



تأثیر رسوب گذاری بر تبخیر از دریاچه سد کارده

مریم یزدان پرست، دانشجو کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد
ابوالفضل مساعدی، استاد دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد*
سعید رضا خدائشناس، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
علی گل کاریان، استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
*تلفن نویسنده اصلی: ۰۵۱۳۸۷۶۳۲۳۲۲ پست الکترونیکی: mosaedi@um.ac.ir

چکیده

امروزه کم آبی به یکی از مشکلات اساسی در بسیاری از جوامع بشری تبدیل شده است. از دهه های گذشته با احداث سد و ذخیره جریان های سطحی تا حدودی سعی بر کاهش مشکلات کم آبی شده است. از طرف دیگر رسوب گذاری در مخازن سدها یکی از مشکلات اساسی سدهای مخزنی است. یکی از اثرات رسوب گذاری کاهش تدریجی حجم مفید می باشد. از طرف دیگر رسوب گذاری باعث می شود که مخزن از حالت عمیق به سطحی تبدیل شود. این موضوع می تواند باعث افزایش تبخیر از سطح دریاچه سد شود. پیچیدگی فرایند تبخیر از پیکره های آبی مانند دریاچه ها و مخازن سدها، کمبود اطلاعات کافی و معتبر مورد نیاز و عواملی دیگر، موجب کند شدن پیشرفت های تحقیقاتی و کاربردی در این زمینه نسبت به بعضی دیگر از مولفه های هیدرولوژیکی شده است. در این تحقیق با استفاده از داده های تست تبخیر ابتدا میزان تبخیر از دریاچه سد کارده با توجه به تغییرات سطح دریاچه در سناریوهای مختلف حجم ذخیره برآورد شد. سپس تأثیر رسوب گذاری بر تبخیر از سطح دریاچه سد کارده در مقیاس های ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که در حال حاضر تبخیر از سطح دریاچه در رقوم حجم نرمال نسبت به زمان ساخت سد حدود ۳۰ درصد افزایش یافته است.

کلید واژه ها: رسوب گذاری، کاهش حجم مخزن، افزایش تبخیر، هندسه مخزن، سد کارده

۱- مقدمه

آب یکی از نخستین نیازهای انسان و هر موجود زنده دیگر و مهمترین عامل در پیدایش، شکل گیری و بقاء تمدن ها است. ایران به عنوان کشوری با متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی متر و جمعیتی نزدیک به ۸۰ میلیون نفر به عنوان یکی از کشورهای شناخته می شود که با تنش آبی زیاد می باشد. از این جهت موضوع تامین آب مورد نیاز برای شرب، بهداشت، فعالیت های کشاورزی و تولیدی، حفظ محیط زیست و عوامل مشابه دیگر از اهمیت ویژه ای برخوردار است.



با توجه به مشکل کمبود آب، صدها سد بزرگ در طول چند دهه گذشته در کشور احداث شده است. پس از احداث سد بر روی یک رودخانه، رسوبات حمل شده، در مخزن سد ته‌نشین شده و حجم آن به تدریج کاهش می‌یابد. این امر باعث افزایش میزان تبخیر، باتلاقی شدن اراضی بالادست و کاهش حجم کنترل سیلاب در مخزن می‌شود [1]، [2]. با ورود رسوب و تجمع آن در مخزن سد، ظرفیت ذخیره موثر آب کاهش می‌یابد. این امر به نوبه خود باعث کاهش توان ذخیره آب و از دست رفتن ظرفیت تعدیل طغیان مخزن خواهد شد. اگر رسوب در نزدیکی بدنه سد تجمع یابد، امکان مدفون شدن تخلیه کننده‌های تحتانی و دریچه‌های آبگیر را سبب شده و همچنین بهره‌برداری آنها را با اشکال مواجه می‌سازد. به علاوه رسوبی که به خروجی‌های مربوط به آبگیر می‌رسد، می‌تواند توربین‌ها و حفاظ دریچه‌های تحتانی مخازن را دچار فرسایش و خوردگی کند. همچنین بار وارده به بدنه سد نیز افزایش می‌یابد. تغییرات رسوب مخزن به عواملی چون مقدار رسوبات تولید شده، سرعت انتقال رسوب، نوع رسوب، طریقه نهشت رسوبات، عملکرد مخزن، خصوصیات ژئومتریکی مخزن و جریان متغیر رودخانه بستگی دارد [3]. مجموع حجم ذخیره مخازن سدها در سطح جهان در حدود 7000 میلیارد مترمکعب برآورد می‌شود [4]، که از این مقدار سالانه به طور میانگین بین نیم تا ۱ درصد به علت رسوب‌گذاری از دست می‌رود [5]، [6].

