



دانشگاه گولستان و منابع آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## مقایسه و واسنجی نه روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع مبتنی بر انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

\* امید بابامیری<sup>۱</sup> و یعقوب دین‌پژوه<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه منابع آب، دانشگاه تبریز، آدانشیار گروه منابع آب، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۷

### چکیده

تخمین دقیق تبخیر- تعرق گیاه در هر منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. هدف این مطالعه مقایسه و واسنجی تعداد نه روش مختلف تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) مبتنی بر انتقال جرم در مقیاس ماهانه در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. روش‌های انتخاب شده شامل روش میسر (M)، دالتون (D)، روهور (R)، پنمن (P)، بروکمپ و ونر (BW)، ماهرینگر (Ma)، تراپرت (T)، WMO و آلبرچت (A) بودند. برای این منظور از اطلاعات ده ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۰ استفاده شد. نتایج روش‌های نام‌برده با خروجی روش فائو پنمن-مانتیت (PM56) مقایسه شدند. واسنجی روش‌ها برای یکایک ایستگاه‌ها و تمام ماه‌ها و در طول دوره آماری نام‌برده انجام شد. ارزیابی عملکرد روش‌ها با آماره‌های  $R^2$ ، RMSE، MBE، MAE و PE انجام شد. نتایج نشان داد که قبل از واسنجی، نتایج روش‌های انتخاب شده با روش PM56 اختلاف زیادی دارند. واسنجی روش‌ها عملکرد آن‌ها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود بخشید. قبل و بعد از واسنجی، روش M با میانه ارقام مانند  $R^2$  معادل ۰/۸۹۴۵ به‌عنوان بهترین روش در حوضه مورد مطالعه شناخته شد. در این روش (پس از واسنجی) میانه مقادیر آماره‌های RMSE، MBE، MAE و PE به‌ترتیب معادل ۲۱/۸، -۸/۷، ۱۷/۳ و ۲۱/۵ میلی‌متر در ماه به‌دست آمد. پس از روش M روش D به‌عنوان دومین روش مناسب در حوضه نام‌برده تشخیص داده شد. روش‌های R، P، BW، Ma، T، WMO و A به‌ترتیب، در رده‌های سوم تا نهم قرار گرفتند.

**واژه‌های کلیدی:** انتقال جرم، پنمن-مانتیت، تبخیر- تعرق، حوضه آبریز، دریاچه ارومیه

\* مسئول مکاتبه: [obabamiri@yahoo.com](mailto:obabamiri@yahoo.com)

## مقدمه

فرایند تبخیر- تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژی است. این مؤلفه در مطالعات مختلف کشاورزی از جمله طراحی سیستم‌های آبیاری و زهکشی، طراحی مخازن و برنامه‌ریزی آبیاری نقش مهمی ایفا می‌کند (گوندکار و همکاران، ۲۰۰۸). تخمین بیش از حد آب مورد نیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود. از سوی دیگر، تخمین کم‌تر نیز باعث اعمال تنش خشکی به گیاه شده و به دنبال آن، کاهش محصول را به همراه خواهد داشت (کوچک‌زاده و بهمنی، ۲۰۰۴). اندازه‌گیری مقدار ET، به‌طور مستقیم معمولاً به کمک لایسیمتر انجام می‌شود. این روش گرچه دقت بالایی دارد، اما مستلزم صرف هزینه بالا و زمان طولانی است که همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد (علیزاده و کمالی، ۲۰۰۶). بنابراین، در غالب موارد، برای این کار، از روش‌های غیرمستقیم که شامل طیف وسیعی از مدل‌های ساده تجربی تا روش‌های پیچیده ترکیبی (مانند پنمن - مانیت) است، استفاده می‌شود. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد، که مقدار تخمینی ET با استفاده از روش فائو پنمن - مانیت (PM56) در اقلیم‌های مختلف به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است (آلن و همکاران، ۱۹۸۹). در مواردی که مقادیر ET به‌دست آمده از لایسیمتر در دسترس نباشد می‌توان نتایج به‌دست آمده از مدل‌های تجربی تبخیر- تعرق را با نتایج به‌دست آمده از مدل PM56 مقایسه نموده و آن‌ها را واسنجی نمود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ لانداس و همکاران، ۲۰۰۸؛ سنتلهاس و همکاران، ۲۰۱۰). در بیش‌تر مطالعات مدل PM56 برای مقایسه و واسنجی مدل‌های دیگر انتخاب شده است (دهقانی‌سانچ و همکاران، ۲۰۰۴؛ تمسگن و همکاران، ۲۰۰۵). سینگ و خو (۱۹۹۷) با بررسی ۱۳ نوع مدل‌های مختلف تبخیر از سطح آزاد آب (بر مبنای انتقال جرم) بهترین مدل که با داده‌های لایسیمتری شمال غرب کانادا سازگاری داشت، انتخاب و آن را واسنجی کردند. خو و سینک (۲۰۰۲) پنج روش تخمین ET را از بین ۳ روش کلی (شامل: ۱- بر مبنای انتقال جرم، ۲- بر مبنای تابش و ۳- بر مبنای درجه حرارت هوا) انتخاب و آن‌ها را در ایستگاه چانگیز سویس واسنجی کردند. رزنبری و همکاران (۲۰۰۴) دوازده مدل مختلف تخمین ET را در منطقه داکوتای شمالی واقع در ایالات متحده با روش‌های مختلف مورد مقایسه قرار دادند. ژای و همکاران (۲۰۱۰) نتایج تخمین ET یازده مدل تجربی (مدل روهور بر مبنای انتقال جرم) را با داده‌های تبخیر از تشتک، در ده ایستگاه هواشناسی واقع در استان گانسو در شمال چین، مقایسه کردند. طبری و همکاران (۲۰۱۱) تعداد ۳۱ مدل ET، که

۱۰ مدل آن بر مبنای انتقال جرم بود، را در ایستگاه رشت مقایسه کردند. با توجه به پیشینه پژوهش به نظر می‌رسد، مطالعه جامعی در زمینه واسنجی مدل‌های مختلف تبخیر-تعرق بر مبنای انتقال جرم در حوضه دریاچه ارومیه انجام نشده است بنابراین، هدف این مطالعه مقایسه روش‌های تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع بسط داده شده بر مبنای انتقال جرم و واسنجی آن‌ها با توجه به نتایج روش PM56 در حوضه دریاچه ارومیه است.

