



بیان انرژی و ساختار حرارتی مخزن سد ساوه (الغدیر): دریاچه ای واقع در منطقه مرکزی و خشک ایران

امین حسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران،
دانشگاه صنعتی شریف.

مسعود تجریشی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

احمد ابریشم چی، استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۱۱۲۷۵۹۶۱۵، پست الکترونیکی: a.hasani@civil.sharif.edu

چکیده

دانستن میزان تبخیر صورت گرفته از سطوح آزاد آبی نظیر کانال ها، مخازن و دریاچه ها برای مدیریت صحیح و دقیق منابع و بیان آبی ضروری می باشد. اگر چه، تخمین تجربی میزان تبخیر از سطوح آزاد آبی دشوار است؛ چندین مدل و روش در گذشته به این منظور پیشنهاد شده و مورد استفاده قرار گرفته است. در هر صورت، تاکنون مطالعات تبخیر کمی برای دریاچه ها و مخازن کوچک در مناطق خشک کشور انجام گرفته است. در این مطالعه تبخیر ماهانه توسط روش بیان انرژی برای دریاچه الغدیر (سد ساوه) بین سال های ۱۳۸۶-۱۳۷۴ محاسبه گردیده است. میزان تبخیر محاسبه شده از میزان حداکثر ۱۷۴ سانتیمتر در سال ۱۳۸۴ تا مقدار حداقل ۱۵۱ سانتیمتر در سال ۱۳۷۶ نوسان نشان می دهد. الگوی مقادیر ماهانه تبخیر از سالی به سال دیگر متفاوت می باشد، ولی می توان گفت که الگوی مورد انتظار به طور میانگین مقادیر اندک تبخیر در ماههای دی و بهمن و به دنبال آن افزایش تا ماههای خرداد و تیر و نهایتاً مقدار حداکثر تبخیر در ماه مرداد می باشد. بررسیهای ساختار حرارتی دریاچه نشان داد که، شارهای انرژی ورودی و خروجی به این حجم آبی نوسانات زیادی از نظر مقدار و شدت دارا هستند. همچنین، تشعشع خورشیدی ورودی، تشعشع اتمسفریک ورودی، و تشعشع طول موج بلند گسیل شده از آب دریاچه با مقادیری در حدود چند صد وات بر متر مربع بزرگترین مقادیر شار انرژی برای این دریاچه کوچک و عمیق می باشند. نتایج حاصل از این تحقیق می تواند اهمیت و سهم قابل انکار میزان تبخیر را به عنوان یک پارامتر اساسی در چرخه هیدرولوژی اکوسیستمهای آبی از این دست نمایان سازد.

کلید واژه ها: تبخیر، سطوح آزاد آبی، سد ساوه، روش بیان انرژی، ساختار حرارتی.

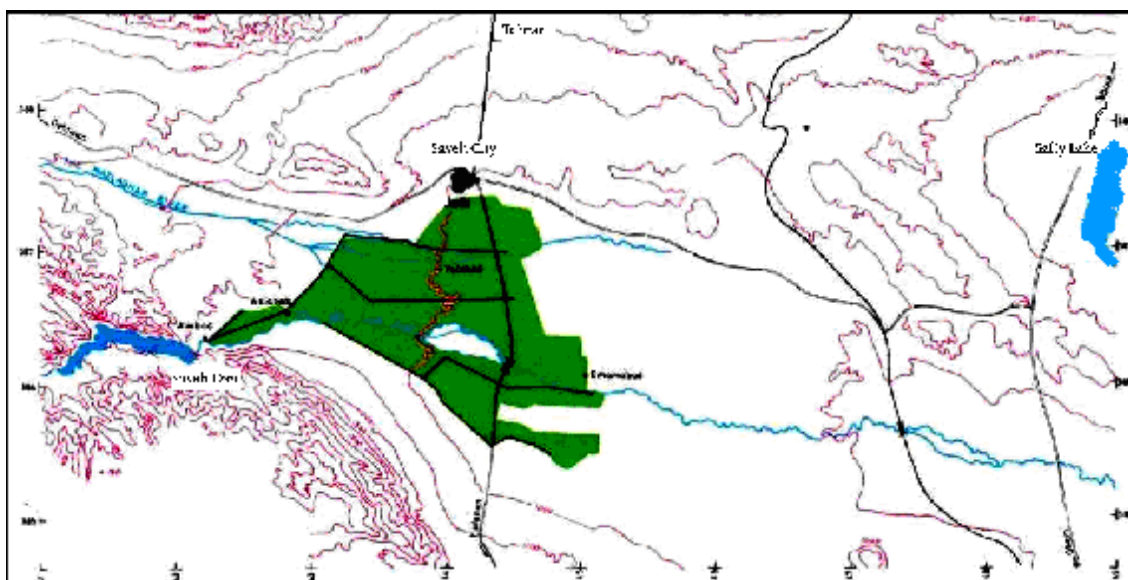
۱- مقدمه

تلفات آب ناشی از تبخیر معمولاً یکی از بزرگترین مؤلفه های بیان آبی دریاچه ها می باشد [1]. با وجود اهمیت بسیار زیاد، تبخیر به ندرت با استفاده از یکی از روشهای دقیق مورد تخمین قرار گرفته است، که علت اصلی این مطلب را می توان در سرمایه گذاری مورد توجه برای تهیه دستگاهها و نیروی کاری متخصص این امر جستجو نمود. به عنوان مثال، تعیین تبخیر با استفاده از روش بیان انرژی به عنوان یکی از دقیق ترین روشها به منظور پایش طولانی مدت و پیوسته میزان