با احداث سدها و ذخیره سازی جریان رودخانه‌ها، بخشی از منابع آب ذخیره شده به دلیل تبخیر از دسترس خارج می‌شود. سالانه میلیاردها مترمکعب آب از تالاب‌ها و دریاچه‌ها و مخازن سدها تبخیر و از دسترس خارج می‌گردد که تعیین مقدار آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اثرات تبخیر چه در مراحل طراحی و ساخت مخازن سطحی تامین آب و چه پس از بهره‌برداری از آن همواره حائز اهمیت می‌باشد. ضمن آن‌که تبخیر به عنوان عاملی در جهت مدیریت کمی و کیفی منابع آب دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. برآورد میزان تبخیر مهم‌ترین قسمت در بسیاری از مسائل هیدرولوژیکی مرتبط با طراحی و اجرای مخازن و سیستم‌های انتقال آب و یا آبیاری می‌باشد. در مناطق خشک تعیین میزان تبخیر به خصوص جهت حفاظت از منابع اندک آب حیاتی است. اندازه‌گیری دقیق میزان تبخیر از سطوح بزرگ آبی از مشکل‌ترین و پیچیده‌ترین مباحث مرتبط با مدیریت کمی و کیفی منابع آب است. [7] و [8].

مقدار تبخیر سالانه از سطح مخازن سدهای کشور بیش از ۲ میلیارد متر مکعب برآورد شده است [9]. از طرف دیگر منابع آب ذخیره شده در پشت مخازن بسیار ارزشمند و استراتژیک قلمداد می‌شوند. 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.

برآورد تبخیر از سطح دریاچه مخازن سدها به سبب دخالت عوامل مختلف تاثیر گذار بر تبخیر از سطح دریاچه سدها فرآیند پیچیده‌ای بوده و در نتیجه روش‌های مختلفی هم در جهت برآورد آن وجود دارد که با توجه به تحقیقات انجام شده برخی از این روش‌ها در شرایط متفاوت اقلیمی و محیطی می‌توانند نسبت به سایر روش‌ها برتری نسبی داشته باشند [10]. باریده و الیاسی (۱۳۸۷) از طریق رسم منحنی‌های هم‌تبخیر در سطح کشور بر روی یک نقشه و انتقال محل سدهای مخزنی به این نقشه، ابتدا میزان تبخیر از 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. 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 متر مکعب) حدود ۶/۲ درصد از آب سدها در هر سال تبخیر می‌گردد [9].



مساعدی و قبائی سوق (۱۳۹۲) تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع را در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک واقع در ۴ ناحیه آب و هوایی ایران با استفاده از ۶ معادله تجربی و ۵ معادله تخمینی، محاسبه نمودند. ایشان با مرجع قرار دادن روش استاندارد FPM^۱ با استفاده از آمار سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ معادله‌های مختلف را واسنجی نمودند. سپس براساس آماره ترکیبی IPE در دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۷ بهترین معادله در هر یک از ایستگاه‌ها را در وضعیت‌های مختلف نبود (فقدان) پارامترهای هواشناسی، تعیین نمودند. ایشان به این نتیجه رسیدند که معادلات PT و HS برای ایستگاه سینوپتیک مشهد مناسب‌ترین معادله برآورد تبخیر و تعرق می‌باشند [11].

دوگان و همکاران^۵ (۲۰۱۰) با استفاده از مدل سیستم استنتاجی عصبی - فازی تطبیقی (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 موثرترین پارامتر بوده و در مجموع این مدل در مدل‌سازی فرآیند تبخیر از سد موفقیت‌آمیز بوده است [12].

آلازرد و همکاران^۷ (۲۰۱۵) به منظور برآورد میزان تبخیر در سد ال‌هوآرب تونس، از سه روش برآورد تبخیر شامل روش‌های: پنمن، دالتون و برب استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که روش پنمن با خطای حدود ۱۵ درصد از دقت خوبی در برآورد تبخیر از سطح دریاچه سد برخوردار می‌باشد. ایشان به این نتیجه رسیدند که متوسط تبخیر سالانه در منطقه مورد نظر در بازه سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶، حدود ۱۶۰۰ میلی‌متر برآورد می‌شود [13].

