ارزیابی مدلهای تخمین تبخیرتعرق گیاه مرجع در سه دسته کلی مبتنی بر دما، تابش و انتقال جرم (مطالعه موردی: شهر اصفهان)

محسن اکبری‌چمنی[۱] ، امیر سلطانی‌محمدی[۲]، امین ابراهیمی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز mohsenakbariii94@gmail.com

[۲]دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز A.soltani@scu.ac.ir

[۳]دانشجویی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز Amin.ebrahimi36@yahoo.com

چکیده

هدف پژوهش حاضر مقایسه نه مدل تخمین تبخیر و تعرق مرجع شامل سه مدل مبتنی بر دسته دمایی، سه مدل مبتنی بر دسته تابشی و سه مدل مبتنی بر انتقال جرم، در شرایط آب و هوای شهراصفهان می‌باشد. برای انجام این تحقیق از اطلاعات ماهانه هواشناسی ایستگاه اصفهان، و دوره آماری ۱۰ ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۷) استفاده شد. نتایج مدل‌های مذکور با خروجی مدل فائو-پنمن-مانتیث مقایسه شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از شاخص‌های آماری R^2، RMSE، MAE استفاده شد. نتایج نشان داد که در بین مدل‌های دسته دمای، مدل هارگریوز سامانی(HG) با ضریب تعیین R^2 معادل ۰/۹۸۷ و در بین مدل‌های دسته تابشی، مدل پریستلی-تیلور(PT) با ضریب تعیین R^2 معادل ۰/۹۴۰ و در بین مدل‌های دسته انتقال جرم، مدل مییر(M) با ضریب تعیین R^2 معادل ۰/۵۶۷، بهترین عملکرد را در منطقه مورد مطالعه دارند. به‌طور کلی مدل‌های دسته دمایی نسبت به دسته‌های تابشی و انتقال جرم بهترین نتایج را داشتند.

کلمات کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، فائو پنمن مانتیث، دمایی، تابشی، انتقال جرم

