

مقایسه روش های تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب (مطالعه موردی: سد تنظیمی دز)

مهدی نجفوند دریکوندی^۱، حسین اسلامی^{۲*}

۱- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران (نویسنده مسول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۰۲

چکیده

تبخیر عامل مهمی در مدیریت منابع آب است و با محاسبه دقیق آن می توان راهکارهای موثری در جهت کاهش اثرات خشکسالی و به منظور حفاظت منابع آب اجرا نمود. به دلیل کمبود ایستگاههای تبخیرسنجی و عدم وجود آمار کافی از تبخیر از روشهای تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب می توان استفاده نمود. در این تحقیق با استفاده از آمار ۱۰ ساله ایستگاه سد تنظیمی دز با استفاده از روشهای تجربی مایر، ماریسانو، شاهتین، هفتر، ایوانف، تیچومیروف و سازمان عمران اراضی آمریکا، تبخیر برآورد و با مقادیر تبخیر از تشت مقایسه شد. عملکرد روابط تجربی بر اساس دو آماره R^2 و RSME مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رابطه مایر ($R^2 = 0.886$, $RMSE = 1.53$) نسبت به سایر روشهای تجربی از دقت بالاتری برخوردار است. در رتبه بعدی معادله سازمان عمران آمریکا ($R^2 = 0.91$, $RMSE = 1.967$) قرار می گیرد و به علاوه اختلاف معنی داری ($P > 0.01$) میان مقادیر واقعی و برآورد شده در این دو روش دیده نمی شود. روش تیچومیروف با توجه به خطای زیاد ($RMSE = 8.152$) و برازش پائین با داده های واقعی ($R^2 = 0.33$) فاقد اعتبار لازم می باشد و روابط تجربی هفتر، ماریسانو، ایوانف و شاهتین به ترتیب با ضریب تعیین برابر با ۰/۵۴۸، ۰/۵۳۴، ۰/۶۳۹ و ۰/۶۶۴ از میزان اعتبار و قابلیت اعتماد متوسطی در برآورد میزان تبخیر از سطح آزاد آب برخوردارند.

واژه های کلیدی: تبخیر، روش تجربی، سد تنظیمی دز، مایر، تشت تبخیر.

مقدمه

بحث تبخیر از سطح آزاد آب، ثبت مقدار تبخیر است. تشتک تبخیر به علت سهولت تفسیر داده های آن در سراسر دنیا به عنوان شاخصی برای تعیین تبخیر از دریاچه ها و مخازن استفاده می شود (گوئل، ۲۰۰۹). به دلیل بالا بودن هزینه های تعمیر و نگهداری تشتها و عدم امکان نصب آن ها در همه مناطق و مهمتر از همه برآوردهای کمتر از واقعیت تشت (سودر، ۲۰۰۰)، استفاده از روش های ریاضی و روابط تجربی برآورد تبخیر رواج زیادی یافته است. بیشتر محققین با اصلاح روابط تجربی موجود و کشف روابط جدید سعی در یافتن روابط ساده و در عین حال دقیق جهت جایگزینی روش های میدانی هستند. در این مورد تعیین تبخیر و در درجه بعدی تبخیر و تعرق با استفاده

ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده به طوری که متوسط سالانه بارندگی حدود یک سوم بارندگی سالانه کره زمین و متوسط تبخیر حدود سه برابر تبخیر سالانه کره زمین است (قبادیان و همکاران، ۱۳۸۷). یکی از راههای مهم سازگاری با خشکی در ایران خصوصا در بخش کشاورزی استفاده بهینه و پایدار از منابع آب است. بنابراین برای جلوگیری از بحران آب نیاز به مدیریت مناسب در بخش کشاورزی و منابع آب ضرورت دارد. اهمیت تبخیر از آنجا آشکار می شود که سالانه میلیون ها متر مکعب آب شیرین موجود در دریاچه ها و مخازن سدها تبخیر شده و به هدر می رود. یکی از مسائل مهم در

روش ایوانف در بین روش های مورد مطالعه هم خوانی خوبی با داده های اندازه گیری شده دارد.