آراجو و همکاران^۸ (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. همچنین متوسط نرخ رسوب‌گذاری حدود ۴۵۰ تن در کیلومتر مربع در سال است که با تغییر مورفولوژی مخزن به شکل هندسه باز، به نفع تلفات تبخیر است [14].

سد کارده که در ۴۰ کیلومتری شمال شهر مشهد واقع شده است، در سال ۱۳۶۷ به بهره‌برداری رسیده است و در حال حاضر تقریباً تمامی آب ذخیره شده در مخزن این سد به شرب اختصاص داده می‌شود. مشکل کم‌آبی و تامین آب شرب شهر مشهد یکی از بزرگ‌ترین معضلات استان خراسان رضوی است. بخشی از آب ذخیره شده در سد کارده به دلیل تبخیر از دسترس خارج می‌شود که این مشکل با افزایش حجم رسوب‌گذاری در مخزن می‌تواند جدی‌تر شود. بنابراین، برآورد میزان تبخیر از سطح دریاچه این سد و تاثیر رسوب‌گذاری بر آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. به این منظور در این تحقیق با استفاده از داده‌های تشت تبخیر ابتدا میزان تبخیر از دریاچه سد کارده در سناریوهای مختلفی از حجم ذخیره در طی سال‌های متفاوت برآورد خواهد شد. آنگاه تاثیر رسوب‌گذاری بر تبخیر از دریاچه سد کارده در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

1- FAO Penman-Monteith

2- Ideal Point Error

3- Priestley and Taylor

4- Hargreavs-Samani

5- Dogan et al

6- Adaptive neuro-fuzzy inference system

7- Alazard et al

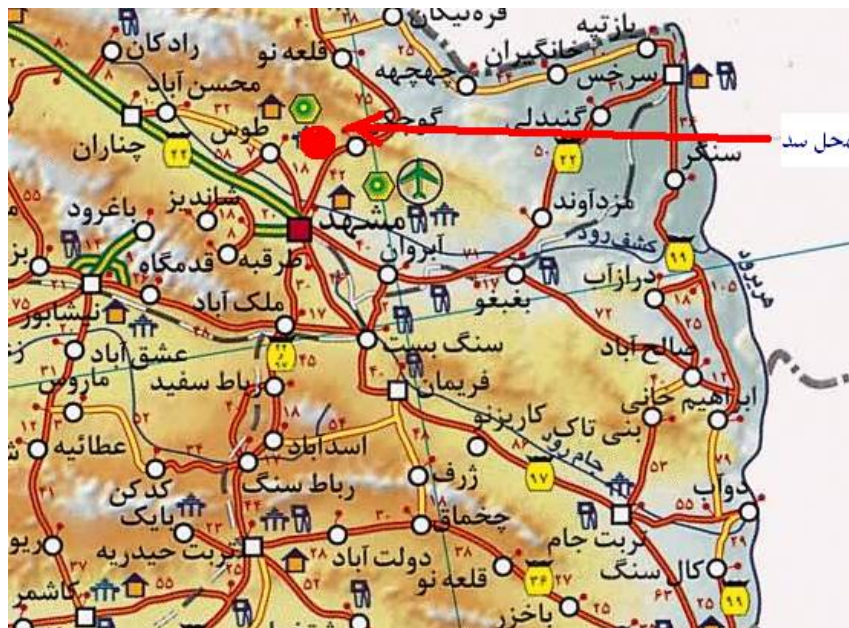
8- Araujo et al



۲- مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

سد کارده در ۴۵ کیلومتری شمال شهر مشهد بر روی رودخانه کارده احداث شده است که عملیات اجرایی آن در سال ۱۳۶۶ به اتمام رسیده است. مختصات جغرافیایی محل سد شامل طول شرقی ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه و ۵۳/۳۸ ثانیه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲۴/۳۸ ثانیه و ارتفاع ۱۲۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. سد از نوع بتنی دو قوسی متقارن می‌باشد. ارتفاع سد از پی ۶۷ متر و از کف ۵۰ متر می‌باشد، طول تاج آن ۱۴۴ متر و عرض آن در تاج سد ۳/۲ متر است. این سد دارای سرریز نیلوفری با قدرت تخلیه ۷۰۰ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. در زمان ساخت، حجم مخزن این سد تا رقم نرمال حدود ۲۸/۱ میلیون متر مکعب، حجم مفید آن ۲۶/۸۲ میلیون متر مکعب، حجم مرده سد ۱ میلیون متر مکعب، سطح دریاچه در رقم نرمال ۱۹۰/۷۶ هکتار و آب قابل تنظیم سالانه ۲۲ میلیون متر مکعب بوده است. به دلیل رسوب گذاری حجم مخزن سد به تدریج کاهش یافته است. بر اساس نقشه‌های هیدروگرافی حجم مخزن تا رقم سرریز در سال ۱۳۸۷ به حدود ۲۶/۰۲ میلیون متر مکعب کاهش یافته است [15]. هدف از احداث این سد تامین قسمتی از نیازهای آبی شهر مشهد و تامین آب کشاورزی محدود اراضی پایاب سد بوده است. 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 موقعیت سد کارده را شمال شرق کشور نشان می‌دهد [15]. در شکل ۲ نیز نمایی از مخزن و سد کارده نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت سد کارده در شمال شرقی کشور



