

ارزیابی و واسنجی روابط تجربی برآورد تبخیر از سطوح آزاد آب در حوضه دریاچه ارومیه

وحید مونس خواه^{۱*}، ابوالفضل مجنونی هریس^۲، احمد فاخری فرد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۸

چکیده

تبخیر از دلایل عمده هدر رفت آب و فشار به منابع آبی محسوب می‌گردد که برآورد آن در شرایط مختلف حایز اهمیت است. این پژوهش به منظور ارزیابی دقت روش‌های مختلف برآورد تبخیر در حوضه دریاچه ارومیه از طریق مقایسه با مقادیر حاصل از تست تبخیر، در مقیاس زمانی ماهانه انجام پذیرفت. برای واسنجی ضرایب معادلات تجربی از روش بهینه سازی نیوتن رافسون استفاده گردید. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین میزان تبخیر در قسمت شرق حوضه دریاچه و کمترین مقدار تبخیر نیز در قسمت‌های جنوب و غرب دریاچه انجام می‌گیرد. نتایج نشان داد به طور کلی روش‌های مایر و ایوانف مقادیر تبخیر را بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. همچنین مقادیر تبخیر برآورد شده از طریق روابط جنسن هیز و بلانی کریدل بیش‌ترین مشابهت را با نتایج حاصل از تست تبخیر دارد و این روش‌ها که به ترتیب در دسته روابط دما - تابش خورشیدی و دما - ساعات روشنایی قرار دارند بیش‌ترین دقت را در برآورد تبخیر در حوضه دریاچه ارومیه دارند. به طور متوسط برای حوضه دریاچه ارومیه روش‌های جنسن هیز و پاپاداکیس با مقادیر RMSE معادل ۱/۰۷ و ۲/۷۱ میلی‌متر بر روز به ترتیب به عنوان بهترین و بدترین روش معرفی شدند. بیش‌ترین و کم‌ترین اثر اصلاحی واسنجی روابط نیز به ترتیب به میزان ۵۴/۱۲ درصد برای روش استیفنز استوارت و ۹/۸۰ درصد برای روش جنسن هیز حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: تست تبخیر، جنسن هیز، دریاچه ارومیه

مقدمه

تبخیر به هدر می‌رود و عملاً راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. بنابراین مطالعه تبخیر نقش موثری در مدیریت منابع آب دارد. پژوهشگران توانسته‌اند با استفاده از روش‌ها ریاضی، تجربی و ترکیب آن‌ها، به تحلیل تبخیر بپردازند (Coulomb et al., 2001; Gavin and Agnew., 2004; Cohen et al., 2002). از مسایل مهم در مطالعه تبخیر از سطوح آزاد آب، ثبت مقدار تبخیر است و یکی از راه‌های مرسوم به منظور اندازه‌گیری آن، استفاده از تست تبخیر می‌باشد. تست تبخیر به عنوان وسیله‌ای کم هزینه، به طور مستقیم تبخیر را اندازه‌گیری می‌کند و نتایج حاصل از آن قابل تعمیم به تبخیر از سطوح آزاد آبی، مخازن و تبخیر و تعرق در کشاورزی است (Irmak et al., 2002) و به علت سهولت تفسیر داده‌های آن در سراسر دنیا به عنوان شاخصی برای تعیین تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن استفاده می‌شود (Goel., 2009). امروزه محققین با بررسی روابط تجربی موجود و کشف روابط جدید، سعی در یافتن روابط ساده و در عین حال دقیق برای جایگزینی با روش‌های میدانی هستند. در اغلب روابط تجربی برآورد تبخیر، از پارامترهای هواشناسی مانند دما، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار اشباع استفاده می‌شود. در واقع روابط تجربی ارایه شده برای برآورد تبخیر از سطوح آزاد با در نظر گرفتن عوامل هواشناسی به عنوان داده‌های ورودی، بسیار متنوع هستند و در مناطق اقلیمی مختلف نیاز به

ایران سرزمینی است که بخش اعظمی از آن از لحاظ خصوصیات آب و هوایی، به جز باریکه ساحلی شمال، جزو مناطق خشک و نیمه-خشک جهان محسوب می‌گردد. در این صورت و به رغم دارا بودن میانگین بارشی در حدود یک سوم بارش جهانی، در حدود ۷۲ درصد آبی که به صورت نزولات جوی بر روی کشور فرو می‌ریزد مستقیماً تبخیر می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۶) و متوسط تبخیر در حدود سه برابر تبخیر سالانه کره زمین است (قبادیان و همکاران، ۱۳۸۷). فرآیند تبخیر به عنوان یکی از مولفه‌های اصلی چرخه آب، نقش اساسی در مطالعات کشاورزی، هیدرولوژی، برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند (Gundekar et al., 2008). بخش قابل توجهی از آب مورد استفاده در بخش کشاورزی از سدها تامین می‌شود. این در شرایطی است که مقدار زیادی از آب موجود در سدها در فاصله زمانی بین ذخیره آب در سد تا مصرف آن در بخش کشاورزی، از طریق

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه

تبریز

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز

*- نویسنده مسئول: (Email: vahid.mounesxah@yahoo.com)

داد که مدل‌های ساده که صرفاً متکی بر داده‌های تابش خورشیدی و دمای هوا هستند، نتایج بهتری را در مقایسه با روش‌های ترکیبی که به داده‌های متعددی نیاز دارند حاصل می‌کند (Abteew., 2001). با توجه به بحران فراگیر آب در کشور ایران و نیز اهمیت تبخیر در مدیریت منابع آب به خصوص در حوضه دریاچه ارومیه، در پژوهش حاضر میزان تبخیر از سطوح آزاد از طریق روابط تجربی برآورد شده و با مقایسه نتایج با داده‌های تشت تبخیر، روابط تجربی مورد استفاده ارزیابی و برای شرایط اقلیمی حوضه دریاچه ارومیه واسنجی شدند.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش محدوده مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران می‌باشد. این محدوده در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. وسعت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در حدود ۵۱۸۰۰ کیلومترمربع است. برای انجام این پژوهش از داده‌های ۱۶ ایستگاه سینوپتیک در حوضه دریاچه ارومیه استفاده شد. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه و طول دوره آماری در هر ایستگاه (با توجه به محدودیت داده) ارائه شده است.