مقدمه

تبخیر_تعرق گیاه مرجع یک پارامتر مهم برای تعیین نیاز آبی گیاه در روش فائو می‌باشد و از این‌رو برآورد دقیق آن تاثیر به‌سزایی در بهینه کردن مصرف و مدیریت منابع آب دارد [۸]. امروزه بزرگترین مسئله کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کمبود آب و کاهش تدریجی کیفیت منابع آب می‌باشد، اساسی‌ترین راه مقابله با کمبود آب و حفظ کیفیت آن، استفاده بهینه از منابع آب موجود است که به‌نوبه خود لازمه آگاهی از تبخیر و تعرق یا نیاز آبی گیاهان می‌باشد [۸]. دقیق‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع، استفاده از لایسی‌متر وزنی می‌باشد، اما ساخت این نوع لایسی‌متر هزینه بسیار زیادی را به همراه دارد و از طرفی عدم دسترسی به آمارهای این روش، اغلب از روش‌های تجربی برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع و از روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث برای مقایسه نتایج استفاده می‌شود[۱۲]. مدل فائو-پنمن- مونتیت به‌عنوان مدل مرجع برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق مرجع پیشنهاد می‌شود، اما کاربرد آن معمولاً به‌دلیل کمبود داده‌های هواشناسی کامل در بسیاری از مناطق جهان دارای محدویت می‌باشد [۱۰]. مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی و عملکرد مدل‌های مختلف تبخیر و تعرق مرجع در ایران و سایر کشورها انجام شده است. [۱۳]، در سوئیس به‌بررسی تخمین تبخیرتعرق پتانسیل با استفاده از سه روش مبتنی بر دما، تابش و انتقال جرم، پرداختند. نتایج نشان از برتری روش‌های بلانی کریدل و هارگریوز(دسته دمای) و مکینگ و پریستلی-تیلور(دسته تابشی) و روهور(انتقال جرم)، در مقایسه با مدل PMF-56 می‌باشد. [۱۱]، در منطقه ناوی صربستان با انجام تحقیقی بیان کردند، مدل پایه پنمن جایگزین مناسبی برای مدل PMF-56 در منطقه می‌باشد. [۱٤]، تحقیقی را به منظور بررسی پنج مدل والیناتزس و مدل‌های پریستلی-تیلور و تورک انجام داد. بدین طریق از داده‌های هواشناسی ۱۸۱ ایستگاه سینوپتیک ۳۱ استان استفاده شد، نتایج این مدل‌ها با نتایج مدل فائو-پنمن-مانتیث مقایسه شد، که نتایج نشان داد والیانتزاس ۱ برای مرکز و جنوب ایران(۹استان)، والیانتزاس ۲ برای غرب، شرق و شمال ایران(۲۲ استان) مناسب‌تر هستند، علاوه براین در میان مدل‌های داده‌های محدود، والیانتزاس ۲، در ۱۸ استان بهترین مدل می‌باشد. [۱]، در رامهرمز نتایج حاصل از ۲۴ روش تبخیر تعرق گیاه مرجع مبتنی بر دمای هوا، تابشی و انتقال جرم با نتایج حاصله از روش فائوپنمن‌مانتیث مقایسه کردند، نتایج نشان از برتری هارگریوز سامانی در دسته دمای، روش دورنباس و پروت در دسته تابشی، روش‌های WMO و ماهرینگر در دسته انتقال جرم، بهترین روش‌ها شناخته شدند، در کل روش‌های مبتنی بر انتقال جرم بهترین و مناسب ترین روش تبخیر تعرق مرجع در منطقه می‌باشد. [۸]، در منطقه حاجی‌آباد هرمزگان، نتایج یازده مدل تبخیر و تعرق مرجع را شامل پنمن، بلانی_کریدل، تشعشع، تشت تبخیر، پنمن-مانتیث-فائو، پاپاداکیس، جنسن_هیز، هارگریوز_سامانی، تورک و مکینگ، با نتایج داده‌های لایسیمتر مقایسه و بیان کردند مدل‌های بلانی-کریدل و پنمن_مانتیث_فائو به‌ترتیب بیشترین دقت را با داده‌های لایسمتر داشتند و به‌عنوان مناسب ترین مدل‌ها انتخاب شدند. [۲]، نتایج ۲۴ مدل تبخیر و تعرق مرجع با نتایج مدل فائوپنمن‌مانتیث در اقلیم‌های مختلف ایران مورد ارزیابی و مقایسه قراردادند نتایج نشان داد در اقلیم‌های سرد و نیمه خشک، سرد و معتدل، گرم و خشک، سرد و خشک، گرم، مدل مکینگ اصلاح شده و در اقلیم گرم و مرطوب، مدل والیانتزاس ۵ و در اقلیم‌های مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب و مرطوب، مدل دروگرز و آلن برآورد بهتر و نزدیک‌تری به روش فائو-پنمن-مانتیث بوده، و براساس شاخص‌های ارزیابی MAE، RMSE و PE مدل‌های مکینگ اصلاح شده، دروگرز و آلن، والیانتزاس و هارگریوز به عنوان مدل برتر انتخاب شدند. [۳]، به‌مقایسه و ارزیابی ۲۰ روش تبخیر و تعرق گیاه مرجع مبتنی بر سه روش کلی دمای هوا، تابش خورشید و انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند و نتایج روش‌های ذکر شده با خروجی روش فائوپنمن‌مانتیث مقایسه شد. نتایج نشان داد که بهترین معادله برای روش دمای هوا، معادله هارگریوز سامانی و برای روش انتقال جرم، معادله میبر و برای روش تابشی، معادله دورنبوس_پروئیت، به‌عنوان بهترین معادله‌ها برای منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند، که به طور کلی عملکرد روش‌های تابشی بعد از ارزیابی بهتر از سایر روش‌ها بود. [۵]، ۹ روش تبخیر تعرق مرجع مبتنی بر سه دسته کلی دمای هوا، تابشی و انتقال جرم در منطقه لرستان مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج روش‌های مذکور با خروجی روش فائوپنمن‌مانتیث مقایسه شد. نتایج نشان داد که در بین روش‌های مبتنی بر دما، روش‌های هارگریوز سامانی، از بین روش‌های مبتنی بر تابش خورشید، روش مکینگ و از بین روش‌های مبتنی بر انتقال جرم، روش WMO، بهترین عملکرد را با ثبت بیش ترین R^2 و کم‌ترین RMSE داشتند. [٦]، تعداد ۷ روش تخمین تبخیر و تعرق