شکل ۲- نمایی از دریاچه و سد کارده

داده‌های مورد نیاز

مقادیر روزانه دما و مقادیر روزانه تبخیر از تشت در محل ایستگاه تبخیرسنجی سد کارده از سال آبی ۱۳۶۷-۱۳۶۶ تا پایان سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ شد. همچنین از زمان احداث این سد تا کنون ۴ مرتبه عملیات نقشه‌برداری و یا هیدروگرافی به منظور تعیین حجم مخزن طی سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۵، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ به انجام رسیده است که منحنی‌های سطح-حجم-ارتفاع دریاچه سد طی این ۴ دوره از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی اخذ شد [16].

۳- نتایج و بحث

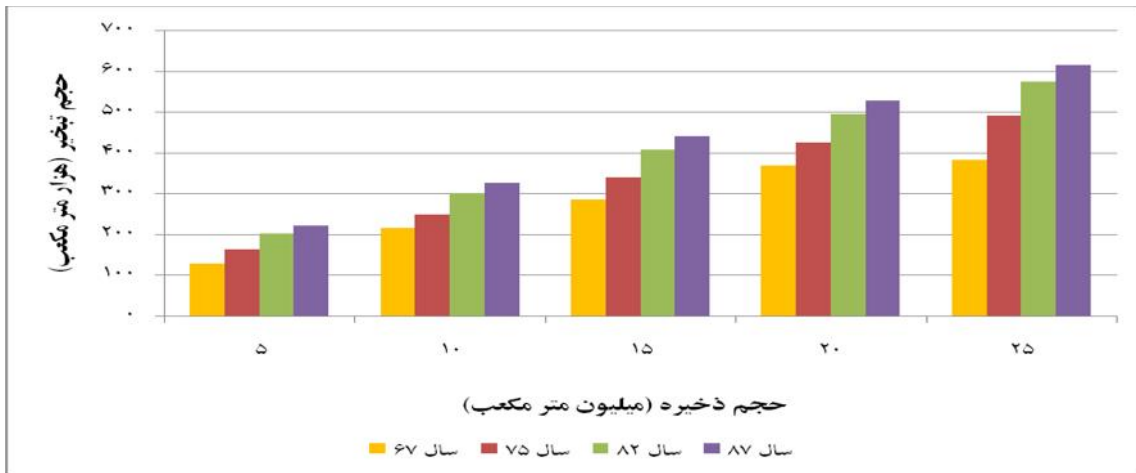
-تعیین حجم تبخیر در سناریوهای مختلف حجم ذخیره

با استفاده از مقادیر روزانه تبخیر، مقادیر ماهانه تبخیر برای تمام دوره محاسبه شد. سپس با استفاده از داده‌های نقشه‌برداری مخزن در سال ۱۳۶۷ و همچنین داده‌های هیدروگرافی‌های انجام گرفته در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ و با در نظر گرفتن ۵ سناریو از حجم آب ذخیره شده (شامل ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلیون متر مکعب)، سطح مخزن در هر یک از سناریوهای حجم ذخیره، با استفاده از داده‌های هیدروگرافی انجام گرفته در ۴ سال ذکر شده، تعیین شد. هیستوگرام مقادیر سطح دریاچه به ازاء مقادیر متفاوت حجم ذخیره در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۵، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷ در شکل ۳ نشان داده شده است.