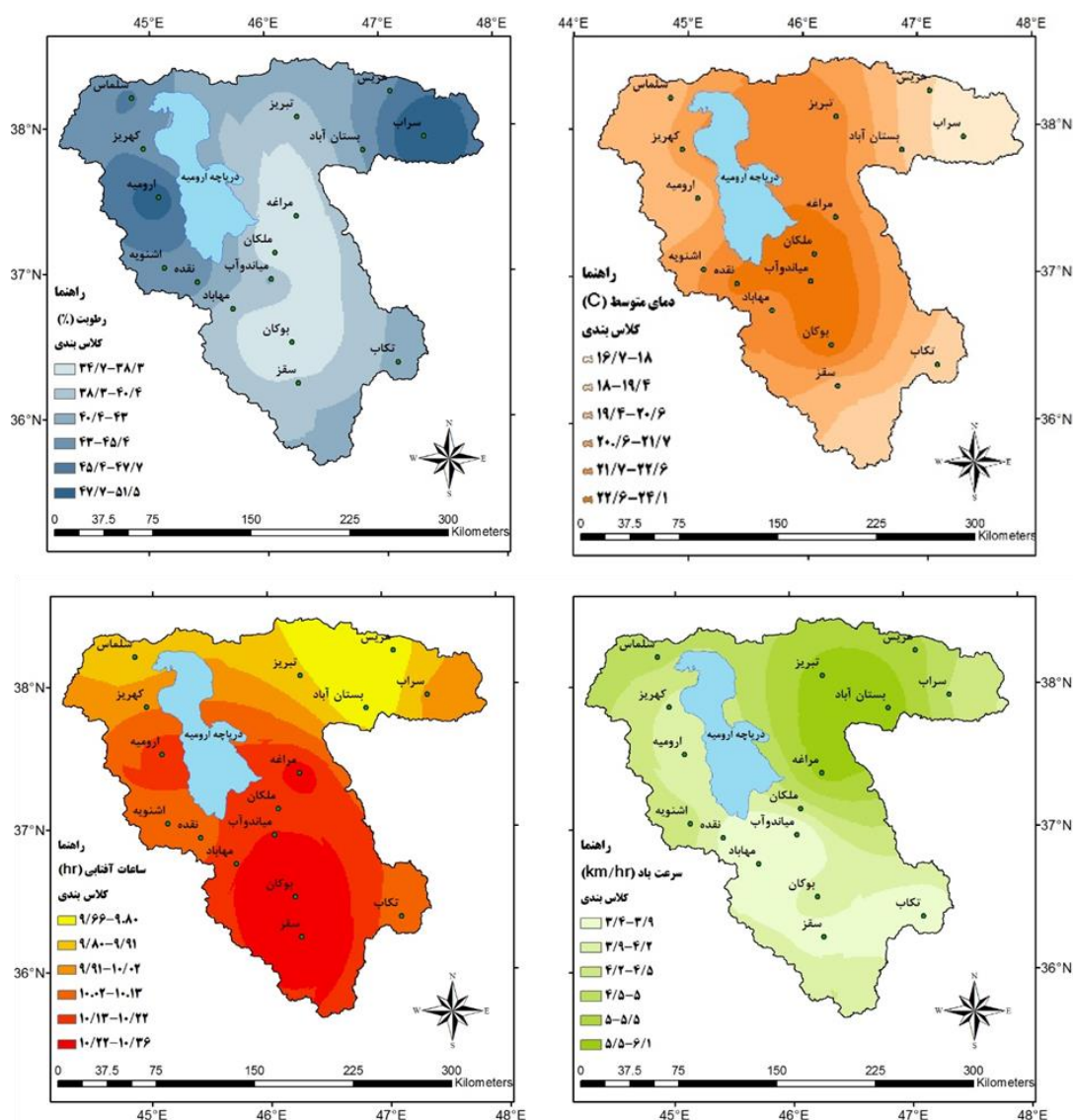
واسنجی دارند (Vanzyl et al., 1989) بنابراین ارتباط بین تبخیر و عوامل هواشناسی مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است (Howard and Loyd., 1979; Cohen et al., 2002; Alazard et al., 2015). باید در نظر داشت بهترین رابطه با توجه به اقلیم هر منطقه و نیز در ماه‌های مختلف سال با توجه به روند تغییرات پارامترهای هواشناسی، متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال زارع‌ایبانه و همکاران (۱۳۸۴) و یزدانی و همکاران (۱۳۹۰) روش ایوانف، ستاری و همکاران (۱۳۹۳) و نجفوند دریکوندی و اسلامی (۱۳۹۵) روش مایر، خوشحال‌چهرمی (۱۳۹۴) روش‌های مایر و ایوانف را در مناطق مورد مطالعه خود به عنوان بهترین روش تجربی برآورد تبخیر معرفی کردند. روزنبری و همکاران نیز در پژوهشی ۱۵ روش برآورد تبخیر را مورد مقایسه قرار دادند. ایشان بر اساس ارزیابی‌هایی که بر پایه روش بیان انرژی انجام دادند، روش‌های ترکیبی را به عنوان مناسب‌ترین روش‌های برآورد تبخیر در مناطق کوهستانی معرفی کردند (Rosenberry et al., 2007). در مطالعه‌ای دیگر، مجیدی و همکاران (۱۳۹۴) روش جنسن هیز را به عنوان بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سد دریاچه دوستی معرفی نمودند. یزدانی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند در مواردی که در برداشت پارامترهای ورودی احتمال بروز خطاهای انسانی و سیستماتیک وجود دارد، روش‌های ایوانف، ماریانو و سازمان عمران اراضی آمریکا به دلیل حساسیت کم‌تر به تغییرات در پارامترهای ورودی، در مقایسه با سایر روش‌ها در اولویت قرار دارند. ارزیابی هفت روش برآورد تبخیر توسط ابتی، نشان

