Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Simulating the effect of spatial wind changes on evaporation with CE-QUAL-W2 integrated model and Bowen's ratio

Zahra Shahi[1], Mohammad Reza Sharifi[*2], Mohammad Zakermoshfegh[3]

1. Ph.D. Student, Dept. of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: zahra94shahi@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: msharifi@scu.ac.ir
3. Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. E-mail: moshfegh@jsu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 12.31.2023
Revised: 02.02.2024
Accepted: 02.24.2024

Keywords:
CE-QUAL-W2 Model,
Evaporation,
Ratio Energy Budget Method (*BREB*),
Wind,
Wind Shelter (*Sx*)

ABSTRACT

Background and Objectives: The wind, as one of the most effective factors on evaporation from the surface of water sources, such as reservoirs of dams, plays a significant role in estimating the volume of losses due to evaporation and thus protecting water resources. However, in most evaporation estimation methods, such as experimental relationships, evaporation pans, and even new methods such as the use of satellite images, wind is considered as a constant parameter. The wind parameter has a spatial distribution under the influence of the elevations overlooking the lake and water levels. On the other hand, simulating the spatial changes of the wind and investigating its effect on evaporation, as one of the factors affecting the water cycle, is time-consuming and difficult due to the complexity of the calculations. Failure to apply wind location changes will reduce the accuracy of the calculated evaporation and as a result, it will be difficult to access the exact amount of evaporation losses.

Materials and Methods: In this study, to calculate the effect of spatial changes of wind on evaporation losses from the Dez Dam reservoir located in Khuzestan province and the southwest of Iran, the combination of the CE-QUAL-W2 model and Bowen Ratio Energy Budget (BREB) method was used. The wind shelter coefficient (WSC) as one of the input parameters to the CE-QUAL-W2 model, makes it possible for the model to consider the wind shelter condition in different segments of water bodies differently. However, due to the lack of access to a suitable criterion to show the wind shelter condition in different segments, before this research, the value of WSC was considered constant in all or large parts of the water body. In this study, CE-QUAL-W2 model capability was used for reservoir segmentation, and wind shelter condition was determined in each segment, using the wind shelter index (Sx). Therefore, it was possible to assign different WSC values in each segment. In this way, the thermal profiles in each of these segments, under the influence of two conditions of constant and variable wind (constant and variable WSC), were extracted and entered into the BREB method to calculate evaporation.

Results: The results showed that the application of spatial wind changes compared to constant wind conditions, improved the performance of the CE-QUAL-W2 model by 45% in the temperature calibration stage. Also, the monthly evaporation from the lake increased by 13%.

Conclusion: This study, introduced a standardized method for simulating the effect of spatial wind changes on evaporation from water surfaces. So that, it was possible to quantify the effect of wind on evaporation and as a result water losses from the lake, by comparing two conditions of variable and constant wind, in different segments of the studied lake.

Cite this article: Shahi, Zahra, Sharifi, Mohammad Reza, Zakermoshfegh, Mohammad. 2024. Simulating the effect of spatial wind changes on evaporation with CE-QUAL-W2 integrated model and Bowen's ratio. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (1), 133-152.



© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2024.22049.3704
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴

شبیه‌سازی تأثیر تغییرات مکانی باد بر تبخیر با مدل تلفیقی CE-QUAL-W2 و نسبت بون

زهرا شاهی[۱]، محمدرضا شریفی*[۲]، محمد ذاکرمشفق[۳]

۱. دانشجوی دکتری گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: zahra94shahi@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: msharifi@scu.ac.ir

۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران. رایانامه: moshfegh@jsu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۲/۱۰/۱۰
تاریخ ویرایش: ۰۲/۱۱/۱۳
تاریخ پذیرش: ۰۲/۱۲/۰۵

واژه‌های کلیدی:
باد،
بادپناهی (*Sx*)،
تبخیر،
روش بودجه انرژی نسبت بون (*BREB*)،
مدل CE-QUAL-W2

چکیده

سابقه و هدف: باد به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل بر تبخیر از سطوح منابع آبی، مانند مخازن سدها، نقش به‌سزایی در مقدار برآورد حجم تلفات ناشی از تبخیر و درنتیجه حفاظت از منابع آب دارد. این در حالی است که در اغلب روش‌های برآورد تبخیر مانند روابط تجربی، تشت تبخیر و حتی روش‌های نوین مانند استفاده از سنجنده‌های ماهواره‌ای، عامل باد، ثابت در نظر گرفته می‌شود. پارامتر باد، تحت‌تأثیر ارتفاعات مشرف بر دریاچه و سطوح آبی، دارای توزیع مکانی می‌باشد. از سویی دیگر، شبیه‌سازی تغییرات مکانی باد و بررسی تأثیر آن بر تبخیر، به‌عنوان یکی از عوامل چرخه آب، به‌واسطه پیچیده بودن روابط حاکم بر آن، زمان‌بر و دشوار است. عدم اعمال تغییرات مکانی باد، سبب کاهش دقت در برآورد تبخیر و درنتیجه عدم دسترسی به مقدار دقیق تلفات ناشی از آن خواهد شد.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر به‌منظور محاسبه هرچه دقیق‌تر تلفات ناشی از تبخیر از مخزن سد دز واقع در استان خوزستان و در جنوب غرب ایران، با در نظر گرفتن اثر تغییرات مکانی باد، از تلفیق مدل CE-QUAL-W2 و روش بودجه انرژی نسبت بون (*BREB*) استفاده گردید. ضریب تأثیر باد (*WSC*) به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی به مدل CE-QUAL-W2، این امکان را برای مدل به وجود می‌آورد که وضعیت بادپناهی در بخش‌های مختلف پیکره‌های آبی را متفاوت در نظر بگیرد. بااین‌حال، به‌دلیل عدم دسترسی به یک معیار مناسب برای نشان دادن وضعیت بادپناهی در نقاط مختلف مخازن، پیش‌ازاین، مقدار *WSC* در تمام یا بخش‌های وسیعی از آب ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شد. در تحقیق حاضر، از قابلیت مدل CE-QUAL-W2 در تقسیم مخزن به بخش‌های کوچک‌تر و توانایی شاخص بادپناهی (*Sx*)

در تعیین وضعیت بادپناهی یا بادروبی در هر بخش استفاده و امکان تخصیص مقادیر متفاوت *WSC* در هر یک از بخش‌های دریاچه ایجاد گردید. بدین ترتیب، پروفیل‌های حرارتی در هر یک از این بخش‌ها، تحت‌تأثیر دو حالت ثابت و متغیر بودن باد (ثابت و متغیر در نظر گرفتن *WSC*)، استخراج و به‌منظور محاسبه تبخیر وارد روش بودجه انرژی نسبت بون (*BREB*) گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، اعمال تغییرات مکانی باد در سطح دریاچه، در مقایسه باحالتی که این تغییرات در نظر گرفته نشده است، ضمن بهبود عملکرد مدل CE-QUAL-W2 در مرحله کالیبراسیون دمایی، به میزان ۴۵ درصد، سبب افزایش ۱۳ درصدی تبخیر ماهانه برآورده شده از سطح دریاچه گردیده است.

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر، ضمن معرفی و ارائه روشی مدون برای شبیه‌سازی تغییرات مکانی باد روی سطوح آبی، توانست از طریق مقایسه دو حالت با و بدون اعمال تغییرات مکانی باد، در بخش‌های مختلف سطح دریاچه سد موردمطالعه، اثر کمی باد بر تبخیر و درنتیجه تلفات از دریاچه را برآورد و ارائه نماید.