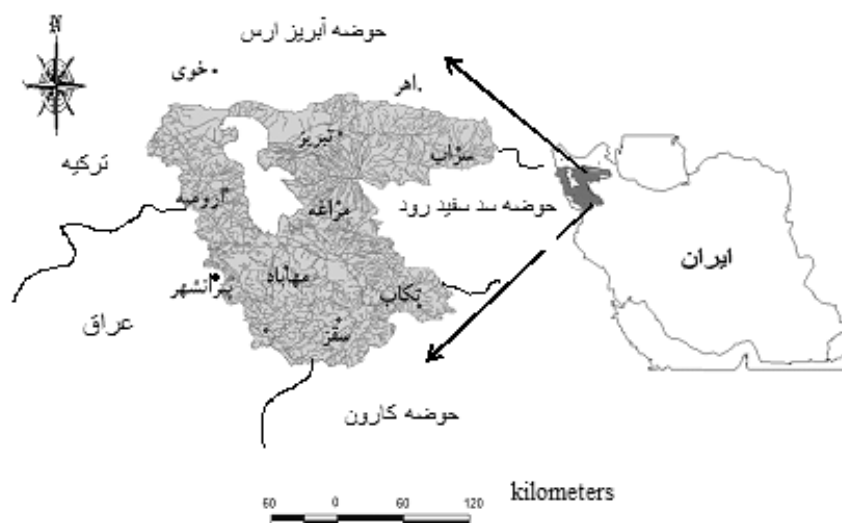
### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. این حوضه در شمال غرب ایران قرار داشته و دریاچه ارومیه، در این حوضه واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این حوضه بین ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. مساحت حوضه دریاچه ارومیه حدود ۵۲۷۰۰ کیلومترمربع است که حدود ۳/۲ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. میانگین بارش سالانه این حوضه حدود ۳۹۸ میلی‌متر است. حدود ۳۹ درصد بارش‌ها در فصل بهار، ۳۰ درصد در زمستان، ۲۶ درصد پاییز و ۵ درصد در تابستان نازل می‌شود. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل میانگین، حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا، میانگین رطوبت نسبی، تعداد ساعات آفتابی و سرعت باد در مقیاس ماهانه می‌باشد. داده‌ها از اداره کل هواشناسی استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی اخذ شدند. تعداد کمی از داده‌های نام‌برده ناقص بودند که با روش‌های مناسب بازسازی و قبل از استفاده از نظر کیفیت کنترل گردید. در این مطالعه از بین روش‌های تجربی تخمین ET، مختلف بر مبنای انتقال جرم تعداد ۹ روش شامل روش‌های میسر (M)، دالتون (D)، روهور (R)، پنمن (P)، بروکمپ و ونر (BW)، ماهرینگر (Ma)، ترابرت (T)، WMO و آلبرچت (A)، که به داده‌های ورودی کم‌تری نیاز دارند، برای مقایسه و واسنجی انتخاب شد. در این مطالعه تعداد ۸ ایستگاه در داخل حوضه و ۲ ایستگاه در حاشیه بیرونی حوضه (به دلیل اهمیت اطلاعات این ایستگاه‌ها) انتخاب شدند. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است. در ستون دوم جدول ۱ حروف اختصاص یافته برای مشخص کردن هر ایستگاه در شکل‌ها ارائه شده است. در این مطالعه روش PM56 به عنوان روش مبنای مقایسه و واسنجی سایر مدل‌های بر مبنای انتقال جرم انتخاب گردید. علت این تصمیم این است که آلن و همکاران (۱۹۹۸)،

مدل نام برده را به عنوان یک روش استاندارد جهانی برای تخمین ET در اقلیم‌های مختلف معرفی کردند. فرم توصیه شده روش PM56 به شرح زیر است:

$$ET_c = \frac{0.49 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_v (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_v)} \quad (1)$$

که در آن، ET: تبخیر تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm.day}^{-1}$ )،  $R_n$ : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $\text{MJ.m}^{-2}\text{day}^{-1}$ )،  $G$ : جریان حرارتی خاک ( $\text{MJ.m}^{-2}\text{day}^{-1}$ )،  $T$ : میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)،  $u_v$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)،  $e_s - e_a$ : کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (کیلوپاسکال)،  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و  $\gamma$ : ثابت سایکرومتر (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) است. برای تخمین پارامترهای روش PM56 از فرمول‌های ارایه شده توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های انتخاب شده در حوضه دریاچه ارومیه.

برای تبدیل سرعت باد در ارتفاع  $Z$  متری ( $u_z$ ) به سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ( $u_2$ ) از رابطه پیشنهادی تاراج کویک و کولاکویچ (۲۰۰۹) به شرح زیر استفاده شد:

$$u_z = \frac{4/87u_2}{\ln(67/8Z - 5/42)} \quad (2)$$

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

دوره آماری	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		کد ایستگاه	نام ایستگاه
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۳۹۰/۵	۳۸	۲۶	۴۷	۰۴	A	اهر
۱۹۸۶-۲۰۰۸	۱۱۰۳	۳۸	۳۳	۴۴	۵۸	B	خوی
۱۹۸۶-۲۰۰۸	۱۳۸۵	۳۶	۴۶	۴۵	۴۳	C	مهاباد
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۴۷۷/۷	۳۷	۲۴	۴۶	۱۶	D	مراغه
۱۹۸۶-۲۰۰۸	۱۳۱۵/۹	۳۷	۳۲	۴۵	۰۵	E	ارومیه
۱۹۸۶-۲۰۰۸	۱۴۵۵	۳۶	۴۰	۴۵	۰۸	F	پیرانشهر
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۶۸۲	۳۷	۵۶	۴۷	۳۲	G	سراب
۱۹۸۶-۲۰۰۸	۱۵۲۲/۸	۳۶	۱۵	۴۶	۱۶	H	سقز
۱۹۸۶-۲۰۰۸	۱۷۶۵	۳۶	۲۳	۴۷	۰۷	I	تکاب
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۳۶۱	۳۶	۲۳	۴۶	۱۷	J	تبریز

شکل کلی بیش تر روش‌های تخمین  $ET$  بر مبنای انتقال جرم به شرح زیر است (سینگ و خو ۱۹۹۷):

$$ET = C(e_s - e_a) \quad (3)$$

که در آن،  $C$  ضریب ثابتی است که به سرعت باد بستگی دارد. در جدول ۲ روش‌های انتخاب شده برای تخمین  $ET$  که بر مبنای انتقال جرم می‌باشند ارائه شده است. در این جدول کمیت  $(e_s - e_a)$  موسوم به کمبود فشار بخار اشباع بوده و  $u_2$  نیز سرعت باد در ارتفاع ۲ متری می‌باشد. در این مطالعه ۵ روش ارزیابی عملکرد مدل انتخاب شد. جدول ۳ معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های انتخاب شده

را بر مبنای مدل PM56 نشان می‌دهد. در این جدول،  $ET_{om,i}$  مقدار تبخیر-تعرق تخمین زده شده با یکی از روش‌های مبتنی بر انتقال جرم بر حسب  $(mmday^{-1})$  در یک ماه معین برای سال  $i$  ام،  $ET_{o,FAO,i}$  مقدار تبخیر-تعرق محاسبه شده با روش PM56 بر حسب  $(mmday^{-1})$  در یک ماه معین برای سال  $i$  ام،  $\overline{ET_{o,m}}$  میانگین تبخیر-تعرق تخمین زده شده با یکی از روش‌های منتخب،  $\overline{ET_{o,FAO}}$  میانگین تبخیر-تعرق تخمین زده شده با روش PM56 و  $m$  تعداد سال‌های آماری می‌باشد. پس از تخمین  $ET$  با روش‌های منتخب مقادیر به‌دست آمده از مدل‌های بر مبنای انتقال جرم در محور افقی و مقادیر مانند PM56 در محور قائم در نظر گرفته شد. نقاط پراکنش داده‌ها روی دیاگرام با محورهای عمود بر هم رسم شد. با برازش خط رگرسیون بر نقاط پراکنش داده‌ها شیب خط رگرسیون از مبدأ محاسبه و به‌عنوان ثابت واسنجی ( $K$ ) برای روش مورد نظر به‌دست آمد. آن‌گاه مقدار ضریب تبیین و سایر آماره‌ها (جدول ۳) برای یکایک ایستگاه‌ها محاسبه شد. معنی‌داری ضریب  $R^2$  در سطح ۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت.

