

تعیین بهترین مدل محاسبه ضریب تشت در منطقه آمل بر پایه‌ی آنالیز حساسیت

وحید یزدانی^۱، عبدالمجید لیاقت^۲، حدیثه نوری^۳، حمیده نوری^{۴*} و حمید زارع ابیانه^۵

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی آب دانشگاه فردوسی، ^۲ دانشیار^۴، استادیار گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران^۳، دانشجوی کارشناسی ارشد^۵، استادیار گروه آبیاری دانشگاه بوعلی سینا همدان (تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۳/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱۱/۱۹)

چکیده

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET₀) به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در طراحی سیستم‌های آبیاری توسط اندازه‌گیری مستقیم (لایسی‌متری) و یا به‌طور غیر مستقیم (معادلات تجربی) برآورد می‌شود. در شرایط عدم دسترسی به داده‌های دقیق لایسی‌متری می‌توان از روش پنمن مانیتیت فائو (PMF) به‌عنوان روش استاندارد، برای ارزیابی نتایج سایر روش‌های تجربی استفاده کرد. در تحقیق حاضر با ضرب داده‌های چهارده ساله (۱۹۹۴-۲۰۰۷) تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی آمل در مقادیر محاسبه شده ضریب تشت از طریق معادلات گوناگون نظیر کوئنکا (Cuenca)، آلن پروت (Allen and Pruitt)، اشنایدر (Snyder)، اشنایدر اصلاح شده (Modified Snyder)، اورنگ (Orang) و فائو (FAO) مقادیر ET₀ محاسبه شد، و نتایج آن با مقادیر محاسبه شده از روش پنمن مانیتیت فائو مقایسه گردید. سپس حساسیت مدل‌های فوق با ایجاد ±۱۰، ±۲۰ و ±۳۰ درصد تغییر در پارامترهای ورودی سرعت باد و رطوبت نسبی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های نشان داد که برای محاسبه ET₀ روزانه از داده‌های تبخیر از تشت به‌ترتیب روش‌های کوئنکا، اشنایدر، آلن پروت و اورنگ پیشنهاد می‌گردد. برای محاسبه ضریب تشت در دوره‌های ۱۰ روزه می‌توان به‌ترتیب از روش‌های کوئنکا، اشنایدر و آلن پروت استفاده نمود. بررسی‌ها نشان داد که برای تعیین ET₀ ماهانه از داده‌های تبخیر از تشت به‌ترتیب روش‌های اشنایدر، کوئنکا و آلن پروت مناسب‌تر می‌باشند. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که حساسیت روش‌های اورنگ، آلن پروت و اشنایدر اصلاح شده نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی کمتر از سایر روش‌ها است. با استناد به نتایج آماری و تحلیل حساسیت از بین روش‌های فوق مدل‌های آلن پروت و اشنایدر اصلاح شده برای برآورد ضریب تشت در منطقه آمل و سایر مناطق دارای اقلیم یکسان با آن منطقه مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: ضریب تشت، تحلیل حساسیت، تبخیر و تعرق، پنمن مانیتیت فائو، آمل

مقدمه

عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع نظیر چمن یا یونجه در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید به‌طوری که گیاهان مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (Allen, 1991). روش‌های تخمین تبخیر و تعرق در دو گروه روش‌های مستقیم و محاسباتی قرار می‌گیرند. در روش‌های مستقیم بخش کوچک و کنترل شده‌ای از مزرعه را جدا کرده و مقدار تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود. حال آن‌که در روش‌های محاسباتی که می‌توان آن‌ها را روش‌های غیر مستقیم دانست، از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آن‌ها با تبخیر و تعرق و معادلاتی که قبلاً با روش‌های غیر مستقیم واسنجی شده‌اند، تبخیر و تعرق پوشش گیاهی مورد نظر تخمین زده می‌شود (Alizadeh, 2004). در کاربرد روش‌های مذکور، روش مستقیم که در آن مقدار تبخیر و تعرق مستقیماً از لایسی‌متر استفاده می‌شود به دلیل مشکلات احداث و هزینه‌های نسبتاً زیاد عمومیت ندارد. همچنین امکان استفاده از روش غیر

افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به مواد غذایی از یک سو و محدودیت منابع آب و خاک از سوی دیگر، ضرورت و اهمیت توسعه کشاورزی را ایجاب می‌کند. در این راستا تبخیر و تعرق یکی از اجزاء اصلی بیلان آب در طبیعت است و تقریباً در تمام مطالعات آب‌شناسی تا حدی مطرح می‌شود. تبخیر و تعرق در برنامه‌ریزی و توسعه حوزه آبریز یا منابع آب اهمیت خاصی دارد. تعیین و تأمین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، در صورتی که گیاه از لحاظ رطوبت هیچ مشکلی نداشته باشد، از عوامل تعیین کننده برای برنامه‌ریزی و رسیدن به عملکرد محصول بیشتر است (Allen, 1991). در طراحی و برنامه‌ریزی سامانه‌های آبیاری برای تأمین آب مورد نیاز گیاهان به مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع نیاز بوده و این عامل یکی از اجزای اصلی طراحی محسوب می‌شود. تبخیر و تعرق گیاه مرجع

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hnoory@ut.ac.ir

مقادیر روش استاندارد برآورد می‌کند (Irmak, 2002). در تحقیق انجام شده در منطقه گرگان، مقادیر ماهانه ET_0 بدست آمده از لایسی متر زهکش‌دار (در یک دوره کوتاه مدت ۳ ساله) با تعدادی از روش‌های تجربی از جمله روش تشت مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج بدست آمده نشان داد که روش‌های بلانی کریدل و پنمن مانیتیت نسبت به سایر روش‌ها نتایج مطلوب‌تری داشته و استفاده از داده‌های تشت با روش فائو در مراتب بعدی قرار می‌گیرد (Emdad, 1999). در منطقه خراسان نیز مقادیر تصحیح شده تبخیر از تشت با مقادیر ET_0 روش پنمن مانیتیت فائو مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به اینکه ایستگاه‌های مورد بررسی در این تحقیق در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند، نتایج حاصل از آن قابل قبول نبود (Alizadeh, 2000).

در مطالعه انجام شده در منطقه تبریز به منظور تعیین و ارزیابی ضرایب تشت تبخیر کلاس A در سه وضعیت متفاوت یکی داخل مزرعه‌ای پوشیده از چمن (با ارتفاع ۸-۱۵ سانتی-متر) و دو تشت دیگر که در دو ارتفاع ۵۰ و ۸۰ سانتی-متری از سطح زمین در مزرعه یونجه (با حداکثر ارتفاع ۶۴ سانتی-متر) نصب شده بودند. متوسط این ضریب در دوره ۱۰۰ روزه فصل رشد به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۵ و ۰/۶۹ بود در حالی که مقدار متوسط ضریب تشت در همان دوره از روش اشنایدر ۰/۶۷ بوده است. این محققان پیشنهاد نمودند با توجه به آسان بودن نصب و نگهداری تشت در مزرعه یونجه، می‌توان به جای نصب تشت در داخل چمن از تشت نصب شده در ارتفاع ۵۰ سانتی-متری مزرعه برای برآورد (ET_0) استفاده شود. بدیهی است اظهار نظر دقیق‌تر در این مورد نیاز به بررسی‌های بیشتری خواهد داشت (Moradi Dalini, 1999).

با استفاده از داده‌های تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی گرگان مقادیر ET_0 محاسبه و نتایج آن با مقادیر ET_0 روش پنمن مانیتیت فائو مورد مقایسه قرار گرفت. با استفاده از نتایج بررسی‌های رگرسیونی و آماری روش اورنگ و اشنایدر اصلاح شده برای برآورد مقادیر ET_0 روزانه، روش کوئکا، اشنایدر اصلاح شده، آلن پروت برای تخمین مقادیر ET_0 ده روزه و روش‌های اشنایدر اصلاح شده و کوئکا برای محاسبه ET_0 ماهانه در منطقه مطالعاتی به دست آمد (Sharifan, 2006).

هدف از انجام این تحقیق تعیین مناسبترین مدل محاسبه ضریب تشت تبخیر در مقیاس‌های روزانه، ده روزه و ماهانه از بین روش‌های مختلف برای منطقه آمل می‌باشد. سپس با ایجاد تغییرات ± 10 ، ± 20 و ± 30 درصد در مقادیر سرعت باد و رطوبت نسبی، حساسیت روش‌های مورد استفاده در تعیین ضریب تشت نسبت به این تغییرات مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

مستقیم که نیازمند داده‌های هواشناسی است، در ایستگاه‌های هواشناسی که کامل نیستند مقدور نمی‌باشد. بنابراین می‌توان از روش تشت تبخیر به عنوان یک روش ساده و مناسب در برآورد تبخیر و تعرق مرجع استفاده نمود. این روش برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در مناطق مرطوب نتایج خوبی را به دست می‌آورد. شایان ذکر است در حدود ۵۰ روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع وجود دارد و با توجه به فرضیات و داده‌های هواشناسی مختلف استفاده شده در این روش‌ها، اغلب نتایج متفاوتی بدست می‌آید (Grismer, 2002). اغلب تحقیقاتی که در رابطه با مقایسه روش‌های مختلف برآورد ET_0 انجام یافته، روش استفاده از تشت تبخیر در مرتبه بالای جدول رتبه‌بندی قرار گرفته است (Raghuwanshi, 1998). تشت‌های تبخیر کلاس A به علت سادگی و سهولت تفسیر داده‌های آن در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مناطق مرطوب به عنوان وسیله‌ای برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع با دقت زیاد شناخته شده‌اند (Irmak, 2002). Jensen (1990) جزء اولین افرادی بود که موضوع به‌کارگیری مقادیر تبخیر از تشت را برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع مطرح نمود. برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های تشت باید از ضریبی موسوم به ضریب تشت استفاده نمود.

ضریب تشت به عنوان یک عامل ضروری به پارامترهایی نظیر میانگین سرعت باد روزانه، شرایط رطوبتی و طول فاصله‌ای از تشت که دارای پوشش گیاهی است بستگی دارد (Doorenbos, 1977). در زمان ارائه این روش سازمان خواروبار جهانی (FAO) (Food and Agriculture Organization) با استفاده از داده‌های لایسی‌متری منطقه دیویس و کالیفرنیا و با استفاده از روش Doorenbos and Pruitt و نیز با توجه به عدم وجود تشت‌های الکترونیکی، مقادیر ضریب تشت را برای مقادیر طبقه‌بندی شده‌ای از پارامترهای سرعت باد، رطوبت نسبی و فاصله از تشت ارائه نمود که بعداً به عنوان یک روش ارزیابی مقادیر ضریب تشت مورد استفاده قرار گرفت. در دهه‌های اخیر محققانی نظیر Frevert et al (1983)، Allen، Cuenca (1989) and Pruitt (1991)، Shnyder (1992)؛ Orang (1998) برای محاسبه ضریب تشت معادلات مختلفی را ارائه نمودند، که این معادلات توسط دیگر محققان مورد ارزیابی قرار گرفت.

در بررسی‌های انجام شده در یک ایستگاه تحقیقاتی در فلوریدا که دارای اقلیم مرطوب می‌باشد، مقادیر ضریب تشت با استفاده از معادلات Modified Snyder (1982)؛ (1989) Cuenca و اشنایدر اصلاح شده محاسبه گردید. که نتایج حاصله از روش کوئکا به مقادیر روش استاندارد نزدیکتر می‌باشد و روش اشنایدر اصلاح شده مقادیر ET_0 بیشتری را نسبت به

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه هواشناسی مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز در ۱۰ کیلومتری جاده آمل- محمودآباد در مازندران و با اقلیم معتدل واقع شده است. طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۵۸ درجه شمالی و ۵۲/۱۷ درجه شرقی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۵/۵ متر می‌باشد. بر اساس آمار هواشناسی موجود در ایستگاه میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه در طی سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۰۷ به ترتیب ۸۸۲/۶ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای انجام این تحقیق از آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه مذکور طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ استفاده شد. این آمار و اطلاعات شامل درجه حرارت‌های حداقل، حداکثر، رطوبت نسبی (حداکثر و حداقل) ساعات آفتابی و سرعت باد می‌باشند. مقادیر تبخیر از تشت به صورت روزانه برداشت و مورد استفاده قرار گرفت. به منظور سازمان‌دهی، پردازش و اعمال کلیه روش‌های ریاضی، از امکانات و توابع موجود در محیط نرم‌افزار اکسل بهره گرفته شده است. با استفاده از معادله پنمن مانیتث فائو که یکی از مهم‌ترین و عمومی‌ترین معادلات ترکیبی است، مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع برآورد گردید. در این تحقیق به علت عدم وجود داده‌های دقیق لایسی‌متری در دوره دراز مدت، از روش پنمن مانیتث فائو به عنوان روش استاندارد برای ارزیابی سایر روش‌ها استفاده شد. در انتها نتایج حاصل از روش پنمن مانیتث فائو با روش‌های ذیل مورد مقایسه قرار گرفت.

تعیین ضریب تشت (Kp)

برای تعیین ضریب تشت از اطلاعات تشت تبخیر نصب شده در ایستگاه هواشناسی در مرکز توسعه و تکنولوژی هراز استفاده شد. در این راستا از روش‌های کوئنکا، آلن پروت، اشنایدر، اشنایدر اصلاح شده، اورنگ و فائو برای تعیین ضریب تشت استفاده شد که روابط آن‌ها در زیر مشخص گردیده است. معادله ۱ نشان دهنده روش فائو است.

(۱)

$$K_{pen} = 0.61 + 0.00341 RH_{max} (0.000162 \times U \times RH_{max}) + (0.00000959 \times U \times F) + (0.00327 \times U \times \ln(F)) + (0.00289 \times U \times \ln(86.4U)) - (0.0106 \times \ln(86.4U) \times \ln(F)) + (0.00063 \times [\ln(F)]^2 \times \ln(86.4U))$$

Frevert et al (1983) برای محاسبه ضریب تشت معادله

درجه دومی را بسط دادند که تابعی از متوسط روزانه رطوبت نسبی، سرعت باد و فاصله از تشت بود. این معادله در سال ۱۹۸۹ توسط کوئنکا تصحیح گردید که رابطه آن در معادله ۲

ارائه شده است (Cuenca, 1989).

(۲)

$$K_{pen} = 0.475 (2.4 \times 10^4 \times U) + (5.16 \times 10^3 \times RH) + (1.18 \times 10^3 \times F) (1.6 \times 10^5 \times RH) + (1.01 \times 10^6 \times F^2) (8 \times 10^9 \times RH \times U) (1 \times 10^8 \times RH \times F)$$

پس از Allen and Pruitt (۱۹۹۱) معادله غیر خطی (معادله ۳)

را که به پارامترهای هواشناسی نظیر روش فوق بستگی داشت را ارائه نمودند.

(۳)

$$K_{pen} = 0.108 (3.31 \times 10^{-4} \times U) + (0.0422 \times \ln(F)) + (0.1434 \times \ln(RH)) (6.31 \times 10^{-4} \times [\ln(F)]^2 \times \ln(RH))$$

Snyder (۱۹۹۲) گزارش داد که معادله ارائه شده توسط Frevert (۱۹۸۳) بسیار پیچیده است و تحت اقلیم‌های یکسان نسبت به روش Allen and Pruitt (۱۹۹۱) از نتایج متفاوتی برخوردار می‌باشد. لذا برای محاسبه ضریب تشت معادله ساده‌تری را ارائه نمود. معادله وی تابعی از پارامترهای قبلی بود و بعدها این معادله هم اصلاح گردید (روابط ۴ و ۵) Snyder, (1992).

(۴)

$$K_{pen} = 0.482 - (3.76 \times 10^{-4} \times U) + (0.024 \times \ln(F)) + (0.0045 \times RH)$$

(۵)

$$K_{pen_{avg}} = 0.5321 - (3 \times 10^{-4} \times U) + (0.0249 \times \ln(F)) + (0.0025 \times RH)$$

Orang (۱۹۹۸) یکی دیگر از محققانی بود که در زمینه برآورد ضریب تشت تحقیقاتی را انجام داد. در نهایت وی معادله زیر را ارائه کرد.

(۶)

$$K_{pen} = 0.51206 (3.21 \times 10^{-4} \times U) + (0.031886 \times \ln(F)) + (0.00288945 \times RH) (1.07 \times 10^{-4} \times RH \times \ln(F))$$

در کلیه معادلات محاسباتی فوق: Kp ضریب تشت، U سرعت باد بر حسب کیلومتر در روز (در معادله فائو بر حسب متر بر ثانیه)، RH رطوبت نسبی بر حسب درصد و F فاصله سبزیگی از سمتی که باد به سمت تشت می‌وزد بر حسب متر (در ایستگاه مورد مطالعه ۱۷ متر) است.

آنالیز حساسیت

در تمام روش‌های محاسبه ضریب تشت سرعت باد، رطوبت و فاصله سبزیگی دخالت دارند. از طرفی برداشت و ثبت اطلاعات فوق در معرض خطاهای انسانی و سیستماتیک قرار دارد، لذا بررسی تاثیر تغییرات این عوامل در محاسبه ضریب تشت ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس سعی شد با لحاظ اینکه

ترکیبی از دو معیار MBE و RMSE می‌باشد، که مقدار کمتر آن بیانگر دقت بهتر تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط ضرایب تشت نسبت به روش پنمن مانیتث فائو می‌باشد. همچنین برای هر یک از روش‌های مورد نظر مقادیر ET_0 در دوره‌های روزانه، ده روزه و ماهانه محاسبه و نسبت به مقادیر متناظر ET_0 روزانه، ده روزه و ماهانه متناظر مقادیر روش استاندارد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بحث و نتایج

مقادیر ET_0 روزانه

در شکل (۱) مقادیر تبخیر و تعرق روزانه محاسبه شده توسط روش‌های تشت با ضرایب بدست آمده از روش تجربی در مقابل مقادیر ET_0 روزانه محاسبه شده توسط روش پنمن مانیتث فائو برای ایستگاه فوق ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق این شکل و نتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۱)، می‌توان گفت که روش اشنایدر اصلاح شده و کوئنکا به ترتیب دارای بیشترین و کمترین شیب بوده، در حالی که روش اشنایدر و اشنایدر اصلاح شده دارای بیشترین و کمترین ضریب تبیین (R^2) است.

با توجه به شکل (۱)، خط برازش شده در روش اشنایدر اصلاح شده به خط ۱:۱ نزدیکتر از سایر روش‌ها می‌باشد. بیشترین مقادیر پارامترهای آماری MBE، t و RMSE به ترتیب مربوط به روش‌های اشنایدر اصلاح شده، فائو و اشنایدر اصلاح شده بود. لیکن مقادیر MBE، RMSE و t در روش کوئنکا کمتر از سایر روش‌ها می‌باشد. با توجه به شکل فوق می‌توان نتیجه گرفت که همه روش‌ها مقدار ET_0 روزانه کمتری را نسبت به روش استاندارد برآورد می‌نمایند. با استناد به ضرایب موجود در جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبه ET_0 روزانه از داده‌های تبخیر از تشت به ترتیب روش‌های کوئنکا، اشنایدر، آلن پروت و اورنگ پیشنهاد می‌گردد. در این راستا پیشنهاد روش اشنایدر با نتایج Grismer et al (2002) در مناطق کالیفرنیا و Moradi Dalini et al (2000) در تبریز در تعیین ET_0 از روش تشت با ضریب اصلاحی اشنایدر در مقایسه با روش پنمن مانیتث فائو هم راستا می‌باشد. شایان ذکر است که چنین نتیجه‌ای نیز از سوی شریفان و قهرمان (۱۳۸۵) در خصوص دقت بالای روش‌های کوئنکا، اورنگ و آلن پروت در مقیاس روزانه در منطقه گرگان بدست آمد. بررسی‌ها نشان داد که متوسط ضریب تشت توسط روش‌های کوئنکا، آلن پروت، اشنایدر، اشنایدر اصلاح شده، اورنگ و فائو در مقیاس روزانه به ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۷۷، ۰/۸۳، ۰/۶۶، ۰/۷۵ و ۰/۷۱ محاسبه

تغییرات کمتر از ۱۰٪ معنی‌دار نبوده و قابل چشم‌پوشی کردن است و تغییرات بالای ۳۰٪ نیز خارج از خطاهای انسانی و سیستماتیک است، با ایجاد تغییرات ± 10 ، ± 20 و ± 30 درصد در مقادیر سرعت باد و رطوبت نسبی، حساسیت روابط فوق در اثر تغییرات پارامترهای ورودی در برآورد ضریب تشت مورد ارزیابی قرار گیرد.

مقایسه روش‌های محاسبه ضریب تشت

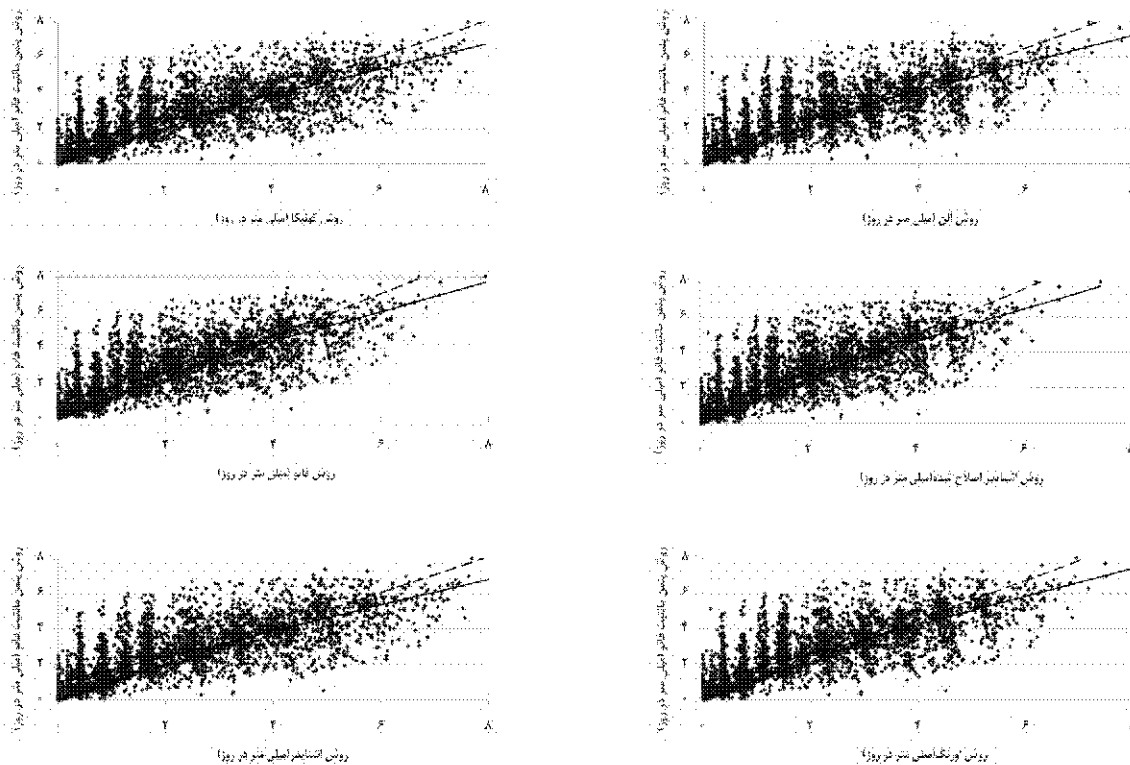
برای هر یک از روش‌های مورد نظر و همچنین روش استاندارد، مقادیر تبخیر و تعرق مرجع روزانه در طی دوره آماری موجود محاسبه شد. سپس مقادیر تبخیر و تعرق مرجع بدست آمده از هر روش در مقابل مقادیر محاسبه شده توسط روش پنمن مانیتث فائو رسم گردید. از این نمودارها برای ارزیابی نتایج معادله تجربی استفاده شد. با رگرسیون‌گیری بین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع بدست آمده از هر روش و مقادیر محاسبه شده توسط روش پنمن مانیتث فائو نتایج حاصل از روش‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی و بررسی روش‌های مختلف محاسبه ضریب تشت از روشی به نام روش اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد. در این روش با محاسبه ضریب همبستگی بین داده‌ها (RMSE)، انحراف نتایج (MBE)، و آزمون t بر اساس روابط ذیل محاسبه گردید (روابط ۷، ۸ و ۹). در روابط آماری زیر (E_s) مقادیر تبخیر و تعرق مرجع بدست آمده از هر روش و (E_o) مقادیر محاسبه شده توسط روش پنمن مانیتث فائو است (Rezaei, 1999).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (E_{si} - E_{oi})^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$MBE = \left(\sum_{i=1}^n (E_{oi} - E_{si}) \right) / n \quad (8)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (9)$$

پارامتر ارزیابی MBE نشان می‌دهد که اولاً آیا تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط ضرایب تشت مقدار متغیر مورد نظر را نسبت به روش پنمن مانیتث فائو کم یا زیاد برآورد می‌کند و ثانیاً مقدار کمی آن چقدر است. زمانی که MBE برابر صفر است، مشخص می‌شود که تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط ضرایب تشت فضای مطالعه شده را خوب برآورد کرده و هیچگونه انحرافی وجود ندارد. ضریب همبستگی هم نشان دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که هر چه مقدار آن بالاتر باشد، این ارتباط نزدیکتر است و اختلاف مقدار برآورد شده با مقدار محاسبه شده کمتر خواهد بود (Rezaei, 1999). پارامترهای MBE و RMSE برای انتخاب بهترین روش تعیین ضریب تشت کافی نمی‌باشد، بنابراین به توصیه جاکوویدز (Jacovides, 1997) از t استفاده می‌گردد. t



شکل ۱- همبستگی مقادیر ET0 روزانه روش‌های تشت با ضرایب بدست آمده از روش تجربی با مقادیر ET0 روزانه روش P-M-F در سال‌های آماری (۱۹۹۴-۲۰۰۷) خط ممتد بیانگر خط رگرسیونی و خط نقطه چین بیانگر خط ۱:۱

جدول ۱- مقادیر پارامترهای آماری ناشی از مقایسه مقادیر تبخیر تعرق مرجع روزانه روش‌های مختلف تشت تبخیر با مقادیر تبخیر تعرق مرجع روش استاندارد (میلی متر در روز)

پارامترهای آماری خط برازش	کوئنکا (Cuenca)	آلن پروت (Allen and Pruitt)	اشنایدر (Snyder)	اشنایدر اصلاح شده (Modified Snyder)	اورنگ (Orang)	فائو (FAO)
MBE	-۰/۴۳	-۰/۵۸	-۰/۴۴	-۰/۸۵	-۰/۶۴	-۰/۷۳
RMSE	۱/۱۸	۱/۱۹	۱/۱۹	۱/۳۱	۱/۲۱	۱/۲۵
T	۴/۵۹	۶/۶۳	۴/۷۴	۱۰/۲	۷/۴۳	۸/۵۳
شیب خط	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۸۴
عرض از مبدا	۱/۰۱	۰/۹۹	۱/۰۱	۱/۰۲	۱	۱
R ²	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۱	۰/۶۱

روش‌های تجربی تشت در مقابل مقادیر ET₀ روش استاندارد برای ایستگاه مورد مطالعه نشان داده شده است. از آنجا که دوره زمانی تبخیر از تشت بزرگتر از بخش قبلی (یک روزه) است، لذا مطابق این شکل می‌توان بهترین معادله برازش شده را طوری تعریف نمود که ضرایب همبستگی بین آن‌ها از حد بالایی برخوردار باشد. همچنین نتایج مربوط به تحلیل آماری در جدول (۲) نشان داده شده است. جدول (۲) نشان می‌دهد که بیشترین ضریب تبیین R² به ترتیب مربوط به روش‌های آلن پروت، اورنگ و اشنایدر اصلاح شده است. از طرفی بهترین خط رگرسیونی روش‌های اشنایدر اصلاح شده و فائو به خط ۱:۱ نزدیکتر از

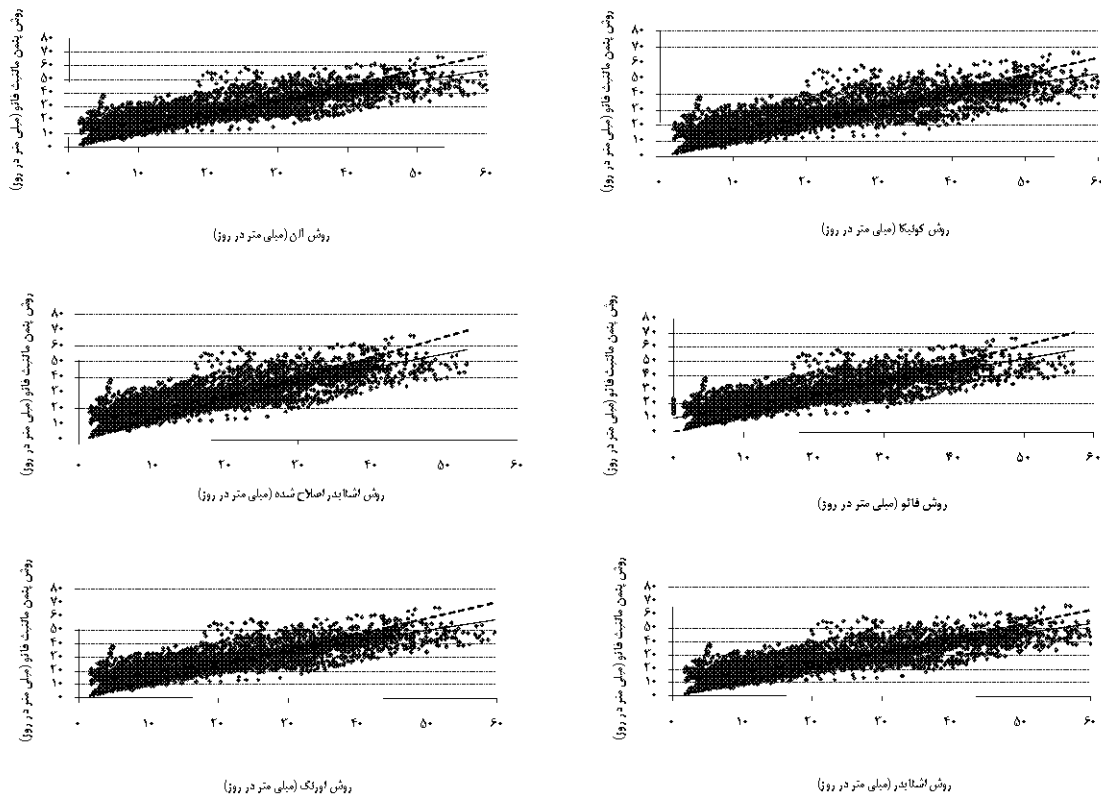
گردید. لذا روش کوئنکا دارای بیشترین متوسط ضریب تشت بوده که این منجر به افزایش تبخیر و تعرق محاسباتی در این روش نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

مقادیر تبخیر و تعرق دوره ۱۰ روزه

از آنجا که دور آبیاری برای تامین آب مورد نیاز گیاهان زراعی و همچنین در برنامه‌ریزی آبیاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و از طرف دیگر معمولاً دور آبیاری محصولات مختلف و عمده منطقه کمتر از ۱۰ روز نیست، لذا مقادیر ET₀ ده روزه (جمع ۱۰ روز متوالی) می‌تواند به‌عنوان یک تیمار مورد ارزیابی قرار گیرد. در شکل ۲ مقادیر ET₀ ده روزه برآورد شده از

مقدار را دارا می‌باشد. با استناد به شکل و جدول (۲) بیشترین شیب خط برازش شده مربوط به روش اشنایدر اصلاح شده می‌باشد در حالی که کمترین شیب خط برازش شده مربوط به روش کوئنکا و اشنایدر است.

سایر روش‌ها است. شایان ذکر است که روش اشنایدر اصلاح شده مقدار تبخیر و تعرق بیشتری را نسبت به سایر روش‌ها تخمین می‌زند. مقادیر MBE، RMSE و t در روش اشنایدر اصلاح شده بیشترین مقدار و در مقابل روش کوئنکا کمترین



شکل ۲- همبستگی مقادیر ET₀ ده روزه روش‌های تشت با ضرایب بدست آمده از روش تجربی با مقادیر ET₀ ده روزه روش P-M-F در سال‌های آماری (۱۹۹۴-۲۰۰۷) خط ممتد بیانگر خط رگرسیونی و خط نقطه چین بیانگر خط ۱:۱

جدول ۲- مقادیر پارامترهای آماری ناشی از مقایسه مقادیر تبخیر تعرق مرجع ده روزه روش‌های مختلف تشت تبخیر با مقادیر تبخیر تعرق مرجع روش استاندارد (میلی متر در روز)

پارامترهای آماری خط برازش	کوئنکا (Cuenca)	آلن پروت (Allen and Pruitt)	اشنایدر (Snyder)	اشنایدر اصلاح شده (Modified Snyder)	اورنگ (Orang)	فائو (FAO)
MBE	-۴/۲۶	-۵/۷۸	-۴/۳۸	-۸/۵۳	-۶/۴۲	-۷/۳۰
RMSE	۸/۶۲	۹	۸/۶۴	۱۰/۶۴	۹/۳۲	۹/۸۳
t	۶/۸۱	۱۰/۰۳	۷/۰۴	۱۶/۰۳	۱۱/۳۷	۱۳/۲۵
شیب خط	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۸۲
عرض از مبدا	۱۰/۳۲	۱۰/۲۶	۱۰/۳۳	۱۰/۳۲	۱۰/۲۸	۱۰/۷۱
R ²	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۷۰	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۷۰

روش‌های تشت با ضرایب بدست آمده از روش تجربی در مقابل مقادیر ET₀ محاسبه شده توسط روش پنمن مانیتث فائو ترسیم و نسبت به خط ۱:۱ و بهترین خط برازش داده شده مورد ارزیابی قرار گرفت. ضمن اینکه نتایج مربوط به روابط آماری و رگرسیونی در جدول (۳) نشان داده شده است. مطابق این شکل و نتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۳)، می‌توان گفت که روش اشنایدر اصلاح شده و کوئنکا به ترتیب دارای بیشترین

با توجه به نتایج فوق در منطقه آمل برای محاسبه ضریب تشت در دوره‌های ۱۰ روزه می‌توان به ترتیب از روش‌های کوئنکا، اشنایدر و آلن پروت استفاده کرد. باید توجه داشت که شریفان و قهرمان (۱۳۸۵) در منطقه گرگان در دوره ده روزه، روش‌های کوئنکا و آلن پروت را پیشنهاد کردند.

مقادیر تبخیر و تعرق دوره ماهانه

در شکل (۳) مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه محاسبه شده توسط

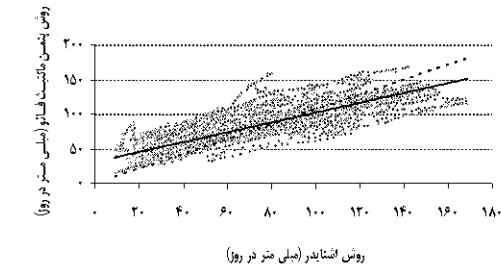
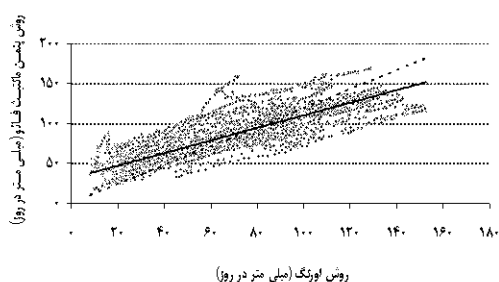
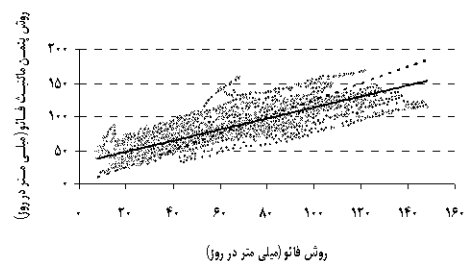
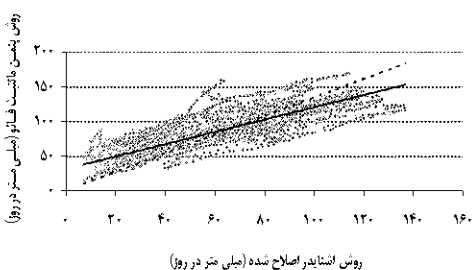
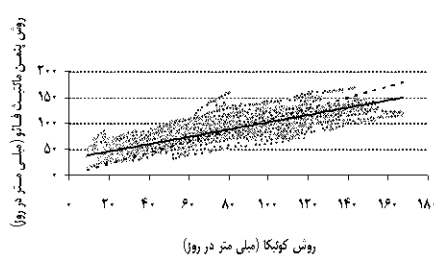
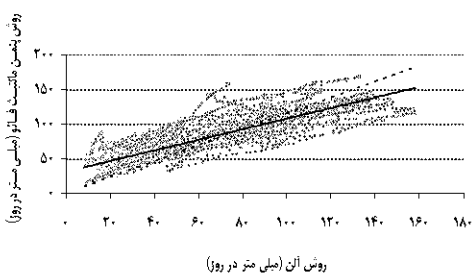
می‌باشد. با توجه به شکل فوق می‌توان نتیجه گرفت که همه روش‌ها مقدار ET_0 ماهانه کمتری را نسبت به روش پنمن مانیت فائو برآورد می‌نمایند. با استناد به ضرایب موجود در جدول (۳) می‌توان نتیجه گرفت که برای محاسبه ET_0 ماهانه از داده‌های تبخیر از تشت به ترتیب روش‌های اشنايدر (Snyder)، کوئنکا و آلن پروت پیشنهاد می‌گردد. چنین نتیجه‌ای نیز از سوی Sharifan and Ghahraman (2006) در خصوص دقت بالای روش‌های کوئنکا و آلن پروت در مقیاس ماهانه در منطقه گرگان به دست آمد.

و کمترین شیب بوده، در حالی که روش آلن پروت و کوئنکا دارای بیشترین و کمترین ضریب تبیین (R^2) است. باید توجه داشت که با افزایش بازه محاسبه تبخیر و تعرق، میزان ضریب تبیین (R^2) نیز بیشتر می‌شود. چنین نتیجه‌ای از سوی Sharifan and Ghahraman (2006) and نیز تایید شده است.

با توجه به شکل و جدول (۳) خط برازش شده در آلن پروت به خط ۱:۱ نزدیکتر از سایر روش‌ها می‌باشد. مقدار RMSE در روش اورنگ حداقل بوده، لیکن مقادیر MBE و t به ترتیب در روش‌های اشنايدر و کوئنکا کمتر از سایر روش‌ها

جدول ۳- مقادیر پارامترهای آماری ناشی از مقایسه مقادیر تبخیر تعرق مرجع ماهانه روش‌های مختلف تشت تبخیر با مقادیر تبخیر تعرق مرجع روش پنمن مانیت فائو (میلی متر در روز)

پارامترهای خط برازش	آماري	کوئنکا (Cuenca)	آلن پروت (Allen and Pruitt)	اشنايدر (Snyder)	اشنايدر اصلاح شده (Modified Snyder)	اورنگ (Orang)	فائو (FAO)
MBE	-۱۲/۸۷	-۱۷/۴۲	-۱۲/۲۰	-۲۵/۶۵	-۱۹/۳۲	-۲۱/۹۵	
RMSE	۲۳/۷۹	۲۵/۳۷	۲۳/۸۸	۳۰/۵۸	۲۳/۳۱	۲۷/۹۷	
t	۷/۶۷	۱۱/۳۷	۷/۹۳	۱۸/۴۲	۱۲/۹۳	۱۵/۱۴	
شیب خط	۰/۷۰	۰/۷۶	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/۷۸	۰/۸۲	
عرض از مبدا	۳۱/۳۳	۳۱/۱۸	۳۱/۳۷	۳۱/۳۵	۳۱/۳۴	۳۱/۳۹	
R^2	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۷۳	



شکل ۳- همبستگی مقادیر ET_0 ماهانه روش‌های تشت با ضرایب بدست آمده از روش تجربی با مقادیر ET_0 ماهانه روش P-M-F در سال‌های آماری (۲۰۰۷-۱۹۹۴) خط ممتد بیانگر خط رگرسیونی و خط نقطه چین بیانگر خط ۱:۱

نتایج آنالیز حساسیت

نتیجه‌گیری

بررسی‌های آنالیز حساسیت بیانگر این است که در تمام روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق حساسیت نسبت به تغییرات در رطوبت نسبی بیشتر از سرعت باد می‌باشد. همچنین حساسیت کلیه مدل‌ها نسبت به تغییر در پارامترهای ورودی در سه ماهه آخر سال کمتر از ماه‌های دیگر است، در مقابل بیشترین حساسیت به تغییرات پارامترهای ورودی مربوط به ماه‌های فصل تابستان بود. با توجه به نمودارها، جداول و بررسی‌های به‌عمل آمده می‌توان نتیجه گرفت که با تصحیح مقادیر تبخیر از تشت توسط هر یک از معادلات تجربی می‌توان مقادیر ET_0 گیاه مرجع را برآورد نمود. لیکن باید معادله‌ای را انتخاب کرد که ET_0 قابل قبولی را برآورد نماید. بر اساس نتایج آماری و آنالیز حساسیت در منطقه آمل برای ET_0 روزانه از داده‌های تشت بهتر است از روش‌های کوئنکا و آلن پروت برای محاسبه ضریب تشت استفاده نمود. همچنین روش‌های کوئنکا، اشنایدر و آلن پروت در تعیین مقادیر ET_0 دوره‌های ده روزه (به‌عنوان یک دور آبیاری) و روش‌های اشنایدر، کوئنکا و آلن پروت برای تعیین ET_0 ماهانه مناسب است.

همانطور که قبلاً ذکر شد حساسیت مدل‌های فوق با ± 10 ، ± 20 و ± 30 درصد تغییر در پارامترهای ورودی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تغییرات در قالب درصد تغییرات در پارامترهای آماری MBE و RMSE در جدول‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. با توجه به نتایج آنالیز حساسیت و جداول (۴) و (۵) کمترین حساسیت نسبت به تغییرات سرعت باد در روش کوئنکا بود. در حالی‌که روش اشنایدر حساسیت بیشتری به تغییرات سرعت باد نسبت به سایر روش‌ها از خود نشان داد. ضمن اینکه در تمام روش‌ها حساسیت نسبت به تغییرات در رطوبت نسبی بیشتر از سرعت باد می‌باشد. روش‌های آلن پروت و اشنایدر اصلاح شده نسبت به سایر روش‌ها حساسیت کمتری به تغییرات رطوبت نسبی دارند و بیشترین حساسیت نسبت به تغییرات رطوبت نسبی در روش کوئنکا مشاهده گردید. در مجموع می‌توان گفت در مواردی که در برداشت پارامترهای ورودی احتمال بروز خطاهای انسانی و سیستماتیک وجود دارد، روش‌های اورنگ، آلن پروت و اشنایدر اصلاح شده به‌دلیل حساسیت کمتر به تغییرات در پارامترهای ورودی نسبت به سایر روش‌ها مناسب‌تر می‌باشند.

جدول ۴- درصد تغییرات مقادیر MBE توسط ایجاد تغییرات در پارامترهای سرعت باد و رطوبت نسبی

روش	تغییر ± 10 درصدی		تغییر ± 20 درصدی		تغییر ± 30 درصدی	
	سرعت باد	رطوبت نسبی	سرعت باد	رطوبت نسبی	سرعت باد	رطوبت نسبی
کوئنکا (Cuenca)	$\pm 0/9$	$\pm 4/27$	$\pm 1/79$	$\pm 8/57$	$\pm 2/69$	$\pm 12/9$
اشنایدر (Snyder)	$\pm 1/18$	$\pm 3/9$	$\pm 2/35$	$\pm 7/8$	$\pm 3/53$	$\pm 11/7$
آلن پروت (Allen and Pruitt)	$\pm 0/98$	$\pm 1/65$	$\pm 1/96$	$\pm 3/5$	$\pm 2/94$	$\pm 5/6$
اشنایدر اصلاح شده (Modified Snyder)	$\pm 0/99$	$\pm 1/18$	$\pm 1/97$	$\pm 3/63$	$\pm 2/95$	$\pm 5/44$
اورنگ (Orang)	$\pm 0/93$	$\pm 2/06$	$\pm 1/85$	$\pm 4/13$	$\pm 2/77$	$\pm 6/19$
فائو (FAO)	$\pm 0/96$	$\pm 2/23$	$\pm 1/95$	$\pm 4/46$	$\pm 2/97$	$\pm 6/68$

جدول ۵- درصد تغییرات مقادیر RMSE توسط ایجاد تغییرات در پارامترهای سرعت باد و رطوبت نسبی

روش	تغییر ± 10 درصدی		تغییر ± 20 درصدی		تغییر ± 30 درصدی	
	سرعت باد	رطوبت نسبی	سرعت باد	رطوبت نسبی	سرعت باد	رطوبت نسبی
کوئنکا (Cuenca)	$\pm 0/71$	$\pm 3/27$	$\pm 1/42$	$\pm 6/69$	$\pm 2/11$	$\pm 10/25$
اشنایدر (Snyder)	$\pm 0/96$	$\pm 3/05$	$\pm 1/89$	$\pm 6/2$	$\pm 2/83$	$\pm 9/44$
آلن پروت (Allen and Pruitt)	$\pm 0/84$	$\pm 1/35$	$\pm 1/66$	$\pm 2/88$	$\pm 2/48$	$\pm 4/64$
اشنایدر اصلاح شده (Modified Snyder)	$\pm 0/94$	$\pm 1/65$	$\pm 1/88$	$\pm 3/32$	$\pm 2/77$	± 5
اورنگ (Orang)	$\pm 0/82$	$\pm 1/71$	$\pm 1/64$	$\pm 3/4$	$\pm 2/47$	$\pm 5/05$
فائو (FAO)	$\pm 0/86$	$\pm 1/91$	$\pm 1/72$	$\pm 3/79$	$\pm 2/58$	$\pm 5/64$

REFERENCES

Alizadeh, A. (2004). *Soil water plant relationship* (3th ed.). Emam Reza university publication. (In Farsi)

Alizadeh, A. Mirshahi, B. Hashemina, S.M. and Sanaei Nejad, H. (2000). Assessment of accuracy of potential evapotranspiration calculated with Hargreaves-Samani and pan evaporation in synoptic station in Khorasan, 43, 51-70. (In Farsi)

Allen, R.G. and Pruitt, W.O. (1991). FAO- 24 reference evapotranspiration factors. Journal of

- Irrigation and Drainage Engineering, *ASCE*, 117 (5), 758-773.
- Cuenca, R.H. (1989). *Irrigation system design: An Engineering Approach*, Prentice-Hall, Englewood cliffs, pp. 133.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 24 (2th ed.). FAO Rome, Italy, PP.156 .
- Emdad, R. and Farshi, A. (1999). Determination of the best empirical formula for estimating evapotranspiration in refrence plant in Golestan. . Journal of Soil and Water Science, 12 (10), 90-95. (In Farsi)
- Frevert, D.K., Hill, R.W. and Braaten, B.C. (1983). Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, *ASCE*, 109(2), 265-270.
- Grismer, M.E., Oran, M., Snyder, R. and Matyac, R. (2002). Pan evaporation to refremce evapotranspiration conversion methods. Jurnal of Irrigation and Drainage Engineering, *ASCE*, 128 (3), 180-184.
- Irmak, S., Haman. D.Z. and Jones. J.W. (2002). Evaluation of class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, *ASCE*, 128(3), 153-159.
- Jacovides, C.P. (1997). Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models, Agriculture Water Management, 3, 95-97.
- Jensen, M.E. and Allen, R.G. (1990). Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. *ASCE Manuals and Reperts on Engineering Practices*, No 70, American Social Civil Engineering, New York, pp. 360.
- Moradi Dalini, A., Nishabori, M., Jahanbakhsh Asl, S and Jafarzade, A., (2000). Determination and evaluation of pan coefficient class A in different condition. Journal of Soil and Water Science, 14 (2), 164-175. (In Farsi)
- Orang, M. (1998). Potential accuracy of the popular non- liner regression equations for estimating pan coefficient values in the original and FAO-24 tables. Unpublished report California Department Of Water Resources, Sacramento, California.
- Raghuwanshi, N.S. and Wallender, W.W. (1998). Converting from pan evaporation to evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 124 (5), 275-277.
- Razavipor, T. and Yazdani, M.R. (1999). Determination crop coefficient of rice and pan coefficient in Gillan (Rasht). 6th soil science conference, Agriculture faculty Ferdosi university, Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Rezaei, A. (1999). Concepts in statistic and probability (1th ed.). Mashhad publication. (In Farsi)
- Sharifan, H. and Ghahraman, B. (2006). Evaluation and comparision of estimated refrence evapotranspiration from evaporation pan with ETO standard method in Gorgan. Journal of Agricultral Science Natural Resource, 13(5), 2-9. (In Farsi)
- Snyder, R.L. (1992). Equation for evaporation pan evapotranspiration comvrsons. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, *ASCE*, 118(6), 977-980.