استناد: شاهی، زهرا، شریفی، محمدرضا، ذاکرمشفق، محمد (۱۴۰۳). شبیه‌سازی تأثیر تغییرات مکانی باد بر تبخیر با مدل تلفیقی CE-QUAL-W2 و نسبت بون. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۱ (۱)، ۱۵۲-۱۳۳.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.22049.3704

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

باد یکی از مؤثرترین عوامل بر شدت تبخیر است (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵). در تمامی روابط مورداستفاده برای برآورد تبخیر از سطوح آبی، عامل باد، ازنظر مکانی، ثابت در نظر گرفته‌شده است (۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴). این در حالی است که تغییرات مکانی باد به‌ویژه در سطوح آبی وسیع، مانند دریاچه مخازن به اثبات رسیده است. به‌عنوان نمونه، نتایج پژوهش‌های عبدالحمید و همکاران (۲۰۲۱) بر دریاچه ناصر در کشور مصر بیانگر آن است که تبخیر در حاشیه دریاچه کم‌تر از قسمت‌های مرکزی است (۱۵). عبید و اسماعیل (۲۰۱۰) نیز نرخ تبخیر را از وسط دریاچه تا حاشیه دریاچه متغیر برآورد کردند (۱۶). شو و همکاران (۲۰۰۶)، در پژوهشی، تغییرات مکانی و زمانی تبخیر- تعرق مرجع، تشت تبخیر و ضریب تشت تبخیر را در حوضه آبریز رودخانه یانگ تسه بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند ضمن این‌که ضریب تشت تبخیر دارای توزیع مکانی است، به میزان قابل‌توجهی نیز تحت‌تأثیر سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه قرار دارد (۱۷). نتایج پژوهش‌های هی و همکاران (۲۰۱۷) در حوضه‌ای در چین شامل مخزن جورجس[1]، نشان می‌دهد که نرخ تبخیر از شرق به غرب این حوضه دارای روند کاهشی بوده (۲). شریفی و شاهی (۲۰۲۰)، برای اولین بار از شاخص بادپناهی (Sx) که معیاری برای نشان دادن تغییرات مکانی باد در سطوح آبی است، به‌منظور تفکیک سطح دریاچه سد دز به بخش‌هایی با شرایط متفاوت بادپناهی استفاده کردند. آن‌ها از طریق محاسبه و بررسی مقادیر بادپناهی در نقاط مختلف سطح دریاچه نتیجه گرفتند که بادپناهی نواحی مرکزی دریاچه کم‌تر از قسمت‌های حاشیه‌ای است. ازاین‌رو، نواحی مرکزی بیش‌تر در معرض تبخیر قرار دارند. آن‌ها در پژوهش خود صرفاً توانستند تغییرات مکانی باد در سطح دریاچه را نشان دادند. ولی در خصوص تأثیر کمی تغییرات مکانی بر مقدار تبخیر، نتیجه‌ای ارائه ندادند (۱۸). بنابراین، با توجه به ماهیت پویا و تغییرات مکانی باد که منجر به تغییرات مکانی تبخیر می‌گردد، استفاده از روش‌های محاسبه تبخیر در سطوح وسیع، مانند مخازن سدها و دریاچه‌ها با خطای بیش‌تری همراه است (۱۹).

مدل CE-QUAL-W2 یک مدل دوبعدی افقی و عمودی برای شبیه‌سازی حرارت، هیدرودینامیک و کیفیت آب است که قادر به مدل‌سازی پیکره‌هایی مانند رودخانه‌های عمیق، دریاچه‌ها و مخازن سدها است (۲). ضریب تأثیر باد (WSC[2]) یکی از مهم‌ترین ورودی‌های این مدل است که قادر به نمایش وضعیت بادپناهی یا بادروبی در بخش‌های مختلف از سطوح آبی است (۲۰، ۲۱، ۳، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶). مرور منابع نشان می‌دهد که علی‌رغم توانایی مدل CE-QUAL-W2 در تفکیک سطوح آبی به چند بخش و در نظر گرفتن یک WSC مجزا در هر بخش، به‌دلیل عدم دسترسی به یک معیار برای نشان دادن وضعیت تغییرات مکانی باد بر سطوح آبی، معمولاً از یک مقدار ثابت برای WSC در تمام سطح موردمطالعه استفاده می‌شود (۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵).

روش بودجه انرژی نسبت بون ($BREB$[3])، به‌عنوان یک روش استاندارد و مرجع در برآورد تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن شناخته می‌شود (۳۶، ۳۷، ۳۸ و ۳۹). مرور منابع نشان می‌دهد که در مطالعات بسیاری از روش $BREB$ به‌منظور بررسی صحت و اعتبارسنجی سایر روش‌های موجود برای محاسبه تبخیر به‌ویژه روش‌های تجربی، استفاده می‌شود (۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶ و ۴۷). به‌عنوان‌مثال،

1- Gorges

2- Wind Shelter Coefficient

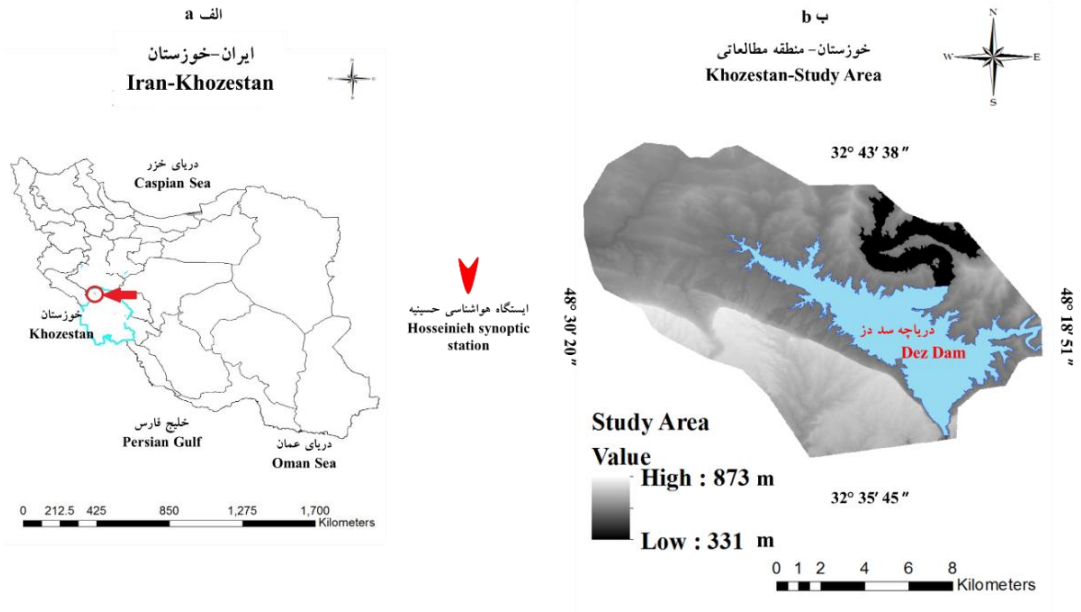
3- The Bowen ratio energy budget

بزرگی و همکاران (۲۰۲۰)، ۱۲ روش تجربی را با روش *BREB* مقایسه و روش‌های استنفنز- استورات، مککینک، جنسن- هیز و بلانی- کریدل را به‌عنوان مناسب‌ترین روش‌ها برای محاسبه تبخیر از سطح دریاچه سد کرخه در ایران شناسایی کردند (۴۱). آچاریا و شارما (۲۰۲۱) نیز، از روش *BREB* به‌منظور اعتبارسنجی مقادیر تبخیر برآورد شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند (۴۰). هم‌چنین، در مطالعات دیگری مانند هیچام و همکاران (۲۰۲۳)، از تلفیق روش *BREB* با سایر مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیونی به‌منظور افزایش دقت برآورد تبخیر استفاده گردید (۴۸).

در پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی تأثیر توزیع مکانی باد بر میزان تلفات ناشی از تبخیر، با کمک *Sx* و روش تلفیقی مدل CE-QUAL-W2 و *BREB*، اقدام به برآورد تبخیر از دریاچه سد دز واقع در غرب ایران گردید.

مواد و روش‌ها

دریاچه سد دز در شکل ۱، دارای مساحت ۶۵ کیلومترمربع در عرض جغرافیایی ″۴۵ ′۳۵ °۳۲ تا ″۳۸ ′۴۳ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ″۵۱ ′۱۸ °۴۸ تا ″۲۰ ′۳۰ °۴۸ شرقی در استان خوزستان که به‌عنوان یکی از مناطق گرمسیر کشور شناخته می‌شود، واقع شده است. بررسی شرایط آب و هوایی نشان می‌دهد که محدوده موردمطالعه، در اغلب روزهای تابستان، دمای بالای ۴۰ °C را تجربه می‌کند. هم‌چنین، بررسی توپوگرافی و ارتفاعات اطراف دریاچه در شکل ۱- ب نشان می‌دهد که دامنه تغییر ارتفاعات از ۳۳۱ تا ۸۷۳ متر است. ازاین‌رو، وضعیت بادپناهی و بادروبی نقاط مختلف سطح مخزن، تحت‌تأثیر ارتفاعات مشرف بر دریاچه، متغیر است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه: (الف) در ایران و استان خوزستان، و (ب) توپوگرافی اطراف دریاچه (*m*).

Figure 1. The locations of the study areas: (a) In Iran and Khuzestan Province, (b) elevations overlooking the lake (*m*).

در پژوهش حاضر، ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور که در مقایسه با دیگر ماه‌های سال، بالاترین نرخ تبخیر را دارند، به‌عنوان ماه‌های هدف در نظر گرفته شد. دوره شبیه‌سازی نیز از اول دی‌ماه ۱۳۹۷ تا پایان شهریور ۱۳۹۸ در نظر گرفته شد. اطلاعات موردنیاز عبارت از داده‌های هواشناسی شامل نقطه شبنم ($°C$)، دمای هوا ($°C$)، پوشش ابر (درجه‌بندی از ۰ تا ۱۰) و سرعت (ms^{-1}) و جهت باد (درجه) بودند که از آمار ایستگاه سینوپتیک حسینیه واقع در ۲۳ کیلومتری شرق مخزن سد دز (شکل ۱- ب) تهیه شدند. هم‌چنین، منحنی حجم- سطح- ارتفاع مخزن، تراز روزانه سطح آب مخزن، آمار دبی روزانه ورودی و خروجی از مخزن، دمای روزانه آب ورودی به مخزن و پروفیل‌های حرارتی اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف مخزن از دیگر اطلاعات و داده‌های موردنیاز برای انجام پژوهش حاضر بودند.