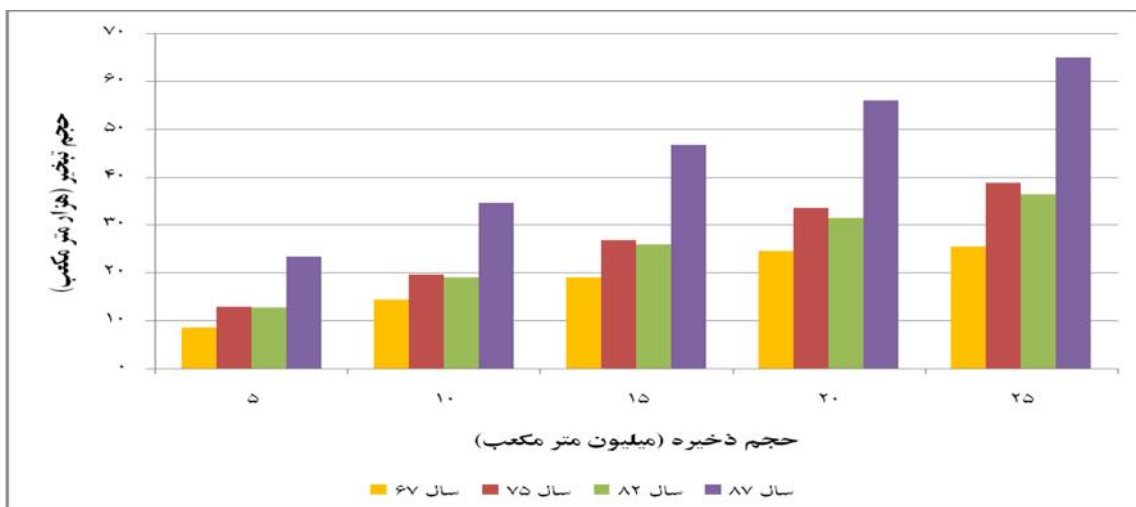
با استفاده از مقادیر ارتفاع تبخیر و سطح دریاچه در هر سناریو، حجم تبخیر در هر یک از ماه‌ها در طول دوره آماری برآورد شد. به عنوان مثال در شکل ۴ مقادیر تبخیر از سطح دریاچه در طول ماه شهریور بر اساس سناریوهای مختلف حجم ذخیره نشان داده شده است. بر همین اساس مقادیر تبخیر فصلی و سالانه در طی هر یک از ۴ سال مورد بررسی نیز برآورد شد که نتایج آن در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.



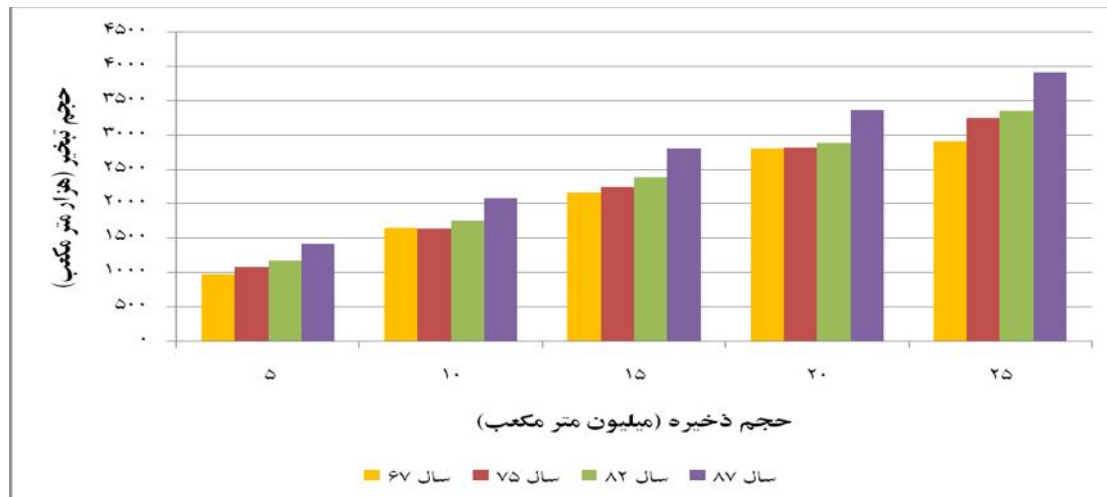
شکل ۳- هیستوگرام مقادیر سطح دریاچه در سناریوهای مختلف حجم آب ذخیره شده



شکل ۴- هیستوگرام مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف ذخیره در شهریور ماه