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در حوضه دریاچه ارومیه

| ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع از سطح آزاد دریا (متر) | دوره آماری |
|------------|---------------|---------------|-------------------------------|------------|
| سقر | ۴۶° ۱۶' E | ۳۶° ۱۵' N | ۱۵۲۲ | ۱۳۷۲-۱۳۹۵ |
| سراب | ۴۷° ۳۲' E | ۳۷° ۵۶' N | ۱۶۸۲ | ۱۳۷۳-۱۳۹۵ |
| تکاب | ۴۷° ۰۷' E | ۳۶° ۲۳' N | ۱۸۱۷ | ۱۳۷۵-۱۳۹۵ |
| تبریز | ۴۶° ۱۷' E | ۳۸° ۰۵' N | ۱۳۶۱ | ۱۳۷۲-۱۳۹۵ |
| بوکان | ۴۴° ۱۶' E | ۳۶° ۳۲' N | ۱۳۸۶ | ۱۳۸۴-۱۳۹۵ |
| بستان‌آباد | ۴۶° ۵۱' E | ۳۷° ۵۱' N | ۱۷۵۰ | ۱۳۸۵-۱۳۹۵ |
| اشنویه | ۴۵° ۰۸' E | ۳۷° ۰۳' N | ۱۴۱۶ | ۱۳۸۵-۱۳۹۵ |
| ارومیه | ۴۵° ۰۵' E | ۳۷° ۳۲' N | ۱۳۲۸ | ۱۳۷۲-۱۳۹۵ |
| سلماس | ۴۴° ۵۱' E | ۳۸° ۱۳' N | ۱۳۳۷ | ۱۳۸۱-۱۳۹۵ |
| کهریز | ۴۴° ۵۷' E | ۳۷° ۵۲' N | ۱۵۰۰ | ۱۳۸۵-۱۳۹۵ |
| مراغه | ۴۶° ۱۶' E | ۳۷° ۲۴' N | ۱۴۱۲ | ۱۳۷۲-۱۳۹۵ |
| مهاباد | ۴۵° ۴۳' E | ۳۶° ۴۶' N | ۱۳۵۲ | ۱۳۷۴-۱۳۹۵ |
| هریس | ۴۷° ۰۶' E | ۳۸° ۱۵' N | ۱۸۱۵ | ۱۳۸۷-۱۳۹۵ |
| میان‌دوآب | ۴۶° ۰۳' E | ۳۶° ۵۸' N | ۱۳۰۰ | ۱۳۸۱-۱۳۹۵ |
| ملکان | ۴۶° ۰۵' E | ۳۷° ۰۹' N | ۱۳۰۸ | ۱۳۸۷-۱۳۹۵ |
| نقده | ۴۵° ۲۵' E | ۳۶° ۵۷' N | ۱۳۳۸ | ۱۳۸۱-۱۳۹۵ |

مناسب جهت ارزیابی نتایج مورد استفاده پژوهشگران است (Tanny et al., 2008). بنابراین در مطالعه حاضر بنابر توصیه تانی و همکاران (۲۰۰۸) داده‌های تشت با اعمال ضریب اصلاحی برای برآورد میزان تبخیر از سطوح آزاد استفاده و نتایج به دست آمده به عنوان مبنای ارزیابی روش‌های تجربی قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده برای انجام این پژوهش شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر از تشت در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی اخذ گردید. در شکل ۱ میزان متوسط پارامترهای دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و سرعت باد در حوضه دریاچه ارومیه برای دوره آماری مورد مطالعه ارائه شده است.

تبخیر از عوامل مهم در مدیریت منابع آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک است و محاسبه دقیق آن گام نخست در راستای ارزیابی راهکارهای موثر به منظور کاهش اثرات خشک‌سالی و در نتیجه حفاظت از منابع آب می‌باشد. با توجه به بحران روزافزون آب در کشور ایران و به‌خصوص در حوضه دریاچه ارومیه، در پژوهش حاضر برآورد دقیق میزان تبخیر از سطوح آزاد آب مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور، با توجه به کمبود ایستگاه‌های تبخیرسنجی و مهم‌تر از آن عدم وجود آمار کافی، از روش‌های تجربی برآورد تبخیر استفاده شد و نتایج حاصل با داده‌های تشت تبخیر مقایسه شد. اگرچه داده‌های تشت تبخیر میزان تبخیر از سطوح آبی وسیع را عمدتاً بیش از مقدار واقعی نشان می‌دهند، اما هم‌چنان به‌عنوان یکی از معیارهای



شکل ۱- بهینه‌بندی پارامترهای هواشناسی موثر در تبخیر

روابط تجربی برآورد تبخیر و داده‌های مورد استفاده

تا کنون روابط تجربی متعددی در نواحی مختلف جهان به منظور برآورد میزان تبخیر از سطوح آزاد آب ارایه گردیده است. به طور کلی از چهار روش به منظور برآورد تبخیر از سطوح آزاد آب استفاده می‌شود. این روش‌ها شامل قانون دالتون یا اصل بقای جرم، روش بیلان آب، روش بیلان انرژی و روش‌های ترکیبی هستند (نچفونند دریکوندی و اسلامی، ۱۳۹۵). در مطالعه حاضر از ۹ روش به منظور برآورد تبخیر استفاده شد که معادلات و اسامی آن‌ها در جدول ۲ ارایه گردیده است. به منظور همسان‌سازی نتایج و امکان مقایسه، میزان تبخیر حاصل از روابط به صورت ماهانه در شش ماه سال از اردیبهشت تا مهر که داده‌های تشت تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک ثبت شده است، محاسبه گردید.

در این روابط E مقدار تبخیر بر حسب میلی‌متر (در تمام روابط میزان تبخیر ماهانه محاسبه شده است)، T_a دمای هوا (درجه فارنهایت برای روابط بلانی کریدل، جنسن هیز و استیفنز استوارت و درجه سانتی‌گراد برای روابط ایوانف و USBR (سازمان عمران آمریکا))، D ساعات آفتابی، D_{TA} مجموع ساعات آفتابی سالانه، α ثابت بی‌بعد معادل $1/26$ ، γ ثابت سایکرومتری وابسته به دما و فشار

اتمسفر (پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، S شیب منحنی فشار بخار اشباع در دمای متوسط هوا (پاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (در رابطه مایر کیلومتر بر ساعت و در بقیه روابط متر بر ثانیه)، e_s فشار بخار اشباع در دمای هوا (در رابطه مایر میلی‌متر جیوه و در بقیه روابط میلی‌بار)، e_a فشار بخار هوا (در رابطه مایر میلی‌متر جیوه و در بقیه روابط میلی‌بار)، L گرمای نهان تبخیر (مگا ژول بر کیلوگرم)، ρ چگالی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، RH میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد)، Q_s تابش خورشیدی (بر حسب وات بر مترمربع)، $e_{s,max}$ و $e_{s,min}$ فشار بخار اشباع به ترتیب در دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه (کیلوپاسکال)، d شماره روز ماه می‌باشد.

به منظور بررسی نتایج به دست آمده از روابط تجربی و ارزیابی کارایی آن‌ها در برآورد تبخیر از سطوح آزاد آب، از شاخص‌های آماری رایج شامل ضریب همبستگی (r) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) به ترتیب برای تعیین میزان همبستگی بین مقادیر تشت تبخیر و مقادیر برآورد شده از طریق روابط و تعیین مقادیر خطای برآورد شده استفاده شد (روابط ۱ و ۲).

