

اصلاح معادله جنسن - هیز برای تخمین تبخیرتغرق در استان فارس

حمید رضا فولادمند^۱، مریم سالونی^۲

تاریخ دریافت ۱۳۹۲/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۰۵

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

برآورد دقیق آب مصرفی گیاه از طریق محاسبه تبخیرتغرق در بهبود مدیریت آب در مزرعه اهمیت بسیار زیادی دارد. معادله پنمن - مانتیت رایج ترین معادله برای برآورد تبخیرتغرق پتانسیل گیاه مرجع می باشد. با این حال، این معادله نیاز به داده های هواشناسی کامل دارد، اما تعداد کمی از ایستگاه های هواشناسی با داده های کامل در استان فارس وجود دارد. از سوی دیگر معادله جنسن - هیز روشی ساده تر برای برآورد تبخیرتغرق پتانسیل گیاه مرجع می باشد. از این رو در این تحقیق معادله جنسن - هیز برمبنای معادله پنمن - مانتیت برای هر ماه از سال با استفاده از داده های هواشناسی ایستگاه های سینوپتیک استان فارس واسنجی و سپس ارزیابی شده است. برای این منظور ضرایب واسنجی شده معادله جنسن - هیز برای تمام ماه های سال در ایستگاه های 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 مناسب تر تبخیرتغرق می شود. همچنین در مرحله ارزیابی به جای ساعات آفتابی اندازه گیری 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 تبخیرتغرق در استان فارس مناسب می باشد.

واژه های کلیدی: تبخیرتغرق، پنمن - مانتیت، جنسن - هیز، واسنجی، ارزیابی، استان فارس

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 تبخیرتغرق با استفاده از لایسی متر وقت گیر و پرهزینه می‌باشد، لذا در بیشتر مواقع برای انجام محاسبات نیاز آبی گیاه از معادله‌های مختلف تخمین تبخیرتغرق 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 این رو استفاده از معادله‌های ساده‌تر که به داده‌های هواشناسی کمتری نیاز دارند قابل توصیه می‌باشد. اما برای استفاده از معادله‌های ساده‌تر تخمین تبخیرتغرق ابتدا باید از مناسب بودن آن‌ها برای منطقه مورد نظر مطمئن شد. برای این منظور نیاز به واسنجی معادله‌های ساده‌تر تخمین تبخیرتغرق به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده لایسی متر می‌باشد، اما چنانچه ذکر شد داده‌های اندازه‌گیری شده لایسی متری نیز در همه جا وجود ندارد. بنابراین در تحقیقات متعددی در سطح دنیا و ایران سایر معادله‌های تخمین تبخیرتغرق بر مبنای معادله پنمن-مانتیت مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته‌اند (بابامیری و همکاران، ۱۳۹۲؛ ونتورا و همکاران، ۱۹۹۹؛ کاشیپ و پاندا، ۲۰۰۱؛ ایرماک و همکاران، ۲۰۰۳، آیتنفسو و همکاران، ۲۰۰۳، دهقانی‌سانبج و همکاران، ۲۰۰۴؛ تمسگن و همکاران، ۲۰۰۵؛ گاویلان و همکاران، ۲۰۰۶؛ لاندراک 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 تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق می‌توان به معادله جنسن-هیز (جنسن و هیز، ۱۹۶۳) اشاره نمود که برای تخمین تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق در مقایسه با سایر معادله‌ها می‌باشد. نتایج تحقیقات علیزاده و همکاران (۱۳۸۳) برای برآورد تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق 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 زیمبابوه و تراجکوچ و کولاکوچ (۲۰۰۹) در نووی ساد صربستان نیز نشان‌دهنده نامناسب بودن معادله جنسن-هیز برای تخمین تبخیرتغرق در مقایسه با سایر معادله‌ها می‌باشد.

چنانچه ذکر شد در چند تحقیق انجام شده در سطح استان فارس معادله‌های ساده تخمین تبخیرتغرق 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

(شامل ایستگاه‌های آباده، اقلید، ایزدخواست، تخت جمشید، 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 تبخیر تعرق 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.