جدول ۲- روش‌های انتخاب شده برای تخمین  $ET$  بر مبنای انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

ردیف	روش	مرجع	واحد	واحد	معادله مورد استفاده
			$(u_r)$	$(e_s - e_a)$	
۱	میپیر (M)	میپیر، ۱۹۲۶	m/s	hPa	$ET = (0.375 + 0.0526 u_r)(e_s - e_a)$
۲	دالتون (D)	دالتون، ۱۸۰۲	m/s	hPa	$ET = (0.3648 + 0.07223 u_r)(e_s - e_a)$
۳	روهور (R)	روهور، ۱۹۳۱	m/s	mm Hg	$ET = 0.44(1 + 0.27 u_r)(e_s - e_a)$
۴	پنمن (P)	پنمن، ۱۹۴۸	Mile/day	mm Hg	$ET = 0.35(1 + 0.98/100 u_r)(e_s - e_a)$
۵	بروکمپ و ونتر (BW)	بروکمپ و ونتر، ۱۹۶۳	m/s	hPa	$ET = 0.53 u_r^{0.456}(e_s - e_a)$
۶	ماهرینگر (Ma)	ماهرینگر، ۱۹۷۰	m/s	hPa	$ET = 0.15072 \sqrt{3/6} u_r (e_s - e_a)$
۷	ترابرت (T)	ترابرت، ۱۸۹۶	m/s	hPa	$ET = 0.3075 \sqrt{u_r}(e_s - e_a)$
۸	WMO	۱۹۶۶.WMO	m/s	hPa	$ET = (0.1298 + 0.0934 u_r)(e_s - e_a)$
۹	آلبرجت (A)	آلبرجت، ۱۹۵۰	m/s	hPa	$ET = (0.1005 + 0.297 u_r)(e_s - e_a)$

جدول ۳- آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد استفاده در این مطالعه.

معادله	آدرس منبع مورد استفاده	معیار ارزیابی
$R^2 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (ET_{Om,i} - \overline{ET_{O,m}})(ET_{O,FAO,i} - \overline{ET_{O,FAO}}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (ET_{Om,i} - \overline{ET_{O,m}})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{O,FAO,i} - \overline{ET_{O,FAO}})^2}$	دای و همکاران، ۲۰۰۹	$R^2$
$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_{Om,i} - ET_{O,FAO,i})^2}$	ستلهاس و همکاران، ۲۰۱۰	RMSE
$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_{Om,i} - ET_{O,FAO,i})$	ستلهاس و همکاران، ۲۰۱۰	MBE
$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  ET_{Om,i} - ET_{O,FAO,i} $	ترچکویک و کولاکویک، ۲۰۰۹	MAE
$PE(\%) = \left  \frac{ET_{Om,i} - ET_{O,FAO,i}}{ET_{O,FAO,i}} \right  * 100$	طبری و همکاران، ۲۰۱۱	PE