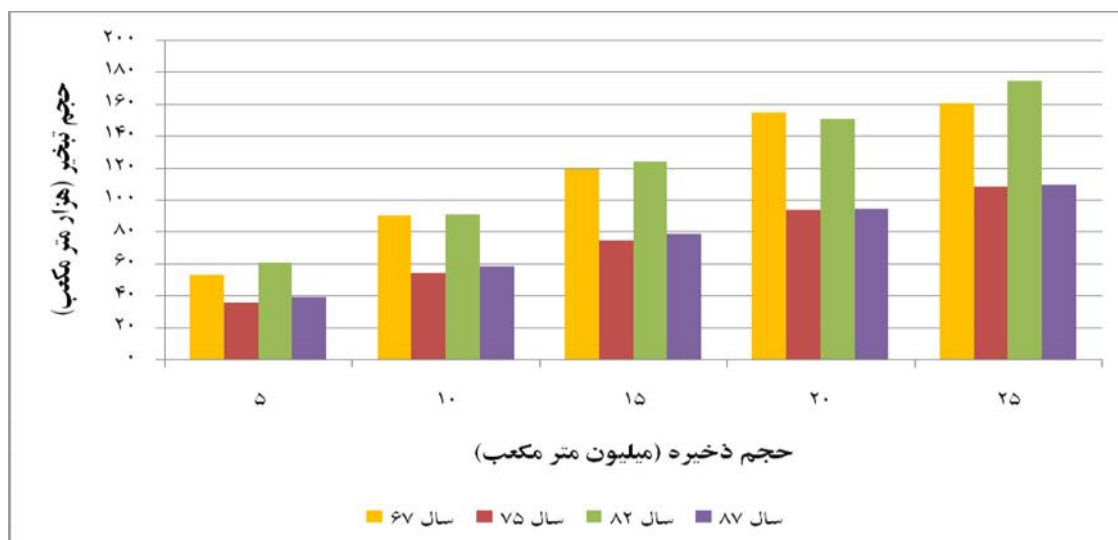


شکل ۵- هیستوگرام مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف ذخیره در فصل زمستان

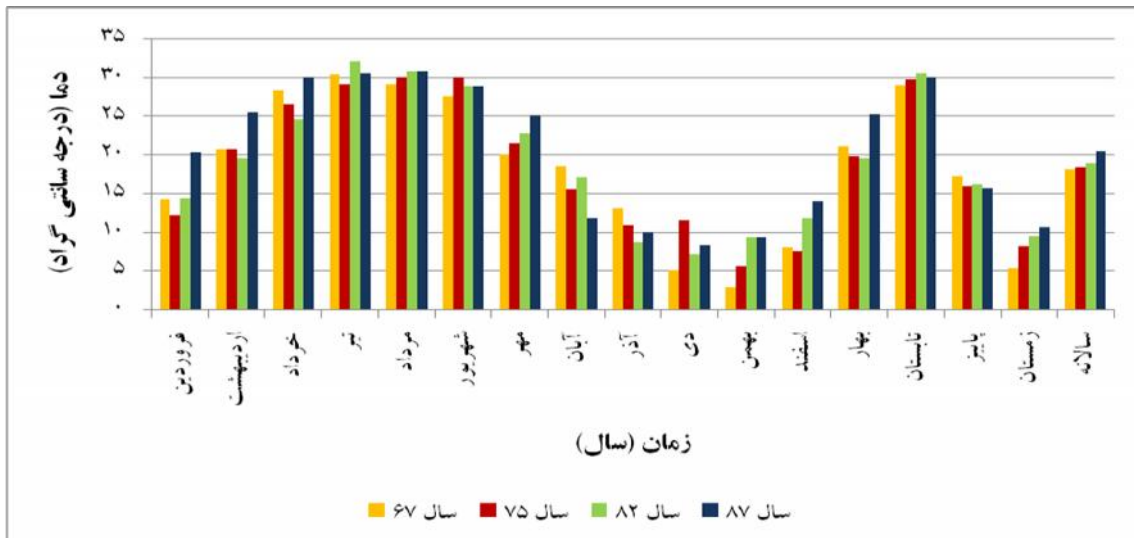


شکل ۶- هیستوگرام مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف ذخیره در طول یک سال