جدول ۲- روش‌های مورد استفاده به منظور محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب

| معادله | منبع | نام روش |
|---|--------------------------------|----------------------------------|
| $E = (0.0173 T_a - 0.314) \times T_a \times (D \div D_{TA}) \times 25.4$ | (McGuinness and Bordne., 1972) | بلانی کریدل ^۱ |
| $E = 1.192 \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \left(\frac{\gamma}{S + \gamma} \right) \frac{(2.9 + 2.1 U_2)(e_s - e_a)}{L \cdot \rho} \times 86.4$ | (deBruin., 1978) | دبروین ^۲ |
| $E = 0.0018 (T_a + 25)^2 (100 - RH)$ | (Slavov and Moteva., 2004) | ایوانف ^۳ |
| $E = (0.014 T_a - 0.37)(Q_s \times 3.523 \times 10^{-2})$ | (McGuinness and Bordne., 1972) | جنسن هیز ^۴ |
| $E = \left(52.6 \frac{S}{S + \gamma} \frac{Q_s}{\gamma \cdot L \cdot \rho} \right) - 0.12$ | (McGuinness and Bordne., 1972) | مکینک ^۵ |
| $E = 0.5 \left(1 + \frac{U_2}{16} \right) (e_s - e_a)$ | علیزاده (۱۳۸۶) | مایر ^۶ |
| $E = 0.5625 (e_{s,max} - (e_{s,min} - 2)) \left(\frac{d}{10} \right)$ | (McGuinness and Bordne., 1972) | پاپاداکیس ^۷ |
| $E = (0.0082 T_a - 0.19)(Q_s \times 3.495 \times 10^{-2})$ | (McGuinness and Bordne., 1972) | استیفنز استوارت ^۸ |
| $E = 0.833 (4.57 T_a + 43.3)$ | علیزاده (۱۳۸۶) | سازمان عمران آمریکا ^۹ |

- 1- Blaney-Criddle
- 2- deBruin
- 3- Ivanov
- 4- Jensen-Haise
- 5- Makkink
- 6- Meyer
- 7- Papadakis
- 8- Stephens-Stewart
- 9- USBR

به منظور رتبه‌بندی روش‌های تجربی در برآورد میزان تبخیر، نتایج به دست آمده از روابط تجربی با مقادیر تشت تبخیر مورد مقایسه قرار گرفتند. ارزیابی کارایی روش‌ها با استفاده از دو شاخص ضریب همبستگی و جذر میانگین مربع خطا صورت گرفت که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان داد روش جنسن هیز که در گروه روش‌های دما - تابش خورشیدی قرار دارد، در ۱۳ ایستگاه از ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه جزو روش‌های دقیق برآورد تبخیر محسوب می‌شود و پس از آن روش بلانی کریدل از گروه روش‌های دما - ساعات روشنایی قرار دارد که در ۱۰ ایستگاه از روش‌های دقیق محسوب می‌گردد.

به طور کلی برای حوضه دریاچه ارومیه روش جنسن هیز با مقدار جذر میانگین مربع خطای معادل ۱/۰۷ میلی‌متر بر روز بیش‌ترین دقت را در برآورد میزان تبخیر دارد. روش پایاداکیس نیز با مقدار جذر میانگین مربع خطای معادل ۲/۷۱ میلی‌متر بر روز به عنوان ضعیف‌ترین روش برآورد تبخیر معرفی شد. نتایج پژوهش مجیدی و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان داد روش‌هایی که صرفاً متکی بر داده‌های دما و تابش خورشیدی هستند، نتایج نسبتاً دقیقی دارند.

با توجه به تاثیر شرایط اقلیمی هر منطقه در ضرایب تجربی روابط مورد بررسی، واسنجی ضرایب برای ایستگاه‌های مورد مطالعه صورت گرفت که نتایج در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول ضرایب اصلی A , B , C ، معرف ضرایب معادلات تجربی هستند که برای ایستگاه‌های مورد مطالعه واسنجی شدند. دامنه تغییر این ضرایب با توجه به میزان تاثیر پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در روابط تجربی برای هر ایستگاه متغیر است. نتایج ارزیابی روش‌ها پس از واسنجی روابط نشان داد روش‌های جنسن هیز و استیفنز استوارت با مقدار RMSE معادل ۰/۹۷ میلی‌متر بر روز بهترین برآورد را برای تبخیر از سطوح آزاد آبی ارائه می‌کنند. در سوی مقابل روش پایاداکیس نیز با مقدار RMSE معادل ۱/۶۹ میلی‌متر بر روز هم‌چنان کم‌ترین دقت را دارد. این در حالی است که پس از واسنجی روابط، روش استیفنز استوارت با کاهش مقدار RMSE معادل ۵۴/۱۲ درصد نسبت به شرایط اولیه بیش‌ترین بهبود نتایج را داشت و کم‌ترین تاثیر واسنجی بر روی روش جنسن هیز با کاهش مقدار RMSE به میزان ۹/۸۰ درصد مشاهده شد. بنابراین می‌توان گفت روش جنسن هیز بیش‌ترین دقت را برای محاسبه تبخیر از سطوح آزاد آبی در حوضه دریاچه ارومیه دارد. به طوری که پس از واسنجی ضرایب معادله، میزان RMSE معادل ۰/۹۷ میلی‌متر بر روز حاصل شد.