تبخیر می باشد [2,3]. معمولاً، با توجه به مسائل اقتصادی ذکر شده، این قبیل مطالعات در اکثر کشورها به صورت گسترده توسط سازمانهای دولتی مسئول مدیریت مخازن آبی صورت می گیرد. با توجه به بهبود و پیشرفت در زمینه دستگاهها و حس گرهای اندازه گیری دقیق در سالهای اخیر در بسیاری از نقاط دنیا تحقیقات گسترده و طولانی مدتی به منظور درک بیلان انرژی منابع آبی تدارک دیده شده است. برای مثال، با وجود این پیشرفت ها می توان به طور دقیق و مورد اطمینان تری به محاسبه میزان نسبت باون، که تغییرات سریع گرادیان درجه حرارت و فشار بخار بر روی سطح آب به شدت آن را متأثر می سازد، اقدام نمود. معمولاً، می توان با انجام مقایسه میان روش های تجربی مختلف با نتایج یک روش استاندارد دقیق عدم قطعیت های مربوط را ارزیابی و حذف نمود. بنابراین، درک و توسعه روشهای دقیق تر، مانند بیلان انرژی، برای دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی و موقعیت های جغرافیایی مطلوب به نظر می رسد.

شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی

دریاچه سد ساوه در دره و فرقان، در حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر تهران و ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهر ساوه، بر روی رودخانه قره چای ایجاد شده است (شکل ۱). دریاچه در رقوم پر حدود ۹ کیلومتر مربع مساحت و در رقوم بستر ۱۰۸۰ متر از سطح آبهای آزاد ارتفاع دارد. دریاچه یک جریان ورودی از رودخانه قره چای داشته و ساختمان سد همواره سطح آب را در رقوم پایدار و بالا برای استفاده از آب ذخیره شده به منظور کشاورزی و تولید برق نگه می دارد و در مواقع سیلابی عهده دار جلوگیری از آسیب به پائین دست و کنترل سیلاب می باشد. میانگین بارندگی منطقه بین سالهای ۱۳۸۶-۱۳۷۴ برابر ۲۳۰ میلیمتر و درجه حرارت ماهانه میانگین آن بین ۴.۹ درجه سانتیگراد در دی ماه و ۳۰ درجه سانتیگراد در ماه مرداد می باشد.



شکل ۱- موقعیت و اراضی تحت ایباری توسط سد ساوه.

۲- مواد و روشها

به طور کلی، بیلان انرژی یک حجم آبی، که انتقال انرژی خالص ورودی و خروجی را به تغییرات ذخیره انرژی مرتبط می سازد، به صورت زیر بیان می گردد:

$$Q_s \quad Q_r \quad Q_a \quad Q_{ar} \quad Q_{bs} \quad Q_v \quad Q_e \quad Q_h \quad Q_w \quad Q_b \quad Q_x \quad (1)$$

در این معادله Q_s تشعشع موج کوتاه ورودی، Q_r تشعشع موج کوتاه بازگشتی، Q_a تشعشع موج بلند ورودی، Q_{ar} تشعشع موج بلند بازگشتی، Q_{bs} تشعشع موج بلند گسیل شده از حجم آب، Q_v انرژی خالص همرفت یافته به حجم آب، Q_e انرژی استفاده شده برای فرایند تبخیر، Q_h انرژی گسیل شده از آب به صورت گرمای ظاهری، Q_w انرژی همرفت یافته از حجم آبی توسط آب تبخیر شده، Q_b حرارت منتقل شده از رسوبات بستر دریاچه به آب، Q_x تغییر در محتوای انرژی حجم آبی می باشند که همگی بر حسب وات بر متر مربع ($w m^{-2}$) بیان می گردند. از این میان سه پارامتر Q_e ، Q_h ، Q_w به صورت مستقیم محاسبه نمی شوند و می توان آنها را با استفاده از روابط زیر و به عنوان تابعی از میزان تبخیر تعیین نمود:

$$Q_e = E_{cb} L \quad (2)$$

$$Q_h = R Q_e \quad (3)$$

$$Q_w = c \cdot E_{cb} (T_e - T_b) \quad (4)$$

که چگالی آب تبخیر شده بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، E_{cb} میزان تبخیر حاصل از روش بیلان انرژی بر حسب سانتیمتر در روز، L گرمای نهان تبخیر آب بر حسب ژول بر کیلوگرم، R نسبت باون و بدون بعد، c گرمای مخصوص آب بر حسب $J \text{ Kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$ ، T_e درجه حرارت آب تبخیر شده که برابر با درجه حرارت سطح آب (T_0) فرض می شود بر حسب درجه سلسیوس، و T_b درجه حرارت پایه اختیاری که اغلب برابر با 0°C فرض می گردد. به این ترتیب، برای محاسبه میزان تبخیر با استفاده از روش بیلان انرژی برای یک بازه زمانی معین معادله (۱) به صورت زیر در می آید:

$$E_{cb} = \frac{Q_s - Q_r - Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} - Q_v - Q_b - Q_x}{L(1 - R) - T_0} \quad (5)$$

مؤلفه های بیلان انرژی

مقدار تشعشع خورشیدی ورودی (Q_s) را می توان با استفاده از ساعات روشنایی روز در منطقه و توسط فرمول آنگستروم به صورت زیر تعیین نمود [4]:

$$Q_s = \left(a - b \frac{n}{N} \right) Q_0 \quad (6)$$

که در آن n/N نسبت ساعات روشنایی روز واقعی به تئوری، Q_0 تشعشع خورشیدی بخش خارجی جو ($w m^{-2}$)، و a و b ضرایبی وابسته به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه می باشند. بر اساس مطالعات انجام گرفته برای منطقه دشت ساوه $a = 0.28$ و $b = 0.4$ در نظر گرفته می شود. مقادیر واقعی ساعات روشنایی روز (n) به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی حاصل می گردد و برای محاسبه مقادیر N و Q_0 از معادلات زنجیره ای که از موقعیت جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی مخزن سد الغدیر به ترتیب 50.31° و 35.10° می باشد) و روز مشخص سال استفاده می نمایند بهره گرفته شده است [5].