گیاه مرجع مبتنی بر دسته تابشی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج روش‌های مذکور را با نتایج روش فائوپنمن‌مانتیث مقایسه شد و واسنجی روشها برای تمام ماهها و در طول دوره آماری مذکور در ایستگاهها انجام شد. نتایج آنها نشان داد روش دورنبوس_پروئیت بهترین روش در حوضه مورد مطالعه است. [۷]، عملکرد پنج روش مختلف رابطه والیانتزاس در برآورد تبخیر و تعرق مرجع استان کرمان مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج تحقیق آنها نشان داد بهترین مدل مربوط به والیانتزاس۲ و ضعیف‌ترین مدل مربوط به والیانتزاس ۵ می‌باشد که باتوجه به محدود بودن داده‌های اقلیمی در ایستگاه مورد مطالعه مدل والیانتزاس ۲ جایگزینی مناسبی برای معادله فائو-پنمن-مانتیث در مناطق خشک و نیم‌خشک می‌باشد. [۹]، نتایج ۱۴ روش تبخیر تعرق مرجع شامل دسته دمای(هارگریوز سامانی، بلانی کریدل، تراجکویک)، دسته تابشی (جنسن هیز، آبتیو و ایرماک)، دسته انتقال جرم (ترابرت، WMO و ماهرینگر) و همچنین پنج مدل مختلف روش والیانتزاس (مدل‌های والیانتزاس۱تا ۵)، با نتایج روش فائوپنمن‌مانتیث مقایسه کردند. برای انجام این تحقیق از داده‌های هواشناسی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان مازندران استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش‌های مبتنی بر دسته دمای و تابشی در تمام ایستگاه‌ها بهترین عملکرد را داشتند و در میان روش‌های دسته انتقال جرم، روش ترابرت نسبت به روش-های WMO و ماهرینگر، به داده‌های فائو-پنمن-مانتیث نزدیک‌تر بوده، و همچنین در میان ۵ مدل والیانتزاس، مدل‌های والیانتزاس ۲، ۴ و ۵ بهترین نتیجه را ارائه دادند. [٤]، به بررسی روش‌های مختلف تجربی و ترکیبی برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل دردشت قزوین پرداختند. باتوجه به داده‌های ایستگاه هواشناسی از ۲۸ روش تجربی و ترکیبی در بازه زمانی یک ساله به‌صورت روزانه استفاده کردند، و با مرجع قرار دادن داده‌های لایسی‌متری و تشت‌تبخیر مدل‌های مختلف ارزیابی شدند. و با انجام این تحقیق بیان کردند، روش تجربی هارگریوز سامانی از دسته دمایی بهترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در دشت قزوین است، و در میان روش‌های بررسی شده ضریب تشت، روش اورنگ در مقیاس زمانی روزانه تخمین مناسبی از داده‌های لایسی‌متر داشت. همچنین در میان روش های بررسی شده ضریب تشت، روش اورنگ در مقیاس زمانی روزانه تخمین مناسبی از داده‌های لایسی‌متر داشت.

هدف از این تحقیق ارزیابی مدل‌های تبخیر و تعرق مرجع مبتنی بر دمای هوا و تابشی و انتقال جرم در شهر اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شهر اصفهان با مساحت ۱۵۷۷۴/۳۸۹ کیلومتر مربع بعداز تهران و مشهد، سومین شهر بزرگ ایران است. شهر اصفهان با طول جغرافیای ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی و در مرکز فلات ایران واقع شده‌است. ارتفاع شهر اصفهان از سطح عمومی دریاها در نقاط مختلف آن متفاوت است، به‌طوری که در سواحل رودخانه زاینده‌رود ۱۵۵۰ متر و در مناطق مرتفع شهر تا ۱۶۵۰ متر هم می‌رسد. شهر اصفهان بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم فراخشک سرد می‌باشد. در این تحقیق از اطلاعات هواشناسی دوره آماری ۱۰ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۸) ایستگاه سینوپتیک فرودگاه استان اصفهان که شامل پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، بارش، ساعات آفتابی، حداکثر رطوبت، حداقل رطوبت، رطوبت متوسط، سرعت باد و دمای خشک در مقیاس ماهانه می‌باشد استفاده گردید. برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع از مدل‌های مبتنی بر دمای(هارگریوز- سامانی(HG) ، بلانی- کریدل(BC) و تورنت وایت(TW)) و تابشی(دورنبوس-پروت(DP) ، پریستلی- تیلور(PT) و جنسن هیز(JH)) و انتقال جرم(میییر(M)، پنمن(P) و WMO) استفاده گردید جدول(۱).

در این تحقیق از مدل فائو-پنمن-مانتیث به‌عنوان مبنا، برای مقایسه و واسنجی مدل‌ها استفاده شده و یک روش استاندار برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد.

جدول (۱). نه مدل مختلف تبخیر و تعرق مرجع مبتنی در درسته دمایی و تابشی و انتقال جرم در ایستگاه مطالعاتی اصفهان

دسته	مدل	منبع	معادله
دمایی	هارگریوزسامانی(HG)	Hargreaves and Samani 1985	$ET0 = 0/0023Ra(Tmean + 17/8)\sqrt{Tmax - Tmin}$
	تورنت ویت(TW)	Thornt hwaite 1948	$ET_o = ۱۶N_m(\frac{۱۰T_m}{I})^a$ $a = (۶.۷۵ \times ۱۰^{-۷})I^۳ - (۷.۷۱ \times ۱۰^{-۵})I^۲ - (۱.۷۹۲ \times ۱۰^{-۲})I + ۰.۴۹۲$ $I = \sum i_m$
	بلانی کریدل(BC)	Blaney and criddie ۱۹۵۰	$ET0 = a + b[P(0/46Tmean + 8/13)]$
	پرستلی_تیلور(PT)	Priestley. C. H. B and R. J. Taylor. 1972	$ET_o = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda}$
تابشی	جنسن_هیز(JH)	JENSEN AND HAISE 1963	$ET_o = C_T(T - T_x)R_S$ $C_T = \frac{۱}{۴۵ - (\frac{h}{۱۳۷}) + (\frac{۳۶۵}{e_{s.max} - e_{s.min}})}$ $T_x = ۲.۵ - ۰.۱۴(e_{s.max} - e_{s.min}) - \frac{h}{۵۰۰}$ $e_{s.max} = \exp(\frac{۱۹.۰۸T_{max} + ۴۲۹.۴۱}{T_{max} + ۲۳۷.۳})$ $e_{s.max} = \exp(\frac{۱۹.۰۸T_{min} + ۴۲۹.۴۱}{T_{min} + ۲۳۷.۳})$
	مکینگ(MK)	Makkink.G. F. ۱۹۵۷	$ET_o = ۰.۶۱\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\frac{R_S}{۵۸.۵} - ۰.۰۱۲$
انتقال جرم	میر(M)	Meyer 1926	$ET_o = (۰.۳۷۵ + ۰.۰۵۰۲۶u_۲)(e_s - e_a)$
	پنمن(P)	Penman 1948	$ET_o = ۰.۳۵(۱ + \frac{۰.۹۸}{۱۰۰u_۲})(e_s - e_a)$
	WMO	WMO 1966	$ET_o = (۰.۱۲۹۸ + ۰.۰۹۳۴u_۲)(e_s - e_a)$