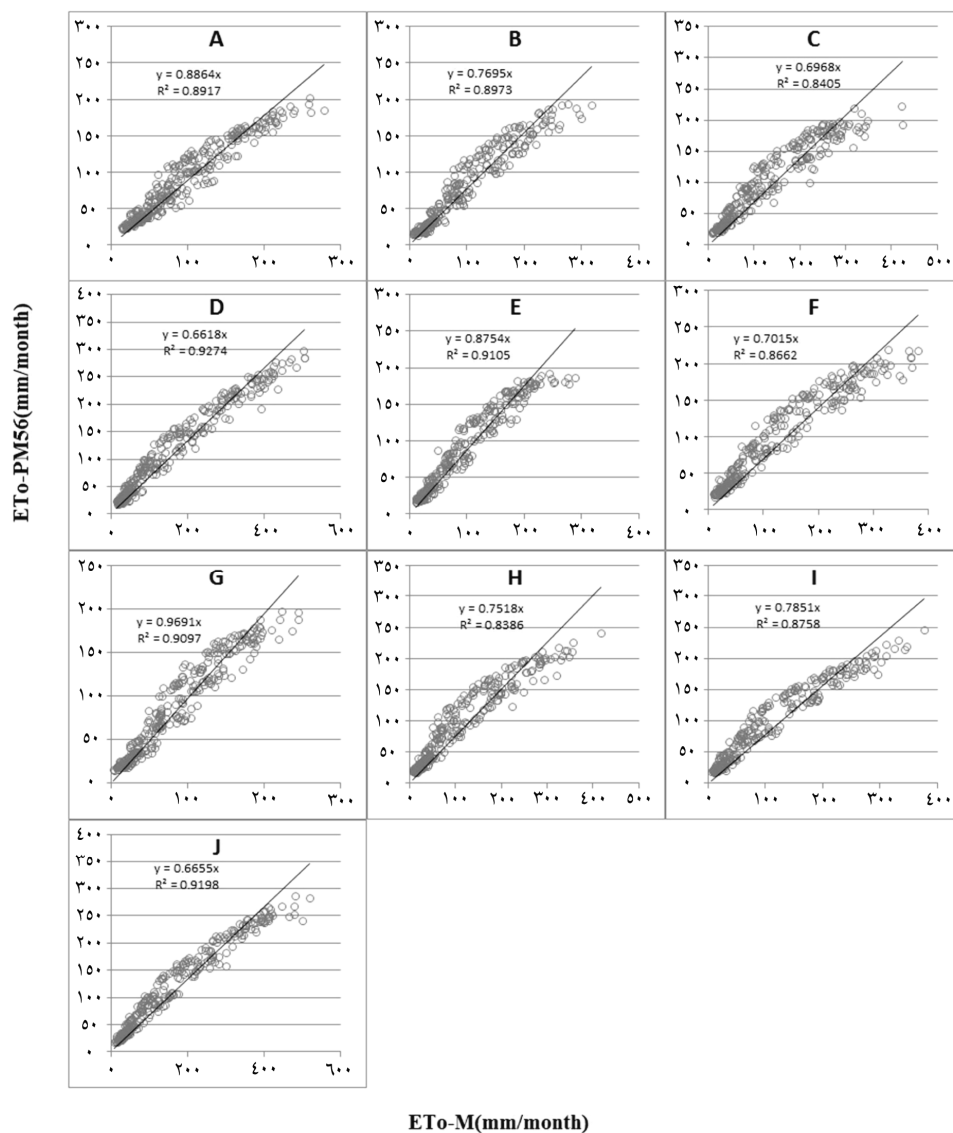
### نتایج و بحث

قبل از واسنجی روش‌های تخمین تبخیر- تعرق مبتنی انتقال جرم، با توجه به میانه ارقام مانند آماره  $R^2$  روش میسر M با میانه ضریب تبیین  $R^2 = 0/8945$  به عنوان بهترین روش در حوضه مورد مطالعه شناخته شد. پس از روش M روش‌های D ( $R^2 = 0/8931$ )، R ( $R^2 = 0/8886$ )، P ( $R^2 = 0/8662$ )، BW ( $R^2 = 0/8661$ )، Ma ( $R^2 = 0/8592$ )، T ( $R^2 = 0/8592$ )، WMO ( $R^2 = 0/8515$ ) و A ( $R^2 = 0/7734$ ) در رده‌های بعدی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که همه ضرایب در سطح  $\alpha = 0/05$  معنی دار بودند. شکل ۲ نقاط پراکنش مقادیر ET را که محور افقی آن مربوط به مدل M و محور قائم آن مربوط به مدل PM56 است، نشان می‌دهد. حروف‌های انگلیسی مندرج در شکل کد ایستگاه‌ها بوده که نام هر کدام در جدول ۱ قابل مشاهده است. به‌طوری‌که از این شکل می‌توان استنباط کرد، مدل M قبل از واسنجی مقدار ET را با دقت قابل قبول تخمین زده است. با این حال، روش نام‌برده در همه ایستگاه‌ها مقدار ET را بیش‌تر از مدل PM56 تخمین زده است. علت آن این واقعیت است که مقدار ET به‌دست آمده از روش PM56 حدود  $0/6618$  برابر (در ایستگاه مراغه) تا  $0/9691$  (در ایستگاه سراب) مقدار مانند روش M بود. بنابراین، میتوان نتیجه گرفت که واسنجی روش نام‌برده می‌تواند دقت روش نام‌برده را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد.

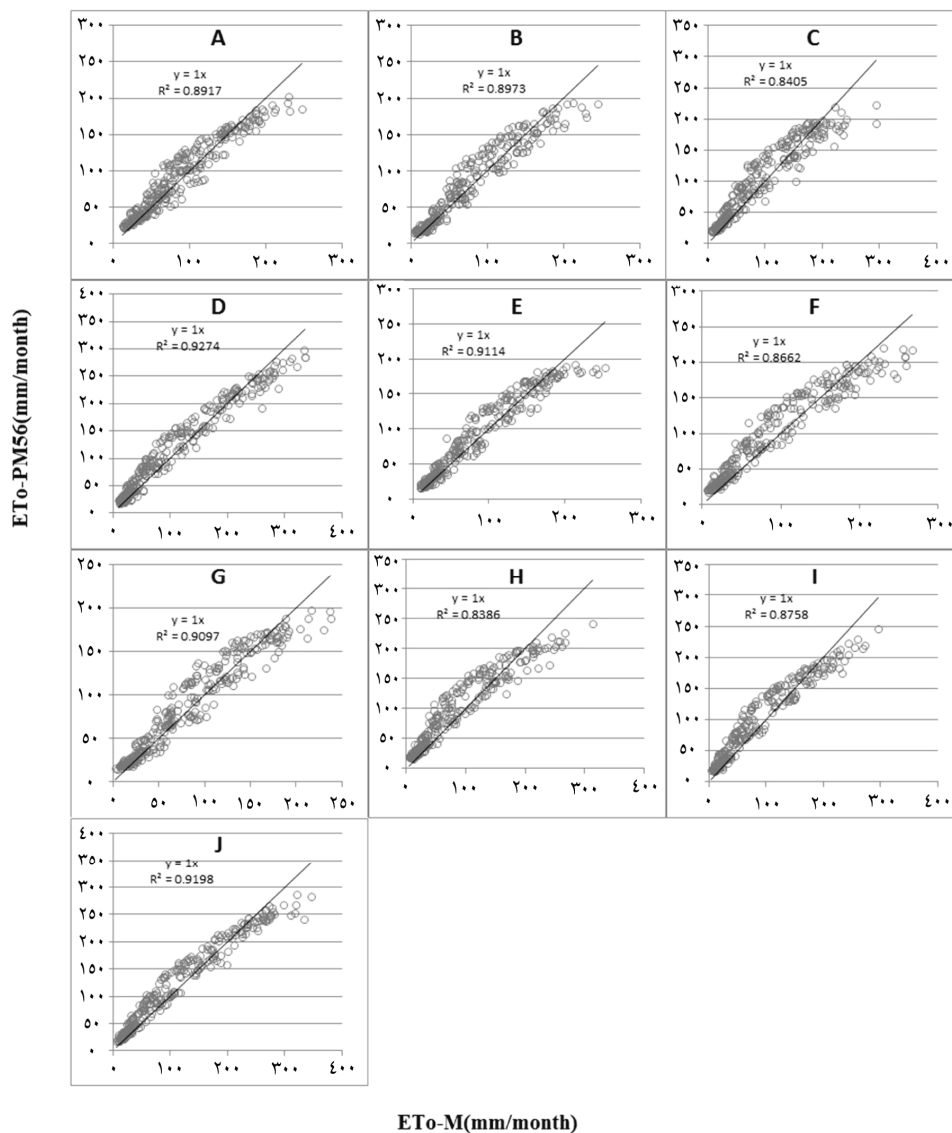
جدول ۴ معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین ET با روش M را قبل واسنجی نشان می‌دهد. جدول‌های مشابهی (نشان داده نشده) برای دیگر روش‌های منتخب تهیه شد. به‌طوری‌که از

جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت، مقادیر RMSE از حداقل معادل ۱۶/۴۷ در ایستگاه سراب تا حداکثر ۷۳/۵۴ میلی‌متر در ماه در ایستگاه مراغه تغییر می‌کند. مقادیر MBE نیز از حداقل معادل ۱/۸۹- در ایستگاه سراب تا حداکثر ۴۴/۸۴ میلی‌متر در ماه در همان ایستگاه تغییر می‌کند. مقادیر MAE نیز از حداقل ۱۲/۶ در ایستگاه سراب تا حداکثر ۴۷/۵ میلی‌متر در ماه در ایستگاه مراغه تغییر می‌کند. این نشان می‌دهد که در ایستگاه اخیر میانگین قدرمطلق انحراف مقادیر ET، به‌دست آمده با روش M از روش PM56 بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. حداقل مقدار  $R^2$  متعلق به ایستگاه سقز (معادل ۰/۸۳۸۶) و حداکثر مقدار آن متعلق به ایستگاه مراغه (معادل ۰/۹۲۷۴) می‌باشد. بررسی معنی‌داری مقادیر  $R^2$  نشان داد که همه مقادیر محاسبه شده برای  $R^2$  ایستگاه‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند. شکل ۳ نقاط پراکنش مقادیر ET، محاسبه شده با روش M و PM56 را در ایستگاه‌های مورد مطالعه بعد از واسنجی نشان می‌دهد. شکل‌های مشابهی (نشان داده نشده) برای دیگر روش‌های منتخب تهیه شد. به‌طوری‌که از شکل ۳ می‌توان استنباط کرد، پس از واسنجی، مقادیر برآورد شده با روش M به مقادیر مانند روش PM56 نزدیک‌تر شد. طوری‌که، پس از واسنجی، شیب خط برازش شده برای همه ایستگاه‌ها معادل واحد به‌دست آمد (شکل ۳)، بدیهی است که ضرایب تبیین ( $R^2$ ) بعد از واسنجی همان مقادیر مانند قبل از واسنجی است. جدول ۵ معیارهای ارزیابی را در خصوص روش M پس از واسنجی نشان می‌دهد. برای دیگر روش‌های منتخب نیز جدول‌های مشابهی (نشان داده نشده است) تهیه شد. به‌طوری‌که از این جدول‌ها می‌توان استنباط کرد مقادیر RMSE و سایر آماره‌ها پس از واسنجی در تمام ایستگاه‌ها به‌طور محسوسی کاهش یافته است. به‌عنوان مثال، مقدار آماره RMSE روش M در ایستگاه ارومیه از ۲۲/۳۱۷۱ (قبل از واسنجی) به رقم ۱۶/۷۵۲۵ میلی‌متر در ماه (پس از واسنجی) کاهش یافته است. همچنین مقدار آماره MBE ایستگاه نام‌برده از ۷/۰۸۶ به ۴/۸۳۵- کاهش یافته است. به‌طور مشابه، مقدار MAE این ایستگاه از ۱۵/۱ به ۱۲/۵ و مقدار PE از ۱۷/۴ به ۱۷/۱ درصد کاهش یافته است. این روند کاهشی در همه ایستگاه‌ها قابل مشاهده است. به‌طورکلی، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد روش‌های مورد مطالعه پس از واسنجی در مقایسه با قبل از واسنجی به مراتب بهبود پیدا کرده است.





شکل ۲- مقایسه مقادیر  $ET$  محاسبه شده با روش میپر (M) و  $PM56$  در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز دریاچه ارومیه (قبل از واسنجی).



شکل ۳- مقایسه مقادیر  $ET$  محاسبه شده با روش میپر (M) و  $PM56$  در ایستگاه‌های هواشناسی حوضه آبریز دریاچه ارومیه (بعد از واسنجی).

جدول ۶ ضرایب واسنجی نه روش تخمین *ET* مبتنی بر داده‌های انتقال جرم را نشان می‌دهد. این ضرایب برای ده ایستگاه منتخب در یکایک ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه در مقیاس ماهانه و برای کل دوره آماری (به شرح جدول ۱) به دست آمده است. به طوری که از این جدول می‌توان نتیجه گرفت، مقدار ضرایب واسنجی همه ایستگاه‌ها با روش‌های *M, D, R, P, BW* و *A* کم‌تر از واحد است. بنابراین، در حوضه مورد مطالعه، روش‌های نام‌برده در حالت عادی (قبل از واسنجی) مقدار *ET* را بیش‌تر از روش *PM56* تخمین می‌زنند. برای بهبود عملکرد این روش‌ها کافی است در هر ایستگاه مقادیر *ET* هر یک از روش‌های نه گانه به ضرایب واسنجی مانند خود ضرب شوند، تا مقدار *ET* به طور دقیق تخمین زده شود. در حالی که روش‌های *T, Ma* و *WMO* در حالت عادی با توجه به دارا بودن ضرایب واسنجی بزرگ‌تر از واحد (برای برخی ایستگاه‌ها) مقدار *ET* را کم‌تر از روش *PM56* تخمین می‌زند. برای بهبود عملکرد این روش‌ها نیز لازم است ارقام به دست آمده با روش‌های نام‌برده به مقدار ضریب واسنجی ایستگاه مربوطه (طبق جدول ۶) ضرب شوند.

جدول ۴- معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین *ET* با روش *M* در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه (قبل از واسنجی).

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	$R^2$	<i>RMSE</i>	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>PE</i>
۱	اهر	A	۰/۸۹۱۷	۲۰/۶۶۰۶	۶۳۸۷۶	۱۴/۹۵۷۳	۱۷/۱۶۳۸
۲	خوی	B	۰/۸۹۷۳	۳۳/۶۱۲۰	۱۸/۵۹۵۷	۲۲/۴۱۴۰	۲۶/۱۰۸۹
۳	مهاباد	C	۰/۸۴۰۵	۵۴/۶۶۲۷	۳۰/۷۸۵۲	۳۵/۹۵۹۰	۳۰/۴۹۷۸
۴	مراغه	D	۰/۹۲۷۴	۷۳/۵۴۴۴	۴۴/۸۴۲۹	۴۷/۴۸۵۵	۳۲/۳۹۰۹
۵	ارومیه	E	۰/۹۱۱۴	۲۲/۳۱۷۱	۷/۰۸۶۰	۱۵/۱۰۱۴	۱۷/۴۱۸۳
۶	پیرانشهر	F	۰/۸۶۶۲	۵۳/۱۶۸۸	۲۹/۴۹۸۷	۳۴/۵۴۹۶	۲۹/۱۰۱۵
۷	سراب	G	۰/۹۰۹۷	۱۶/۴۶۹۲	-۱/۸۹۳۲	۱۲/۶۰۱۴	۱۸/۳۶۶۰
۸	سقز	H	۰/۸۳۸۶	۴۴/۵۷۳۱	۱۷/۸۷۷۸	۲۹/۱۳۳۹	۲۷/۳۶۵۷
۹	تکاب	I	۰/۸۷۵۸	۳۷/۳۶۶۶	۱۲/۵۸۹۷	۲۵/۳۰۹۲	۲۶/۶۷۰۵
۱۰	تبریز	J	۰/۹۱۹۸	۷۲/۳۱۳۴	۴۳/۱۹۹۸	۴۶/۵۴۲۵	۲۹/۷۴۱۲
	میانه (Median)	-	۰/۸۹۴۵	۴۰/۹۶۹۸	۱۸/۲۳۶۷	۲۷/۲۲۱۵	۲۷/۰۱۸۱

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۵) ۱۳۹۳

جدول ۵- معیارهای ارزیابی محاسبه شده برای تخمین *ET* با روش *M* در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه (بعد از واسنجی).

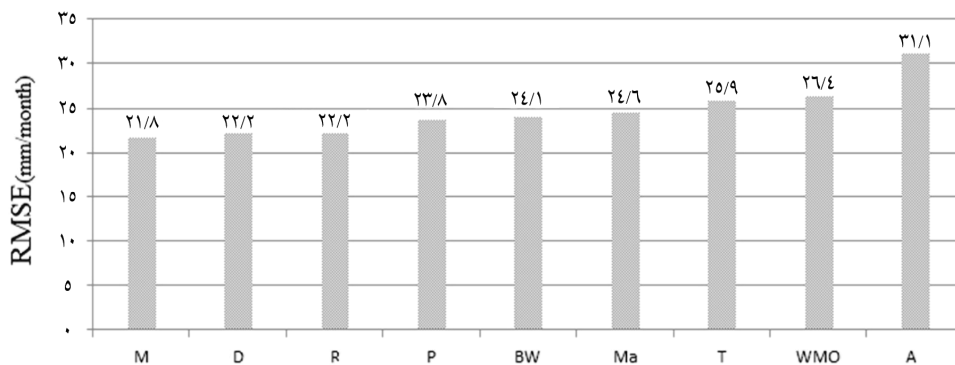
ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	$R^2$	<i>RMSE</i>	<i>MBE</i>	<i>MAE</i>	<i>PE</i>
۱	اهر	A	۰/۸۹۱۷	۱۶۲۰۰۳	-۴/۴۰۰	۱۲/۳۵۷۳	۱۵/۸۵۸۲
۲	خوی	B	۰/۸۹۷۳	۱۷/۰۰۶۴	-۴/۷۵۷۵	۱۳/۰۹۶۸	۱۸/۹۹۸۸
۳	مهاباد	C	۰/۸۴۰۵	۲۳/۷۴۷۳	-۸/۶۱۶۹	۱۸/۶۵۸۰	۲۳/۶۶۵۱
۴	مراغه	D	۰/۹۲۷۴	۲۱/۵۳۶۸	-۸/۹۰۲۷	۱۷/۰۸۶۹	۲۱/۰۵۴۹
۵	ارومیه	E	۰/۹۱۱۴	۱۶/۷۵۲۵	-۴/۸۳۵۲	۱۲/۵۵۱۸	۱۷/۱۵۱۷
۶	پیرانشهر	F	۰/۸۶۶۲	۲۲/۱۹۰۹	-۸/۷۱۲۵	۱۷/۸۶۳۱	۲۳/۵۸۶۹
۷	سراب	G	۰/۹۰۹۷	۱۶/۱۶۰۴	-۱/۴۷۳۱	۱۲/۴۶۲۷	۱۸/۲۳۸۶
۸	سقز	H	۰/۸۳۸۶	۲۴/۹۵۰۷	-۱۰/۴۶۴۴	۱۹/۸۰۴۱	۲۶/۸۶۳۷
۹	تکاب	I	۰/۸۷۵۸	۲۲/۰۶۲۱	-۹/۹۶۲۷	۱۸/۴۴۱۰	۲۶/۳۷۸۰
۱۰	تبریز	J	۰/۹۱۹۸	۲۲/۱۵۱۷	-۹/۵۸۸۵	۱۷/۴۹۵۱	۲۱/۸۵۸۸
	میانه (Median)	-	۰/۸۹۴۵	۲۱/۷۹۹۴	-۸/۶۶۴۷	۱۷/۲۹۱۰	۲۱/۴۵۶۸

جدول ۶- ضرایب واسنجی روش‌های منتخب تخمین *ET* بر مبنای انتقال جرم برای تمام ماه‌های سال در تمام دوره آماری در ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

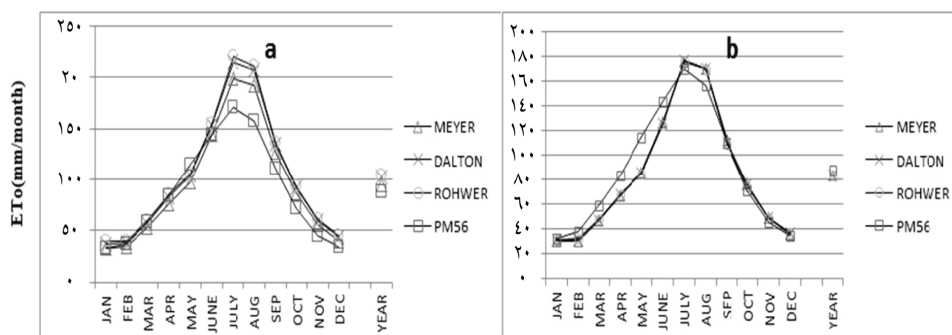
ایستگاه	اهر	خوی	مهاباد	مراغه	ارومیه	پیرانشهر	سراب	سقز	تکاب	تبریز
M	۰/۸۸۶۴	۰/۷۶۹۵	۰/۶۹۶۸	۰/۶۶۱۸	۰/۸۷۵۴	۰/۷۰۱۵	۰/۹۶۹۱	۰/۷۵۱۸	۰/۸۷۵۱	۰/۶۶۵۵
D	۰/۸۲۴۴	۰/۷۵۲۴	۰/۶۶۸۳	۰/۶۰۱۷	۰/۸۳۶۳	۰/۶۶۸۴	۰/۸۹۹۵	۰/۷۰۸۵	۰/۷۳۳۵	۰/۶۰۱۸
R	۰/۸۰۶۷	۰/۷۷۱۹	۰/۶۷۳۲	۰/۵۷۶۵	۰/۸۳۸۹	۰/۶۶۸۷	۰/۸۷۸۳	۰/۷۰۱۵	۰/۷۲۰۱	۰/۵۷۴۱
P	۰/۷۵۳۲	۰/۸۱۷۹	۰/۶۹۱۰	۰/۵۱۰۹	۰/۸۳۱۰	۰/۶۵۷۸	۰/۸۱۴۵	۰/۶۷۱۸	۰/۶۷۵۱	۰/۵۰۵۰
BW	۰/۵۶۰۷	۰/۶۲۵۶	۰/۵۰۰۸	۰/۳۹۶۳	۰/۶۱۷۰	۰/۴۸۸۵	۰/۶۰۹۷	۰/۵۰۰۱	۰/۵۰۷۱	۰/۳۹۲۴
Ma	۱/۰۲۹۴	۱/۱۸۵۹	۰/۹۳۷۳	۰/۷۱۷۷	۱/۱۵۰۴	۰/۹۰۹۳	۱/۱۱۷۵	۰/۹۲۷۳	۰/۹۳۲۰	۰/۷۰۹۴
T	۰/۹۵۷۴	۱/۰۹۶۳	۰/۸۷۱۷	۰/۶۶۷۵	۱/۰۶۹۹	۰/۸۴۵۶	۱/۰۳۹۳	۰/۸۵۹۰	۰/۸۶۶۷	۰/۶۵۹۷
WMO	۱/۲۹۷۹	۱/۴۸۹۳	۱/۲۰۴۶	۰/۸۶۰۷	۱/۴۷۵۲	۱/۱۶۳۳	۱/۴۰۱۱	۱/۱۷۲۳	۰/۱۶۶۰	۰/۸۴۸۷
A	۰/۵۷۷۳	۰/۷۷۹۵	۰/۶۰۳۶	۰/۳۵۴۰	۰/۷۲۰۴	۰/۵۶۰۲	۰/۶۱۶۳	۰/۵۳۸۳	۰/۵۱۶۹	۰/۳۴۷۷

شکل ۴ نمودار مستطیلی میانه ارقام مانند آماره RMSE روش‌های انتخاب شده بر مبنای انتقال جرم را (بعد از واسنجی) نشان می‌دهد. به طوری که ملاحظه می‌شود، مقدار RMSE روش M کم‌ترین مقدار (RMSE=۲۱/۷۹۹۴) را دارا می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش نام‌برده به‌عنوان بهترین روش تخمین ET در بین روش‌های منتخب بر مبنای انتقال جرم در حوضه مورد مطالعه می‌باشد. بعد از آن روش‌های D (RMSE=۲۲/۱۹۳۷)، R (RMSE=۲۲/۲۴۶۶)، P (RMSE=۲۳/۷۸۹۹)، BW (RMSE=۲۴/۰۹۴۱)، Ma (RMSE=۲۴/۵۹۳۶)، T (RMSE=۲۵/۸۷۸۵) و WMO (RMSE=۲۶/۴۵۱۱) و A (RMSE=۳۱/۱۱۲۱) در اولویت‌های دوم تا نهم قرار گرفتند. روش آلبرچت (A) به‌عنوان بدترین روش تخمین ET مبتنی بر انتقال جرم در منطقه مورد مطالعه شناخته شد.

مقایسه روش‌ها با توجه به مقادیر میانه معیارهای  $R^2$  و RMSE دو به دو انجام شد. نتایج نشان داد که روش میبیر (M) در رتبه نخست (به شرط اعمال ضریب واسنجی ایستگاه) قرار گرفت. روش‌های دالتون (D) و روهور (R) در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. در حالت کلی، با توجه به مقادیر میانه آماره RMSE (بعد از واسنجی) ایستگاه‌ها روش‌های M, D, R, P, Ma, BW, T, WMO و A به ترتیب در رده‌های یک تا نه قرار گرفتند.



شکل ۴- نمودار مستطیلی میانه ارقام مانند آماره RMSE روش‌های تخمین ET. (بر مبنای انتقال جرم) بعد از واسنجی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه.



شکل ۵- مقایسه میانگین ماهانه و سالانه  $ET$  سه روش میر (M)، دالتون (D) و روهور (R) با روش PM56 قبل از واسنجی (a) و بعد از واسنجی (b).

شکل ۵ میانگین ماهیانه  $ET$  را برای سه روش برتر (M، D و R) بر مبنای انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان می‌دهد. به‌منظور امکان مقایسه کارایی هر مدل با روش PM56 روش اخیر مانند در شکل نام‌برده نشان داده شده است.

شکل ۵-a مقایسه روش‌ها را قبل از واسنجی نشان می‌دهد، به‌طوری‌که مشاهده می‌شود قبل از واسنجی، روش PM56 نسبت به سه روش برتر از بین روش‌های مبتنی بر انتقال جرم، مقدار  $ET$  را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر نشان می‌دهد. با این حال، روش M کم‌ترین اختلاف را با روش PM56 دارد و بعد از آن روش‌های D و R به‌ترتیب کم‌ترین اختلاف را نشان می‌دهند. قبل از واسنجی، ماه‌های گرم سال (ژوئیه و اوت) در مقایسه با سایر ماه‌ها خطای بیش‌تری (در مقایسه با روش PM56) داشتند. هم‌چنان که از شکل نام‌برده مشاهده می‌شود این نتیجه برای میانگین سالانه  $ET$  نیز صادق است. شکل ۵-b مقایسه روش‌ها را بعد از واسنجی نشان می‌دهد. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، پس از واسنجی مقدار خطای روش‌های سه‌گانه نسبت به روش PM56 به‌ویژه در ماه‌های گرم سال (ژوئیه و اوت) تا حدود زیادی کاسته شده است. با این حال، در بازه زمانی ژانویه تا ژوئن، سه روش M، D و R مقدار  $ET$  را در مقایسه با روش PM56 به تا حدودی کم‌تر تخمین می‌زنند. در فاصله زمانی اوت تا دسامبر مقدار  $ET$  هر سه روش تقریباً با روش PM56 برابرند. در مقیاس سالانه مقدار  $ET$  هر سه روش (پس از واسنجی) تقریباً برابر با مقدار مانند روش PM56 می‌باشد (شکل ۵b).

سلطانی و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که حداقل داده‌های لازم برای برآورد دقیق تبخیر- تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن- مانیتث در اقلیم مشابه با اقلیم حوضه آبریز دریاچه ارومیه داده‌های درجه حرارت هوا و سرعت باد می‌باشد. با این حال این مطالعه با روش متفاوت و آسان مقدار  $ET_c$  را تخمین می‌زند. خو و سینگ (۲۰۰۲) در ایستگاه چانگینز سوئیس ضریب ثابت واسنجی روش روهور (R) را معادل  $1/0.93$  برآورد کردند. این روش، در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، بعد از روش‌های M و D در رتبه سوم قرار گرفته است. ژای و همکاران (۲۰۱۰) در شمال چین نشان دادند که روش‌های بر مبنای انتقال جرم در مناطق خشک نتیجه بهتری در مقایسه با نواحی نیمه خشک و مرطوب می‌دهند. طبری و همکاران (۲۰۱۱) مدل M را در بین روش‌های بر مبنای انتقال جرم بهترین روش برای ایستگاه رشت معرفی کردند. این نتیجه با یافته‌های این مطالعه برای ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه مطابقت دارد. به پژوهش ثابت شده است که درجه حرارت هوای حوضه آبریز دریاچه ارومیه به‌ویژه در ماه‌های سرد سال افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است (دلجو و همکاران، ۲۰۱۲). افزون بر این، در چهار دهه گذشته مقدار بارش در حوضه نام‌برده حدود  $9/2$  درصد کاهش داشته است (دلجو و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین، با توجه به کاهش بارش و به دنبال آن کاهش منابع آب و افزایش درجه حرارت هوا و همچنین به دنبال آن افزایش  $ET_c$  می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت معقول و بهینه منابع آب برای جلوگیری از بحران‌های مختلف زیست‌محیطی، سیاسی، اجتماعی و اقتصادی منطقه اجتناب‌ناپذیر است. مهسافر و همکاران (۲۰۱۱) با مدل HadCM3 تحت سناریوی A<sub>2</sub> پیش‌بینی کردند که میانگین سالانه دمای هوا در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به اندازه  $2/8$  درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. از طرفی میزان کاهش سطح دریاچه به اندازه  $4/6$  متر پیش‌بینی شده است. بنابراین، منابع آب منطقه تا حدودی ثابت است ولی نیاز آبی زراعت و باغات در آینده افزایش خواهد یافت، این امر دقت هرچه بیش‌تر در مدیریت منابع آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه را می‌طلبد.

### نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه با استفاده از اطلاعات آماری پارامترهای هواشناسی ده ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۶، مقادیر  $ET_c$  ماهانه با روش‌های پنمن- مانیتث و روش تجربی مبتنی بر انتقال جرم تخمین زده شد. این ۹ روش شامل روش‌های میسر، دالتون،

روهو، پنمن، بروکمب-وننر، ماهرینگر، ترابرت، WMO و آلبرچت در مقابل روش PM56 که به‌عنوان یک روش استاندارد برای تخمین تبخیر-تعرق توصیه شده است، مقایسه و برای ده ایستگاه حوضه دریاچه ارومیه واسنجی شدند. مقایسه و ارزیابی مدل‌ها قبل و پس از واسنجی انجام گردید. کارایی روش‌ها با استفاده از معیارهای  $R^2$ ، RMSE، MBE، MAE و PE مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بعد از واسنجی روش M ( $R^2=0/8945$ ) مناسب‌ترین روش تخمین ET در حوضه آبریز دریاچه ارومیه شناخته شد، پس از آن روش D ( $R^2=0/8931$ ) به‌عنوان دومین روش مناسب در حوضه نام‌برده شناخته شد. روش‌های R، P، BW، Ma، T، WMO و A به‌ترتیب، در رده‌های سوم تا نهم قرار گرفتند. نتایج نشان داد که استفاده از ضرایب واسنجی برای مدل‌های مورد استفاده کارایی تمام روش‌ها را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. زیرا پس از واسنجی معیارهای ارزیابی برای تمام روش‌ها به مقدار قابل‌توجهی بهبود پیدا کرد. به‌عبارت دیگر مقادیر آماره‌های RMSE، MBE، MAE و PE پس از واسنجی کاهش یافت. برای تخمین ET در حوضه دریاچه ارومیه غالب نقاط و مزارع بدون داده‌های اندازه‌گیری شده برای ET هستند. از طرفی روش فائو پنمن-مانتیت نیاز به یک سری اطلاعات هواشناسی مانند رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و تشعشع آفتاب دارند که در مزارع و باغات به آسانی قابل دسترس نیست. بنابراین، بهترین روش از بین ۹ روش کاندیدای مبتنی بر انتقال جرم، روش مییر (M) تشخیص داده شد و ضریب واسنجی این روش برای همه ایستگاه‌ها به‌دست آمد. اینک می‌توان نتیجه گرفت که اگر مقدار ضرایب واسنجی ایستگاه‌ها را برای روش مییر در نظر بگیریم می‌توان انتظار داشت که این روش ET را در حوضه دریاچه ارومیه با دقت قابل‌قبول تخمین خواهد زد. با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دما در حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه مدیریت علمی آب کشاورزی در این حوضه اجتناب‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد. مطالعه مشابه در سایر حوضه‌ها توصیه می‌شود.

