Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 3, Fall 2022, p. 31-45

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Investigation and Sensitivity analysis of experimental methods for estimating evaporation from free surface of Choghakhor lake

M. Salami[1], B. Ghorbani[2], M. Radfar[3*] and H .Samadi-Boroujeni[4]

1- PhD Student. Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2- Associated Professor , Department. of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord , Iran.
3- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran (radfar@sku.ac.ir).*
4- Associated Professor , Department. of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord , Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 17 December 2019
Revised: 17 September 2021
Accepted: 18 September 2021

Keywords:
Sensitivity analysis, evaporation, free water surface, Choghakhor lake

TO CITE THIS ARTICLE:

Salami, M., Ghorbani, B., Radfar, M., Samadi Borojeni, H. (2022). 'Investigation and Sensitivity analysis of experimental methods for estimating evaporation from free surface of Choghakhor lake', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(3), pp. 31-45.

Introduction

Evaporation losses from free surface water in reservoir dams are one of the important processes in meteorology and hydrology. Each experimental methods estimates the evaporation based on the climatic conditions of each region. For this reason, calibration of the relationship between evaporation estimates in different regions are required (Vanzyl et al., 1989). experimental methods are common in engineering sciences. Most scholars, by modifying experimental methods and discovering new relationships, try to find a simple and high-level relationship to replace with the field methods. More than 50 experimental relationships have been proposed for estimating evapotranspiration by various researchers (Naorem and Devi, 2014). Despite the importance of evaporation in hydrology, less attention has been paid to it. However, with the correct estimation, it can be applied in water resource planning with fewer errors (Saadatkhah et al., 2002).

In this research, the experimental methods of Mayer, Marciano, Shahthin, Henfer, Ivanov and USBR have been used to study the evaporation from the free surface of the Choghakhor lake, located in Chaharmahal and Bakhtiari province of Iran. The results have been compared with actual evaporation values from the free surface.

Methodology

Experimental methods for calculating evaporation from the water surface

By analyzing different sources, the following experimental equations have been selected in this research :

$$E = \left(1 + \frac{U_2}{16}\right).C.(e_s - e_a) \quad \text{Mayer} \quad (1)$$

$$E = 0.03.U_2.(e_s - e_a) \quad \text{Marciano} \quad (2)$$

$E = (0.116 + 0.017.U_2).(e_s - e_a)$ Shahthin (3)

$E = 0.028.U_2.(e_s - e_a)$ Henfer (4)

$E = 0.0018.(T + 25)^2.(100 - RH)$ Ivanov (5)

$E = 0.833.(4.57T + 43.3)$ USBR (6)

Comparison of methods for calculating evaporation from the water surface

Cross-validation method has been used to evaluate different methods of calculating evaporation from the water surface. In this method, the comparison is performed by comparing the correlation coefficient between the data, the root mean square error (RMSE) and the MBE.

Sensitivity analysis

In the methods for calculating evaporation from the water surface, parameters of wind speed, relative humidity, temperature, and deficit of air vapor pressure are involved. On the other hand, the removal and recording of the above parameters are subject to human and systematic errors. Therefore, it is considered necessary to study the effect of changes in these factors in the calculation of evaporation from the water surface. With changing ± 50 ± 40 ± 30 ± 20 ± 10% in wind speed, temperature, saturation vapor pressure and relative humidity, sensitivity of the above relationships have been evaluated.

Results and Discusion

Monthly evaporation calculating methods from the water surface

According to the regression and statistical results presented in Table (1) and also by comparing the results of different methods with the actual values, it shows that the mean Ivanov and USBR methods simulate the evaporation of the surface water with better accuracy in comparison with the USBR and Ivanov methods.

Sensitivity analysis of methods for calculating monthly evaporation from the water surface

The Ivanov and USBR methods have almost the same sensitivity to temperature parameter variations, but the Ivanov method showes higher sensitivity to temperature rising. The Ivanov method has a reverse relationship with the humidity parameter, in which, evaporation decreases with increasing in moisture content and evaporation increases with decreasing in moisture content.

Table 1- Statistical Results Comparison of Ivanov, USBR and mean Ivanov and USBR methods

Statistical parameter					Calculation method
Mean actual eveporation	$\overline{E}$	MBE	RMSE	R^2	
119/7	154.9	-35.2	44.3	0.86	Ivanov
	85.3	34.4	49.7	0.91	USBR
	120.1	-0.4	21.6	0.89	Mean USBR-Ivanov

Daily evaporation calculating methods from the water surface

According to the regression and statistical results presented in Table (2) and also by comparing the results of different methods with the actual values, it shows that the mean Mayer- Shahthin method simulate the evaporation of the surface water with better accuracy in comparison with other methods.

Sensitivity analysis of methods for calculating daily evaporation from the water surface

the results showed that the Marciano and Henfer methods have the most sensitivity to the wind speed parameter and the Mayer method is less sensitive to the wind speed parameter than the Shahthin method.

Table 2- Statistical Results Comparison of Mayer, Marciano, Shahthin, Henfer and mean Mayer and Shahthin methods

Statistical parameters					Calculating method
Mean actual evaporation	$\overline{E}$	MBE	RMSE	R^2	
4/47	6.41	-2.14	2.7	0.67	Mayer
	1.8	2.46	2.68	0.65	Shahthin
	0.98	3.29	3.56	0.24	Marciano
	0.91	3.36	3.62	0	Henfer
	4.11	0.16	1.01	0.67	Mean Mayer-Shahthin

Conclusions

Using the statistical parameters, the mean Ivanov- USBR method were used to calculate monthly evaporation with a correlation coefficient, RMSE and MBE equals to 0.89, 21.6 and -0.4 respectively.The Mayer Shahthine mean method for daily evaporation calculating with a correlation coefficient, RMSE and MBE equals to 0.67, 1/01 and 0.16 were selected as the best method for estimating evaporation, which had an acceptable correlation with the amount of evaporation from the Chaghakhor Lake . The results of sensitivity analysis shows that methods with less sensitivity to the wind speed **provide** better evaporation estimat.

Acknowledgement

The authores are thankful from the Shahrekord university and the regional water company of Chahrmahal and Bakhtiary province for the financial and information supports respectively.

References

1- Naorem, N. and Devi, T.K., 2014. Estimation of potential evapotranspiration using empirical models for Imphal. *International Journal of Innovative and Exploring Engineering (IJITEE), 7*, pp.119-123.

2- Saadatkhah, N., Sarang, S.A., Tajrishi, M. and Abrishamchi, A., 2002. Evaluation of Chahnimeh Reservoirs Evaporation. *Journal of Water & Wastewater*, 40(16), pp.12-32 (In Persian).

3- Vanzyl, W.H., De Jager, J.M. and Maree, C.J., 1989. The relationship between daylight evaporation from short vegetation and the USWB Class A pan. *Agricultural and forest meteorology*, 46(1-2), pp.107-118.