در جدول(۱) ET_o: تبخیرتعرق گیاه مرجع(mm/day)، Tmean : متوسط دمای ماهانه(°C)، a و b ضرایب معادله تجربی، P:ضریب روشنایی مربوط به طول روز در ماه مشخص از سال که این ضریب از جداول مرجع به‌دست می‌آید، Tmax، Tmin، Ra: به‌ترتیب متوسط ماهانه دمای بیشنه و کمینه(°C) و تابش برون زمینی($MJ\ m^{-2}day^{-1}$)، ET_o : تورنت وایت برحسب ($mm\ mount^{-1}$)، a ضریب، N_mضریب اصلاحی که از جدول مرجع به‌دست می‌آید، I نمایه حرارتی سالانه Rs : تابش خورشیدی($MJ\ m^{-2}day^{-1}$)، Δ : شیب منحنی فشار بخار($Kpa°C^{-1}$)، γ: ثابت سایکرومتر($Kpa°C^{-1}$)، R_n: تابش خالص خورشیدی($MJ\ m^{-2}day^{-1}$)، h: ارتفاع از سطح دریا برحسب متر T ،متوسط روزانه دما($°C$)، Tmax، Tmin به ترتیب متوسط ماهانه دمای بیشنه و کمینه($°C$)، $e_{s.max}$و$e_{s.min}$ به‌ترتیب حداکثر و حداقل فشار بخار اشباع(Kpa). U_2: متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین(m/s) به‌جز معادله پنمن که بر حسب (Mile/day)، e_s و e_s به‌ترتیب فشار بخار اشباع و فشار بخار واقعی (hp)، e_s-e_a : کمبود فشار بخار اشباع برحسب(hpa)، به‌جز معادله پنمن که بر حسب (mm Hg).

شاخص‌های آماری

برای ارزیابی مدل‌های تبخیر و تعرق مرجع، مدل فائو-پنمن-مانتیث به‌عنوان مدل مبنا در نظرگرفته شد، سایر مدل‌ها با این مدل مبنا مقایسه شد. برای به‌دست آوردن بهترین مدل هر دسته و بهترین مدل در منطقه مورد مطالعه و ارزیابی مدل‌ها از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2[۱])، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[۲])، میانگین خطای مطلق (MAE[۳])، استفاده شد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=.}^{n}((ET_{.,m,i} - \overline{ET_{.,m}}) \times (ET_{.,FAO,i} - \overline{ET_{.,FAO,i}}))^2}{\sum_{i=.}^{n}(ET_{.,m,i} - \overline{ET_{.,m}})^2 \times \sum_{i=.}^{n}(ET_{.,FAO,i} - \overline{ET_{.,FAO,i}})^2} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=.}^{n}(ET_{.,m,i} - ET_{.,FAO,i})^2} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=.}^{n}|ET_{.,m,i} - ET_{.,FAO,i}| \quad (۳)$$

n: تعداد مشاهدات

[۱] Determination of Coefficient
[۲] Root Mean Square Error
[۳] Mean Absolute Error

$ET_{o\,m.i}$ ، $ET_{o.FAO.i}$: به ترتیب مقادیر تبخیر تعرق گیاه مرجع پیش بینی شده با یکی از مدل‌ها و مقدار محاسبه شده با روش فائو پنمن مانتیث i ام (mm/day)