مدل CE-QUAL-W2، یک مدل هیدرودینامیکی دوبعدی افقی و عمودی است که یکی از کاربردهای آن شبیه‌سازی حرارت در مخازن است که حتی در مطالعات مربوط به کیفیت آب نیز بسیار اهمیت دارد (۴۹). اولین گام برای شبیه‌سازی حرارت، ورود خصوصیات مربوط به هندسه مخزن به مدل CE-QUAL-W2 است (۲۹). برای ورود این اطلاعات که یکی از مهم‌ترین و درعین‌حال وقت‌گیرترین فایل‌های ورودی به مدل می‌باشند، ابتدا پیکره آبی به بخش‌هایی تقریباً هم‌اندازه که پشت سر هم و در راستای طولی مخزن امتدادیافته‌اند، تقسیم می‌گردد. هم‌چنین، هرکدام از این بخش‌ها به لایه‌های عمقی با ارتفاع یکسان که معمولاً یک یا دو متر است، تقسیم می‌گردند (۴۹). عرض هر یک از این لایه‌ها در هر بخش، به‌عنوان هندسه مخزن به مدل معرفی می‌گردد. در پژوهش حاضر، دریاچه سد دز و بخش‌هایی از رودخانه دز که منبع اصلی تغذیه این دریاچه است به ۵۵ بخش و هر بخش به لایه‌های دومتری تقسیم گردید. بخش‌های ۱ تا ۱۶ که پیکره دریاچه را در برمی‌گیرند به‌منظور محاسبه تبخیر مورداستفاده قرار گرفتند.

استخراج پروفیل‌های حرارتی از مدل CE-QUAL-W2، مستلزم سه مرحله کالیبراسیون شامل هندسه، سطح آب و دمای آب مخزن می‌باشد. در کالیبراسیون هندسه مخزن، حجم‌های برآورد شده توسط مدل در هر لایه با جدول حجم- سطح- ارتفاع مربوط به پیکره آبی مقایسه و در صورت وجود اختلاف، طی یک یا چند مرحله کالیبراسیون، اصلاح می‌گردند. هم‌چنین، دبی آب خروجی از مخزن که توسط مدل شبیه‌سازی می‌گردد، از طریق مقایسه با آمار روزانه ارتفاع سطح آب در مخزن، در صورت نیاز کالیبره و تصحیح می‌گردد (۴۹). پس از کالیبراسیون هندسه مخزن و سطح آب، به کالیبراسیون دمایی احتیاج است. در پژوهش حاضر کالیبراسیون دمایی از طریق کالیبراسیون ضریب تأثیر باد (WSC) انجام گرفت. ضریب مذکور شاخصی بادپناهی و بادروبی مخزن تحت‌تأثیر شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه می‌باشد. به‌طوری‌که هرچه مقدار آن بزرگ‌تر باشد، بیانگر وضعیت بادروبی بیش‌تر روی سطح است (۳۱، ۵۰ و ۵۱). مقدار WSC باید برای اولین و آخرین روز دوره شبیه‌سازی که بر اساس روزهای سال میلادی (روز ژولین) وارد مدل می‌گردند، به‌ازای هر بخش تعیین گردد. این در حالی است که علی‌رغم اهمیت WSC بر شبیه‌سازی دمای آب مخازن می‌شود (۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵)، به دلیل عدم دسترسی به یک معیار برای نشان دادن وضعیت تغییرات مکانی باد، مقدار آن از طریق آزمون‌وخطا تعیین و معمولاً در تمام بخش‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر، با استفاده از قابلیت تغییر WSC در هر بخش از مخزن، اقدام به ارزیابی تأثیر تغییرات مکانی باد بر محاسبه

تبخیر گردید. برای این منظور، از *WSC* در دو حالت استفاده گردید. در حالت اول، مقدار *WSC* در تمام بخش‌های مخزن ثابت و برابر با بهترین مقدار خود که طی کالیبراسیون و از طریق سعی و خطا تعیین می‌گردد، در نظر گرفته شد. در حالت دوم، در بخش‌های مختلف مخزن، متناسب با وضعیت بادپناهی یا بادروبی، مقادیر مختلفی به *WSC* تخصیص یافت. این در حالی است که در حالت دوم، از *Sx* به‌منظور تخصیص این مقادیر به هر یک از بخش‌ها استفاده گردید که در ادامه به‌شرح آن پرداخته خواهد شد.

شاخص بادپناهی (*Sx*)، تأثیر باد در هر نقطه را با توجه به ارتفاعات بالادست آن نقطه و در جهت باد غالب منطقه نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر، *Sx* یک نقطه، از تعیین شیب وزش باد که اصطلاحاً شیب مقابل به باد نامیده می‌شود، بین نقطه موردنظر و هر نقطه واقع در بالادست باد که روی دریافت انرژی باد تأثیر دارد، از طریق رابطه ۱ و برحسب درجه به دست می‌آید (۵۲).

$$Sx_{A,d_{max}}(X_i,Y_i) = max\left[tan^{-1}\left(\frac{ELV(X_v,Y_v)-ELV(X_i,Y_i)}{[(X_v-Y_v)^2+(X_i-Y_i)^2]^{0.5}}\right)\right] \quad (۱)$$

که در آن، X_i و Y_i مختصات نقاط اندازه‌گیری (نقاط واقع بر سطح آب که *Sx* در آن‌ها محاسبه می‌شود)، X_v و Y_v مختصات نقاطی که تأثیر آن‌ها بر بادپناهی هر نقطه واقع بر سطح آب اندازه‌گیری می‌شود، d_{max} مؤثرترین فاصله میان نقطه اندازه‌گیری تا هر یک از نقاطی که تأثیر آن بر بادپناهی نقاط، اندازه‌گیری می‌شود که با توجه به نتایج پژوهش شاهی و شریفی (۲۰۱۸) برای سد دز برابر با ۱۰۰۰ متر در نظر گرفته شد (۵۳)، *A* آزیموت امتداد در نظر گرفته‌شده به‌منظور محاسبه *Sx* که درواقع همان راستای وزش باد است و *ELV* ارتفاع (متر) هستند. در این پژوهش، به‌منظور نشان دادن وضعیت تغییرات مکانی باد در هر بخش از مخزن و تخصیص مقادیر آن به *WSC*، ابتدا مطابق روش مندرج در پژوهش شریفی و شاهی (۲۰۲۰)، *Sx* در نقاط مختلف سطح مخزن، محاسبه و سپس، مقادیر مذکور در هر یک از بخش‌های از دریاچه، بنا بر توصیه راهنمای مدل CE-QUAL-W2 در مورد مخازن، با استفاده از روابط رگرسیونی به اعدادی بین بازه ۰/۵ تا ۰/۹ تبدیل گردیدند (۱۸ و ۴۹). برای این منظور، در ابتدا مقادیر حداقل و حداکثر *Sx* در هر بخش شناسایی و به‌ترتیب در مقابل دو عدد ۰/۹ و ۰/۵ قرار گرفتند و پس از تعیین معادله رگرسیون مربوط به آن بخش، همه مقادیر *Sx* در آن بخش به *WSC* تبدیل شدند. درنهایت، میانگین مقادیر *WSC* در هر بخش به‌عنوان *WSC* مربوط به آن بخش وارد مدل CE-QUAL-W2 گردید.

