

## مدلسازی تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از فراسنجهای هواشناسی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه)

یعقوب دین‌پژوه<sup>۱</sup>

سعید جهانبخش اصل<sup>۲</sup>

لیلا موسوی جهانی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از مدل‌های تخمین  $ET_0$  که مورد قبول همه هیدرولوژیست‌ها و اقلیم‌شناسان می‌باشد، مدل فائق پنم‌من- مانتیس (FAO56PM) است. این مدل، علیرغم تخمین دقیق  $ET_0$  در اقلیم‌های مختلف، محدودیت‌هایی دارد. از جمله این محدودیت‌ها نیاز به داده‌های متنوع هواشناسی از جمله تابش آفتاب، ساعت‌های آفتابی، دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و فشار بخار واقعی است. متاسفانه همه این پارامترهای در جمیع موارد در دسترس نیستند. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه یافتن روشی ساده تخمین  $ET_0$  با داده‌های کم هواشناسی و دقت کافی در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. برای این کار از مدل‌های هارگریوز، کیمبلی پنم‌من، پریستلی تایلور و مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی استفاده شد. ارزیابی مدل‌ها با سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) به انجام رسید. نتایج نشان داد که میانه مقادیر  $R^2$  مدل کیمبلی- پنم‌من بیش از ۰/۹۸۶ به دست آمده است. در حالی که این رقم برای مدل‌های PT و HG بترتیب معادل ۰/۹۰۲ و ۰/۴ به دست آمد. در مدل HG میانه مقادیر RMSE حدود ۰/۹ (میلیمتر بر روز) بود این رقم برای مدل‌های KPM و PT به ترتیب، حدود ۱/۳ و ۲/۱ (میلیمتر بر روز) بود. میانه آماره MAE ایستگاه‌های منتخب، برای مدل KPM از ۱ (میلی‌متر بر روز) نیز کمتر بود. این رقم در مورد مدل HG حدود ۰/۷ (میلی‌متر بر روز) و برای مدل PT بیشتر از ۱/۵ (میلی‌متر بر روز) بود. بنابراین، با توجه به معیار MAE نیز مدل HG مناسب‌تر از مدل‌های دیگر تشخیص داده شد. مدل رگرسیون خطی با ۲ متغیر ( $T_{max}$ , Wind) دارای میانه مقادیر  $R^2$  معادل ۰/۸۴ در بین سایر مدل‌ها مناسب‌تر و دقیق‌تر می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** حوضه دریاچه ارومیه، فراسنجه هواشناسی، کیمبلی پنم‌من، پریستلی تایلور، هارگریوز، رگرسیون خطی چندگانه، رگرسیون غیرخطی.

### مقدمه

تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) یکی از مولفه‌های اصلی گردش آب در طبیعت می‌باشد که تخمین دقیق آن در بیلان آب حوضه‌ها و مخازن، طراحی سیستم‌های آبیاری و زهکشی، تخمین دقیق ابعاد سازه‌های آبی ضروری می‌باشد (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۶-۲۵). این موضوع به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه خشک که در آن آب برای فعالیت‌های بشر حیاتی است، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این میان، یکی از مدل‌های استاندارد برای تخمین  $ET_0$ ، مدل فائق پنم‌من- مانتیس (FAO56PM) می‌باشد. یکی از