یزدانی و همکاران (۱۳۹۰)، از روابط تجربی برای تخمین میزان تبخیر از سطح آزاد آب و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی و ارائه بهترین روش تجربی در اراضی شالیزار آمل با استفاده از داده های هواشناسی دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی (حداکثر و حداقل)، ساعات آفتابی و سرعت باد در دوره آماری ۱۲ ساله ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۷ میلادی به کار گرفتند. نتایج نشان داد که شبکه های عصبی توانایی بالایی در تخمین تبخیر از سطح آزاد دارد و روش تجربی ایوانف بهترین همبستگی با مقدار تبخیر از تشتک نسبت به سایر روش های تجربی در منطقه آمل دارد. ستاری و همکاران (۱۳۹۳) تبخیر از سد علویان مراغه را با روشهای تجربی برآورد نمودند نتایج نشان داد که روش مایر روش مناسبی بوده است. جهرمی (۱۳۹۴) روشهای تجربی مختلفی را برای برآورد تبخیر در دو اقلیم متفاوت استان فارس بکار گرفت و به این نتیجه رسید که روش مایر و ایوانف دقت بالاتری داشته اند. در این تحقیق جهت ارزیابی عملکرد روش های تجربی، نتایج حاصل از برآورد تبخیر با مقادیر مشاهداتی تبخیر از تشت مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش ها

سد دز بر روی رودخانه دز در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان دزفول بنا شده است. این سد از نخستین رشته سدهای چندمنظوره است که در ۲۳ اسفندماه ۱۳۴۱ مورد بهره برداری قرار گرفت. هدف از احداث سد مخزنی دز تأمین نیروی لازم جهت تولید برق، ذخیره آب جهت مصارف کشاورزی، کشتیرانی در اروند و کارون و نهایتاً کنترل سیلاب های مخرب سالانه در دشت خوزستان بوده است.

طول دریاچه پشت سد دز ۶۵ کیلومترمربع و ظرفیت نهایی مخزن ۳/۳ میلیارد مترمکعب تقریب زده شده است. سرچشمه رودخانه دز از رشته کوه های

از روابط تجربی به دلیل پیچیده بودن این دو رابطه ضروری به نظر می رسد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰). بیشتر روشهای تجربی ارائه شده جهت تخمین تبخیر بر پایه رابطه دالتون و مبتنی بر اصل بقای جرم است. مهمترین پارامترهای هواشناسی موثر در تبخیر از سطح آزاد آب شامل سرعت باد، تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی و فشار بخار اشباع می باشد. روابط تجربی ارائه شده با مد نظر گرفتن هر یک از این پارامترها سعی در کاهش خطای برآورد میزان تبخیر دارند. هر یک از این روابط بنا به شرایط آب و هوایی هر منطقه توصیه شده است، به عنوان مثال رابطه ایوانف برای مناطقی با اقلیم خشک و نیمه خشک پیشنهاد شده است (ولایتی، ۱۳۹۰). بنابراین دقت روابط تجربی در مناطق مختلف متفاوت است و در هر منطقه نیاز به بررسی و واسنجی دارد (وان زیل و همکاران، ۲۰۰۴). از آنجایی که شرایط آب و هوایی در هر منطقه متفاوت است، لذا تعیین مناسب ترین روش تجربی برای تخمین تبخیر که کمترین اختلاف را با نتایج تشتک داشته باشد، امری اجتناب ناپذیر است. برآورد صحیح تبخیر در برنامه ریزی های منابع آب ضروری است و تعیین مناسب ترین روش تجربی با دقت مطلوب می تواند مسائل و مشکلات مرتبط با تشتک تبخیر را تا حدودی حل کند و با صرف زمان و هزینه کمتر نتیجه دلخواه بدست آید. لذا با توجه به اینکه روش های معرفی شده اغلب تجربی هستند و برای هر منطقه باید واسنجی شوند، لازم است روشی معرفی شود که توانایی محاسبه تبخیر از سطح آزاد در شرایط آب و هوایی مختلف را با دقت کافی دارا باشد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰).

زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۴)، در مطالعه ای با استفاده از اطلاعات ۲۵ ایستگاه هواشناسی در سطح کشور ایران، مقادیر تبخیر ماهانه از ۴ روش تجربی و نظری برآورد شد و مقایسه تبخیر برآوردی با مقادیر اندازه گیری شده ی تشت تبخیر کلاس A نشان داد.

دمای آب می‌شود که از سیکل دمای هوا عقب تر می‌باشند. میزان تبخیر از سطح آب‌ها معمولاً در مناطق خشک، بویژه در مناطقی که جریان‌های افقی انتقال حرارت به میزان قابل ملاحظه‌ای وجود دارد، نسبت به مناطق مرطوب بیشتر خواهد بود (حیدری بنی و همکاران، ۱۳۸۹).

در هیدرولوژی تخمین مقدار تبخیر از سطوح آزاد آب برای محاسبه تلفات آب در مخازن صورت می‌گیرد. میزان تبخیر بر حسب ارتفاع اندازه‌گیری شده و واحد آن معمولاً میلی‌متر، سانتی‌متر و یا اینچ می‌باشد. ساده‌ترین وسیله اندازه‌گیری تبخیر، استفاده از تشت‌هایی می‌باشد که در روی زمین و یا بر روی آب شناور می‌باشند. سال‌های زیادی است که محققان و مهندسين، برای محاسبه تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن آبی و همچنین اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاهان، از تشت‌های تبخیر استفاده می‌کنند. برای این منظور میزان تبخیر از تشت، اندازه‌گیری شده و آن‌گاه با استفاده از ضرایب مخصوصی میزان تبخیر از سطح آب و یا تبخیر-تعرق پتانسیل به دست می‌آید. با توجه به آمار تشت تبخیر می‌توان مقدار تبخیر از سطح آب را از معادله زیر تخمین زد.

$$E_w = k (E_{pan}) \quad (1)$$

که در این رابطه:

E_w = تبخیر از سطح آب در مخازن

E_{pan} = تبخیر ناشی از تشت

K = ضریب ثابتی است که مقدار آن بین ۰/۶ تا ۰/۸ به طور متوسط ۰/۷ متغیر است.

بررسی داده‌های اقلیمی

در تحقیق حاضر اطلاعات هواشناسی که به صورت ساعتی در ایستگاه سد تنظیمی ثبت شده بود (آمار ۱۰ ساله از ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳)، استفاده گردید؛ بنابراین در این مطالعه، داده‌های میانگین روزانه ایستگاه هواشناسی به‌عنوان داده‌های مشاهداتی بکار گرفته شدند و این اطلاعات شامل دمای حداقل، دمای

مجاور شهرهای بروجرد و الیگودرز با منشأ جریانات رودخانه‌های سزار و بختیاری است. رودخانه دز پس از عبور از سد انحرافی و طی مسافتی حدود ۱۵۰ کیلومتر در محل بند قیر (۳۰ کیلومتری شمال شهرستان اهواز) به رودخانه‌های گرگر و شطیط؛ رود کارون بزرگ را تشکیل می‌دهند. مساحت حوضه آبریز دز تا انتهای مسیر ۱۸۰۰۰ کیلومترمربع با متوسط آورد سالانه ۷ میلیارد متر ۱۷ میلیاردمترمکعب و دامنه متغیر ۴-۱۷ مترمکعب مطالعه شده است.

تبخیر از سطوح آزاد آبی

تبخیر از سطوح آب آزاد کاربردهای متعددی دارد. تبخیر از دریاچه‌ها، مخازن و برکه‌ها در بهره‌برداری بهینه از منابع آب مؤثر است. در تبخیر از حوضچه‌های تبخیر و استخرهای خورشیدی برای طراحی این سیستم‌ها حائز اهمیت است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). به طور کلی از چهار روش برای تخمین تبخیر استفاده می‌شود:

(الف) روش‌های تجربی که از پارامترهای هواشناسی استفاده کرده و عموماً بر پایه قانون دالتون می‌باشد.

(ب) روش بیلان آب که بستگی به تخمین جریان ورودی و خروجی دارد.

