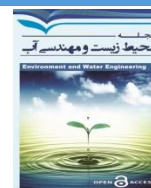




Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Efficiency Comparison of Fuzzy Regression Models with the Penman-Monteith Method in Estimating of Monthly Reference Evapotranspiration of Neyshabour Plain

Sepide Zeraati Neyshabouri^{1*}, Mohsen Pourreza Bilondi², Abbas Khashei-Siuki³ and Ali Shahidi²

¹M.Sc. Alumni, Department of Water Resource Management, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

²Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

³Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

Article information

Received: April 25, 2021

Revised: August 01, 2021

Accepted: August 02, 2021

Keywords:

Efficiency
Evapotranspiration
Neyshabour Plain
Modelling
Regression

*Corresponding author:

sepide_zeraatineyshabouri@birjand.ac.ir



Abstract

In this study, fuzzy linear and fuzzy least-squares regression approach was employed to estimate the monthly reference evapotranspiration of Neyshabour plain. The data used, including maximum temperature (T_{max}), minimum temperature (T_{min}), mean temperature (T_{mean}), relative humidity (RH), solar radiation (R_s) and wind speed (U_2), were obtained from synoptic meteorological station of Neyshabour. Three different scenarios were designed to estimate the evapotranspiration for either fuzzy linear or fuzzy least-squares regression models. Mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2) were used to evaluate the performance fuzzy regression models and its comparison with FAO-56 Penman-Monteith. Results indicated that the fuzzy linear regression model in January and the fuzzy least squares regression model in October had the highest and lowest accuracy with R^2 of 0.903 and 0.502, respectively. Among the new proposed models, the fuzzy linear regression under scenario FLR1 (Inputs included T_{max} , T_{min} , RH and U_2) had the highest accuracy, however, in both regression models, despite having lower input parameters (T_{mean} , RH and R_s), the second scenario, was comparable with other and therefore it can be used in data deficit conditions as an optimal approach in determining ET_0 for irrigation planning and water resource management.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

An accurate calculation of crop reference evapotranspiration (ET_0) is an essential task for water resources projects planning and operation, being involved in problems of water supply and water management, as well as in the economics of multipurpose water projects for irrigation, power, water transportation, flood control, municipal and industrial water uses, and wastewater reuse systems. While lysimeters afford the most accurate method for the direct measurement of ET , they are costly and time-consuming. Considerable research has been undertaken to develop practical, low-cost methods to accurately estimate ET_0 , and this has yielded numerous approaches ranging from empirical equations to data-driven models. As such, the artificial neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system as well as many other approaches has been used to model reference evapotranspiration.

In recent years, fuzzy regression (FR) techniques have been broadly applied to hydrology as well as water resources management and their ability to do so accurately at different time scales, and at a wide range of data, have been well documented. The application of FR methods in estimating the sediment load of rivers as well as water table prediction have been well documented. However, the application of the FR technique to evapotranspiration modeling is limited in the literature. Hence, the objective of this paper is to assess the accuracy of monthly ET_0 estimations using FR methods, in Neyshabour, Razavi Khorasan, Iran when compared with FAO-56 Penman-Monteith.

Materials and Methods

The Neyshabour plain located at longitude and latitude, 35.40° to $36.39^\circ N$ and 58.13° to $59.30^\circ E$. In this study, the fuzzy linear regression (FLR) and fuzzy least square regression (FLSR) approaches were evaluated in order to predict the monthly ET_0 in Neyshabour plain which has been compared with FAO-56 Penman-Monteith. For this propose, meteorological data including maximum temperature (T_{max}), minimum temperature (T_{min}), mean temperature (T_{mean}), relative humidity (RH), solar radiation (R_s) and wind speed (U_2), were obtained from synoptic meteorological station of Neyshabour. Moreover, three different scenarios were designed to estimate the evapotranspiration for either fuzzy linear or fuzzy least-squares regression models as described in Table 1.

Table 1 Different scenarios of fuzzy regression models for estimating evapotranspiration

Regression model	Scenario	Input parameters
FLR	1	$T_{max}, T_{min}, RH, U_2, R_s$
	2	T_{mean}, RH, R_s
	3	T_{mean}, RH
FLSR	1	$T_{max}, T_{min}, RH, U_2, R_s$
	2	T_{mean}, RH, R_s
	3	T_{mean}, RH

FLR: Fuzzy linear regression; FLSR: Fuzzy least square regression

Mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and the coefficient of determination (R^2) were used to evaluate the performance fuzzy regression models and its comparison with FAO-56 Penman-Monteith. The classic regressions compute only a specific output value for each series of input data, whereas fuzzy regression models estimate the boundaries of possible values for the output variables. Therefore, unlike the classical regression, which was based on probability theory, the fuzzy regression is based on possibility and fuzzy sets theory. Fuzzy regression analysis was first proposed by Tanaka et al. (1982). Since membership functions of fuzzy sets are often described as possibility distributions, this approach is usually called possibility regression analysis. The basic concept of fuzzy theory of fuzzy regression is that the residuals between estimators and observations are not produced by measurement errors, but rather by the parameter uncertainty in the model. The fuzzy least squares regression (FLSR) models aim to minimize the difference between observed and calculated data, which was first proposed by Savic and Pedrycz (1991), and combined the least ordinary squares and the method of minimizing fuzziness. In this study, fuzzy linear and fuzzy least-squares regression approach is employed to estimate the monthly reference ET_0 in Neyshabour plain.

Results

Results indicated that the lowest R^2 and the highest RMSE in both FLR and FLSR models were observed in scenario 3 (FLR3 and FLSR3) in which average temperature and relative humidity were used as inputs of model. The comparison of fuzzy regression models showed that although the efficiency of FLR approach in estimation of ET_0 is more appropriate, nevertheless the highest R^2 and the lowest RMSE for both fuzzy regression models (either FLR or

FLSR) is observed in the spring. Thus, it can be demonstrated that the FLR1 and FLSR1 fuzzy regression models (with the highest R^2 and lowest RMSE), which have similar inputs to the required inputs of the FA056-PM equation, represents better performance than other scenarios which indicated the critical effect of wind speed and solar radiation in estimating the evapotranspiration of the reference plant.