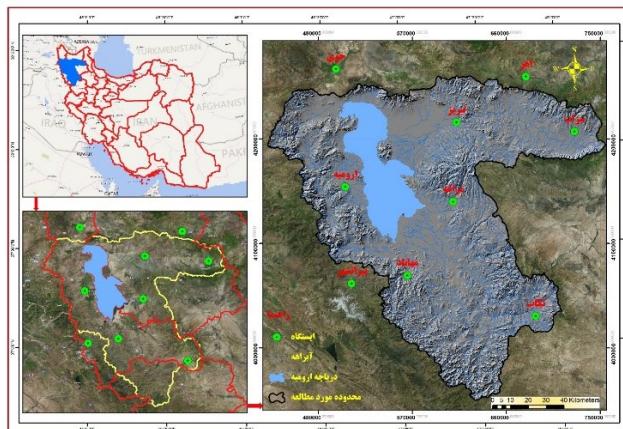
محدودیت‌های این مدل نیاز به داده‌های هواشناسی زیاد می‌باشد. که در اکثر موارد در دسترس نمی‌باشد. دانشمندان در صدد یافتن مدل‌هایی که نیاز به پارامترهای هواشناسی کمتری دارند روی آورده‌اند. در گذشته، مطالعات متعددی در زمینه کاربرد مدل‌های مختلف تجربی برای تخمین  $ET_0$  انجام شده است. چودهوری<sup>۱</sup> (۱۹۹۷: ۸۱-۶۴) الگوی کلی  $ET_0$  را بر اساس مدل FAO56PM با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و اطلاعات جمع‌آوری شده برای یک دوره ۲۴ ماهه تهیه نمود. سامنر<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۵: ۱۰۴-۲۰)  $ET_0$  را در یک دوره ۱۹ ماهه در فلوریدا با استفاده از مدل‌های متکی بر داده‌های سهل‌الوصول مانند پریستلی-تیلور (PT) تخمین زند. پاپاوا و همکاران (۲۰۰۶: ۲۱-۲۰۱)  $ET_0$  مقادیر FAO56PM را با روش FAO56PM در ۵ ایستگاه بلغارستان با پارامترهای هواشناسی کم تخمین و با نتایج مدل FAO56PM مقایسه کردند. ژای و همکاران (۲۰۱۰: ۴۹۰-۴۷۷) یازده مدل تجربی را برای تخمین  $ET_0$  در استان کانسو واقع در چین بکار برdenد. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌هایی که مقدار  $T_{mean} > 0^{\circ}\text{C}$  باشد. مدل Turk قابل کاربرد است، ولی در ایستگاه‌هایی که  $59.8^{\circ}\text{C} > T_{mean} > -3^{\circ}\text{C}$  است. مدل جنسن - هیز مناسب بود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹: ۵۱۱-۴۹۹) بر اساس داده هواشناسی روزانه (MLR) ایستگاه در چین (۱۹۷۰-۲۰۱۴) مقادیر  $ET_0$  را با فرمول FAO56PM محاسبه نمودند. ایشان با روش رگرسیون خطی چندگانه (MLR) مقادیر  $ET_0$  را برای ماههای ژوئن تا سپتامبر محاسبه و نتایج را با خروجی روش PM مقایسه کردند. در ایران خیرابی و همکاران (۱۳۷۶) ضمن تشریح روش FAO56PM براساس آمار محدود میزان تغییرات  $ET_0$  در ۴۶ ایستگاه کشور از جمله همدان مطالعه شد. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۸۷: ۳۲۹-۳۳۹) چند مدل  $ET_0$  را در اقلیم سرد نیمه‌خشک استفاده و نتایج را با مدل FAO56PM مقایسه کردند. سلطانی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۴۹-۱۳۹) دقت مدل‌های تورک، هارگریوز (HG) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) را با مدل FAO56PM مقایسه کردند. جهانبخش و همکاران (۱۳۸۰: ۵۶-۵۱) روش‌های ترکیبی  $ET_0$  را در ایستگاه تبریز با آمار ۲۰ ساله به کار بردن و خروجی آن‌ها را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کردند. در سال‌های اخیر، حوضه دریاچه ارومیه شاهد تغییرات شگرف در بیلان آب بوده، طوری که تراز آب دریاچه بطور مستمر کاهش یافته است. برای حل این مشکل باید از مصرف آب بی رویه خودداری نمود. لازمه این مهم، تخمین صحیح  $ET_0$  برای تامین آب مصرفی گیاهان است. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه بررسی دقت کارایی سه مدل تجربی تخمین  $ET_0$  (شامل KPM، HG، PT) و مدل‌های MLR و رگرسیون غیرخطی چندگانه که نیاز به پارامترهای هواشناسی اندک و سهل‌الوصول دارند، در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. موقعیت جغرافیایی حوضه بین ۴۴ درجه و ۱۳ درجه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی است. مساحت حوضه حدود ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع (۳/۲ درصد مساحت کشور) است (شکل ۱). داده‌ها از ادارات کل هواشناسی استان‌های مربوطه اخذ شد. آمار داده‌های ثبت شده ۹ ایستگاه هواشناسی از بدء تاسیس تا آخر سال ۲۰۱۸ استفاده شد. کیفیت داده‌ها با روش Run Test بررسی و همگنی آنها تایید شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های منتخب در حوضه دریاچه ارومیه را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Choudhury

<sup>2</sup> Sumner



شکل(۱). نقشه‌ی موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه (حوضه دریاچه ارومیه).

جدول(۱). مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (m)	عرض جغرافیایی (m)	ارتفاع سالانه (میلیمتر)	ET <sub>0</sub>	دقیقه درجه	دقیقه درجه	تبریز
۱	۱۶۰۵	۱۳۶۴	۳۸ ۰.۷	۴۶ ۱۷				
۲	۱۶۲۹	۱۳۴۴	۳۷ ۲۴	۴۶ ۱۶				مراغه
۳	۱۲۲۲	۱۳۹۱	۳۸ ۲۶	۴۷ ۰.۴				اهر*
۴	۱۱۳۵	۱۶۸۲	۳۷ ۵۶	۴۷ ۲۳				سراب
۵	۱۲۷۰	۱۳۳۵	۳۸ ۳۳	۴۵ ۰.۵				ارومیه
۶	۱۲۳۰	۱۸۱۷	۳۶ ۲۳	۴۷ ۰.۷				تکاب
۷	۱۳۰۰	۱۳۵۲	۳۶ ۴۶	۴۵ ۴۳				مهاباد
۸	۱۳۹۵	۱۴۴۴	۳۶ ۴۰	۴۵ ۰.۸				پیرانشهر*
۹	۱۱۷۲	۱۱۰۳	۳۸ ۳۳	۴۴ ۵۸				خوی*

توجه: ایستگاههای با علامت ستاره در خارج از محدوده حوضه دریاچه ارومیه قرار دارند.