(ج) روش بیلان انرژی که نیازمند تعیین تمامی اجزای موجود در رابطه با موازنه انرژی می‌باشد.

(د) روش‌های ترکیبی برای تخمین تبخیر.

در استفاده از روش‌های تجربی عوامل بی شماری وجود دارند که می‌بایستی در تخمین تبخیر از سطح آزاد آب مد نظر قرار گیرند. در این میان مهم‌ترین عوامل شامل سطح، عمق آب و شرایط محیط اطراف می‌باشد. معمولاً هر چه سطح از وسعت بیشتری برخوردار باشد، میزان تبخیر کمتر خواهد شد، زیرا آب افزوده شده به هوا طی فرایند تبخیر ماهیت هوا را نیز تغییر می‌دهد. عمق بر دمای آب تأثیر می‌گذارد و بخصوص عمق‌های بیشتر موجب سیکل‌های سالانه

میانگین رطوبت نسبی در ژانویه (دی و بهمن) به میزان ۷۹ درصد و کمترین آن در آگوست (مرداد) به میزان ۴۲ درصد ملاحظه می گردد. متوسط میانگین رطوبت نسبی ماهیانه ۶۰/۵ درصد می باشد.

مطالعه روند ماهیانه متوسط سرعت باد در ایستگاه مذکور این نتیجه را به دست می دهد که بادهای منطقه از سرعت متوسطی بالایی برخوردارند، همچنین بیشترین سرعت باد در فصول خشک و کمترین مقدار آن در فصل زمستان اتفاق می افتد. بیشترین سرعت باد در ماه جولای (تیر) به میزان ۳/۵ نات می باشد.

روابط تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب

تاکنون روابط زیادی برای برآورد تبخیر در نقاط مختلف جهان ارائه شده است که در این تحقیق ۷ روش تجربی انتخاب شده و مورد استفاده و مقایسه قرار گرفتند. معادلات این روابط تجربی در جدول شماره ۱ ارائه شده است:

حداکثر، ساعات آفتابی، بارندگی، سرعت باد و درصد رطوبت نسبی بودند.

براساس تحلیل داده های ۱۰ ساله، متوسط دمای سالیانه منطقه مورد مطالعه ۲۲/۵ درجه سانتی گراد می باشد. کمترین متوسط حداقل دما در ماه ژانویه (دی و بهمن) با ۶/۷ درجه سانتی گراد و بیشترین متوسط حداکثر دما در ماه جولای (خرداد و تیر) به میزان ۴۱/۹ درجه سانتی گراد می باشد.

شدت، مدت و کیفیت انرژی ورودی خورشید به طور مستقیم بر میزان تبخیر آب سطحی تأثیر می گذارد. بیشترین ساعات آفتابی ماهیانه منطقه مورد مطالعه در ماه جولای (تیر) برابر با ۶۱۱/۸ ساعت می باشد. متوسط بارش سالانه منطقه در طی دوره آماری ۱۰ ساله برابر ۲۸۹ میلی متر می باشد. بالاترین میانگین بارش ماهانه در طول دوره آماری، مربوط به ماه آوریل (فروردین، اردیبهشت) به مقدار ۶۴/۶ میلی متر و کمترین بارش در ماه آگوست (مرداد) برابر با ۱/۶ میلی متر ثبت شده است. همپنین بیشترین مقدار

جدول ۱- روابط تجربی برآورد میزان تبخیر از سطح آزاد

معادله رابطه	نام رابطه
$E = \left(1 + \frac{U_2}{16}\right) \cdot C \cdot (e_s - e_a)$	مایر
$E = 0.03U_2(e_s - e_a)$	مارسیانو
$E = (0.116 + 0.017U_2)(e_s - e_a)$	شاهتین
$E = 0.028U_2(e_s - e_a)$	هنفر
$E = 0.0018(T + 25)^2(100 - RH)$	ایوانف
$E = (e_s - e_a) \cdot (15 + 3U_{10})$	تیچومیروف
$E = 0.883(4.57T + 43.3)$	سازمان عمران آمریکا (USBR)

T: میانگین دمای هوا برحسب درجه سانتی گراد؛
 es و ea به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار
 آب در هوا برحسب میلی متر جیوه؛

که در معادلات مندرج در جدول فوق:
 E: تبخیر از سطح آزاد آب برحسب میلی متر در روز؛
 U10 و U2 سرعت باد در ارتفاع ۲ و ۱۰ متری از سطح
 زمین برحسب متر بر ثانیه؛

در مقایسه مدل‌ها، مدلی که دارای ضریب تبیین (R^2) بیشتر و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتری باشد مدل مطلوب‌تر است.