$$r = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

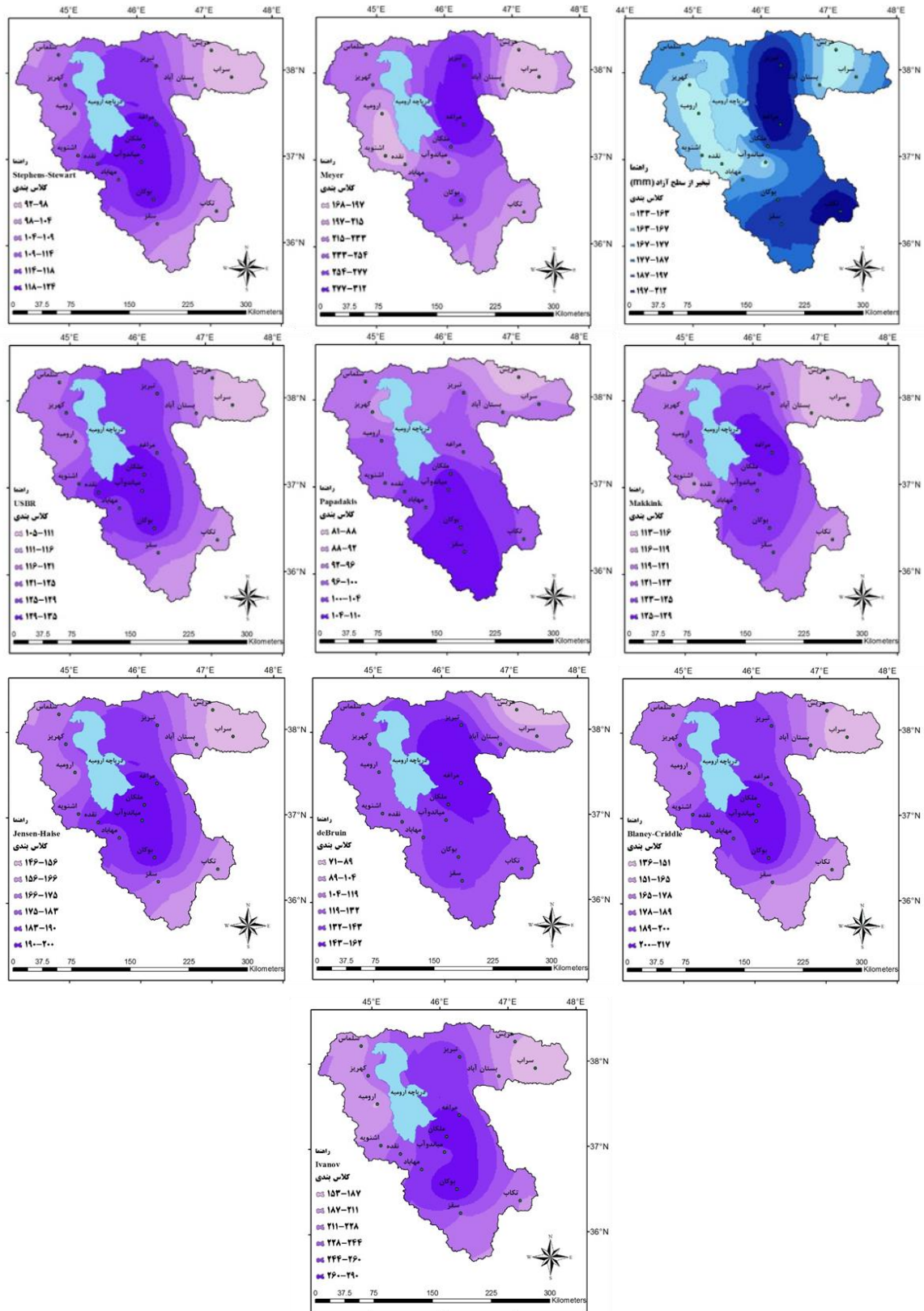
در این روابط x_i و y_i به ترتیب i امین داده واقعی و برآورد شده، \bar{x} و \bar{y} به ترتیب میانگین داده‌های واقعی و برآورد شده و n تعداد گام‌های زمانی هستند.

واسنجی روابط برای حوضه دریاچه ارومیه

روش‌های مختلف برآورد تبخیر از سطوح آبی به دلیل اساس این روش‌ها و عوامل موثر بر آن‌ها، برای شرایط مختلف محیطی و اقلیمی ارزیابی می‌شوند. بنابراین بدهی است که تغییر در شرایط کاربرد این روش‌ها، نتایج به دست آمده را نیز تغییر می‌دهد و برتری هر روش نسبت به شرایط منطقه مورد بررسی مشخص می‌گردد. به طور کلی تحقیقاتی که در زمینه بررسی دقت روابط تجربی به منظور جایگزینی با داده‌های تشت تبخیر صورت گرفته، منجر به تولید نتایجی شده است که اغلب وابسته به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده بود. بنابراین نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف، دقت و کارایی یکسانی در نواحی متفاوت نخواهند داشت. بنابراین به منظور افزایش دقت و کاربرد روابط تجربی در حوضه دریاچه ارومیه، واسنجی ضرایب تجربی معادلات با استفاده از روش بهینه‌سازی نیوتن رافسون صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

مقدار تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از داده‌های تشت تبخیر و نیز روابط تجربی محاسبه گردید. بهینه‌بندی نتایج به دست آمده برای حوضه دریاچه ارومیه در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج تشت تبخیر، بیش‌ترین میزان تبخیر در قسمت شرق حوضه دریاچه (تبریز و مراغه) و کم‌ترین مقدار تبخیر نیز در قسمت غرب و جنوب دریاچه (کهریز، ارومیه و نرده) صورت می‌گیرد. هم‌چنین در بین روش‌های مورد مطالعه، روش‌های مایر و ایوانف میزان تبخیر را به مراتب بیش‌تر از مقدار واقعی و روش‌های استیفنز استوارت، پایاداکیس، مکینک، دبروین و سازمان عمران آمریکا میزان تبخیر را کم‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. این در حالی است که مقادیر برآورد شده از طریق روابط جنسن هیز و بلانی کریدل با نتایج به دست آمده از تشت تبخیر بسیار مشابهت دارد.



شکل ۲- پهنه‌بندی تبخیر از سطوح آزاد آبی با استفاده از نتایج تشت تبخیر و روش‌های تجربی

جدول ۳- معرفی روش‌های برتر برآورد تبخیر در حوضه دریاچه ارومیه

| | روش سوم | | روش دوم | | روش اول | |
|------------|---------|----------------------------|---------|----------------------------|---------|----------------------------|
| | r | RMSE (mm.d ⁻¹) | r | RMSE (mm.d ⁻¹) | r | RMSE (mm.d ⁻¹) |
| ارومیه | ۰/۹۰ | ۱/۱۲ | ۰/۹۳ | ۱/۰۷ | ۰/۹۲ | ۰/۹۸ |
| اشنویه | ۰/۷۹ | ۱/۴۴ | ۰/۸۰ | ۱/۴۳ | ۰/۸۵ | ۱/۲۰ |
| بستان‌آباد | ۰/۹۰ | ۰/۹۰ | ۰/۹۰ | ۰/۸۵ | ۰/۹۳ | ۰/۶۶ |
| بوکان | ۰/۸۴ | ۱/۷۰ | ۰/۸۷ | ۱/۳۰ | ۰/۹۰ | ۰/۹۴ |
| تبریز | ۰/۹۱ | ۱/۴۴ | ۰/۹۶ | ۱/۱۳ | ۰/۹۵ | ۱/۰۲ |
| تکاب | ۰/۸۶ | ۱/۴۸ | ۰/۸۵ | ۱/۴۲ | ۰/۸۷ | ۱/۳۰ |
| سراب | ۰/۸۷ | ۰/۸۲ | ۰/۹۰ | ۰/۷۱ | ۰/۹۵ | ۰/۷۰ |
| سقز | ۰/۹۰ | ۱/۲۹ | ۰/۸۹ | ۱/۲۱ | ۰/۹۱ | ۱/۱۸ |
| سلماس | ۰/۸۰ | ۱/۵۸ | ۰/۹۳ | ۱/۳۲ | ۰/۹۶ | ۰/۵۱ |
| کهریز | ۰/۷۷ | ۱/۱۹ | ۰/۹۲ | ۱/۱۹ | ۰/۹۱ | ۱/۱۷ |
| مراغه | ۰/۹۰ | ۱/۸۵ | ۰/۹۱ | ۱/۱۰ | ۰/۹۲ | ۱/۰۵ |
| ملکان | ۰/۹۳ | ۱/۴۸ | ۰/۹۴ | ۱/۲۶ | ۰/۹۶ | ۰/۵۶ |
| مهاباد | ۰/۸۱ | ۱/۵۰ | ۰/۸۸ | ۱/۲۹ | ۰/۸۶ | ۱/۱۲ |
| میان‌دوآب | ۰/۹۳ | ۱/۳۰ | ۰/۹۴ | ۱/۲۰ | ۰/۹۶ | ۱/۱۱ |
| نقده | ۰/۸۱ | ۰/۹۱ | ۰/۸۰ | ۰/۸۲ | ۰/۸۲ | ۰/۸۱ |
| هریس | ۰/۸۱ | ۰/۹۳ | ۰/۹۰ | ۰/۸۸ | ۰/۹۳ | ۰/۶۴ |

