



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و نهم، شماره دوم، ۱۳۹۸  
۲۹-۵۱

<http://jwsc.gau.ac.ir>  
DOI: 10.22069/jwsc.2019.12333.2690

## تعیین بهترین روش دمایی بر آورد تبخیر از سطح مخزن سد کارده به منظور بررسی تأثیر کاهش حجم مفید مخزن بر مقدار افزایش تبخیر از سطح دریاچه

\*ابوالفضل مساعدی<sup>۱</sup>، مریم یزدان پرست<sup>۲</sup>، محمدحسین محمودی قرائی<sup>۳</sup>

سعیدرضا خدائشناس<sup>۱</sup> و علی گلکاریان<sup>۴</sup>

استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد  
تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** کم‌آبی امروزه به یکی از مهم‌ترین مشکلات مردم در بسیاری از جوامع تبدیل شده است. احداث سد و ذخیره آب به‌منظور تامین بخشی از آب موردنیاز و همچنین کنترل سیل یکی از راه‌های همزیستی با مشکلات ناشی از کم‌آبی، سیل و یا خشکسالی است. وضعیت تبخیر از سطوح آبی دریاچه‌ها، مخازن و برکه‌ها در نحوه بهره‌برداری بهینه از منابع آبی بسیار مؤثر است. میزان تبخیر از سطح آب‌ها معمولاً در مناطق خشک، به‌ویژه در مناطقی که جریان‌های افقی انتقال حرارت به میزان قابل‌ملاحظه‌ای وجود دارد نسبت به مناطق مرطوب بیش‌تر خواهد بود. از طرف دیگر با گذشت زمان میزان رسوب‌گذاری در مخزن سد بیش‌تر می‌شود. یکی از مشکلات رسوب‌گذاری تغییر در هندسه مخزن و افزایش سطح دریاچه سد به‌ازای مقادیر مختلف حجم جریان ذخیره می‌باشد. این امر هم به نوبه خود منجر به افزایش میزان تبخیر به‌دلیل افزایش سطح دریاچه سد می‌شود. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش برآورد میزان تبخیر از سطح دریاچه سد کارده و انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر از سطح این دریاچه و همچنین تعیین تأثیر رسوب‌گذاری بر تبخیر از سطح دریاچه این سد می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** به‌منظور برآورد میزان تبخیر از سطح دریاچه سد کارده، ابتدا با استفاده از ۶ روش دمایی برآورد تبخیر شامل روش‌های جنسن-هیز، هامون، استفن-استوارت، پاپاداکیس، ابتی و تورک میزان تبخیر در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه برآورد گردید. سپس این مقادیر با داده‌های حاصل از تشت تبخیر، با استفاده از ۹ شاخص ارزیابی خطا مقایسه شدند. همچنین به‌منظور تعیین تأثیر رسوب‌گذاری بر تبخیر از دریاچه، بر اساس هیدروگرافی‌هایی که در سال‌های آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۵، ۱۳۸۳-۱۳۸۲ و ۱۳۸۸-۱۳۸۷ انجام شده است، سطح مخزن به‌ازای هر مقدار از حجم ذخیره (۵ سناریو شامل حجم‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلیون مترمکعب) تعیین شد.

\* مسئول مکاتبه: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

**یافته‌ها:** نتایج نشان می‌دهد که روش جنسن-هیز، بهترین روش دمایی برآورد تبخیر در مقیاس سالانه و در شرایط فقدان داده‌های اندازه‌گیری تبخیر از تشت می‌باشد. به‌منظور برآورد تبخیر در مقیاس ماهانه یا فصلی، روش پایاداکیس برای فصل زمستان و روش تورک برای فصل تابستان روش‌های مناسبی خواهند بود. همچنین با کاهش حجم مفید مخزن به دلیل پدیده رسوب‌گذاری، سطح دریاچه مخزن (به‌ازای هر میزانی از ذخیره جریان) افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که این افزایش سطح با افزایش حجم ذخیره از ۵ میلیون مترمکعب به ۲۵ میلیون مترمکعب سبب افزایش میزان تبخیر به ۳ برابر حالت اول می‌گردد. به‌عبارت دیگر می‌توان این‌گونه بیان نمود که با ۵ برابر شدن حجم ذخیره در مخزن (تغییر حجم ذخیره از ۵ به ۲۵ میلیون مترمکعب) و همچنین افزایش رسوب‌گذاری حجم تبخیر از سطح مخزن ۳ برابر افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تمامی روش‌ها اعم از بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد، روند افزایشی تبخیر را با تغییر حجم ذخیره در طی سال‌های آبی ذکر شده به سبب افزایش سطح دریاچه در مخزن سد کارده نشان می‌دهند.

**نتیجه‌گیری:** روش جنسن-هیز به دلیل داشتن نزدیک‌ترین داده‌ها به تشت تبخیر و با کسب بیش‌ترین امتیاز از مجموع امتیازات ۹ شاخص ارزیابی خطا در برآورد تبخیر از بین ۶ روش، به‌عنوان بهترین روش دمایی برآورد تبخیر در شرایط فقدان داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر از تشت در منطقه انتخاب گردید. روش هامون در برآورد مقادیر تبخیر، کم‌برآوردترین روش و روش استفن-استوارت بیش‌برآوردترین روش می‌باشد. افزایش رسوب‌گذاری در مخزن سد سبب ارتقاء تراز آب به رقوم بالاتر در مخزن می‌شود که این موضوع با توجه به هندسه باز بودن مخزن سد کارده، افزایش سطح دریاچه را به دنبال خواهد داشت و در نهایت سبب افزایش میزان تبخیر از سطح مخزن سد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** برآورد تبخیر، رسوب‌گذاری، روش‌های دمایی، سد کارده، شاخص‌های ارزیابی خطا

### مقدمه

متأسفانه با توجه به کمبود و نقص گسترده‌ای که در داده‌های مورد نیاز به‌منظور برآورد تبخیر در دریاچه‌ها و مخازن سدهای کشور وجود دارد، مطالعات چندانی در زمینه تعیین دقیق میزان تبخیر از سطوح آزاد منابع آب سطحی کشور (به‌خصوص مخازن سدها) صورت نگرفته است و تنها، پژوهش‌های محدود و پراکنده‌ای در این زمینه موجود می‌باشد (۵، ۱۸ و ۳۷). علاوه بر این، تبخیر و تعرق از اجزاء اصلی چرخه آب و بیلان آب هستند (۴۲). در این راستا برآورد میزان تبخیر و همچنین تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین مباحث در طراحی سیستم‌های انتقال و توزیع آب و آبیاری و زهکشی می‌باشد (۷ و ۲۵)؛ که پیش‌بینی آن در تعیین سیاست‌های آینده

یکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگیزترین مشکلات کشور مسأله کمبود آب و کاهش منابع آبی می‌باشد. از طرف دیگر حجم وسیعی از منابع آب محدود کشور از طریق پدیده پیچیده تبخیر از دسترس خارج می‌شود. پس از احداث سد بر روی یک رودخانه، رسوبات حمل شده، در مخزن سد ته‌نشین شده و حجم آن به‌تدریج کاهش می‌یابد. این امر باعث کاهش حجم کنترل سیلاب، کاهش حجم جریان قابل ذخیره، افزایش میزان تبخیر و باتلاقی شدن اراضی بالادست می‌شود (۳۱ و ۵۱). بنابراین، با احداث سد و ذخیره‌سازی جریان رودخانه‌ها، بخشی از منابع آب ذخیره‌شده، به‌دلیل تبخیر از دسترس خارج می‌شود که تعیین مقدار آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نیروهای محرکه بر پایه دما نیز متفاوت باشد (۴۰). از مهم‌ترین روش‌های مبتنی بر دما، می‌توان از روش‌های تابش - دما مانند استفن و استوارت (۴۵) و ابتی و تورک (۲)، روش‌های دما - طول روز مانند جنسن - هیز (۲۳) و هامون (۱۶) و روش‌های صرفاً دمایی مانند پایاداکیس (۳۴) نام برد. روش‌های مبتنی بر دما که اغلب پایه تجربی دارند، در عین سادگی و نیاز به پارامترهای ورودی اندک، برای اکثر مخازن و دریاچه‌های سدهای کشور که اغلب با کمبود و نقص داده‌های منظم مواجه هستند، قابل استفاده می‌باشند. این روش‌ها، با توجه به شرایط جغرافیایی مختلف، از دقت متفاوتی در برآورد تبخیر برخوردار خواهند بود. در این زمینه پژوهش‌های مختلفی توسط سینگ و ژو (۱۹۹۷) انجام گرفته است (۴۱). ایشان، سیزده رابطه انتقال جرم را با داده‌های تشت تبخیر مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های محاسبه شده دارای تطابق مناسبی با داده‌های حاصل از تشت هستند. بر طبق پژوهش‌های ابتی (۲۰۰۱) روش‌های تابش - دمایی نتایج مطلوب‌تری نسبت به روش‌های ترکیبی در برآورد تبخیر از بدنه‌های آبی حاصل نموده‌اند (۱). دوگان و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل سیستم استنتاجی عصبی - فازی تطبیقی<sup>۱</sup> (ANFIS) فرآیند تبخیر در سد یوواسیک ترکیه را مدل‌سازی نموده و به این نتیجه رسیدند که در بین چهار پارامتر ورودی به مدل (تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی و سرعت باد) پارامتر تابش خورشیدی مؤثرترین پارامتر بر تبخیر در سد یوواسیک ترکیه بوده و در مجموع این مدل در مدل‌سازی فرآیند تبخیر از سد موفقیت‌آمیز بوده است (۱۲).

باریده و الیاسی (۲۰۰۸) از طریق رسم منحنی‌های هم‌تبخیر در سطح کشور بر روی یک نقشه و انتقال محل سدهای مخزنی به این نقشه، ابتدا میزان تبخیر از

در حوزه‌های مختلف کشاورزی و مدیریت منابع آبی از ملزومات است (۲۵ و ۳۰). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تعیین میزان تبخیر با توجه به پتانسیل بالای تبخیر و محدودیت جدی منابع آب در این مناطق، از اهمیت بسیار بیش‌تری برخوردار است (۳۵). اندازه‌گیری دقیق میزان تبخیر از سطوح بزرگ آبی از مشکل‌ترین و پیچیده‌ترین مباحث مرتبط با مدیریت کمی و کیفی منابع آب است (۱۷ و ۳۹). اصولاً شدت تبخیر از پیکره‌های آبی بیش‌تر با انرژی در دسترس و مورد نیاز تبخیر و امکان پخشیدگی بخار آب به اتمسفر کنترل می‌گردد (۲۸).