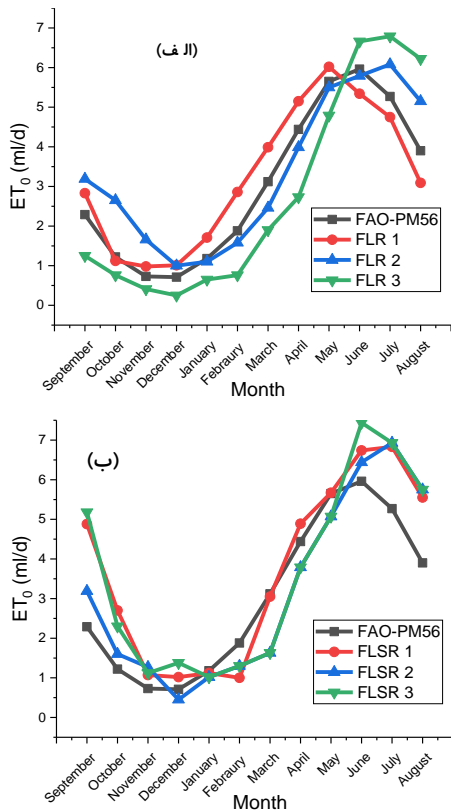


Fig. 1 Comparison of estimated evapotranspiration values by different fuzzy regression and FAO-Penman-Monteith models: a) fuzzy linear regression model and b) fuzzy least square regression model

Consistent with previous reports that indicated to the better performance as well as higher accuracy

in estimation evapotranspiration with models including maximum and minimum temperature, in the present study, the second scenario (which included T_{mean} , RH, R_s) was the most optimal method in both data-driven models based on fuzzy regression namely FLR and FLSR. The fuzzy linear regression model in January and the fuzzy least squares regression model in October had the highest and lowest accuracy with the coefficient of determination of 0.903 and 0.502, respectively. Moreover, in autumn and winter, the validity of fuzzy regression models in comparison with FAO Penman-Monteith is higher than the first half of the year. Moreover, the comparison of estimated evapotranspiration values were made by different fuzzy regression models and FAO-Penman-Monteith were presented in Fig. 1. As can be seen, the fuzzy linear regression model (FLR) has better accuracy and less fluctuations in ET_0 estimation.

Conclusions

Among the new proposed models, the fuzzy linear regression under scenario 1 (Inputs included T_{max} , T_{min} , RH and U_2) has the highest accuracy, however, in both regression models, despite having lower input parameters (T_{mean} , RH and R_s), second scenario, is comparable with other and therefore it can be used in data deficit conditions as an optimal approach in determining ET_0 for irrigation planning and water resource management.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflict of Interests

The authors of this paper declare no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله پژوهشی

مقایسه عملکرد مدل‌های رگرسیون فازی با روش پنمن-مانتیت در برآورد تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع در دشت نیشابور

سپیده زراعتی نیشابوری^{۱*}، محسن پوررضا بیلندی^۲، عباس خاشعی سیوکی^۳ و علی شهیدی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۳ استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۲/۰۵]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۵/۱۰]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۵/۱۱]

واژه‌های کلیدی:

تبخیر و تعرق
 دشت نیشابور
 رگرسیون
 کارایی
 مدل‌سازی

*نویسنده مسئول:

sepideh.zeraatineyhabouri
 @birjand.ac.ir

در پژوهش حاضر از رهیافت‌های رگرسیون فازی به منظور برآورد مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع در دشت نیشابور بهره گرفته شد. داده‌ها شامل دمای حداکثر (T_{max})، دمای حداقل (T_{min})، دمای متوسط هوا (T_{mean})، رطوبت نسبی (RH)، ساعات آفتابی (R_s) و سرعت باد در ۲ m از سطح زمین (U_2) بود. داده‌های مورد استفاده از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک نیشابور اخذ شده و برای هر یک از مدل‌های رگرسیون امکانی و کم‌ترین مربعات فازی، ۳ سناریو مختلف جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع طراحی شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیون فازی در مقایسه با روش استاندارد پنمن-مانتیت از ضریب تبیین، میانگین مربعات خطا و خطای مطلق میانگین استفاده شد. نتایج نشان داد مدل رگرسیون امکانی فازی در ماه دی و مدل رگرسیون کم‌ترین مربعات فازی در ماه مهر با ضریب تبیین به ترتیب ۰/۹۰۳ و ۰/۵۰۲ بیش‌ترین و کم‌ترین دقت را داشت. در بین مدل‌های پیشنهادی جدید، اگرچه مدل رگرسیون امکانی فازی تحت سناریو شماره ۱ بالاترین دقت را داشته، اما در هر دو مدل رگرسیون فازی، سناریو ۲ علی‌رغم دارا بودن پارامترهای ورودی کمتر (T_{min} ، RH و R_s)، دقت قابل‌مقایسه‌ای با سایر سناریوها دارد و لذا می‌توان استفاده از آن را در شرایط کمبود داده به‌عنوان رویکرد بهینه در تعیین ET_0 برای برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب پیشنهاد نمود.

۱- مقدمه

و تعرق، امکان بودجه‌بندی و تخصیص مناسب را فراهم ساخته و لذا بهره‌وری استفاده از آب در سامانه‌های آبیاری را بهبود می‌بخشد (Feng et al. 2016). تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) نشان‌دهنده میزان تبخیر-تعرق از یک سطح مرجع فرضی است و برای بیان تقاضای تبخیر جوی مستقل از

تبخیر و تعرق^۱ (ET) یکی از اجزاء اساسی در فرآیندهای بوم‌شناسی و هیدرولوژیکی به‌شمار رفته و نقش کلیدی در مدیریت منابع آب کشاورزی ایفا می‌کند. برآورد دقیق تبخیر

^۱Evapotranspiration

Shiri et al. (2012) مدلی بر مبنای برنامه‌ریزی بیان ژن^۱ (GEP) و سامانه استنتاج عصبی-فازی^۲ (ANFIS) جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شمال اسپانیا ارائه نموده و گزارش کردند مدل GEP در مقایسه با مدل‌های هارگریوز و پریستلی تیلور در برآورد ET_0 کارایی بهتری دارد. پتانسیل سه شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)، پایه شعاعی (RBN) و شبکه‌های احتمالی (GRNN) در مدل-سازی تبخیر-تعرق مرجع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از عملکرد بهتر شبکه‌های MLP و GRNN در برآورده ET_0 نسبت به روش‌های تجربی بود (Kisi, 2007). Tabari et al. (2012) کارایی روش‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM)، ANFIS، رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و رگرسیون غیرخطی چندگانه (MNL) را با ۴ رابطه مبتنی بر دما و ۸ رابطه مبتنی بر تشعشع، برای مدل-سازی تبخیر-تعرق مرجع در اقلیم‌های کوهستانی نیمه‌خشک ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مدل‌های SVM و ANFIS نسبت به سایر مدل‌ها دقت بهتری داشت. Kisi (2013) کاربرد روش‌های ژنتیک فازی در مدل‌سازی روزانه تبخیر-تعرق مرجع در ترکیه ارزیابی کرده و به دقت بالای مدل‌ها اشاره داشت. اخیراً کاربرد رگرسیون فازی وارد علوم هیدرولوژی شده و مطالعات متعددی از آن به‌عنوان فنی نوین در تحلیل‌های هیدرولوژیکی و تصمیم‌گیری‌های حوزه مدیریت منابع آب استفاده کرده‌اند (Chachi et al. 2014). Shayannejad et al. (2008) تبخیر-تعرق بالقوه را با استفاده از ۵ متغیر مستقل به سه روش پنمن-مانتیت، شبکه‌های عصبی و رگرسیون فازی برآورد نمودند. نتایج حاصل در مقایسه با داده‌های لایسیمتر نشان دهنده برتری رگرسیون فازی نسبت به دور روش دیگر بود. (Javaheri et al. 2005) عملکرد روش‌های رگرسیون آماری و فازی را در برآورد بار رسوبی رودخانه‌های کارون و دز مقایسه نموده و گزارش کردند رویکرد فازی نسبت به روش‌های معمول آماری برآورد دقیق-تری داشته و مقادیر محاسباتی مدل فازی با داده‌های مشاهداتی تطابق بهتری دارند. همچنین مدل‌های رگرسیون فازی در برآورد تراز سطح ایستابی، بازسازی داده‌های گمشده سالیانه بارش و پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه نیز