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٥، شماره‌ی۳، پاییز ۱٤۰۱، مقاله پژوهشی، ص. ٤٥-۳۱

بررسی و تحلیل حساسیت روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب سد چغاخور

مهدی سلامی[۱]، بهزاد قربانی[۲]، مهدی رادفر[۳*]و حسین صمدی بروجنی[۴]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲ - دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد radfar@sku.ac.ir

۴- دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۶ بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۴

چکیده

تلفات تبخیر از سطح آزاد آب در سدهای مخزنی، یکی از فرایندهای مهم در هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد. هریک از روابط تجربی برآورد تبخیر با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه مورد تأیید قرارگرفته است. به‌همین دلیل واسنجی روابط برآورد تبخیر در مناطق مختلف لازم است. سطح وسیع مخزن سد چغاخور واقع در استان چهارمحال و بختیاری (١٦ کیلومترمربع در رقوم نرمال) باعث شده تبخیر از سطح آزاد آب پارامتری تاثیرگذار در برنامه‌ریزی منابع آب حوضه محسوب گردد. در این تحقیق از روش‌های تجربی مه‌یر، مارسیانو، شاهتین، هنفر، ایوانف و سازمان عمران اراضی آمریکا (USBR) برای بررسی تبخیر از سطح آزاد آب سد چغاخور استفاده شد و نتایج آن‌ها با مقادیر واقعی تبخیر از سطح آزاد آب مقایسه گردید. روش میانگین ایوانف و USBR در محاسبه تبخیر ماهانه با ضریب تعیین ۰/۸۹، RMSE ۲۱/٦ و MBE ۰/٤- و روش میانگین مه‌یر و شاهتین در محاسبه تبخیر روزانه با ضریب تعیین ۰/٦۷، RMSE ۱/۰۱ و ۰,۱٦MBE به‌عنوان بهترین روش برآورد تبخیر از سطح دریاچه چغاخور، انتخاب گردیدند. نتایج تحلیل حساسیت روش‌های مورد استفاده در این تحقیق، حساسیت کم مدل‌های برآورد تبخیر روزانه به پارامتر سرعت باد را نشان می‌دهد، به‌عبارت دیگر روشی که برای سرعت باد سهم کمتری را در نظر گیرد نتایج بهتری را در برآورد تبخیر به‌همراه دارد.

کلید واژه‌ها: تحلیل حساسیت، تبخیر، سطح آزاد آب، سد چغاخور.

مقدمه

تلفات تبخیر از سطح آزاد آب در سدهای مخزنی، یکی از فرایندهای مهم در هواشناسی و هیدرولوژی می‌باشد. تبخیر سبب از بین رفتن بیش از نیمی از نزولات جوی در مناطق خشک می‌شود (Yazdani et al., 2012). فرایند تبخیر در دو شکل تبخیر از سطوح آزاد آب نظیر دریاچه‌ها و مخازن سدها (تبخیر از تشتک) و تبخیر از سطح خاک بدون پوشش اتفاق می‌افتد. تبخیر از مخازن آب با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و محدودیت منابع آب، تلفات آب را در پی خواهد داشت.

تبخیر فرایند فیزیکی بوده و رابطه مستقیم و تنگاتنگی با عوامل جوی دارد. یکی از مسائل مهم در بحث تبخیر، ثبت مقدار تبخیر است، به‌طوری‌که مقادیر اندازه‌گیری شده بیانگر کل تبخیر باشد. تشتک تبخیر به‌علت سهولت تفسیر داده‌های آن در سراسر دنیا به‌عنوان شاخصی برای تعیین تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن استفاده می‌شود (Irmak et al., 2002).

امروزه استفاده از روش‌های ریاضی و روابط تجربی در علوم و فنون مهندسی رواج بیشتری یافته است. بیشتر محققین با اصلاح روابط تجربی موجود و کشف روابط جدید، سعی در یافتن رابطه ساده و در عین‌حال با دقت زیاد، برای جایگزینی روش‌های میدانی هستند. در این مورد تعیین تبخیر و در درجه بعدی، تبخیر و تعرق با استفاده از روابط تجربی به‌دلیل پیچیده بودن این‌دو فرایند ضروری به‌نظر می‌رسد. تاکنون بیش از ۵۰ رابطه تجربی برای تعیین تبخیر و تعرق توسط محققین مختلف ارائه شده است (Naorem and Devi, 2014).

علی‌رغم اهمیت زیاد فرایند تبخیر در مهندسی هیدرولوژی، توجه کافی به این مقوله نشده است. این درحالی است که با تخمین درستی از آن می‌توان در برنامه‌ریزی منابع آب با احتمال خطای کمتری اعمال نظر کرد. بیشتر روش‌های تجربی ارائه شده جهت تخمین تبخیر بر

پایه رابطه دالتون و مبتنی بر اصل بقای جرم است (Saadatkhah et al., 2002). مهمترین پارامترهای هواشناسی درگیر در تبخیر شامل سرعت باد، رطوبت نسبی، دما و تشعشع می‌باشند (Terzi and Keskin, 2005).

روابط تجربی ارائه شده با مدنظر قرار دادن هر یک از این پارامترها سعی در کاهش خطای برآورد تبخیر دارند. هر یک از این روابط بنا به شرایط آب و هوایی هر منطقه مورد تأیید قرار گرفته است، به‌همین‌دلیل Vanzyl et al. (1989) گزارش کردند واسنجی روابط برآورد تبخیر در مناطق مختلف لازم است. به‌عنوان مثال، رابطه ایوانف برای مناطقی با اقلیم خشک و نیمه خشک پیشنهاد شده است (Velayati, 1996).

رابطه استفان (Stephen) و استوارت (Stewart) در میان ۲۳ روش مختلف برآورد تبخیر تقارب بیشتری با نتایج تشتک تبخیر در منطقه آمریکا داشت (Al-Sha'lan and Salih, 1987).

Jahanbakhsh-Asl et al. (2002) روش‌های ترکیبی، دمایی، تابشی و همبستگی چندگانه و رطوبتی را برای ایستگاه تبریز با آمار ۲۰ ساله محاسبه و سپس با روش تشتک تبخیر مقایسه کردند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که روش کریستینسن – هارگریوز در قیاس با سایر روش‌ها انطباق بیشتری با روش تشتک تبخیر دارد.

Burn و Hesch (2007) روش تجربی مه‌یر (Mayer) را به دلیل سادگی و عدم نیاز به داده‌های تابش، مناسب‌ترین روش جهت بررسی روند تبخیر در کشور کانادا دانستند. Yazdani et al. (2012) با استفاده از معیارهای آماری و مقایسه نسبت به خط ۱:۱ مشخص کردند که محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب توسط روش ایوانف (Ivanov) دارای بیشترین همبستگی با مقدار تبخیر از تشتک در منطقه آمل است.

Sattari et al. (2015) نیز نشان دادند رابطه تجربی مه‌یر نسبت به سایر روش‌های تجربی از دقت بالاتری جهت برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در سد علویان مراغه برخوردار است.