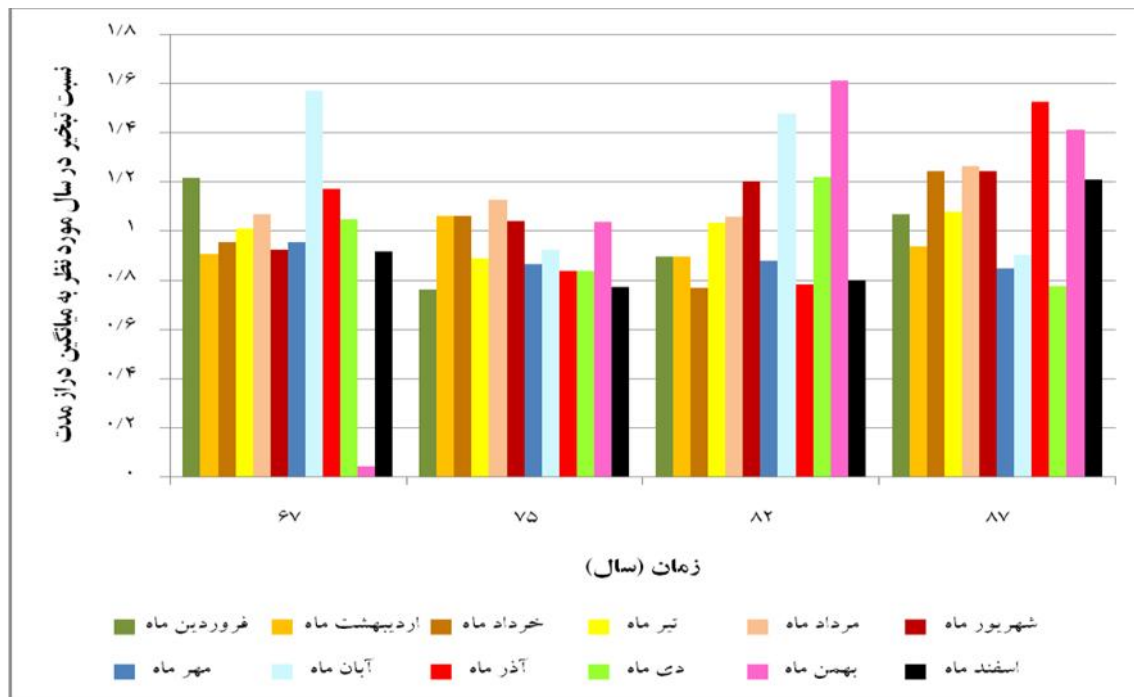
همانطور که در شکل‌های ۴ تا ۶ مشاهده می‌شود، تاثیر افزایش حجم تبخیر در اثر افزایش سطح ناشی از پدیده رسوب‌گذاری در مخزن سد کارده در مقیاس‌های ماهانه (شهریور ماه)، فصلی (زمستان) و سالانه به روشنی مشهود است. اما در برخی از ماه‌ها به طور مثال آبان‌ماه، افزایش تبخیر با مقداری اختلاف نسبت به سایر ماه‌ها همراه می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، حجم تبخیر در آبان‌ماه سال ۱۳۶۷ و ۱۳۸۲ بیشتر از مقادیر حجم تبخیر در آبان‌ماه سال ۱۳۸۷ می‌باشد. که با بررسی هیستوگرام تغییرات دما در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه قابل توجیه است. با توجه به هیستوگرام مقادیر متوسط دما (شکل ۸) مشاهده می‌شود که متوسط دمای هوا در ماه آبان سال‌های ۶۷ و ۸۲ بسیار بیشتر از آبان ۱۳۸۷ بوده است. این عامل باعث شده است که میزان تبخیر از سطح دریاچه در آبان‌ماه ۱۳۸۷ کمتر از آبان‌ماه در سال‌های ۱۳۶۷ و ۱۳۸۲ باشد. به عبارت دیگر تاثیر بالا بودن دما بیشتر از افزایش سطح تبخیر (در سال ۸۷ در مقایسه با سال‌های ۶۷ و ۸۲) می‌باشد. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که ارتفاع تبخیر از سطح در آبان‌ماه سال‌های ۶۷ و ۸۲ نسبت به میانگین دراز مدت آن حدود ۱/۵ برابر بیشتر است.



شکل ۷- هیستوگرام مقادیر حجم تبخیر از سطح دریاچه در سناریوهای مختلف ذخیره در آبان‌ماه



شکل ۸- هیستوگرام مقادیر متوسط دمای ماهانه، فصلی و سالانه در سال‌های مورد بررسی



شکل ۹- نسبت تبخیر ماهانه در سال‌های مورد بررسی به میانگین دراز مدت تبخیر ماهانه

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق تاثیر پدیده رسوب گذاری بر تبخیر از دریاچه سد کارده مورد بررسی قرار گرفته است که با توجه به بررسی‌های انجام شده در این مطالعه نتایج زیر حاصل می‌شود.