روش بودجه انرژی نسبت بون (*BREB*) بر اصل بقای انرژی استوار است (۴۲). در این روش، انرژی ورودی و خروجی، با مقدار انرژی ذخیره‌شده در سیستم متعادل می‌شود. تبخیر در بودجه انرژی با استفاده از رابطه ۲ بیان می‌شود (۵۴ و ۵۵):

$$E = \frac{R_s-R_{sr}+R_a-R_{ar}-R_b-S}{\rho_w L_v(1+\beta)} \quad (۲)$$

در رابطه فوق، E تبخیر از آب (متر بر ثانیه)، R_s و R_a به‌ترتیب، تابش موج‌کوتاه و تابش موج‌بلند (وات بر مترمربع)، R_{sr} و R_{ar} به‌ترتیب تابش موج‌کوتاه و بلند برگشتی از سطح آب (وات بر مترمربع)، R_b تابش

موج‌بلند که از مخزن ساطع می‌شود (وات بر مترمربع)، S تغییر در محتوای انرژی (حرارتی) مخزن (وات بر مترمربع)، ρ_w چگالی آب (برابر با ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب)، L_V گرمای نهان تبخیر آب (ژول بر کیلوگرم) و β نسبت بون می‌باشد. در رابطه فوق مقادیر R_s، R_{sr}، R_a و R_{ar} با استفاده از روابط ۳ تا ۷ به دست می‌آیند.

$$R_s = \left(a + b\frac{n}{N}\right) R_0 \quad (۳)$$

$$R_{sr} = a_s R_s \quad (۴)$$

$$R_a = \varepsilon_a \sigma (T_a + 273)^4 \quad (۵)$$

$$R_{ar} = a_L R_a \quad (۶)$$

$$R_b = \varepsilon_a \sigma (T_s + 273)^4 \quad (۷)$$

در روابط فوق، nN^{-1} نسبت تابش خورشید واقعی به تئوری روزانه، R_0 تابش خورشیدی بالایی (محدوده بیرونی جو) (وات بر مترمربع) و a و b ثابت‌های وابسته به عرض جغرافیایی هستند که به ترتیب برابر با ۰/۱۹ و ۰/۵۴ در نظر گرفته می‌شوند، a_s بازتاب موج‌کوتاه آب است که معمولاً برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود، σ ثابت استفان بولتزمن که برابر با $۵/۶۷\times۱۰^{-۸}$ وات بر مترمربع بر کلوین به توان ۴ است، ε_a انتشار اتمسفریک که با استفاده از روابط ۸ و ۹ تعیین می‌گردد و a_L تابش موج‌بلند بازتاب شده از آب است که معمولاً برابر با ۰/۰۳ در نظر گرفته می‌شود.

$$for\ \frac{n}{N} \le 0.4:\ \ \varepsilon_a = 0.87 - \frac{n}{N}(0.175 - 29.92\times10^{-4}\times e_a) + 2.693\times10^{-3}\times e_d \quad (۸)$$

$$for\ \frac{n}{N} \ge 0.4:\ \ \varepsilon_a = 0.84 - \frac{n}{N}(0.1 - 9.973\times10^{-4}\times e_d) + 3.491\times10^{-3}\times e_d \quad (۹)$$

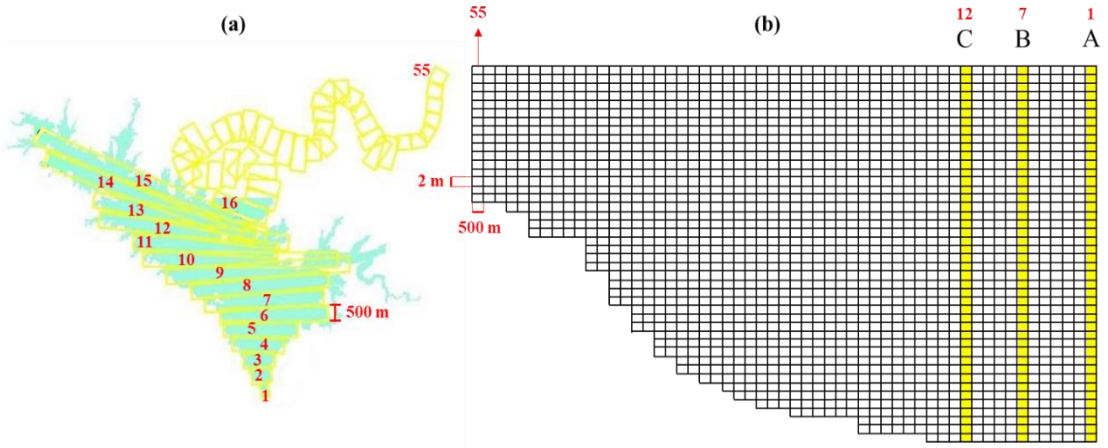
تغییر در محتوای حرارتی بدنه آبی (S) را می‌توان با تغییر دمای دریاچه برای گام زمانی مورداستفاده در روش بودجه انرژی با توجه به رابطه ۱۰ تعیین کرد (۵۴ و ۵۵). در این پژوهش، از پروفیل‌های حرارتی استخراج‌شده از مدل CE-QUAL-W2 برای محاسبه S استفاده گردید.

$$S = \frac{\rho_w C_{pw}}{A_s}\frac{d}{dt}\int_0^{Z_{max}} AT\ dZ \quad (۱۰)$$

که در آن، C_{pw} گرمای ویژه آب (ژول بر کیلوگرم بر درجه سانتی‌گراد)، A_s سطح دریاچه (مترمربع)، $A(Z)$ مساحت افقی دریاچه که تابعی از عمق است (مترمربع)، $T(Z,T)$ دمای آب (درجه سانتی‌گراد) که تابعی از عمق (z) و زمان (t) است که در این پژوهش، براساس خصوصیات هندسه مخزن ورودی به مدل CE-QUAL-W2، z برابر با دو متر و گام زمانی روزانه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

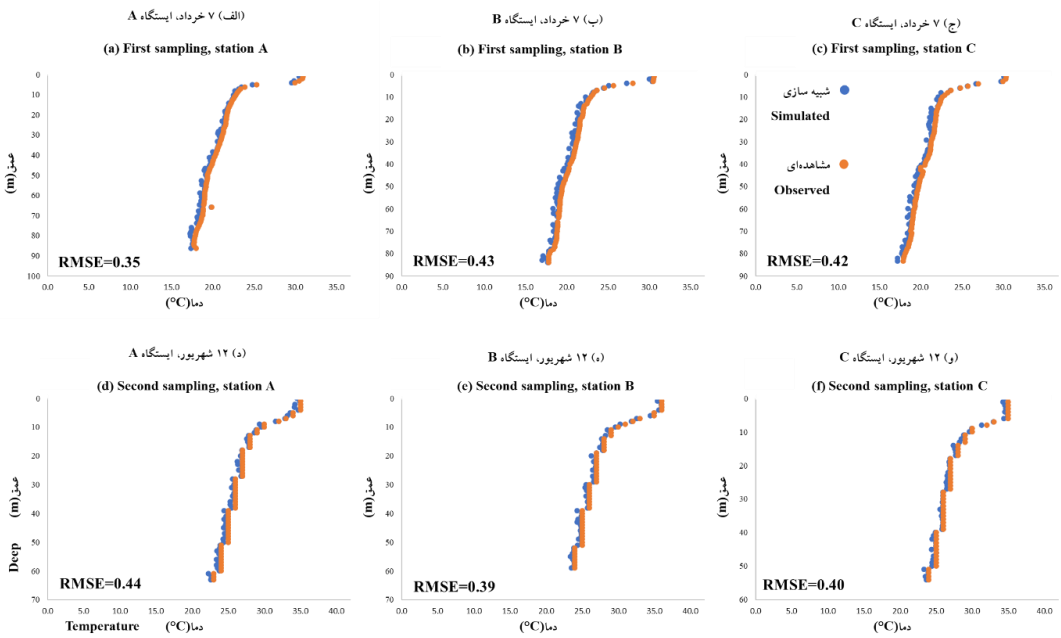
شکل ۲، نمای بالا و جانبی بخش‌های ایجادشده در مخزن و قسمتی از رودخانه منتهی به آن را به‌ترتیب در قسمت (الف) و (ب) نشان می‌دهد. از میان ۵۵ بخش ایجادشده روی کل محدوده موردمطالعه، بخش‌های ۱ تا ۱۶ پیکره دریاچه را در برمی‌گیرند. هم‌چنین، نقاط *A*، *B* و *C*، موقعیت‌های اندازه‌گیری پروفیل حرارتی در دریاچه را نشان می‌دهد که به‌ترتیب در بخش‌های ۱، ۷ و ۱۲ واقع شده‌اند.



شکل ۲- موقعیت بخش‌های حاصل تقسیم‌بندی دریاچه سد دز و رودخانه منتهی به آن و ایستگاه‌های اندازه‌گیری پروفیل دمایی آب مخزن: (الف) دید از بالا، و (ب) نمای جانبی.

Figure 2. Location of: (a) Top view of Dez reservoir and river, (b) Vertical view of Dez reservoir and river with monitoring stations (yellow shades: monitoring station).