جدول ۴- ضرایب اصلاحی روابط تجربی برآورد تبخیر در حوضه دریاچه ارومیه

| ایوانف | پاپاداکیس | بلانی کریدل | مایر | مکینک | جنسن هیز | دبروین | USBR | استیفنز استوارت | |
|--------|-----------|-------------|--------|---------|----------|--------|--------|-----------------|---|
| ۰/۰۰۱۸ | ۰/۵۶۲۵ | ۰/۰۱۷۳ | ۱ | ۵۲/۶ | ۰/۰۱۴ | ۲/۱۹۲ | ۰/۸۳۳ | ۰/۰۰۸۲ | A |
| | | ۰/۳۱۴ | ۱۶ | ۰/۱۲ | ۰/۳۷ | ۲/۹ | ۴/۵۷ | ۰/۱۹ | B |
| | | | | | ۰/۰۳۵۲۳ | ۲/۱ | ۴۳/۳ | ۰/۰۳۴۹۵ | C |
| ۰/۰۰۲۰ | ۱/۲ | ۰/۰۱۵۱ | ۴/۷۵۸۶ | ۸۶/۳۷۸۹ | ۰/۰۱۴۸ | ۱/۶۸۳۳ | ۱/۱۲۴۴ | ۰/۰۱۴۸ | A |
| | | . | ۷/۹۲۷۰ | . | ۰/۱۷۹۷ | ۶/۴۶۹۲ | ۹/۵۴۷۳ | ۰/۱۷۹۷ | B |
| | | | | | ۰/۰۲۹۸ | ۰/۰۴۶۶ | . | ۰/۰۲۹۸ | C |

| | | | | | | | | | | |
|---------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---|------------|
| -./۰۰۱۸ | ۱/۲۷۲ | -./۰۱۴۶ | ۶/۱۱۰۶ | ۹۵/۴۱۸۹ | -./۰۱۴۷ | ۱/۷۹۷۸ | ۱/۱۱۰۹ | -./۰۱۴۷ | A | اشنویه |
| | | | ۱۸/۵۵۴۶ | . | -./۰۸۶۴ | ۶/۶۴۱۱ | ۹/۴۲۰۴ | -./۰۸۶۴ | B | |
| | | | . | . | -./۰۲۸۱ | . | . | -./۰۲۸۱ | C | |
| -./۰۰۱۹ | ۱/۳۱ | -./۰۱۶۲ | ۴/۶۲۴۳ | ۹۹/۰۱۲۲ | -./۰۱۱۶ | ۱/۷۷۳۴ | ۱/۱۷۸۲ | -./۰۱۱۶ | A | بستان آباد |
| | | | ۱۰/۹۵۷۲ | . | -./۱۵۰۴ | ۶/۵۳۳۲ | ۹/۷۴۸۸ | -./۱۵۰۴ | B | |
| | | | . | . | -./۰۴۳۴ | -./۱۲۴۵ | . | -./۰۴۳۴ | C | |
| -./۰۰۱۸ | ۱/۴۳۵ | -./۰۱۶۶ | ۶/۲۰۷۶ | ۱۲۶/۰۲۷۶ | -./۰۱۱۳ | ۱/۷۰۵۳ | ۱/۲۲۶۲ | -./۰۱۱۳ | A | بوکان |
| | | | ۱۰/۸۶۹۷ | ۱/۱۶۷۶ | -./۰۲۷۷۹ | ۶/۱۴۹۸ | ۹/۶۲۱۸ | -./۰۲۷۷۹ | B | |
| | | | . | . | -./۰۵۶۹ | -./۴۰۷۹ | . | -./۰۵۶۹ | C | |
| -./۰۰۲۲ | ۱/۷۸ | -./۰۱۹۹ | ۵/۳۳۱۲ | ۱۳۷/۸۹۲۹ | -./۰۱۲۴ | ۱/۹۸۳۹ | ۱/۳۷۳۳ | -./۰۱۲۴ | A | تبریز |
| | | | ۹/۴۶۶۸ | -./۰۲۳۹۴ | -./۰۲۹۵۷ | ۴/۶۳۷۲ | ۱۰/۳۱۶۵ | -./۰۲۹۵۷ | B | |
| | | | . | . | -./۰۶۱۱ | ۱/۱۹۶۲ | . | -./۰۶۱۱ | C | |
| -./۰۰۲۳ | ۱/۶۱۹۲ | -./۰۲۲۰ | ۷/۷۱۲۵ | ۱۲۰/۵۱۱۴ | -./۰۱۷۴ | ۲/۰۳۵۰ | ۱/۴۳۶۰ | -./۰۱۷۴ | A | تکاب |
| | | | ۱۱/۲۲۲۰ | . | -./۰۳۳۶۹ | ۶/۷۸۶۴ | ۱۰/۷۱۲۶ | -./۰۳۳۶۹ | B | |
| | | | . | . | -./۰۴۱۲ | -./۱۸۲۷ | . | -./۰۴۱۲ | C | |
| -./۰۰۲۸ | ۱/۳۸ | -./۰۲۰۰ | ۵/۲۰۰۱ | ۱۰۱/۳۴۵۶ | -./۰۱۲۲ | ۱/۹۱۷۱ | ۱/۳۴۱۶ | -./۰۱۲۲ | A | سراب |
| | | | ۶/۹۲۳۲ | . | -./۰۱۳۶۸ | ۵/۲۵۵۲ | ۱۰/۵۷۰۲ | -./۰۱۳۶۸ | B | |
| | | | . | . | -./۰۴۴۷ | ۱/۵۷۲۲ | . | -./۰۴۴۷ | C | |
| -./۰۰۲۲ | ۱/۳۹ | -./۰۲۰۶ | ۶/۳۰۰۵ | ۱۱۴/۴۱۳۶ | -./۰۰۸۰ | ۳/۸۶۶۰ | ۱/۳۰۱۱ | -./۰۰۸۰ | A | سقز |
| | | | ۷/۴۹۰۵ | . | -./۰۱۹۰۴ | ۳/۰۳۶۰ | ۱۱/۰۴۷۶ | -./۰۱۹۰۴ | B | |
| | | | . | . | -./۰۹۰۳ | -./۰۲۹۳۵ | . | -./۰۹۰۳ | C | |
| -./۰۰۲۱ | ۱/۴۶ | -./۰۱۵۷ | ۴/۹۷۵۹ | ۱۰۴/۹۹۱۷ | -./۰۱۱۶ | ۱/۷۹۰۲ | ۱/۲۳۹۴ | -./۰۱۱۶ | A | سلماس |
| | | | ۸/۰۰۳۴ | . | -./۰۲۰۶۳ | ۶/۰۸۳۱ | ۹/۹۲۸۷ | -./۰۲۰۶۳ | B | |
| | | | . | . | -./۰۵۰۲ | -./۰۶۹۳۲ | . | -./۰۵۰۲ | C | |
| -./۰۰۱۶ | ۱/۳۵ | -./۰۱۳۷ | ۵/۲۵۲۴ | ۹۰/۲۳۹۹ | -./۰۱۴۹ | ۱/۶۱۷۸ | ۱/۰۸۹۸ | -./۰۱۴۹ | A | کهریز |
| | | | ۱۲/۵۱۸۹ | -./۰۰۲۸ | -./۰۳۳۲۰ | ۶/۳۵۰۹ | ۸/۹۹۲۵ | -./۰۳۳۲۰ | B | |
| | | | . | . | -./۰۳۴۵ | . | . | -./۰۳۴۵ | C | |
| -./۰۰۲۱ | ۱/۶۵ | -./۰۱۶۸ | ۶/۴۶۳۶ | ۱۱۰/۶۸۰۵ | -./۰۱۶۳ | ۱/۷۶۱۸ | ۱/۳۳۸۵ | -./۰۱۶۳ | A | مراغه |
| | | | ۱۱/۶۵۲۸ | -./۰۱۴۹ | -./۰۲۷۶۳ | ۵/۸۵۷۵ | ۱۰/۴۶۳۸ | -./۰۲۷۶۳ | B | |
| | | | . | . | -./۰۲۵۲ | -./۱۸۵۲۸ | . | -./۰۲۵۲ | C | |
| -./۰۰۱۷ | ۱/۴۴۸ | -./۰۱۶۰ | ۵/۸۹۴۸ | ۱۱۷/۹۵۹۳ | -./۰۱۶۲ | ۳/۴۸۳۱ | ۱/۲۰۶۹ | -./۰۱۶۲ | A | ملکان |
| | | | ۱۰/۱۹۹۴ | -./۰۳۳۷۵ | -./۰۳۱۱۶ | ۲/۸۲۸۸ | ۹/۶۶۳۴ | -./۰۳۱۱۶ | B | |
| | | | . | . | -./۰۳۶۵ | -./۰۳۷۶۲ | . | -./۰۳۶۵ | C | |
| -./۰۰۱۷ | ۱/۳۹۵ | -./۰۱۵۵ | ۶/۱۶۷۷ | ۹۵/۳۲۱۲ | -./۰۱۰۹ | ۱/۶۲۱۴ | ۱/۱۴۹۸ | -./۰۱۰۹ | A | مهاباد |
| | | | ۱۳/۳۷۳۱ | . | -./۰۲۱۵۴ | ۵/۹۶۹۸ | ۹/۵۴۸۸ | -./۰۲۱۵۴ | B | |
| | | | . | . | -./۰۴۹۰ | -./۰۲۵۱۶ | . | -./۰۴۹۰ | C | |
| -./۰۰۱۶ | ۱/۱۳۵ | -./۰۱۳۰ | ۵/۷۱۸۰ | ۱۰۷/۰۰۱۶ | -./۰۱۴۳ | ۱/۷۲۳۲ | ۱/۰۴۸۶ | -./۰۱۴۳ | A | میان دوآب |
| | | | ۱۳/۲۴۰۹ | ۱/۴۷۹۰ | -./۰۴۴۹۳ | ۵/۸۵۱۶ | ۹/۱۰۷۸ | -./۰۴۴۹۳ | B | |