در این مطالعه، برای مدل‌بندی ET<sub>0</sub> ایستگاه‌های هواشناسی منتخب از داده‌های دمای حداقل ( $t_{min}$ )، حداقل ( $t_{max}$ )، ساعت آفتابی (n)، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری به نات (u)، میانگین رطوبت نسبی هوا (RH)، و عرض جغرافیایی ایستگاهها ( $\phi$ ) استفاده شد. سرعت باد، از ارتفاع ۱۰ به ۲ متری با رابطه زیر تبدیل شد (نانداگیری و کوور، ۲۰۰۵؛ ۲۴۴؛ ۲۰۰۵)؛ سنتل‌هاس و همکاران، (۲۰۱۰):

$$u_2 = \frac{U_z \times 4.87}{\ln(67.8 \times Z - 5.42)} \quad (1)$$

که در آن:  $u_z$ : سرعت باد در ارتفاع Z متری ( $\frac{m}{s}$ )،  $u_2$ : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ( $\frac{m}{s}$ ) و Z: ارتفاع دکل بادسنج می‌باشد (دین پژوه و همکاران ۲۰۱۲؛ ۲۰۱۲؛ ۲۸۰-۲۶۰).

#### روش فائو-۵۶-پنم مانتیس (FAO56PM)

روش FAO56PM یکی از روش‌های دقیق برای تخمین ET<sub>0</sub> در همه‌ی انواع اقلیم‌ها می‌باشد. در این روش، برای محاسبه‌ی ET<sub>0</sub> از رابطه آلن و همکاران (۱۹۹۸؛ ۳۳۲) به شرح زیر استفاده شد:

$$ET_0 = \frac{0.484 \times \Delta(R_{n-G}) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (\text{mm day}^{-1}) \quad (2)$$



که در آن  $ET_0$  تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $T$  میانگین دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ ) و سایر پارامترها در ادامه شرح داده شده است. برای محاسبهٔ فشار بخار واقعی هوا ( $e_a$ ) ابتدا فشار بخار اشباع ( $e_s$ ) با توجه به رابطه زیر محاسبه شد:

$$e_s = 0.6108 \times \exp\left(\frac{17.27 \times T}{237.3 + T}\right) \quad (3)$$

که در آن  $T$ : میانگین دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ ) می‌باشد. پس از محاسبهٔ  $e_s$  مقدار آن به  $RH$  ضرب و مقدار  $e_a$  (کیلوپاسکال) به دست آمد. برای محاسبه  $\Delta$  (شیب منحنی فشار بخار اشباع تابعی از میانگین دمای هوا) از رابطه زیر بهره گرفته شد:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(237.3 + T)^2} \quad (\text{KP}_a / ^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

سایر پارامترهای موجود در معادله (۲) با استفاده از روابط توصیه شده در آن و همکاران ۱۹۹۸: ۳۳۲-۳۳۹ محسوبه شد. خروجی مدل FAO56PM به عنوان مبنای مقایسه دقت سایر روش‌ها استفاده شد.

### روش هارگریوز (HG)

در روش HG برای تخمین  $ET_0$  (mm/day) از معادله زیر استفاده شد (شاتلورث ۱۹۹۳: ۲۷-۴):

$$ET_0 = 0.0023 S_0 \times \sqrt{(T_{max} - T_{min})} \times (T_{max} - 17.8) \quad (5)$$

که در آن:  $S_0$ : میزان تابش رسیده به بالای جو زمین ( $\frac{\text{mm}}{\text{day}}$ ) و  $T_{mean}$ ,  $T_{min}$ ,  $T_{max}$  بترتیب، حداکثر، حداقل و میانگین دمای هوای روزانه ( $^{\circ}\text{C}$ ) می‌باشند.

### روش کیمبرلی-پنمن (KPM)

فرم مدل کیمبرلی-پنمن (KPM) به صورت زیر است (شاتلورث ۱۹۹۳: ۲۶-۴):

$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \times \frac{6.43 \times W_f \times D}{\lambda} \quad (\text{mm/day}) \quad (6)$$

که در آن  $W_f$  تابعی از سرعت باد در ارتفاع ۲ متر بوده که از رابطه زیر حساب شد:

$$W_f = a_w + b_w u_2 \quad (7)$$

$$a_w = 0.4 + 1.4 \times \exp\{-[(J - 173)/58]^2\} \quad (8)$$

$$b_w = 0.605 + 0.345 \times \exp\{-[(J - 243)/80]^2\} \quad (9)$$

که در آن  $J$  شماره روز ژولیوسی و  $D$  کمبود فشار بخار اشباع یا ( $e_s - e_a$ ) است.

### مدل پریستلی-تايلور (PT)

فرم مدل پریستلی-تايلور (PT) به شرح زیر است (شاتلورث: ۱۹۹۳: ۴-۲۸):

$$ET_0 = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (\text{mm day}^{-1}) \quad (10)$$

که در آن  $R_n$ : تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین ( $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ),  $G$ : شار گرمای خاک ( $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ ) بوده و ضریب  $\alpha$  برای نواحی مرطوب و خشک بترتیب برابر  $1/26$  و  $1/74$  توصیه شده است. برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه،  $\alpha = 1.74$  فرض شد.



### مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی (MLR)

مدل‌های MLR در فرم ماتریسی برای  $p$  متغیر هواشناسی به شرح زیر در نظر گرفته شد (درپر و اسمیت ۱۹۶۶: ۱۸۵):

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\epsilon} \quad (11)$$

که در آن،  $\mathbf{Y}$ : بردار نظیر متغیر وابسته،  $\mathbf{X}$ : ماتریس نظیر متغیرهای مستقل،  $\boldsymbol{\beta}$ : بردار ضرایب رگرسیون،  $\boldsymbol{\epsilon}$ : بردار خطای برازش مدل می‌باشند که بشرح زیر تعریف شدند:

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}, \boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

مقادیر درایه‌های بردار  $\hat{\boldsymbol{\beta}}$  از رابطه زیر بدست آمد:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}(\mathbf{X}'\mathbf{Y}) \quad (13)$$

که در آن  $\mathbf{X}'$  ترانهاده ماتریس  $\mathbf{X}$  است. در این مطالعه، مدل‌های MLR با تعداد متغیرهای هواشناسی متفاوت (بین ۱ تا ۵ با ترکیبات مختلف) بسط داده شدند. معنی‌داری هرکدام با آزمون F درسطح ۰/۰۵ تست و مناسب‌ترین مدل با تعداد متغیرهای مختلف انتخاب شدند.

### مدل‌های رگرسیونی غیرخطی

مدل‌های غیرخطی (با حداقل ۵ پارامتر هواشناسی) به شرح زیر در نظر گرفته شد:

$$ET_0 = T_{max}^{Y_0} \times T_{min}^{Y_1} \times n^{Y_2} \times RH^{Y_3} \times wind^{Y_4} \quad (\text{mm day}^{-1}) \quad (14)$$

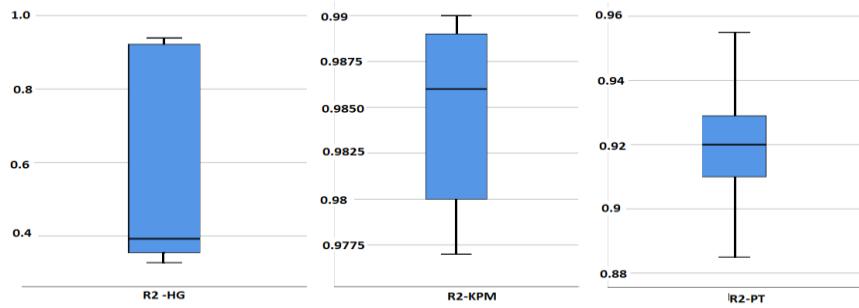
محاسبات در صفحه گسترده با نرم افزار SPSS انجام شد.

### ارزیابی عملکرد مدل‌ها

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های تجربی و رگرسیونی (خطی و غیرخطی) از سه شاخص ضریب تعیین ( $R^2$ )، متوسط خطای مطلق (MAE) و ریشه میانگین مربعات خطأ (RMSE) استفاده شد.

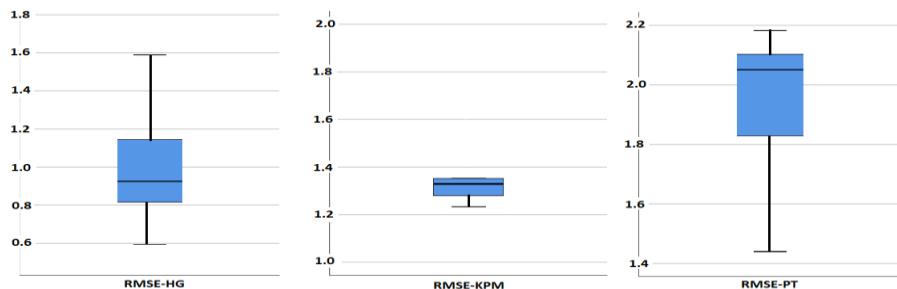
### یافته‌ها

شکل‌های ۲، ۳ و ۴ بترتیب، نمودارهای باکس پلات معیارهای ارزیابی شامل ضریب تعیین، RMSE و MAE را در خصوص ۹ ایستگاه منتخب در حوضه دریاچه ارومیه برای سه مدل تجربی نشان می‌دهد.

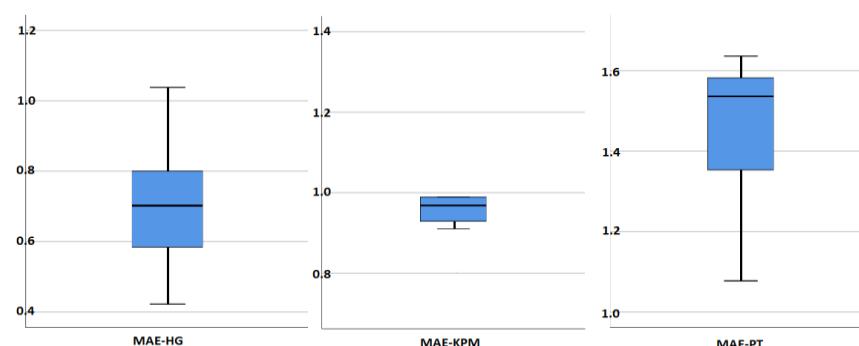


شکل (۲). باکس پلاٹ ضرایب تعیین برای سه مدل تجربی (چپ HG، وسط KPM و راست PT)