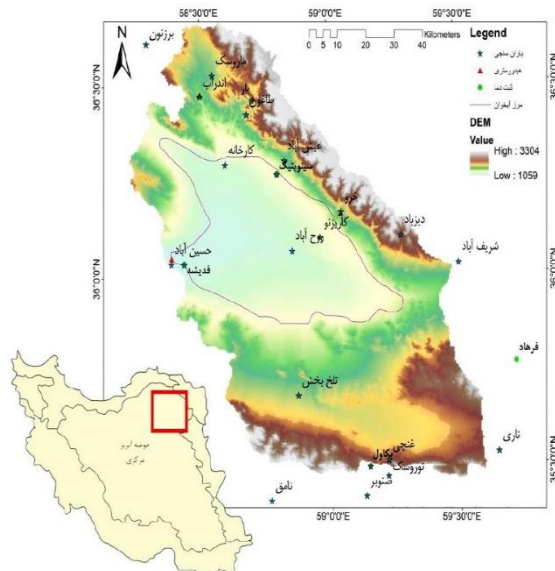
شیوه‌های مدیریتی (برای مثال نوع گیاه و مرحله بلوغ) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Martí et al. 2015). تخمین بیش‌ازحد آب موردنیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندآبی شدن اراضی، شست‌وشوی مواد غذایی و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی شده و از سوی دیگر تخمین کمتر نیز باعث اعمال تنش خشکی به گیاه و کاهش محصول می‌گردد (Hulme et al. 1994). بنابراین تخمین صحیح تبخیر و تعرق مرجع به‌منظور بهبود بهره‌وری سامانه‌های آبیاری، استفاده مجدد از آب و کنترل زهکشی، ضروری است (Shiri et al. 2014). امروزه با توجه به مسئله بحران آب و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق، اطلاع از وضعیت آبی تبخیر و تعرق مرجع و پیش‌بینی آن، می‌تواند به تصمیم‌گیری‌ها برای برنامه‌ریزی استفاده از منابع آب و روش‌های مدیریتی مناسب برای آینده کمک کند.

تبخیر و تعرق مرجع با روش‌های متفاوتی اندازه‌گیری می‌شود که متداول‌ترین آن استفاده از رویکردهای تجربی است. ET_0 قدرت تبخیر اتمسفر در محل خاص و زمان مشخص از سال را بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های گیاه و خصوصیات خاک، بیان می‌کند (Torres et al. 2011). Allen et al. (1998) اظهار داشتند متغیرهای اقلیمی، تنها عامل اثرگذار بر تبخیر و تعرق مرجع بوده و بنابراین می‌توان با استفاده از معادلات تجربی و نیمه تجربی داده‌های هواشناسی، تبخیر و تعرق مرجع را محاسبه نمود. برای پیش‌بینی ET_0 بسیاری از روش‌ها براساس داده‌های اقلیمی پیشنهاد شده و روش فائو پنمن-مانتیت بر پایه اصول آئرودینامیک و توازن انرژی تمام عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع را در نظر گرفته و به‌عنوان تنها مرجع و روش استاندارد برآورد ET_0 مورد استفاده قرار می‌گیرد (Allen et al. 1998). با این حال در این روش بسیاری از متغیرهای اقلیمی از جمله سرعت باد، تشعشع خورشیدی، رطوبت و دما موردنیاز بوده و محاسبه آن بسیار پیچیده است، کما اینکه در برخی مواقع به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، این متغیرهای در ایستگاه‌های هواشناسی در دسترس نبوده و یا ناقص هستند (Traore et al. 2010). در دهه‌های اخیر از آنجا که اثرات متقابل بین پارامترهای هواشناسی دخیل در محاسبه تبخیر و تعرق مرجع سبب شده تا روابط محاسباتی آن غیرخطی و پیچیده باشند، لذا استفاده از مدل‌های ریاضی و برنامه‌ریزی در محاسبه آن گسترش یافته است (Baba et al. 2013).

¹Gene expression programming

²Adaptive neuro-fuzzy inference system

نیمه‌خشک بوده و میانگین دمای ماهانه در ایستگاه بار (معرف مناطق کوهستانی) 13°C و در ایستگاه محمدآباد-فدیشه (معرف مناطق دشتی) $13/8^{\circ}\text{C}$ گزارش شده است (Velayati 2000). همچنین، میزان بارندگی سالیانه آن به‌طور متوسط برای کل دشت 292 mm و میانگین تبخیر نیز برای کل حوضه 2335 mm/yr می‌باشد (Yavari et al. 2013).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در استان و کشور
Fig. 1 Map of the study area and its location in the province and country

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک نیشابور در استان خراسان رضوی استفاده شد. داده‌های آماری مورد استفاده از سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی دریافت و نسبت به استخراج مقادیر فصلی و ماهانه‌ی آن اقدام شد. این داده‌ها شامل دمای حداکثر (T_{max} , $^{\circ}\text{C}$), دمای حداقل (T_{min} , $^{\circ}\text{C}$), دمای متوسط (T_{ave} , $^{\circ}\text{C}$), رطوبت نسبی (RH , %), ساعات آفتابی (R_s), و سرعت باد در 2 m از سطح زمین (U_2 , m/s) بود. آموزش مدل براساس 70% از سری داده‌ها انجام شد و 30% باقی‌مانده نیز برای آزمون مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که روش فائو پنمن-مانتیت در میان روش‌های مختلف تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع همواره بیشترین دقت را دارا بوده، به‌عنوان روش استاندارد جهانی برای مقایسه نتایج با مدل‌های رگرسیون فازی طراحی شده استفاده گردید. پس از تهیه داده‌های مورد نیاز، برای هریک از مدل‌های فازی، ۴

مورد استفاده قرار گرفته است (Sadatinejad et al. 2011; Zeraati Neyshaburi et al. 2020).

