اصلاح معادله جنسن- هیز برای تخمین تبخیر تعرق در استان فارس

حمید رضا فولادمند[۱]، مریم صالونی[۲]

تاریخ دریافت ۱۳۹۲/۱۰/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

برآورد دقیق آب مصرفی گیاه از طریق محاسبه تبخیر تعرق در بهبود مدیریت آب در مزرعه اهمیت بسیار زیادی دارد. معادله پنمن- مانتیت رایج‌ترین معادله برای برآورد تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد. با این حال، این معادله نیاز به داده‌های هواشناسی کامل دارد، اما تعداد کمی از ایستگاه های هواشناسی با داده‌های کامل در استان فارس وجود دارد. از سوی دیگر معادله جنسن- هیز روشی ساده‌تر برای برآورد تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد. از این‌رو در این تحقیق معادله جنسن- هیز برمبنای معادله پنمن- مانتیت برای هر ماه از سال با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک استان فارس واسنجی و سپس ارزیابی شده است. برای این منظور ضرایب واسنجی شده معادله جنسن- هیز برای تمام ماه‌های سال در ایستگاه‌های مختلف به صورت جداگانه مشخص شدند. علاوه بر این در مرحله واسنجی از دمای مؤثر ماهانه (ترکیبی از دماهای حداقل و حداکثر ماهانه با یک ضریب ثابت) به جای میانگین دمای ماهانه استفاده شد و نتایج نشان داد که این جایگزینی منجر به تخمین مناسب‌تر تبخیرتعرق می‌شود. همچنین در مرحله ارزیابی به جای ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده در معادله جنسن- هیز از تخمین ساعات آفتابی (برمبنای دماهای حداقل و حداکثر ماهانه) استفاده شد که این جایگزینی نیز منجر به ارزیابی مناسب معادله اصلاح شده جنسن- هیز در سطح استان فارس گردید. در نهایت نتایج نشان داد که معادله اصلاح شده جنسن- هیز برای تخمین تبخیرتعرق در استان فارس مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، استان فارس، پنمن- مانتیت، تبخیرتعرق، جنسن- هیز، واسنجی.

۱- استادیار آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت hrfoolad@yahoo.com
۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

مقدمه

از آنجا که اندازه‌گیری مستقیم تبخیرتعرق با استفاده از لایسی‌متر وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشد، لذا در بیشتر مواقع برای انجام محاسبات نیاز آبی گیاه از معادله‌های مختلف تخمین تبخیرتعرق استفاده می‌شود که در بین آن‌ها معادله پنمن- مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) معادله استاندارد جهانی است و در بسیاری از تحقیقات انجام شده در سطح دنیا کاربرد آن مناسب تشخیص داده شده است؛ اما از اشکالات اساسی این معادله نیاز به داده‌های هواشناسی کامل است که در تمام ایستگاه‌های هواشناسی ایران و از جمله استان فارس اندازه‌گیری آن‌ها انجام نمی‌شود. از این‌رو استفاده از معادله‌های ساده‌تر که به داده‌های هواشناسی کمتری نیاز دارند قابل توصیه می‌باشد؛ اما برای استفاده از معادله‌های ساده‌تر تخمین تبخیر تعرق ابتدا باید از مناسب بودن آن‌ها برای منطقه مورد نظر مطمئن شد. برای این منظور نیاز به واسنجی معادله‌های ساده‌تر تخمین تبخیرتعرق به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده لایسی‌متر می‌باشد، اما چنانچه ذکر شد داده‌های اندازه‌گیری شده لایسی‌متری نیز در همه جا وجود ندارد. بنابراین در تحقیقات متعددی در سطح دنیا و ایران سایر معادله‌های تخمین تبخیر تعرق برمبنای معادله پنمن- مانتیت مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته‌اند (بابامیری و همکاران، ۱۳۹۲؛ ونتورا و همکاران، ۱۹۹۹؛ کاشیاپ و پاندا، ۲۰۰۱؛ ایرماک و همکاران، ۲۰۰۳، آیتنفیسو و همکاران، ۲۰۰۳، دهقانی‌سانیچ و همکاران، ۲۰۰۴؛ تمسگن و همکاران، ۲۰۰۵؛ گاویلان و همکاران، ۲۰۰۶؛ لاندراس و همکاران، ۲۰۰۸). از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه در استان فارس می‌توان به معادله اولیه هارگریوز (فولادمند و حقیقت، ۲۰۰۷)، چهار شکل جدید معادله هارگریوز (فولادمند و همکاران، ۲۰۰۸)، معادله تورنت‌وایت (احمدی و فولادمند، ۲۰۰۸) و معادله بلانی- کریدل (فولادمند و احمدی، ۲۰۰۹) اشاره نمود که برای هفت ایستگاه سینوپتیک در داخل این استان بر مبنای معادله پنمن- مانتیت واسنجی شده و سپس به وسیله فولادمند (۲۰۱۱) چهار روش ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و مناسب‌ترین معادله برای هر ماه سال و هر منطقه تعیین شده است. معادله‌های ذکر شده در سطح استان فارس برای تخمین تبخیرتعرق تنها به داده‌های دما (و بارندگی ماهانه در مورد تحقیق فولادمند و همکاران، ۲۰۰۸) نیاز دارند که اندازه‌گیری آن ساده و متداول است.

