آید (Amatya et al, 1995). مطالعات بعدی برتری روش فائو پنمن مانتیث را بر دیگر روش‌ها در مقایسه این روش با اندازه‌گیری

طبقه بندی ماه‌های سال به دو گروه سرد و گرم از نرم افزار آماری SAS و آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ استفاده گردید.



شکل ۱- نمای شماتیک از موقعیت اصفهان

روشن تشعشعی-فائو

این رابطه در سال ۱۹۷۷ به صورت زیر ارائه شده است:

$$ET_c = \epsilon [WR_p + (1 - W) \cdot 0.77(1 + 0.01U_2)(e_a - e_d)] \quad (2)$$

که در آن: ϵ فاکتوری که به رطوبت نسبی هوا و سرعت باد روزانه بستگی دارد؛ W فاکتور وزنی که اثر درجه حرارت را در ارتباط با ارتفاع نشان می‌دهد؛ R_p تشعشع خورشیدی ($km\ d^{-1}$)؛ U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})؛ $(e_a - e_d)$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (mb) می‌باشد (Doorenbos & Pruitt, 1977).

روشن بلانی-کریدل

یکی از قدیمی‌ترین روش‌های تخمین ET_c می‌باشد که توسط پروت از اساتید سابق دانشگاه کالیفرنیا مورد واسنجی قرار گرفت و برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن به صورت زیر ارائه شده است:

$$ET_c = a + b[P(0.47T + 8.17)] \quad (3)$$

که در آن: a و b ضرایب اقلیمی و بستگی به رطوبت نسبی هوا، نسبت ساعت واقعی آفتاب به حداکثر ساعت آفتابی ممکن و سرعت باد در روز دارد؛ T متوسط دمای ماهانه درجه حرارت ($^{\circ}C$)؛ P ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه که به صورت روزانه توصیف می‌شود (متوسط ساعات روشنایی هر روز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضرب در ۱۰۰) (Belani & Griddle, 1950).

روش هارگریوز-سامانی ۱۹۸۵

روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر-تعرق تنها نیازمند حداکثر و حداقل دمای روزانه می‌باشد که می‌تواند به صورت ۲۴ ساعته، هفتگی، ۱۰ روزه یا دوره ماهانه محاسبه شود، معادله ارائه شده برای این روش به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_c = 0.0023 \cdot R_a \cdot TD^{0.75} (T + 17.8) \quad (4)$$

که در آن: TD اختلاف دمای حداقل و حداکثر ($T_{max} - T_{min}$)؛ T متوسط درجه حرارت ($^{\circ}C$) برحسب $(\frac{T_{max} - T_{min}}{2})$ و R_a نیز تابش خورشیدی می‌باشد (Hargreaves & Samani, 1985).

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 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 قرار داده 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 Ref-ET 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_c برای هفت روش تشعشعی، بلانی-کریدل، هارگریوز-سامانی، پرستلی تیلور، مکینک، تورک و فائو پنمن-مانتیت محاسبه شده است. تشریح هر یک از روش‌های تجربی محاسبه تبخیر و تعرق در این پژوهش به صورت زیر می‌باشد.

روش فائو پنمن-مانتیت

کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خوار و بار جهانی (FAO) روش پنمن-مانتیت را به عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌های برآورد تبخیر-تعرق پیشنهاد نموده است (Allen et al, 1998). در این روش فرض می‌شود که کل سطح پوشش گیاهی یک برگ بزرگ با روزه‌های موجود در آن است، به همین دلیل این روش پنمن-مانتیت را روش برگ بزرگ (Big Leaf) می‌گویند. و معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_c = \frac{0.625(R_n - G) \left[\frac{1 + (1 + 3.75R_h)^{0.75}}{2 + 7(1 + 3.75R_h)^{0.75}} \right] (e_a - e_d)}{2 + \gamma(1 + 3.75R_h)} \quad (1)$$

که در آن: R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی

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

روش پرستلی تیلور ۱۹۷۲

روش پرستلی تیلور روشی است که اساس آن بر پایه تشعشعات خورشیدی و درجه حرارت قرار دارد. معادله ارائه شده برای آن به صورت:

$$ET_c = 1.16 \frac{R_n - G}{2 + \gamma} \quad (5)$$

که در آن: R_n : تابش خالص؛ G : شار گرما به داخل خاک $(MJ/m^2 d^{-1})$ ؛ λ : گرمای نهان تبخیر (MJ/kg^{-1}) ؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار $(KPa^{\circ}C^{-1})$ و γ : ضریب رطوبتی $(KPa^{\circ}C^{-1})$ می‌باشند (Priestley & Taylor, 1972).