منابع آب در کل دنیا به اثرات تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی حساس بوده و از این‌رو، تعیین تبخیر و تعرق یکی از مراحل اولیه برای حفظ منابع آب است (Feng et al. 2016). از طرفی به علت پیچیدگی و عدم دانش کافی در مورد فرآیندهای فیزیکی در چرخه هیدرولوژی از جمله تبخیر-تعرق، ساخت روش‌های محاسبات نرم و مدل‌های داده محور و گسترش استفاده از آن، همواره مورد توجه محققان بوده است. در ایران نیز با توجه به مسئله بحران آب و نیاز به برنامه‌ریزی دقیق برای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی منابع آب و انتخاب روش‌های مدیریتی مناسب، این موضوع ضروری است. دشت نیشابور به لحاظ حاصلخیزی یکی از مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی است که به دلیل برداشت بی‌رویه و تخریب منابع آبی از سال ۱۳۶۵ به‌عنوان دشت ممنوعه بحرانی اعلام شده است (Abtahi et al. 2015). تأثیرپذیری و حساسیت منابع آب منطقه ایجاب می‌نماید که با توجه به مجهول بودن اطلاعات جوی در آینده، برای برنامه‌ریزی منابع آب و مدیریت آبیاری، تبخیر-تعرق مرجع به‌درستی برآورد گردد. در سال‌های اخیر نیز مطالعات نشان داده استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی و تحلیل رگرسیون قادر به ارائه الگوی مناسبی جهت انطباق با پیچیدگی سیستم‌های طبیعی دارد (Spiliotis et al. 2018). لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی رهیافت رگرسیون فازی در ایجاد نداشت بین پارامترهای هواشناسی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع و مقیاس دقت این رویکرد با روش استاندارد پنمن-مانتیت انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه جغرافیایی دشت نیشابور به طول جغرافیایی 31° تا 36° و عرض جغرافیایی 30° تا 40° در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود واقع است (شکل ۱). وسعت کل حوضه 7293 Km^2 می‌باشد که 3400 Km^2 آب را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه منطقه با ارتفاع حدود 3300 m بالاتر از سطح دریا، در ارتفاعات بینالود واقع شده و پایین‌ترین نقطه در خروجی دشت حدود 1050 m از سطح دریا بلندتر است. مطابق طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، آب‌وهوای حاکم بر منطقه از نوع خشک تا

سناریو مختلف برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع طراحی شد (جدول ۱).

جدول ۱- سناریوهای مختلف مدل رگرسیون در برآورد تبخیر و تعرق

Table 1 Different scenarios of regression model for estimating evapotranspiration

Regression model	Scenario	Input parameters	Descriptions
Fuzzy linear regression	1	$T_{max}, T_{min}, RH, U_2, R_s$	دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد
	2	T_{mean}, RH, R_s	دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی
	3	T_{mean}, RH	دمای متوسط، رطوبت نسبی
Fuzzy least-squares regression	1	$T_{max}, T_{min}, RH, U_2, R_s$	دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد
	2	T_{mean}, RH, R_s	دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی
	3	T_{mean}, RH	دمای متوسط، رطوبت نسبی

۵۶)، روش فائو-پنمن-مانتیث را به عنوان روش استاندارد برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع معرفی نمود (Heydarpur et al. 2007). در پژوهش حاضر نیز بر مبنای اطلاعات اقلیمی تهیه شده مقادیر ماهانه تبخیر-تعرق گیاه مرجع تعیین شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma[890/(T + 273)]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

مجموعه‌های فازی پایه‌گذاری شده است. به‌طور کلی برای برازش یک معادله رگرسیون خطی فازی سه دسته مدل شامل مدل‌های رگرسیون امکانی فازی، مدل‌های رگرسیون کم‌ترین مربعات فازی و مدل‌های رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه‌ای وجود دارد (Wang et al. 2000).

۲-۵- مدل رگرسیون امکانی فازی در برآورد تبخیر -

تعرق گیاه مرجع

مدل‌های رگرسیون امکانی فازی اولین بار توسط Tanaka et al. (1982) ارائه شد. این مدل‌ها بهترین معادله رگرسیون را با کمینه کردن میزان فازی بودن به دست می‌دهند. این کار با کمینه کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می‌شود. یکی از مدهای رگرسیون فازی امکانی مدلی است که در آن ضرایب فازی است و ورودی و خروجی مشاهده‌ای غیرفازی است. شکل کلی تابع رگرسیون فازی به صورت رابطه (۲) است.

$$= \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1 X_1 + \tilde{A}_2 X_2 + \tilde{A}_3 X_3 + \dots + \tilde{A}_n X_n \quad (2)$$

که، ضرایب $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_n$ و اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده‌ای یعنی $X_0, X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ و X_n اعداد معمولی می‌باشند. با توجه به رابطه ذکر شده برای هر n متغیر ورودی، یک عدد فازی مانند \tilde{Y} به عنوان خروجی

۲-۳- محاسبه تبخیر-تعرق به روش فائو پنمن -

مانتیث

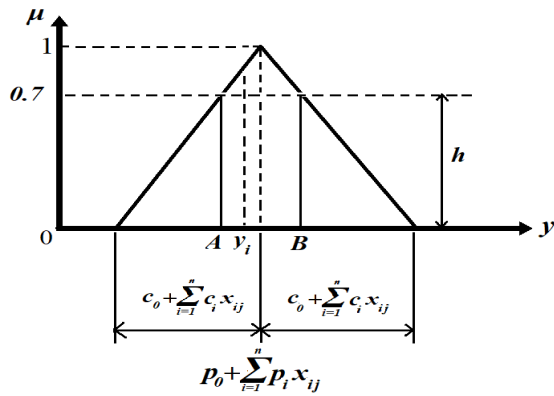
روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است که هر کدام از نظر داده‌های مورد نیاز تا حدودی با یکدیگر تفاوت دارند. فائو در سال ۱۹۸۸ (نشریه

(۱)

که، ET_0 تبخیر-تعرق مرجع (mm/d)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($MJ/m^2/d$)، G شار گرمایی خاک ($MJ/m^2/d$)، T میانگین روزانه دمای هوا ($^{\circ}C$)، U_2 سرعت روزانه باد در ارتفاع ۲ m (m/s)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($kPa/^{\circ}C$) و γ ضریب ثابت رطوبتی ($kPa/^{\circ}C$) می‌باشد.

۲-۴- مدل رگرسیون فازی

در رگرسیون کلاسیک فرض می‌شود متغیرها و مشاهدات مربوط به آن‌ها دقیق هستند و خطای مدل نیز از دو منبع حذف فاکتورهای تأثیرگذار و خطاهای تصادفی در حین برداشت داده، ناشی می‌شود. در صورتی که در بسیاری موارد ممکن است برخی از مفروضات فوق برقرار نباشد، لذا می‌توان رگرسیون فازی یا به عبارت دقیق‌تر، رگرسیون در محیط فازی را جایگزین رگرسیون کلاسیک نمود. برخلاف رگرسیون آماری که به ازای هر سری از متغیرهای ورودی تنها یک مقدار مشخص برای متغیر وابسته محاسبه می‌گردد، در رگرسیون فازی بازه‌ای از مقادیر ممکن برای متغیر خروجی تخمین زده می‌شود. این مقادیر به وسیله یک توزیع امکانی که به صورت تابع عضویت نشان داده می‌شود، مشخص می‌گردند. بنابراین رگرسیون فازی بر اساس تئوری امکان و



شکل ۳- تابع عضویت خروجی فازی (Moskowitz and Kim, 1993)

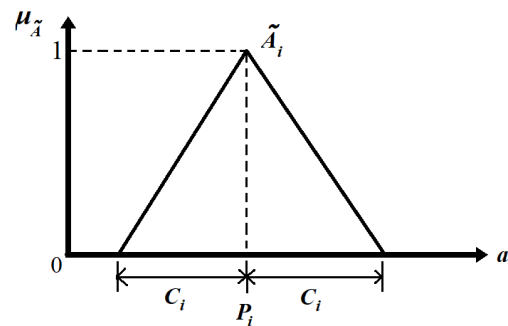
Fig. 3 Fuzzy Outbound Membership function (Moskowitz and Kim 1993)

با افزایش مقدار h میزان فازی بودن خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابد. مقدار h را می‌توان به‌عنوان سطح اعتبار مدل تعریف کرد (Moskowitz and Kim, 1993). رابطه (۵) بیان می‌کند که خروجی فازی باید بین دو مقدار A و B که در شکل (۳) مشخص شده‌اند، قرار گیرد. با توجه به رابطه (۴)، مرکز و پهنای تابع عضویت خروجی به‌ترتیب برابر با $p_0 + \sum p_i \times ij$ و $c_0 + \sum c_i \times ij$ در نظر گرفته می‌شود. برای حل مسائل رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها تبدیل مسئله رگرسیون خطی فازی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است.

۲-۶- مدل رگرسیون کمترین مربعات فازی در برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع

یکی دیگر از رویکردهای حل مسائل رگرسیون خطی فازی، استفاده از روش کمترین مربعات فازی است. در مدل‌های رگرسیون امکانی هدف کمینه‌کردن مجموع فازی بودن ضرایب معادله بود درحالی‌که در مدل‌های رگرسیون کمترین مربعات، هدف کمینه کردن اختلاف بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی می‌باشد (Koureh Pazan Dezfuli 2015). برای این کار روش‌های متعددی پیشنهاد شده یکی از آن‌ها روش ارائه شده توسط (Savic and Pedrycz 1991) می‌باشد که ترکیبی از کم‌ترین مربعات معمولی و روش کمینه کردن میزان فازی بودن است. به‌این منظور در ابتدا ضرایب رگرسیون کم‌ترین مربعات معمولی برای داده‌های مشاهده‌ای از رابطه (۶) محاسبه شد (Koureh Pazan Dezfuli, 2015).

به دست آورده می‌شود. هدف این است که براساس یک مجموعه از داده‌های مشاهده‌ای، ضرایب فازی مربوط به رابطه مذکور یعنی $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \dots, \tilde{A}_n$ به‌گونه‌ای به‌دست آورده شود که معادله بهترین برازش را بر روی داده‌های مشاهده‌ای داشته باشد. در بیش‌تر مسائل طبیعت ورودی‌ها قطعی و خروجی‌ها فازی هستند. حال فرض کنید مقدار m سطر داده مشاهده‌ای وجود دارد و در هر سطر n متغیر ورودی (X_{ij}) و یک متغیر خروجی می‌باشد. هم‌چنین فرض کنید عدد فازی به‌صورت مثلثی متقارن به شکل (۲) باشد (در این شکل C_i پهنای عدد و P_i مرکز عدد فازی). در این صورت، تابع عضویت را می‌توان به‌صورت رابطه (۳) نوشت.



شکل ۲- تابع عضویت ضرایب فازی

Fig. 2 Fuzzy Coefficient Membership Function

$$\mu_{\tilde{A}_i}(a_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|p_i - a_i|}{c_i} & p_i - c_i \leq a_i \leq p_i + c_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

عدد فرضی a در شکل (۲) برای نشان دادن مقدار «تقریباً برابر p_i » می‌باشد و c_i نشانگر میزان فازی بودن آن است. این مفهوم را می‌توان به‌شکل $A_i = (p_i, c_i)$ نمایش داد. بنابراین رابطه رگرسیون فازی به‌صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$\tilde{Y} = (d \ c) + (d \ c)x + (d \ c)x + (d \ c)x + \dots + (d \ c)x \quad (4)$$

در این حالت که داده‌ها، غیر فازی هستند، هدف مدل رگرسیون تعیین مقادیر بهینه A است به‌گونه‌ای که درجه عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معینی مانند h که توسط کاربر تعیین می‌شود، بزرگ‌تر گردد. به‌بیان‌دیگر برای m سطر داده ($J=1, 2, 3, \dots, m$) باید نامساوی زیر (رابطه ۵) صادق باشد.

$$\mu_{y_i}(y_i) \geq h \quad (5)$$

مشاهده‌ای غیر فازی می‌باشد، استفاده گشت. بنابراین برای هر دو مدل رگرسیون امکانی و کم‌ترین مربعات فازی و هرکدام از زوج داده‌های مشاهده‌ای، روابط (۷) و (۸) به‌طور جداگانه نوشته می‌شود. براساس روابط مذکور تعداد m نامعادله تشکیل شده، برای حل مسائل رگرسیون خطی فازی، الگوریتم‌های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن‌ها تبدیل مسئله رگرسیون خطی فازی به یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است (Koureh Pazan Dezfuli 2015). بنابراین برای حل یک مسئله رگرسیون فازی، طبق مطالب بیان‌شده، کافی است که یک مدل برنامه‌ریزی خطی براساس معادلات ارائه شده در جدول (۲) حل شود.

جدول ۲- مدل برنامه‌ریزی برای حل رگرسیون خطی با مشاهدات غیر فازی

Table 2 Planning Model for Solving Linear Regression with Non-Fuzzy Observations

$\hat{Y} = \hat{A}_0 + \hat{A}_1 X_1 + \hat{A}_2 X_2 + \dots + \hat{A}_n X_n$	معادله رگرسیون
$Minimize = mc + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n C_{ij} X_{ij} $	تابع هدف (رابطه ۷)
$p_o + \sum p_i \times x_{ij} - (1-h) \times [c_o + \sum c_i \times x_{ij}] \leq y_{ij}$	قیدها (رابطه ۸)
$p_o + \sum p_i \times x_{ij} + (1-h) \times [c_o + \sum c_i \times x_{ij}] \geq y_{ij}$	

۳- یافته‌ها و بحث

تبخیر- تعرق مرجع برای سناریوهای مختلف متشکل از متغیرهای مستقل توسط مدل‌های رگرسیون امکانی و کم-ترین مربعات فازی تخمین زده شده و عملکرد رویکردهای فازی طراحی گشته در مقایسه با روش فائو پنمن-مانتیت براساس شاخص‌های اعتبارسنجی مدل در شکل (۴) ارائه شده است. یافته‌های حاصل از مقایسه مدل‌های رگرسیون فازی نشان داد گرچه کارایی رهیافت رگرسیون امکانی فازی در تعیین ET_0 مناسب‌تر است، اما با این وجود بیش‌ترین میزان R^2 و پایین‌ترین خطا برای هر دو مدل رگرسیون فازی (کم‌ترین مربعات و امکانی) در ماه‌های فصل بهار مشاهده می‌گردد.

هم‌چنین در هر دو مدل رگرسیون فازی کم‌ترین ضریب تبیین و بالاترین ریشه میانگین مربعات خطا، در سناریو ۳ (FLR3 و FLRS3) که در آن از دمای متوسط و رطوبت نسبی به‌عنوان ورودی مدل استفاده شد، مشاهده گردید. با توجه به شکل (۴) می‌توان اظهار داشت که مدل‌های رگرسیون فازی FLR1 و FLSR1 که ورودی‌های مشابه با ورودی‌های موردنیاز معادله FA056-PM دارد، عملکرد

$$A_0 = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{\sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2} \quad (6)$$

که، $x_i =$ متغیرهای مستقل، $y_i =$ متغیر وابسته تحقیق، $m =$ تعداد مشاهدات و $A_0 =$ ضریب رگرسیون کم‌ترین مربعات معمولی می‌باشند. سپس ضرایب به‌دست‌آمده در برابر مرکز ضرایب معادله رگرسیون فازی قرار گرفت، بدین ترتیب مقدار P_i ها در رابطه (۸) مشخص شد. در گام بعد برای مشخص کردن مقادیر C_i ها از مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه‌شده در جدول (۲) که در آن ضرایب فازی بوده و ورودی و خروجی

۲-۷- معیارهای ارزیابی عملکرد مدل

به‌منظور مقایسه کارایی رهیافت‌های رگرسیون فازی طراحی شده و مقایسه آن با استاندارد فائو-پنمن-مانتیت از پارامترهای سنجش آماری زیر استفاده شد. این پارامترها عبارت‌اند از: ضریب تبیین (R^2) (رابطه ۹)، میانگین مربعات خطا (RMSE، رابطه ۱۰) و خطای مطلق میانگین (MAE، رابطه ۱۱).

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=0}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 (O_i - \bar{O})^2} \quad (9)$$

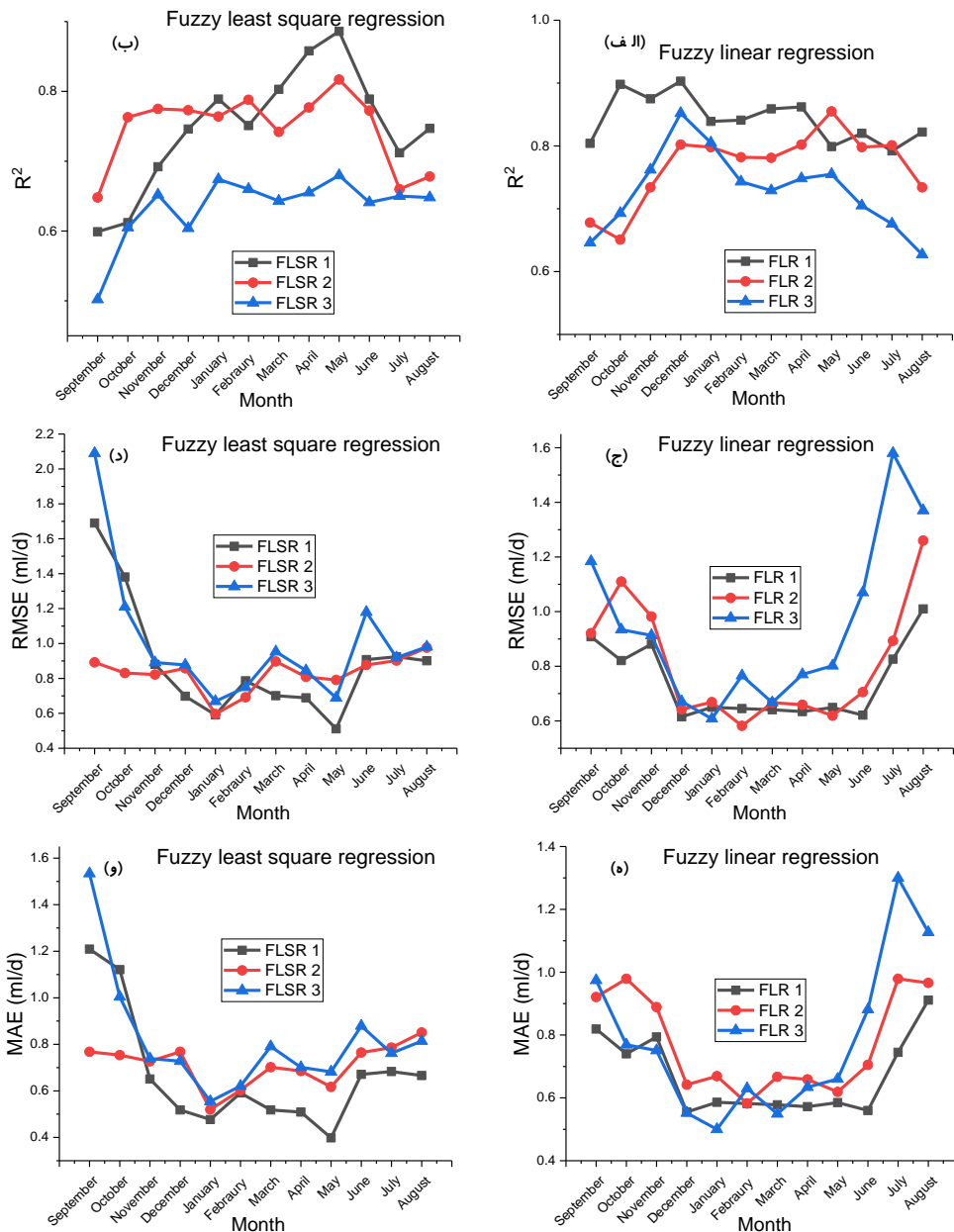
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ETm_i - ETpm_i)^2}{N}} \quad (10)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n (ETm_i - ETpm_i) \quad (11)$$

که، ET_m و ET_{pm} به‌ترتیب میانگین مقادیر ET_0 محاسبه شده از مدل‌های رگرسیون فازی و از معادله فائو پنمن-مانتیت بوده، N نمایانگر تعداد داده‌ها و i گام زمانی موردنظر می‌باشد.

مرجع ارائه نماید. چنانچه مشخص است تمام سناریوهای پیشنهادی مدل رگرسیون امکانی فازی دقت قابل قبولی در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع دارند. سناریو شماره ۱ با داشتن پارامترهای رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد و حداکثر دما برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با داشتن کمترین خطا مناسبتر است.