یکی از رایج‌ترین و متداول‌ترین روش‌های برآورد تبخیر از سطوح آزاد آب، استفاده از تشت تبخیر به‌علت وجود داده‌هایی با سری زمانی طولانی و توزیع مکانی مناسب می‌باشد (۱۹، ۴۸ و ۵۲). به‌منظور برآورد میزان تبخیر واقعی با استفاده از داده‌های تشت تبخیر، نیاز به دانستن ضریب تشت  $(K_p)$  می‌باشد. در این راستا پژوهشگران متعدد مقادیر متفاوتی را برای ضریب تشت بیان نموده‌اند. از جمله کابوسی (۲۰۱۱) با استفاده از ۷ معادله تجربی محاسبه ضریب تشت، مقدار  $K_p$  را بین ۰/۴۵ تا ۰/۹۵ برآورد نمود (۲۴). همچنین در پژوهشی دیگر اکبری نودهی (۲۰۱۰) در ایستگاه ساری با استفاده از ۴ روش تجربی محاسبه ضریب تشت، بهترین برآورد تبخیر را برای مقادیر  $K_p$  بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۱ بیان نمود (۳). اما از آن‌جا که بسیاری از پژوهشگران بر عدم قطعیت در داده‌های تشت تبخیر تأکید نموده‌اند (۴۴) و تبخیر هم در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شود، لزوم استفاده از سایر روش‌های برآورد تبخیر و معادلات تجربی موجود احساس می‌گردد. از جمله این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر دما هستند. نرخ تبخیر می‌تواند بسته به حضور نیروهای محرکه براساس رطوبت بین گاز و مایعات یا علاوه بر حضور

1- Adaptive neuro-fuzzy inference system

بنابراین، هدف اصلی این پژوهش برآورد میزان تبخیر از سطح دریاچه سد و بررسی تأثیر رسوب‌گذاری بر میزان تبخیر از دریاچه سد کرده در طول دوره مورد بهره‌برداری می‌باشد. به این منظور در این پژوهش ابتدا با استفاده از ۶ روش دمایی جنسن-هین، هامون، استفن-استوارت، پاپاداکیس، ابتی و تورک میزان تبخیر از سطح دریاچه در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه برآورد خواهد شد. سپس این مقادیر با داده‌های حاصل از تشت تبخیر، با استفاده از چندین شاخص ارزیابی خطا مقایسه و پس از تعیین بهترین روش برآورد تبخیر، مقادیر تبخیر حاصل از آن روش در سناریوهای مختلفی از حجم ذخیره (با توجه به حجم رسوب‌گذاری در مخزن طی سال‌های متفاوت)، تعیین خواهند شد و تأثیر رسوب‌گذاری بر تبخیر و همچنین تأثیر روش برآورد تبخیر از سطح دریاچه سد کرده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** سد کرده در ۴۵ کیلومتری شمال شهر مشهد بر روی رودخانه کرده احداث و در سال ۱۳۶۶ به بهره‌برداری رسیده است. این سد که از نوع بتنی دو قوسی متقارن می‌باشد که دارای مختصات جغرافیایی طول شرقی ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۸/۵۳ ثانیه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۴/۲۴ ثانیه می‌باشد و در ارتفاع ۱۲۵۰ متری از سطح دریا واقع شده است. ارتفاع سد از پی ۶۷ متر و از کف ۵۰ متر می‌باشد، طول تاج آن ۱۴۴ متر و عرض آن در تاج سد ۲/۳ متر است. این سد دارای ۳ دریچه آبگیر در ترازهای ۱۲۵۸/۶، ۱۲۶۱/۶ و ۱۲۷۳/۶ و دارای یک سرریز نیلوفری با قدرت تخلیه ۷۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. در زمان شروع بهره‌برداری سطح دریاچه در رقوم نرمال، ۱۹۰/۷۶ هکتار و حجم مخزن در تراز نرمال ۲۸/۱ میلیون

تشت را در محل هر یک از سدهای کشور تعیین نموده و با استفاده از ضریب تعدیل، تبخیر از سطح آزاد آب دریاچه سدها را برآورد نمودند (۸). ایشان به این نتیجه رسیدند که مجموع حجم تبخیر سالانه از سطح دریاچه سدهای در حال بهره‌برداری کشور معادل ۲/۰۲ میلیارد مترمکعب در سال می‌باشد. ایشان اضافه می‌نمایند که با توجه به حجم کل مخازن در حال بهره‌برداری (۳۲/۵ میلیارد مترمکعب) حدود ۶/۲ درصد از آب سدها در هر سال تبخیر می‌گردد.

بسیاری از مخازن سدها علاوه بر کاربری‌های گسترده در بخش کشاورزی و صنعت، نقش اساسی در تامین آب شرب جمعیت وسیعی از مردم را بازی می‌کنند. شهر مشهد با جمعیتی نزدیک به ۳ میلیون نفر سالانه پذیرای بیش از ۲۰ میلیون مسافر و زائر می‌باشد. با توجه به افت شدید سفره آب زیرزمینی در دشت مشهد و سایر دشت‌های خراسان رضوی و محدودیت شدید منابع آبی به دلیل شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی منطقه، تامین آب شرب این شهر به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در مدیریت منابع آب در منطقه تبدیل شده است. به این دلیل امروزه تقریباً تمامی آب ذخیره شده در مخزن سد کرده به شرب اختصاص داده می‌شود. اما متأسفانه بخشی از آب ذخیره شده در آن به دلیل تبخیر از دسترس خارج شده و این مشکل با افزایش حجم رسوب‌گذاری در مخزن می‌تواند جدی‌تر هم بشود. آراجو و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی‌های میدانی از هفت حوضه در برزیل به این نتیجه رسیدند که متوسط سالانه کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن ۰/۵۶ درصد در حوضه شهری و ۰/۱۸ درصد در مناطق روستایی می‌باشد (۶). همچنین متوسط نرخ رسوب‌گذاری حدود ۴۵۰ تن در کیلومترمربع در سال است که با تغییر مورفولوژی مخزن به شکل هندسه باز، به نفع تلفات تبخیر است.

ابتدا این سد با هدف تامین آب کشاورزی محدوده اراضی پایاب سد و تامین بخشی از نیازهای آبی شهر مشهد ساخته شد، ولی با توجه به مشکل تامین آب شرب جمعیت ۳ میلیون نفری شهر مشهد و زائران این شهر، امروزه تقریباً تمامی آب ذخیره شده در این سد به شرب اختصاص داده می‌شود. شکل ۱ نمایی از مخزن و سد کارده را نشان می‌دهد.

مترمکعب بوده است. مساحت حوضه آبریز سد کارده ۵۵۷/۸ کیلومترمربع، بارندگی متوسط سالانه ۲۵۶/۹ میلی‌متر، آبدهی متوسط درازمدت سالیانه رودخانه ۰/۷۹ مترمکعب در ثانیه، متوسط آبدهی رودخانه ۲۴/۹۱ میلیون مترمکعب در سال و متوسط درازمدت کل بار رسوبی حدود ۴۰۰ هزار تن در سال می‌باشد (۲۷). این سد در میان ۴۲ سد بزرگ کشور رتبه بالایی در زمینه نرخ رسوب‌گذاری داراست (۲۶). در



شکل ۱- نمایی از مخزن و سد کارده.

Figure 1. A view of the Kardeh reservoir and dam.

۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا پایان سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، به‌منظور برآورد تبخیر ماهانه با استفاده از داده‌های تشت از معادله زیر استفاده شد.

$$E = K_p E_p \quad (1)$$

که در آن،  $E_p$  مقدار تبخیر از تشت و  $K_p$  ضریب تشت نامیده می‌شود که بر اساس منابع مختلف مقدار آن می‌تواند بین ۰/۴۵ تا ۱ انتخاب شود (۱۳، ۱۵ و ۲۱). در این پژوهش با توجه به موارد ذکر شده، ارتفاع تبخیر از سطح دریاچه بر اساس میزان تبخیر از تشت در دو حالت برآورد گردید.

در اولین حالت مقدار  $K_p = 1$  فرض شد. بر این اساس فرض شد که ارتفاع تبخیر از سطح دریاچه سد معادل ارتفاع تبخیر از تشت تبخیر می‌باشد. بر اساس

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش مقادیر روزانه دما (حداقل، حداکثر و متوسط) و مقادیر روزانه تبخیر از تشت در محل ایستگاه تبخیرسنجی سد کارده از سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۰ تا پایان سال آبی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ شد. همچنین در طول دوره آماری مورد استفاده در این پژوهش، ۳ مرتبه عملیات نقشه‌برداری و یا هیدروگرافی به‌منظور تعیین حجم مخزن طی سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ به انجام رسیده است که منحنی‌های سطح-حجم-ارتفاع دریاچه سد طی این ۳ دوره از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ گردید (۴۳).

برآورد تبخیر: الف) بر اساس میزان تبخیر از تشت: پس از اخذ مقادیر روزانه تبخیر از تشت در محل ایستگاه تبخیرسنجی سد کارده از سال آبی

د) روش استفن و استوارت<sup>۳</sup>: روش استفن و استوارت (۴۵) روشی مبتنی بر همبستگی داده‌های متوسط دمای هوا و تابش خورشیدی در برآورد تبخیر می‌باشد که طبق رابطه ۴ در سال ۱۹۶۳ توسط استفن و استوارت گسترش داده شده است.

$$E = R_s(a + bT_a) \quad (۴)$$

که در آن، E شدت تبخیر بر حسب (mm/day)، a و b دارای مقادیر ثابت به ترتیب ۰/۱۰ و ۰/۰۲۷ می‌باشند (۹).  $R_s$  تابش خورشیدی بر حسب تبخیر معادل (mm/day) و  $T_a$  متوسط دمای هوا بر حسب (°C) می‌باشد.

و) روش پاپاداکیس<sup>۴</sup>: این روش نیز یکی از روش‌های دمایی در برآورد تبخیر می‌باشد که برای محاسبه آن تنها دانستن مقادیر دمای حداقل و حداکثر هوا کافی می‌باشد. این روش در سال ۱۹۶۱ طبق رابطه ۵ توسط پاپاداکیس توسعه یافت (۳۴).

$$E = 0.5625[e_{a,max}^*10^{-2} - (e_{a,min}^*10^{-2} - 2)] \quad (۵)$$

که در آن، E شدت تبخیر بر حسب (mm/day)،  $e_{a,max}^*$  و  $e_{a,min}^*$  نیز به ترتیب فشار بخار اشباع با توجه به دمای حداکثر و حداقل هوا بر حسب (kpa) می‌باشند که بر اساس رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند.

$$e_{a,max}^* = 0.6018 \exp \left[ \frac{17.27T_{max}}{T_{max} + 237.3} \right] \quad (۶)$$

$$e_{a,min}^* = 0.6018 \exp \left[ \frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 237.3} \right] \quad (۷)$$

منابع مختلف حداکثر میزان تبخیر از سطوح آبی آزاد به اندازه تبخیر از سطح تشت تبخیر می‌باشد. بنا بر این، در این حالت حداکثر میزان تبخیری که از سطح دریاچه ممکن است اتفاق افتد، برآورد می‌شود.