نتایج

مقدار تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از روابط تجربی محاسبه و با مقدار تبخیر از تشت مورد مقایسه قرار گرفتند. عملکرد روابط تجربی بر اساس دو آماره R^2 و RSME مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است:

RH: میانگین رطوبت نسبی هوا برحسب درصد و c ضریبی است که برای دریاهای عمیق ۰/۳۶ و دریاهای کم عمق ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

در تحقیق حاضر جهت ارزیابی روش‌های تجربی و تجزیه و تحلیل داده‌ها از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}))^2}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2)(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(\sum (X_i - Y_i)^2)}{n - 1}} \quad (3)$$

X_i مقدار مشاهده شده، Y_i مقدار برآورد شده، n تعداد داده‌ها است.

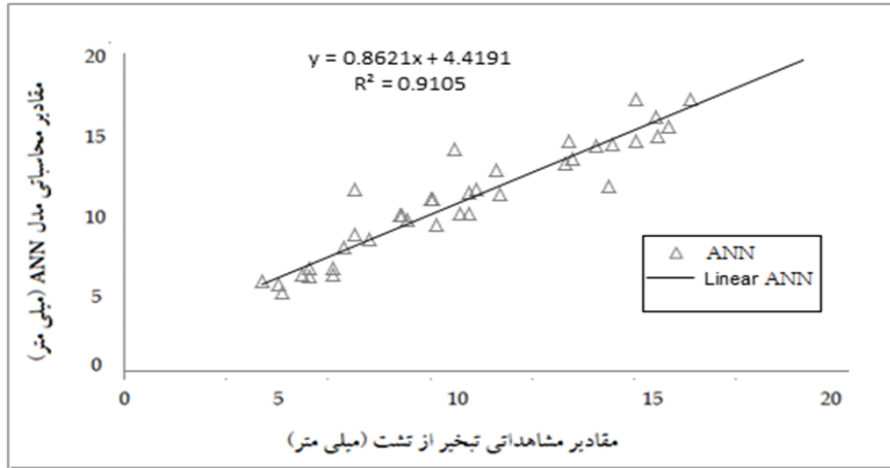
جدول ۲- نتایج حاصل از روابط تجربی

ردیف	نام رابطه تجربی	R^2	RMSE
۱	سازمان عمران آمریکا	۰/۹۱	۱/۹۶۷
۲	مایر	۰/۸۴۶	۱/۵۳
۳	مارسیانو	۰/۵۳۴	۴/۴۴
۴	شاهتین	۰/۶۶۴	۲/۷۸۷
۵	هنفر	۰/۵۴۸	۴/۳۳۴
۶	ایوانف	۰/۶۳۹	۲/۶۵۷
۷	تیچومیرف	۰/۳۳	۸/۱۵۲