با توجه به مقادیر میانه مقادیر  $R^2$  از بین سه مدل تجربی، مدل KPM نتیجه خوبی ارائه داده است. طوری که میانه مقادیر  $R^2$  مدل KPM بیش از ۰/۹۸۶ به دست آمده است. در حالی که، این رقم برای مدل های PT و HG بترتیب، معادل ۰/۹۰۲ و ۰/۴۰ بود که کمتر از مقدار نظیر مدل KPM هستند. افزون بر این، مدل HG به جز در ۳ استگاه (تبریز، سراب و تکاب که  $R^2$  بالاتر از ۰/۹۲۲ داشتند) دارای آماره  $R^2$  کمتری بودند. تنها در نظر گرفتن معیار  $R^2$  برای تشخیص بهترین مدل منطقی نیست. بنابراین، معیارهای دیگر (RMSE و MAE) نیز در نظر گرفته شدند. در مدل HG، میانه مقادیر RMSE حدود ۰/۹ (میلیمتر بر روز) بود این رقم برای مدل های KPM و PT بترتیب، حدود ۱/۳ و ۲/۱ (میلیمتر بر روز) بود (شکل ۳). این نتیجه حاکی از برتری مدل HG نسبت به دو مدل دیگر است. ضمناً بطوریکه از شکل ۴ می توان دید، میانه مقادیر آماره MAE ایستگاه های منتخب، برای مدل KPM از ۱ (میلیمتر بر روز) نیز کمتر است. این رقم در مورد مدل HG حدود ۰/۷ (میلیمتر بر روز) و برای مدل PT بیشتر از ۱/۵ (میلیمتر بر روز) بود. که این نتیجه نیز حاکی از برتری مدل HG نسبت به دو مدل KPM و PT دارد. با توجه به معیارهای ارزیابی از بین ۳ مدل تجربی کاندیدا، مدل HG مناسبتر از بقیه (مدل های KPM و PT) می باشد.



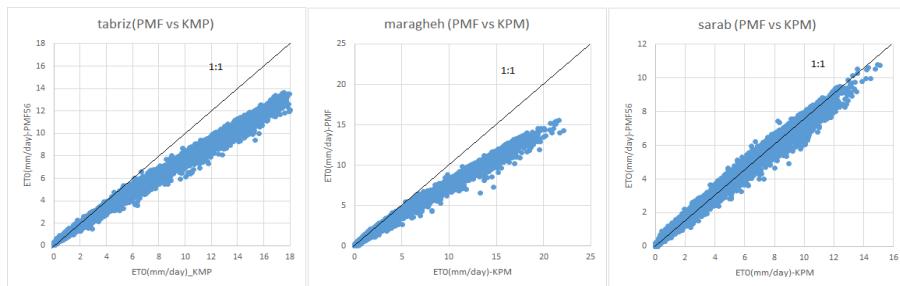
شکل (۳). باکس پلاٹ مقادیر آماره RMSE برای سه مدل تجربی (چپ HG، وسط KPM و راست PT) بسط داده شده برای حوضه دریاچه ارومیه.



شکل (۴). نمودار باکس پلاٹ مقادیر میانگین خطای مطلق (MAE) برای سه مدل تجربی (چپ HG، وسط KPM و راست PT) بسط داده شده برای حوضه دریاچه ارومیه.



شکل ۵ نمودار پراکنش نقاط  $ET_0$  حاصل از مدل KPM (محور افقی) را در مقابل FAO56PM (محور قائم) به عنوان نمونه برای ۳ ایستگاه تبریز، مراغه و سراب نشان می‌دهد. در هر ۳ ایستگاه، مقادیر حاصل از روش KPM بیشتر از FAO56PM بود. مشابه چنین نمودارهایی برای همه ایستگاهها و مدل‌ها رسم شد (نشان داده نشدند).



شکل (۵). نقاط پراکنش  $ET_0$  حاصل از مدل KPM در مقابل FAO56PM (چپ تبریز، وسط مراغه و راست سراب)

مدل MLR با استفاده از گزینه پیشرو برای تبریز نشان داد که در مرحله اول، تنها متغیر  $T_{max}$  برای تخمین  $ET_0$  وارد مدل شد ( $R^2 = 0.821$ ). در مرحله بعد، متغیر wind نیز به مدل وارد شد ( $R^2 = 0.874$ ). در مرحله سوم، علاوه بر متغیرهای قبلی ساعت آفتابی (n) نیز به مدل اضافه شد ( $R^2 = 0.885$ ). در مراحل چهارم و پنجم علاوه بر متغیرهای قبلی پارامترهای  $T_{min}$  و RH نیز به ترتیب در مدل وارد و مقدار  $R^2$  به ترتیب به  $0.894$  و  $0.900$  ارتقا یافتند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که هر ۵ مدل قادر به تخمین  $ET_0$  در تبریز بوده و لیکن با افزایش تعداد متغیرها، دقت برآورد تا حدودی بیشتر شد. به عنوان نمونه، فرم ریاضی مدل ساده یک پارامتری خطی (معنی‌دار در سطح ۱٪) برای تبریز به شرح زیر به دست می‌آید:

$$ET_0 = -1.184 + (0.293 \times T_{max}); \quad (R^2 = 0.821, n = 9931) \quad (15)$$