در حالت دوم مقدار  $K_p = 0/65$  (برای مهرماه تا اردیبهشت‌ماه) و یا  $K_p = 0/60$  (برای خردادماه تا شهریورماه) فرض شد (۴، ۲۲ و ۴۷).

در این حالت با توجه به مقادیر رطوبت نسبی، سرعت باد و وضعیت پوشش گیاهی در محل ایستگاه اندازه‌گیری و پیرامون تشت تبخیر، مقادیر  $K_p$  برای ماه‌های مختلف تعیین گردید (۴، ۲۲ و ۴۷).

ب) روش جنسن - هیز (۱۹۶۳)<sup>۱</sup>: جنسن و هیز (۲۳) با استفاده از داده‌های مناطق خشک غرب آمریکا معادله‌ای طبق رابطه ۲ برای برآورد تبخیر توسعه دادند. این روش از جمله روش‌های دما-طول روز جهت برآورد تبخیر می‌باشد.

$$E = R_s(0.025T_a + 0.08) \quad (۲)$$

که در آن، E شدت تبخیر بر حسب (mm/day)،  $R_s$  تابش خورشیدی بر حسب تبخیر معادل (mm/day) و  $T_a$  متوسط دمای هوا بر حسب (°C) می‌باشد.

ج) روش هامون (۱۹۶۳)<sup>۲</sup>: روش هامون (۱۶) نیز که یکی دیگر از روش‌های دما-طول روز می‌باشد، روشی ساده در جهت برآورد تبخیر است که به وسیله رابطه ۳ محاسبه می‌گردد.

$$E = 4.95 * 10^{-2} \exp(0.062T_a) \quad (۳)$$

که در آن، E شدت تبخیر بر حسب (mm/day) می‌باشد و  $T_a$  متوسط دمای هوا بر حسب (°C) می‌باشد.

3- Stephens-Stewart  
4- Papadakis

1- Jensen and Haise  
2- Hamon

الف) ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۳</sup>:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (10)$$

که در آن و سایر رابطه‌ها،  $P_i$  و  $O_i$  به ترتیب معرف مقادیر برآورد شده تبخیر (بر اساس رابطه‌های ۲ تا ۹) و اندازه‌گیری شده (بر اساس رابطه ۱) و  $n$  نشان‌دهنده تعداد داده‌ها است. این شاخص متوسط پراکندگی اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده را نشان می‌دهد (۴۶). اما این شاخص، اطلاعاتی از بیش‌تخمینی یا کم‌تخمینی یک روش را نمی‌تواند ارائه دهد (۲۰). هرچه مقادیر این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشند، متوسط اختلاف مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده کم‌تر است و معادله (روش) مورد استفاده از خطای کم‌تری برخوردار است.

ب) میانگین انحراف خطا (MBE)<sup>۴</sup>:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (11)$$

این شاخص میانگین اختلاف بین مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد (۳۸). مقادیر مثبت این شاخص نشان‌دهنده این است که به‌طور متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده کوچک‌تر از مقادیر برآورد شده می‌باشند. بنا بر این، مقادیر مثبت در این شاخص بیانگر بیش‌برآوردی مدل (روش) و مقادیر منفی آن نشانگر کم‌برآوردی مدل می‌باشند. طبیعی است که ایده‌آل‌ترین حالت بر اساس این شاخص مقدار صفر می‌باشد.

ه) روش ابته<sup>۱</sup>: این روش یک روش ساده برای تخمین میزان تبخیر از دریاچه‌ها می‌باشد؛ که در سال ۱۹۹۸ توسط ابته طبق رابطه ۸ گسترش یافت (۲).

$$E = K_1 \frac{R_S}{\lambda} \quad (8)$$

که در آن،  $E$  شدت تبخیر بر حسب (mm/day)،  $R_S$  تابش خورشیدی بر حسب (MJ m<sup>2</sup>/day)،  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر بر حسب (MJ/Kg) و  $K_1$  ضریبی بدون بعد معادل ۰/۵۳ می‌باشد.

ی) روش تورک<sup>۲</sup>: برای تخمین میزان تبخیر از دریاچه‌ها رابطه ۹ توسط تورک پیشنهاد شده است (۲).

$$E = K_2 \frac{(23.89R_S + 50)T_{max}}{(T_{max} + 15)} \quad (9)$$

که در آن،  $E$  شدت تبخیر بر حسب (mm/day)،  $R_S$  تابش خورشیدی بر حسب (MJ m<sup>2</sup>/day)،  $K_2$  ضریبی معادل ۰/۰۱۳ بر حسب (MJ<sup>-1</sup>m<sup>2</sup>day) به‌منظور برابری واحدها و  $T_{max}$  حداکثر دمای روزانه بر حسب (°C) می‌باشد.

**شاخص‌های آماری:** پس از برآورد ارتفاع تبخیر بر اساس رابطه ۱، مقدار تبخیر توسط ۶ روش ذکر شده (روش‌های جنسن-هیز، استفن و استوارت، هامون، پاپاداکیس، ابته و تورک) بر اساس رابطه‌های ۲ تا ۹ هم برآورد شد. به‌منظور بررسی صحت و دقت این روش‌ها (رابطه‌های ۲ تا ۹)، مقادیر برآورد شده توسط هر یک از این روش‌ها با مقادیر برآورد شده تبخیر از تشت (بر اساس رابطه ۱)، بر اساس شاخص‌های مختلف آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص‌های آماری مورد استفاده به شرح زیر می‌باشند.

3- Root Mean of Square Error

4- Mean of Bios Error

1- Abtew

2- Turc

(و) ضریب کارآیی اصلاح شده (E):<sup>۴</sup>

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{\sum_{i=1}^n |O_i - \bar{O}_i|} \quad (15)$$

محدوده این شاخص از یک تا منفی بی‌نهایت می‌باشد. در صورتی که E برابر با یک باشد نشان‌دهنده برابر بودن تمامی مقادیر برآوردشده با مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. بنا بر این، هرچه مقدار این شاخص از یک فاصله بگیرد، دقت مقادیر برآوردشده کم‌تر و کارآیی مدل کم‌تر می‌باشد (۳۳).

(ز) شاخص توافق (d):<sup>۵</sup>

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}_i| + |O_i - \bar{O}_i|)} \quad (16)$$

شاخص توافق (d) به شکل وسیعی در بررسی عملکرد مدل‌ها استفاده می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان انطباق بین داده‌های برآوردشده و اندازه‌گیری شده است. هرچه مقدار شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، میزان انطباق افزایش می‌یابد (۴۹).

(ح) ضریب تعیین (R<sup>2</sup>):<sup>۶</sup>

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2}} \right]^2 \quad (17)$$

ضریب تبیین از شاخص‌های آماری رایج در بررسی عملکرد مدل‌ها است و نسبت پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان

(ج) انحراف استاندارد عمومی (GSD):<sup>۱</sup>

$$GSD = \frac{RMSE}{\bar{P}_i} \quad (12)$$

که در آن، RMSE ریشه میانگین مربعات خطا و  $\bar{P}_i$  میانگین مقادیر برآورد شده تبخیر می‌باشد. هرچه مقدار GSD به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود (۱۴ و ۲۹).

(د) نسبت اختلاف (r):<sup>۲</sup>

$$r = \frac{\bar{P}_i}{\bar{O}_i} \quad (13)$$

این شاخص از نسبت میانگین مقادیر برآورد شده به میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده به دست می‌آید و هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود (۳۶).

(ه) ضریب همبستگی اسپیرمن (r<sub>s</sub>):<sup>۳</sup>

در این روش برای تعیین ضریب همبستگی به جای استفاده از مقادیر واقعی داده‌ها از رتبه آن‌ها (که پس از مرتب نمودن آن‌ها به دست می‌آید) استفاده می‌شود.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n di^2}{n^3 - n} \quad (14)$$

که در آن،  $di^2$  مجذور تفاوت رتبه‌ها و n تعداد رتبه‌ها می‌باشد. مقادیر این شاخص بین +۱ تا -۱ متغیر می‌باشند. این شاخص یکی از شاخص‌های تعیین صحت مدل است.

4- Efficiency Ratio Improved  
5- Index of Agreement  
6- Correlation Coefficient

1- General Standard Deviation  
2- Difference Ratio  
3- Spearman's correlation coefficient



روش‌های مذکور از روش امتیازدهی استفاده شد. بر این اساس، به روشی که بر اساس شاخص خطاسنجی موردنظر، بهترین عملکرد را داشته باشد، امتیاز ۱۲ (بهترین امتیاز در بین ۱۲ مقایسه) تعلق گرفت و به روشی که بر اساس همان معیار خطاسنجی، نامناسب‌ترین عملکرد را داشته باشد، امتیاز ۱ (کم‌ترین امتیاز) تعلق گرفت. در این راستا بیش‌ترین امتیاز ممکن، معادل ۱۰۸ (یعنی ۹\*۱۲) و کم‌ترین امتیاز ممکن، معادل ۹ (یعنی ۱\*۹) خواهد بود. امتیاز ۱۰۸ به این معنی است که معادله (روش) مورد استفاده در برآورد تبخیر، مناسب‌ترین معادله بر اساس تمامی شاخص‌های خطاسنجی می‌باشد، در حالی که امتیاز ۹ به این مفهوم خواهد بود که معادله مورد استفاده براساس تمامی شاخص‌های خطاسنجی نامناسب‌ترین معادله می‌باشد.

**تعیین حجم تبخیر از سطح مخزن در سناریوهای مختلف ذخیره جریان و رسوب‌گذاری:** با توجه به هیدروگرافی‌های انجام گرفته در سال‌های آبی ۱۳۷۶-۱۳۷۵، ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ سطح دریاچه به‌ازای ۵ سناریو برآورد گردید. این سناریوها شامل مقادیر ذخیره جریان در مخزن با یکی از حجم‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. سپس با توجه به مقادیر برآوردشده ارتفاع تبخیر بر اساس ۸ روش برآورد تبخیر (دو روش با استفاده از داده‌های تشت تبخیر و ۶ روش بر اساس رابطه‌های ۲ تا ۹)، حجم تبخیر در ۵ سناریو و در سال‌های ذکرشده برآورد شد تا تأثیر رسوب‌گذاری بر کاهش حجم مخزن، افزایش سطح دریاچه و در نتیجه افزایش تبخیر مورد بررسی قرار گیرد.

می‌دهد (۱۱). در صورت تطابق کامل بین داده‌های برآوردشده و اندازه‌گیری، مقدار این شاخص برابر ۱ خواهد بود. این شاخص مقادیر بین صفر تا یک را می‌تواند به خود اختصاص دهد. این شاخص یکی از معیارهای اندازه‌گیری صحت مدل می‌باشد.

(ط) معیار ناش - ساتکلیف ( $C_{NS}$ ):<sup>۱</sup>

$$C_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (18)$$

شاخص ناش - ساتکلیف، یکی از معیارهای ارزیابی خطا به‌خصوص در مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی است (۳۲). دامنه تغییرات این شاخص از ۱ تا منفی بی‌نهایت است که هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل موردنظر از کارایی بیش‌تری برخوردار است.

**ارزیابی شاخص‌های آماری:** همان‌گونه که بیان شد مقادیر تبخیر از تشت با استفاده از رابطه ۱ و با در نظر گرفتن دو مقدار متفاوت برای ضریب  $K_p$ ، تعیین شد. از طرف دیگر همین مقادیر با ۶ روش بر اساس رابطه‌های ۲ تا ۹ برآورد گردیدند. در نتیجه در مقایسه این مقادیر با یکدیگر ۱۲ حالت (۲\*۶) می‌تواند اتفاق افتد. به‌عبارت دیگر، مقایسه مقادیر تبخیر برآورد شده بر اساس هر یک از ۶ روش برآورد تبخیر، با ۲ روش تعیین تبخیر بر اساس داده‌های تشت تبخیر (یک‌بار با اعمال ضریب اصلاحی برای داده‌های تشت و بار دیگر بدون اعمال ضریب اصلاحی) صورت گرفت. در این پژوهش از ۹ شاخص خطاسنجی (رابطه‌های ۱۰ تا ۱۸) برای ۱۲ حالت مقایسه استفاده شد. پس از تعیین هر یک از مقادیر شاخص‌های آماری برای هر یک از مقایسه‌ها، به‌منظور ارزیابی دقت و صحت

1- Nash Satklyf Criterion

## نتایج و بحث

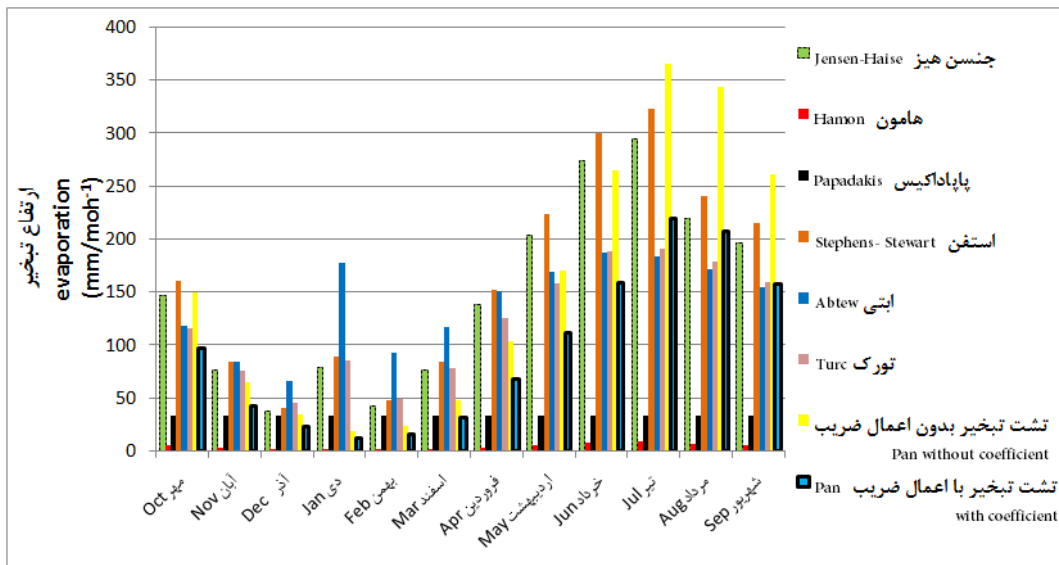
همان‌گونه که بیان شد، به دلیل وجود داده‌های تبخیر در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی و اندازه‌گیری ساده آن و همچنین به دلیل الگوی سازگاری که با منطقه مورد استفاده نشان می‌دهد (۱۰)، در این پژوهش مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر از تشت (یکبار با اعمال ضریب اصلاحی و بار دیگر بدون اعمال ضریب) به عنوان مرجع در نظر گرفته شدند. همچنین با استفاده از ۶ روش تجربی (رابطه‌های ۲ تا ۹) مقدار تبخیر از سطح دریاچه برای کل دوره آماری ۲۳ ساله به صورت ماهانه محاسبه شد. سپس این مقادیر با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند.

شکل ۲ مقدار تبخیر از سطح دریاچه بر اساس روش‌های ذکر شده را در طول دوره آماری نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، روش هامون کم‌برآوردترین روش بوده و در تمامی ماه‌ها مقادیر تبخیر را بسیار کم نشان می‌دهد. این در حالی است که روش استفن - استوارت بیش‌برآوردترین روش می‌باشد و عموماً مقادیر تبخیر را حتی بیش‌تر از تبخیر از تشت نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در این روش فقط برای فصل تابستان مقادیر تبخیر کم‌تر از تبخیر از تشت و در سایر فصل‌ها بسیار بیش‌تر از تبخیر از تشت برآورد می‌شود. مقادیر به دست آمده از روش پاپاداکیس نیز تقریباً روند ثابتی را در طول سال نشان می‌دهد و در مجموع جزء روش‌های کم‌برآورد است. همچنین مقادیر به دست آمده از روش‌های ابتی و تورک در ماه‌های اردیبهشت الی آبان به یکدیگر نزدیک می‌باشند و در ماه‌های دیگر تفاوت نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند. روش جنسن هیز نیز نزدیک‌ترین نتایج را با داده‌های تشت تبخیر نشان می‌دهد.

در ادامه با استفاده از ۹ شاخص خطاسنجی (رابطه‌های ۱۰ تا ۱۸) مقادیر هر یک از شاخص‌ها برای هر یک از ماه‌های سال محاسبه شد. جدول ۱ مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی خطا در برآورد تبخیر در اسفندماه و شهریورماه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که بیان شد با توجه به وضعیت خطا بر اساس هر یک از آماره‌های خطاسنجی به هر یک از روش‌های برآورد تبخیر امتیازی بین ۱ تا ۱۲ تعلق گرفت. بر این اساس در صورتی که روشی بر اساس همه شاخص‌های خطاسنجی، مناسب‌ترین روش تشخیص داده شود، جمع امتیاز ۱۰۸ و در صورتی که بر اساس تمامی شاخص‌ها نامناسب‌ترین روش تشخیص داده شود، در مجموع امتیاز ۹ را کسب خواهد نمود. جدول ۲ مقادیر امتیازات روش‌های مورد استفاده را به صورت نمونه برای اسفندماه و شهریورماه نشان می‌دهد. جدول ۳ نیز مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط شاخص‌های خطاسنجی را برای دوره‌های ماهانه، فصلی و سالانه نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، پس از محاسبه مجموع امتیازات ۹ شاخص خطاسنجی، روش جنسن - هیز با کسب بیش‌ترین امتیاز در بین سایر روش‌های برآورد تبخیر، به عنوان بهترین روش دمایی برآورد تبخیر انتخاب گردید. روش استفن - استوارت در رتبه دوم قرار گرفت و روش هامون کم‌ترین امتیاز را کسب نمود. به عبارت دیگر نتایج نشان می‌دهد که روش جنسن - هیز، بهترین روش دمایی برآورد تبخیر در شرایط فقدان داده‌های اندازه‌گیری تبخیر از تشت می‌باشد. البته لازم به ذکر است که به منظور برآورد تبخیر در مقیاس ماهانه یا فصلی، روش پاپاداکیس برای فصل زمستان و روش تورک برای فصل تابستان روش‌های مناسبی خواهند بود.

۲۵ میلیون مترمکعب) تعیین شد (شکل ۳). بر این اساس، با افزایش رسوب‌گذاری در مخزن سد، حجم ذخیره کاهش و به دنبال آن سطح دریاچه در سناریوهای مختلف حجم ذخیره طی دوره بهره‌برداری افزایش یافته است.

تعیین حجم تبخیر از سطح مخزن توسط روش برتر: بر اساس هیدروگرافی‌هایی که در سال‌های آبی ۱۳۷۵-۱۳۷۶، ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۸۷-۱۳۸۸ انجام شده است، سطح مخزن به‌ازای هر مقدار از حجم ذخیره (۵ سناریو شامل حجم‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و



شکل ۲- مقادیر ارتفاع تبخیر ماهانه از سطح دریاچه سد کارده با استفاده از ۸ روش برآورد تبخیر.

Figure 2. Values of Monthly evaporation from the lake of Kardeh dam using 8 evaporation estimations method.

این‌گونه بیان نمود که با ۵ برابر شدن حجم ذخیره در مخزن (تغییر حجم ذخیره از ۵ به ۲۵ میلیون مترمکعب) و همچنین افزایش رسوب‌گذاری حجم تبخیر از سطح مخزن ۳ برابر افزایش می‌یابد.

از طرف دیگر با استفاده از داده‌های حاصل از ۸ روش برآورد تبخیر، مقادیر حجم تبخیر در ۵ سناریو از حجم ذخیره و برای ۳ سال آبی ذکر شده، تعیین گردید. نتایج در شکل‌های ۷ تا ۹ نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تمامی روش‌ها اعم از بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد، روند افزایشی تبخیر را با تغییر حجم ذخیره در طی سال‌های آبی ذکر شده به سبب افزایش رقوم سطح دریاچه در مخزن سد کارده نشان می‌دهند.

در این راستا با استفاده از مقادیر برآورد شده بر اساس بهترین روش (روش جنسن-هیز) حجم تبخیر ماهانه و سالانه در ۵ سناریوی مختلف از حجم ذخیره تعیین گردید. شکل‌های ۴ تا ۶ مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه حاصل از روش جنسن-هیز را برای ماه‌های اسفند و شهریور و همچنین برای کل سال نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهند که با کاهش حجم مفید مخزن به دلیل پدیده رسوب‌گذاری، سطح دریاچه مخزن (به‌ازای هر میزانی از ذخیره جریان) افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که این افزایش سطح با افزایش حجم ذخیره از ۵ میلیون مترمکعب به ۲۵ میلیون مترمکعب سبب افزایش میزان تبخیر به ۳ برابر حالت اول می‌گردد. به‌عبارت دیگر می‌توان

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی خطا در برآورد ارتفاع تبخیر از سطح دریاچه در اسفندماه و شهریورماه.  
 Table 1. Values of statistical indices to assess error in estimating evaporation of lake in March and September.

تورک Turk	آبتی Abtew		استفن - استوارت Stephens-Stewart		پاپاداکیس Papadakis		هامون Hamon		جنسن - هایس Jensen- Haise		روش برآورد تبخیر Evaporation method	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	داده‌های تست* Pan data
50.12	35.64	87.43	72.11	56.66	41.81	14.11	25.80	31.60	50.09	47.65	33.66	اشفند Mar
27.50	110.1	26.70	114.3	67.8	67.21	125.14	231.06	152.5	258.42	51.19	81.54	شهریور Sep
48.02	31.12	86.36	69.59	53.81	36.90	2.54	-14.34	-28.45	-45.32	44.73	27.81	اشفند Mar
2.86	-101.81	-1.74	-106.44	58.41	-46.20	-122.87	-227.58	-150.53	-255.22	38.77	-65.91	شهریور Sep
0.63	0.44	0.61	0.61	0.66	0.49	0.41	0.76	10.98	17.39	0.44	0.44	اشفند Mar
0.17	0.68	0.73	0.73	0.31	0.31	3.66	6.75	23.54	39.90	0.41	0.41	شهریور Sep
2.53	1.64	3.75	2.44	2.71	1.76	1.08	0.70	0.09	0.05	2.42	1.57	اشفند Mar
1.01	0.61	0.98	0.59	1.37	0.82	0.21	0.13	0.04	0.02	1.22	0.74	شهریور Sep
0.27	0.69	-0.30	0.31	0.18	0.63	0.83	0.79	0.56	0.55	0.32	0.70	اشفند Mar
0.62	0.08	0.62	0.04	0.004	0.46	-1.06	-1.03	-1.53	-1.28	0.30	0.33	شهریور Sep
0.44	0.81	0.01	0.48	0.38	0.77	0.91	0.90	0.82	0.81	0.50	0.83	اشفند Mar
0.81	0.19	0.80	0.12	0.66	0.66	0.00	0	0.00	0	0.73	0.52	شهریور Sep
0.01	0.01	0.00	0.00	0.94	0.94	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	اشفند Mar
0.00	0.00	1.43	1.16	0.70	0.73	0.63	0.65	0.00	0.00	0.70	0.73	شهریور Sep
0.45	0.88	-0.67	0.52	0.29	0.83	0.95	0.93	0.78	0.76	0.50	0.89	اشفند Mar
0.81	0.13	0.82	0.07	-0.11	0.67	-2.80	-2.79	-4.64	-3.74	0.36	0.52	شهریور Sep
0.64	0.64	-53.11	-53.11	0.60	0.60	0.56	0.560	0.50	0.50	0.60	0.60	اشفند Mar
-0.06	-0.06	-250.20	-250.20	-0.21	-0.21	0.02	0.02	-0.17	-0.17	-0.19	-0.19	شهریور Sep

RMSE (mm/mob) RMSE (mm/mob) MBE (mm/mob) GSD (-) R (-) E (-) D (-) R<sup>2</sup> (-) C<sub>ms</sub> (-) r<sub>s</sub> (-)

برآورد تبخیر از داده‌های اندازه‌گیری شده تست بدون اعمال ضریب اصلاحی (K<sub>p</sub> = 1/0) و (K<sub>p</sub> = 0/70) یا (K<sub>p</sub> = 0/75) و (K<sub>p</sub> = 0/70).

جدول ۲- مقادیر امتیازات روش‌های مختلف برآورد تبخیر بر اساس شاخص‌های آماری ارزیابی خطا در اسفندماه و شهریورماه.

Table 2. Values of the different methods of estimating the evaporation rates based on a statistical evaluation of the error indices in March and September.

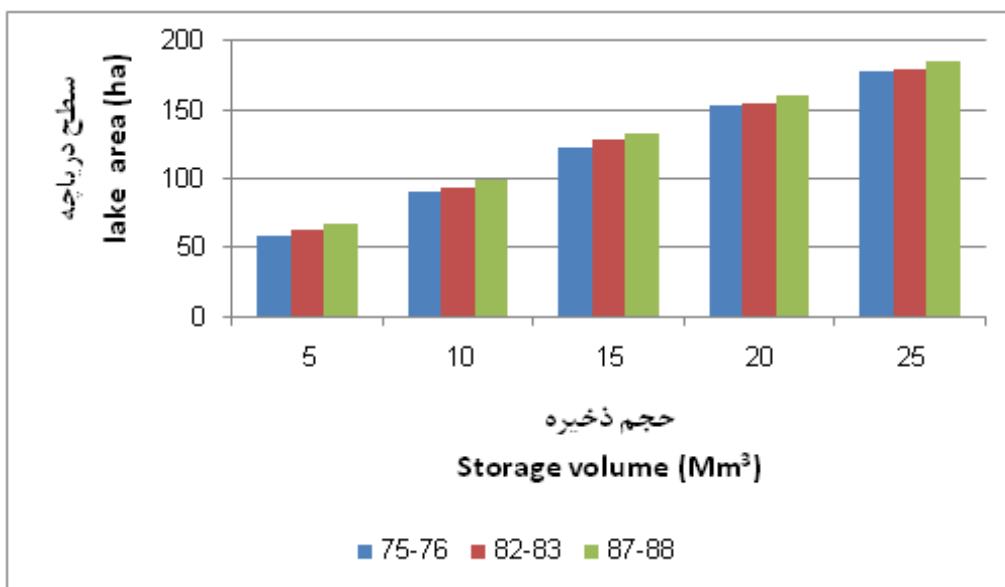
تورک Turk	آبتی Abtey		استفن - استوارت Stephens-Stewart		پاپاداکیس Papadakis		هامون Hamon		جنسن - هایس Jensen- Haise		روش برآورد تبخیر Evaporation method	شاخص خطا Errors Indices
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
4	8	1	2	3	7	12	11	10	5	6	9	RMSE (mm/moh)
11	6	12	5	8	9	4	2	3	1	10	7	
4	8	1	2	3	7	12	11	9	5	6	10	MBE (mm/moh)
11	6	12	5	8	9	4	2	3	1	10	7	
5	9	7	7	4	8	12	3	2	1	11	11	GSD (-)
12	7	6	6	10	11	4	3	2	1	9	9	
3	9	1	4	2	8	12	11	7	6	5	10	R
12	6	11	5	7	10	4	3	2	1	9	8	(+)
3	9	1	4	2	8	12	11	7	6	5	10	E (-)
12	7	11	6	5	10	3	4	1	2	8	9	
3	8	1	4	2	6	12	11	9	7	5	10	D (-)
12	6	11	5	9	8	4	2	3	2	10	7	
4	4	2	2	6	6	12	12	10	10	8	8	R <sup>2</sup> (-)
2	1	5	12	9	11	6	7	6	4	8	10	
3	9	1	5	2	8	12	11	7	6	4	10	C <sub>ms</sub> (+)
11	7	12	6	5	10	3	4	1	2	8	9	
12	12	2	2	8	8	6	6	4	4	10	10	r <sub>s</sub> (-)
10	10	2	2	4	4	12	12	8	8	6	6	
41	76	17	32	32	66	102	87	65	50	60	88	جمع امتیازات
93	56	82	52	65	82	44	39	29	22	78	72	

\*(K<sub>p</sub> = ۰/۶۵) و یا (K<sub>p</sub> = ۰/۶۰) با اعمال ضریب اصلاحی (K<sub>p</sub> = ۱/۰) و (B) برآورد تبخیر از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط بدون اعمال ضریب اصلاحی (A) برآورد تبخیر از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط (A) = #

جدول ۳- مقادیر امتیازات کسب شده هر مدل توسط شاخص‌های خطاسنجی (برای دوره‌های ماهانه، فصلی و سالانه).  
 Table 3. Amount of points gained by each model according to statistical indices (for periods of monthly, seasonally and annual).

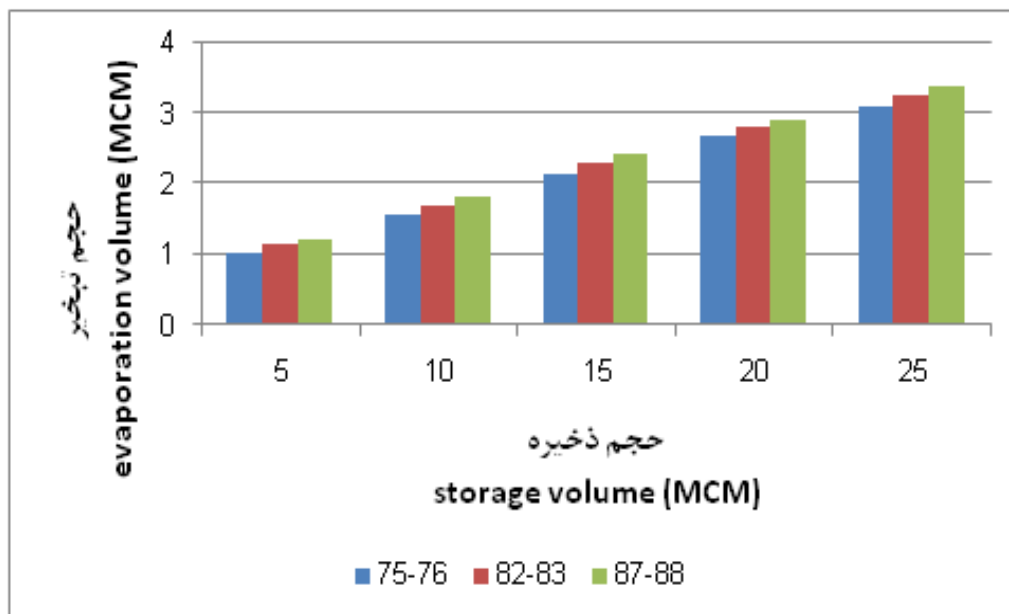
تورک Turk	ابتهی Abtey		استفن - استوارت Stephens-Stewart		پاپاداکیس Papadakis		هامون Hamon		جنسن - هایس Jensen - Haise		روش برآورد تبخیر Evaporation method	زمان Time
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B		
79	73	64	69	42	87	44	31	44	35	61	91	مهر Oct
40	77	23	63	36	80	88	60	52	41	61	95	آبان Nov
38	83	19	35	49	77	82	96	50	40	66	85	آذر Dec
40	58	14	20	37	55	79	91	97	87	62	76	دی Jan
33	58	15	19	48	75	60	92	84	71	64	97	بهمن Feb
41	76	17	32	32	66	102	87	65	50	60	88	اسفند Mar
50	83	31	62	30	75	72	57	58	47	59	94	فروردین Apr
67	80	59	84	41	85	46	33	37	26	64	98	اردیبهشت May
73	60	75	53	46	95	43	36	31	30	71	107	خرداد Jun
89	52	71	41	63	99	38	29	39	37	77	84	تیر Jul
95	57	67	38	86	73	50	40	26	22	98	72	مرداد Aug
93	56	82	52	65	82	44	39	29	22	78	72	شهریور Sep
63.3	74.3	55	66.3	39	85	53.6	42	42	34.3	64.6	99.6	بهار Spring
92.3	55	73.3	43.6	71.3	84.6	44	36	31.3	27	84.3	76	تابستان Summer
52.3	77.6	35.3	55.6	42.3	81.3	71.3	62.3	48.66	38.6	62.6	90.3	پاییز Autumn
38	64	15.33	23.6	39	65.3	80.3	90	82	69.3	62	87	زمستان Winter
61.5	67.75	44.75	47.3	47.9	79.08	62.3	57.5	51	42.3	68.4	88.25	سالانه Annual