شکل ۳ پروفیل‌های حرارتی شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه‌های *A*، *B* و *C* در روزهای ۷ خرداد و ۱۲ شهریور سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. پروفیل‌های مزبور، مطابق با رویه معمول در پژوهش‌های پیش‌ازاین، به ازای بهترین مقدار برای *WSC* در روز اول و آخر شبیه‌سازی، به‌ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۵۹ به‌دست‌آمده‌اند. هم‌چنین، حداقل مقادیر به‌دست‌آمده برای *RMSE* که اختلاف بین دمای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده را در ایستگاه‌ها و روزهای نمونه‌برداری نشان می‌دهند، در شکل مذکور ارائه‌شده است. به‌طوری‌که، برای روزهای ۷ خرداد و ۱۲ شهریور، مقادیر *RMSE* در ایستگاه *A*، به‌ترتیب برابر با ۰/۳۵ و ۰/۴۴، در ایستگاه *B*، ۰/۴۳ و ۰/۳۹ و در ایستگاه *C*، ۰/۴۲ و ۰/۴۰ گردید. نتایج مذکور، بیانگر مناسب بودن پروفیل‌های استخراجی از مدل CE-QUAL-W2 در حالت اول (۰<*RMSE*<۱)، برای استفاده در روش *BREB* و محاسبه تبخیر می‌باشد (۴۹).



شکل ۳- پروفیل‌های حرارتی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری‌شده در روزها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری، در حالت ثابت در نظر گرفتن باد در تمام بخش‌های دریاچه.

Figure 3. Simulated and observed thermal profiles in days and sampling stations, where the wind shelter in the segments was not variable.

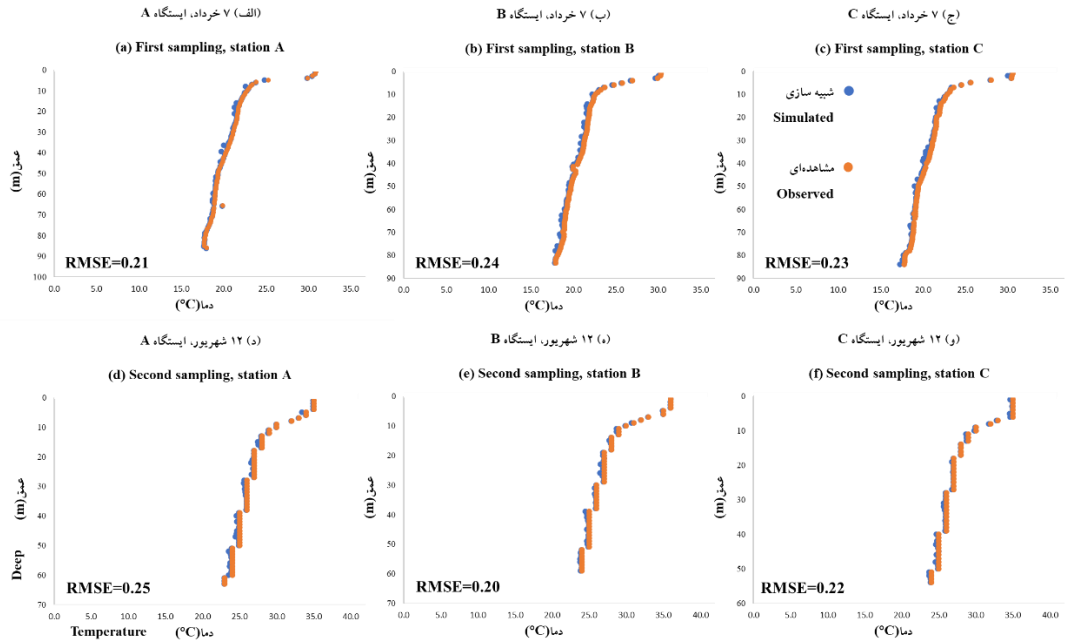
حالت متغیر بودن وضعیت وزش باد در سطح مخزن: جدول ۱، مقادیر *WSC* در هر یک از بخش‌های دربرگیرنده دریاچه را که با استفاده از روابط رگرسیونی به اعدادی در بازه ۰/۵ تا ۰/۹ تبدیل شدند، نشان می‌دهد. هم‌چنین، متوسط *Sx* در هر یک از بخش‌ها و هر یک از ماه‌های خرداد تا شهریور را که به‌ترتیب در بازه‌های ۰/۲۵ تا ۰/۳۷، ۰/۲۵ تا ۰/۳۷، ۰/۲۷ تا ۰/۳۹ و ۰/۳۱ تا ۰/۴۴ قرار داشتند، در جدول مذکور نشان داده شده‌اند. بررسی روند تغییرات *WSC* در این جدول نشان می‌دهد که در ماه‌های خرداد و تیر، بادروبی در طول مخزن از ۰/۶۷ به ۰/۸۱، در ماه مرداد از ۰/۶۵ به ۰/۷۸ و در ماه شهریور از ۰/۵۸ به ۰/۷۱ افزایش پیداکرده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که با نزدیک شدن به بخش‌های مرکزی دریاچه، از میزان بادپناهی کاسته و بر میزان بادروبی افزوده‌شده است.

شکل ۴ نیز همانند شکل ۳، پروفیل‌های حرارتی شبیه‌سازی‌شده توسط مدل CE-QUAL-W2، در روزهای نمونه‌برداری را در ایستگاه‌های *A*، *B* و *C* در حالتی که تغییرات مکانی وضعیت باد در بخش‌های مختلف مخزن در نظر گرفته‌شده است، نشان می‌دهد. در این شرایط، مقادیر *RMSE* برای روزهای نمونه‌برداری در ایستگاه *A*، به‌ترتیب برابر با ۰/۲۱ و ۰/۲۵، در ایستگاه *B*، ۰/۲۴ و ۰/۲۰ و در ایستگاه *C*، ۰/۲۳ و ۰/۲۲ گردید.

جدول ۱- مقادیر *WSC* و متوسط *Sx* در بخش‌های مختلف دریاچه، در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور.

Table 1. WSC values in different segments of the lake, in June, July, August and September.

ماه Month	*Sx*, *WSC*	شماره بخش Number of segments															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
خرداد June	*Sx*	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.27	0.28
	WSC	0.67	0.68	0.68	0.69	0.70	0.70	0.71	0.72	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.86	0.84	0.81
تیر July	*Sx*	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35	0.33	0.32	0.30	0.28	0.27	0.25	0.27	0.28
	WSC	0.67	0.68	0.68	0.69	0.70	0.70	0.71	0.72	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.86	0.84	0.81
مرداد August	*Sx*	0.39	0.38	0.38	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35	0.33	0.31	0.30	0.28	0.27	0.28	0.31
	WSC	0.65	0.66	0.66	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70	0.72	0.74	0.77	0.79	0.81	0.84	0.81	0.78
شهریور September	*Sx*	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31	0.33	0.35
	WSC	0.58	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.63	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.77	0.75	0.71



شکل ۴- پروفیل‌های حرارتی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده در روزها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری، در حالتی که شرایط باد متغیر در نظر گرفته‌شده است.

Figure 4. Simulated thermal profiles and observations in days and sampling stations, in variable wind conditions.

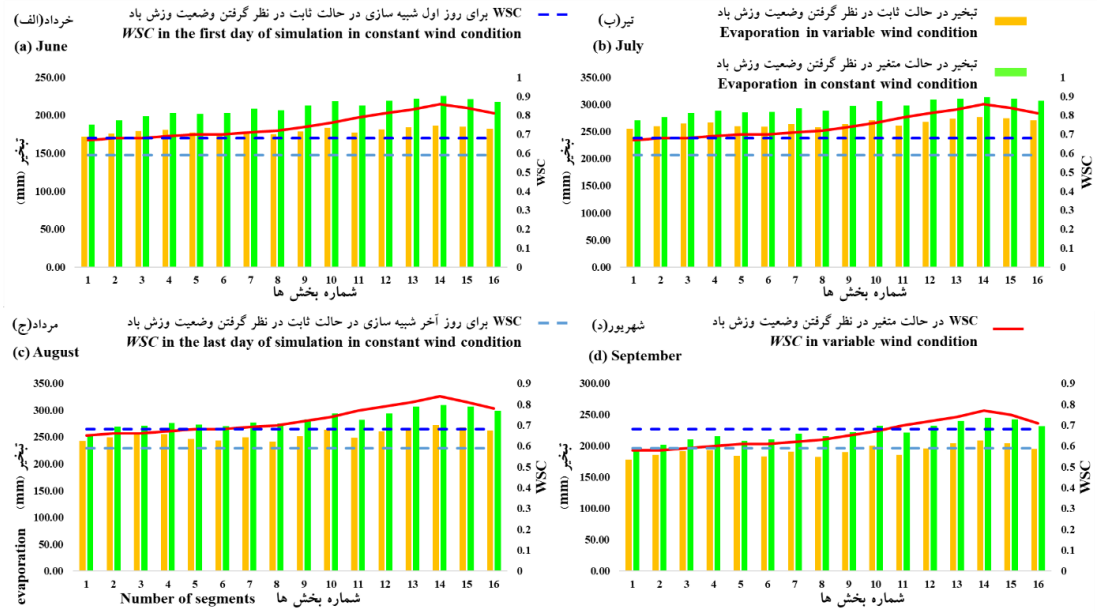
بررسی مقادیر *RMSE* در دو حالت ثابت و متغیر در نظر گرفتن باد و همچنین درصد کاهش *RMSE* در حالت متغیر در نظر گرفتن شرایط باد نسبت به حالت ثابت در نظر گرفتن آن، در جدول ۲ نشان می‌دهد که در صورت متغیر در نظر گرفتن شرایط باد در بخش‌های دریاچه، دامنه تغییرات *RMSE* از بازه ۰/۳۵-۰/۴۴ به ۰/۲۰-۰/۲۵ کاهش می‌یابد. همچنین، مقادیر *RMSE* در حالت متغیر در نظر گرفتن باد نسبت به ثابت بودن آن، در روزهای نمونه‌برداری، به‌ترتیب، به میزان ۴۷ و ۴۵ درصد در ایستگاه *A*، ۴۳ و ۴۹ درصد در ایستگاه *B* و ۴۰ و ۴۳ درصد در ایستگاه *C*، کاهش‌یافته‌اند. بنابراین، به نظر می‌رسد که در روش دوم مورداستفاده در این پژوهش (متغیر بودن *WSC*)، عملکرد مدل CE-QUAL-W2 در شبیه‌سازی پروفیل‌های دمایی، نسبت به حالت ثابت در نظر گرفتن باد (رویه معمول در مطالعات پیش‌ازاین پژوهش)، بهبودیافته و به‌طور متوسط، منجر به افزایش دقت نتایج شبیه‌سازی، به میزان ۴۵ درصد شده است.