از دیگر روش‌های ساده تخمین تبخیرتعرق می‌توان به معادله جنسن- هیز (جنسن و هیز، ۱۹۶۳) اشاره نمود که برای تخمین تبخیرتعرق جدا از داده‌های دما به ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده نیز احتیاج دارد. در تحقیقات متعددی در ایران و سایر مناطق دنیا این معادله مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج تحقیقات نجفی (۱۳۸۵) در اصفهان، میرزایی و همکاران (۱۳۸۷) در حوضه آبریز قره‌سو در شمال غرب ایران، شریفان و علیزاده (۱۳۸۸) در گرگان، موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) در مشهد و سپاسخواه و فولادمند (۲۰۰۴) در منطقه باجگاه در استان فارس نشان‌دهنده نامناسب بودن معادله جنسن- هیز برای برآورد تبخیرتعرق در مقایسه با سایر معادله‌ها می‌باشد. نتایج تحقیقات علیزاده و همکاران (۱۳۸۳) برای برآورد تبخیرتعرق در کرمان نیز نشان داد که معادله جنسن- هیز دارای دقت پایینی است، اما در تحقیق علیزاده و همکاران (۱۳۸۵) در همین منطقه مشخص شد که معادله فوق پس از اصلاح داده‌های دما برای محاسبه تبخیرتعرق روزانه مناسب می‌باشد. تحقیقات سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۸۷) در استان همدان نیز نشان داد که معادله جنسن- هیز در مقایسه با معادله پنمن- مانتیت برای تخمین تبخیرتعرق معادله مناسبی می‌باشد.

تحقیقات القباری (۲۰۰۰) بر روی چهار ناحیه در جنوب عربستان، روزنبری و همکاران (۲۰۰۴) در شمال داکوتا در امریکا، جابولانی (۲۰۰۸) در زیمباوه و تراجکویچ و کولاکویچ (۲۰۰۹) در نووی ساد صربستان نیز نشان‌دهنده نامناسب بودن معادله جنسن- هیز برای تخمین تبخیرتعرق در مقایسه با سایر معادله‌ها می‌باشد.

چنانچه ذکر شد در چند تحقیق انجام شده در سطح استان فارس معادله‌های ساده تخمین تبخیرتعرق که وابسته به داده‌های دما می‌باشند مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته‌اند، اما معادله جنسن- هیز که علاوه بر دما به داده‌های اندازه‌گیری شده تشعشع و یا ساعات آفتابی نیز احتیاج دارد مورد توجه قرار نگرفته است. فولادمند (۲۰۱۲) در تحقیقی در سطح استان فارس اقدام به تخمین ساعات آفتابی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده حداقل و حداکثر دما نموده است. بنابراین با تخمین مقدار ساعات آفتابی از روی داده‌های دما امکان آن فراهم

می‌شود که تنها به کمک داده‌های دما از معادله جنسن- هیز اقدام به تخمین مقدار تبخیرتعرق نمود. بنابراین هدف اصلی این تحقیق واسنجی و سپس ارزیابی معادله جنسن- هیز برای تخمین تبخیرتعرق ماهانه در سطح استان فارس برمبنای معادله پنمن- مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق معادله جنسن- هیز (جنسن و هیز، ۱۹۶۳) برای محاسبه تبخیرتعرق ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان فارس با حداقل ۱۰ سال آمار (شامل ایستگاه‌های آباده، اقلید، ایزدخواست، تخت‌جمشید، داراب، زرقان، سد درودزن، شیراز، فسا، لار و نیریز) بر مبنای معادله پنمن- مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته است. در هر ایستگاه حدود ۸۰ درصد داده‌ها برای واسنجی ضرایب معادله جنسن- هیز و حدود ۲۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها برای ارزیابی نتایج بدست آمده بکار رفتند. از آنجا که در تحقیقات انجام شده قبلی در سطح استان برای واسنجی و ارزیابی معادله‌های مختلف تخمین تبخیرتعرق از داده‌های ماه‌های میلادی استفاده شده است، لذا در این تحقیق نیز از اطلاعات ماه‌های میلادی استفاده شد. در جدول ۱ اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی بکار رفته در این تحقیق ارائه شده است.