درخصوص برآورد تبخیر از سطح آزاد آب مخازن تحقیقات زیادی انجام شده است (Vallet-Coulomb et al., 2001 , Cohen et al., 2002 , Cooke III et al., 2008 , Benzaghta et al., 2012 , Gallego-Elvira et al., 2012 , Fekih et al., 2013 , Hassani, 2013 , Gorjizade et al., 2014).

Najafvand و Eslami (2017) با مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب نشان دادند که روش مه‌یر تبخیر آب از سطح آزاد آب سد تنظیمی دز را با دقت بالاتری نسبت به روش‌های تجربی دیگر برآورد می‌کند.

برآورد صحیح تبخیر در برنامه‌ریزی‌های منابع آب ضروری است و تعیین مناسب‌ترین روش تجربی با دقت مطلوب می‌تواند مسائل و مشکلات مرتبط با تشتک تبخیر از قبیل ترک‌ها، رشد جلبک در آب، اندازه‌گیری غلط سطح آب و یا رشد علف در کنار دیواره‌های تشتک را تا حدودی حل کند و با صرف زمان و هزینه کمتر نتیجه دلخواه به‌دست آید. لذا با توجه به این‌که روش‌های معرفی شده اغلب تجربی است و برای هر منطقه باید واسنجی شوند، لازم است روشی معرفی شود که توانایی محاسبه تبخیر از سطح آزاد در شرایط آب و هوایی منطقه را با دقت کافی داشته باشد.

به‌دلیل سطح وسیع مخزن سد چغاخور (۱۶ کیلومترمربع در رقوم نرمال) تبخیر از سطح آزاد آب سد، پارامتری تاثیرگذار در برنامه‌ریزی منابع آب حوضه می‌باشد به‌همین‌دلیل هدف این تحقیق ارزیابی، تحلیل حساسیت و محاسبه مقدار تبخیر از سطح آزاد آب سد چغاخور واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های مه‌یر (Mayer)، شاهتین (Shahthin)، هنفر (Henfer)، ایوانف (Ivanov)، مارسیانو (Marciano) و سازمان عمران اراضی آمریکا (USBR) و مقایسه آن‌ها با مقادیر واقعی تبخیر که از داده‌های تبخیر از تشتک برای دوره آماری سیزده ساله از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ مربوط به ایستگاه هواشناسی آورگان در مجاورت سد چغاخور به‌دست آمده است، می‌باشد. با تعیین مناسبترین روش، در موارد نبود یا کمبود اطلاعات، میزان تبخیر از مخزن سد چغاخور تخمین زده می شود.

مواد روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومترمربع تقریبا برابر یک درصد خاک ایران می‌باشد و در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس، ما بین پشتکوه‌های داخلی و فلات مرکزی قرار گرفته است. از شمال و شرق به استان اصفهان، از غرب به استان خوزستان و از جنوب به استان کهگیلویه و بویر احمد و از شمال غرب به استان لرستان محدود می‌شود. این استان بین عرض شمالی ′۰۹ °۳۱ تا ′۴۸ °۳۲ و طول شرقی ′۳۰ °۴۹ تا ′۲۶ °۵۱ قرار دارد.

سد چغاخور در سال ۱۳۷۱در نزدیکی شهر بلداجی با هدف تامین آب ۸۰۰۰ هکتار از اراضی دشت گندمان بلداجی به بهره‌برداری رسید (جدول ۱). نمایی از سد چغاخور روی نقشه google earth در شکل (۱) ارائه شده است. در این تحقیق از آمار ایستگاه هواشناسی آورگان در مجاورت سد چغاخور طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ استفاده شده است. ایستگاه آورگان در رقوم ارتفاعی ۲۳۸۰ متر و در طول جغرافیایی ′۵۷ °۵۰ و عرض جغرافیایی ′۵۴ °۳۱ واقع شده است. مشخصات آماری پارامترهای اقلیمی ایستگاه آورگان در دوره مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. لازم به‌ذکر است میزان تبخیر واقعی از سطح آزاد آب سد چغاخور با استفاده از داده‌های تشتک ایستگاه آورگان و ضرایبی که برای منطقه توسط شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری کالیبره و ارائه گردیده است به‌دست می‌آید.

DOI: 10.22055/JISE.2018.24278.1720

جدول۱- مشخصات سد چغاخور

Table 1- Choghakhor dam characteristics

Dam type	soil	Construction year	1369
Using time	1371	Location	Charmahal & Bkhtiary
Dam height(m)	6	Dam foundation height (m)	13
Length of crest	192	Witdth of crest	10
Volume (MCM)	42	Usable volume(MCM)	40

Fig. 1- Choghakhor dam

شکل۱- سد چغاخور

جدول۲- مشخصات آماری پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی آورگان

Table 2- Statistical characteristics of climatological parameters of overghan station

Climatological paremeters	Statistical characteristics					
	Mean	Max	Min	Domain	Standard deviation	CV
Mean yearly temperature (centigrad)	10.7	11.4	9.6	1.8	0.5	4.5
Mean yearly hiumidity (%)	46.5	52.1	40.1	12	3.4	7.4
Mean yearly precipitation(mm)	539.4	744.9	335.4	409.5	131.9	24.5
Mean wind speed (km/hr)	3.2	4.3	3.1	½	0.3	9.3
Mean yearly pan evaporation (mm)	1599/8	1812.1	1293.1	519	128.7	8

روش‌های تجربی محاسبه تبخیر از سطح آب

در مطالعه حاضر از نتایج تشتک تبخیر ایستگاه هواشناسی آورگان به‌منظور ارزیابی شش روش تجربی تخمین تبخیر از سطح آزاد آب استفاده شده است. معادله‌های تجربی Gallego-Elvira et al (2012) مورد استفاده در این تحقیق به‌صورت زیر است:

(۱) معادله مه‌یر $E = \left(1 + \frac{U_2}{16}\right).C.(e_s - e_a)$

(۲) معادله مارسیانو $E = 0.03.U_2.(e_s - e_a)$

(۳) معادله شاهتین $E = (0.116 + 0.017.U_2).(e_s - e_a)$

(۴) معادله هنفر $E = 0.028.U_2.(e_s - e_a)$

(۵) معادله ایوانف $E = 0.0018.(T + 25)^2.(100 - RH)$

(۶) معادله USBR $E = 0.833.(4.57T + 43.3)$

که در معادله‌های (۱) تا (۴) E : مقدار تبخیر از سطح آزاد آب (میلی‌متر در روز)، U: سرعت باد در ارتفاع دو متری (کیلومتر در ساعت)، ea و es فشار واقعی بخار آب در هوا و فشار بخار اشباع (میلیمترجیوه) و C ضریبی است که برای دریاچه‌های عمیق ۰/۳۶ و برای دریاچه‌های کم عمق ۰/۵ می‌شود. شایان ذکر است که در این تحقیق میزان تبخیر از سطح آزاد برای دریاچه کم عمق (سد چغاخور) محاسبه شده است.