\*(A) برآورد تبخیر از داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر بدون اعمال ضریب اصلاحی (K<sub>p</sub> = 1.0) و (B) برآورد تبخیر از داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر با اعمال ضریب اصلاحی (K<sub>p</sub> = 0.765) یا (K<sub>p</sub> = 0.760).



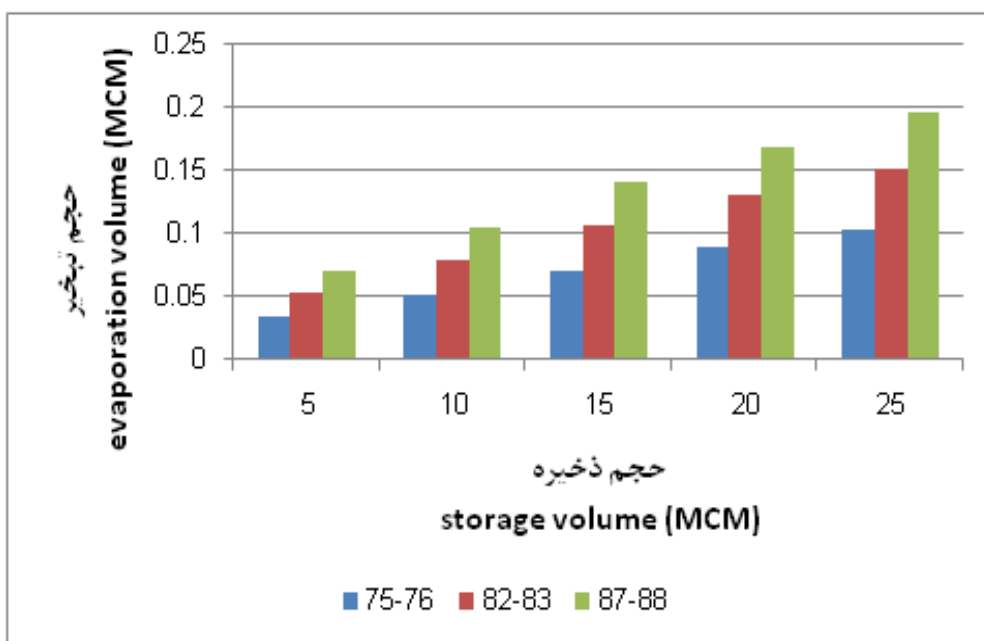
شکل ۳- نمودار ستونی سطح مخزن به مقادیر مختلف از حجم ذخیره جریان در سال‌های مختلف.

Figure 3. Histogram of reservoir area for different amounts of storage volumes through different years.



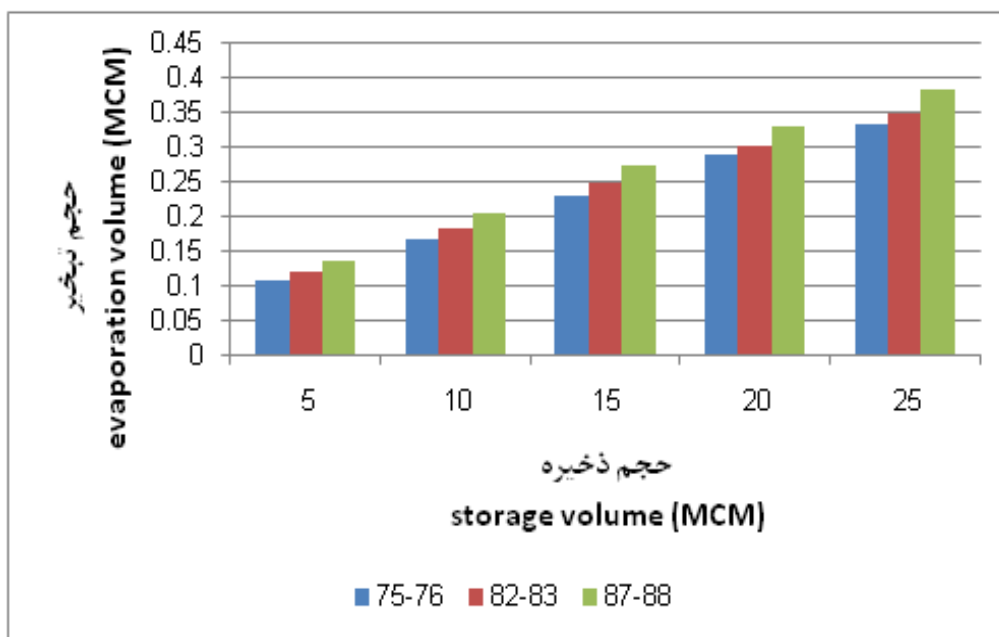
شکل ۴- نمودار ستونی مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه بر اساس روش جنسن-هیز در سناریوهای مختلف حجم ذخیره در سال‌های آبی متفاوت.

Figure 4. Lake evaporation volume histograms based on Jensen-Hayes method in different scenarios of the stored volume for different years.



شکل ۵- نمودار ستونی مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه سد بر اساس روش جنسن-هیز در سناریوهای مختلف حجم ذخیره در اسفندماه طی سال‌های آبی متفاوت.

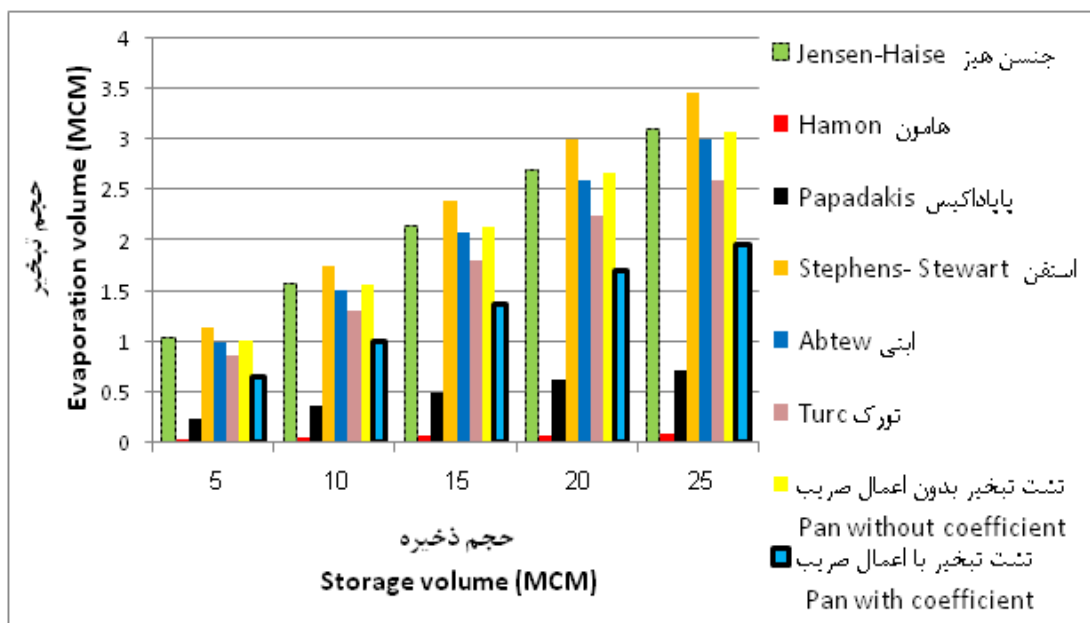
Figure 5. Lake evaporation volume histograms based on Jensen-Hayes method in different scenarios of the stored volume in March for different years.



شکل ۶- نمودار ستونی مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه سد بر اساس روش جنسن-هیز در سناریوهای مختلف حجم ذخیره در شهریورماه طی سال‌های آبی متفاوت.

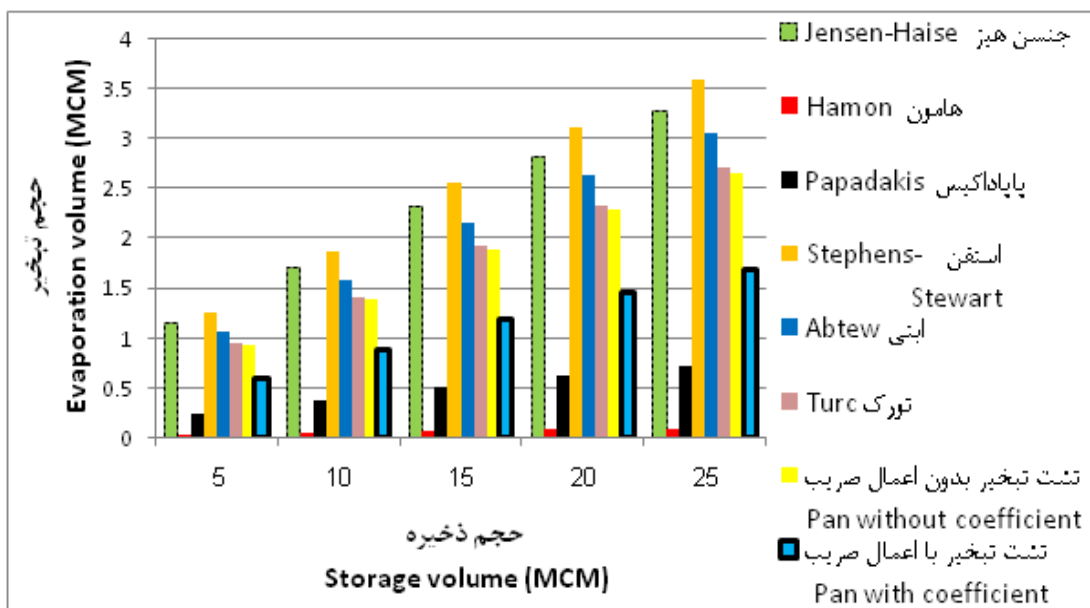
Figure 6. Lake evaporation volume histogram based on Jensen-Hayes method in different scenarios of the stored volume in September for different years.