جدول ۲ مقادیر عرض از مبدا (یا مقدار ثابت) و شیب خط برآش شده را برای مدل رگرسیون خطی ساده (با یک پارامتر) نشان می‌دهد. همه مقادیر  $R^2$  از  $0.72$  تا  $0.88$  بیشتر هستند که در سطح  $0.1\%$  معنی دار بودند. مدل‌های ۳ پارامتری خطی نیز برآش شد. مثلاً برای تبریز مدل ۳ پارامتری (جدول ۴) به شرح زیر قابل ارائه است:

$$ET_0 = -2.978 + (0.231 \times T_{max}) + (0.573 \times \text{wind}) + (0.136 \times n); \quad (R^2 = 0.885, n = 9931) \quad (16)$$

بطوریکه از جدول برمی‌آید، همه مقادیر آماره  $R^2$  از  $0.72$  تا  $0.88$  بیشتر هستند که از نظر آماری در سطح  $0.1\%$  معنی دارند و نسبت به مدل‌های تک پارامتری و ۲ پارامتری دقیق‌تر هستند.

جدول (۲). نتایج رگرسیون چندگانه خطی با (گزینه‌ی پیش‌رو) با یک پارامتر هواشناسی برای ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	پارامتر ورودی اول	مقدار ثابت	ضریب	$R^2$
تبریز	$T_{max}$	-1/184	0.293	0.821
مراغه	$T_{max}$	-1/493	0.309	0.822
اهر	$T_{max}$	-0/614	0.221	0.726
سراب	$T_{max}$	-0/267	0.210	0.761
ارومیه	$T_{max}$	-0/913	0.242	0.801
تکاب	$T_{max}$	-0/481	0.232	0.801
مهاباد	$T_{max}$	-0/843	0.226	0.744
پیرانشهر	$T_{max}$	-0/746	0.246	0.792
خوی	$T_{max}$	-0/812	0.210	0.742

به عنوان نمونه، مدل دو پارامتری (معنی‌دار در سطح ۱٪) برای تبریز به شرح زیر حاصل شد:

$$ET_0 = -2.455 + (0.262 \times T_{max}) + (0.561 \times \text{wind}); (R^2 = 0.874, n = 9931) \quad (16)$$

در جدول ۳ مقادیر ثابت و ضرایب پارامترهای ورودی به مدل MLR را که حاوی دو پارامتر مهم هستند، نشان می‌دهد. در این جدول مقادیر ثابت و ضرایب هر یک از پارامترها به همراه مقادیر<sup>2</sup> مدل MLR ارائه شده است. همه مقادیر آماره<sup>2</sup> از ۷۸٪ بیشتر هستند که از نظر آماری در سطح ۱٪ معنی‌دارند و نسبت به مدل‌های تک پارامتری دقیق‌تر هستند.

جدول (۳). نتایج رگرسیون چندگانه خطی با دو پارامتر مهم هوشمناسی (معنی دار) در ایستگاه های منتخب

R <sup>2</sup>	ضریب پارامتر اول	ضریب پارامتر دوم	مقدار ثابت	پارامتر ورودی دوم	پارامتر ورودی اول	ایستگاه
۰/۸۷۴	۰/۵۶۱	۰/۲۶۲	-۲/۴۵۵	Wind	T <sub>max</sub>	تبریز
۰/۸۶۳	۰/۴۳۸	۰/۲۷۸	-۲/۲۱۲	Wind	T <sub>max</sub>	مراغه
۰/۸۰۳	۰/۲۴۶	۰/۲۳۳	-۱/۴۱۴	Wind	T <sub>max</sub>	اهر
۰/۷۹۴	۰/۲۵۶	۰/۲۰۲	-۰/۷۹۲	Wind	T <sub>max</sub>	سراب
۰/۸۲۴	۰/۱۵۴	۰/۲۰۲	-۱/۴۳۴	Wind	T <sub>max</sub>	ارومیده
۰/۸۲۴	۰/۲۷۲	۰/۲۲۲	-۰/۸۵۳	Wind	T <sub>max</sub>	تکاب
۰/۷۹۸	۰/۳۳۹	۰/۲۲۶	-۱/۶۰۰	Wind	T <sub>max</sub>	مهاباد
۰/۸۲۱	۰/۲۵۴	۰/۲۴۷	-۱/۳۳۹	Wind	T <sub>max</sub>	پیرانشهر
۰/۷۸۹	۰/۳۶۹	۰/۲۰۳	-۱/۱۸۱	Wind	T <sub>max</sub>	خوی

جدول (۴). نتایج رگرسیون چندگانه خطی با گزینه‌ی پیش‌رو با سه پارامتر هواشناسی (معنی‌دار) برای ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	پارامتر ورودی اول	پارامتر ورودی دوم	پارامتر سوم	ضریب پارامتر دوم	ضریب پارامتر اول	ضریب مقدار ثابت	مقدار ورودی سوم	پارامتر ورودی	پارامتر ورودی اول
R <sup>2</sup>									
-0.885	-0.136	-0.573	-0.231	-2.978	N	Wind	T <sub>max</sub>		تبریز
-0.877	-0.152	-0.465	-0.239	-2.765	N	Wind	T <sub>max</sub>		مراغه
-0.834	-0.115	-0.229	-0.207	-1.782	N	Wind	T <sub>max</sub>		اهر
-0.821	-0.147	-0.285	-0.167	-1.445	N	Wind	T <sub>max</sub>		سراب
-0.843	-0.144	-0.214	-0.078	-0.399	N	Wind	T <sub>max</sub>		ارومیه
-0.841	-0.142	-0.230	-0.189	-1.546	N	Wind	T <sub>max</sub>		تکاب
-0.813	-0.136	-0.252	-0.194	-2.091	N	Wind	T <sub>max</sub>		مهاباد
-0.842	-0.156	-0.282	-0.208	-1.911	N	Wind	T <sub>max</sub>		پیرانشهر
-0.800	-0.142	-0.406	-0.168	-1.599	N	Wind	T <sub>max</sub>		خوی

نتایج مدل بندی رگرسیون چندگانه خطی با ۴ پارامتر هواشناسی برای تخمین  $\text{ET}_0$  در جدول ۵ نشان داده شده است. بطوریکه از جدول بر می آید، همه مقادیر آماره  $R^2$  بیشتر هستند که از نظر آماری در سطح ۰/۰۱ معنی دارند.

جدول (۵). نتایج رگرسیون چند گانه خطی با گزینه‌ی پیش‌رو با چهار پارامتر هواشناسی (معنی دار) برای ایستگاه‌های منتخب

R <sup>2</sup>	پارامتر چهارم	ضریب پارامتر سوم	ضریب پارامتر دوم	ضریب پارامتر اول	ضریب ثابت	مقدار چهارم	پارامتر ورودی سوم	پارامتر ورودی دوم	پارامتر ورودی اول	ایستگاه
-0.894	-0.160	-0.196	-0.196	-0.501	-0.091	-1/785	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>
-0.883	-0.136	-0.205	-0.425	-0.119	-1/872	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	مراغه
-0.759	-0.103	-0.130	-0.122	-0.103	-1/0.51	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	اهر
-0.831	-0.082	-0.187	-0.206	-0.102	-0/-626	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	سراب
-0.857	-0.299	-0.150	-0.211	-0.086	-0/-868	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	ارومیه
-0.848	-0.078	-0.183	-0.287	-0.129	-0/-976	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	تکاب
-0.830	-0.102	-0.184	-0.273	-0.121	-1/687	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	مهاباد
-0.855	-0.128	-0.205	-0.223	-0.101	-1/-0.68	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	پیرانشهر
-0.821	-0.141	-0.206	-0.357	-0.047	-0/-0.9	T <sub>min</sub>	N	Wind	T <sub>max</sub>	خوی



به عنوان نمونه، با توجه به جدول ۵، برای ایستگاه تبریز، مدل ۴ پارامتری MLR به شرح زیر به دست آمد:

$$ET_0 = -1.765 + (0.091 \times T_{max}) + (0.501 \times wind) + (0.196 \times n) + (0.160 \times T_{min}); \\ (R^2 = 0.894, n=9931) \quad (18)$$

در نهایت، مدل ۵ پارامتری برای ایستگاهها برآورد شد. جدول ۶ نتایج را برای همه ایستگاهها نشان می‌دهد. مثلا برای تبریز مدل ۵ پارامتری به شرح زیر به دست آمد:

$$ET_0 = 1.187 + (0.029 \times T_{max}) + (0.457 \times wind) + (0.162 \times n) + (0.198 \times T_{min}) + (-0.032 \times RH) \quad (19)$$

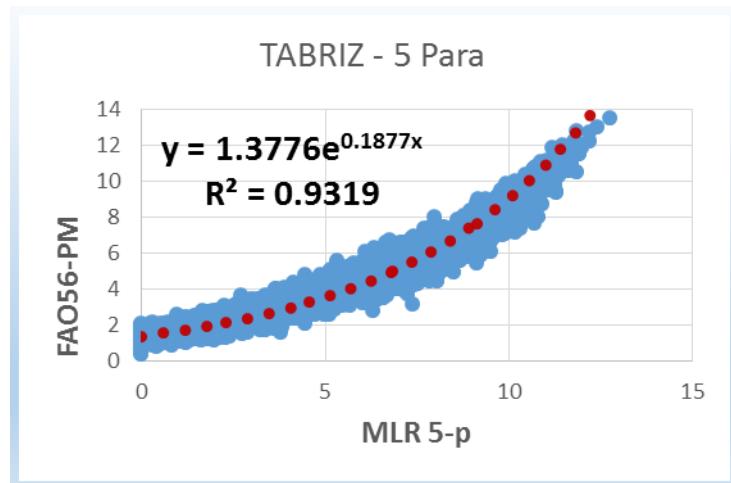
این رابطه با توجه به اینکه مقدار  $R^2$  معادل با ۰/۹ شده و دارای تعداد داده زیاد (۹۹۳۱ داده) می‌باشد در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود.  $R^2$  همه مدل‌ها بیش از ۷۶/۰ و معنی‌دار (در سطح ۰/۰۱) بودند. در این جدول مقادیر ضرایب مدل ۵ پارامتری درج شده است. با توجه به جدول ۶، فرم ریاضی مدل رگرسیون خطی ۵ پارامتری برای سایر ایستگاهها (مانند رابطه ۳۲ برای تبریز) قابل اشتاقاق است. به طوری که اشاره شد، علاوه بر مدل رگرسیون چند متغیره خطی، مدل‌بندی غیرخطی نیز برای توصیف  $ET_0$  قادر عرض از مبدأ (ضریب ثابت) بوده و بنابراین، سایر ضرایب مدل غیرخطی تخمین زده شدند. شکل ۶ نمودار پراکنش نقاط  $ET_0$  روزانه را که در آن محور قائم متناظر با خروجی مدل FAO56PM و محور افقی آن متناظر با مدل رگرسیون خطی با ۵ پارامتر مهم (رابطه ۳۲) می‌باشد، نشان می‌دهد. به طوری که از این شکل می‌توان فهمید، مقادیر منحنی خروجی مدل رگرسیون خطی ۵ پارامتری تابعی از مدل FAO56PM به صورت خطی نیست.