در معادله‌های (۵) و (۶) E: مقدار تبخیر از سطح آزاد آب بر حسب میلی‌متر در ماه،T: میانگین ماهانه دما بر حسب درجه سانتی‌گراد و RH: میانگین ماهانه رطوبت نسبی است. همان‌طور که در معادله‌های فوق نیز مشخص است تمام روش‌ها به جز روش سازمان عمران اراضی آمریکا از دو یا سه پارامتر برای محاسبه تبخیر از سطح آزاد استفاده کردند، این در حالی است که روش سازمان عمران اراضی آمریکا تنها از دمای متوسط استفاده کرده است. وجود پارامترهای مختلف در هر روش می‌تواند معیاری برای ارزیابی اهمیت پارامترهای هواشناسی برای محاسبه تبخیر از سطح آزاد باشد.

مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب

برای ارزیابی و بررسی بهتر روش‌های مختلف محاسبه تبخیر از سطوح آزاد از روشی به نام روش اعتبارسنجی متقاطع استفاده شد در این روش با محاسبه ضریب تعیین بین داده‌ها، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و انحراف نتایج (MBE) ، بر اساس معادله‌های (۷) ، (۸) و (۹) مقایسه انجام می‌شود. در فراسنجهای آماری زیر (Es) مقادیر به‌دست آمده تبخیر از سطوح آزاد از هر روش و Eo مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(\sum(E_{si} - E_{oi})^2)}{n}} \quad (۷)$$

$$MBE = (\sum_{i=1}^{n}(E_{oi} - E_{si}))/n \quad (۸)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{(\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2(Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (۹)$$

پارامتر ارزیابی MBE نشان می‌دهد که اولاً آیا مدل مقدار متغیر مورد نظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و ثانیاً مقدار کمی آن چقدر است. زمانی‌که MBE برابر صفر است، مشخص می‌شود که مدل فضای مطالعه شده را خوب برآورد کرده و هیچگونه انحرافی وجود ندارد. ضریب تعیین هم نشان‌دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد، این ارتباط نزدیکتر است و اختلاف مقدار برآورد شده با مقدار محاسبه شده کمتر خواهد بود. RMSE نیز مقدار مطلق خطا را بدون در نظر گرفتن جهت آن نشان می‌دهد که هر چقدر کمتر باشد نشان‌دهنده توانایی بیشتر مدل است.

تحلیل حساسیت

در روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد پارامترهای سرعت باد، رطوبت نسبی، دما و کمبود فشار بخار اشباع هوا دخالت دارند. از طرفی برداشت و ثبت پارامترهای فوق در معرض خطاهای انسانی و سیستماتیک قرار دارد، لذا بررسی تأثیر تغییرات این عوامل در محاسبه تبخیر از سطح آزاد ضروری به‌نظر می‌رسد.

بر این اساس سعی شد با ایجاد تغییرات ۱۰± ۲۰± ۳۰± ۴۰± و ۵۰± درصد در مقادیر سرعت باد، دما، کمبود فشار بخار اشباع و رطوبت نسبی، حساسیت روابط فوق در اثر تغییرات پارامترهای ورودی در برآورد تبخیر از سطح آزاد ارزیابی شود.

نتایج و بحث

روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب به‌صورت ماهانه

در شکل (۲) مقادیر تبخیر ماهانه از سطح آزاد آب سد چغاخور محاسبه شده توسط روش‌های ایوانف، USBR و میانگین ایوانف و USBR در مقابل مقادیر تبخیر واقعی به‌دست آمده با استفاده از نتایج تشتک کلاس A برای ایستگاه آورگان در دوره ۱۳ ساله، ترسیم شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2018.24278.1720

مطابق این شکل و نتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۳) و همچنین با مقایسه موردی نتایج روش‌های مختلف با مقادیر واقعی شکل (۳)، می‌توان گفت روش میانگین ایوانف و USBR با ضریب تعیین ۰،۸۹، RMSE ۲۱/۶ و MBE ۰/۴- نسبت به روش USBR و ایوانف تبخیر از سطح آب را با دقت بهتری شبیه‌سازی کرده است. مقایسه شاخص‌های MBE و میانگین‌ها نشان می‌دهد که به‌طورکلی روش ایوانف بیش‌برآوردی و روش USBR کم‌برآوردی دارد. این در حالی است که شاخص MBE در روش میانگین ایوانف و USBR کمترین انحراف را نسبت به داده‌های واقعی نشان می‌دهد.

در مقایسه نتایج روش‌های مختلف محاسبه تبخیر ماهانه از سطح آزاد آب با مقادیر واقعی شکل(۳) مشاهده می‌شود در همه موارد مقادیر تبخیر ماهانه محاسبه‌شده توسط روش ایوانف بیشتر از مقادیر واقعی و در روش USBR کمتر از مقادیر واقعی است به‌همین‌دلیل، تصمیم گرفته شد میانگین روش‌های ایوانف و USBR نیز با مقادیر واقعی مقایسه گردد.