| | | | | | | | | | | |
|------|--------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|---|
| | | | | | | ۰/۰۴۱۸ | ۰/۳۹۸۹ | ۰ | ۰/۰۴۱۸ | C |
| | ۰/۰۰۱۶ | ۱/۰۴۵ | ۰/۰۱۲۵ | ۵/۴۱۳۴ | ۸۱/۱۹۹۵ | ۰/۰۱۲۷ | ۱/۵۹۵۳ | ۰/۹۹۳۸ | ۰/۰۱۲۷ | A |
| نقده | | | ۰ | ۱۹/۵۳۱۱ | ۰ | ۰ | ۵/۹۱۰۰ | ۸/۸۶۳۳ | ۰ | B |
| | | | | | | ۰/۰۲۵۳ | ۰/۳۱۲۰ | ۰ | ۰/۰۲۵۳ | C |
| | ۰/۰۰۲۰ | ۱/۴۳۵ | ۰/۰۱۶۱ | ۴/۷۴۷۹ | ۹۴/۱۴۲۲ | ۰/۰۱۶۱ | ۱/۷۰۶۶ | ۰/۸۰۷۰ | ۰/۰۱۶۱ | A |
| هریس | | | ۰ | ۱۱/۸۹۴۱ | ۰ | ۰/۲۲۱۷ | ۶/۴۸۲۹ | ۱۴/۳۰۳۲ | ۰/۲۲۱۷ | B |
| | | | | | | ۰/۰۳۰۹ | ۰/۰۱۹۳ | ۰ | ۰/۰۳۰۹ | C |

نتیجه گیری

در این پژوهش به منظور جایگزینی روابط تجربی تبخیر از سطوح آزاد آبی با مقادیر حاصل از تشت تبخیر، ۹ رابطه تجربی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد روش‌های جنسن هیز و بلانی کریدل بیشترین دقت را در برآورد تبخیر از سطوح آزاد آبی در حوضه دریاچه ارومیه دارند. این امر نشان می‌دهد که در بین عوامل هواشناسی موثر در تبخیر، دما، ساعات آفتابی و تابش خورشیدی بیشترین تأثیر را دارند. در گام بعدی به منظور افزایش دقت روش‌های مورد مطالعه برای مطالعات تبخیر، واسنجی ضرایب معادلات برای حوضه دریاچه ارومیه صورت گرفت. بر این اساس بیشترین کاهش خطا در اثر اصلاح ضرایب برای روش استیفنز استوارت به میزان ۵۴/۱۲ درصد حاصل شد. همچنین پس از واسنجی ضرایب نیز روش‌های جنسن هیز و استیفنز استوارت با جذر میانگین مربع خطای معادل ۰/۹۷ میلی‌متر بر روز به عنوان بهترین روش‌ها معرفی شدند.