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 تبخیر تعرق نمود. بنابراین هدف اصلی این تحقیق واسنجی و سپس ارزیابی معادله جنسن-هیز برای تخمین تبخیر تعرق ماهانه در سطح استان فارس بر مبنای معادله پنمن-مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق معادله جنسن-هیز (جنسن و هیز، ۱۹۶۳) برای محاسبه تبخیر تعرق ماهانه در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان فارس با حداقل ۱۰ سال آمار

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی بکار رفته در این تحقیق

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

خودداری شده است، اما شکل ساده معادله جنسن-هیز (جنسن و هیز، ۱۹۶۳) به صورت زیر می‌باشد:

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

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

$$ET_o = \frac{23.9(0.025T_{eff} + 0.08)R_a}{59} \left(a + b \frac{n}{N}\right) \quad (3)$$

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 ضرایب ثابت معادله آنگستروم (۱۹۲۴) می‌باشند که در صورت معلوم نبودن برای منطقه مورد نظر به ترتیب برابر $۰/۲۵$ و $۰/۵$ در نظر 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 در نظر گرفته می‌شود:

$$P = \frac{23.9(0.025T_{eff} + 0.08)R_a}{59} \quad (4)$$

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

$$\frac{ET_o}{P} = a + b \frac{n}{N} \quad (5)$$

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 $۰/۵$ در نظر 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

که در آن ET_o : میانگین ماهانه تبخیرتقرق 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 به طور 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 سال‌های 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)، پیرا 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 تبخیرتقرق مناسب‌تر است. دمای مؤثر ماهانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (کامارگو و همکاران، ۱۹۹۹):

$$T_{eff} = 0.5k(3T_{max} - T_{min}) \quad (2)$$

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 ماه‌های 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 تبخیرتقرق 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:

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 تبخیرتغرق در ایستگاه‌های مشترک با این تحقیق نیز آورده شده است و چنانچه دیده می‌شود معادله اصلاح شده جنسن-هیز در ایستگاه‌های آباد، داراب، زرقان، سد رودزن، شیراز و فسا منجر به تخمین مناسب‌تر تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق در سه ایستگاه ذکر شده کمتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. در شکل ۱ نیز تغییرات مقادیر تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق مناسب تشخیص داده نشده است، اما نتایج این تحقیق نشان داد که معادله اصلاح شده جنسن-

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):

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

که در آن n : میانگین ساعات آفتابی روزانه تخمین زده شده در ماه مورد نظر برحسب ساعت و T_{\min} و T_{\max} 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 تبخیرتغرق برای ماه‌های مختلف سال از معادله اصلاح شده جنسن-هیز (رابطه ۳) محاسبه شد و نتایج با مقدار تبخیرتغرق محاسبه شده از معادله پنمن-مانتیت مقایسه گردید. برای این منظور در هر ایستگاه از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) به صورت زیر استفاده شد:

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

که در آن X_i و Y_i به ترتیب مقادیر تبخیرتغرق 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 -0.1 تا 0.14 می‌باشد. همچنین مقدار ضریب b در کلیه ایستگاه‌ها و ماه‌های سال مثبت است و تغییرات آن بین 0.31 تا 0.70 می‌باشد. از طرف دیگر ضریب R^2 خط رگرسیون نیز در

پارامتر در تمام ایستگاه‌های هواشناسی استفاده از معادله جنسن-هیز محدود می‌شود. 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.

هیز از روش ارائه شده برای تخمین تبخیرتغرق 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 تبخیرتغرق 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

جدول ۲- ضریب k در ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف سال

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
آباد*	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

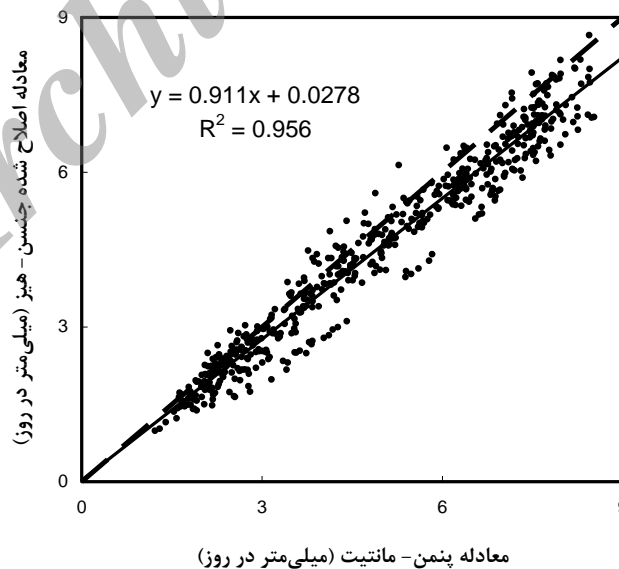
جدول ۳- ضرایب واسنجی شده a و b و ضریب R^2 خط رگرسیون رابطه (۵) در ایستگاهها و ماههای مختلف

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan	ایستگاه
۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۷	a
۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۵۱	۰/۶۰	۰/۵۸	b
۰/۵۶	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۷۰	R^2
۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۶	a
۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۶۹	۰/۶۹	b
۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۹۱	۰/۸۰	R^2
۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	a
۰/۷۰	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۴	۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۶۷	b
۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۴	R^2
۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳	a
۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۶۰	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۴۳	۰/۵۷	۰/۵۹	b
۰/۷۸	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۸۸	R^2
۰/۱۰	۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۳	a
۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۴۵	b
۰/۳۴	۰/۵۸	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۷۰	۰/۶۶	R^2
۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۰	-۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵	a
۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۵۲	۰/۵۴	b
۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۷۴	R^2
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	a
۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۵۴	۰/۶۳	b
۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۸	R^2
۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۹	a
۰/۳۸	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۴۵	b
۰/۵۱	۰/۷۱	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۷۰	R^2
۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۰	a
۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۵۳	۰/۵۶	۰/۵۸	۰/۶۳	۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۳۵	b
۰/۲۷	۰/۵۱	۰/۶۸	۰/۷۴	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۴۳	R^2
۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۶	a
۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۴۰	b
۰/۳۳	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۷۶	۰/۶۰	R^2
۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	a
۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۵۹	b
۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۹	۱/۰۰	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۶	R^2

جدول ۴- مقادیر RMSE محاسبه شده در ایستگاه‌های مختلف در مرحله ارزیابی و گزارش شده برای سایر معادله‌های تخمین تبخیر تفرق

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 تبخیر تفرق ماهانه محاسبه شده از معادله پنمن- مانیتیت و معادله اصلاح شده جنسن- هیز نسبت به خط یک به یک در کلیه ایستگاه‌ها و ماه‌های سال

منابع

۱. بابامیری، ا.، دین‌پژوه، ی. و اسدی، ا. 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.، تفضیلی، ف.، زارع ابیانه، ح.، بانزاد، ح.، موسوی بایگی، م.، غفوری، م.، محسنی موحد، ا. ا. و مریجانی، ز. ۱۳۸۷. مقایسه چند مدل برآورد تبخیرتعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک، به منظور استفاده بهینه از مدل های تابش. آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۲. ص. ۳۲۹-۳۳۹.
۳. شریفان، ح. و علیزاده، ا. 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.، خانجانی، م. ج.، تراز، ح. و رهنورد، م. ر. ۱۳۸۵. بررسی اثرات اصلاح داده های دما بر دقت محاسبات تبخیرتعرق و مقایسه آن با نتایج بدست آمده از لایسیمتر وزنی. جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۶. ص. ۹۲-۹۹.
۵. علیزاده، ا.، کمالی، غ. ع.، خانجانی، م. ج. و رهنورد، م. ر. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیرتعرق در مناطق خشک ایران. تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۳. ص. ۹۷-۱۰۵.
۶. موسوی بایگی، م.، اشرف، ب. و میان‌آبادی، آ. ۱۳۸۹. ارزیابی چهار مدل تبخیرتعرق گیاه مرجع در یک اقلیم نیمه خشک ایران با هدف انتخاب بهترین مدل تابش. پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۷، شماره ۴. ص. ۸۷-۱۰۵.
۷. میرزایی، ث.، حسینی شمعی، ع. و جهانی، م. 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 حالت های 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 Fooladmand, H. R. 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., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 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., Marin, F. R., Sentelhas, P. C., and Picini, A. G. 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. DehghaniSanij, H., Yamamoto, T., and Rasiah, V. 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 Ahmadi, S. H. 2009. Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ET_0 in south of Iran. *Irrig. Drain.* 58: 234-245
18. Fooladmand, H. R., and Haghghat, M. 2007. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET_0 based on Penman-Monteith method. *Irrig. Drain.* 56: 439-449.
19. Fooladmand, H. R., Zandilak, H., and Ravanan, M. H. 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., Lorite. I. J., Tornero, S., and Berengena, J. 2006. Regional calibration of Hargreaves equation for estimation of reference ET in a semiarid environment. *Agric. Water Manage.* 81: 257-281.
21. Irmak, S., Allen, R. G., and Whitty, E. B. 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., Elliott, R. L., Allen, R. G., and Walter, I. A. 2003. Comparison of reference 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 as an irrigation scheduling technique in Zimbabwe. *Elect. J. Environ. Agric. Food Chem.* 7(14): 2771-2778.
24. Jensen, M. E., and Haise, H. R. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drain. ASCE.* 89: 15-41.
25. Kashyap, P. S., and Panda, R. K. 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., Ortiz-Barredo, A. and Lopez, I. J. 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 Pruitt, W. O. 2004. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. *Agric. Water Manage.* 66: 251-257.
28. Rosenberry, D. O., Stannard, D. I., Thomas, C. W., and Martinez, M. L. 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 Fooladman, H. R. 2004. A computer model for design of microcatchment water harvesting systems for rain-fed vineyard. *Agric. Water Manage.* 64: 213-232.
30. Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B. and Frame, K. 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 Kolakovic, S. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resour. Manage.* 23: 3057-3067.
33. Ventura, F., Spano, D., Duce, P., and Snyder, R. L. 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 Fooladmand¹, M. Salooni²

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