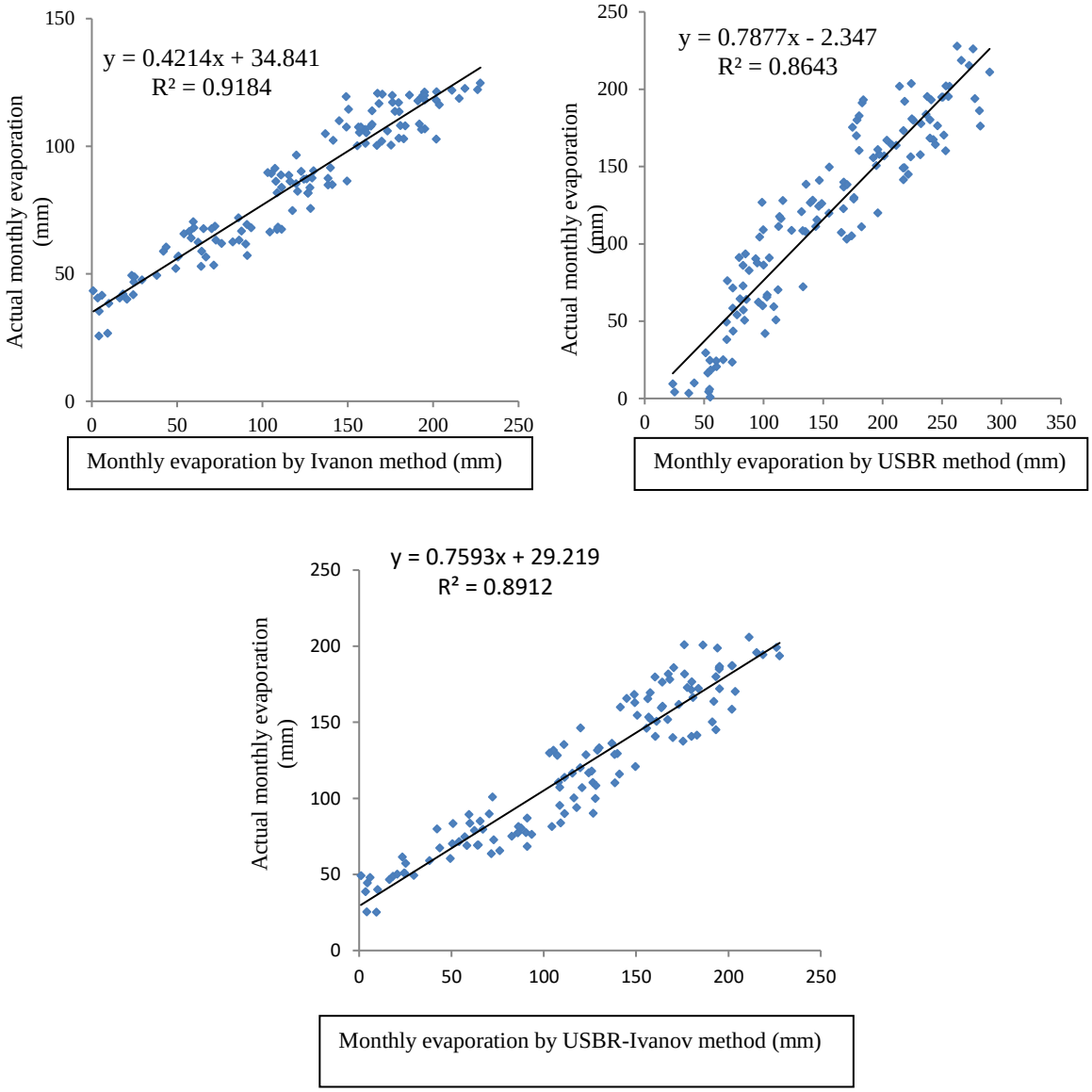

Fig. 2- Correlation diagram between the calculated monthly evaporation values and the actual values (obtained by the pan method)

شکل۲- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر ماهانه محاسبه شده با مقادیر واقعی (به‌دست آمده از روش تشتک)

جدول ۳- نتایج آماری مقایسه روش¬های ایوانف، USBR و میانگین ایوانف و USBR

Table 3- Statistical results of comparison of Ivanov and USBR methods and average of Ivanov and USBR

Statistical parameter					Calculation method
Mean actual eveporation	$\overline{E}$	MBE	RMSE	R^2	
119/7	154.9	-35.2	44.3	0.86	Ivanov
	85.3	34.4	49.7	0.91	USBR
	120.1	-0.4	21.6	0.89	Mean USBR-Ivanov

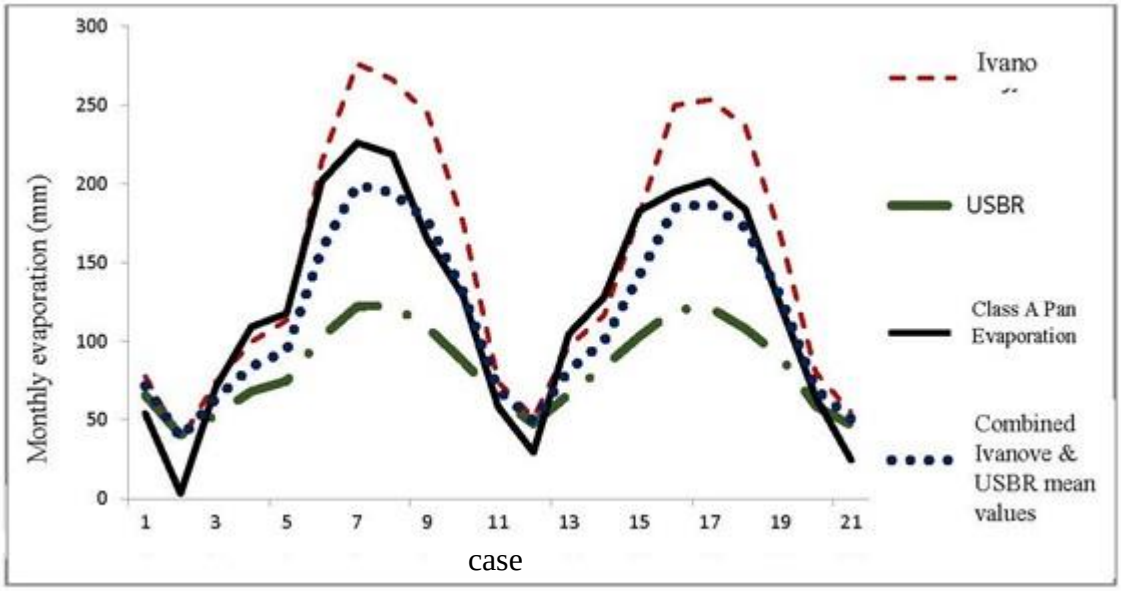

Fig. 3- case comparison of the results of different methods of calculating monthly evaporation from the free surface of water with real values

شکل ۳- مقایسه موردی نتایج روش‌های مختلف محاسبه تبخیر ماهانه از سطح آزاد آب با مقادیر واقعی

تحلیل حساسیت روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب به‌صورت ماهانه

شکل (۴) نتایج تحلیل حساسیت مدل USBR را نسبت به تغییرات ±۱۰ ±۲۰ ±۳۰ ±۴۰ و ±۵۰ درصدی پارامتر دما و همچنین حساسیت مدل ایوانف را نسبت به تغییرات پارامتر دما و رطوبت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۴) مشهود است مدل‌های ایوانف و USBR نسبت به تغییرات پارامتر دما تقریبا حساسیت یکسانی دارند با این تفاوت که مدل ایوانف در افزایش دما حساسیت بیشتری را نسبت به کاهش دما از خود نشان داده است. همچنین مدل ایوانف ارتباط معکوس با پارامتر رطوبت دارد به‌گونه‌ای که با افزایش رطوبت میزان تبخیر کاهش و با کاهش رطوبت میزان تبخیر به‌همان اندازه افزایش می‌یابد.