روش مکینگ ۱۹۵۷

روش مکینگ روشی است که اساس آن بر پایه تشعشعات خورشیدی و درجه حرارت قرار دارد. استفاده از این روش ابتدا در هلند و سپس در استرالیا توسعه یافت. ولی به طور کلی بیشتر برای غرب اروپا کاربرد دارد و معادله آن به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_c = 0.61 \frac{R_n}{\Delta + \gamma} - 0.12 \quad (6)$$

که در آن: R_n : تشعشعات خورشیدی $(MJ/m^2 d^{-1})$ ؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار $(KPa^{\circ}C^{-1})$ ؛ γ : ضریب رطوبتی $(KPa^{\circ}C^{-1})$ و ثابت $2/45$ گرمای نهان تبخیر در دمای تقریباً $20^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Makkink, 1957).

روش تورک ۱۹۶۱

روش تورک نیز همانند روش مکینگ اساس آن بر پایه تشعشعات خورشیدی و درجه حرارت قرار دارد. استفاده از این روش نیز در هلند و سپس در استرالیا توسعه یافت. معادله ارائه شده برای آن به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_c = a_T \cdot 1.07 \frac{R_{net} - T_{min} R_p}{T_{mean} + 5} \quad (7)$$

که در آن: R_{net} : تشعشعات خورشیدی $(MJ/m^2 d^{-1})$ ؛ T : متوسط درجه حرارت $(\frac{T_{max} - T_{min}}{\gamma})$ ؛ λ : گرمای نهان تبخیر (MJ/kg^{-1}) می‌باشد. ضریب a_T زمانی که میانگین رطوبت نسبی روزانه بیش از 50% درصد باشد $1/0$ در نظر گرفته می‌شود و زمانی که میانگین رطوبت نسبی روزانه کمتر از 50% درصد باشد از رابطه‌ی:

$$a_T = 1 + \frac{R_p - R_{net}}{T_{min}} \quad (8)$$

که در آن: رطوبت نسبی بر حسب درصد است. معادله تورک فقط برای زمانی که $T_{mean} \geq -10^{\circ}C$ باشد کاربرد خواهد داشت (Allen & Pruitt, 1991).

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 $adjR^2$ و به کمک نرم افزارهای آماری **SAS** و نرم افزار اکسل محاسبات برای ماه‌های مختلف سال صورت گرفته است.

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 $adjR^2$ می‌کنند که به صورت زیر به دست می‌آید (نیکوکار، ۱۳۸۴):

جدول ۲- میانگین تبخیر و تعرق محاسبه شده در ۴۷ سال

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

$$R^* = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{n}}{\sum_{i=1}^n R_i} = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2) \quad (9)$$

که در آن n حجم نمونه و k تعداد متغیرها می باشد که مقادیر آن در معادله فانو پنمن مانیتس برابر ۷، معادله تشعشعی-فانو ۲۴ برابر ۷، معادله بلانی-کریدل فانو برابر ۴، معادله هارگریوز-سامانی برابر ۲، معادله پرستلی تیلور برابر ۵، معادله مکینگ ۱۹۵۷ برابر ۳ و معادله تورک برابر ۴ می باشد. اگر مقدار دو آماره R^* و R^2 خیلی باهم تفاوت داشته باشند در اینجا کاملاً مشخص می شود که متغیرهای مستقل بی ارتباط با متغیر وابسته در الگو لحاظ شده اند. بنابراین آماره R^* تعدیل شده می تواند در ارزیابی و انتخاب بین الگوهای رگرسیون مفید واقع شود. در جداول ۳ الی ۸ برای انتخاب بهترین معادله در ماه های مختلف از نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ استفاده شده است که در آن R^* هرچه به یک نزدیک تر و $RMSE$ هرچه به صفر نزدیک تر باشد، بهتر می باشند، لذا نسبت این دو شاخص هرچه از یک بزرگ تر باشد نشان از تطابق بهتر آن معادله با قبول سایر شرایط به معادله پنمن مانیتس (Penman - Monteith ~ PM) می باشد.

مطابق جدول ۳ نتایج به دست آمده از معادله مکینگ در برابر معادله PM است که نشان می دهد این معادله برای ماه آذر، دی، بهمن (هرسه جزء ماه سرد هستند) با نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ به ترتیب ۱/۲۲، ۴/۰۶ و ۱/۲۵ مناسب می باشد. جدول ۴ نتایج به دست آمده از معادله تورک در برابر معادله PM است که نشان می دهد این معادله برای ماه اردیبهشت که جزء ماه های گرم می باشد با نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ برابر ۰/۷۶ می تواند روشی مناسب باشد. جدول ۵ نتایج به دست آمده از معادله تیلور در برابر معادله PM است که نشان می دهد این معادله برای ماه دی که جزء ماه های سرد سال قرار دارد با نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ برابر ۰/۹۸ مناسب بوده است. جدول ۶ نتایج به دست آمده از معادله تشعشعی در برابر معادله PM بوده است که نشان می دهد که این معادله برای ماه

دی و بهمن که جزء ماه های سرد سال هستند با نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ 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 می باشد که این معادله را برای ماه های فروردین، دی، بهمن و اسفند که جزء ماه های سرد سال هستند با نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ به ترتیب ۱/۱۴، ۱/۲۱، ۱/۵۸ و ۱/۶۳ مناسب نشان می دهد. و در جدول ۸ نتایج به دست آمده از معادله هارگریوز سامانی در برابر معادله PM را نشان می دهد که این معادله برای ماه های دی و بهمن که این دو ماه نیز جزء ماه های سرد سال هستند با نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ برابر ۲/۶۳ و ۰/۹۶ مناسب است. از شاخص های آماری محاسبه شده در جداول ۳ الی ۸ می توان برداشتی چنین داشت که روش های مطرح شده برای مقایسه در این پژوهش بیش تر مناسب ماه های سرد سال بوده و کم تر در ماه های گرم سال مناسب تشخیص داده می شود. به عنوان مثال اگرچه معادله تورک برای ماه اردیبهشت که جزء ماه های گرم سال است نسبت به روش های دیگر مناسب تشخیص داده شده است اما با توجه به مشاهدات دیده می شود 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 $\frac{R^*}{RMSE}$ برای همه ی روش های موجود را برای هر ماه آورده شده است و در جدول ۱۰ به ترتیب روش هایی که می توانند جایگزین روش پنمن مانیتس در ماه های مختلف شوند با توجه خطا، ضریب تعیین تعدیل یافته و نسبت $\frac{R^*}{RMSE}$ آورده شده است.

نتایج حاصل از جدول شماره ۱۰ که بیان کننده بهترین جایگزین برای معادله پنمن مانیتس 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.

جدول ۳- شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله مکینگ

مکینگ	D	RMSE	MAE	MAXE	R ²	\bar{R}^2	$\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$
دی	۰/۱۸۶	۰/۱۱۶	۰/۱۱۳	۰/۴۸	۰/۱۶۶	۰/۱۶۵	۴/۰۶
بهمن	۰/۱۶۸	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 ۴- شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله تورک

تورک	D	RMSE	MAE	MAXE	R ²	\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	۰/۲۹	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	۱/۳۴	۲/۷۵	۰/۰۵	۰/۰	۰/۰
مرداد	۰/۳۴	۰/۵۱	۱/۲۹	۲/۷۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰

جدول ۵- شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله تیلور

تیلور	D	RMSE	MAE	MAXE	R ²	\bar{R}^2	$\frac{\bar{R}^2}{RMSE}$
دی	۰/۵۸	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۶۷	۰/۳۲	۰/۲۵	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 ۶- شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله تشعشعی

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

جدول ۷- شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله بلانی-کریدل

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

جدول ۸- شاخص‌های آماری به دست آمده از معادله هارگریوز

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

جدول ۹- نسبت R²/RMSE در ماه‌های مختلف سال

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

جدول ۱۰- ترتیب روش‌های مناسب جایگزین روش پنمن

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

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	$y = 0.58x + 1.47$

بطوری که در ماه‌های 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 به‌خصوص معادله بلانی کریدل در محاسبات تبخیر و تعرق که جایگزین معادله PM در دشت اصفهان می‌شوند دارد. در جدول ۱۱ معادلات رگرسیون خطی بدست آمده از این نمودارها آورده شده است.

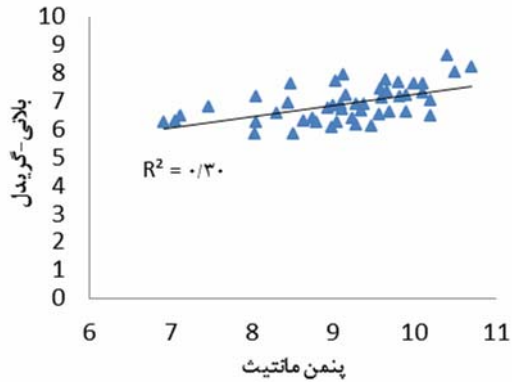
نتیجه‌گیری

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-فائو۲۴، بلانی-کریدل فائو، هارگریوز-سامانی، پرستلی 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

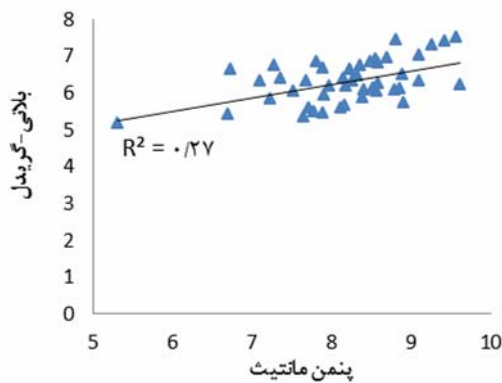
از سوی دیگر به توجه به نمودارهای ۲ و ۷ الی ۱۳ که مربوط به ماه‌های سرد سال می‌باشد مقدار ضریب تعیین بالایی را شاهد بوده

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 ماتیت انتخاب کرد ولی دقت بالایی نخواهد داشت.

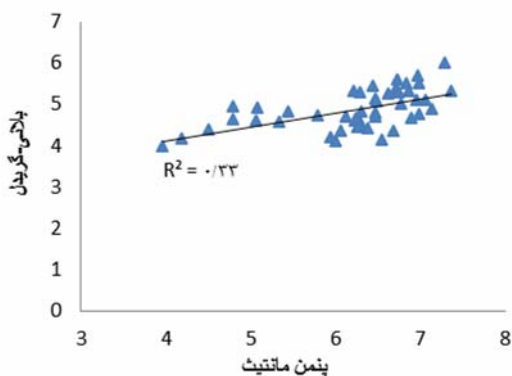
معادله‌ای مناسب تشخیص داده شده است ولی در مواردی مشاهده شده که معادله‌ای برای ماه به‌خصوصی انتخاب گردیده ولی دارای ضریب تعیین تعدیل یافته R^2 کم و یا دارای RMSE بالایی می‌باشد



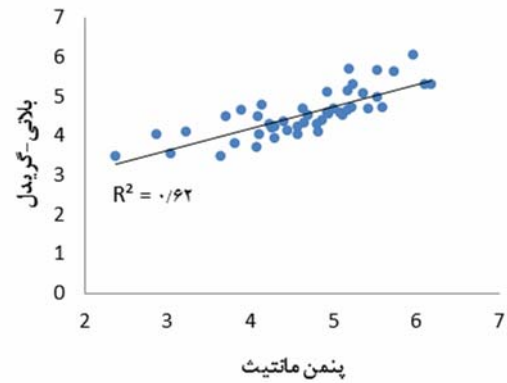
شکل ۵ - نمودار مربوط به تیر (بلانی کریدل-PM)



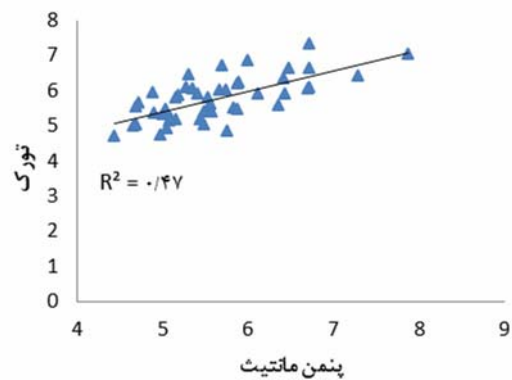
شکل ۶ - نمودار مربوط به مرداد (بلانی کریدل-PM)



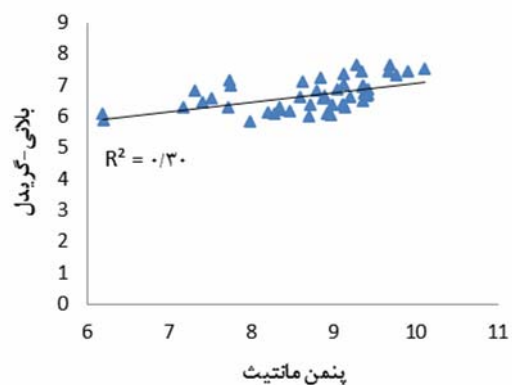
شکل ۷ - نمودار مربوط به شهریور (بلانی کریدل-PM)



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

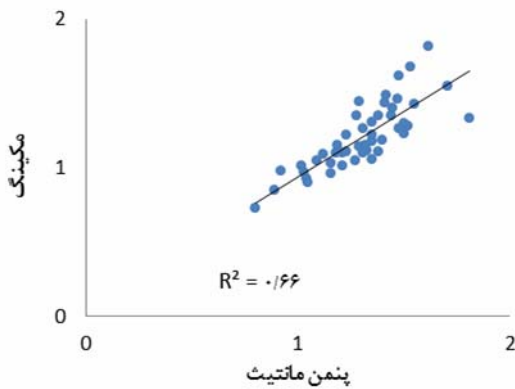


شکل ۳ - نمودار مربوط به اردیبهشت (تورک-PM)

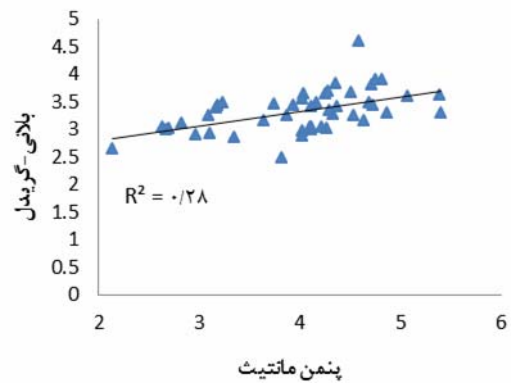


شکل ۴ - نمودار مربوط به خرداد (بلانی کریدل-PM)

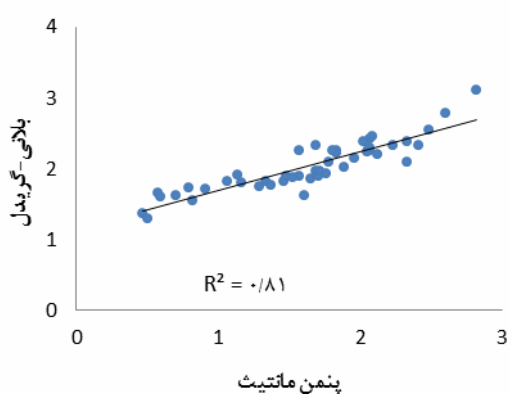
که این موارد بیشتر در ماه‌های گرم سال که از اردیبهشت شروع و در مهر خاتمه می‌یابد دیده شده است. ولی در ماه‌های سرد سال،



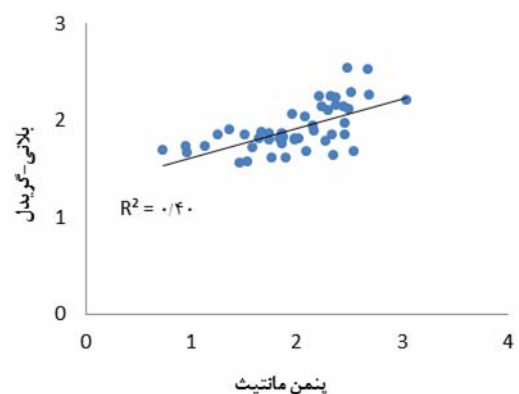
شکل ۱۱- نمودار مربوط به دی (مکینگ-PM)



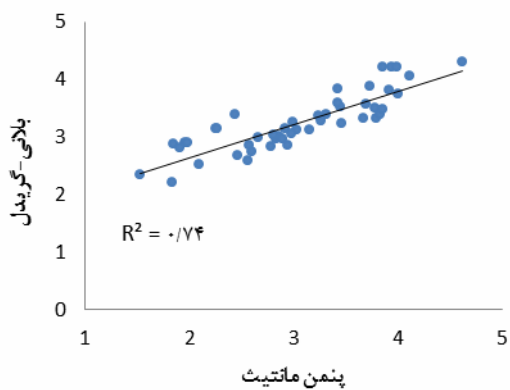
شکل ۸- نمودار مربوط به مهر (بلانی-گریدل-PM)



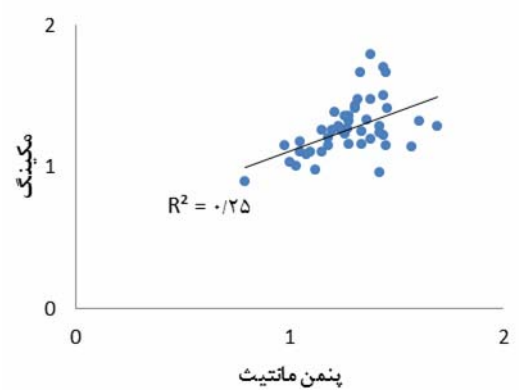
شکل ۱۲- نمودار مربوط به بهمن (بلانی-گریدل-PM)



شکل ۹- نمودار مربوط به آبان (بلانی-گریدل-PM)



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



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

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-گریدل پیشنهاد می‌شود. در ماه‌های سرد همانند آبان، بهمن، اسفند و فروردین با توجه به خطای کم و نسبت تعیین تعدیل یافته بالای معادله بلانی-گریدل، پیشنهاد می‌شود این معادله جایگزین معادله

در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، و شهریور جایگزینی این معادلات، به جای معادله فانو پنمن ماتیتث 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.

- irrigation data, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Castaneda, L. and Rao, P. 2005. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in southern California. *Journal of Environmental Hydrology*, Vol. 13, paper 14.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977 Guidelines for predicting crop water requirements. FAO, Rome, Irrigation and Drainage. Engineering. Paper No. 24, p 144.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. In Agr.*, 1(2), 96-99.
- 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.
- Jacobs, J.M., Mergelsberg, S.L., Lopera, A.F. and Myers, D.A. 2002. Evaporation from a wet prairie wetland under drought conditions. *Paynes Prairie Preserve, Florida, USA, Wetlands*, 22,2: 374-385.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen, R.G. 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.
- Kouchakzadeh, M. and Nikbakht, J. 2004. Comparison of Different Methods to Estimate Reference evapotranspiration in Iran Different Climate with PMFAO Standard Method, *Agricultural Sciences*, 10,3: 43-57.
- 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. *Agric water manage.* 86: 277-282.
- Makkink, G.F. 1957. Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters, *J. Instit. Water Engin.* 11:277-288
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.J. 1972: On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Mon. Wea. Rev.*, 100:81-92.
- 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. Irrigation and Drainage. Engineering.* 110,3: 289-303.
- Salih, A.M. and Sendil, U. 1983. Evapotranspiration under Extremely Arid Environment, *J. Irrigation and Drainage. Engineering.* 110,3: 289-303.
- PMI شود و در ماه‌های آذر و دی نیز با توجه به خطای کمتر و نسبت تعیین تعدیل یافته بالاتر و در نتیجه نسبت $\frac{K_f}{RMFE}$ بالاتر استفاده از معادله مکینگ جایگزین خوبی برای معادله فائو پنمن مانیتیت خواهد بود. در مجموع برای ماه‌های سرد سال به ترتیب استفاده از معادلات بلانی-کریدل، مکینگ، تشعشی، هارگریوز، تورک، تیلور به عنوان جایگزین برای معادله فائو پنمن مانیتیت پیشنهاد می‌شود.
- ### منابع
- پورمحمدی، س.، دستورانی، م.ت.، مختاری، م.ح. و رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۹. تعیین و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق واقعی توسط فن سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی : حوزه آبخیز منشاد در استان یزد). *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. سال چهارم. شماره ۱۳. زمستان ۱۳۸۹.
- 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.
- رحیم زادگان، ر. ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق در منطقه اصفهان. *مجله علوم کشاورزی ایران*، 22(۱ و ۲): ۹-۱۰.
- سپاسخواه، ع.ک. و محمدی، ا. ۱۳۷۵. تعیین تبخیر و تعرق یونجه و کنجد به روش پنمن-مانیتیت در منطقه باجگاه. ششمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر ۱۰الی ۱۱ شهریور. دانشگاه کرمان.
- نیکوکار، ح.ع. و حسینی، م.ر. ۱۳۸۴. آمار کاربردی. چاپ اول. نشر اقلیدس، مشهد.
- Allen, R.G. and Pruitt, W.O. 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. *J. of Irrigation and Drainage. Engineering.* 117,5:758-773.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration – uidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
- 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.
- Berengena, J. and Gavilan, P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *J. Irrigation and Drainage. Engineering., ASCE* 131 2:147-163.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D. 1950. Determining water requirements in irrigated area from climatological

The most Appropriate Method to Estimate Potential Evapotranspiration in Meteorological Data Scarce Condition in the Warm and Cold Months of the Year (Case Study of Isfahan)

M. Salarian,^{*1} M. Najafi,² K. Davari,³ S.S. Eslamiyan,⁴ M. Heidari.⁵

Received: Sep.3,2013 Accepted: Feb.26,2014

Abstract

Evapotranspiration causes water waste and moisture, and loss of vegetation cover and soil. The calculating of evapotranspiration by a proper approach is very important since the precipitation and water resources are very limited in Iran. There are several common methods to calculate the potential evapotranspiration. The present research was conducted in Isfahan; the accuracy of the six experimental methods for calculating ET_0 (namely radiation method - FAO 24, Blaney- Criddle FAO, Hargreaves-Samani, Priestley Taylor, Mecking 1957 and Tork) was compared to the reference method- FAO Penman-Monteith. The calculations were done by using Ref-ET software during the 47-year records (1964- 2010) for the warm and cold months of the year separately which have been divided by the average temperature etdel using the SAS software. The comparative results of this study which was performed by statistical indices showed that these six methods are applicable for the cold months of the year in most cases in which using the equations of Blaney- Criddle, Mecking, Radiation, Hargreaves, Tork, Taylor, respectively, and can be suitable an alternative for FAO Penman-Monteith method due to a larger adjusted determination coefficient R^2 (close to one), less estimation error of RMSE (close to zero) and therefore $\frac{R^2}{RMSE}$ ratio be would larger and for the warm months, due to low R^2 and higher error estimation of RMSE, it is suggested only Blaney- Criddle be should used.

Keywords: Evapotranspiration, SAS, Penman, Water Requirement, Ref-ET, Blaney- Criddle

1- Master Student Science in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Agriculture College, Ferdowsi University of Mashhad

2- Master Student Science in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Agriculture College, University of Isfahan

3- Associate professor in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate professor in Department of Water Engineering, Agriculture College University of Isfahan

5- PhD Student in Civil, Engineering College, UM of Malya

(*-Corresponding Author Email ; Salarian_mohammad@yahoo.com)