تشفشع موج کوتاه بازگشتی از سطح آب (Q_r) به صورت زیر حاصل می گردد:

$$Q_r = a_s Q_s \quad (7)$$

که a_s قابلیت انعکاس تشعشع موج کوتاه آب و معمولاً برابر با 0.07 فرض می گردد. تشعشع اتمسفریک ورودی (Q_a) توسط معادله زیر به دست می آید:

$$Q_a = a (T_a - 273)^4 \quad (8)$$

که ثابت استفان-بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)، قابلیت انتشار جو، و T_a درجه حرارت هوا بر حسب درجه کلون می باشند. معادلات فراوانی برای محاسبه مقدار a موجود است که معمولاً همگی بر اساس فشار بخار، درجه حرارت هوا و میزان ابرینگی می باشند. در این تحقیق از اطلاعات گرافی فرموله شده به صورت زیر استفاده گردیده است [6,7]:

$$a = 0.87 \frac{n}{N} (0.175 + 29.92 \cdot 10^{-4} e_d) + 2.693 \cdot 10^{-3} e_d \quad n/N = 0.4 \quad \text{برای} \quad (9)$$

$$a = 0.84 \frac{n}{N} (0.1 + 9.973 \cdot 10^{-4} e_d) + 3.491 \cdot 10^{-3} e_d \quad n/N = 0.4 \quad \text{برای} \quad (10)$$

معادلات بالا اثرات فشار بخار و مقدار ابرینگی را با یکدیگر ترکیب نموده و برای شرایط هوای ابری و غیر ابری نتایج مناسبی به دست می دهد [7].

تشعشع موج بلندی بازگشتی از سطح آب (Q_{ar}) به صورت زیر حاصل می گردد:

$$Q_{ar} = a_a Q_a \quad (11)$$

که a_a قابلیت انعکاس تشعشع موج بلند سطح آب بوده و معمولاً برابر با 0.03 فرض می گردد [8]. تشعشع موج بلند گسیل شده از حجم آب (Q_{bs}) از همان فرمول استفاده شده برای محاسبه مقدار Q_a تبعیت می کند، با این تفاوت که در اینجا درجه حرارت هوا با درجه حرارت سطح آب (T_0) جایگزین می گردد و قابلیت انتشار در عدد $b = 0.97$ ثابت می گردد [9].

برای محاسبه مقدار انرژی ذخیره شده در حجم آبی (Q_x) می توان به صورت زیر عمل نمود:

$$Q_x = \frac{c}{a_s} \int_z^{\bar{a}_s} \left(-\frac{T(z)}{t} \right) a(z) \cdot z \quad (12)$$

که \bar{a}_s مساحت متوسط سطح دریاچه در بازه زمانی مورد نظر، $T(z) = T_{t-7}(z) = T_{t-7}(z)$ برای تغییرات درجه حرارت میانگین دریاچه در عمق z ، t بازه زمانی بر حسب ثانیه، $a(z)$ مساحت دریاچه در عمق z ، و Z ضخامت هر لایه می باشد.

مقادیر مربوط به Q_b و Q_v اغلب بسیار کوچک بوده و معمولاً در مطالعات بیلان انرژی با دقت مناسب در نظر گرفته نمی شوند.

برای تعیین مقدار گرمای نهان تبخیر (L) بر حسب ژول بر کیلوگرم می توان از معادله زیر بهره گرفت [10]:

$$L = 2.5 \cdot 0.0024 T_0 \quad (13)$$

همچنین، معادله زیر برای تعیین نسبت باون (R) موجود است [2]:

$$R = \frac{0.61P}{100} \left(\frac{T_0}{e_0} - \frac{T_a}{e_a} \right) \quad (14)$$

که در آن P فشار جو (Kpa)، e_0 فشار بخار اشباع در درجه حرارت سطح آب (Kpa)، e_a فشار بخار در درجه حرارت هوا (Kpa)، و عدد 100 فاکتور تبدیل فشار به کیلو پاسکال می باشد.