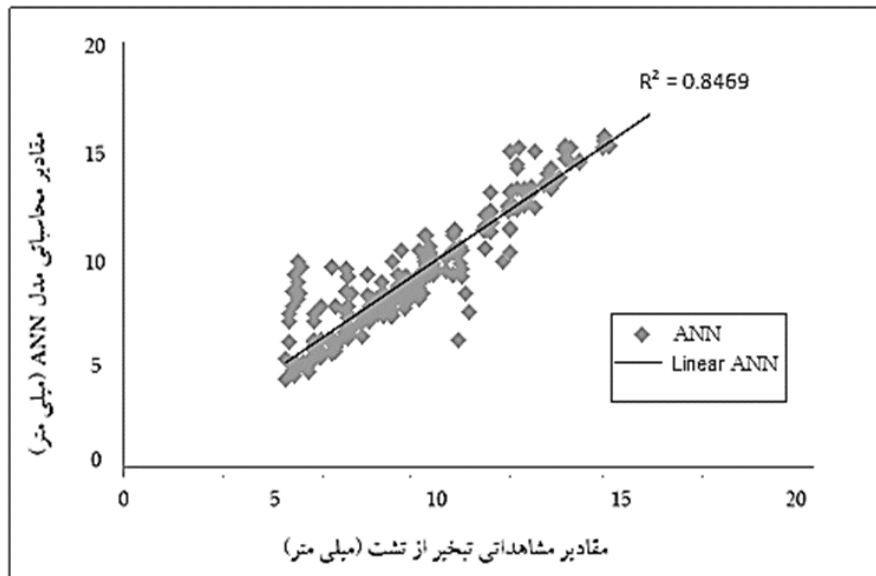
زیاد ($RMSE = 8.152$) و برازش پائین با داده‌های واقعی ($R^2 = 0.33$) فاقد اعتبار لازم می‌باشد.

در شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نمودار پراکنش بین تبخیر از تشت و روابط تجربی سازمان عمران آمریکا و روش مایر ارائه گردیده است.

بر اساس جدول ۲، رابطه مایر ($R^2 = 0.846$) نسبت به سایر روش‌های تجربی از دقت بالاتری در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب سد دز برخوردار است. در رتبه بعدی معادله سازمان عمران آمریکا ($R^2 = 0.91$, $RMSE = 1.967$) قرار می‌گیرد. همچنین روش تیچومیرف با توجه به خطای



شکل ۱- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تبخیر به روش تجربی سازمان عمران آمریکا



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تبخیر به روش مایر

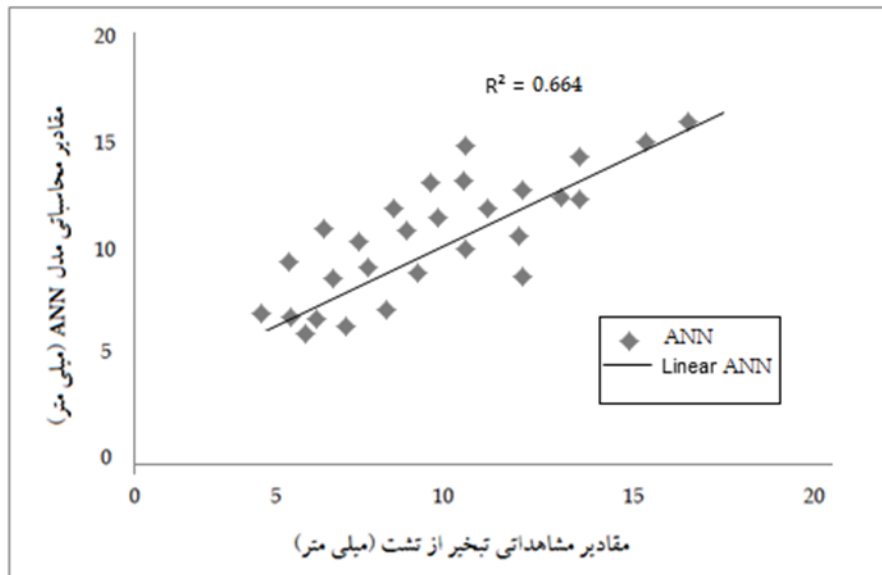
۰/۸۴۶ محاسبه شدند. آزمون تی هر دو روش نیز حاکی از عدم معنی دار بودن ($P > 0.01$) اختلاف میان مقادیر واقعی و برآورد شده بود (جدول ۳).