DOI: 10.22055/JISE.2018.24278.1720

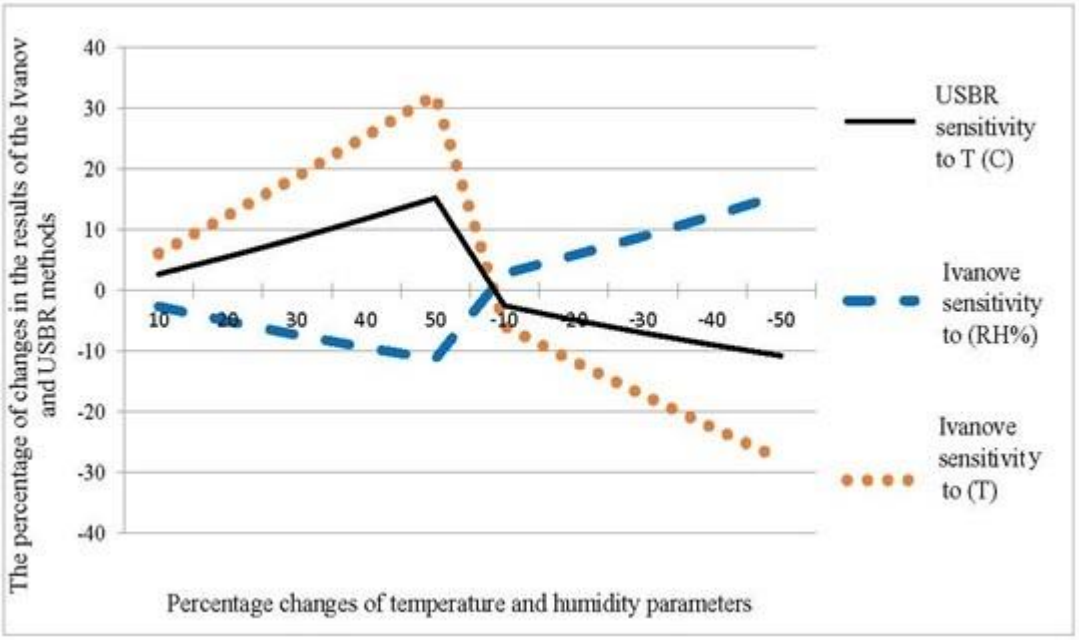

Fig. 4- The results of sensitivity analysis of methods for calculating evaporation from the free surface of water on a monthly basis with respect to temperature and humidity parameters

شکل ٤- نتایج تحلیل حساسیت روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب به‌صورت ماهانه نسبت به پارامتر دما و رطوبت

روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب به‌صورت روزانه

در شکل (۵) مقادیر تبخیر روزانه محاسبه شده توسط روش‌های مه‌یر، مارسیانو، شاهتین و هنفر در مقابل مقادیر واقعی تبخیر به‌دست آمده با استفاده از تشتک کلاس A برای ایستگاه آورگان در دوره ۱۳ ساله، ترسیم شده است.

مطابق این شکل ونتایج رگرسیونی و آماری مندرج در جدول (۴) و همچنین با مقایسه موردی نتایج روش‌های مختلف با مقادیر واقعی شکل (۶) ، می‌توان گفت روش میانگین مه‌یر و شاهتین با ضریب تعیین ۰،۶۷، RMSE ۱/۰۱ و MBE ۰/۱۶نسبت به روش‌های مه‌یر، شاهتین، مارسیانو و هنفر تبخیر از سطح آب را با دقت بهتری شبیه سازی کرده‌اند. مقایسه شاخص‌های MBE و میانگین‌ها نشان می‌دهد که به‌طورکلی روش مه‌یر بیش‌برآوردی و روش‌های شاهتین، مارسیانو و هنفر کم برآوردی دارد.

در مقایسه نتایج روش‌های مختلف محاسبه تبخیر روزانه از سطح آزاد آب با مقادیر واقعی شکل (۶) مشاهده می‌شود در همه موارد مقادیر تبخیر ماهانه محاسبه شده توسط روش مه‌یر بیشتر از مقادیر واقعی و در روش‌های شاهتین، مارسیانو و هنفر کمتر از مقادیر واقعی است به‌همین‌دلیل و با توجه به نتایج شاخص‌های آماری تصمیم گرفته شد میانگین روش‌های مه‌یر و شاهتین نیز با مقادیر واقعی مقایسه گردد.

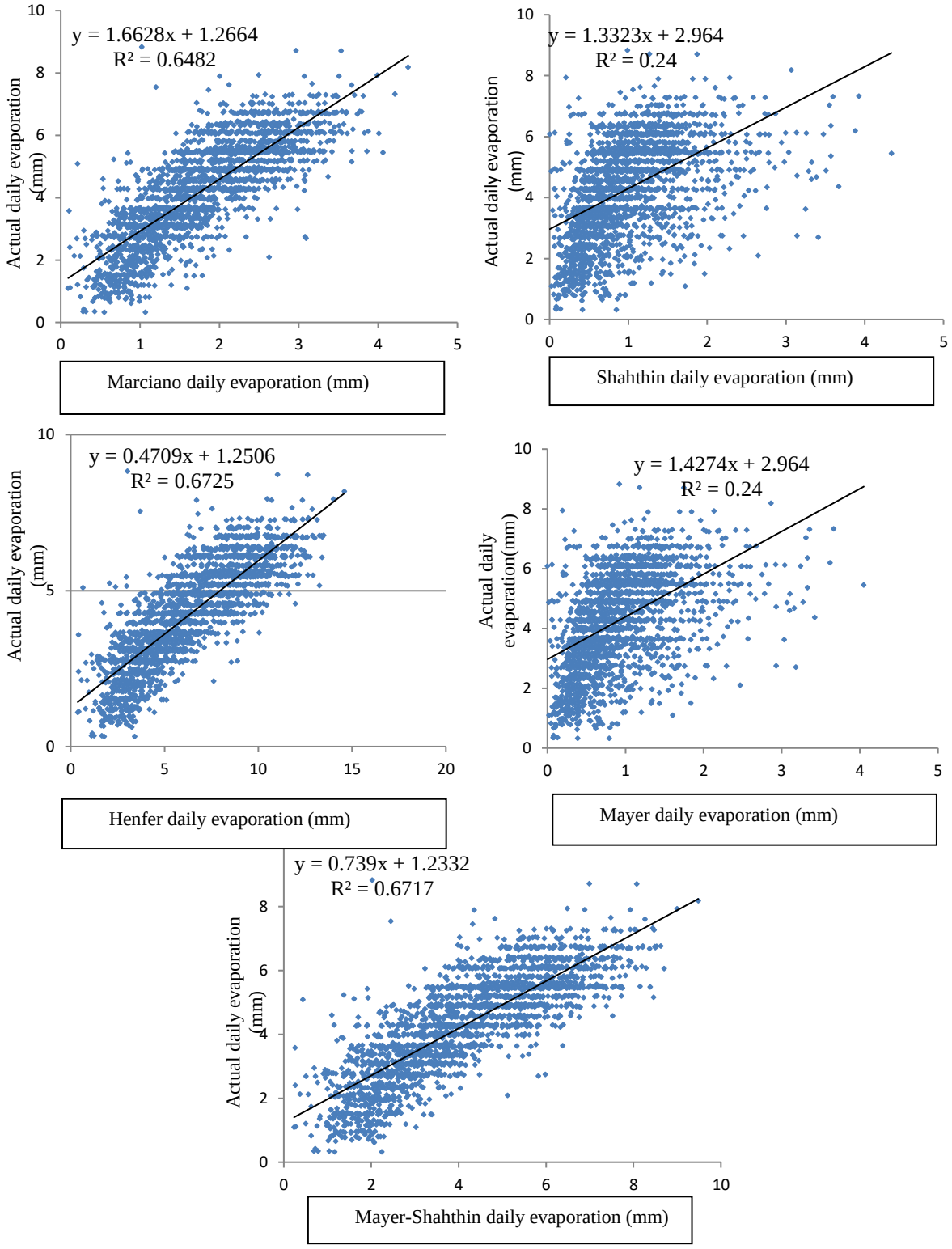

Fig. 5- Correlation diagram between the calculated daily evaporation values and the actual values (obtained by the pan method)

شکل۵- نمودار همبستگی بین مقادیر تبخیر روزانه محاسبه شده با مقادیر واقعی (به‌دست آمده از روش تشتک)

DOI: 10.22055/JISE.2018.24278.1720

جدول٤-نتایج آماری مقایسه روش‌های مه‌یر، مارسیانو، شاهتین، هنفر و میانگین مه‌یر و شاهتین

Table 4- Statistical results of comparing the methods of Mayer, Marciano, Shahthin, Henfer and the average of Mayer and Shahthin

Statistical parameters					Calculating method
Mean actual evaporation	$\overline{E}$	MBE	RMSE	R^2	
4/47	6.41	-2.14	2.7	0.67	Mayer
	1.8	2.46	2.68	0.65	Shahthin
	0.98	3.29	3.56	0.24	Marciano
	0.91	3.36	3.62	0	Henfer
	4.11	0.16	1.01	0.67	Mean Mayer-Shahthin

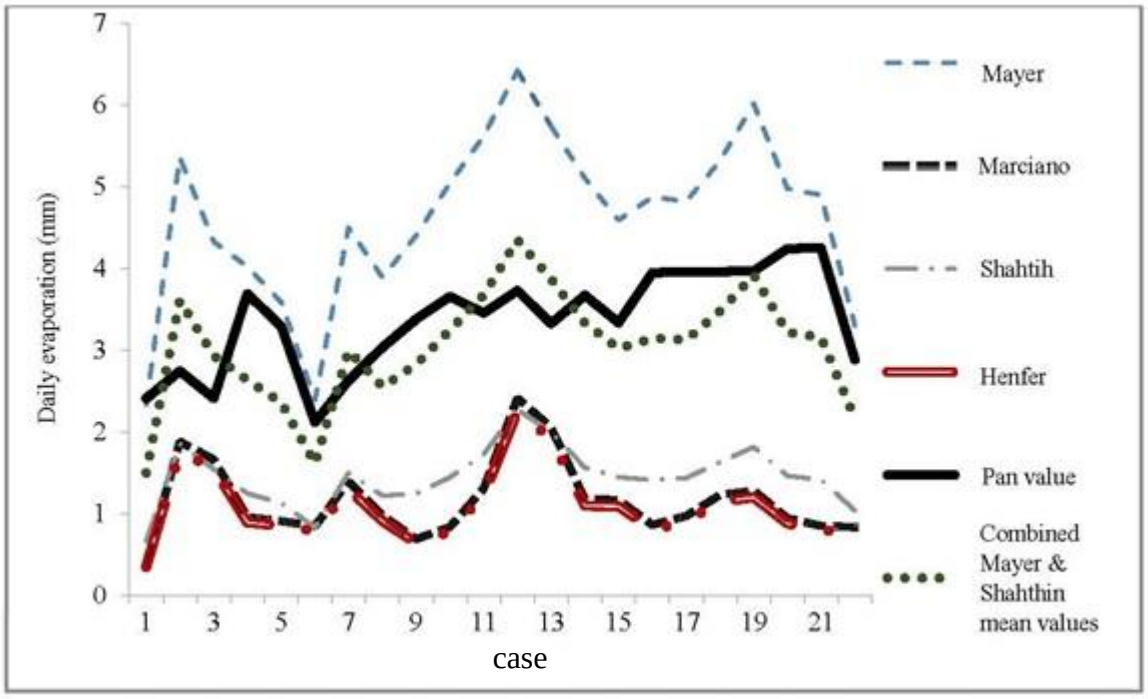

Fig. 6- Case comparison of the results of different methods of calculating daily evaporation from the free surface of water with real values

شکل ٦- مقایسه موردی نتایج روش‌های مختلف محاسبه تبخیر روزانه از سطح آزاد آب با مقادیر واقعی

تحلیل حساسیت روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب به‌صورت روزانه

شکل (۷) نتایج تحلیل حساسیت مدل‌های مه‌یر، مارسیانو، شاهتین و هنفر را نسبت به تغییرات ±۱۰ ±۲۰ ±۳۰ ±۴۰ و ±۵۰ درصدی پارامتر سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع هوا را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۷) مشهود است مدل‌های مارسیانو و هنفر نسبت به تغییرات پارامتر سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع هوا و مدل‌های مه یر و شاهتین نسبت به پارامتر کمبود فشار بخار اشباع هوا حساسیت مستقیم و یکسانی دارند .

تنها تفاوت روش‌های فوق الذکر مربوط به حساسیت مدل مه‌یر و شاهتین به تغییرات سرعت باد است که مدل مه‌یر نسبت به مدل شاهتین حساسیت کمتری را نسبت به تغییرات پارامتر سرعت باد از خود نشان می‌دهد.

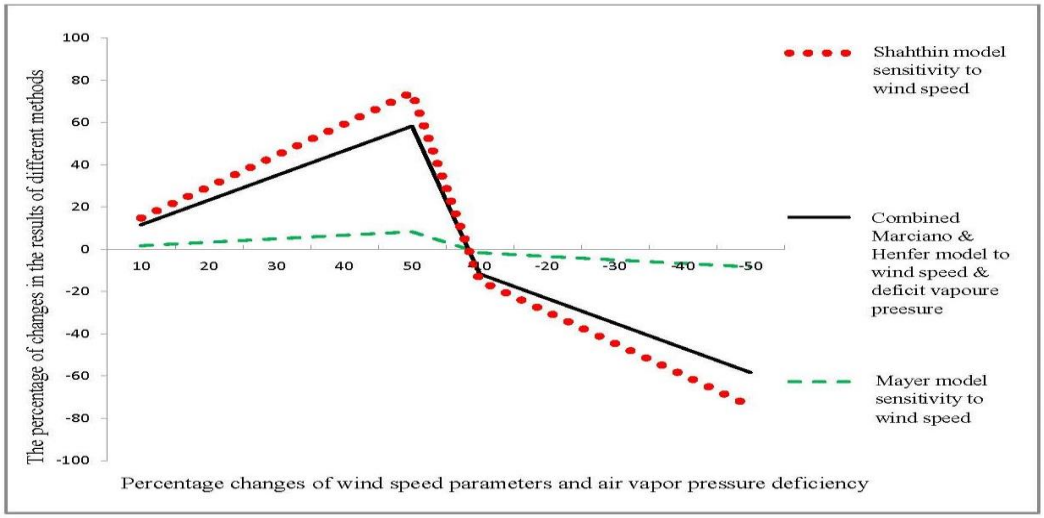

Fig. 7- The results of sensitivity analysis of methods for calculating evaporation from the free surface of water on a daily basis with respect to the parameters of wind speed and air vapor pressure deficiency

شکل ۷- نتایج تحلیل حساسیت روش‌های محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب به‌صورت روزانه نسبت به پارامترهای سرعت باد و کمبود فشار بخار هوا

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی نشان داد که روش میانگین ایوانف و USBR در محاسبه تبخیر ماهانه با ضریب تعیین ۰/۸۹، RMSE ۲۱/۶ و MBE ۰/۴- و روش میانگین مه‌یر و شاهتین در محاسبه تبخیر روزانه با ضریب تعیین ۰/۶۷، RMSE ۱/۰۱ و MBE ۰/۱۶ بیشترین دقت را دارند.