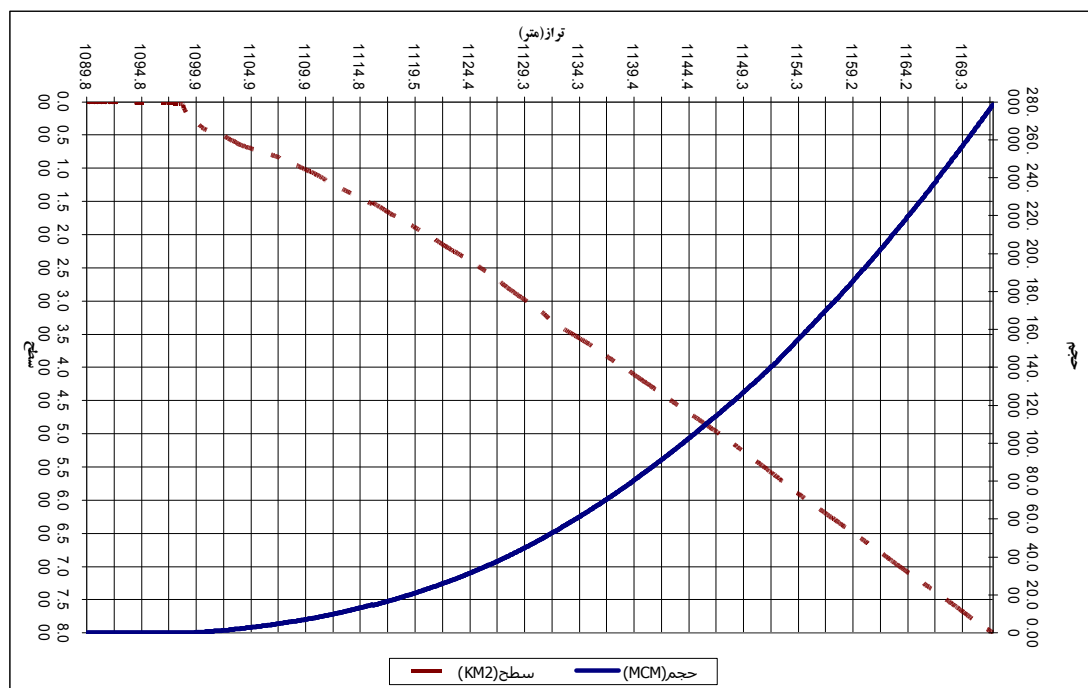
فشار اتمسفریک در محل دریاچه را می توان توسط معادله ارائه شده توسط Jensen (1990) تعیین نمود:

$$P = 101.3 \frac{288}{288} \frac{0.0065H}{288}^{5.257} \quad (15)$$

که در آن P فشار اتمسفریک (KPa) و H ارتفاع محل از سطح دریای آزاد (m) می باشد. با توجه به اینکه سد الغدیر بین سالهای ۷۴-۸۷ به طور متوسط از سطح آبهای آزاد ۱۱۳۱ متر ارتفاع دارد، مقدار فشار اتمسفریک برای محل سد به طور متوسط برابر با ۸۸.۴۲۴۹ KPa خواهد بود.

داده های مورد نیاز

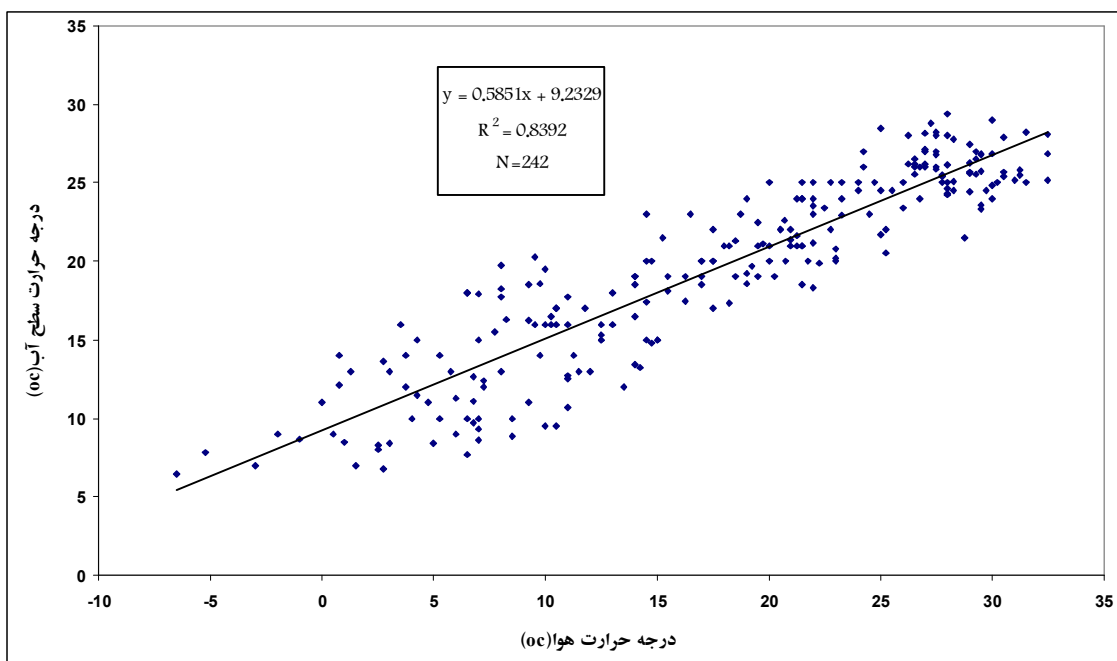
داده های روزانه درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا برای انجام این مطالعه ۱۳ ساله از ایستگاه هواشناسی مستقر بر روی سد (ایستگاه بند شاه عباسی) حاصل گردید. فشار اتمسفریک با توجه به اینکه سد الغدیر بین سالهای ۷۴-۸۷ به طور متوسط از سطح آبهای آزاد ۱۱۳۱ متر ارتفاع داشته به طور متوسط برابر با ۸۸.۴۲۴۹ KPa خواهد بود. داده های روزانه ساعات واقعی روشنایی روز، درجه حرارت نقطه شبنم از ایستگاه سینوپتیک ساوه حاصل گردیده منظور تعیین انرژی ذخیره شده در دریاچه (Q_x) به منحنی ارتفاع-سطح-حجم (نقشه فراز سنجی) دریاچه و همچنین درجه حرارت روزانه سطح آب و ساختار حرارتی (پروفیل حرارتی) دریاچه احتیاج است. بر اساس آخرین عملیات میدانی صورت گرفته در سال ۱۳۸۲ منحنی فراز سنجی دریاچه (شکل ۲) در اختیار می باشد.



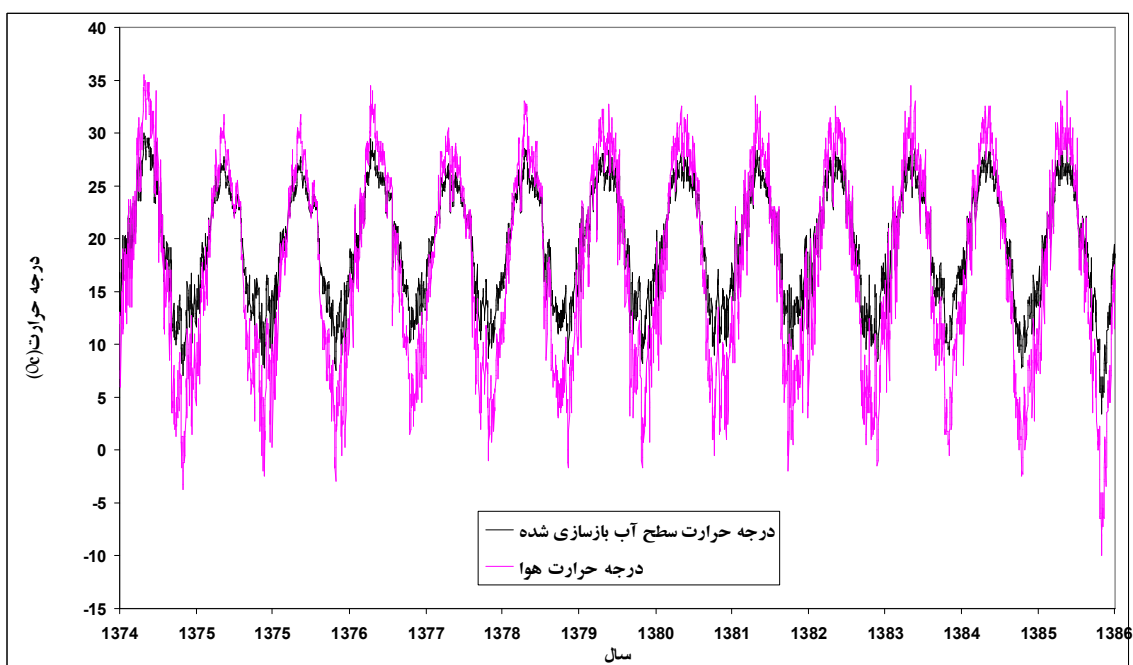
شکل ۲- منحنی ارتفاع-سطح-حجم دریاچه برای سال ۱۳۸۲.

به منظور فراهم نمودن داده های درجه حرارت روزانه سطح آب، و از آنجا که فقط اندازه گیری های میدانی پراکنده و اندکی در سال ۱۳۷۶ مربوط به این پارامتر و پروفیل حرارتی برای این دریاچه در طول مدت این مطالعه موجود بود، اقدام به بررسی داده های مربوط به دماسنج های موجود در بدنه سد شد. این دماسنج ها در چندین ارتفاع و در لایه های مختلف بتن سد موجود می باشند و به طور میانگین داده های دو هفتگی آنها توسط کارشناسان پایداری مورد قرائت قرار گرفته است. با مقایسه داده های نزدیکترین دماسنج به سطح آب دریاچه (عمق بتن روی دماسنج حدود ۲۰ سانتی متر) با اندازه گیری های میدانی صورت گرفته در سال ۱۳۷۶ تطابق مناسب و قابل قبولی میان آنها مشاهده گردید. به این ترتیب، درجه حرارت قرائت شده توسط این دماسنج ها به عنوان درجه حرارت دو هفتگی سطح آب در نظر گرفته شد و همچنین به

منظور بازسازی داده های درجه حرارت سطح آب روزانه، همانطور که در شکل ۳ مشاهده می گردد، بین این داده ها و داده های درجه حرارت هوا یک رابطه ریاضی خطی برقرار گردید.



شکل ۳- نمودار درجه حرارت سطح آب - درجه حرارت هوا در بازه های دوهفتگی.



شکل ۴- نمودار درجه حرارت سطح آب روزانه بازسازی شده توسط داده های درجه حرارت هوای روزانه.

همچنین، با استفاده از همین روش، ساختار حرارتی دریاچه در بازه های زمانی میانگین دو هفتگی به منظور استفاده از روش بیلان انرژی از داده های قرائت شده دماسنج های موجود در نقاط مختلف بدنه سد استخراج گردید. به این ترتیب، بازه های مورد نظر برای استفاده از روش بیلان انرژی همان بازه هایی که پروفیل حرارتی موجود بود در نظر گرفته شد و دروه

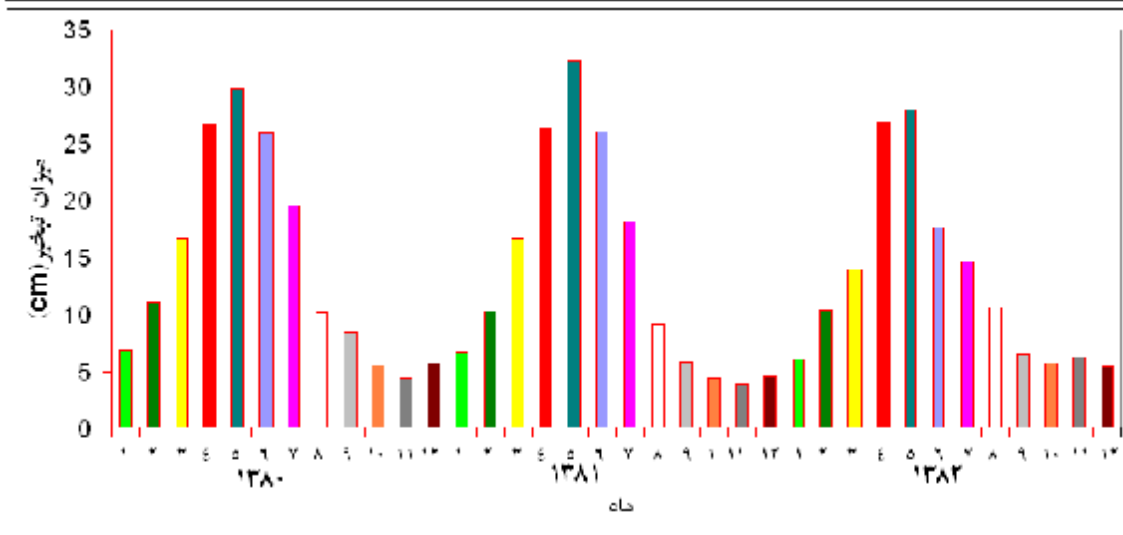
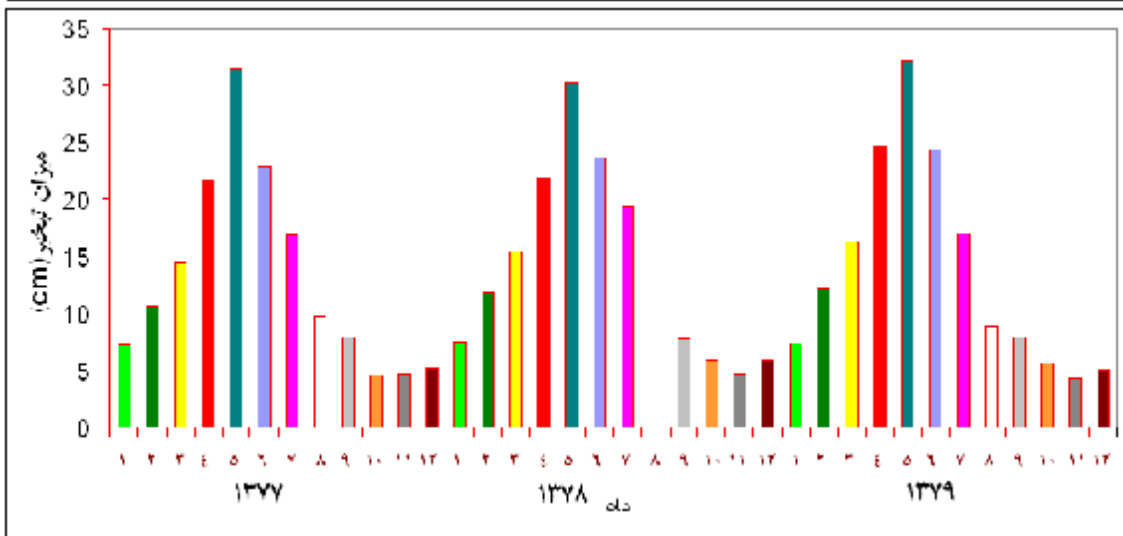
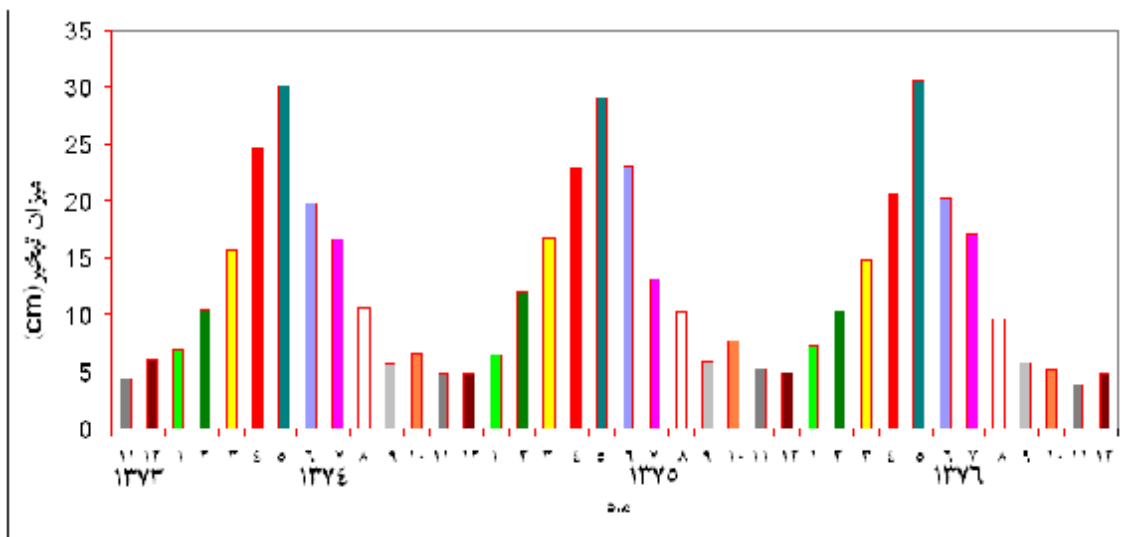
مطالعاتی به 593 بازه بیلان انرژی تقسیم گردید. در جدول ۱ مشخصات و کیفیت هر یک از پارامترهای دخیل در بیلان انرژی دریاچه به صورت میانگین برای تمامی بازه های در نظر گرفته شده آورده شده است.

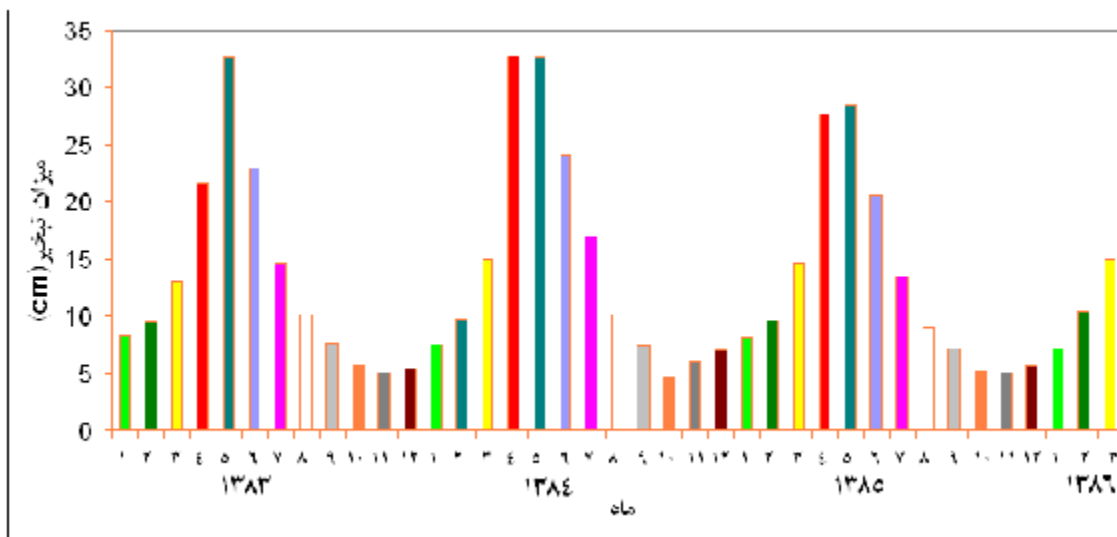
جدول ۱- مشخصات و کیفیت هر یک از پارامترهای دخیل در بیلان انرژی دریاچه به صورت میانگین برای تمامی بازه های در نظر گرفته شده.

پارامتر	میانگین (mean)	میان (median)	انحراف معیار (SD)
تشعشع موج بلند اتمسفریک (Qa) ($w.m^{-2}$)	321.8	320.2	117.4
تشعشع موج کوتاه خورشیدی (Qs) ($w.m^{-2}$)	205.5	208.7	68.9
تشعشع موج بلند بازگشتی (Qar) ($w.m^{-2}$)	9.7	9.6	3.5
تشعشع موج کوتاه بازگشتی (Qr) ($w.m^{-2}$)	14.4	14.6	4.8
انرژی همرفت یافته توسط آب تبخیری (Qw) ($w.m^{-2}$)	4.9	3.38	3.96
انرژی گسیل شده از آب به صورت گرمای ظاهری (Qh) ($w.m^{-2}$)	-8.6	8.5	44.5
تغییرات انرژی ذخیره شده در دریاچه (Qx) ($w.m^{-2}$)	-30.6	-34	59.1
درجه حرارت سطح آب (To) ($^{\circ}C$)	19.7	20.1	5.22
رطوبت نسبی هوا (RH) (%)	73.6	73.6	6.6
نسبت باون (R)	0.1	0.1	0.3
درجه حرارت هوا (Ta) ($^{\circ}C$)	17.8	18.5	8.92
آلبدوی موج کوتاه (as) (%)	7	---	---
آلبدوی موج بلند (aa) (%)	3	---	---
میزان تبخیر (E) (cm)	5.56	4.24	3.58
میزان تبخیر (Qe) ($w.m^{-2}$)	127.4	100.5	79
تشعشع موج بلند گسیل شده (Qbs) ($w.m^{-2}$)	404.2	406.5	28.7
تشعشع خالص (Qn) ($w.m^{-2}$)	93.1	94	70.8

نتایج و بحث

نتایج مطالعات بیلان انرژی به طرق مختلف قابل ارائه است و میزان تبخیر محاسبه شده با این روش، به علت دقت بالا، برای انجام عملیات آماری از قبیل آنالیز حساسیت بسیار مناسب می باشند. در هر صورت، بازه های زمانی مورد استفاده در این نوع مطالعه در سالهای مختلف روزهای مشابهی را پوشش نمی دهند و به همین علت مقایسه میزان تبخیر از یک فصل به فصل دیگر یا از سالی به سال دیگر دشوار است. بنابراین، در این تحقیق و در شکل ۵ مقادیر تبخیر به صورت ماهانه برای دوره آماری مورد مطالعه گزارش خواهند شد.





شکل ۵- نمودار میزان تبخیر ماهانه برای دوره ۱۳ ساله آماری.