منابع

خوشحال جهرمی، ف. ۱۳۹۴. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در دو اقلیم متفاوت از استان فارس (مطالعه موردی شهرستان آباده و لار). سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

زارع‌ایبانه، ح.، مقدم‌نیا، ع.، بیات ورکشی، م.، قاسمی، ع. و شادمانی، م. ۱۳۸۴. تغییرات مکانی تبخیر از تشت و مقایسه آن با مدل‌های برآورد تبخیر در ایران. مجله دانش آب و خاک. ۵. ۱۲۰ - ۱۳۴.

ستاری، م. ت.، احمدی‌فرو، و پاشاپور خلف انصاری، ر. ۱۳۹۳. مدل‌سازی تلفات تبخیر از مخزن سد علویان با استفاده از مدل درختی M5 و مقایسه آن با روش‌های تجربی. فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۱۷: ۱۱۰ - ۱۲۲.

علیزاده، ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ بیست و سوم.

قبادیان، ر.، یعقوبی، م. و طالب‌حیدری، م. ۱۳۸۷. تهیه مدل پیش‌بینی

تبخیر از سطح آزاد در محدوده شهر کرمانشاه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه با روابط تجربی موجود. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.

مجیدی، م.، علیزاده، ا.، فریدحسینی، ع. ر. و وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۳. تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن سدها: برآوردهای بیلان انرژی، ارزیابی روش‌های تابش دما و روابط ترکیبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸. ۳: ۶۰۲ - ۶۱۵.

مجیدی، م.، علیزاده، ا.، وظیفه‌دوست، م. و فریدحسینی، ع. ر. ۱۳۹۴. تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن سدها: تحلیل حساسیت و رتبه‌بندی روش‌های موجود. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۹: ۳۵۰ - ۳۷۳.

نجفوند دریکوندی، م. و اسلامی، ح. ۱۳۹۵. مقایسه روش‌های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب (مطالعه موردی: سد تنظیمی دز). دو فصل‌نامه علمی و تخصصی مهندسی آب. ۴: ۶۵ - ۷۳.

یزدانی، و.، قهرمان، ب. و داوری، ک. ۱۳۹۰. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در اراضی شالیزاری آمل بر پایه آنالیز حساسیت و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی. مجله پژوهش آب ایران. ۷: ۴۰ - ۵۶.

Abtew, W. 2001. Evaporation estimation for Lake Okeechobee in south Florida. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 127: 140-147.

Alazard, M., Leduc, C., Travi, Y., Boclet, G. and Ben Salem, A. 2015. Estimating evaporation in semi-arid areas facing data scarcity: Example of the El Haouareb dam (Merguellil catchment, Central Tunisia). Journal of Hydrology Regional Studies. 3: 265-284.

Cohen, S., Ianetz, A. and Stanhill, G. 2002. Evaporative climate changes at bet Dagon, Israel, 1964-1998, Agricultural and Forest Meteorology. 111: 83-91.

Coulomb, C. V., legesse, D., Gasse, F., Travi, Y., Chernet, T. 2001. Lake evaporation estimates in tropical Africal (Lake Ziway, Ethiopia). Journal of Hydrology. 245: 1-18.

De Bruin, H. A. R. 1978. A simple model for shallow lake

- McGuinness, J.L., Bordne, E.F. 1972. A comparison of lysimeter derived potential evapotranspiration with computed values. Technical Bulletin 1452, US Department of Agriculture Agricultural Research Service, Washington, DC.
- Rosenberry, D.O., Winter, T.C., Buso, D.C., Likens, G.E. 2007. Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of hydrology*. 340, 149-166.
- Slavov, N and Moteva, M. 2004. Relation between the reference evapotranspiration and the measured evaporation from open water surface in Bulgaria. "BALVOIS 2004". Ohrid Macedonia CD v.
- Tanny, J., Cohen, S., Assouline, S., Lange, F., Grava, A., Berger, D., Teltch, B., Parlange, M.B. 2008. Evaporation from a small water reservoir: direct measurements and estimates. *Journal of hydrology*. 351: 218-229.
- 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: 107-118.
- evaporation. *Journal of Applied Meteorology*. 17: 1132-1134.
- Gavin, H and Agnew, C.A. 2004. Modelling actual reference and equilibrium evaporation from a temperate wet grassland. *Hydrological processes*. 18: 229-246.
- Goel, A. 2009. Application of SVMs Algorithms for Prediction of Evaporation in Reservoirs. *World Environmental and Water Resources Congress. Great Rivers*.
- Gundekar, H.G., Khodke, U.M and Sarkar, S. 2008. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. *Irrigation science*. 26: 169-175.
- Howard, K.W.F and Loyd, J.W. 1979. The Sensivity of Parameters in the Penman Evaporation Equations and Direct Recharge Balance. *Journal of Hydrology*. 41: 329-344.
- Irmak, S., Haman, D., Jones, J.W. 2002. Evaluations of class a pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in a humid location. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 128.3:153-159.

Evaluation and Calibration of Empirical Relationships for Estimating Evaporation from Free Water Levels in Urmia Lake Basin

V. Mouneskhah^{1*}, A. Majnooni Heris², A. Fakheri Fard³

Received: May.19, 2018

Accepted: Jun.18, 2018

Abstract

Evaporation is one of the main reasons for water loss and pressure on water resources, which is important in many situations. This study was carried out in order to evaluate the accuracy of different methods for estimating evaporation of free water surfaces using pan evaporation monthly data in the Lake Urmia basin. For this purpose several experimental equation coefficients were calibrated using the Newton-Raphson method. According to the results, the largest and least amounts of evaporation were occurred in the eastern parts, and south and west of the lake basin, respectively. The obtained results indicated that in general, Meyer and Ivanov methods were upper estimated and their predicted values were more than actual amounts, versus Jensen-Haise and Blaney-Criddle relationships estimated values were most similar to pan evaporation data. The latest tow methods are arranged in the category of temperature - radiation and temperature - sunshine hour relationships, respectively, and have the highest accuracy in the Lake Urmia Basin. In average, Jensen-Haise and Papadakis methods were introduced as the best and worst methods with RMSE of 1.07 and 2.71 mm/day in the Urmia Lake basin, respectively. Also, the most and least corrective correlation variations were obtained as 54.12 and 9.80 percentage for Stephens-Stewart and Jensen-Haies method coefficients.

Keywords: Pan evaporation, Jensen-Haies, Urmia Lake

1- MSc Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Associate Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(*-Corresponding Author Email: vahid.mounesxah@yahoo.com)