شکل ۵، مجموع تبخیر ماهانه از دریاچه، حاصل از روش *BREB* را به تفکیک بخش‌های مختلف آن (بخش‌های ۱ تا ۱۶)، در دو حالت بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی باد (*WSC* ثابت) و حالت متغیر در نظر این تغییرات در هر بخش (*WSC* متغیر)، با هم مقایسه می‌کند. ملاحظه می‌گردد که تبخیر برآورد شده از هر یک بخش‌ها، در حالتی که باد متغیر در نظر گرفته‌شده است (نمودارهای میله‌ای سبزرنگ)، در مقایسه باحالت عکس آن (نمودارهای میله‌ای زردرنگ)، بیش‌تر است. هم‌چنین، ملاحظه می‌گردد که در حالت متغیر در نظر گرفتن تغییرات مکانی باد، افزایش *WSC* در بخش‌های میانی مخزن (نمودار قرمزرنگ در شکل ۵)، منجر به افزایش تبخیر نسبت به حالت ثابت در نظر گرفتن باد، شده است.

جدول ۲- تغییرات مقادیر ***RMSE*** در حالت متغیر بودن باد نسبت به حالتی که ثابت در نظر گرفته‌شده است.

Table 2. The changes of RMSE values in variable wind condition compared to constant condition.

۱۲ شهریور Second sampling	۷ خرداد First sampling		ایستگاه‌های اندازه‌گیری Stations Observed
0.40	0.43	*RMSE* در حالت ثابت بودن باد *RMSE* in constant wind conditions	A
0.22	0.23	*RMSE* در حالت متغیر بودن باد RMSE in variable wind conditions	
45	47	کاهش *RMSE* در حالت متغیر بودن باد نسبت به ثابت بودن آن (٪) Reduction of *RMSE* in the condition of variable wind compared to constant condition (%)	
0.39	0.42	*RMSE* در حالت ثابت بودن باد	B
0.20	0.24	*RMSE* در حالت متغیر بودن باد	
49	43	کاهش *RMSE* در حالت متغیر بودن باد نسبت به ثابت بودن آن (٪)	
0.44	0.35	*RMSE* در حالت ثابت بودن باد	C
0.25	0.21	*RMSE* در حالت متغیر بودن باد	
43	40	کاهش *RMSE* در حالت متغیر بودن باد نسبت به ثابت بودن آن (٪)	



شکل ۵- مقایسه تبخیر ماهانه برآورد شده در دو حالت ثابت و متغیر در نظر گرفتن وضعیت باد، به تفکیک هر یک از بخش‌های دریاچه و ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور.

Figure 5. The comparison of monthly evaporation estimated in two conditions of constant and variable wind conditions, separately for each of the lake segments and the months of June, July, August and September.

جدول ۳، میانگین تبخیر ماهانه (*mm*) از هر بخش از دریاچه در دو حالت وضعیت باد ثابت و متغیر، میانگین درصدهای افزایش تبخیر در حالت متغیر در نظر گرفتن باد نسبت به ثابت در نظر گرفتن آن و میانگین *WSC* ماهانه در هر بخش از مخزن را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که میانگین تبخیر ماهانه از تمام سطح دریاچه، در حالت ثابت در نظر گرفتن باد برابر با ۳۵۷۰ میلی‌متر است (ستون ۲). این در حالی است که مقدار مذکور در حالت متغیر در نظر گرفتن باد، ۴۰۴۳ میلی‌متر برآورد گردیده است (ستون ۳). بررسی میانگین درصدهای افزایش تبخیر از هر بخش از دریاچه، در حالت متغیر در نظر گرفتن باد نسبت به ثابت در نظر گرفتن آن در ستون ۴ جدول مذکور، نشان می‌دهد که با نزدیک شدن به بخش‌های میانی دریاچه، هم‌زمان با کاهش بادپناهی (شیب افزایشی مقادیر میانگین *WSC* در ستون ۵)، اختلاف میان تبخیر برآورد شده در حالت متغیر در نظر گرفتن باد نسبت به حالت ثابت، افزایش‌یافته است. به‌طوری‌که، بیش‌ترین مقادیر افزایش اختلاف مذکور در بخش‌های ۱۱ تا ۱۶، به میزان ۱۶ درصد، مشاهده می‌گردد. بدین‌ترتیب، ملاحظه می‌گردد که متغیر در نظر گرفتن باد نسبت به حالت ثابت در نظر گرفتن آن، به‌طور میانگین منجر به ۱۳ درصد افزایش در برآورد ارتفاع تبخیر از تمام دریاچه شده است (میانگین اعداد ستون ۶).

جدول ۳- تغییرات تبخیر در حالت متغیر در نظر گفتن شرایط باد نسبت به حالت ثابت در نظر گرفتن آن در هر بخش.

Table 3. The changes of evaporation from each segment, in the condition of variable wind compared to constant condition.

متوسط *WSC* ماهانه در هر بخش The average monthly WSC in each segment	نسبت تغییرات تبخیر در حالت متغیر در نظر گرفتن باد نسبت به حالت ثابت (٪) The percentage of evaporation changes in the condition of variable wind compared to constant conditions	میانگین تبخیر ماهانه از هر بخش (*mm*) The average monthly evaporation from each segment (*mm*)		شماره بخش Number of segments
		متغیر در نظر گرفتن باد Variable *WSC*	ثابت در نظر گرفتن باد Constant *WSC*	
0.64	7	227	212	1
0.65	8	235	218	2
0.65	8	242	223	3
0.66	10	246	224	4
0.67	11	242	217	5
0.67	13	243	216	6
0.68	13	250	221	7
0.69	15	246	214	8
0.71	15	254	221	9
0.73	14	263	230	10
0.76	16	254	218	11
0.78	16	264	227	12
0.80	16	270	233	13
0.83	16	274	236	14
0.81	16	270	233	15
0.78	16	264	227	16
-	-	4043	3570	مجموع Sum

نتیجه‌گیری کلی

وزش باد، تحت‌تأثیر ارتفاعات مشرف بر نقاط مختلف سطوح آزاد آبی به‌ویژه سطوح وسیع نظیر مخازن سدها، متفاوت بوده و درنتیجه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تبخیر، عدم در نظر گرفتن این تغییرات در محاسبات تبخیر، منجر به کاهش دقت نتایج خواهد گردید. در پژوهش حاضر، روشی به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات مکانی باد روی برآورد تبخیر از سطح مخازن، ارائه گردید. به‌طوری‌که، از مفهوم شاخص بادپناهی (*Sx*) و قابلیت مدل CE-QUAL-W2 در تخصیص یک مقدار مجزا به بادپناهی بخش‌های مختلف دریاچه، به‌واسطه ضریب *WSC*، استفاده کرده و امکان برآورد تبخیر از دریاچه، تحت‌تأثیر تغییرات مکانی باد، از طریق تلفیق نتایج مدل CE-QUAL-W2 و روش بودجه انرژی نسبت بون (*BREB*)، میسر گردید. این در حالی بود که در مطالعات پیش‌ازاین، به‌دلیل عدم دسترسی به یک معیار مناسب برای نشان دادن تغییرات مکانی باد، از یک مقدار ثابت برای *WSC* در تمام بخش‌های آب استفاده می‌شد. نتایج نشان داد، اعمال تغییرات مکانی باد در سطح دریاچه، در مقایسه باحالتی که این تغییرات در نظر گرفته نشده است، ضمن بهبود عملکرد مدل CE-QUAL-W2 در مرحله کالیبراسیون دمایی، به میزان ۴۵ درصد (کاهش ۴۵ درصدی معیار *RMSE*)، سبب افزایش ۱۳ درصدی تبخیر ماهانه برآورده شده از سطح دریاچه گردیده است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از سازمان آب و برق خوزستان و سازمان هواشناسی کشور به جهت تسهیل دسترسی به داده‌ها، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه دکتری نویسنده اول می‌باشد که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل‌دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید نویسندگان مقاله است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در مفهوم‌سازی و طراحی تحقیق مشارکت داشتند. تهیه مواد، گردآوری داده‌ها، اجرای نرم‌افزار و تجزیه‌وتحلیل توسط نویسنده اول انجام شد. مفهوم‌سازی، جمع‌آوری داده‌ها و نظارت توسط نویسنده دوم انجام شد. تجسم و مرور توسط نویسنده سوم انجام شد. اولین پیش‌نویس مقاله توسط نویسنده اول نوشته‌شده است و همه نویسندگان نظر خود را در مورد نسخه‌های قبلی مقاله ارائه کرده‌اند. همه نویسندگان نسخه نهایی را خوانده و تأئید می‌کنند.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید ایشان می‌باشد.

