

## مدل آماری برآورد تبخیر از سطح مخزن چاه‌نیمه سیستان به روش بیلان حجمی

- پیمان دانش کار آراسته، استادیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
- مسعود تجریشی، دانشیار دانشگاه صنعتی شریف
- مجید میر لطیفی، استادیار دانشگاه تربیت مدرس
- بهرام تقفیان، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: مرداد ماه ۱۳۸۳ تاریخ پذیرش: مهرماه ۱۳۸۳

Email: Arasteh@ikiu.ac.ir

### چکیده

به کمک معادله بیلان می‌توان تبخیر از سطح آزاد آب را برآورد نمود. از این روش برای تعیین میزان تبخیر از سطح مخزن چاه نیمه سیستان بهره‌گیری شده است. نه سال اطلاعات روزانه جریان‌های ورودی و خروجی، آمار نوسان سطح مخزن، بارش، تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و سرعت باد مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات در دو گروه همگن آماری مربوط به سال‌های خشک و سال‌های نرمال - مرطوب طبقه‌بندی گردید و گام‌های زمانی ۵ و ۱۰ روزه برای توسعه مدل آماری به‌کار گرفته شد. معادله بیلان برای تعیین ضریب تشت تبخیر به دو صورت مقدار ثابت و تابعی از سرعت باد تعریف گردید. برای مورد اول مقدار ثابت ۰/۵۵ و برای روش دوم ضریب متغیری بین ۰/۵ تا ۰/۷۷ به‌دست آمد. در مرحله توسعه روابط، آزمون F در سطح اعتماد ۹۹ درصد و همچنین در مرحله صحت‌یابی، آزمون  $K^2$  در سطح اعتماد ۹۹ درصد مدل را تایید کرد. آنالیز حساسیت نشان داد که مدل با ضریب ثابت در گام‌های زمان ۵ و ۱۰ روزه و گروه‌های همگن آماری از حساسیت یکسانی برخوردار است در حالی که با ضریب متغیر، حساسیت نسبت به عرض از میداء بیشتر از شیب تابع باد بوده، مدل نسبت به گام‌های زمانی ۵ و ۱۰ روزه از حساسیت یکسانی برخوردار است. از طرف دیگر، در گروه سال‌های نرمال - مرطوب، حساسیت به ضرایب مزبور کمتر از گروه سال‌های خشک می‌باشد.

کلمات کلیدی: بیلان آب، تبخیر از سطح آزاد آب، تحلیل حساسیت، چاه نیمه، سیستان، صحت‌یابی، مدل آماری.

Pajouhesh & Sazandegi No:68 pp: 2-14

Statistical model of free water surface evaporation using the volume balance method in Chahnimeh reservoir, Sistan-Iran

By: P. D. Arasteh., PhD Candidate of Tarbiat Modarres University and Research Staff of Soil Conservation and Watershed Research Institute (SCWMRI), Tehran, Iran., M. Tajrishy., Assistant Professor, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. M. Mirlatifi., Assistant Professor, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. B. Saghafian., Associate Professor, SCWMRI, Tehran, Iran

The water budget modeling is an important primary task in hydrologic studies of lakes and reservoirs. With the aid of the water budget equation, one can calculate the amount of free surface water evaporation. This method was used to determine evaporation from the Chahnimeh Reservoir in Sistan region, east of Iran. Nine years of daily inflow and outflow, water surface fluctuation, rainfall, and pan evaporation data were used in this study. A detailed investigation showed that daily water budget survey is not appropriate because of extreme fluctuation of water surface. Therefore, 5-day, 10-day, and monthly time steps were selected to form the water budget equations. The water budget equation was used to calculate pan coefficient in two cases: Annual and time dependent within the year. A regression model was formed to determine the coefficients. The model was confirmed by F test in 99 percent significant level in development phase and was verified by  $K^2$  test in 99 percent significant level in the evaluation phase, except for the monthly time step due to insufficient number of samples. Classification of data into two homogeneous groups, dry years and normal-wet years, showed that pan coefficient decreases during the 120 days wind blowing in Sistan from May to October. The reduction in pan coefficient is larger, by as much as 50 percent, in the dry years than normal-wet years.

**Key words:** Chahnimeh Reservoir, Free Water Evaporation, Sensitivity Analysis, Sistan, Statistical Model, Validation, Water Budget.

#### مقدمه

شناخت رفتار و خصوصیات هیدرولوژیکی یک دریاچه یا مخزن، اولین قدم در تهیه بیلان آبی آن است. بیلان آب در واقع همان قانون بقای جرم یا پیوستگی است. در برقراری بیلان آب عموماً باید مولفه های مختلف نسبتاً پایدار بوده و برای شرایط اقلیمی مشابه تغییرات سطح دریاچه تقریباً یکنواخت و یکسان باشد. البته به شرط آنکه این تعادل و توازن به صورت مصنوعی توسط انسان بر هم نخورد (۹).

بسته به هدف تشکیل معادله بیلان، هر یک از اجزای معادله ممکن است مجهول یا معلوم بوده و بیلان آب برای تعیین مولفه مجهول تشکیل شود. بنابراین سایر عوامل باید از طریق اندازه گیری دقیق یا تخمین قریب به واقعیت، تعیین و در معادله وارد گردند. در صورتی که هدف از تشکیل معادله بیلان تعیین سهم تبخیر از سطح دریاچه باشد، معادله بیلان برای این مولفه حل می گردد. از آنجائی که برآورد و تخمین و یا اندازه گیری سهم تعرق و مصرف گیاهان آبی کاری دشوار است، معمولاً دو مولفه تبخیر از سطح دریاچه و تعرق گیاهان آبی به صورت یک مولفه و توأمآ از معادله بیلان تخمین زده می شود.

معادله بیلان آب و چگونگی تعیین اجزای آن در تحقیقات متعددی برای بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی دریاچه ها و مخازن مورد توجه قرار گرفته است. طی مطالعه ای بر دریاچه Ziway واقع در کشور اتیوپی، Vallet-Coulomb و همکاران (۲۴) براساس تبخیر حاصل از بیلان آب به صورت ماهانه، مدل های CRLE<sup>۱</sup>، Penman و بیلان انرژی را واسنجی نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل CRLE، نسبت به سایر مدل ها، از حساسیت کمتری نسبت به متغیرهای ورودی برخوردار بوده و در نتیجه، آنان مدل فوق را انتخاب نمودند. سعادت خواه (۳) در تحقیقی در مخزن چاه نیمه سیستان، عدم کارایی برخی مدل های متداول تخمین تبخیر از جمله مدل CRLE را نشان داد.

در بسیاری از تحقیقات نظیر تحقیقات Acreman و همکاران (۶) در

دریاچه Toba در اندونزی، Turner و همکاران (۲۳) در دریاچه Bosumtwi در کشور غنا، Yin و Nicholson (۲۵) و Nicholson و همکاران (۱۹) در دریاچه Victoria در افریقای غربی، Al-Weshah (۷) در بحرالمیت در اردن، Basso (۹) در دریاچه ماناگوا در نیکاراگوئه، Motz و همکاران (۱۸) در دریاچه Lowry ایالات متحده، Jones و همکاران (۱۵) در سه دریاچه Keilambete و Bullenmerri در استرالیا و Revollo (۲۱) در دریاچه های مرزی کشورهای بولیوی و پرو، معادله بیلان آب مورد بررسی قرار گرفته است.

در مطالعات و تحقیقات فوق، هدف از مطالعه بیلان آب، برآورد تبخیر نبوده، بلکه سایر متغیرهای هیدرولوژیکی نظیر آوردها، برداشت ها، مدیریت مخازن و شناخت روند نوسان کوتاه و بلند مدت سطح آب و یا مسائل زیست محیطی مورد توجه بوده است. در نتیجه، مولفه تبخیر از یکی از مدل های شناخته شده نظیر Penman، Linacre، Priestley-Taylor و یا حتی با استفاده از ضریب تشت تبخیر، برآورد و در معادله بیلان جایگزین شده است.

در برخی از مطالعات فوق اشاره، نظیر تحقیقات Nicholson و همکاران (۱۹) و Al-Weshah (۷)، براساس مطالعات گذشته در منطقه، مدل مناسب انتخاب گردیده، اما در مابقی تحقیقات، تنها بر مبنای مقبولیت مدل ها، یکی از آنها انتخاب و بدون واسنجی در منطقه برای برآورد تبخیر در معادله بیلان آب مورد استفاده قرار گرفته است.

برای استفاده از مدل های Penman، Linacre، Priestley-Taylor و نظایر آنها، از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی واقع در اطراف دریاچه یا مخزن استفاده شده است. از آنجائی که اکثر ایستگاه ها در حاشیه و سواحل دریاچه ها قرار دارند و خصوصیات آئروودینامیکی - ترمودینامیکی خشکی مجاور به شدت با دریاچه متفاوت می باشد، به خصوص اگر مساحت دریاچه زیاد باشد، اطلاعات نقطه ای حاصل از ایستگاه زمینی، معرف کل دریاچه نخواهد بود. عدم انطباق مقادیر برآورد شده از تبخیر در ایستگاه نسبت به تبخیر اندازه گیری شده در نقاط مختلف دریاچه، در دریاچه های Kineret

حرارت بالا و خاک با نفوذپذیری کم، محدودیت منابع آب زیرزمینی، منابع آب سطحی مشترک با کشور همسایه نیز وجود دارد.

با توجه به منابع آبی سطحی کنترل شده ورودی، محدودیت منابع آب زیرزمینی و بارندگی اندک در این بخش از کشور، مهمترین و ناشناخته‌ترین مؤلفه بیلان آب، کمیت تبخیر است. نتایج مطالعات گذشته حاکی از عدم تطابق داده‌ها، مدل‌های آماری و زمین آماری و مدل‌های متداول برآورد تبخیر در این منطقه است (۲). لذا برای واسنجی مدل‌های برآورد تبخیر و همچنین تعیین ضریب تشت تبخیر کلاس A در این ناحیه، نیاز به برآورد تبخیر از سطح مخزن به‌طور دقیق می‌باشد. در تحقیق حاضر، ضمن بررسی شرایط ویژه حاکم بر مخزن چاه نیمه سیستان، به منظور تعیین تبخیر از سطح دریاچه، اقدام به تشکیل معادله بیلان آب گردید و برای منطقه مزبور ضریب تشت تبخیر کلاس A واسنجی شد.

## مواد و روش‌ها

### محل بررسی

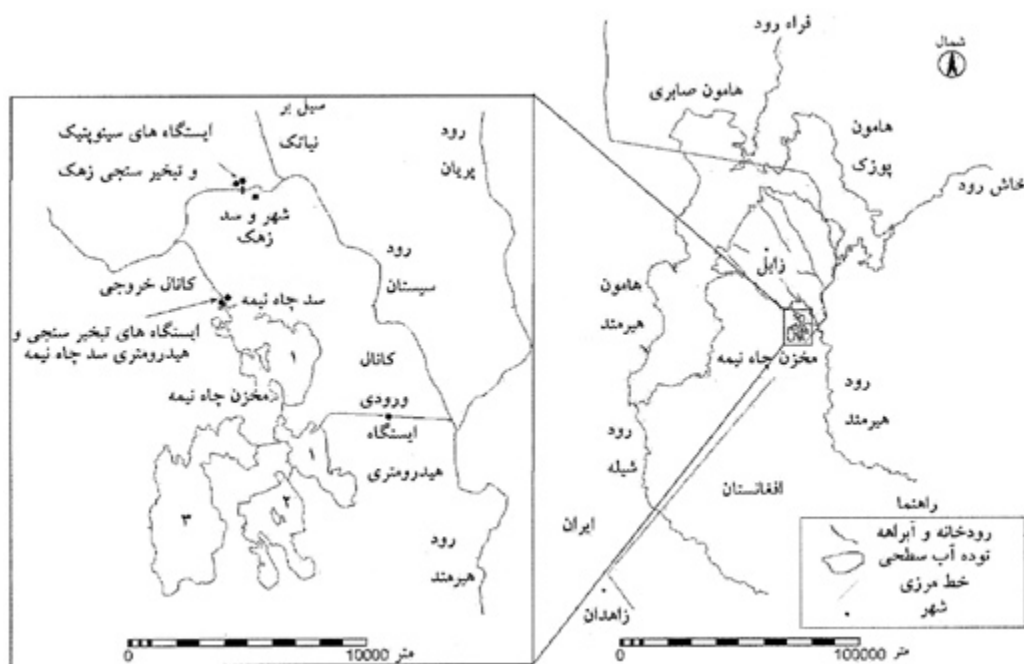
مخزن چاه نیمه که از سه گودال طبیعی ساماندهی شده تشکیل گردیده، در بخش شمالی دلتای رود هیرمند در منطقه سیستان ایران در محدوده جغرافیایی  $30^{\circ}45'$  تا  $30^{\circ}50'$  عرض شمالی،  $61^{\circ}38'$  تا  $61^{\circ}41'$  طول شرقی و ارتفاع متوسط  $500$  متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). این مخزن در سال‌های پر آبی پهنه واحدی را تشکیل می‌دهد و در سال‌های خشک، پهنه‌های آبی جداگانه‌ای را بوجود می‌آورد (شکل ۱). مخزن چاه نیمه با حداکثر گنجایش تقریبی  $630$  میلیون متر مکعب و مساحتی بالغ بر  $47$  کیلومتر مربع، منبع آب شرب شهرستان‌های زابل و زاهدان و سایر نواحی مسکونی سیستان را تشکیل می‌دهد و آب آبیاری

فلسطین اشغالی و Biwa ژاپن به ترتیب توسط Assouline و Maher (۱۶) و Ikebuchi و همکاران (۱۳) مشاهده شده است.

کاربرد روش بیلان آب نیز به دلیل ناتوانی در اندازه‌گیری دقیق جریان‌ات عبوری از قعر دریاچه، محدودیت دارد. مگر زمین شناسی منطقه نشان دهد که هیچ جریانی از کف دریاچه عبور نمی‌کند. بدین ترتیب، با اندازه‌گیری جریان‌های سطحی ورودی و خروجی در ایستگاه‌های هیدرومتری و برآورد حجم دریاچه از طریق سطح و عمق سنجی و نیز اندازه‌گیری بارش روی سطح دریاچه می‌توان تبخیر از سطح آب دریاچه را تعیین نمود.

از دیگر نکات حائز اهمیت در مطالعات بیلان آب، مقیاس زمانی اندازه‌گیری است. در برخی تحقیقات و مطالعات، پیشنهاد شده که مقیاس زمانی بیلان آب حتماً یک‌سال آبی کامل را در برگیرد و گام‌های ماهانه و ده روزه می‌تواند مناسب باشد. به عنوان مثال Ficke (۱۰) طی تحقیقات خود در دریاچه Pretty واقع در ایالات متحده، دوره‌های ماهانه و طولانی‌تری را برای تشکیل معادله بیلان پیشنهاد می‌نماید. در حالی که تحقیقات Harbeck (۱۲) بیلان روزانه را نیز بسیار مناسب تشخیص داده است. البته، دقت ابزارها و ادوات اندازه‌گیری، هدف مطالعات و مشخصات هیدرولوژیکی دریاچه نیز در تعیین مقیاس زمانی اندازه‌گیری‌ها موثر است.

منطقه سیستان از جمله مناطقی است که رویدادهای حدی نظیر سیل و خشک‌سالی در آن به وفور به وقوع می‌پیوندد و شرایط ویژه هیدرولیکی-هیدرولوژیکی و مکانسی آن، خصوصیات منحصر به فردی به این ناحیه می‌بخشد. قرار گرفتن در انتهای یک حوضه آبریز بسته، سیستم پیچیده هیدرولیکی رودخانه هیرمند و تالاب‌های هامون، همچنین وزش بادهای  $120$  روزه، شرایطی را به‌وجود آورده‌اند که این ناحیه موقعیت ویژه‌ای داشته باشد. افزون بر آن، مواردی چون بارندگی ناچیز سالانه، درجه



شکل ۱- مخزن چاه نیمه و ایستگاه‌های اندازه‌گیری موجود در منطقه

جدول (۱) نتیجه آزمون LSD برای میانگین داده‌های تشت تبخیر

سال	تعداد داده	میانگین	گروه
۱۹۹۶	۳۶۶	۱۱/۲۵	X
۱۹۹۷	۳۶۵	۱۱/۹۲	X
۱۹۹۵	۳۶۵	۱۲/۰۴	X
۱۹۹۹	۳۶۵	۱۲/۴۸	X
۱۹۹۸	۳۶۵	۱۲/۸۲	X
۲۰۰۱	۳۶۵	۱۴/۱۳	Y
۱۹۹۴	۲۴۵	۱۴/۲۰	Y
۲۰۰۰	۳۶۶	۱۴/۳۲	Y
۲۰۰۲	۳۶۵	۱۵/۶۲	Y

شد تا برای مرحله صحت یابی نتایج مورد استفاده قرار گیرد.

بیان مخزن چاه نیمه برای دوره های ۵ و ۱۰ روزه مورد توجه قرار گرفت و تبخیر از سطح آب تعیین شد. تماب (۱)، با توجه به شرایط ژئوتکنیکی بستر و جداره مخزن و طی سلسله اندازه‌گیری‌های مطالعات رسوب‌شناسی مخزن چاه نیمه، نشان داد که نفوذ آب از کف و جداره بسیار ناچیز و قابل نظر کردن است. لذا مولفه جریان‌های ورودی و خروجی از کف از معادله بیان آب حذف گردید. از طرف دیگر مخزن عاری از هر گونه گیاه آبی است، در نتیجه مولفه تعرق نیز در محاسبات دخالت داده نشد.

اطلاعات مربوط به جریان‌های ورودی و خروجی به صورت روزانه و نوسان سطح دریاچه، دو بار در روز در ایستگاه‌های هیدرومتری مستقر در مخزن، اندازه‌گیری و گزارش شده است. در این ایستگاه‌ها، اندازه‌گیری جریان‌های ورودی و خروجی مبتنی بر قرائت اشل-لیمنوگراف در یک مقطع هیدرولیکی است و اطلاعات هواشناسی در ایستگاه تبخیر سنجی سد چاه نیمه به صورت روزانه دیده بانی شده است. در مطالعه حاضر، معادله بیان به صورت معادله ۱ - مورد توجه قرار گرفت:

$$DV = V_{in} - V_{out} - E \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن: DV، تغییرات حجم ذخیره در مخزن در دوره‌های ۵ و ۱۰ روزه؛  $V_{in}$  و  $V_{out}$ ، احجام جریان‌ات ورودی شامل جریان سطحی از کانال

حدود ۸۰۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی این منطقه را تأمین می‌نماید.

از گنجایش مخزن مزبور، تنها نیمی از آن قابل بهره‌برداری است و مابقی حجم مرده این مخزن را تشکیل می‌دهد. در ساحل شمالی این مخزن، مجاور آبگیر خروجی در محل سد چاه نیمه، یک ایستگاه تبخیر سنجی احداث شده که با بیش از ۱۰ سال آمار روزانه برای انجام مطالعات، مناسب تشخیص داده شده است. همچنین از دو ایستگاه سینوپتیک شهر زهک و تبخیر سنجی پایاب سد زهک که در فاصله پنج کیلومتری شمال مخزن و در مجاورت یکدیگر واقع شده‌اند، برای تدقیق، تصحیح، تکمیل و تطویل دوره آماری بهره‌گیری شده است.

در تحقیق حاضر، دوره آماری نه ساله از ماه مه ۱۹۹۴ تا سپتامبر سال ۲۰۰۲ میلادی مد نظر قرار گرفته است که در این بازه زمانی می‌توان یک دوره کامل سال‌های خشک، نرمال و مرطوب را مشاهده نمود. اقلیم منطقه در طبقه بندی دومارتن اصلاح شده از نوع فراخشک تعیین شده است (۵).

### روش بررسی

وجود آب در هامون‌ها ممکن است بر رفتار هیدرولوژیکی چاه نیمه تأثیر داشته باشد. لذا متغیر تبخیر از تشت از دیدگاه آماری برای سال‌های مختلف در گام‌های زمان ۵ و ۱۰ روزه مورد بررسی و سنجش قرار گرفت و نهایتاً آزمون‌های  $LSD^2$  و  $MV^3$  بر میانگین‌ها و میان‌ها منجر به گروه‌بندی اطلاعات مزبور در دو گروه سال‌های همگن گردید. گروه HG۱ شامل سال‌های ۱۹۹۴، ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ و گروه HG۲ شامل سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ است. در واقع گروه اول مربوط به دوران کم آبی و گروه دوم مربوط به دوران نرمال هیدرولوژیکی و ترسالی است (جداول ۱ و ۲).

چنانچه در جدول (۲) ملاحظه می‌گردد، میان‌ه سال ۱۹۹۴ با میان‌ه سالهای ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ در سطح معنی داری ۹۹ درصد ( $\alpha=0/01$ ) تفاوت معنی داری را نشان می‌دهد. در حالی که با سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ حتی در سطح معنی داری ۹۰ درصد ( $\alpha=0/1$ ) نیز تفاوت معنی داری ندارد. سایر مقایسه‌ها نیز به همین منوال نشان می‌دهد که بین میان‌ه سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ و بین میان‌ه سال‌های ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹ تفاوت معنی داری وجود نداشته، لذا می‌توان آنها را در دو گروه همگن آماری طبقه‌بندی نمود.

برای بررسی نحوه اثر گذاری هامون‌ها بر تبخیر از سطح چاه نیمه، مقادیر تبخیر سالانه از تشت در مقابل حداکثر مساحت هامون‌ها ترسیم گردید (شکل ۲). این مساحت‌ها از طریق پردازش تصاویر AVHRR از ماهواره NOAA-۱۴ توسط مرکز مطالعات آب و محیط زیست (۴) ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می‌گردد، تغییرات مساحت هامون‌ها روندی بر خلاف روند تغییرات تبخیر از تشت مخزن چاه نیمه دارد (شکل ۲ الف).

در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹ که هامون‌ها دارای آب بوده و شرایط اقلیمی منطقه نیز نرمال بوده است (گروه HG۲)، تغییرات تبخیر از تشت چاه نیمه بسیار اندک و در سال ۲۰۰۰ که عملاً هامون‌ها فاقد آب بوده و مساحت آنها بسیار کوچک شده (گروه HG۱)، افزایش چشمگیری در تبخیر از تشت چاه نیمه قابل ملاحظه می‌باشد (شکل ۲ ب).

قبل از برقراری معادله بیان و محاسبات مربوطه، حدود ۲۰ درصد از اطلاعات به صورت تصادفی در هر گروه همگن از محاسبات کنار گذاشته

جدول (۲) مقادیر p-value آزمون Mann-Whitney برای میانه داده‌های تشت تبخیر سد چاه نیمه

سال	۱۹۹۴	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲
۱۹۹۴	-	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۴	۰/۶۹۹۷	۰/۳۹۳۸	۰/۱۹۳۹
۱۹۹۵	-	-	۰/۸۴۰۵	۰/۹۱۰۲	۰/۸۳۴۰	۰/۱۱۹۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰
۱۹۹۶	-	-	-	۰/۸۳۴۵	۰/۳۵۵۵	۰/۱۵۸۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰
۱۹۹۷	-	-	-	-	۰/۱۳۱۲	۰/۱۳۶۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰
۱۹۹۸	-	-	-	-	-	۰/۸۱۷۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۱
۱۹۹۹	-	-	-	-	-	-	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۰۰
۲۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-	۰/۸۸۱۳	۰/۳۹۱۰
۲۰۰۱	-	-	-	-	-	-	-	-	۰/۱۱۸۱
۲۰۰۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-

$$DV = V_{in} - V_{out} - f(\bar{u}, \sigma_u, \overline{RH}) E_{Pan} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن:  $K_p$ ، ضریب تشت تبخیر و  $E_{Pan}$ ، حجم تبخیر از سطح دریاچه متناظر با عمق تبخیر از تشت می‌باشد.

قبل از پرداختن به نحوه تعیین ضریب  $K_p$ ، لازم است خطای موجود در اطلاعات ورودی معادلات ۱ تا ۳ تخمین زده شود. آنالیز خطا بر اطلاعات اقلیمی و هیدرولوژیکی، میزان خطای مترتب بر داده‌های ورودی به معادله بیلان را نشان می‌دهد (جدول ۳). برای محاسبه مقادیر خطای اطلاعات ورودی، انحراف معیار اطلاعات بر جذر حاصل تفریق تعداد نمونه از درجه آزادی، تقسیم شده است. در جدول مزبور خطای مورد اشاره شامل هر دو نوع خطای سیستماتیک (بزرگی) و خطای تصادفی می‌باشد. در بررسی صورت گرفته، خطای اندازه‌گیری سرعت باد به ازای گروه‌های همگن  $HG_1$  و  $HG_2$  و گام‌های زمان ۵ و ۱۰ روزه به ترتیب: ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۱ و ۰/۰۱ متر بر ثانیه تعیین گردید.

چنانچه ذکر شد، متغیر  $E$  شامل کلیه ناشناخته‌های بیلان است. اما از آنجائی که عمده‌ترین مولفه ناشناخته بیلان آب مخزن، تبخیر از سطح آزاد آب است و آنالیز خطا نیز مقادیر اندک خطا را برای متغیرهای ورودی نشان داده است، سایر متغیرها در مقابل آن ناچیز فرض شده است. لذا  $E$ ، فقط به عنوان بیانگر تبخیر از سطح مخزن مورد توجه قرار گرفت.

با توجه به معادله ۳- مشاهده می‌گردد که برای تمامی دوره محاسبه

ورودی و بارش مستقیم بر سطح دریاچه و جریانات خروجی شامل جریان کانال آبیاری و پمپاژ آب شرب در دوره‌های زمانی فوق الذکر می‌باشد و  $E$ ، عامل مجهول بیلان است.

کلیه متغیرها بر حسب میلیون مترمکعب (MCM) طی گام زمان مورد نظر وارد محاسبات شده‌اند. متغیر  $DV$ ، با استفاده از اطلاعات تراز سطح آب در ابتدا و انتهای گام زمان و با بهره‌گیری از منحنی تراز-سطح-حجم مخزن بدست آمده است (۴). بدین ترتیب، با استفاده از تراز قرائت شده از اشل، مساحت دریاچه و حجم ذخیره آب در مخزن تعیین گردیده است. سپس تغییر حجم مخزن در طول گام زمان از تفاضل حجم مخزن در ابتدا و انتهای گام زمان محاسبه شده است.

در معادله (۱)،  $E$ ، شامل کلیه متغیرهای ناشناخته بیلان از جمله تبخیر از سطح آب است و خطاهای سیستماتیک برداشت داده را نیز شامل می‌شود. با فرض اینکه کلیه عوامل و شرایط مرزی موثر بر تبخیر از سطح دریاچه حتماً بر تبخیر از تشت کلاس A نیز موثرند، می‌توان مقدار  $E$  را با متناظر آن یعنی عبارت زیر جایگزین کرد:

$$E = K_p E_{Pan} \quad \text{معادله (۲)}$$

در نتیجه معادله بیلان به صورت زیر تغییر شکل می‌دهد:

جدول (۳) خطای موجود در اندازه‌گیری متغیرهای ورودی به مدل بیلان آب بر مبنای آنالیز خطا

گروه همگن	گام زمان	واحد	متغیر	DV	Vin	Vout	Epan
HG <sub>۱</sub>	۵ روزه	MCM/5day		۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱
		mm/day		۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۳
HG <sub>۱</sub>	۱۰ روزه	MCM/10day		۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۳
		mm/day		۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۰۸	۰/۰۷
HG <sub>۲</sub>	۵ روزه	MCM/5day		۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱
		mm/day		۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۳
HG <sub>۲</sub>	۱۰ روزه	MCM/10day		۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۳
		mm/day		۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۰۶

بررسی روابط متفاوت نشان داد که اثر سایر عوامل در مقابل سرعت متوسط باد ناچیز می‌باشد که نهایتاً به معادله جدیدی برای بیلان به صورت معادله-۵ منجر گردید:

$$DV = V_{in} - V_{out} - (a + b\bar{u})E_{pan} \quad (۵)$$

که در آن: a و b، ضرایب حاصل از رگرسیون می‌باشند. در رابطه (۵)، مقادیر  $E_{pan}$ ،  $V_{out}$ ،  $V_{in}$ ، DV، و  $\bar{u}$  از مقادیر مشاهده‌ای، به‌عنوان مقادیر معلوم وارد معادله شده و ضرایب a و b تعیین گردیدند.

### نتایج

به‌کارگیری روش‌های تشکیل معادله بیلان آب که در میحث قبل ارائه گردید، منجر به نتایجی شد که در ادامه مورد توجه قرار گرفته است. جدول-۴ معادلات برازش یافته، ضریب تعیین ( $R^2 = SSR/SST$ )، تعداد نمونه (n)، میانگین مطلق خطا (MAE)، مقدار  $F^*$  مربوط به جدول ANOVA و مقدار F سطح مخاطره (ریسک عدم معنی‌داری) مورد نظر را برای گام‌های ۵ و ۱۰ روزه و گروه‌های همگن نشان می‌دهد. در این روابط  $SSR^*$  و  $SST^*$  از جدول ANOVA استخراج شده‌اند.

با توجه به جدول-۴ ملاحظه می‌گردد که کلیه مقادیر  $F^*$  مشاهده شده از مقادیر F مخاطره یک درصد یا سطح معنی‌داری ۹۹ درصد بیشتر است. هر چه گام زمان بزرگتر می‌شود به دلیل حذف روندهای تصادفی

بیلان، به ازای هر گام زمانی، تنها یک ضریب برای تشتت تبخیر در طول سال بدست می‌آید. در حالی که مطالعات و بررسی‌های شورای منابع آب استرالیا (۸)، Sokolov و Chapman (۲۲)، Jacobs و همکاران (۱۴) و Oroud (۲۰) تاکید می‌نمایند که این ضریب یک متغیر وابسته به زمان و مکان بوده و از ماهی به ماه دیگر، از سالی به سال دیگر و از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌نماید. لذا برای اینکه تغییر پذیری ضریب تشتت ( $K_p$ ) مد نظر قرار گیرد، به صورت تابعی از سایر عوامل اقلیمی تعریف گردید.

تحقیقات Grismer و همکاران (۱۱) عواملی نظیر سرعت متوسط باد و رطوبت نسبی متوسط را در این ارتباط پیشنهاد می‌نمایند. در ادامه علاوه بر عوامل فوق‌الذکر، تغییرات سرعت باد طی گام زمان مورد نظر به صورت کمیت انحراف معیار سرعت باد در گام زمان مورد نظر نیز مورد توجه قرار گرفت. در نتیجه معادله بیلان یک‌بار دیگر تغییر شکل یافت و به صورت زیر تعریف گردید:

$$DV = V_{in} - V_{out} - f(\bar{u}, \sigma_u, RH)E_{pan} \quad (۴)$$

که در آن: f، تابع عوامل اقلیمی به‌خصوص سرعت باد است  $\bar{u}$  و، سرعت متوسط باد در گام زمان مورد نظر،  $\sigma_u$ ؛ (m/s)، انحراف معیار سرعت باد در گام زمان مورد نظر (m/s) و RH، رطوبت نسبی متوسط طی گام زمان مورد نظر (/) می‌باشند.



ضریب سرعت باد (b) نسبت به ضریب a در تابع باد به مراتب کمتر است. همچنین، در شکل ۴ - مشاهده می‌شود که  $\pm 10\%$  درصد تغییر در ضریب a تابع باد، مقادیر  $\pm 4\%$  و  $\pm 3\%$  درصد، تغییر در برآورد نوسانات حجم مخزن، به ترتیب برای سال‌های گروه‌های همگن HG1 و HG2 و مقادیری کمتر از  $\pm 1\%$  درصد به ازای ضریب b بدست داده است. از طرف دیگر حساسیت مدل‌ها نسبت به متغیرهای ورودی معادله یعنی احجام جریان‌های ورودی و خروجی و حجم تبخیر از تشت متناظر با وسعت دریاچه و سرعت وزش باد مورد سنجش قرار گرفت. برای این منظور ضریب رگرسیون جزئی استاندارد شده<sup>۶</sup> محاسبه گردید که معیاری از حساسیت نسبی تابع به متغیرهای آن می‌باشد (۱۷).

جدول ۶- نتایج را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۶- ملاحظه می‌گردد که به صورت نسبی، حساسیت مدل‌ها نسبت به متغیر جریان ورودی بسیار بیشتر از سایر متغیرهای معادلات می‌باشد و در این بین کمترین حساسیت مربوط به متغیر سرعت باد است. بدین ترتیب در بکارگیری معادلات بیلان آب در مخزن چاه نیمه، به هنگام تهیه اطلاعات مربوط به جریان ورودی بایستی بیشترین دقت را به عمل آورد.

### بحث

بررسی معادلات مندرج در جدول ۴- نشان می‌دهد که مقدار ثابت ضریب تشت تبخیر در معادله ۳- برای تمام سال، اندکی از  $0/5$  بزرگتر است و گام‌های زمان متفاوت و گروه‌بندی اطلاعات نیز اثر چندانی بر نتایج ندارد. در حالی که تابع باد معادله ۵- که در واقع نقش ضریب تشت تبخیر را در معادله بیلان ایفا می‌نماید، به ازای محدوده تغییرات سرعت باد در ارتفاع دو متری در محدوده مخزن، تغییراتی در محدوده  $0/51$  تا  $0/75$  و  $0/53$  تا  $0/77$  برای گام‌های ۵ و ۱۰ روزه در گروه HG1 و  $0/51$  تا  $0/56$  و  $0/51$  تا  $0/54$  برای گام‌های زمان ۵ و ۱۰ روزه در گروه HG2 نشان داده است. این مقادیر با مقدار  $0/66$  توصیه شده توسط سعادت خواه

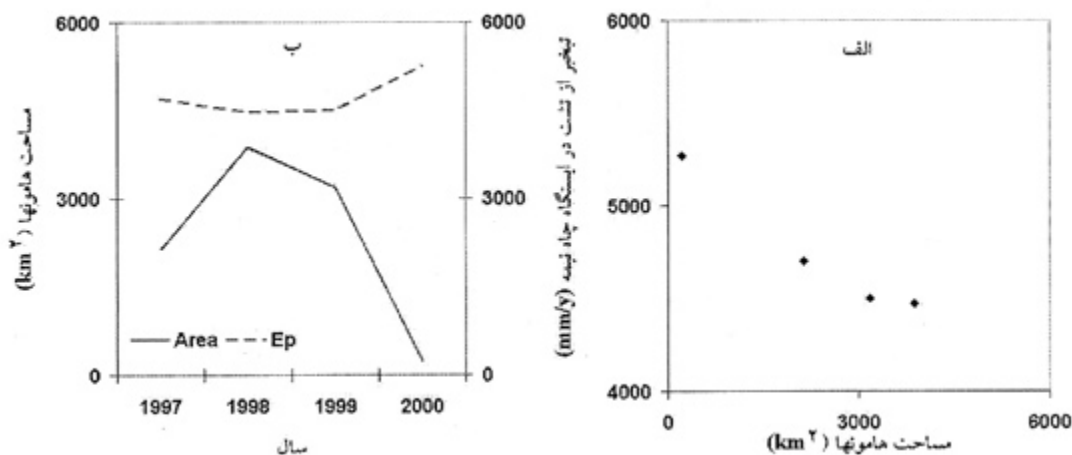
و هموارسازی در داده‌ها، ضریب تعیین افزایش یافته است. در حالی که به دلیل تجمیع خطا در گام‌های زمانی طولانی‌تر، مقدار خطای برآورد MAE با افزایش گام زمان، افزایش یافته است. اما لازم به تأکید است که مقادیر MAE در طول گام زمان در جدول ۴- ارائه شده است.

برای صحت یابی معادلات بدست آمده، ۲۰ درصد اطلاعات کنار گذاشته شد. آزمون  $K^2$  برای صحت یابی روابط، به ازای این اطلاعات انجام شد که نتایج آن در جدول ۵- ارائه شده است.

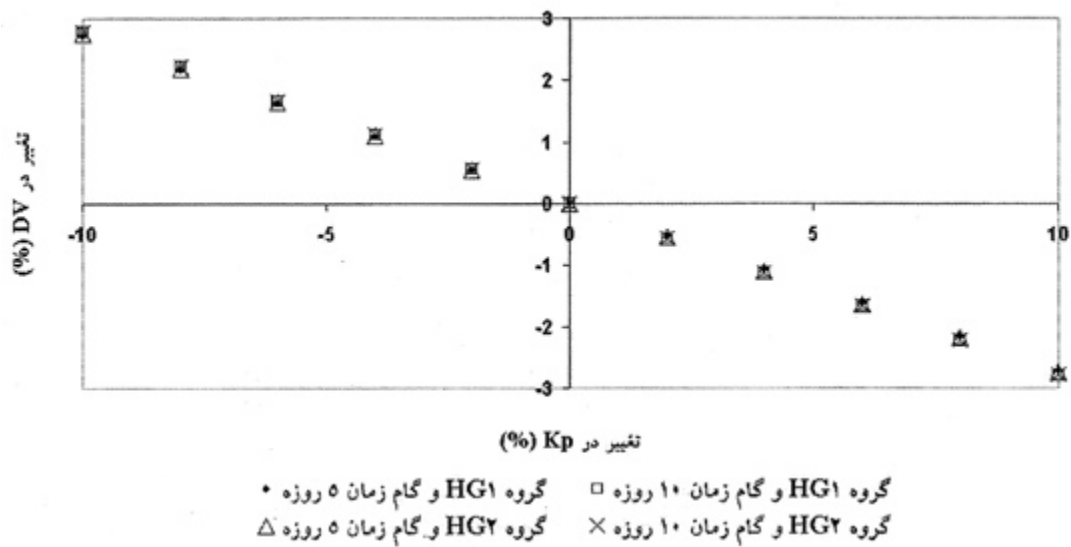
برای این منظور، مقادیر DV از معادلات تعیین و با مقادیر مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت و مقادیر  $K^2$  برای آزمون مورد نظر محاسبه شد. جدول ۵- نشان می‌دهد که معادلات بدست آمده در گام‌های ۵ و ۱۰ روزه در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد قادر به شبیه‌سازی بیلان و تبخیر از سطح مخزن چاه نیمه می‌باشند. مقادیر  $K^2$  کوچکتر از  $K^2$  سطح مخاطره  $0/01$  بر این نکته تأکید می‌نماید.

برای بررسی حساسیت روابط برازش یافته به ضرایب رگرسیونی بدست آمده، آنالیز حساسیتی به شرح ذیل صورت گرفت. برای آنالیز حساسیت، به ازای  $\pm 10\%$  درصد تغییر در ضرایب معادلات ۳ و ۵، میزان درصد تغییرات تلفات تبخیر از سطح مخزن مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نتایج آنالیز حساسیت را برای معادلات ۳ و ۵ نشان می‌دهند.

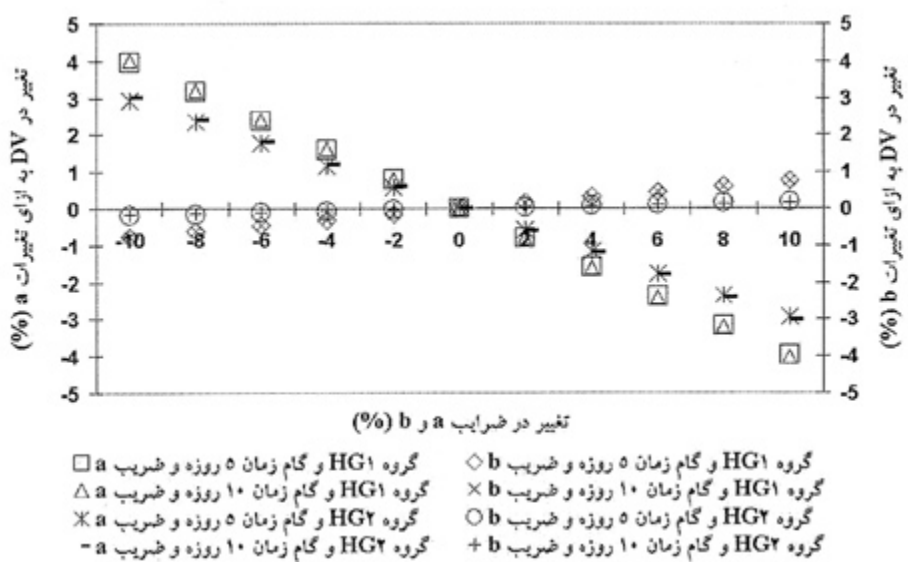
در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد که به ازای  $\pm 10\%$  درصد تغییر در ضریب رگرسیونی  $K_p$ ، تنها کمتر از  $\pm 3\%$  درصد تغییر در برآورد تلفات از سطح مخزن بوجود آمده است و گروه همگن و گام زمان نیز تاثیر قابل توجهی بر نتایج ندارند. در حالی که با توجه به شکل ۴ گروه‌بندی اطلاعات به صورت سال‌های آماری همگن، بر نرخ حساسیت مدل‌ها اثر داشته، تفاوت شیب خطوط در دو گروه همگن بر این مدعا تأکید می‌نماید. اما در شکل ۴ نیز ملاحظه می‌شود که گام زمان تاثیر قابل توجهی بر نتایج ندارد. چنانچه در شکل ۴- ملاحظه می‌گردد، حساسیت معادلات به



شکل ۲- مقایسه تبخیر سالانه از تشت مخزن چاه نیمه در مقابل حداکثر مساحت هامون‌ها



شکل ۳- آنالیز حساسیت معادله ۳- نسبت به تغییرات ضریب Kp



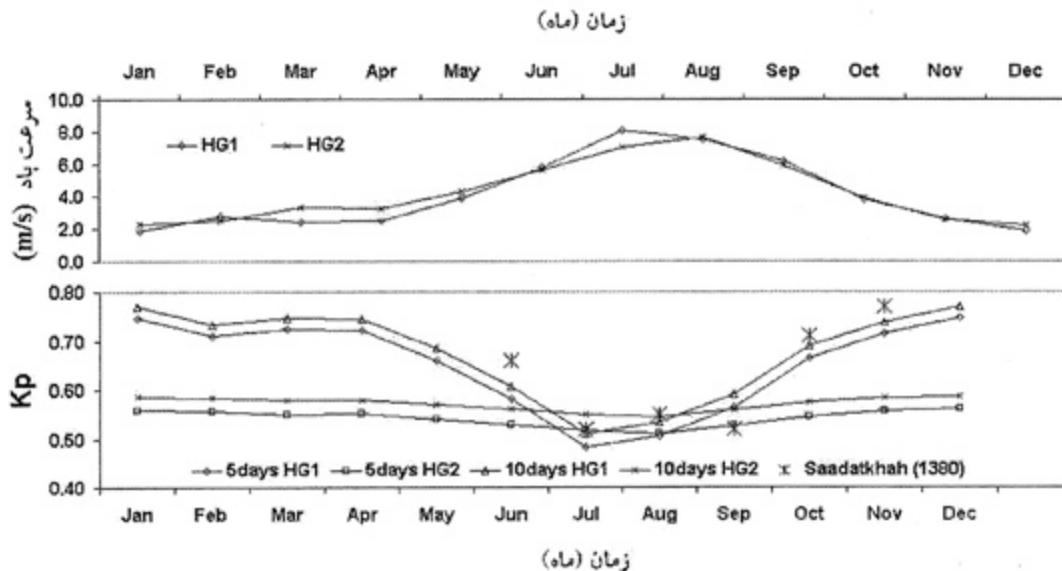
شکل ۴- آنالیز حساسیت معادله ۵- نسبت به تغییرات ضرایب a و b



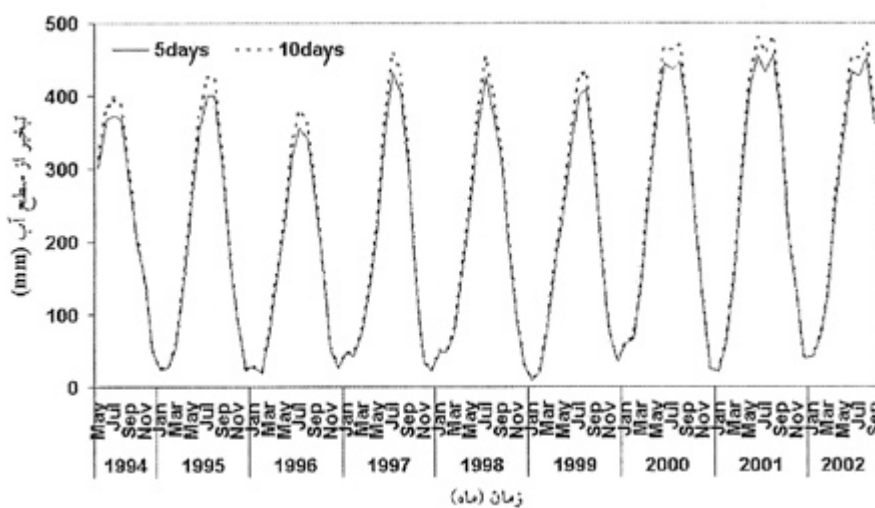
همانطوریکه شکل ۵- نشان می‌دهد، در ماه‌های مه تا اکتبر که موعد وزش بادهای ۱۲۰ روزه و اوج گیری سرعت وزش باد در سیستان نیز می‌باشد، منطقه مطالعاتی تغییرات چشمگیری در  $K_p$  را تجربه می‌نماید. بررسی نوسان  $K_p$  به ازای گروه همگن ۱ (شکل ۵) نشان می‌دهد که به ازای گام‌های زمان ۵ و ۱۰ روزه در ماه‌های مه تا اکتبر (اوج گیری سرعت باد) کاهش شدید  $K_p$  ملاحظه می‌گردد و تبخیر از دریاچه تا ۵۰ درصد تبخیر از تشت کاهش می‌یابد. روندی مشابه اما

(۳) مطابقت ندارد.

بیان بیلان آب به صورت معادله ۵- منجر به توسعه مدلی برای ضریب تشت تبخیر به صورت متغیری وابسته به زمان گردید. چرا که سرعت متوسط باد تابع زمان و فصل از سال است. بدین معنی که با بروز بادهای ۱۲۰ روزه، سرعت لحظه‌ای و به دنبال آن سرعت متوسط روزانه افزایش می‌یابد. توزیع زمانی  $K_p$  برای گام‌های زمانی ۵ و ۱۰ روزه به شرح شکل ۵- می‌باشد.



شکل ۵- توزیع زمانی ضریب تشت تبخیر در محدوده مخزن چاه نیمه



شکل ۶- برآورد تبخیر از سطح مخزن چاه نیمه به ازای گام زمان ۵ و ۱۰ روزه

گرمای نهان مستهلک می‌گردد و محتوای انرژی محسوس رسیده به منطقه چاه نیمه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر استهلاک انرژی محسوس بر روی هامون‌ها و انجام عمل تبخیر از سطح هامون‌ها، رطوبت نسبی منطقه‌ای را افزایش داده که به نوبه خود موجب کاهش کمبود فشار بخار می‌شود که هر دو عامل (کاهش محتوای حرارت محسوس و کاهش کمبود فشار بخار) سبب کاهش تبخیر از تشت و سطح دریاچه می‌گردند.

از طرف دیگر ملاحظه می‌گردد که در هر دو گروه همگن، ضرایب تشت تبخیر در گام زمان ۱۰ روزه از ضرایب برآورد شده در گام ۵ روزه بیشتر است که علت آن را می‌توان در متوسط گیری سرعت در طول گام‌های زمان مختلف جستجو نمود. بدین ترتیب که در گام زمان ۵ روزه، نوسان سرعت باد در دوره ای کوتاه تر متوسط گیری شده و این نوسانات و اثرات متفاوت آن بر تشت و سطح مخزن بهتر از گام زمان ۱۰ روزه رؤیت شده است.

در شکل ۵-، همچنین ملاحظه می‌شود که مقادیر پیشنهادی سعادت خواه (۳) برای ضریب تشت تبخیر کلاس A، عموماً از مقادیر بدست آمده در این تحقیق بیشتر است و در مدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه، نوساناتی از خود نشان می‌دهد که با وزش این بادهای، مغایرت دارد و از آن تبعیت نمی‌کند.

نهایتاً با توجه به ضرایب تشت تبخیر حاصل از گروه‌های HG۱ و HG۲، اقدام به برآورد تبخیر از سطح مخزن چاه نیمه گردید که شکل ۶- این

با شدتی کمتر برای دوره همگن HG۲ نیز روی می‌دهد. بررسی روند تغییرات ضریب تشت برای دوره‌های همگن آماری نشان می‌دهد که با افزایش سرعت باد در ماه‌های مه تا اکتبر شرایط مرزی و پیرامونی تشت تبخیر به شدت تغییر می‌یابد، در حالی که به دلیل دیواره‌های نسبتاً مرتفع و عمودی مخزن و عمق سطح ایستابی دریاچه از اراضی مجاور، سبب تعدیل اثر باد شده، شرایط تبخیری دریاچه را از تشت تبخیر کاملاً متفاوت می‌نماید. تحقیقات Jacobs و همکاران (۱۴) و Oroud (۲۰) بر شرایط مرزی حاکم بر تشت‌های تبخیر و مدل‌سازی عددی آن نیز موید همین مسئله می‌باشد.

ملاحظه شکل ۵-، همچنین نشان می‌دهد که روند کاهش ضریب تشت در دوره همگن HG۱ شدیدتر از ماه‌های مشابه در دوره همگن HG۲ می‌باشد که علت آن را باید در محتوای انرژی محسوس جستجو نمود. چنانچه ذکر شد گروه همگن HG۱ مربوط به سال‌های خشکی است که هامون‌ها فاقد آب می‌باشند. لذا وزش بادهای ۱۲۰ روزه، انرژی عظیمی را در قالب انرژی محسوس از عرض‌های جغرافیایی متوسط و اراضی کویری فلات مرکزی ایران به منطقه سیستان وارد کرده، به شدت تبخیر از تشت را تحت تاثیر قرار داده، آنرا افزایش می‌دهد. چنین پدیده ای را ادوکسیون منطقه‌ای انرژی می‌نامند. در حالی که طی سال‌های گروه همگن HG۲ به دلیل عبور توده‌ای انرژی محسوس از توده بسیار وسیع هامون‌ها به وسعت تقریبی ۴۰۰۰ کیلومتر مربع، بخشی از این انرژی صرف تبخیر از سطح هامون‌ها شده و به صورت

جدول (۴) مدل‌های برازش یافته برای برآورد تبخیر از سطح مخزن چاه نیمه.

گروه	گام زمان	معادله	n	R <sup>2</sup> (%)	MAE (MCM)	F*	F (α=۰/۰۱)
HG۱	۵ روزه	$DV=V_{in}-V_{out}-0/53E_{pan}$	۱۸۳	۹۴/۹	-۰/۸۴۳	۳۴۲۷	۶/۷۸
		$DV=V_{in}-V_{out}-(0/83-0/04\bar{U}_r)E_{pan}$	۱۸۳	۹۵/۱	-۰/۶۲۹	۱۷۵۵	۴/۷۲
	۱۰ روزه	$DV=V_{in}-V_{out}-0/55E_{pan}$	۸۴	۹۹/۲	-۰/۹۳۳	۱۰۷۷۶	۶/۹۵
		$DV=V_{in}-V_{out}-(0/85-0/04\bar{U}_r)E_{pan}$	۸۴	۹۹/۳	-۰/۹۳۱	۵۹۹۵	۴/۸۷
HG۲	۵ روزه	$DV=V_{in}-V_{out}-0/54E_{pan}$	۲۸۶	۹۲/۱	۱/۴۵۵	۳۳۵۲	۶/۷۲
		$DV=V_{in}-V_{out}-(0/58-0/009\bar{U}_r)E_{pan}$	۲۸۶	۹۲/۱	۱/۴۴۳	۱۶۷۱	۴/۶۸
	۱۰ روزه	$DV=V_{in}-V_{out}-0/55E_{pan}$	۱۴۸	۹۷/۸	۱/۹۶۰	۶۶۵۸	۶/۸۱
		$DV=V_{in}-V_{out}-(0/6-0/008\bar{U}_r)E_{pan}$	۱۴۸	۹۷/۸	۱/۹۶۰	۳۳۱۰	۴/۷۵

جدول (۵) آزمون  $K_p$  برای نتایج صحت یابی معادلات جدول (۴) در مخزن چاه نیمه

گروه	$\Delta t$	معادله	$K^*$	$K^2 (\alpha=0/99)$	$K^2 (\alpha=0/95)$
HG <sub>1</sub>	۵ روزه	۳	۰/۰۱	۰/۳۰	۰/۷۱
		۵	۰/۰۵	۰/۵۵	۱/۱۵
	۱۰ روزه	۳	۰/۰۳	۰/۳۰	۰/۷۱
		۵	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۷۱
HG <sub>2</sub>	۵ روزه	۳	۰/۰۸	۰/۸۷	۱/۶۴
		۵	۰/۲۰	۲/۰۹	۳/۳۳
	۱۰ روزه	۳	۰/۰۷	۰/۸۷	۱/۶۴
		۵	۰/۲۳	۲/۵۶	۳/۹۴

جدول (۶) حساسیت نسبی متغیرهای ورودی معادلات بیلان آب در مخزن چاه نیمه

معادله	گروه	گام زمان	$V_{in}$	$V_{out}$	$E_{pan}$	U
۳	HG <sub>1</sub>	۵ روزه	۱/۰۸	۰/۲۹	۰/۱۲	-
		۱۰ روزه	۰/۹۸	۰/۲۳	۰/۱۱	-
	HG <sub>2</sub>	۵ روزه	۱/۲۱	۰/۶۳	۰/۱۵	-
		۱۰ روزه	۰/۹۸	۰/۴۱	۰/۱۱	-
۵	HG <sub>1</sub>	۵ روزه	۱/۰۸	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۰۱۴۰
		۱۰ روزه	۰/۹۸	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۰۰۵۸
	HG <sub>2</sub>	۵ روزه	۱/۲۱	۰/۶۳	۰/۱۵	۰/۰۰۳۰
		۱۰ روزه	۰/۹۸	۰/۴۱	۰/۱۱	۰/۰۰۰۸

5- Total Sum of Square

6- Standardized Partial Regression Coefficient

### منابع مورد استفاده

- ۱- تماب. ۱۳۶۸؛ مطالعات رسوب‌سنجی و رسوب‌شناسی مخزن چاه نیمه. سازمان تحقیقات منابع آب، وزارت نیرو، نشریه شماره ۱۰۸.
- ۲- دانش کار آراسته، پ. ۱۳۸۳؛ بررسی کفایت و کیفیت اطلاعات و مطالعات تبخیرسنجی در محدوده هامون‌ها. نت فنی هامون، شماره ۳-۱۳۸۳، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف.
- ۳- سعادت خواه، ن. ۱۳۸۰؛ برآورد و پهنه‌بندی تبخیر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۲۵ ص.
- ۴- مرکز مطالعات آب و محیط زیست. ۱۳۸۱؛ مطالعات تبخیرسنجی مخزن چاه نیمه. دانشگاه صنعتی شریف.
- ۵- میانه رو، م. ۱۳۸۰؛ تعیین روند بیابان‌زایی در مناطق آسیب پذیر ایران مبتنی بر شاخص‌های اقلیمی و با اتکاء به مدل‌های ریاضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، ۱۴۵ ص.
- 6-Acreman, M.C., J.R. Meigh, and K.J. Sene.1993; Modeling the decline in water level of Lake Toba, Indonesia. *Advances in Water Resources* 16: 207-222.
- 7-Al-Weshah, R.A. 2000; The water balance of dead sea: An integrated approach. *Hydrological Processes* 14: 145-154.
- 8-AWRC. 1970; Evaporation from water storages. Department of National Development, Australian Water Resources Council, Hydrological Series No. 4, Canberra, Australia.
- 9-Basso, E. 2000; Alteration of water balance of lakes. *Lake & Reservoirs Research and Management* 5: 5-9.
- 10-Ficke, J.F. 1972; Comparison of evaporation computation methods: Pretty Lake, Lagrange County, Northeast Indiana. USGS Professional Paper 686-A, Washington D.C., USA.
- 11-Grismer, M.E., M. Orang, R. Snyder, and R. Matyac. 2002; Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 128(3): 180-184.
- 12-Harbeck, G.E. Jr. 1962; A practical field technique for measuring reservoir evaporation utilizing mass transfer theory. USGS Professional Paper 272-E, Washington D.C., USA.
- 13-Ikebuchi, S., M. Seki, and A. Ohtoh. 1988; Evaporation from Lake Biwa. *Journal of Hydrology* 102: 427-449.
- 14-Jacobs, A.F.G., B.G. Heusinkveld, and D.C. Lucassen. 1998; Temperature variation in a class A evaporation pan. *Journal of Hydrology* 206: 75-83.
- 15-Jones, R.N., T.A. McMahon, and J.M. Bowler. 2001; Modelling historical lake levels and recent climate change at three closed lakes, Western Victoria, Australia (c.1840-1990).

مقادیر را به ازای گام‌های زمان ۵ و ۱۰ روزه نشان می‌دهد. در این شکل، مقادیر تبخیر برآورد شده از سطح آب مخزن در سال‌هایی که هامون‌ها فاقد آب می‌باشند، اندکی بیشتر از سال‌هایی است که هامون‌ها آب دارند.

### نتیجه‌گیری و پیشنهاد

عمده نتایج بدست آمده از این تحقیق را می‌توان به شکل زیر خلاصه نمود:

- ۱- در مراحل توسعه و صحت یابی روابط، به ازای هر دو گام زمان، به ترتیب آزمون‌های F و  $K^2$  که از آزمون‌های متداول بررسی‌های مدل‌های رگرسیونی می‌باشند، در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد با موفقیت پشت سر گذاشته شدند.
- ۲- آنالیز حساسیت حاکی از حساسیت روابط به گام زمان بود و تغییری به میزان  $\pm 10\%$  درصد در ضرایب معادلات، کمتر از  $\pm 4\%$  درصد، تغییر در برآورد نوسان سطح مخزن ناشی از تلفات تبخیر نشان داد.
- ۳- ضریب تشست تبخیر به صورت یک کمیت ثابت در طول سال مقداری معادل ۰/۵ بدست آورد. در حالی که ضریب تشست به صورت تابعی از سرعت باد برای سال‌هایی که هامون‌ها آب دارند در محدوده ۰/۵ تا ۰/۵۶ و در سال‌هایی که هامون‌ها فاقد آب هستند در محدوده ۰/۵ تا ۰/۷۷ تغییر می‌نماید.
- ۴- ضریب رگرسیون جزئی استاندارد شده نشان داد که حساسیت نسبی متغیر جریان ورودی از کلیه اطلاعات ورودی معادله بیلان آب بیشتر است.
- ۵- بررسی‌ها نشان داد که در ماه‌های مه تا اکتبر هر سال (موعد وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان) ضریب تشست کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که رفتار ترمودینامیکی مخزن با تشست تبخیر در این ایام متفاوت است. یعنی شرایط مرزی حاکم بر تشست با مخزن یکی نیست و این کاهش در مقدار ضریب تشست تبخیر در سال‌های خشک که هامون‌ها فاقد آب می‌باشند یا مساحت آنها به شدت کاهش یافته است، زیادتر است.
- از آنجا که تغییر روند ضریب تشست تبخیر در طول سال وابستگی به وجود و فقدان آب در هامون‌ها و وزش بادهای ۱۲۰ روزه دارد، برای بررسی اثرات انتقال افقی انرژی محسوس یا به عبارت دیگر اثر واحای منطقه‌ای، پیشنهاد می‌گردد، تحقیقی در این زمینه به صورت مستقل و از طریق معادله بیلان انرژی مخزن چاه نیمه، صورت پذیرد.

\* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول مقاله می‌باشد.

### سیاسگزاری

بدین‌وسیله از آقای دکتر محمدحسین مهدیان، معاونت محترم پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور که بازخوانی و ویراستاری علمی مقاله را به عهده داشته‌اند، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

### پاورقی‌ها

- 1- Complementary Relationship Lake Evaporation
- 2- Least Significant Differences
- 3- Mann-Whitney
- 4- Regression Model Sum of Square

- Journal of Hydrology 246: 159-180.
- 16-Mahrer, Y. and S. Assouline. 1993; Evaporation from Lake Kinneret: 2- Estimation of the horizontal variability using a two-dimensional numerical meso-scale model. Water Resources Research 29: 911-916.
- 17-McCuen, R.H. 2003; Modeling hydrologic change: Statistical methods. Lewis Publishers, New York, USA, 333-365.
- 18-Motz, L.H., G.D. Sousa, and M.D. Annable. 2001; Water budget and vertical conductance for Lowry (Sand Hill) Lake in North-Central Florida, USA. Journal of Hydrology 250: 134-148.
- 19-Nicholson, S.E., X. Yin, and B.B. Mamoudou. 2000; On the feasibility of using a lake water balance model to infer rainfall: An example from Lake Victoria. Hydrological Sciences Journal 45(1): 75-95.
- 20-Oroud, I.M. 1998; The influence of heat conduction on evaporation from sunken pans in hot, dry environment. Journal of Hydrology 210: 1-10.
- 21-Revollo, M.M. 2001; Management issues in lake Titicaca and lake Poopo systems: Importance of developing a water budget. Lake & Reservoirs Research and Management 6: 225-229.
- 22-Sokolov, A.A. and T.G. Chapman. 1974; Methods for water balance computations. UNESCO Reports in Hydrology No. 17.
- 23-Turner, B.F., L.R. Gardner, and W.E Sharp. 1996; The hydrology of Lake Bosumtwi, a climate-sensitive lake in Ghana, West Africa. Journal of Hydrology 183: 243-261.
- 24-Vallet-Coulomb, C., D Legesse, F. Gasse, T. Travi, and T. Chernet. 2001; Lake evaporation estimates in tropical Africa (Lake Ziway, Ethiopia). Journal of Hydrology 245: 1-18.
- 25-Yin, X. and S.E. Nicholson. 1998; The water balance of Lake Victoria. Hydrological Sciences Journal 43(5): 789-811.