ضریب همبستگی مربوط به میزان تبخیر برآورد شده توسط مدل های سازمان عمران آمریکا و روش مایر با میزان مشاهده ای به ترتیب برابر با ۰/۹۱ و

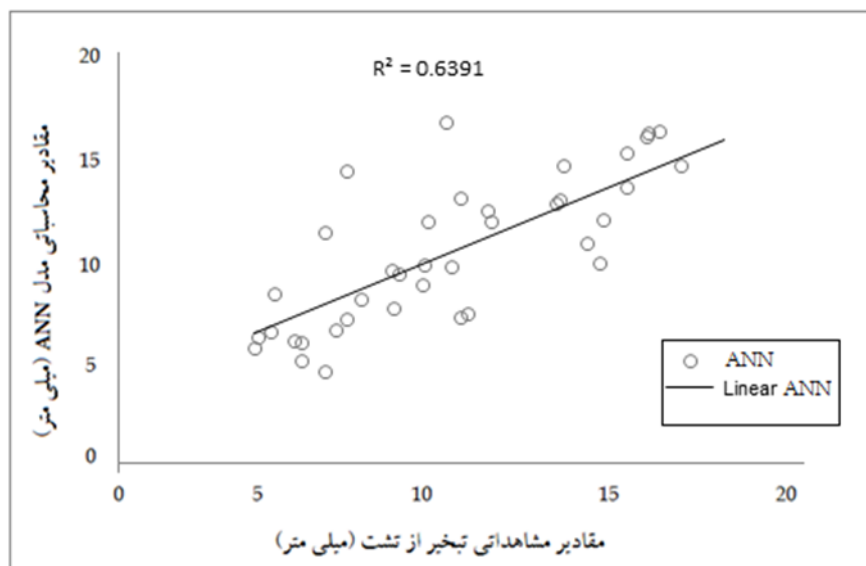
جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین سطوح تبخیر مشاهده ای با شبیه سازی شده

تی تست مستقل				لوین تست				
فاصله اطمینان (۹۵٪)	تفاوت میانگین از استاندارد	سطح معنی داری (دو دامنه)	درجه آزادی	آماره t	سطح معنی داری	F	تبخیر	
حد بالایی	حد پائینی							
۰/۱۲۳	۰/۰۸۶۵	۰/۰۱۳۹۱	۰/۰۹۸۳	۱۱۹۶	۱/۰۸۶	۰/۰۹۸	۰/۰۶۷	مایر
۰/۲۳۴	۰/۰۱۲۲	۰/۰۳۲۶۶	۰/۰۷۳۴	۱۱۹۶	۱/۰۴	۰/۰۷	۰/۴۶	عمران آمریکا

همچنین رابطه مقادیر مشاهداتی با شبیه‌سازی شده به روش‌های شایسته و ایوانف به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است:



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تبخیر به روش شایسته



شکل ۴- مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تبخیر به روش ایوانف

نتیجه‌گیری

تبخیر از سطح آزاد آب در مدیریت منابع آبی و حفظ این منابع بخصوص در مخازن پشت سدها و دریاچه‌ها اهمیت فراوانی دارد. نکته دیگر اینکه ایران در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا قرار داشته و اصولاً

روابط تجربی هنفر، ماریانو و تیچومیروف به ترتیب با ضریب تعیین برابر با ۰/۵۴۸، ۰/۵۳۴ و ۰/۳۳ از کمترین میزان اعتبار و قابلیت اعتماد در برآورد میزان تبخیر از سطح آزاد آب برخوردارند.

بزدانی و همکاران (۱۳۹۰) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۴) نیز روش ایوانف را مناسب تشخیص دادند. همچنین روش تیچومیرف با توجه به خطای زیاد ($RMSE = 8.152$) و برازش پائین با داده های واقعی ($R^2 = 0.33$) فاقد اعتبار لازم می باشد. صحت داده ها و انطباق مناسب این دو روش تجربی بهینه (مایر و سازمان عمران آمریکا) از معیارهای ارزیابی عملکرد سنجیده شده و حاکی از این بود که روش مایر با توجه به خطای کمتر، قابل اعتمادتر می باشد به علاوه اختلاف معنی داری ($P > 0.01$) میان مقادیر واقعی و برآورد شده دیده نمی شود. روابط تجربی هنفر، ماریانو، شاهتین و ایوانف هم از دقت متوسطی در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در سد تنظیمی دز برخوردارند.

تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر استخراج شده است.

میزان تبخیر بالاست و در منطقه مورد مطالعه با توجه به مقدار بارش سالیانه ۲۸۹ میلی متر، مقدار تبخیر سالانه به طور متوسط برابر با ۳۳۸۴ خواهد بود که به عبارت دیگر ۱۱ برابر میزان بارش، تبخیر سطحی وجود دارد که بیش از حد مجاز است. استفاده از روش های تجربی برآورد تبخیر کم هزینه و سریع بوده و در صورت استفاده از روش مناسب می توان با دقت بالایی بدون استفاده از تشت تبخیر برآورد مناسبی داشت. در این تحقیق عملکرد روابط تجربی بر اساس دو آماره R و $RSME$ مورد ارزیابی قرار گرفته و نشان داد که رابطه مایر ($R^2 = 0.886$, $RMSE = 1.53$) نسبت به سایر روش های تجربی از دقت بالاتری در برآورد تبخیر از سطح آزاد آب سد دز برخوردار است. در رتبه بعدی معادله سازمان عمران آمریکا ($R^2 = 0.91$, $RMSE = 1.967$) ستاری و همکاران (۱۳۹۳) نیز روش مایر را مناسب ترین روش دانستند. جهرمی (۱۳۹۴) روش های مایر و ایوانف و

منابع

- ۱- توکلی، ا.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، انصاری، ح. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر و تعرق در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۷، شماره ۶۲ صفحات ۴۵-۳۳.
- ۲- حیدری بنی، م.، قطره سامانی، م.، پارسا، ش.، رضانی، ا. ۱۳۸۹. مدل سازی تبخیر از سطوح آزاد آب در استان چهارمحال و بختیاری. اولین کنفرانس بین المللی آب، گیاه، خاک و هوا، تهران.
- ۳- خوشحال جهرمی، ف. ۱۳۹۴. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در دو اقلیم متفاوت از استان فارس (مطالعه موردی شهرستان آباد و لار). سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.
- ۴- زارع ایبانه، ح.، مقدم نیا، ع.، بیات ورکشی، م.، قاسمی، ع. و شادمانی، م. ۱۳۸۴. تغییرات مکانی تبخیر از تشت و مقایسه آن با مدل های. برآورد تبخیر در ایران. مجله دانش آب و خاک. جلد پنجم، صفحات ۱۳۴-۱۲۰.
- ۵- ستاری، م. ت.، احمدی فر، و.، پاشاپور خلف انصار، ر. ۱۳۹۳. مدل سازی تلفات تبخیر از مخزن سد علویان با استفاده از مدل درختی $M5$ و مقایسه آن با روش های تجربی. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال پنجم، شماره هفدهم، صفحات ۱۲۲-۱۱۰.
- ۶- قبادیان، ر.، یعقوبی، م.، طالب حیدری، م. ۱۳۸۷. تهیه مدل پیش بینی تبخیر از سطح آزاد در محدوده شهر کرمانشاه به استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه با روابط تجربی موجود. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تهران.
- ۷- ولایتی س. ۱۳۷۴. جغرافیای آبها و مدیریت منابع آب. انتشارات خراسان. دانشگاه فردوسی. ۳۵۸ ص.

۸- یزدانی، و.، قهرمان، ب. و داوری، ک. ۱۳۹۰. تعیین بهترین روش تجربی برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در اراضی شالیزاری آمل بر پایه آنالیز حساسیت و مقایسه آن با نتایج شبکه عصبی مصنوعی. مجله پژوهش آب ایران. شماره ۷. صفحات ۴۰-۵۶

- 9- Goel A. (2009) "Application of SVMs Algorithms for Prediction of Evaporation in Reservoirs" World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers.
- 10- Sudheer K.P. 2000. Modeling hydrological processes using neural computing technique. PhD thesis, Indian nstitute of Technology, Dehli.
- 11- Vanzyl W.H. De Jager J.M. and Maree C.J.1989. The relationship between daylight evaporation from short vegetation and the USWB Class A pan. Agricultural and Forest Meteorology 46: 107-118.