$\overline{ET_{o\,m.i}}$ ، $\overline{ET_{o.FAO.i}}$: متوسط تبخیر و تعرق گیاه مرجع پیش بینی شده با یکی از مدل‌ها و متوسط محاسبه شده فائو پنمن مانتیث برای ماه i ام (mm/day)

نتایج و بحث

با استفاده از داده‌های هواشناسی دوره ۱۰ ساله ایستگاه سینوپتیک شهر اصفهان، نه مدل مختلف تبخیر و تعرق مرجع تخمین زده شد. نتایج حاصل از این مدل‌های تبخیر و تعرق مرجع با نتایج مدل فائوپنمن‌مانتیث مقایسه گردید، نتایج حاصل از این مقایسه در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده‌است.

باتوجه به‌اعداد ارائه شده در جدول(۳)، می‌توان این نتیجه را گرفت که بهترین مدل در دسته‌ی دمایی براساس شاخص آماری ضریب تعیین(R^2) معادل ۰/۹۸۷ و بهترین مدل براساس شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که به‌ترتیب معادل ۰/۶۰۳ میلی‌متر بر روز و ۰/۵۳۶ است، مربوط به مدل هارگریوز سامانی می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقاتی که ذرتی‌پور و همکاران(۱۳۹۶) و طافی و همکاران(۱۳۹۹) انجام دادند مطابق دارد. همچنین مدل‌های بلانی کریدل و تورنت وایت به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول(۳):ارزیابی مدل‌های دسته دمایی با معادله فائو-پنمن-مانتیث توسط شاخص‌های آماری

شاخص آماری	بلانی کریدل(BC)	هارگریوز سامانی(HG)	تورنت وایت(TW)
R^2	۰/۹۸۵	۰/۹۸۷	۰/۹۳۴
RMSE	۰/۷۷۰	۰/۶۰۳	۲/۵۲
MAE	۰/۶۹۶	۰/۵۳۶	۲/۴۴
جمع رتبه	۶	۳	۹

باتوجه به‌نتایج حاصل از مقایسه مدل فائو-پنمن-مانتیث با مدل‌های تابشی که در جدول(۴)، ارائه شده‌است. می‌توان نتیجه گرفت که براساس شاخص آماری R^2 مدل مکینگ با بیشترین ضریب تعیین(R^2) معادل ۰/۹۸۷، بهترین مدل می‌باشد، براساس شاخص‌های آماری کمترین میانگین مربعات ریشه (RMSE)، میانگین خطای مطلق(MAE) که به‌ترتیب معادل ۱/۹۶۱ میلی‌متر بر روز، ۱/۷۴۳ مربوط به مدل پرستلی-تیلور می‌باشد. با توجه به‌نتایج رتبه‌بندی، مدل پرستلی-تیلور و مدل مکینگ بهترین مدل‌ها در دسته تابشی می‌باشند، که نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیق ایکس یو و سینگه (۲۰۰۲)، مطابقت دارد.

جدول(۴): ارزیابی مدل‌های دسته تابشی با معادله فائو-پنمن-مانتیث توسط شاخص‌های آماری

شاخص آماری	مکینگ(MK)	پرستلی_تیلور(PT)	جنسن_هیز(JH)
R^2	۰/۹۸۷	۰/۹۴۰	۰/۹۶۲
RMSE	۴/۱۳۶	۱/۹۶۱	۴/۲۰۷
MAE	۱/۷۵۹	۱/۷۴۳	۲/۵۷۴
جمع رتبه	۵	۵	۷

با توجه به‌نتایج به‌دست آمده از مقایسه مدل فائو-پنمن-مانتیث با مدل‌های انتقال جرم که در جدول(۵)، ارائه شده‌است. می‌توان نتیجه گرفت که براساس شاخص‌های آماری R^2 و میانگین خطای مطلق(MAE) مدل میبر با داشتن به‌ترتیب معادل ۰/۵۶۷ و ۴/۱۴۳ بهترین مدل می‌باشد، و همچنین بهترین نتیجه براساس شاخص آماری کمترین میانگین مربعات ریشه (RMSE) معادل ۵/۰۶۰ میلی‌متر بر روز، مربوط به مدل پنمن می‌باشد. ولی براساس نتایج رتبه‌بندی بهترین مدل‌ها در دسته انتقال جرم مربوط به مدل میبر(M) و پنمن(P) می‌باشد، این تحقیق با مطالعه‌ی که بابامیری و دین پژوه (۱۳۹۵) انجام دادند مطابقت دارد.

جدول(۵): ارزیابی مدل‌های دسته انتقال جرم با معادله فائو-پنمن-مانتیث توسط شاخص‌های آماری

شاخص آماری	میبر(M)	پنمن(P)	WMO
R^2	۰/۵۶۷	۰/۵۶۲	۰/۵۵۵
RMSE	۲۴/۱۲۸	۵/۰۶۰	۵/۰۷۰
MAE	۴/۱۴۳	۴/۳۱۷	۴/۳۵۲
جمع رتبه	۵	۵	۷

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق از نه مدل تخمین تبخیر و تعرق مرجع شامل سه مدل دسته دمایی، سه مدل دسته تابشی و سه مدل دسته انتقال جرم تحت شرایط آب و هوای شهر اصفهان با دور آماری ۱۰ ساله استفاده شد. نتایج مدل‌ها را با نتایج مدل فائو-پنمن-مانتیث مقایسه شد و برای ارزیابی مدل‌ها از ۳ شاخص آماری شامل R^2، RMSE، MAE استفاده گردید. نتایج نشان داد که در بین مدل‌های دسته دمای، مدل هارگریوز سامانی(HG) با ضریب تعیین R^2 معادل ۰/۹۸۷، و براساس نتایج رتبه‌بندی در بین مدل‌های دسته تابشی، مدل پریستلی-تیلور(PT) با ضریب تعیین R^2 معادل ۰/۹۴۰ و در بین مدل‌های دسته انتقال جرم، مدل میبر(M) با ضریب تعیین R^2 معادل ۰/۵۶۷، بهترین عملکرد را در منطقه مورد مطالعه دارا می‌باشند. در یک مقیاس کلی بین نه مدل تخمین تبخیر و تعرق مرجع، مدل هارگریوز سامانی در رتبه اول قرار می‌گیرد. به‌طور کلی مدل‌های دسته دمایی، مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شهر اصفهان می‌باشد، دسته تابشی و انتقال جرم به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

منابع

[۱] الهه ذرتی‌پور، امیر سلطانی‌محمدی، ۱۳۹۶. ارزیابی روش‌های مختلف تخمین تبخیرتعرق گیاه مرجع مبتنی بر دمای هوا، خورشیدی و انتقال جرم در شهرستان رامهرمز، پنجمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران.

[۲] حلیمه پیری، محمدطاهر پوزن، ۱۳۹۸. ارزیابی ۲۴ مدل تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم‌های مختلف ایران، اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۳، ص ۶۲۲_۶۱۱.

[۳] امید بابامیری، یعقوب دین‌پژوه، ۱۳۹۵. مقایسه و ارزیابی بیست روش تخمین تبخیر_تعرق گیاه مرجع مبتنی بر سه دسته کلی دمای هوا، تابش خورشید و انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نشریه علوم آب و خاک(علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی) / سال بیستم/ شماره هفتاد و هفتم.

[۴] رستا نظری، عباس کاویانی، ۱۳۹۵. ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل و تشت تبخیر با مقادیر لایسی‌متر در یک اقلیم نیمه‌خشک(مطالعه موردی:دشت قزوین). اکوهیدرولوژی. دوره ۳، شماره ۱، ص ۳۰-۱۹.