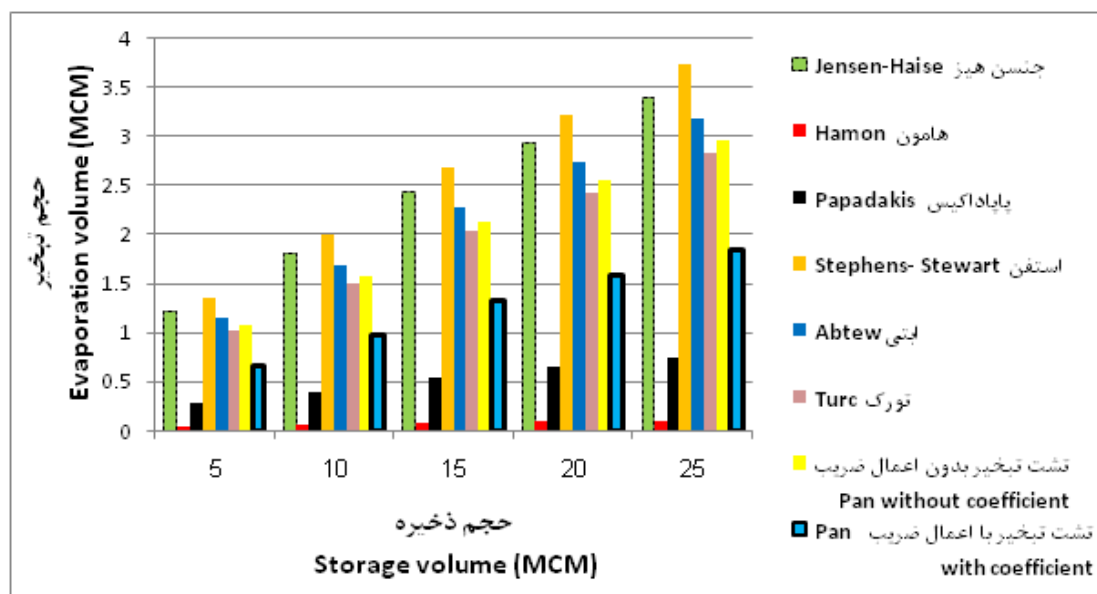
شکل ۷- نمودار ستونی مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف حجم ذخیره در سال آبی ۷۵-۷۶.

Figure 7. Volumes of lake evaporation for various storage volume scenarios in 1996-1997.



شکل ۸- نمودار ستونی مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف حجم ذخیره در سال آبی ۸۲-۸۳.

Figure 8. Volumes of lake evaporation for various storage volume scenarios in 2003-2004.



شکل ۹- نمودار ستونی مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف حجم ذخیره در سال آبی ۸۷-۸۸.

Figure 9. Volumes of lake evaporation for various storage volume scenarios in 2008-2009.

با توجه به امتیازات کسب شده توسط روش‌های مورد بررسی، می‌توان پس از روش جنسن-هیز، روش پاپاداکیس را برای برآورد تبخیر در فصل زمستان و روش تورک را برای برآورد تبخیر در فصل تابستان مناسب ارزیابی نمود.

روش‌های ابتی و تورک که به‌منظور برآورد تبخیر از دریاچه‌های کم‌عمق و تالاب‌ها پیشنهاد شده‌اند، برای دریاچه سد کارده در ماه‌های اردیبهشت الی آبان نتایج نسبتاً مشابهی را دارند، ولی در ماه‌های دیگر نتایج این دو روش تفاوت نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند. در مجموع در عین حال که روش تورک برای برآورد تبخیر از دریاچه‌ها و سطوح کم‌عمق پیشنهاد شده است ولی به‌کارگیری آن در فصل زمستان پیشنهاد نمی‌شود.

نتایج نشان می‌دهد افزایش رسوب‌گذاری در مخزن سد سبب ارتقاء تراز بستر و همچنین تراز آب به رقوم بالاتر در مخزن می‌شود که این موضوع با توجه به هندسه بازبودن مخزن سد کارده، افزایش سطح دریاچه را به دنبال خواهد داشت و در نهایت سبب افزایش میزان تبخیر از مخزن سد می‌شود. بررسی‌ها

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش ابتدا با استفاده از ۶ روش دمایی جنسن-هیز، هامون، استفن-استوارت، پاپاداکیس، ابتی و تورک میزان تبخیر از سطح دریاچه سد کارده در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه برآورد گردید. سپس این مقادیر با مقادیر محاسبه شده بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر روزانه از تشت تبخیر، با استفاده از چندین شاخص ارزیابی خطا مقایسه شدند.

روش جنسن-هیز به دلیل داشتن نزدیک‌ترین داده‌ها به تشت تبخیر و با کسب بیش‌ترین امتیاز از مجموع امتیازات ۹ شاخص ارزیابی خطا در برآورد تبخیر، از بین ۶ روش، به‌عنوان بهترین روش دمایی برآورد تبخیر از سطح مخزن سد کارده در شرایط فقدان داده‌های اندازه‌گیری شده تبخیر از تشت انتخاب گردید.

مقادیر شاخص میانگین انحراف خطا (MBE) نشان می‌دهد که روش هامون در برآورد مقادیر تبخیر، کم‌برآوردترین روش و روش استفن-استوارت بیش‌برآوردترین روش می‌باشد. کم‌برآورد بودن روش هامون با نتایج ژو و سینگ، نیز همخوانی دارد (۵۰).

باعث افزایش تبخیر از سطح دریاچه هم بشود. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های بیش‌تری در این ارتباط در مورد سایر سدها نیز به انجام برسد.

### سیاسگزاری

این پژوهش در راستای انجام طرح پژوهشی و با همکاری و حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به انجام رسیده است. به این وسیله از یکایک همکاران محترم شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و گروه تحقیقات کاربردی این شرکت و همچنین همکاران محترم حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد و مدیریت توسعه و انتقال فناوری این دانشگاه سپاسگزاری می‌نمائیم.

نشان می‌دهد با کاهش حجم مفید ذخیره مخزن ناشی از پدیده رسوب‌گذاری، برای هر میزانی از حجم جریان ذخیره‌شده، سطح آب در مخزن افزایش می‌یابد به طوری که با تغییر حجم ذخیره از ۵ به ۲۵ میلیون مترمکعب، حجم تبخیر از سطح مخزن ۳ برابر افزایش می‌یابد. تمامی روش‌ها اعم از بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد، روند افزایشی تبخیر را با تغییر حجم ذخیره در طی سال‌های آبی ذکر شده به سبب افزایش سطح دریاچه در مخزن سد کرده نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که به مرور زمان بر اثر پدیده رسوب‌گذاری، مقدار تبخیر از سطح مخزن سد افزایش می‌یابد. بر این اساس می‌توان بیان نمود که نه‌تنها رسوب‌گذاری باعث کاهش حجم مفید مخزن می‌شود، بلکه می‌تواند

### منابع

1. Abtew, W. 2001. Evaporation estimation for Lake Okeechobee in South Florida. *J. Irrig. Drain. Engin.* 127: 140-147.
2. Abtew, W., and Melesse, M. 2013. *Evaporation and Evapotranspiration: Measurements and Estimations.* Springer Science Business Media Dordrecht, 202p.
3. Akbari Nodehi, D. 2010. Estimation of evaporation Pan coefficient to calculate evapotranspiration (Case study: synoptic station of Surrey). *J. Res. Agric. Sci.* 7: 65-74.
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).* FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.
5. Arasteh, P.D., Tajrishy, M., Mirlatifi, M., and Saghafian, B. 2005. Statistical model of free water surface evaporation using the volume balance method in Chahnimeh reservoir, Sistan-Iran. *Pajouhesh & Sazandegi.* 68: 2-14. (In Persian)
6. Araujo, J., Guntner, A., and Bronstert, A. 2006. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrol. Sci. J.* 51: 1. 157-170.
7. Babamiri, O., and Dinpashoh, Y. 2015. Comparison and calibration of nine mass transfer-based reference crop evapotranspiration methods at Urmia Lake Basin. *J. Water Soil Cons.* 21: 5. 135-152. (In Persian)
8. Baride, M., and Elyasi, G. 2008. Estimation of the rate of evaporation from the lake across the country with the use of pan evaporation. The third Conference of Iran water resources management, Faculty of civil engineering University of Tabriz, Tabriz.
9. Bhaskar Shirsath, P., and Kumar Singh, A. 2010. A Comparative Study of Daily Pan Evaporation Estimation Using ANN, Regression and Climate Based Models. *Journal of Water Resources Management.* 24: 1571-1581.
10. Chen, D., Gao, G., Xu, C., Guo, J., and Ren, G. 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman-Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. *J. Clim. Res.* 28: 123-132.
11. Dai, X., Shi, H., Li, Y., Ouyang, Z., and Huo, Z. 2009. Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factors. *Hydrological Processes.* 23: 442-450.