علی‌رغم این‌که روش‌های مه‌یر و ایوانف نقاط شکست و تغییر را بهتر از روش‌های دیگر شبیه‌سازی کرده‌اند ولی با توجه به شاخص MBE برای این دو روش که به‌ترتیب ۲/۱۴- و ۳۵/۲- می‌باشد هر دو، مقدار تبخیر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند.

روش ایوانف برای اندازه‌گیری تبخیر از سطح آزاد آب به پارامترهای دما و رطوبت بستگی دارد در حالی‌که روش مه‌یر وابسته به پارامترهای سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع هوا می‌باشد و می‌دانیم که پارامترهای دما و رطوبت در ایستگاه‌های هواشناسی به راحتی اندازه‌گیری می‌شود لذا با توجه به نزدیک بودن نتایج دو روش مه‌یر و ایوانف و بنا به نوع اطلاعات مورد نیاز، می‌توان هر یک از روش‌های فوق الذکر را استفاده نمود.

نتایج تحلیل حساسیت مدل ایوانف نشان داد که حساسیت مدل به پارامتر رطوبت نسبی بیشتر از دما و همچنین حساسیت مدل به دما در تغییرات مثبت بیشتر از تغییرات منفی این پارامتر می‌باشد.

نتایج تحلیل حساسیت مدل‌های برآورد تبخیر روزانه نشان‌دهنده حساسیت پایین این مدل‌ها به تغییرات سرعت باد است و مدلی که کمترین حساسیت را به تغییرات سرعت باد از خود نشان داده است (مدل مه‌یر) نتایج بهتری را در برآورد تبخیر روزانه به همراه داشته است.

به‌طور کلی و با توجه به موارد فوق الذکر روش میانگین ایوانف و USBR برای برآورد تبخیر ماهانه و روش میانگین مه‌یر و شاهتین برای برآورد تبخیر روزانه از سطح آب در منطقه مورد مطالعه (سد چغاخور) در موارد نبود یا کمبود اطلاعات می‌تواند به‌عنوان یک روش جایگزین مطرح گردد.

تقدیر و تشکر

از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد و شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و بختیاری برای حمایت مالی و ارائه آمار و اطلاعات تقدیر می گردد.

References

1- Al-Sha'lan, S.A. and Salih, A.M., 1987. Evapotranspiration estimates in extremely arid areas. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *113*(4), pp.565-574.

2- Benzaghta, M.A., Mohammed, T.A. and Ekhmaj, A.I., 2012. Prediction of evaporation from Algardabiya reservoir. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, *3*(3), pp.120-128.

3- Burn, D.H. and Hesch, N.M., 2007. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of Hydrology*, 336(1-2), pp.61-73.

4- Cohen, S., Ianetz, A. and Stanhill, G., 2002. Evaporative climate changes at bet Dagan, Israel, 1964–1998. *Agricultural and Forest Meteorology*, *111*(2), pp.83-91.

5- Cooke III, W.H., Grala, K. and Wax, C.L., 2008. A method for estimating pan evaporation for inland and coastal regions of the Southeastern US. *Southeastern Geographer*, *48*(2), pp.149-171.

6- Fekih, M., Bourabaa, A. and Mohamed, S., 2013. Evaluation of two methods for estimation of evaporation from Dams water in arid and semi-arid areas in Algeria. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, *2*(1), pp.376-81.

7- Gallego-Elvira, B., Baille, A., Martin-Gorriz, B., Maestre-Valero, J.F. and Martinez-Alvarez, V., 2012. Evaluation of evaporation estimation methods for a covered reservoir in a semi-arid climate (south-eastern Spain). *Journal of Hydrology*, *458*, pp.59-67.

8- Gorjizade, A., Akhondali, A.M., Zarei, H. and Seyyed, K.H., 2014. Evaluation of Eight Evaporation Estimation Methods in a Semi-arid Region (Dez reservoir, Iran). *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(5), pp. 1823-1836

9- Hassani, A., 2013. Evaluation Methods for Estimating Reservoir Evaporation Saveh (Ghadir). *Iran Water Resources Research*, pp.15-35. (In Persian).

10- 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*, *128*(3), pp.153-159.

11- Jahanbakhsh-Asl, S., Movahed-Danesh, A.A. and Molavi, V., 2002. Analysis of Evapotranspiration Estimation Models for Tabriz Meteorological Station. *Journal of Agricultural Science*, *11*(2), pp.52-64. (In Persian).

12- Najafvand, M. and Eslami, H., 2017 Comparison of Experimental Estimates of Evaporation from Free Water Level (Case Study: Dez Adjustment Dam). *Journal of Water Engineering*, 4(2), pp.65-73. (In Persian).

13- Naorem, N. and Devi, T.K., 2014. Estimation of potential evapotranspiration using empirical models for Imphal. *International Journal of Innovative and Exploring Engineering (IJITEE)*, *7*, pp.119-123.

14- Saadatkhah, N., Sarang, S.A., Tajrishi, M. and Abrishamchi, A., 2002. Evaluation of Chahnimeh Reservoirs Evaporation. *Journal of Water & Wastewater*, *40*(16), pp.12-32 (In Persian).

15- Sattari, M.T., Ahmadifar, V. and Pashapour-Kholf-Ansar, R. 2015. M5 tree model based modeling of evaporation losses in Eleviyan reservoir and comparison with empirical equations. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, *17*(5), pp.110-122. (In Persian).

16- Terzi, Ö. and Keskin, M.E., 2005. Modeling of daily pan evaporation. *Journal of Applied Sciences*, 5, pp.368-372.

17- Vallet-Coulomb, C., Legesse, D., Gasse, F., Travi, Y. and Chernet, T., 2001. Lake evaporation estimates in tropical Africa (Lake Ziway, Ethiopia). *Journal of Hydrology*, 245(1-4), pp.1-18.

18- Vanzyl, W.H., De Jager, J.M. and Maree, C.J., 1989. The relationship between daylight evaporation from short vegetation and the USWB Class A pan. *Agricultural and Forest Meteorology*, *46*(1-2), pp.107-118.

19- Velayati, S., 1996. Water Geography and Water Resources Management. Ferdowsi University. (In Persian).

20- Yazdani, V., Ghahrman, B. and Davari, K., 2012. Determining the best empirical method for estimating water surface vaporation based on sensitivity analysis in paddy rice field in Amol and comparing them with Artificial Neutral Network. *Iranian Water Researches Journal*, 7(4). (In Persian).