[۵] شکور طافی، آرش بلادی، امیر سطانی‌محمدی، خشایار پیغان، ۱۳۹۹. مقایسه و ارزیابی روش‌های تخمین تبخیرتعرق گیاه مرجع در سه دسته کلی مبتنی بر دما، تابش و انتقال جرم (مطالعه موردی: استان لرستان)، نیوار، دوره ۴۴، شماره ۱۱۱-۱۱۰، دو فصلنامه.

[۶] امید بابامیری، یعقوب دین‌پژوه و اسماعیل اسدی، ۱۳۹۲. واسنجی و ارزیابی هفت روش تخمین تبخیر_تعرق گیاه مرجع مبتنی بر تابش خورشیدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نشریه دانش آب و خاک/ جلد ۲۳، شماره ۴، صفحه‌های ۱۴۳ تا ۱۵۸.

[۷] زهرا قاسمی، ارمغان استکی، شکور طافی، لاله دیوبند، ۱۴۰۰. ارزیابی دقت تخمین تبخیر و تعرق مرجع با پنج مدل مختلف رابطه والیانتزاس (مطالعه موردی: ایستگاه کرمان)، دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی، صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست.

[۸] ابوالفتح مرادی، عبدالحسین ضیائیان، ۱۳۹۸. ارزیابی یازده مدل برآورد تبخیر_تعرق مرجع در منطقه حاجی‌آباد هرمزگان، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۶، ص. ۱۶۳۷-۱۶۲۳.

[۹] شکور طافی، خشایار پیغان، مرضیه باقری خانقانی، تارا صالحی‌پور باورصاد، امیر سلطانی‌محمدی، ۱۴۰۰. ارزیابی چهارده روش تخمین تبخیر_تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی: استان مازندران)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، جلد ۱۵، ص. ۵۲۰-۵۱۰.

[10] Fan, J., Yu, W., Wu, L., Zhang, F., Cai, H., Wang, X., Lu, X., Xiang, Y., 2018. Evaluation of SVM, ELM and four tree-based ensemble models for predicting daily reference evapotranspiration using limited meteorological data in different climates of China, Agricultural and Forest Meteorology 263 225-241.

[11] Trajkovic, S., and Kolakovic, S., 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions, Water Resources Management 23(14) 3057-3067.

[12] Ahmadipour, A., Shaibani, P., and Mostafavi, S A., 2019. Assessment of empirical methods for estimating potential evapotranspiration in Zabol Synoptic Station by REF-ET model, Medbiotech Journal 3(01) pp.1-4.

[13] Xu, C Y., Singh, V P., 2002. Cross Comparison of Empirical Equations for Calculating Potential Evapotranspiration with Data from Switzerland, Water Resources Management 16, 197-219.

[14] Valipour, M., 2015. Investigation of Valiantzas' evapotranspiration equation in Iran. Theoretical and applied climatology, 121(1) 267-278.

[15] Thornthwaite, CW., 1948. An approach toward a rational classification of climate, Geogr Rev 38:55–94.

[16] WMO., 1966. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration, Tech, Pap, (CIMO-Rep) 83.

[17] Priestley, CHB., Taylor, RJ., 1972. On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration using large scale parameters, Mon Weather Rev 100:81–92.

[18] Penman HC., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass, Proc R Soc Lond Ser A 193:120–145.

[19] Makkink, GF., 1957. Testing the Penman formula by means of lysimeters, J Inst Water Eng 11:277–288.

[20] Jensen, ME., Haise, HR., 1963. Estimation of evapotranspiration from solar radiation, J Irrig Drain Div 89:15–41.

[21] Hargreaves, GL., Samani, ZA., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature, Appl Eng Agric1(2):96–99.

[22] Blaney, HF., Criddle, WD., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data, Soil conservation service technical paper 96, Soil conservation service, US Department of Agriculture, Washington.

[23] Meyer, A., 1926. Uber einige Zusammenhange zwischen Klima und Boden in Europa, Chemie der Erde 2:209–347.