حمایت مالی

نویسندگان از حمایت مالی شورای پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (شماره گرنت: SCU.WH1402.268784) کمال تشکر را دارند.

منابع

1. Hashemi Monfared, A., Rezapour, M., Rezapour, H., & Azhdary Moghaddam, M. (2019). Determination of the Optimum Angle of the Floating Solar Panels to Reduce Evaporation and Energy Production by the Ansys Fluent Model (Case Study: Chahnimeh No. 4 Sistan). *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 5 (4), 1297-1307. [In Persian]
2. He, W., Lian, J., Yao, Y., Wu, M., & Ma, Ch. (2017). Modeling the effect of temperature-control curtain on the thermal structure in a deep stratified reservoir. *Journal of Environmental Management*, 202 (1), 106-116. **doi: 10.1016/j.jenvman.2017.07.006.**
3. Hojjati, E., Mahtabi, G., Taran, F., & Kisi, O. (2021). Estimating evaporation from reservoirs using energy budget and empirical methods: Alavian dam reservoir, NW Iran. *Italian Journal of Agrometeorology*, 2, 19-34. **doi: 10. 13128/ijam-1033.**
4. Jhajharia, D., Shrivastava, S. K., Sarkar, D., & Sarkar, S. (2019). Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 149 (5), 763-770. **doi: 10.1016/j.agrformet.2008.10.024.**
5. Li, Z., Wang, S., & Li, J. (2020). Spatial variations and long‐term trends of potential evaporation in Canada. *Journal of Scientific Reports*, 22089, 1-13. **doi: 10.1038/s41598-020-78994-9.**
6. Burn, D. H., & Hesch, N. M. (2007). Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of Hydrology*, 336 (1-2), 61-73. **doi: 10.1016/j.jhydrol. 2006.12.011.**
7. Chinyepe, A. (2010). Satellite Remote Sensing of Surface water evaporation over Lake Mutirikwi, Zimbabwe. M.Sc. Thesis, Faculty of Engineering, Zimbabwe University, Zimbabwe, 212.
8. El-Magd, I. H. A., & Elham, M. A. (2011). Estimation of the evaporative losses from Lake Nasser, Egypt using optical satellite imagery. *International Journal of Digital Earth*, 5 (2), 133-146. **doi: 10.1080/17538947.2011.586442.**
9. Hassan, H., Ismail, Sh. S., Elmoustafa, A., & Khalaf, Sh. (2018). Evaluating evaporation rate from high Aswan Dam Reservoir using RS and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21 (3), 285-293. **doi: 10.1016/j.ejrs.2017.10.001.**
10. Imam Dost, Sh., Shahanzari, A., & Taghavi, J. (2019). Determination of Evaporation from Free Surface Water in Mazandaran Plain (Dazmirkandeh Abbandan) and Compared with Seven Experimental Methods. *Journal of Watershed Management Research*, 9 (18), 241-249. [In Persian]
11. Najafvand Darikvandi, M., & Eslami, H. (2016). Empirical methods Comparison of estimation evaporation From Free Water Surface (Case Study: Dez Regulatory Dam). *Journal of Water Engineering*, 4 (2), 65-73.
12. Rahimpour, M., & Rahimzadegan, M. (2021). Assessment of surface energy balance algorithm for land and operational simplified surface energy balance algorithm over freshwater and saline water bodies in Urmia Lake Basin. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 143 (3-4), 1457-1472. **doi: 10.1007/s00704-020-03472-1.**
13. Zamani, S., & Rahimzadegan, M. (2018). Evaluation of SEBS, SEBAL, and METRIC models in estimation of the evaporation from the freshwater lakes (Case study: Amirkabir dam, Iran). *Journal of Hydrology*, 561, 523-531. **doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.04.025.**
14. Ziaie, R., Mohammadnezhad, B., Taheriyoun, M., Karimi, A., & Amiri, S. (2019). Evaluation of Thermal Stratification and Eutrophication in Zayandeh Roud Dam Reservoir Using Two-Dimensional CE-QUAL-W2 Model. *Journal of Environmental Engineering*, 145 (6), 1-13. **doi: 10.1061/ (ASCE) EE.1943-7870.0001529.**
15. Abd-Elhamid, F., Ahmad, A., Zelenakova, M., Vranayova, Z., & Fathy, I. (2021). Reservoir Management by Reducing Evaporation Using Floating Photovoltaic System: A Case

Study of Lake Nasser, Egypt. *Journal of Water*, 13 (6), 769. **doi: 10.3390/ w13060769.**

16. Ebaid, H., & Ismail, S. (2010). Lake Nasser evaporation reduction study. *Journal of Advanced Research*, 1 (4), 315–322. **doi: 10.1016/j.jare. 2010.09.002.**
17. Xu, C., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., & Singh, V. P. (2006). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of Hydrology*, 327, 81-93. **doi: 10.1016/j.jhydrol. 2005.11.029.**
18. Sharifi, M. R., & Shahi, Z. (2020). Assessment of wind shelter conditions of an open water storage reservoir using wind shelter index. *Journal of Lake and Reservoir Management*, 37 (3), 1-13. **doi: 10.1018/10402381.2020.1836094.**
19. Seemann, S. W., Li, J., Menzel, W. P., & Gumley, L. E. (2003). Operational Retrieval of Atmospheric Temperature, Moisture, and Ozone from MODIS Infrared Radiances. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 42 (8), 1072-1091. **doi: 10.1175/1520-0450(2003)042<1072:OROATM>2.0. CO; 2.**
20. Afshar, A., Kazemi, H., & Saadatpour, M. (2011). Particle swarm optimization for automatic calibration of large scale water quality model (CEQUAL- W2): application to Karkheh reservoir, Iran. *Journal of Water Resource Management*, 25 (10), 2613-2632. **doi: 10.1007/s11269-011-9829-7.**
21. Feizi, F., Afshar, A., Saadatpour, M., & Faraji, E. (2015). Modifying the CE-QUAL-W2 Model to Simulate Volatile Organic Compounds in River-Reservoir Systems. *Journal of Water and Wastewater*, 26 (5), 35-47. [In Persian]
22. Khajepour, M. E., Eghbalzadeh, A., Shiasi Arani, M., Eftekhari, M., & Javan, M. (2014). Comparison of CE-QUAL-W2 and Dyresm Models in Simulating Heat Distribution Within 15 Khordad Reservoir. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 28 (2), 343-352. [In Persian]
23. Kim, Y., & Kim, B. (2006). Application of a 2-Dimensional Water Quality Model (CE-QUAL-W2) to the Turbidity Interflow in a Deep Reservoir (Lake Soyang, Korea). *Journal of Lake and Reservoir Management*, 22 (3), 213-222. **doi: 10.1080/07438140609353898.**
24. Saadatpour, M. (2020). An Adaptive Surrogate Assisted CE-QUAL-W2 Model Embedded in Hybrid NSGA-II_ AMOSA Algorithm for Reservoir Water Quality and Quantity Management. *Journal of Water Resources Management*, 34 (2), 1437-1451. **doi: 10.1007/s11269-020-02510-x.**
25. Saadatpour, M., & Afshar, A. (2005). Temperature calibration in reservoirs with genetic algorithm. In: 2th national water resources management conference, Iran, Isfahan, 23-24 January. [In Persian]
26. Saeidi, P., Mehrdadi, N., Ardestani, M., & Baghvand, A. (2014). Simulation of thermal stratification and dissolved oxygen concentrations using CE-QUAl-W2 model (Case study: Shahid Rajaei Dam). *Journal of Environmental Studies*, 39 (4), 171-180. **doi: 10.22059/jes.2014.36470.** [In Persian]
27. Esmaeilzadeh Hanjani, A., Sarai Tabrizi, M., & Babazadeh, H. (2023). Numerical Modelling of Thermal Stratification in Dam Reservoir Using CE-QUAL-W2 Model (Case study: Yamchi Dam). *Journal of Water Resources Engineering*, 16 (58), 101-114. **doi: 10.30495/WEJ.2023.30480.2358.** [In Persian]
28. Esmaeilzadeh Hanjani, A., Sarai Tabrizi, M., & Babazadeh, H. (2023). Dissolved oxygen concentration and eutrophication evaluation in Yamchi dam reservoir, Ardabil, Iran. *Journal of Applied Water Science*, 13 (518), 2-12. **doi: 10.1007/s13201-022-01786-1.**
29. Khodabandeh, F., Dehghani Darmian, M., Azhdary Moghaddam, M., & Hashemi Monfared, S. A. (2021). Reservoir quality management with CE-QUAL-W2/ANN surrogate model and PSO algorithm (case study: Pishin Dam, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (5), 401. **doi: 10.1007/s12517-021-06735-x.**