12. Dogan, E., Gumrukcuoglu, M., Sandalci, M., and Opan, M. 2010. Modelling of evaporation from the reservoir of Yuvacik dam using adaptive neuro-fuzzy inference systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 23: 961-967.
13. Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrig. and Drain. Paper No. 24*, 2<sup>nd</sup> edition, Food and Agric. Organ. of the United Nations, Rome, Italy, 156p.
14. Dunne, T., and Leopold, L.B. 1978. *Water in Environmental Planning*. Freeman Company, New York, 818p.
15. Environment Agency. 2001. Estimation of open water evaporation. Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD, 144p.
16. Hamon, W.R. 1963. Computation of direct runoff amounts from storm rainfall. *International Association of Scientific Hydrology Publication*. 63: 52-62.
17. Hashemi, S.R. 2003. *Engineering hydrology*, Shoara Publishing, 381p. (In Persian)
18. Hassani, A., Tajrishy, M., and Abrishamchi, A. 2013. Evaporation Study of Saveh Dam Reservoir Using Modified Energy Budget Method. *Sharif Civil Engin. J.* 29: 115-127.
19. Hooshmand, A., Salari-jazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., and Soleimani, S. 2013. Assessment of pan evaporation changes in South Western Iran. *Afric. J. Agric. Res.* 8: 16. 1449-1456.
20. Jamieson, B.G.M., Hodgson, A.N., and Bernard, R.T.F. 1991. Phylogenetic trends and variation in the ultrastructure of the spermatozoa of sympatme species of South African patellid limpets (Archaeogastropoda, Mollusca) *Invertebr. Reprod. Dev.* 20: 137-146.
21. Jensen, M.E. 2010. Estimating evaporation from water surfaces. *Proceedings of the CSU/ARS Evapotranspiration Workshop*, Fort Collins. 1-27.
22. Jensen, M.E., Burman, R.D., and Allen, R.G. 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices. No. 70, Am. Soc. Civil Engrs., New York, 360p.
23. Jensen, M.E., and Haise, H.R. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drain. Engin. Div. ASCE*. 89: 15-41.
24. Kaboosi, K. 2011. Estimation of Evaporation Pan Coefficient Based on Pan Data and Comparison with Empirical Equations, *The National Conference on agricultural meteorology and water management*. College of agriculture and natural resources, University of Tehran, Tehran, Iran.
25. Karbasi, M. 2016. Forecasting of daily reference evapotranspiration at Ahvaz synoptic station using wavelet-GMDH hybrid model. *J. Water Soil Cons.* 23: 4. 323-330. (In Persian)
26. Kargar, A.A., and Sedghi, H. 2009. Introduce and review of the most common methods for prediction of sedimentation in reservoirs (Case study: Sefidrud dam). 14<sup>th</sup> National Civil Engineering Students Conference, 25 August, Semnan University, Semnan, Iran. (In Persian)
27. Khorasan Razavi Regional Water Authority, Department of Conservation and Utilization. 2005. A detailed assessment of stability control of double-arch concrete of Kardeh dam, 120p. (In Persian)
28. Majidi, M., Alizadeh, A., Farid, A., and Vazifedoust, M. 2015. Estimating Evaporation from Lakes and Reservoirs under Limited Data Condition in a Semi-Arid Region. *J. Water Resour. Manage.* 29: 3711-3733.
29. Maroufi, S., Toranjeyan, A., and Zare Abyaneh, H. 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain. *J. Water Soil Cons.* 16: 169-187. (In Persian)
30. Mohammadrezapour, O., Amini Rakan, A., and Karandish, F. 2016. Modeling of monthly potential evapotranspiration using genetic programming in Sistan and Baluchestan province. *J. Water Soil Cons.* 22: 5. 307-313. (In Persian)

31. Mousavi, S.F., and Mohammadzade Habili, G. 2012. Simulation of sediment distribution in Kosar dam reservoir using the Dez dam reservoir sedimentation pattern distribution. *J. Iran Water Res.* 10: 209-213.
32. Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282-290.
33. Osvaldo-Salazara, O., Wesströma, I., and Joela, A. 2008. Evaluation of DRAINMOD using saturated hydraulic conductivity estimated by a pedotransfer function model. *Agricultural Water Management.* 95: 1135-1143.
34. Papadakis, J. 1961. Climatic tables for the world. Published by Author, Buenos Aires. 175p.
35. Reca, J., García-Manzano, A., and Martínez, J. 2015. Optimal pumping scheduling model considering reservoir evaporation. *Agricultural Water Management.* 148: 250-257.
36. Rezaee Pazhand, H. 2001. Application of probability and statistics in water resources. Sokhan Gastar publication, 456p. (In Persian)
37. Saadatkhah, N., Sarang, S.A., Tajrishi, M., and Abrishamchi, A. 2002. Evaluation of Chahnimeh Reservoirs Evaporation. *J. Water Wastewater.* 40: 12-24.
38. Sentelhas, P., Gillespie, T., and Santos, E.A. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management.* 97: 635-644.
39. Shabani, M. 2010. Engineering hydrology. Islamic Azad University of Neyriz Publishing, 510p. (In Persian)
40. Poos, T., and Varju, E. 2017. Dimensionless evaporation rate from free water surface at tubular artificial flow. *Energy Procedia.* 112: 366-373.
41. Singh, V.P., and Xu, C.Y. 1997. Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. *Hydrological Processes.* 11: 311-323.
42. Stan, S., Neculau, G., Zaharia, L., Ioana-Toroimac, G., and Mihalache, S. 2016. Study on the evaporation and evapotranspiration measured on the Căldărușani Lake (Romania). *Environmental Sciences.* 32: 281-289.
43. Statistics and information obtaining of Khorasan Razavi regional water authority.
44. Stauffer, R.E. 1991. Testing lake energy budget models under varying atmospheric stability conditions. *J. Hydro.* 128: 115-135.
45. Stephens, J.C., and Stewart, E.H. 1963. A comparison of procedures for computing evaporation and evapotranspiration. Publication 62, international association of scientific hydrology. International Union of Geodynamics and Geophysics, Berkeley, CA, Pp: 123-133.
46. Trajkovic, S., and Kolakovic, S. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resources Management.* 23: 3057-3067.
47. U.S. Soil Conservation Service. 1970. Irrigation Water Requirements, U.S. Department of Agriculture, Technical Release No. 21.
48. Vahabi Mashhor, M., and Rahimi Khoob, A. 2015. Comparison between neural network and M5 model tree for reconstructing missing evaporation data of Khuzestan. *J. Water Soil Cons.* 22: 4. 187-202. (In Persian)
49. Willmott, C.J., Rykiel, C.M., and Mintz, Y. 1985. Climatology of terrestrial seasonal water circle. *J. Climatol.* 5: 589-606.
50. Xu, C.Y., and Singh, V.P. 2001. Evaluation and Generalization of Radiation-based Methods for Calculating Evaporation. *Hydrology Processes.* 15: 305-319.
51. Yang, C.T. 1996. Sediment Transport: Theory and Practice, Mc-Graw Hill, Inc., New York, 412p.
52. Zuo, H., Chen, B., Wang, S., Guo, Y., Zuo, B., and Wu, L. 2016. Observational study on complementary relationship between pan evaporation and actual evapotranspiration and its variation with pan type. *Agricultural and Forest Meteorology.* 222: 1-9.

Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(2), 2019**<http://jwsc.gau.ac.ir>**DOI: 10.22069/jwsc.2019.12333.2690*

## **Determination of the best temperature based method of evaporation estimation from the Karde reservoir in order to investigate the effect of reducing useful volume of the reservoir on evaporation from the lake surface**

**\*A. Mosaedi<sup>1</sup>, M. Yazdanparast<sup>2</sup>, M.H. Mahmudy-Gharaie<sup>3</sup>,  
S.R. Khodashenas<sup>1</sup> and A. Golkarian<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,

<sup>2</sup>Ph.D. Student, Dept. of Reclamation of arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran,

<sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, <sup>4</sup>Assistant Prof.,

Dept. of Rangeland and Watershed Management, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 12.10.2016; Accepted: 08.16.2017

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Nowadays water scarcity has become one of the most important problems in many communities. Construction of dams and water storage to provide part of the required water and flood control is one of the ways to coexist with problems caused by water scarcity, flood or drought. Evaporation of lakes, reservoirs and ponds surfaces in the optimal utilization of water resources. Evaporation rates from surface waters are usually higher in wet areas, especially in areas where the horizontal flow of heat transfer is significant. On the other hand, the amount of sedimentation in the reservoir of the dam increases over time. One of the problems of sedimentation is changes in the geometry of the reservoir and the increase of the dam lake level for different amounts storage volume. This, in turn, leads to increased evaporation due to an increase in the levels of Lake dam. Therefore, the main objective of this study is to estimate the evaporation from the lake level of the Kardeh dam and to select the most suitable method for estimating evaporation from the lake surface and also to determine the effect of sedimentation on evaporation from the reservoir level.

**Materials and Methods:** In order to estimate the rate of evaporation from the Kardeh reservoir, first by using 6 thermal evaporation method including Jensen-Haise, Hamon, Estefen- Stewart, Papadakis, Abtew and Turc the evaporation rate was estimated in monthly, quarterly and annual scales. Then, these values were compared with data from pan evaporation, using nine indicators evaluate errors. Also, to determine the impact of sedimentation on the evaporation of the lake of this dam, reservoir levels per amount of storage volume (5 scenario includes volumes 5, 10, 15, 20 and 25 million cubic meters) was determined according to the Hydrographs that was conducted in the years 1375-1376, 1382-1383 and 1387-1388.

**Results:** The results show that Jensen-Haise method, is the best thermal method of estimating evaporation in terms of lack of pan evaporation measured data. It should be noted that in order to estimate the evaporation in monthly or seasonally scale, Papadakis method for winter and Turc method for the summer season will be appropriate methods. Also, by reducing profitable volume due to sedimentation, reservoir lake level (per amount of stored stream) increases. So that this increased level by increasing the storage volume from 5 million cubic meters to 25 million cubic meters, evaporation rate increase to three times the first case. In other words, it can be stated that with 5 times the volume stored in the reservoir (storage volume change from

\* Corresponding Author; Email: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)



5 to 25 million cubic meters) and also increase sedimentation the volume of surface evaporation 3 times increases. Studies show that all methods whether overestimated or underestimated, show increasing evaporation rate by changing the storage volume during the mentioned years due to the increase of the level of the lake of Kardeh reservoir.

**Conclusion:** Jensen-Haise due to the closest data with pan evaporation data and earn the most points from the total score of 9 evaluation index error in estimating evaporation, were selected as the best thermal method for estimating evaporation in terms of the lack of pan evaporation measured data in the region among the six studied methods. Hamon estimation of evaporation method is the most underestimated and Etefen-Stewart method is the most overestimated method. Increasing sedimentation in the reservoir improves the water level to higher level in the reservoir, which, in view of the open geometry of the reservoir of Kardeh dam, will lead to an increase in the lake level and ultimately increase the evaporation rate from the reservoir's dam.

**Keywords:** Error evaluation criteria, Evaporation Estimation, Kardeh dam, Sedimentation, Thermal methods