### سپاسگزاری

از داوران محترم که با صرف وقت ارزشمند خود نکات مهمی را در راستای بهبود کیفیت مقاله ارائه فرمودند سپاسگزاری می‌نمائیم.



## منابع

1. Albrecht, F. 1950. Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche Archive für Meteorologie, Springer Series B. 2: 1. 1-38.
2. Alizade, A., and Kamali, GH. 2006. Crop Water Requirement in Iran. First edition, Astan Ghods Razavi Publication. 228p.
3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper no 56, FAO, 1998, Publication series, Rome, Italy. 301p.
4. Allen, R.G., Jensen J.L., Wright, J.L., and Burman R.D. 1989. Operational estimate of evapotranspiration. Agron. J. 81: 650-662.
5. Brockamp, B., Wenner, H. 1963. Verdunstungsmessungen auf den Steiner See bei Münster. Dt Dai, X., Shi, H., Li, Y., Ouyang, Z., and Huo, Z. 2009. Artificial neural network models for estimating regional reference evapotranspiration based on climate factors. Hydrological Processes, 23: 442-450.
6. Dalton, J. 1802. Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of steam of vapor from waters and other liquids in different temperatures, both in a torricellian vacuum and in air on evaporation and on the expansion of gases by heat. Mem Manch Lit Philos Soc 5: 535-602.
7. DehghaniSanij, H., Yamamoto, T., and Rasiah, V. 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. Agricultural Water Management, 64: 2. 91-106.
8. Delju, A.H., Ceylan, A., Piguët, E., and Rebetez, M. 2012. Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran. Teor. Appl. Climatol. 111: 1. 285-296.
9. Gundekar, H.G., Khodke, U.M., and Sarkar, S. 2008. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. Irrigation Science. 26: 169-175.
10. Kochekezade, M., and Bahmani, A. 2004. Evaluating the artificial neural network reducing the need parameters to archive reference evapotranspiration. Agricultural Sciences. 11: 87-96.
11. Landeras, G., Ortiz-Barredo, A., and Lopez, I.J. 2008. Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (northern Spain). Agricultural Water Management. 95: 553-565.
12. Mahsafar, H., Maknoon, R., and Saghafian, B. 2011. The impact of climate change on Urmia Lake water level. Iran-Water Resources Research. 7: 1. 47-58.
13. Mahringer, W. 1970. Verdunstungsstudien am Neusiedler See. Arch Met Geoph Biokl Ser B. 18: 1-20.

14. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. 1966. Technical Note No. 83, Geneva (W.M.O.), P 121. Sw. fr. 15. Q.J.R. Meteorol. Soc. 95: 444.
15. Meyer, A. 1926. Ueber einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa. *Chemie der Erde*. 2: 209-347.
16. Penman, H.C. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc R Soc Lond Ser A*. 193: 120-145.
17. Rohwer, C. 1931. Evaporation from free water surface. *USDA Tech Bull*. 217: 1-96.
18. Rosenberry, D.O., Stannard, D.O., Winter, T.C., and Martinez, M.L. 2004. Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake Area North Dakota, USA. *Wetlands*. 24: 3. 483-497.
19. Sentelhas, P., Gillespie, T., and Santos, E.A. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*. 97: 635-644.
20. Singh, V.P., and Xu, C.Y. 1997. Evaluation and generalization of 13 mass-transfer equations for determining free water evaporation. *Hydrological Processes*. 11: 311-323.
21. Soltati, A., Mirlatifi, S.M., and Dehghanisani, H. 2012. Estimating reference evapotranspiration using limited weather data under different climatic condition. *J. Water Soil*. 26: 1. 139-149.
22. Tabari, H., Grismer, M.E., and Trajkovic, S. 2013. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrig. Sci*. 31: 107-117.
23. Temesgen, B., Eching, S., Davidoff, B., and Frame, K. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. *J. Irrig. Drain. Eng*. 131: 1. 73-84.
24. Trabert, W. 1896. Neue Beobachtungen über Verdampfungsgeschwindigkeiten. *Meteorol Z*. 13: 261-263.
25. Trajkovic, S., and Kolakovic, S. 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resour. Manage*. 23: 3057-3067.
26. Xu, C.Y., and Singh, V.P. 2002. Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*. 16: 197-219.
27. Zhai, L., Feng, Q., Li, Q., and Xu, C.Y. 2010. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province, northwest China. *Irrigation and Drainage*. 59: 477-490.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Comparison and calibration of nine mass transfer-based reference crop evapotranspiration methods at Urmia Lake Basin**

**\*O. Babamiri<sup>1</sup> and Y. Dinpashoh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Water Resources, University of Tabriz,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Resources, University of Tabriz

Received: 01/06/2013; Accepted: 07/29/2013

### **Abstract**

The aim of this study is to compare and calibrate nine different mass transfer-based reference crop evapotranspiration ( $ET_0$ ) estimation methods in monthly time scale at Urmia Lake basin. The selected methods were Meyer (M), Dalton (D), Rohwer (R), Penman (P), Brockamp and Wenner (BW), Mahringer (Ma), Trabert (T), WMO and Albrecht (A) methods. For this purpose the information of ten synoptic weather stations in the period of 1986-2010 were used. Results of the mentioned methods were compared with the output of the FAO-56 Penman-Monteith (PM56) method. Calibration of methods were performed in the case of every station and monthly in the mentioned time period. Performance of methods were evaluated using the  $R^2$ , RMSE, MBE, MAE and PE statistics. Results showed that before calibration larger biases existed for the selected methods compared with the PM56. Calibration of methods considerably improved their performances. The M method was recognized as the best one after calibration at the study watershed. The median of the  $R^2$  values was 0.8945. In the mentioned method (after calibration) the median of the RMSE, MBE, MAE and PE was found to be equal to 21.8, -8.7, 17.3 and 21.5 mm per month, respectively. The D method was selected as the second best one. Methods namely, R, P, BW, Ma, T, WMO and A ordered as the third till ninth ranks.

**Keywords:** Basin, Evapotranspiration, Mass transfer, Penman-Monteith, Urmia Lake

---

\* Corresponding Author; Email: obabamiri@yahoo.com