رسوب گذاری در مخزن سد کارده باعث شده است که به تدریج هندسه مخزن به سمت یک مخزن نسبتا وسیع و کم عمق تمایل داشته باشد.

تغییرات میزان تبخیر از سطح مخزن تابع دو عامل اساسی سطح دریاچه و میزان دما می‌باشد و با توجه به اینکه به دلیل رسوب گذاری به تدریج سطح دریاچه افزایش می‌یابد می‌توان انتظار داشت که به تدریج حجم تبخیر از دریاچه هم افزایش یابد.



- افزایش دما تاثیر بیشتری نسبت به افزایش سطح دریاچه، بر میزان حجم تبخیر از مخزن دارد. به عبارت دیگر در بعضی از سالها در حالی که سطح دریاچه بیشتر بوده است ولی به دلیل اینکه هوا خنک تر بوده است، تبخیر کمتری صورت گرفته است.

- رسوبگذاری در مخزن سد کارده باعث شده است که تبخیر از سطح مخزن در رقوم نرمال آن، حدود ۳۰ درصد نسبت به سال شروع بهره برداری از آن افزایش یابد.

- تحقیقات بیشتری در رابطه با تاثیر رسوبگذاری بر تبخیر از سطح دریاچهها مورد نیاز می باشد.

۵- مراجع

- [1] Yang, C.T. (1996). Sediment Transport: Theory and Practice, Mc-Graw Hill, Inc., New York, 412 P.
- [۲] موسوی، س. ف. و محمدزاده هایلی، ج. (۱۳۹۱). "شبیه سازی توزیع رسوب در مخزن سد کوثر با استفاده از الگوی توزیع رسوب مخزن سد دز"، مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱۰، ص ۲۱۳ - ۲۰۹.
- [3] Frenette, M. and Julien, P.Y. (1996). Physical processes governing reservoir sedimentation processes. International conference on reservoir sedimentation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. Vol. 1. 121-142 .
- [4] Jacobsen, T. (2009). Some aspects of reservoir sedimentation. Workshop on Reservoir Sedimentation Control. Regional Centre on Urban Flood Management. Karaj, Iran.
- [5] Atkinson, E. (1995). A numerical model for predicting sediment exclusion at intakes, HR Wallingford, 56 p.
- [6] Palmieri, A. F. Shah, G., Annandale, W. and A. Dinar. (2003). Erosion and sedimentation by high-energy density turbidity flows on steep slopes. The Journal for Erosion and Sediment Control Professionals, 13: 102-116.
- [۷] شعبانی، م. (۱۳۸۹). هیدرولوژی مهندسی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیریز، ۵۱۰ ص.
- [۸] هاشمی، س. ر. (۱۳۸۲). هیدرولوژی مهندسی (ترجمه)، انتشارات شعرا، ۳۸۱ ص.
- [۹] باریده، م. و الیاسی، غ. (۱۳۸۷). "برآورد میزان تبخیر از دریاچه سدهای کشور با استفاده از طشت تبخیر"، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز، تبریز، ۲۳ تا ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷.
- [۱۰] مجیدی، م. و علیزاده، ا. و وظیفه دوست، م. و فریدحسینی، ع. (۱۳۹۴). "تبخیر از دریاچهها و مخازن سدها: تحلیل حساسیت و رتبه بندی روش های موجود"، نشریه آب و خاک، شماره ۲، ص ۳۷۳ - ۳۵۰.
- [۱۱] مساعدی، ا. و قبائی سوق، م. (۱۳۹۲). "ارزیابی معادله های مختلف تجربی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شرایط مختلف نبود پارامترهای هواشناسی اندازه گیری شده در چند ناحیه آب و هوایی ایران"، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، شماره ۳، جلد ۲۰، ص ۲۷.
- [12] Dogan, E. Gumrukcuoglu, M. Sandalci, M. and V, 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] Alazard, M. Leduc, C. Travi, Y. Boulet , 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.
- [14] Araujo, J. Guntner, A. and Bronstert, A. 2006. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil, Hydrological Sciences Journal. 51(1), 157-170.
- [۱۵] شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی. (۱۳۸۷). "گزارش فنی عملیات هیدروگرافی، نقشه برداری و رسوب سنجی سد کارده".
- [۱۶] آمار و اطلاعات اخذ شده از سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی.