

مقایسه چندین مدل تبخیرسنجی از سطوح آزاد آبی مناطق خشک و نیمه خشک ایران، مطالعه موردی: مخزن سد ساوه

امین حسنی^۱، مسعود تجریشی^۲، احمد ابریشم چی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

^۲دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

^۳استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

a_hasani@civil.sharif.edu

خلاصه

در این تحقیق میزان تبخیر از دریاچه سد ساوه توسط تعدادی از روشها و مدلهای معتبر و دقیق به صورت سالانه و ماهانه بین سال های ۱۳۸۷-۱۳۷۴ با استفاده از چندین روش و مدل تجربی برای دریاچه سد ساوه مورد تخمین قرار گرفته است. داده های روزانه مورد نیاز از ایستگاه بند شاه عباسی، واقع در نزدیکی دریاچه، حاصل گردید. برای تمامی سالهای مورد مطالعه، مقدار تبخیر در فصول پائیز و زمستان اندک و در فصل تابستان بیشترین مقدار است. اگر چه، زمان و ماه بیشترین مقدار تبخیر برای هر سال متفاوت می باشد. برای هر ماه، میزان تبخیر محاسبه شده با استفاده از روشهای مختلف با نتایج روش بیلان انرژی، که به عنوان روش استاندارد در نظر گرفته شده بود، مقایسه گردید. نتایج روشهای Priestley-Taylor, DeBruin و Penman و DeBruin-Keijman به خوبی با نتایج روش بیلان انرژی قابل مقایسه بود. برای این روشها تفاوت از مقادیر روش بیلان انرژی به ترتیب ۰٫۵۳، ۰٫۱۷، ۰٫۴۲ و ۰٫۲۸ میلیمتر بر روز بود و نتایج برای بیش از ۹۴٪ ماههای مقایسه برای سه روش آخر در بازه ۲۰٪ روش بیلان انرژی قرار می گیرد. هر چهار روش نامبرده به داده های تشعشع خالص، درجه حرارت هوا، تغییرات حرارت ذخیره شده در حجم آبی (پروفیل حرارتی) و فشار بخار احتیاج دارند که باعث پرده و گران شدن آنها می گردد. روشهایی مانند Jensen-Haise, Makkink, Pabadakakis, Stephens-Stewart که فقط به محاسبه درجه حرارت هوا، یا درجه حرارت هوا و تشعشع خورشیدی احتیاج دارند، جایگزینهای مناسب و ارزانی برای محاسبه تبخیر از این دریاچه کوچک می باشند. همچنین، روشهای Hamon و Blaney-Cridle به داده های ساعات روشنایی روز احتیاج دارند و با نتایج روش بیلان انرژی قابل مقایسه می باشند.

کلمات کلیدی: برآورد تبخیر، روش بیلان انرژی، مقایسه روشها، مخزن سد ساوه.

۱. مقدمه

انجام محاسبات تبخیر در محدوده گسترده ای از علوم شامل هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و آبیاری، محاسبات بیلان آبی، پیش بینی جریان رودخانه، تحقیقات شیمی دریاچه و غیره کاربرد دارد. از میان تمامی مؤلفه های چرخه هیدرولوژی، شاید بتوان گفت که به علت اندرکنشهای موجود میان پارامترهای مختلف محاسبه تبخیر بسیار مشکل می باشد (Singh and Xu, ۱۹۹۷). محاسبات و مطالعات تبخیر از سطوح آزاد آبی بیشتر برای دریاچه ها و آبگیرهای بزرگ آب شیرین انجام گرفته است (Rosenberry et al., ۲۰۰۷). روشهای محاسبه تبخیر را به طور کلی می توان به این صورت تقسیم بندی نمود: (۱) روشهای تجربی (Kohler et al., ۱۹۹۵)، (۲) بیلان آبی (Guitjens, ۱۹۸۲)، (۳) بیلان انرژی (Fritschen, ۱۹۶۶)، (۴) انتقال جرم (Harbeck, ۱۹۶۲)، (۵) روشهای ترکیبی (Penman, ۱۹۴۸) و (۶) روش های محاسباتی (Young, ۱۹۴۷). انتخاب روش مناسب برای استفاده در منطقه و اقلیم و مطالعه خاص بسیار مشکل می باشد. این امر بیشتر به دلیل موجود بودن تعداد زیادی معادلات و روش های مختلف، دامنه وسیع داده های مورد نیاز و تخصص های متنوع برای استفاده از این روش ها می باشد. در هر صورت و به طور کلی می توان گفت که بیلان انرژی و حرارتی یک دریاچه توسط تشعشعات موج کوتاه و بلند، شارهای حرارتی ظاهری و نهان و انرژی همراه با جریانات ورودی و خروجی دریاچه کنترل می گردد (Henderson-Sellers, ۱۹۸۶). در جدول ۱ روشهای مورد استفاده در این تحقیق معرفی گردیده اند.

جدول ۱- مشخصات روشهای مورد استفاده در تحقیق.

Method	Equation	Developed for
BREB	$E = \frac{Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs} - Q_x + Q_v - Q_b}{\rho(L(1+R) + cT_0)} \times 86.4 \times 10^7$	Biweekly
Combination group Priestley–Taylor	$E = \alpha \frac{s}{s+\gamma} \frac{Q_n - Q_x}{L\rho} \times 86.4$	Periods of 10 d or greater
deBruin–Keijman	$E = \frac{s}{0.85s + 0.63\gamma} \frac{(Q_n - Q_x)}{L\rho} \times 86.4$	Daily
Penman	$E = \frac{s}{s+\gamma} \left(\frac{Q_n - Q_x}{L\rho} \right) \times 86.4 + \frac{\gamma}{s+\gamma} (0.26(0.5 + 0.54U_2)(e_s - e_a))$	Periods greater than 10 d
Brutsaert–Stricker	$E = (2\alpha - 1) \left(\frac{s}{s+\gamma} \right) \left(\frac{Q_n - Q_x}{L\rho} \right) \times 86.4 - \frac{\gamma}{s+\gamma} 0.26(0.5 + 0.54U_2)(e_s - e_a)$	Daily
deBruin	$E = 1.192 \left(\frac{\alpha}{\alpha - 1} \right) \left(\frac{\gamma}{s+\gamma} \right) \frac{(2.9 + 2.1U_2)(e_s - e_a)}{L\rho}$	Periods of 10 d or greater
Solar radiation, temp. group Jensen–Haise	$E = (0.014T_a - 0.37)(Q_s \times 3.523 \times 10^{-2})$	Periods greater than 5 d
Makkink	$E = \left(\left(52.6 \frac{s}{s+\gamma} \frac{Q_s}{L\rho} \right) - 0.12 \right)$	Monthly (Holland)
Stephens–Stewart	$E = (0.0082T_a - 0.19)(Q_s \times 3.495 \times 10^{-2})$	Monthly (Florida)
Dalton group Mass transfer	$E = (NU_2(e_0 - e_a)) \times 10$	Depends on calibration of N
Ryan–Harleman	$E = \frac{(2.7(T_0 - T_a)^{0.333} + 3.1U_2)(e_0 - e_a)}{L\rho} \times 86.4$	Daily
Temp., day length group Blaney–Cridde	$E = (0.0173T_a - 0.314) \times T_a \times (D + D_{TA}) \times 25.4$	Monthly
Hamon	$E = 0.55 \left(\frac{D}{12} \right)^2 \frac{SVD}{100} (25.4)$	Daily
Temperature group Papadakis	$E = 0.5625(e_s \max - (e_s \min - 2)) \left(\frac{10}{d} \right)$	Monthly
Thornthwaite	$E = \left(1.6 \left(\frac{10T_a}{I} \right)^{6.75 \times 10^{-2}I - 7.71 \times 10^{-5}I^2 + 1.79 \times 10^{-2}I + 0.49} \right) \left(\frac{10}{d} \right)$	Monthly

Q_s = solar radiation ($W m^{-2}$),
 Q_r = reflected solar shortwave radiation ($W m^{-2}$),
 Q_a = incoming atmospheric longwave radiation ($W m^{-2}$),
 Q_{ar} = reflected atmospheric longwave radiation ($W m^{-2}$),
 Q_{bs} = longwave atmospheric radiation emitted from the water surface ($W m^{-2}$),
 Q_x = change in heat stored in the water body ($W m^{-2}$),
 Q_v = net energy (positive when advected to the lake) from precipitation, surface water, and ground water ($W m^{-2}$),
 Q_b = net energy conducted from the lake to the sediments ($W m^{-2}$),
 c = specific heat capacity of water ($4186 J kg^{-1} ^\circ C^{-1}$),
 T_0 = water-surface temperature ($^\circ C$),
 R = Bowen ratio (dimensionless),
 $\alpha = 1.26$ = Priestley–Taylor empirically derived constant, dimensionless,
 s = slope of the saturated vapor pressure–temperature curve at mean air temperature ($Pa ^\circ C^{-1}$),
 γ = psychrometric “constant” (depends on temperature and atmospheric pressure) ($Pa ^\circ C^{-1}$),
 Q_n = net radiation ($Q_s - Q_r + Q_a - Q_{ar} - Q_{bs}$) ($W m^{-2}$),
 L = latent heat of vaporization ($MJ kg^{-1}$), and $J kg^{-1}$ for the BREB,
 ρ = density of water ($998 kg m^{-3}$ at $20 ^\circ C$),
 N = mass-transfer coefficient (used 0.01644 for Mirror Lake),
 I = annual heat index ($I = \sum_i I_i$, $I_i = (T_a/5)^{1.514}$),
 U_2 = windspeed at 2 m above surface ($m s^{-1}$),
 e_0 = saturated vapor pressure at temperature of the water surface (mb),
 e_s = saturated vapor pressure at temperature of the air (mb),
 e_a = vapor pressure at temperature and relative humidity of the air (mb),
 SVD = saturated vapor density at mean air temperature ($g m^{-3}$),
 T_a = air temperature, $^\circ F$ for the Blaney–Cridde, Jensen–Haise and Stephens–Stewart equations and $^\circ C$ for the Thornthwaite equation,
 D = hours of daylight,
 D_{TA} = total annual hours of daylight for specific latitude; for Mirror Lake, at $44^\circ N$, $D_{TA} = 4470$,
 d = number of days in month,
 $e_s \max$ and $e_s \min$ = saturated vapor pressures at daily maximum and minimum air temperatures (Pa).
 The multipliers 10, 25.4, or 86.4 that appear in several equations are to convert output to $mm d^{-1}$.

۲. شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی

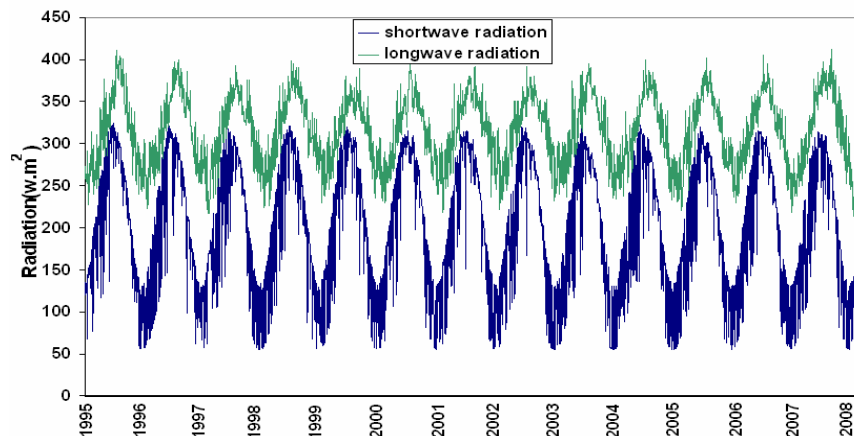
دریاچه سد ساوه در دره ورفران، در حدود ۱۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر تهران و ۲۵ کیلومتری جنوب غربی شهر ساوه، بر روی رودخانه قره چای ایجاد شده است (شکل ۱). دریاچه در رقوم پر حدود ۹ کیلومتر مربع مساحت و در رقوم بستر ۱۰۸۰ متر از سطح آبهای آزاد ارتفاع دارد. دریاچه یک جریان ورودی از رودخانه قره چای داشته و ساختمان 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 جغرافیایی سد ساوه (الغدير).

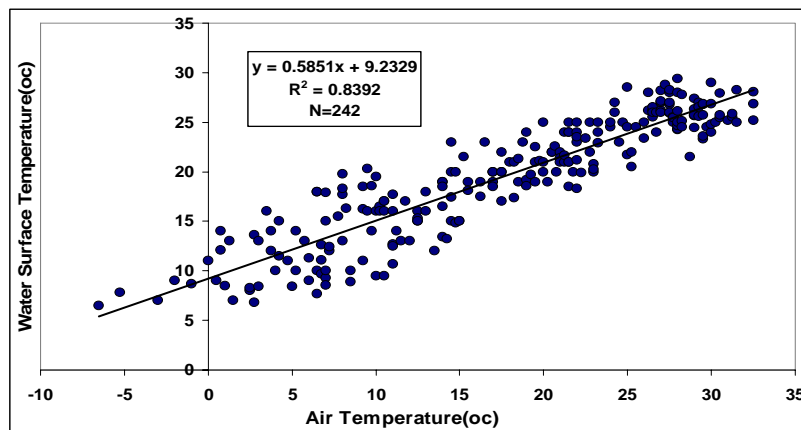
۳. کیفیت داده های مورد استفاده

داده های روزانه درجه حرارت، رطوبت نسبی و فشار هوا، ساعات روشنایی روز، مقدار بارندگی، تششک از تبخیر و سرعت باد از ایستگاه بند شاه عباسی که در مجاورت مخزن سد قرار دارد فراهم گردید. تششع موج کوتاه خورشیدی با استفاده از معادله پیشنهاد شده توسط Jensen و همکاران در سال ۱۹۹۰ با ساعات روشنایی روز مرتبط گردید که تغییرات سالانه آن در شکل ۲ نشان داده شده است. تششع موج بلند نیز با استفاده از داده های درجه حرارت میانگین هوا و ساعات روشنایی روز و راه حل گرافیکی Raphael (۱۹۶۲) که توسط Henderson-Sellers (۱۹۸۶) فرمول بندی شدند حاصل گردید (شکل ۲).



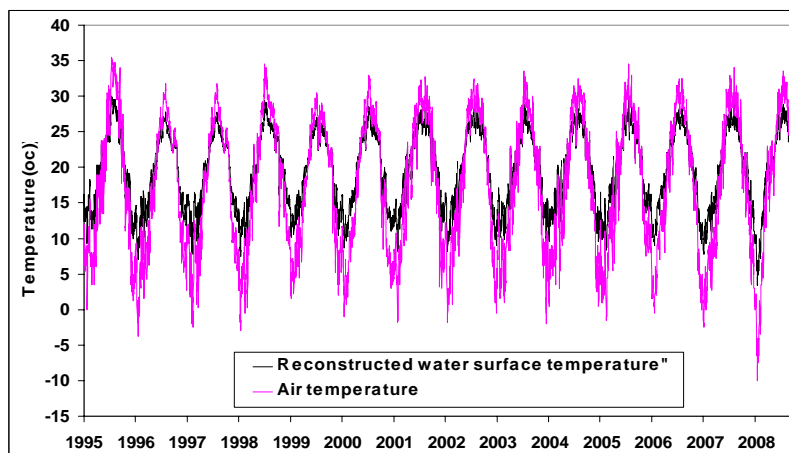
شکل ۲- تششعات موج کوتاه و بلند روزانه محاسبه شده توسط معادلات تجربی با استفاده از ساعات روشنایی روز.

مساحت دریاچه توسط منحنی فزاینده سال ۱۳۸۲ موجود گردید. برای محاسبه مؤلفه مقدار تغییرات انرژی ذخیره شده در دریاچه، موجود بودن پروفیل حرارتی و درجه حرارت سطح آب ضروری می باشد. اما از آنجا که فقط داده های ناپیوسته و اندکی برای چند ماه از مطالعه موجود بود، به بررسی داده های دماسنجی موجود در بدنه سد پرداخته شده و مطابقت نسبتاً مناسبی میان این دو سری داده مشاهده گردید (شکل ۳).



شکل ۳- رابطه برقرار شده میان داده های روزانه درجه حرارت هوا و درجه حرارت سطح آب دریاچه.

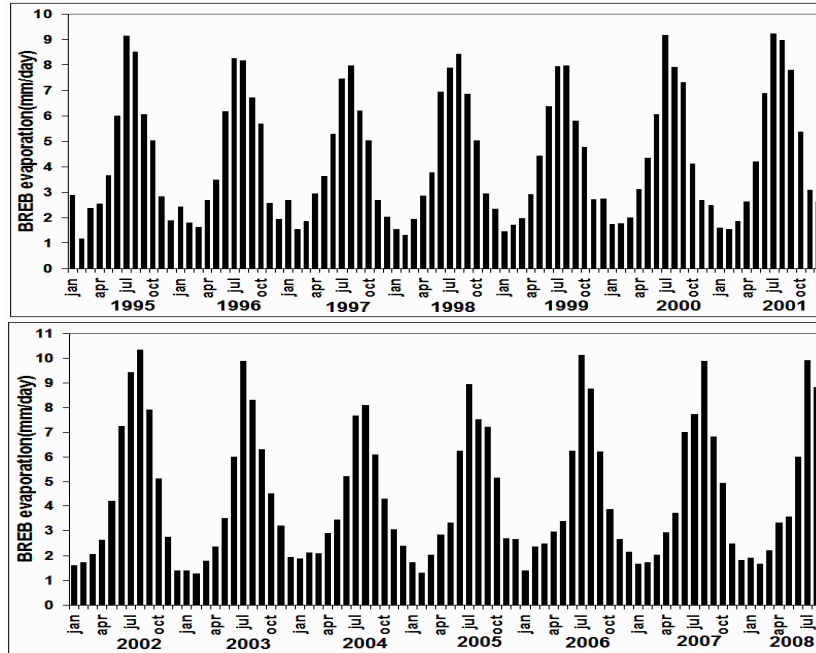
در غیاب داده های منسب درجه حرارت سطح آب و پروفیل حرارتی مخزن، از داده های دماسنجی موجود در بدنه سد استفاده گردید و بازه های بیلان انرژی به صورت پیمایشی به طور متوسط دو هفته ای این دماسنج ها در نظر گرفته شد. در انتها، تغییرات انرژی ذخیره شده در دریاچه به صورت تفاوت حرارت ذخیره شده ابتدا و انتهای هر یک از بازه های در نظر گرفته شده محاسبه گردید. همچنین، به منظور بازسازی و فراهم نمودن داده های روزانه درجه حرارت سطح آب دریاچه، یک رابطه خطی میان داده های درجه حرارت روزانه هوا و درجه حرارت سطح آب دو هفته ای ایجاد گردید (اشکال ۳ و ۴).



شکل ۴- بازسازی داده های روزانه درجه حرارت سطح آب دریاچه سد ساوه.

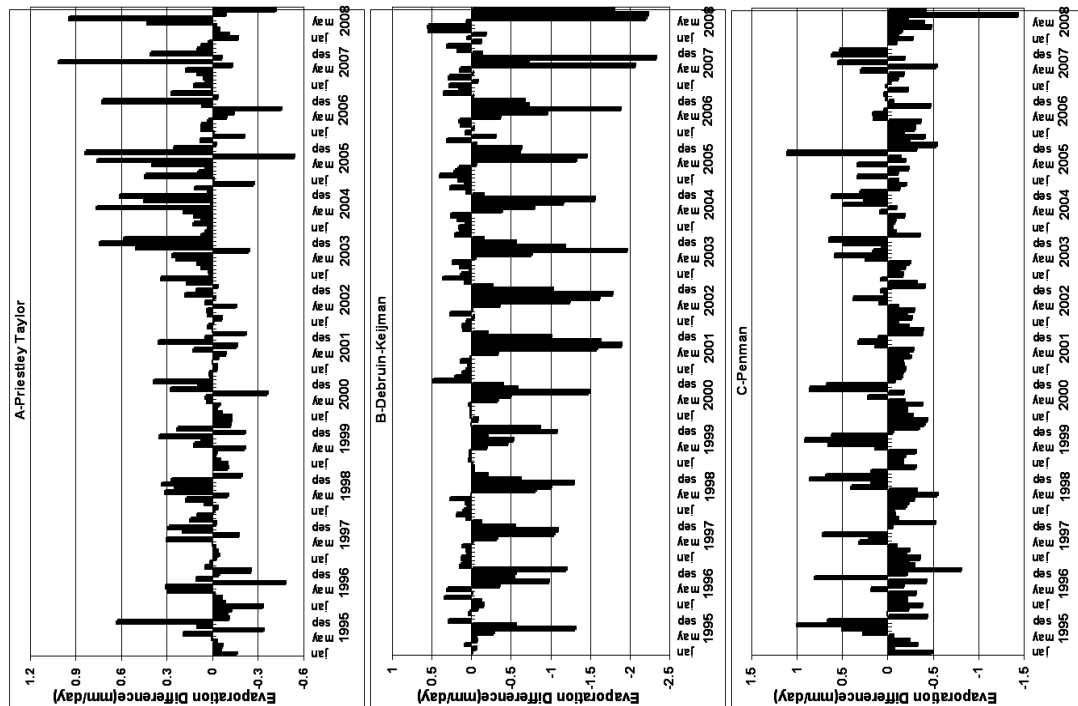
۴. بحث و نتایج

نتایج این مطالعه به صورت تفاوت میان مقادیر ماهانه حاصل از روش های مختلف و روش بیلان انرژی بین سالهای ۱۳۷۴-۱۳۸۷ بیان می گردد. این تفاوت ها با کاستن مقادیر ماهانه بیلان انرژی از نتایج مختلف حاصل گردید، بنابراین نتایج بیشتر از روش بیلان انرژی دارای مقادیر مثبت و مقادیر کمتر از بیلان انرژی دارای مقادیر منفی خواهند بود. مقادیر تخیل حاصل از روش بیلان انرژی از مقدار ۰٫۸ تا ۱۱٫۵ میلیمتر در روز تغییر می کنند و میانگین نتایج این روش برای ۱۴ سال مورد مطالعه $۰٫۲۵ \pm ۴٫۴$ بوده است (شکل ۵). همچنین در جدول ۲ مقادیر میانگین ماهانه نسبت باون برای بازه های بیلان انرژی ارائه گردیده است.

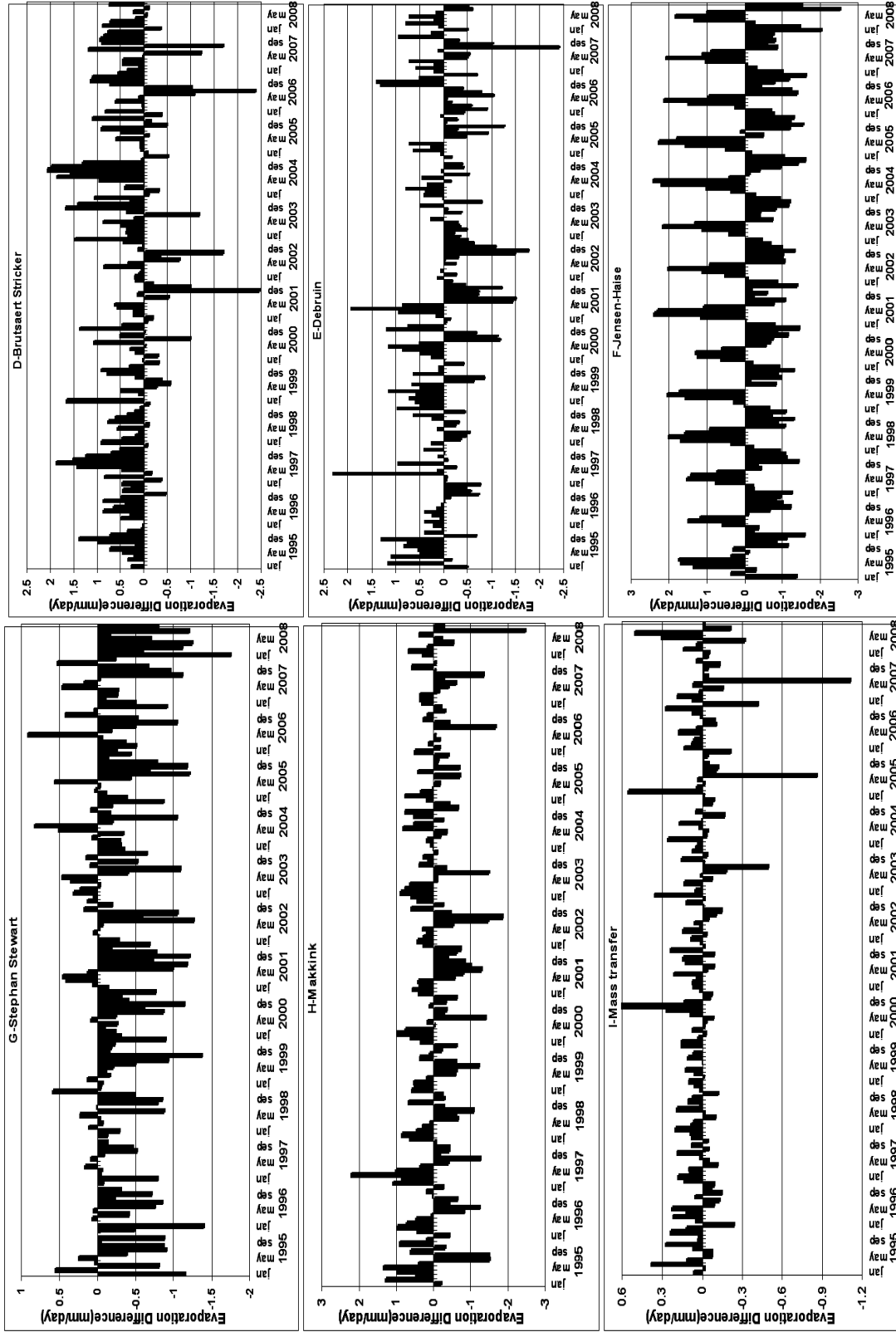


شکل ۵- میانگین روزانه تبخیر ماهانه روش بیلان انرژی برای ۱۴ سال آماری مورد مطالعه بر حسب میلیمتر بر روز برای دریاچه سد ساوه.

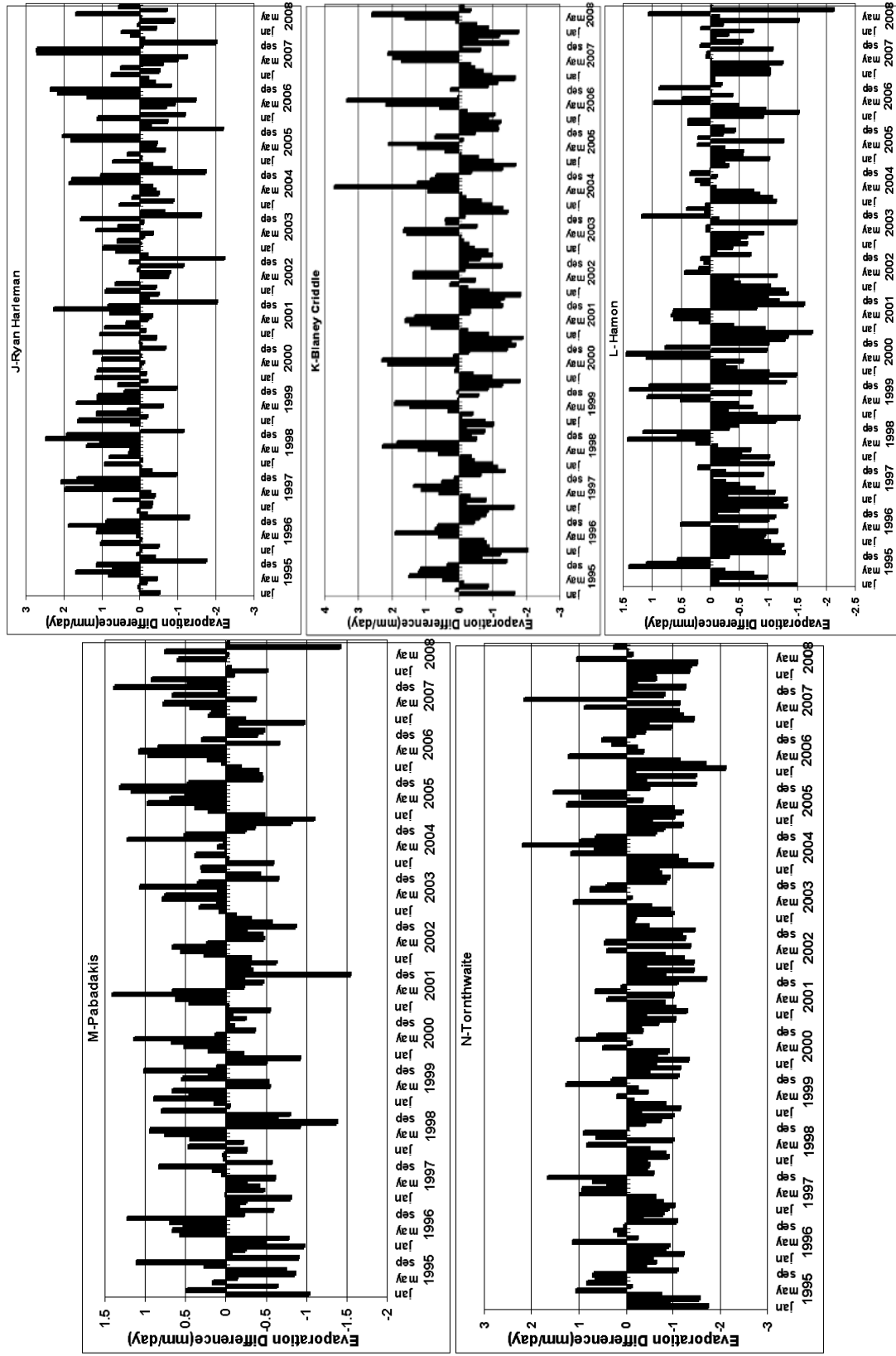
با توجه به نتایج، مقدار حداکثر ماهانه تبخیر با استفاده از روش بیلان انرژی از سالی به سال دیگر سازگار و همزمان نبوده و برای تعدادی از سالها در تیرماه و برای برخی در مردادماه رخ می دهد. بسیاری از روشهای مورد مقایسه با روش استاندارد تطابق مناسبی دارند (اشکال ۶ و ۷). چهار عدد از روشهای مورد استفاده (Priestley-Taylor, Pabadakis, Penman, mass transfer) تقریباً برای تمامی ماههای مقایسه مقادیری با تفاوت 1.5 mm d^{-1} مقادیر بیلان انرژی به دست می دهند. ۱۰ عدد از روشها نیز مقادیر میانگینی در بازه خطای نتایج روش بیلان (۱۰٪) خطا برای محاسبات فصلی و ۱۵٪ برای محاسبات ماهانه مقادیر واقعی) از خود نشان می دهند.



شکل ۶- تفاوت تبخیر محاسبه شده توسط روشهای مختلف مورد استفاده و روش بیلان انرژی بر حسب میلیمتر بر روز.



شکل ۶- (۱۴۹).

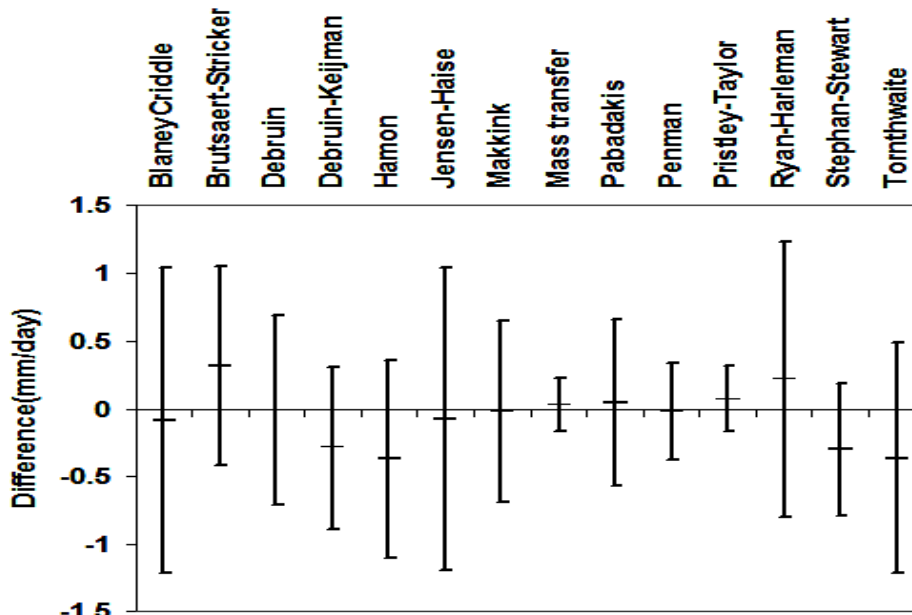


شکل ۶- (۱۹۹۶)

جدول ۲- مقادیر نسبت باون برای بازه های بیلان انرژی در نظر گرفته میان سالهای ۱۳۸۷-۱۳۷۴.

Month	n	Mean	Min	Max	SD	Percentile		
						۲۵th	۵۰th	۷۵th
Jan	۲۸	۰,۵۶۶	۰,۳۴	۰,۹۹	۰,۱۵۲	۰,۴۵۹	۰,۵۸۷	۰,۶۲۶
Feb	۲۸	۰,۴۷۹	۰,۲۹	۰,۹۵	۰,۱۳۹	۰,۳۹۱	۰,۴۵۹	۰,۵۴۰
mar	۲۳	۰,۳۱۴	۰,۱۱	۰,۴۷	۰,۰۸۵	۰,۲۶۱	۰,۳۱۲	۰,۳۷۸
Apr	۲۴	۰,۱۶۸	۰,۰۲	۰,۳۲	۰,۰۷۵	۰,۱۲۱	۰,۱۶۴	۰,۲۱۹
may	۲۷	۰,۰۴۳	-۰,۱۸	۰,۱۶	۰,۰۷۵	.	۰,۰۴۷	۰,۰۹۵
Jun	۲۶	-۰,۲۵۷	-۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۶	-۰,۳۷	-۰,۲۴۷	-۰,۱۲
Jul	۳۳	-۰,۳۵۶	-۰,۸۵	-۰,۰۷	۰,۱۵۷	-۰,۴۴۴	-۰,۳۳۴	-۰,۲۵۷
Aug	۲۵	-۰,۳۰۲	-۰,۵۷	-۰,۱۱	۰,۱۲۳	-۰,۳۷۷	-۰,۲۷۷	-۰,۲۲۲
sep	۳۶	-۰,۰۹۲	-۰,۲۶	۰,۰۶	۰,۰۸۲	-۰,۱۴۶	-۰,۰۸۱	-۰,۰۲۶
Oct	۲۸	۰,۰۳	-۰,۱۱	۰,۲۴	۰,۰۹۳	-۰,۰۴	۰,۰۱۸	۰,۰۹۲
Nov	۱۷	۰,۳۱۶	۰,۱۱	۰,۵	۰,۱۰۸	۰,۲۴۳	۰,۳۲۸	۰,۴۰۴
Dec	۲۶	۰,۴۹۴	۰,۲۸	۰,۷۸	۰,۱۲	۰,۴۱۳	۰,۴۸۷	۰,۵۷۹

۲ عدد از ۵ معادله ترکیبی مورد استفاده در تحقیق دارای انحراف نسبتا اندکی نسبت به روش استاندارد بوده اند(شکل ۷). همچنین ۳ عدد از این معادلات ترکیبی (Penman, Brutsaert-Stricker, Debruin, Priestley-Taylor) اغلب دارای انحراف مثبت فصلی (نتایج تبخیر دست بالا برای ماههای فصل بهار و نتایج دست بالای کمتر و حتی دست پائین نسبت به نتایج روش بیلان انرژی برای فصول زمستان و پائیز) بوده اند. روش Debruin-Keijman اغلب دارای انحراف منفی فصلی برای فصول تابستان و پائیز می باشد و در مابقی ماههای سال مقدار تبخیر را نسبتا دست بالا محاسبه می کند. نتایج روش Priestley-Taylor برای ۱۵۳ ماه از ۱۶۵ مورد مطالعه نتایج دارای تفاوت کمتر از 0.5 mm d^{-1} نسبت به روش استاندارد بوده است (۹۲,۷٪). این مقدار تفاوت برای روش Debruin برای ۱۰۱ ماه از ۱۶۵ ماه (۶۱,۲٪)، برای روش Debruin-Keijman در ۱۱۷ ماه از ۱۶۵ ماه مورد مطالعه (۷۱٪)، برای روش Penman در ۱۳۹ ماه از ۱۶۵ ماه (۸۴,۲٪) و برای روش Brutsaert-Stricker در ۹۹ ماه از ۱۶۵ ماه (۶۰٪) رخ می دهد.



شکل ۷- تفاوت (میانگین \pm انحراف معیار) میان تبخیر ماهانه حاصل از روشهای مختلف و روش بیلان انرژی.

سه معادله درجه حرارت و تشعشع دارای تطابق نسبتا کمتری در مقایسه با روشهای ترکیبی نسبت به روش بیلان انرژی می باشند. روش Stephens-Stewart نتایجی با انحراف منفی قابل توجه، روش Makkink دارای انحراف تقریبا صفر و روش Jensen-Haise دارای انحراف منفی اندک نسبت به نتایج روش بیلان انرژی می باشند(شکل ۷). انحراف معیار میان نتایج روش بیلان انرژی و روشهای Stephens-Stewart و Makkink ملایم و متوسط می

باشد، در حالی که برای روش Jensen-Haise انحراف معیار محسوس می باشد. روش Jensen-Haise برای اغلب سالهای مورد مطالعه از خود انحراف فصلی به صورت تفاوت دست بالا در فصل بهار و تفاوت دست پائین در فصول پاییز، زمستان و میانه فصل تابستان نشان می دهد. روش Makkink اغلب برای دو فصل زمستان و بهار میزان تبخیر را نسبت به روش استاندارد دست بالا و برای مابقی اوقات سال این مقدار را کمتر از نتایج روش بیلان انرژی به دست می دهد. روش Stephan-Stewart تقریباً برای تمامی ماههای سال برآورد دست پائینی از تبخیر به دست می دهد. در مورد دو روش دالتونی مورد استفاده می توان گفت که انحراف نسبت به روش استاندارد اندک می باشد. نتایج روش انتقال جرم با توجه به این نکته که ضریب این معادله با استفاده از نتایج روش بیلان انرژی کالیبره شده است (۰،۱۷)، دارای مقادیری مشابه روش بیلان انرژی می باشد. البته، می توان گفت که روش Ryan-Harleman از میان روشهای مورد استفاده کمترین مطابقت را با روش استاندارد ارائه می نماید، که این موضوع را می توان با توجه به میانگین و انحراف معیار تفاوت این روش نسبت به روش بیلان انرژی حدس زد (شکل ۷). دو روشی که در محاسبات خود از درجه حرارت میانگین هوا و ساعات روشنایی روز استفاده می کنند نتایج نامشخص و پیچیده ای از خود نشان می دهند. نتایج روش Blaney-Criddle دارای انحراف مثبت و فصلی قابل ملاحظه برای فصول بهار و تابستان می باشد، در حالی که روش Hamon به طور قابل ملاحظه ای با روش بیلان انرژی مطابقت نشان می دهد. هر دو روش در فصول پاییز و زمستان میزان تبخیر را دست پائین به دست می دهند. همچنین، روش Pabadakis که بسیار ساده بوده و تنها به داده های درجه حرارت میانگین هوا احتیاج دارد نتایج مناسبی ارائه می نماید. نتایج روش Thornthwaite نیز از خود انحراف منفی نمایش می دهد.

در جدول ۳ روشهای مختلف مورد استفاده در تحقیق با استفاده از رگرسیون خطی حداقل مربعات به روش بیلان انرژی، که به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است، مرتبط گردیده. روشهای Priestley-Taylor، Penman، DeBruin-Keijman، Mass transfer و Stephan-Stewart بر اساس رگرسیون ایجاد شده دارای بهترین همبستگی با روش بیلان انرژی می باشند و روش های Pabadakis، Jensen-Haise، Mass transfer، Priestley-Taylor، Brutsaert-Stricker، Penman، Stephan-Stewart و Debruin بر اساس تقریب شیب رگرسیون واحد به ترتیب بهترین شرایط را نسبت به نتایج روش بیلان انرژی دارند. در بسیاری از اوقات، درجه همبستگی با مقادیر روش بیلان انرژی با شیب رگرسیون نزدیک به واحد به صورت همزمان اتفاق نمی افتد. برای مثال، ضریب شب برای رابطه میان روش Pabadakis و بیلان انرژی بسیار نزدیک به واحد بوده، اما رابطه رگرسیون ایجاد شده میان نتایج این دو روش فقط واریانس برابر ۸۴٪ را نشان می دهد. همچنین، در جدول ۳ نتایج روشهای مختلف در بازه ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصدی نتایج روش بیلان انرژی ارائه گردیده است. اگر چه، روش Penman بر اساس معیار ۲۰٪ بهترین روش می باشد، بهترین روش در معیار ۱۵٪ روش Priestley-Taylor و در معیار ۵ و ۱۰ درصد بهترین روش انتقال جرم بوده است. بهترین روشهای مورد استفاده در معیار ۲۰٪ روشهای ترکیبی (Penman، Priestley-Taylor، Debruin-Keijman) می باشند که به بیشترین داده احتیاج دارند. در هر صورت، روش Papadakis با وجود ارتباط فقط با درجه حرارت میانگین هوا در رتبه هفتم قرار می گیرد و تقریباً در ۶۰٪ دوره مورد مطالعه نتایجی در بازه ۱۵٪ نتایج روش بیلان انرژی به دست می دهد.

جدول ۳- رگرسیون و ضریب شیب نتایج تبخیر ماهانه برای روشهای مختلف در برابر روش بیلان انرژی.

Method	R ^۲ regressed against BREB	Regression Slope Coeff VS BREB	Result within BREB(%)			
			۵٪	۱۰٪	۱۵٪	۲۰٪
Blaney-Criddle	۰،۸۸۸	۱،۱۵۸	۱۴،۷	۲۶،۳	۳۸،۵	۴۸،۱
Brutsaert-Stricker	۰،۹۱۹	۰،۹۵۸	۲۲،۸	۴۰،۵	۵۷	۷۲،۸
Debruin	۰،۹۲۶	۰،۹۰۵	۲۶	۴۵	۶۱،۴	۶۹،۶
Debruin-Keijman	۰،۹۷۷	۰،۸۰۱	۳۹،۲	۶۹	۸۳،۵	۹۴،۳
Hamon	۰،۹۴۳	۱،۰۹۸	۲۱،۵	۳۳،۵	۴۷،۵	۵۸،۲
Jensen-Haise	۰،۸۳۹	۰،۹۹۹	۸،۲	۱۹،۶	۳۳،۵	۴۳
Makkink	۰،۹۴۶	۰،۸۲۸	۲۰	۴۳،۷	۶۱،۴	۷۴،۷
Mass transfer	۰،۹۹۴	۰،۹۸۸	۷۸،۵	۹۱،۸	۹۶،۲	۹۸،۷
Pabadakis	۰،۹۴۶	۱	۲۲،۸	۴۳	۶۰،۱	۷۳،۴
Penman	۰،۹۸۷	۱،۰۶۴	۳۲،۹	۶۲	۹۶،۲	۹۹،۴
Pristley-Taylor	۰،۹۹۲	۱،۰۱۶	۲۵،۳	۹۰،۵	۹۸،۷	۹۸،۷
Ryan-Harleman	۰،۹۰۲	۱،۱۳۳	۱۷،۷	۲۹،۷	۴۷،۵	۵۸،۲
Stephan-Stewart	۰،۹۶۷	۰،۹۱۱	۳۳،۵	۵۴،۴	۷۳،۴	۸۶،۱
Tornthwaite	۰،۹۴۱	۱،۱۶۳	۱۱،۴	۲۴،۱	۳۸	۴۵،۶

۵. نتیجه گیری

روشهایی که شامل ترمهای آنرودینامیک و انرژی می باشند (روشهای ترکیبی) برای دریاچه سد ساوه نتایج مناسبی به دست داده و تفاوت اندکی نسبت به روش بیلان انرژی نشان می دهند. سه عدد از چهار روش ترکیبی (Priestley-Taylor, DeBruin-Keijman, Penman) برای ۹۴٪ از ماههای مورد مطالعه دارای مقادیری در ۲۰٪ بازه نتایج روش بیلان انرژی می باشند. نتایج روش Priestley-Taylor برای ۱۵۳ ماه از ۱۶۵ ماه مورد مطالعه نتایج دارای تفاوت کمتر از 0.5 mm d^{-1} نسبت به روش استاندارد بوده است (۹۲٫۷٪). این مقدار تفاوت برای روش Debruin برای ۱۰۱ ماه از ۱۶۵ ماه (۶۱٫۲٪)، برای روش Debruin-Keijman در ۱۱۷ ماه از ۱۶۵ ماه مورد مطالعه (۷۱٪)، برای روش Penman در ۱۳۹ ماه از ۱۶۵ ماه (۸۴٫۲٪) و برای روش Brutsaert-Stricker در ۹۹ ماه از ۱۶۵ ماه (۶۰٪) رخ می دهد.

اگر چه، روش Penman بر اساس معیار ۲۰٪ بهترین روش می باشد، بهترین روش در معیار ۱۵٪ روش Priestley-Taylor و در معیار ۵ و ۱۰ درصد بهترین روش انتقال جرم بوده است. بهترین روشهای مورد استفاده در معیار ۲۰٪ روشهای ترکیبی (Penman, Priestley-Taylor, Debruin-Keijman) می باشند، که به بیشترین داده احتیاج دارند. برای محاسبه تبخیر از مخزن سد ساوه روشهایی که به اندازه گیری داده های تشعشع خورشیدی و درجه حرارت میانگین هوا احتیاج دارند لزوماً نسبت به روشهایی که فقط به داده های درجه حرارت هوا احتیاج دارند نتایج بهتری به دست نمی دهند. با وجود سادگی روش Papadakis که تنها به داده های درجه حرارت هوا احتیاج دارد و بسیار ساده می باشد، این روش نتایج مناسب و قابل مقایسه ای با روش بیلان انرژی از خود نشان می دهد و نسبت به سایر روشها بسیار ارزان و به صرفه می باشد.

۶. مراجع

- Singh, V. P. and Xu, C. Y., (۱۹۹۷), "Evaluation and Generalization of ۱۳ Mass-transfer Equations for determining free water evaporation", Hydrological Processes, Vol. ۱۱, ۳۱۱-۳۲۳.
- Rosenberry, D.O., Winter, T.C., Buso, D.C., Likens, G.E., (۲۰۰۷), "Comparison of ۱۵ evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA", Journal of Hydrology, ۳۴۰, ۱۴۹-۱۶۶.
- Kohler, M. A., Nordenson, T. J., Fox, W. E., (۱۹۹۵), "Evaporation from pans and lakes", Weather Bureau Research Paper ۳۸, US Department of Commerce, Washington, D.C.
- Guitjens, J. C., (۱۹۸۲), "Models of alfalfa yield and evapotranspiration", J. Irrig. Drain. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., ۱۰۸(IR۳), ۲۱۲-۲۲۲.
- Fritschen, L. J., (۱۹۶۶), "Energy balance method", Proceedings, American Society of Agricultural Engineers Conference on Evapo-transpiration and its role in Water Resources Management, December ۵±۶, Chicago, IL. St. Joseph, MI. pp. ۳۴-۳۷.
- Harbeck, G. E., (۱۹۶۲), "A practical technique for measuring reservoir evaporation utilizing mass-transfer theory", Geological Survey Professional Paper ۲۷۲-E. US Government Printing, Washington, D.C. pp. ۱۰۱-۱۰۵.
- Penman, H. L., (۱۹۴۸), "Natural evaporation from open water, bare soil and grass", Proc. R. Soc. Lond., ۱۹۳, ۱۲۰-۱۴۵.
- Young, A. A., (۱۹۴۷), "Evaporation from water surface in California: summary of pan records and coefficients", ۱۸۸۱±۱۹۴۶, Bulletin ۵۴. Public Works Department, Sacramento, CA.
- Henderson-Sellers, B., (۱۹۸۶), "Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling: a review", Reviews of Geophysics, ۲۴ (۳), ۶۲۵-۶۴۹.
- Jensen, M.E., Burman, R. D., and Allen, R.G., (۱۹۹۰), "Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements". Amer. Soc. of Civil Eng., New York.
- Raphael, J., (۱۹۶۲), "Prediction of temperature in rivers and reservoirs", Journal of Power Division ASCE. ۸۸. ۱۵۷-۱۸۱.