بهتری نسبت به سایر سناریوها ارائه می‌دهد و این امر حاکی از تأثیر مهم مؤلفه‌های سرعت باد و تشعشع خورشیدی در تخمین تبخیر و تعرق (نیاز آبی) گیاه مرجع است. همسو با یافته‌های پژوهش حاضر Karimi et al. (2013) گزارش کردند مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و عصبی-فازی که در آن، سرعت باد و تشعشع خورشیدی از ورودی‌های مدل حذف شده، نمی‌توانند تخمین مناسبی از تبخیر و تعرق گیاه



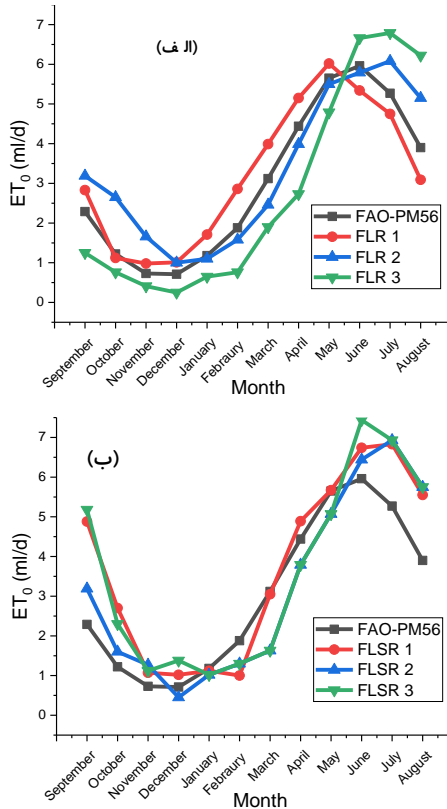
شکل ۴- مقایسه شاخص‌های اعتبار سنجی مدل‌های مختلف رگرسیون فازی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع: الف و ب) R^2 ، ج و د) $RMSE$ و ه و ز) MAE

Fig. 4 Comparison of validation indicators of different fuzzy regression models in estimating reference evapotranspiration: a and b) R^2 , c and d) $RMSE$ and e and f) MAE

ساعات آفتابی، سرعت باد بالاترین دقت را در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع داشته است. باین‌وجود با مقایسه نتایج

همسو با یافته پژوهش حاضر Ghorbani et al. (2016) گزارش کردند شبکه‌های عصبی با ورودی‌های رطوبت نسبی،

گیرد، لذا پیش‌بینی حداکثر تبخیر تعرق در ماه‌های مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده چراکه تخمین بیش‌ازحد آن، هزینه اضافی را بر طرح‌های آبی وارد کرده و از طرفی پیش-بینی کمتر از مقدار موردنیاز نیز موجب وارد شدن صدمه به گیاه بخصوص محصولات حساس به تنش آبی، در زمان اوج نیاز آبی خواهد شد.



شکل ۵- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده توسط مدل‌های مختلف رگرسیون فازی و مدل فائو-پنمن-مانتیت: الف)- مدل رگرسیون امکانی فازی و ب) مدل رگرسیون کم‌ترین مربعات فازی

Fig. 5 Comparison of estimated evapotranspiration values by different fuzzy regression models and FAO-Penman-Monteith: a) fuzzy linear regression model and b) fuzzy least square regression model

۴- نتیجه‌گیری

تبخیر تعرق یکی از مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی برای ارزیابی نیاز آبی محصولات و مدیریت آبیاری است. در پژوهش حاضر کارایی دو مدل داده محور (رگرسیون امکانی فازی و رگرسیون کمترین مربعات فازی) تحت ۳ سناریو مختلف برای برآورد تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع در دشت نیشابور مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج کلی این پژوهش به شرح زیر است:

تحقیق حاضر مشخص نمود که سناریو ۲ که از پارامترهای دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دشت نیشابور استفاده می‌کند، در هر دو مدل رگرسیونی می‌تواند به‌عنوان مدل بهینه انتخاب گردد، زیرا علی‌رغم دارا بودن پارامترهای ورودی کم-تر، دقت قابل‌مقایسه‌ای با سایر سناریوها دارد. Zanetti et al. (2007) در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌وسیله شبکه‌های عصبی مصنوعی دریافته‌اند که مدل‌های طراحی شده با دو پارامتر حداکثر و حداقل دما، دقت بالایی در تخمین داشته و نیز برآوردهای ماهانه کارایی بهتری در محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه دارد. Kisi et al. (2006) گزارش کردند که مؤثرترین عامل در برآورد ET_0 تابش خورشید می‌باشد. به‌طور مشابهی در پژوهش حاضر نیز سناریو ۲ در هر دو مدل داده محور مبتنی بر رگرسیون فازی، بهینه‌ترین روش بود. به‌طور کلی نتایج شکل (۴) برای مقادیر ضریب تبیین بیانگر آن است که مدل رگرسیون امکانی فازی در ماه دی و مدل رگرسیون کمترین مربعات فازی در ماه مهر با R^2 به ترتیب ۰/۹۰۳ و ۰/۵۰۲ بیش‌ترین و کم‌ترین دقت را دارند. همچنین در فصل پاییز و زمستان، میزان شاخص‌های صحت‌سنجی مدل‌های رگرسیون فازی از روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت بالاتر از نیمه اول سال است. در همین راستا Silva et al. (2009) تأکید کردند که تبخیر و تعرق مرجع رفتار به‌شدت وابسته به فصل نشان می‌دهد.

شکل (۵) مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده توسط مدل‌های مختلف رگرسیون فازی و مدل فائو-پنمن-مانتیت را نشان داده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مدل رگرسیون امکانی فازی دقت مناسب‌تر و نوسانات کمتری در برآورد ET_0 دارد، همچنین در هر دو مدل رگرسیون فازی، سناریو بهینه (FLSR2 و FLSR2) علی‌رغم ورودی‌های کمتر، مناسب‌ترین عملکرد را در مقایسه با FAO56-PM نشان داده است. Eftimiou et al. (2013) گزارش کردند که تعیین تبخیر-تعرق مرجع به‌صورت ماهانه، کمک شایانی به شناسایی احتیاجات آبی گیاهان و متعاقباً مدیریت میزان برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی می‌کند، لذا برآورد ماهانه ET_0 مؤثرتر از سالیانه یا روزانه می‌باشد. همچنین Citakoglu et al. (2014) بیان داشتند با توجه به اینکه در طرح‌های آبی مقدار حداکثر تبخیر تعرق مرجع ماهانه مبنای محاسبات ظرفیت طراحی سامانه‌های انتقال و پخش آب قرار

سیاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه بیرجند در انجام این تحقیق صمیمانه تقدیر و تشکر نمایند.

دسترسی به داده‌ها

بیشتر داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است. داده‌های خام از طریق نویسنده مسئول قابل‌ارائه می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۱- مدل رگرسیون امکانی فازی در تمام ماه‌های سال دقت بالاتری از روش فائو-پنمن مانیتیت داشته که حاکی از کارایی مناسب این مدل داده محور در تخمین میزان تبخیر و تعرق است.

۲- در تمام رویکردهای رگرسیونی، استفاده از متغیرهای ورودی دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی با توجه به دقت مناسب (علی‌رغم ورودی‌های کمتر) به‌عنوان رویکرد بهینه معرفی می‌شود. همچنین، این امر حاکی از تأثیر مهم مؤلفه‌های دما، سرعت باد و تشعشع خورشیدی در تخمین تبخیر و تعرق (نیاز آبی) گیاه مرجع است.