30. Lindenschmidt, K. E., Carr, M. K., Sadeghian, A., & Morales-Marin, L. (2019). CE-QUAL-W2 model of dam outflow elevation impact on temperature, dissolved oxygen and nutrients in a reservoir. *Journal of Scientific Data*, 6 (312), 1-6. **doi: 10.1038/s41597-019-0316-y.**
31. Salehi, M., Khani Temeliyeh, Z., Parchami, N., & Ahmadpour, Z. (2019). Numerical Modeling of Thermal Stratification and Water Quality in Reservoir By CE-QUAL-W2 Model. *Journal of Water and Soil conservation*, 26 (4), 53-73. **doi: 10.22069/ JWSC. 2019.14971.3010.** [In Persian]
32. Shabani, A., Zhang, X., Chu, X., & Zheng, H. (2021). Automatic Calibration for CE-QUAL-W2 Model Using Improved Global-Best Harmony Search Algorithm. *Journal of Water*, 13 (16), 2-15. **doi: 10.3390/w13162308.**
33. Terry, J., & Lindenschmidt, K. E. (2023). Water quality and flow management scenarios in the qu'Appelle river–reservoir system using loosely coupled WASP and CE-QUAL-W2 models. *Journal of Water*, 15 (11), 2005. **doi: 10.3390/w15112005.**
34. Tavera-Quiroz, H., Rosso-Pinto, M., Hernandez, G., Pinto, S., & Canales, F. A. (2023). Water quality Analysis of a tropical reservoir based on temperature and dissolved oxygen modeling by CE-QUAL-W2. *Journal of Water*, 15 (6), 1-18. **doi: 10.3390/w15061013**.
35. Vanda, S., Nikoo, M. R., Taravatrooy, N., Al-Rawas, G. A., Sadr, S., Memon, F., & Nematollahi, B. (2023). A novel compromise approach for risk-based selective water withdrawal from reservoirs considering qualitative-quantitative aspects. *Journal of Water Resources Management*, 37 (12), 4861-4879. **doi: 10.1007/s11269-023-03584-z.**
36. dos Reis, R., & Dias, N. (1998). Multi-season lake evaporation: energy budget estimates and CRLE model assessment with limited meteorological observations. *Journal of Hydrology*, 208 (3-4), 135-147. **doi: 10.1016/S0022-1694(98)00160-7.**
37. Sacks, L., Lee, T., & Radell, M. (1994). Comparison of energy budget evaporation losses from two morphometrically different Florida seepage lakes. *Journal of Hydrology*, 156 (1-4), 311-334. **doi: 10.1016/0022-1694(94)90083-3.**
38. Sturrock, A., Winter, T., & Rosenberry, D. (1992). Energy budget evaporation from Williams Lake: a closed lake in north central Minnesota. *Journal of Water Resources Research*, 28 (6), 1605-1617. **doi: 10.1029/92WR00553**.
39. Winter, T. C., Buso, D. C., Rosenberry, D. O., Likens, G. E., Sturrock, A. M. J., & Mau, D. P. (2003). Evaporation determined by the energy budget method for Mirror Lake, New Hampshire. Limnology and Oceanography. 48 (3), 995-1009. **doi: 10.4319/lo.2003. 48.3.0995.**
40. Acharya, B., & Sharma, V. (2021). Comparison of Satellite Driven Surface Energy Balance Models in Estimating Crop Evapotranspiration in Semi-Arid to Arid Inter-Mountain Region. *Journal of Remote Sensing*, 13 (9), 1822. **doi: 10.3390/rs13091822.**
41. Bozorgi, A., Bozorg-Haddad, O., Sima, S., & Loaiciga, H. A. (2020). Comparison of methods to calculate evaporation from reservoirs. *International Journal of River Basin Management*, 18 (1), 1-12. **doi: 10. 1080/15715124.2018.1546729.**
42. Gorjizade, A., Akhond-Ali, A. M., Zarei, H., & Seyyed Kaboli, 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), 1823-1836. **doi: 10.13140/RG.2. 1.4700.1122.**
43. Hussain, M. M. A. (2017). Evaporation and Evaluation of Seven Estimation Methods: Results from Brullus Lake, North of Nile Delta, Egypt. *Journal of Atmospheric and Oceanic Sciences*, 2 (3), 66-74. **doi: 10.11648/j.hyd. 20170504.12.**

44. Lenters, J., Kratz, T., & Bowser, C. (2005). Effects of climate variability on lake evaporation: results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA). *Journal of Hydrology*, 30 (1-4), 168-195. **doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.10.028.**
45. Majidi, M., Alizadeh, A., Farid, A., & Vazifedoust, M. (2015). Estimating Evaporation from Lakes and Reservoirs under Limited Data Condition in a Semi-Arid Region. *Journal of Water Resources Management*, 29 (10), 3711-3733. **doi: 10.1007/ s11269-015-1025-8.**
46. Omar, M. H., & El-Bakry, M. M. (1981). Estimation of Evaporation from The Lake of the Aswan High Dam (Lake Nasser) Based on Measurements Over the Lake. *Journal of Agricultural Meteorology*, 23, 293-308. **doi: 10.1016/ 0002-1571(81)90115-1.**
47. Rosenberry, D. O., Stannard, D. I., Winter, T. C., & Martinez, M. L. (2004). Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake area, North Dakota, USA, Wetlands. 24 (3), 483-497. **doi: 10.1672/0277-5212 (2004)024[0483:COEFDE]2.0.CO;2.**
48. En-nkhili, H., Nizar, I., Igouzal, M., Touazit, A., Youness, N., & Etebaai, I. (2023). Artificial neural network and energy budget method to predict daily evaporation of Boudaroua reservoir (northern Morocco). *Journal Water and Land Development*, 57, 107-115. **doi: 10.24425/jwld.2023.145341.**
49. Cole, T. M., & Wells, S. A. (2015). CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.72. Depart of Civil and Environ Eng, Portland State University, Portland, OR, 1-680.
50. Kazemi Alamooti, H., Afshar, A., & Saadatpour, M. (2012). Automatic Thermal Calibration of Two Dimensional CE-QUAL-W2 Model in Karkheh Reservoir Applying Particle Swarm Optimization Algorithm. *Journal of Water and Wastewater*, 23 (4), 2-12. [In Persian]
51. Khodadadi, N., & Zakermoshfeqh, M. (2018). Two-dimensional modeling of thermal stratification and water quality of Karkheh reservoir. Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning of the Islamic World. **https:// civilica.com/ doc/775314/.** [In Persian]
52. Winstral, A., Elder, K., & Davis, R. E. (2002). Spatial snow modeling of wind-redistributed snow using terrain based parameters. *Journal of Hydrometeorology*, 3 (5), 524-538. **doi: 10.1175/1525-7541(2002)003< 0524: SSMOWR>2.0.CO;2.**
53. Shahi, Z., & Sharifi, M. R. (2018). An Algorithm for Selecting the Effective Distance of the Wind Shelter to Verify the Wind Shelter Status at the Lake Level of Dams (Case Study: Lake of Dez Reservoir Dam). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 41 (1), 211-223. **doi: 10.22055/ JISE. 2018.23774.1697.** [In Persian]
54. Antonopoulos, V. Z., Gianniou, S. K., & Antonopoulos, A. V. (2016). Artificial neural networks and empirical equations to estimate daily evaporation: application to lake Vegoritis, Greece. *Hydrological Sciences Journal*, 61 (14), 1-27. **doi: 10.1080/ 02626667. 2016.1142667.**
55. Gianniou, S. K., & Antonopoulos, V. Z. (2007). Evaporation and energy budget in Lake Vegoritis, Greece. *Journal of Hydrology*, 351 (3), 212-223. **doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.08.007.**