میزان تبخیر محاسبه شده توسط روش بیلان انرژی برای ۱۳ سال کامل آماری (۱۳۷۴-۱۳۸۶)، به طور میانگین از میزان ماکزیمم ۷۸.۱ سانتیمتر در فصل تابستان تا میزان مینیمم ۱۵.۸۵ سانتیمتر در فصل زمستان نوسان دارد. با در نظر گرفتن میانگین تبخیر ۱۶۰.۴ سانتیمتری برای دوره آماری می توان گفت حدود ۴۹٪ تبخیر سالانه از مخزن سد ساوه فقط در سه ماهه فصل تابستان و تنها حدود ۱۰٪ آن در فصل زمستان صورت می گیرد، که این امر نشان از وجود تابستانهای بسیار گرم و خشک و همچنین زمستانهای سرد و خشک دارد. بیشترین میزان تبخیر برای بازه های بیلان انرژی برای بازه ۱۱مرداد-۲۷ تیر سال ۱۳۸۴ برابر با ۱۶.۹ سانتیمتر و کمترین میزان برای بازه ۲۱ بهمن-۹ بهمن سال ۱۳۷۳ برابر با ۱.۱ سانتیمتر رخ داده است. پراکندگی و تنوع زیادی برای شارهای انرژی ورودی و خروجی از نظر شدت برای این دریاچه مشاهده می گردد. به این صورت که، بزرگترین شارهای انرژی شامل تشعشع خورشیدی ورودی، تشعشع اتمسفریک ورودی، و تشعشع موج بلند گسیل شده توسط آب دریاچه با شدتی حدود 500 W m^{-2} می باشند. در مقایسه، می توان گفت تعدادی از شارهای انرژی مانند انرژی خالص همرفت یافته به حجم آب (Q_v) و حرارت منتقل شده از رسوبات بستر دریاچه به آب (Q_b) آنقدر مقادیر کوچکی را به خود اختصاص می دهند که صرف نظر کردن از آنها در معادلات بیلان انرژی در نتایج امر خلل محسوسی ایجاد نمی نماید.

الگوی مقادیر ماهانه تبخیر از سالی به سال دیگر متغیر می باشد، اما می توان گفت در هر سال کمترین مقدار تبخیر در فصل زمستان (برای مورد دریاچه مخزن سد ساوه در بهمن ماه) رخ می دهد و مقادیر تا تیر ماه افزایش داشته و در ماه مرداد به مقدار پیک خود دست می یابد. سپس، تبخیر تا پایان فصل زمستان کاهش می یابد. علاوه بر این، میزان تبخیر برای ماه پیک یعنی مردادماه نیز از سالی به سال دیگر متفاوت است. برای مثال، بیشترین تفاوت تبخیر برای این ماه بین سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۱ برابر با ۴.۹ سانتیمتر می باشد.

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

بر اساس اهداف و نتایج حاصل از این مطالعه، می توان جمع بندی زیر را از شرایط تبخیر برای دریاچه سد ساوه بین سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۳۷۴ بیان نمود که پیشنهاد می شود از این نتایج برای دریاچه هایی با شرایط اقلیمی مشابه استفاده گردد.

۱- به علت بزرگ بودن مقادیر شارهای انرژی شامل تشعشع خورشیدی ورودی، تشعشع اتمسفریک ورودی، و تشعشع موج بلند گسیل شده توسط آب دریاچه، این پارامترها باید تا حد امکان با دقت بالا و افراد متخصص محاسبه گردند. همچنین، به این منظور امروزه سنسورها و دستگاههای بسیار دقیق فراهم آمده است.

۲- الگوی میزان تبخیر در طول سالهای آماری مورد مطالعه از سالی به سال دیگر متفاوت است، به این ترتیب که میزان تبخیر از نظر ماهانه، فصلی و حتی سالانه از یک سال با سال دیگر از نظر اندازه متفاوت می باشد.

۳- بسیاری از نتایج ارائه شده در این تحقیق را نمی توان برای دوره های زمانی یک یا دو ساله تجویز نمود. نتایج این تحقیق نشان دهنده مزیت استفاده از روش بیلان انرژی به صورت مطالعه طولانی مدت است تا بتوان درک کافی و منطقی از تغییرات در برخی از فرایندهای طبیعی پیدا نمود.

۴- می توان با در نظر گرفتن سهم پارامترهایی کم اهمیت مانند انرژی خالص همرفت یافته به حجم آب (Q_v) و حرارت منتقل شده از رسوبات بستر دریاچه به آب (Q_b) در معادلات بیلان انرژی نقش و تأثیر آنها در نتایج را تعیین نمود و همچنین با استفاده از سنسورهای دقیق و عملیات میدانی به جای استفاده از فرمولهای موجود بسیاری از پارامترهای دخیل در معادلات را به صورت مستقیم اندازه گیری نمود.

۴- مراجع

- [1] Winter, T. C. and M. K. Woo. (1990). "Hydrology of Lakes and Wetlands, in The Geology of North America" vol. 0-1, Geological Society of America, Boulder, Colorado, 159-187.
- [2] Harbeck, G. E. et al. (1958). "Water-loss investigations: Lake Mead Studies" U.S.G.S, 100-298.
- [3] Gunaji, N. N. (1968). "Evaporation investigations at Elephant Butte Reservoir in New Mexico" Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ., Vol 78, 308-325.
- [4] Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., (1998). "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements". FAO Irrigation and Drainage Paper. 56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- [5] S. Kotsopoulos and C. Babajimopoulos, (1997). "Analytical estimation of modified Penman equation parameters", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **123** (4), 253-256.
- [6] J. Raphael, (1962). "Prediction of temperature in rivers and reservoirs", *Journal of Power Division ASCE*. **88**. 157-181.
- [7] B. Henderson-Sellers, (1986). "Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling: a review", *Reviews of Geophysics*. 24 (3). 625-649.
- [8] Anderson, E.R., (1954). "Energy-budget studies, water-loss investigations: Lake Hefner studies". US Geological Survey Professional Paper 269, 71-119.
- [9] Bowie, G., Mills, W., Porcella, D., Campbell, C., Pagenkopf, J., Rupp, G., Johnson, K., Chan, P., Gherini, S., (1985). "Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modeling".. EPA/600/3- 85/040, Athens, USA.
- [10] G. Orlob, (1981), "Models for stratified impoundments. In: A. Biswas, Editor, Models for Water Quality Management", McGraw Hill, USA. 273-313.