۳- می‌توان از رهیافت‌های رگرسیون فازی (به‌ویژه رگرسیون امکانی فازی) در شرایط کم بودن داده‌های در دسترس، به‌عنوان شاخص مناسبی جهت برآورد ET_0 برای برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب استفاده نمود.

References

- Abtahi, M., Danesh, S., Davari, K. and Ghasemi, S. A. (2015). Investigating the Changes in the Quality of Groundwater in Neishabour Plain and its Possible Reasons. *Water Soil Conserv. Res.*, 22 (4), 171-186 [In Persian].
- Allen, R. G., Pereira Raes, L. S. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Baba, A. P., Shiri, J., Kisi, O., Fard, A. F., Kim, S. and Amini, R. (2013). Estimating daily reference evapotranspiration using available and estimated climatic data by adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network (ANN). *Hydrol. Res.*, 44(1), 131-146.
- Chachi, J., Taheri, S. M. and Arghami, N. R. (2014). hybrid fuzzy regression model and its application in hydrology engineering. *Appl. Soft Computi.*, 25, 149-158.
- Citakoglu, H., Cobaner, M., Haktanir, T. and Kisi, O. (2014). Estimation of monthly mean reference evapotranspiration in Turkey. *Water Resour. Manage.*, 28(1), 99-113.
- Efthimiou, N., Alexandris, S., Karavitis, C. and Mamassis, N. (2013). Comparative analysis of reference evapotranspiration estimation between various methods and the FAO56 Penman - Monteith procedure. *Europ. Water*, 42, 19-34.
- Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X. and Gong, D. (2016). Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *J. Hydrol.*, 536, 376-383.
- Ghorbani, M., Shokri, S., and Boroumandansab, S. (2016). The Study of neural network function in estimating reference plant evapotranspiration (Case study: Ahvaz synoptic station. *Wetland Ecobiology Res.* 23-34 [In Persian].
- Hulme, M. Z., Zhao, C. and Jiang, T. (1994). Recent and future climate change in East Asia. *Int. J. Climat.*, 14, 637-658.
- Javaheri, N., Qameshi, M. and Kashifipour, Q. M. (2005). Comparison of statistical and fuzzy regression methods for estimating sediment load of Karun and Dez rivers. *Agri. Sci. J.*, 28(2), 183-198 [In Persian].
- Karimi, S., Shirani, J. and Nazemi, A. H. (2013). Estimation of daily evapotranspiration of reference plant using artificial intelligence systems and empirical equations. *J. Water Soil Sci.*, 223(2), 139-158 [In Persian].
- Kisi, O. (2006) Evapotranspiration estimation using feed-forward neural networks. *Nord Hydrol.*, 37(3), 247-260.

- Kisi, O. (2007). The potential of different ANN techniques in evapotranspiration modeling. *Journal of Hydrological Process*, 22(14), 2449-2460.
- Kisi, O., (2013). Applicability of Mamdani and Sugeno fuzzy genetic approaches for modeling reference evapotranspiration. *J. Hydrol.*, 504, 160–170.
- Koureh Pazan Dezfuli, A. (2015). The principles of theory of fuzzy collections and its applications in modeling water engineering issues. Jihad University Publishing house, Amirkabir University of Technology, fourth edition [In Persian].
- Martí, P., Gonzalez-Altozano, P., Lopez-Urrea, R., Mancha, L. A. and J. Shiri. (2015). Modeling reference evapotranspiration with calculated targets. Assessment and implications. *Agri. Water Manag.*, 149, 81–90.
- Moskowitz, H. and Kim, K. (1993). On assessing the H value in fuzzy linear regression. *Fuzzy Set. Syst.*, 58(2), 303-327.
- Sadatinejad, S. J., Hasanshahi, R., Shayanfar, M. and Abdollahi, K. H. (2011). Evaluation of fuzzy regression efficiency for reconstructing missing annual precipitation data in Karoon Basin. *Environ. Sci.*, 8(3), 109-116 [In Persian].
- Savic, D. A. and Pedrycz, W. (1991). Evaluation of fuzzy linear regression models. *Fuzzy Set. Syst.*, 39(1), 51-63.
- Shayannejad, M., Sadatinejad, S. J. and Fahmi, H. (2008). Determination of potential evapotranspiration using the fuzzy regression method. *J. Water Resour. Res.* 3, 76-86 [In Persian].
- Shiri, J., Sadraddini, A. A., Nazemi, A. H., Kisi, O., Landaras, G., Fard, A. H. and Marti, P. (2014). Generalizability of gene expression programming-based approaches for estimating daily reference evapotranspiration in coastal stations of Iran. *J. Hydrol.* 508, 1–11.
- Shiri, J., Kisi, O., Landaras, G., López J. J., Nazemi, A. H. and Stuyt, C. P. M. L. (2012). Daily reference evapotranspiration modeling by using genetic programming approach in the Basque Country (Northern Spain). *J. Hydrol.* 414, 302–316.
- Silva, D. O., Meza, F. J. and Varas, E. (2009). Use of mesoscale model MM5 forecasts as proxies for surface meteorological and agroclimatic variables. *Cienc. Inv. Agr.* 36(3), 369–380.
- Spiliotis, M., Papadopoulos, C., Angelidis, P., and Papadopoulos, B. (2018). Hybrid fuzzy-probabilistic analysis and classification of the hydrological drought. *Proceed.* 2(11), 643-655.
- Tabari, H., Kisi, O., Ezani, A. and Talaei, P. H. (2012). SVM, ANFIS, regression and climate based models for reference evapotranspiration modeling using limited climatic data in a semi-arid highland environment. *J. Hydrol.* 777, 78–89.
- Tanaka, H. and Uejima, S. (1982). Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet.*, 12, 903-907.
- Torres, A. F., Walker, W. R. and Mckee, M. (2011). Forecasting daily potential evapotranspiration using machine learning and limited climatic data. *Agric. Water Manag.*, 98(4), 553-562.
- Traore, S., Wang, Y. M. and Kerh, T. (2010). Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone. *Agri. Water Manag.*, 97(5), 707–714.
- Velayati, S. (2000). The most important factors affecting the quality changes of the Neyshabour plain. *Quart. J. Geogr. Res.*, 15, 42-58. [In Persian].
- Wang, H. F. and Tsaur, C. (2000). Insight of fuzzy regression model. *Fuzzy Set. Syst.*, 12(1), 355- 369.
- Yavari, M., Omidvari, O., Davari, K., Farid Hosseini, A. and Nanlou, M. (2013). Evaluation of experimental methods in estimation of large-scale actual annual evapotranspiration using estimated evapotranspiration from SEBAL for Neyshabour Plain. *Irrig. Water Eng.*, 5(1), 44-54 [In Persian].
- Zanetti, S. S., Sousa, E. F., Oliveira, V. P. S., Almeida, F. T. and Bernardo, S. (2007). Estimating evapotranspiration using artificial neural network and minimum climatological data. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 133(2), 83-89.