جدول (۱): اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی بکار رفته در این تحقیق

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال های آماری بکار رفته برای واسنجی	سال های آماری بکار رفته برای ارزیابی
آباده	۳۱ درجه و ۱۱ دقیقه	۵۲ درجه و ۴۰ دقیقه	۲۰۳۰	۲۰۰۷-۱۹۹۲	۲۰۱۱-۲۰۰۸
اقلید	۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه	۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه	۲۳۰۰	۲۰۰۷-۱۹۹۶	۲۰۱۱-۲۰۰۸
ایزدخواست	۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه	۵۲ درجه و ۰۷ دقیقه	۲۱۸۸	۲۰۰۷-۲۰۰۰	۲۰۱۱-۲۰۰۸
تخت جمشید	۲۹ درجه و ۵۶ دقیقه	۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه	۱۶۰۵	۲۰۰۷-۱۹۹۹	۲۰۱۱-۲۰۰۸
داراب	۲۸ درجه و ۴۷ دقیقه	۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه	۱۱۰۷	۲۰۰۷-۱۹۹۶	۲۰۱۱-۲۰۰۸
زرقان	۲۹ درجه و ۴۷ دقیقه	۵۲ درجه و ۴۳ دقیقه	۱۵۹۶	۲۰۰۷-۱۹۹۵	۲۰۱۱-۲۰۰۸
سد درودزن	۳۰ درجه و ۱۳ دقیقه	۵۲ درجه و ۲۶ دقیقه	۱۶۲۰	۲۰۰۷-۱۹۹۶	۲۰۱۱-۲۰۰۸
شیراز	۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه	۵۲ درجه و ۳۲ دقیقه	۱۴۸۸	۲۰۰۵-۱۹۸۶	۲۰۱۱-۲۰۰۶
فسا	۲۸ درجه و ۵۸ دقیقه	۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه	۱۲۸۸	۲۰۰۷-۱۹۹۲	۲۰۱۱-۲۰۰۸
لار	۲۷ درجه و ۴۱ دقیقه	۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه	۷۹۲	۲۰۰۷-۱۹۹۲	۲۰۱۱-۲۰۰۸
نیریز	۲۹ درجه و ۱۲ دقیقه	۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه	۱۶۳۲	۲۰۰۷-۲۰۰۱	۲۰۱۱-۲۰۰۸

آلن و همکاران (۱۹۹۸) در نشریه فائو ۵۶ جزئیات کامل معادله پنمن- مانتیت را ارائه داده‌اند که به علت زیاد بودن معادله‌های این روش از ذکر آن‌ها در این متن خودداری شده است، اما شکل ساده معادله جنسن- هیز (جنسن و هیز، ۱۹۶۳) به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_o = \frac{23.9(0.025T_m + 0.08)R_s}{59} \qquad (1)$$

که در آن ET_o: میانگین ماهانه تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع برحسب میلی‌متر در روز، T_m: میانگین دمای ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد و R_s: تشعشع ورودی خورشید با طول موج کوتاه به سطح زمین برحسب مگاژول بر مترمربع در روز می‌باشد. مقدار R_s یا به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود و یا از معادله ساده آنگستروم (۱۹۲۴) قابل محاسبه است که در این صورت وابسته به داده‌های اندازه‌گیری شده ساعات آفتابی و حداکثر ساعات روشنایی روزانه می‌باشد.

واسنجی معادله جنسن- هیز

در این تحقیق برای واسنجی معادله جنسن- هیز در هر ایستگاه مراحل زیر در نظر گرفته شده‌اند:

الف- برای سال های ذکر شده مرحله واسنجی در جدول ۱ مقدار ET_o از معادله پنمن- مانتیت برای کلیه ماه‌ها و سال‌ها محاسبه گردید.

ب- در معادله جنسن- هیز به جای میانگین دمای ماهانه از دمای مؤثر ماهانه استفاده شد. نتایج تحقیقات کامارگو و همکاران (۱۹۹۹)، پریرا و پروئیت (۲۰۰۴)، احمدی و فولادمند (۲۰۰۸) و فولادمند و احمدی (۲۰۰۹) نشان داده است که استفاده از دمای مؤثر ماهانه به جای میانگین دمای ماهانه برای محاسبه تبخیرتعرق مناسب‌تر است. دمای مؤثر ماهانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (کامارگو و همکاران، ۱۹۹۹):

$$T_{eff} = 0.5k(3T_{max} - T_{min}) \qquad (۲)$$

که در آن T_{max}، T_{min} و T_{eff} به ترتیب حداکثر، حداقل و دمای مؤثر ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند و k ضریبی است که برای ماه های مختلف سال در ایستگاه‌های آباده، داراب، زرقان، سد درودزن، شیراز، فسا و لار توسط احمدی و فولادمند (۲۰۰۸) بدست آمده است و از آن‌ها در این تحقیق استفاده شده است. برای سایر ایستگاه‌های بکار رفته در این تحقیق نیز ضریب فوق با حداقل کردن اختلاف بین مقادیر تبخیرتعرق ماهانه از معادله‌های پنمن- مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) و تورنتوایت (۱۹۴۸) از طریق منوی Solver نرم‌افزار Excel تعیین گردید.

ج- با جایگزینی مقدار R_s در معادله جنسن- هیز از معادله آنگستروم (۱۹۲۴) و دمای مؤثر ماهانه به جای میانگین دمای ماهانه، رابطه زیر بدست می‌آید:

$$ET_o = \frac{23.9(0.025T_{eff} + 0.08)R_a}{59}(a + b\frac{n}{N}) \qquad (۳)$$

که در آن R_a: تشعشع ماورای جوی برحسب مگاژول بر مترمربع در روز، n: میانگین ساعات آفتابی واقعی روزانه برحسب ساعت، N: میانگین حداکثر ساعات روشنایی روزانه برحسب ساعت و a و b ضرائب ثابت معادله آنگستروم (۱۹۲۴) می‌باشند که در صورت معلوم نبودن برای منطقه مورد نظر به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ درنظر گرفته می‌شوند. مقادیر R_a و N وابسته به عرض جغرافیایی منطقه و زمان سال (برحسب تقویم میلادی) می‌باشند و از معادله‌های ارائه شده توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) در نشریه فائو ۵۶ قابل محاسبه هستند.

در رابطه (۳) مقدار متغیر P به صورت زیر درنظر گرفته می‌شود:

$$P = \frac{23.9(0.025T_{eff} + 0.08)R_a}{59} \qquad (۴)$$

از تلفیق رابطه‌های (۳) و (۴) رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{ET_o}{P} = a + b\frac{n}{N} \qquad (۵)$$

بنابراین در هر ایستگاه و ماه‌های مختلف سال به صورت جداگانه یک رگرسیون خطی بین نسبت ET_o (محاسبه شده از معادله پنمن- مانتیت) به P به عنوان y خط و نسبت n به N به عنوان x خط برقرار گردید؛ بنابراین ضرایب واسنجی شده معادله جنسن- هیز اصلاح شده (ضرایب a و b رابطه ۵) در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف استان فارس بدست آمد (بنابراین در این تحقیق ضرایب a و b برابر مقادیر ثابت ۰/۲۵ و ۰/۵ درنظر گرفته نمی‌شوند). همچنین در مرحله واسنجی از داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده ساعات آفتابی در ایستگاه‌های مختلف استفاده شده است.

ارزیابی معادله جنسن- هیز

حدود ۲۰ درصد داده‌های سال‌های پایانی هر ایستگاه (ارائه شده در جدول ۱) برای ارزیابی نتایج بکار رفت و برای این منظور مراحل زیر در نظر گرفته شد:

الف- از آن‌جا که اندازه‌گیری ساعات آفتابی واقعی در تمام ایستگاه‌های هواشناسی متداول نیست، لذا در مرحله ارزیابی به جای استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ساعات آفتابی، از رابطه بدست آمده برای تخمین این پارامتر در سطح استان فارس در معادله اصلاح شده جنسن- هیز استفاده شد. رابطه فوق به صورت زیر می‌باشد (فولادمند، ۲۰۱۲):

$$n = -0.113\ T_{min} + 0.233\ T_{max} + 4.414 \qquad (۶)$$

که در آن n: میانگین ساعات آفتابی روزانه تخمین زده شده در ماه مورد نظر برحسب ساعت و T_{max} و T_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل دمای ماهانه برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند.

ب- با استفاده از ضرایب a و b بدست آمده در مرحله واسنجی و استفاده از ضریب k برای در نظر گرفتن دمای مؤثر ماهانه و همچنین استفاده از رابطه (۶) برای تخمین ساعات آفتابی، مقدار تبخیرتعرق برای ماه‌های مختلف سال از معادله اصلاح شده جنسن- هیز (رابطه ۳) محاسبه شد و نتایج با مقدار تبخیرتعرق محاسبه شده از معادله پنمن- مانتیت مقایسه گردید. برای این منظور در هر ایستگاه از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) به‌صورت زیر استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=m}(X_i - Y_i)^2}{m}} \qquad (۷)$$

که در آن X_i و Y_i به ترتیب مقادیر تبخیرتعرق محاسبه شده از معادله پنمن- مانتیت و معادله اصلاح شده جنسن- هیز و m تعداد کل داده‌ها در مرحله ارزیابی (برابر مجموع ماه‌های کلیه سال‌های بکار رفته در مرحله ارزیابی) می‌باشند.

نتایج و بحث

در جدول ۲ ضریب k و در جدول ۳ ضرایب واسنجی شده a و b در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف سال همراه با ضریب R^2 خط رگرسیون رابطه (۵) ارائه شده است. چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار ضریب a در بعضی از ایستگاه‌ها در ماه‌های جولای، سپتامبر و اکتبر منفی شده اما در سایر ماه‌های سال مثبت است و به طور کلی تغییرات این ضریب بین ۰/۰۱- تا ۰/۱۴ می‌باشد. همچنین مقدار ضریب b در کلیه ایستگاه‌ها و ماه‌های سال مثبت است و تغییرات آن بین ۰/۳۱ تا ۰/۷۰ می‌باشد. از طرف دیگر ضریب R^2 خط رگرسیون نیز در اکثر ماه‌ها و ایستگاه‌ها عدد قابل قبولی است که این موضوع نشان‌دهنده مناسب بودن روابط رگرسیونی جهت واسنجی ضرایب معادله اصلاح شده جنسن- هیز می‌باشد، اما چنانچه مشاهده می‌شود مقدار این ضریب در ایستگاه‌های داراب، فسا و لار تا حدودی از سایر ایستگاه‌ها کمتر است.

در جدول ۴ مقادیر RMSE محاسبه شده در ایستگاه‌های مختلف در مرحله ارزیابی نتایج ارائه شده است. همچنین در این جدول مقادیر RMSE گزارش شده توسط فولادمند (۲۰۱۱) برای سایر معادله‌های تخمین تبخیرتعرق در ایستگاه‌های مشترک با این تحقیق نیز آورده شده است و چنانچه دیده می‌شود معادله اصلاح شده جنسن- هیز در ایستگاه‌های آباده، داراب، زرقان، سددرودزن، شیراز و فسا منجر به تخمین مناسب‌تر تبخیرتعرق شده است و در ایستگاه لار نیز نتیجه بدست آمده در این تحقیق قابل قبول است؛ اما چنانچه در جدول ۳ مشاهده شد ضریب R^2 خط رگرسیون رابطه (۵) در ایستگاه‌های داراب، فسا و لار کمتر از سایر ایستگاه‌ها است و در جدول ۴ مشاهده می‌شود که مقدار RMSE معادله اصلاح شده جنسن- هیز در این سه ایستگاه بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است و لذا دقت این معادله برای تخمین تبخیر تعرق در سه ایستگاه ذکر شده کمتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. در شکل ۱ نیز تغییرات مقادیر تبخیرتعرق ماهانه محاسبه شده از معادله پنمن- مانتیت و معادله اصلاح شده جنسن- هیز در مرحله ارزیابی نسبت به خط یک به یک در کلیه ایستگاه‌ها و ماه‌های سال ارائه شده است. چنانچه در این شکل مشاهده می‌شود پراکنش نقاط در اطراف خط یک به یک مناسب است که این موضوع نشان‌دهنده مناسب بودن معادله اصلاح شده جنسن- هیز برای تخمین تبخیرتعرق در سطح استان فارس می‌باشد.

نتیجه‌گیری

علیرغم آن‌که در بعضی از تحقیقات انجام شده در دنیا و ایران و از جمله در منطقه باجگاه در استان فارس (سپاسخواه و فولادمند، ۲۰۰۴) معادله جنسن- هیز برای تخمین تبخیرتعرق مناسب تشخیص داده نشده است، اما نتایج این تحقیق نشان داد که معادله اصلاح شده جنسن- هیز از روش ارائه شده برای تخمین تبخیرتعرق ماهانه در استان فارس مناسب می‌باشد. یکی از دلایل مناسب بودن این معادله استفاده از دمای موثر ماهانه به جای میانگین دمای ماهانه می‌باشد که این موضوع با نتایج گزارش شده توسط احمدی و فولادمند (۲۰۰۸) و فولادمند و احمدی (۲۰۰۹) برای سایر معادله‌های تخمین تبخیرتعرق در سطح استان فارس مطابقت دارد. همچنین برای محاسبه تشعشع ورودی خورشید با طول موج کوتاه به سطح زمین در معادله آنگستروم (۱۹۲۴) که از آن در معادله جنسن- هیز استفاده می‌شود به داده‌های اندازه‌گیری شده ساعات آفتابی نیاز می‌باشد که با توجه به عدم اندازه‌گیری این

پارامتر در تمام ایستگاه‌های هواشناسی استفاده از معادله جنسن- هیز محدود می شود. برای حل این مشکل در این تحقیق در مرحله ارزیابی به جای ساعات آفتابی اندازه‌گیری شده در معادله جنسن- هیز از رابطه ارائه شده توسط فولادمند (۲۰۱۲) برای تخمین ساعات آفتابی استفاده شد (رابطه ۶). این جایگزینی منجر به دقت مناسب معادله اصلاح شده جنسن- هیز در سطح استان فارس گردید و لذا مشکل عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری شده ساعات آفتابی برای استفاده در معادله جنسن- هیز نیز برطرف گردید.

جدول (۲): ضریب k در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف سال

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
آباده*	۰/۹۵	۱/۰۱	۱/۱۲	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۳
اقلید**	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۹
ایزدخواست**	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۸۷
تخت جمشید**	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۷۵
داراب*	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۴	۰/۶۱
زرقان*	۰/۷۷	۰/۸۳	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۵۶
سد درودزن*	۱/۰۵	۱/۰۴	۱/۰۲	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۸۰
شیراز*	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۷۷
فسا*	۰/۸۵	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۷۷	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۵۸	۰/۶۵
لار*	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۷۰
نیریز**	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۹۱

* بدست آمده توسط احمدی و فولادمند (۲۰۰۸)، ** بدست آمده در این تحقیق

جدول (۳): ضرایب واسنجی شده a و b و ضریب R^2 خط رگرسیون رابطه (۵) در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف

ایستگاه		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
آباده	a	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷
	b	۰/۵۸	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۶۱
	R^2	۰/۷۰	۰/۸۲	۰/۷۱	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۷۶	۰/۸۳	۰/۶۸	۰/۵۶
اقلید	a	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۷
	b	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۶۸
	R^2	۰/۸۰	۰/۹۱	۰/۷۸	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۸۶
ایزدخواست	a	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۵
	b	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۷۰
	R^2	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۹۲
تخت‌جمشید	a	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۸
	b	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۴۳	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۵۶
	R^2	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۷۸
داراب	a	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۰
	b	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۴۰
	R^2	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۳۴
زرقان	a	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۸
	b	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۷
	R^2	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۹۰	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۵۹	۰/۵۶
سد درودزن	a	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۵
	b	۰/۶۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۶	۰/۶۲
	R^2	۰/۸۸	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۷۸
	a	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۴

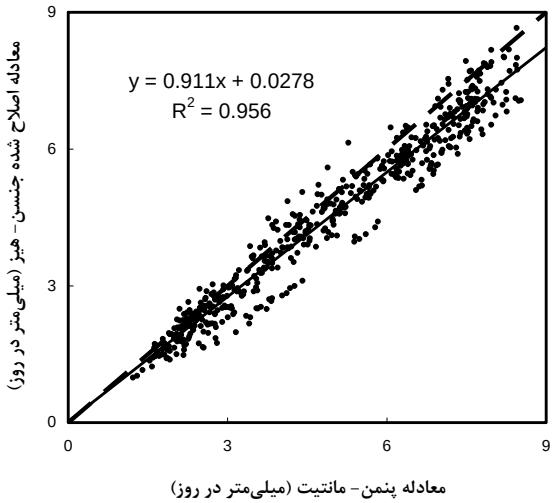
ادامه جدول (۳): ضرایب واسنجی شده a و b و ضریب R^2 خط رگرسیون رابطه (۵) در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف

ایستگاه		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
شیراز	b	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۳۸
	R^2	۰/۷۰	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۵۱
	a	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۱۴
فسا	b	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۴۶	۰/۳۱
	R^2	۰/۴۳	۰/۷۱	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۵۱	۰/۲۷
	a	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۱
لار	b	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۵۲	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۶	۰/۳۱
	R^2	۰/۶۰	۰/۷۶	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۵۲	۰/۳۳
	a	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴
نیریز	b	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۶۰	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۲
	R^2	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۶	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۲

جدول (۴): مقادیر RMSE محاسبه شده در ایستگاه‌های مختلف در مرحله ارزیابی و گزارش شده برای سایر معادله‌های تخمین تبخیرتعرق

ایستگاه	معادله جنسن- هیز	معادله هارگریوز*	شکل جدید معادله هارگریوز*	معادله تورنتوایت*	معادله بلانی- کریدل*
آباده	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۴۲
اقلید	۰/۴۵	----	----	----	----
ایزدخواست	۰/۳۲	----	----	----	----
تخت جمشید	۰/۳۵	----	----	----	----
داراب	۰/۹۶	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۱۶	۱/۲۵
زرقان	۰/۶۵	۱/۶۹	۱/۰۴	۱/۸۷	۱/۰۴
سد درودزن	۰/۴۵	۰/۷۹	۰/۸۵	۰/۶۴	۰/۸۱
شیراز	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۷	۰/۷۲	۰/۴۲
فسا	۱/۰۴	۲/۲۱	۱/۱۸	۲/۱۰	۲/۲۵
لار	۱/۰۵	۱/۱۲	۱/۳۵	۱/۰۲	۱/۰۸
نیریز	۰/۴۵	----	----	----	----
میانگین	**۰/۵۹**	**۱/۱۲**	**۰/۹۵**	**۱/۱۵**	**۱/۰۴**

* گزارش شده توسط فولادمند (۲۰۱۱)



شکل ۱- تغییرات مقادیر تبخیرتعرق ماهانه محاسبه شده از معادله پنمن- مانتیت و معادله اصلاح شده جنسن- هیز نسبت به خط یک به یک در کلیه ایستگاه‌ها و ماه‌های سال

منابع

۱. بابامیری، ا.، ی. دین‌پژوه و ا. اسدی. ۱۳۹۲. واسنجی و ارزیابی هفت روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع مبتنی بر تابش خورشیدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۴. ص. ۱۴۳-۱۵۸.

۲. سبزی‌پرور، ع.ا.، ف. تفضیلی، ح. زارع ابیانه، ح. بانژاد، م. موسوی بایگی، م. غفوری، ا.ا. محسنی موحد و ز. مریجانی. ۱۳۸۷. مقایسه چند مدل برآورد تبخیرتعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک، به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش. آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۲. ص. ۳۲۹-۳۳۹.

۳. شریفان، ح. و ا. علیزاده. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های دمایی و تشعشعی در برآورد حداکثر تبخیر- تعرق با احتمالات مختلف (مطالعه موردی: منطقه گرگان). آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۳. ص. ۱-۹.

۴. علیزاده، ا.، م.ج. خانجانی، ح. تراز و م.ر. رهنورد. ۱۳۸۵. بررسی اثرات اصلاح داده‌های دما بر دقت محاسبات تبخیرتعرق و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از لایسیمتر وزنی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۶. ص. ۹۲-۹۹.

۵. علیزاده، ا.، غ.ع. کمالی، م.ج. خانجانی و م.ر. رهنورد. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیرتعرق در مناطق خشک ایران. تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳. ص. ۹۷-۱۰۵.

۶. موسوی بایگی، م.، ب. اشرف و آ. میان‌آبادی. ۱۳۸۹. ارزیابی چهار مدل تبخیرتعرق گیاه مرجع در یک اقلیم نیمه‌خشک ایران با هدف انتخاب بهترین مدل تابش. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۷، شماره ۴. ص. ۸۷-۱۰۵.

۷. میرزایی، ث.، ع. حسینی شمعچی و م. جهانی. ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق در حوضه آبریز قره‌سو. فضای جغرافیایی، شماره ۲۴. ص. ۱۴۷-۱۶۶.

۸. نجفی، پ. ۱۳۸۵. کاربرد حالت‌های هارگریوز- سامانی و جنسن- هیز در ارزیابی تبخیر- تعرق گیاه مرجع یونجه در اصفهان. دانش نوین کشاورزی، شماره ۵. ص. ۶۳-۷۴.

9. Ahmadi, S.H. and H.R. Fooladmand. 2008. Spatially distributed monthly reference evapotranspiration derived from the calibration of Thornthwaite equation: a case study, South of Iran. Irrig. Sci. 26: 303-312

10. Al-Ghobari, H.M. 2000. Estimating of reference evapotranspiration for southern region of Saudi Arabia. Irrig. Sci. 19: 81-86.

11. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO. United Nations, Rome, Italy.

12. Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quart. J. Roy. Met. Soc. 50: 121-125.

13. Camargo, A.P., F.R. Marin, P.C. Sentelhas and A.G. Picini. 1999. Adjust of the Thornthwaite's method to estimate the potential evapotranspiration for arid and superhumid climates, based on daily temperature amplitude. Rev. Bras. Agromet. 7(2): 251–257 (in Portuguese).

14. Dehghani Sanij, H., T. Yamamoto and V. Rasiah. 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. Agric. Water Manage. 64(2): 91-106.

15. Fooladmand, H.R. 2011. Evaluation of some equations for estimating evapotranspiration in the south of Iran. Arch. Agron. Soil Sci. 57: 741-752.

16. Fooladmand, H.R. 2012. Comparing reference evapotranspiration using actual and estimated sunshine hours in south of Iran. Afric. J. Agric. Res. 7(7): 1164-1169.

17. Fooladmand, H.R. and S.H. Ahmadi. 2009. Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ETo in south of Iran. Irrig. Drain. 58: 234-245

18. Fooladmand, H.R. and M. Haghighat. 2007. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET_o based on Penman-Monteith method. Irrig. Drain. 56: 439-449.

19. Fooladmand, H.R., H. Zandilak and M.H. Ravanan. 2008. Comparison of different types of Hargreaves equation for estimating monthly evapotranspiration in the south of Iran. Arch. Agron. Soil Sci. 54: 321-330.

20. Gavilan, P., I.J. Lorite, S. Tornero and J. Berengena. 2006. Reginonal calibration of Hargreaves equation for estimation of reference ET in a semiarid environment. Agric. Water Manage. 81: 257-281.

21. Irmak, S., R.G. Allen and E.B. Whitty. 2003. Daily Grass and alfalfa-reference evapotranspiration estimates and alfalfa to grass evapotranspiration ratios in Florida. J. Irrig. Drain. Engin. 129(5): 360-370.

22. Itenfisu, D., R.L. Elliott, R.G. Allen and I.A. Walter. 2003. Comparison of refernce evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort. J. Irrig. Drain. Engin. 129(6): 440-448.

23. Jabulani, J. 2008. Evaluation of the potential of using the modified Jensen-Haise model asan irrigation scheduling techniquein Zimbabwe. Elect. J. Environ. Agric. Food Chem.7(14): 2771-2778.

24. Jensen, M.E. and H.R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. Drain. ASCE. 89: 15-41.

25. Kashyap, P.S. and R.K. Panda. 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. Agric. Water Manage. 50: 9-25.
26. Landeras, G., A. Ortiz-Barredo and I.J. Lopez. 2008. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (northern Spain). Agric. Water Manage. 95: 553-565.
27. Pereira, A.R. and W.O. Pruitt. 2004. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. Agric. Water Manage. 66: 251-257.
28. Rosenberry, D.O., D.I. Stannard, C.W. Thomas and M.L. Martinez. 2004. Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood lake area, north Dakota, USA. Wetland Sci. 24(3): 483-497.
29. Sepaskhah, A.R. and H.R. Fooladman. 2004. A computer model for design of microcatchment water harvesting systems for rain-fed vineyard. Agric. Water Manage. 64: 213–232.
30. Temesgen, B., S. Eching, B. Davidoff and K. Frame. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. J. Irrig. Drain. Engin. 131(1): 73-84.
31. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Review. 38: 55–94.
32. Trajkovic, S. and S. Kolakovic. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. Water Resour. Manage. 23: 3057-3067.
33. Ventura, F., D. Spano, P. Duce and R.L. Snyder. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. Irrig. Sci. 18: 163-170.

Modification of Jensen- Haise Equation for Estimating Evapotranspiration in Farce province

H. Reza Fooladmand[1], M. Salooni[2]

Abstract

Accurate estimation of crop water requirement based on evapotranspiration calculation has an important role in improvement of field water management. The Penman-Monteith equation is the most common method for estimating reference crop potential evapotranspiration. However, this equation needs full weatherr data, but a few stations with complete weather data exist in Fars province. On the other hand, the Jensen- Haise equation is a more simple method for estimating reference crop potential evapotranspiration. In this study, using the weather data of some synoptic stations in Fars province, the Jensen- Haise equation was calibrated and then evaluated based on Penman-Monteith method for every month of the year. For this purpose, the calibrated coefficients of the Jensen- Haise equation were determined for all months and all stations, separately. Also, the monthly effective temperature (combinatio of minimum and maximum monthly temperature with a constant coefficient) was used instead of monthly mean temperature in calibration stage, and the results indicated the appropriateness of this replacement for estimating evapotranspiration. Furthermore, the estimated sunshine hours (based on minimum and maximum monthly temperature) were used instead of measured sunshine hours in validation stage in Jensen- Haise equation, and the results indicated the appropriateness of this replacement for good validation of this equation in Fars province. Finally, the results indicated that the adjusted Jensen- Haise equation was appropriate in Fars province.

Keywords: Evapotranspiration, Penman - monteith, Jensen - Haise, Calibration, Validation, Fars province.

1- Assis. Prof of Irrigation and Drainage, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Iran . hrfoolad@yahoo.com
2- Former M.S. Student of Irrigation and Drainage, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Iran