#### جدول (۶). نتایج رگرسیون چندگانه‌ی خطی با گزینه‌ی پیش‌رو با پنج پارامتر هواشناسی (معنی‌دار) برای ایستگاه‌های منتخب.

$R^2$	ایستگاه											
	پارامتر			پارامتر			پارامتر			پارامتر		
	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی	ورودی
۰/۹۰۰	-۰/۰۳۲	-۰/۱۹۸	-۰/۱۶۲	-۰/۴۵۷	-۰/۰۲۹	-۰/۱۸۷	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	تبریز
۰/۸۸۵	-۰/۰۱۷	-۰/۱۵۳	-۰/۱۸۵	-۰/۴۲۳	-۰/۰۸۷	-۰/۰۳۷۷	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	مراغه
۰/۷۶۰	-۰/۰۵۲	-۰/۰۱۷	-۰/۱۳۷	-۰/۱۲۱	-۰/۱۱۶	-۰/۱۶۳۷	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	اهواز
۰/۸۳۵	-۰/۰۱۷	-۰/۱۰۳	-۰/۱۸۰	-۰/۱۷۰	-۰/۰۷۳	-۰/۰۹۸	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	سراب
۰/۸۶۴	-۰/۰۲۷	-۰/۲۳۸	-۰/۱۷۲	-۰/۱۷۱	-۰/۰۳۴	-۰/۱۷۱	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	ارومیه
۰/۸۵۰	-۰/۰۱۲	-۰/۰۹۱	-۰/۱۶۸	-۰/۲۷۷	-۰/۱۰۷	-۰/۱۱۲	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	تکاب
۰/۸۲۷	-۰/۰۱۵	-۰/۱۱۴	-۰/۱۷۳	-۰/۲۴۹	-۰/۰۹۱	-۰/۰۲۴۶	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	مهاباد
۰/۸۵۸	-۰/۰۱۷	-۰/۱۴۰	-۰/۱۷۵	-۰/۱۹۳	-۰/۰۷۵	-۰/۰۵۴۳	Rh	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	پیرانشهر
۰/۸۲۴	-۰/۰۱۵	-۰/۱۵۵	-۰/۱۸۷	-۰/۳۱۳	-۰/۰۲۶	-۰/۰۸۵۱	RH	T <sub>min</sub>	n	Wind	T <sub>max</sub>	خوی

بنابراین هنگام واسنجی مدل باید از روش خطی استفاده شود. استفاده از روش رگرسیون ساده با عرض از مبدأ صفر برای واسنجی مدل‌ها که در برخی مقالات (مانند بابامیری و دین پژوه، ۱۳۹۶: ۲۷۵ و جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵) بکار برده شده احتمالاً اعتبار خوبی ندارند. می‌توان استنباط کرد که با افزایش تعداد پارامترها به مدل خطی، مقدار ضریب تعیین افزایش می‌یابد. رسم نمودار باکس پلات مقادیر  $R^2$  برای مدل MLR با ۳، ۲، ۱... و ۵ پارامتر ورودی نشان داد که به جز مدل یک پارامتری، در سایر مدل‌ها، میانه مقادیر  $R^2$  بیش از ۸۴/۰ می‌باشد که حاکی از مناسب بودن مدل‌های با بیش از یک پارامتر می‌باشد. به عنوان نمونه، فرم نهایی مدل غیرخطی با بهره‌گیری از همه‌ی پنج متغیر هواشناسی، در ایستگاه تبریز، به شرح زیر است:

$$ET_0 = T_{max}^{0.313} \times T_{min}^{0.353} \times n^{0.275} \times RH^{-0.314} \times wind^{0.350} \quad (20)$$



شکل (۶). نمودار پراکنش نقاط  $ET_0$  با پنج پارامتر ورودی در مدل رگرسیون خطی در ایستگاه تبریز

### بحث

در این مطالعه از روش FAO56PM برای تخمین  $ET_0$  در ۹ ایستگاه هواشناسی واقع در حوضه دریاچه ارومیه استفاده شد. این روش گرچه مقادیر دقیقی از  $ET_0$  را ارائه می‌دهد ولیکن کاربرد آن در جاهایی که با محدودیت داده‌های هواشناسی مواجه است، مشکل است (ستتل‌هاس و همکاران ۲۰۱۰: ۶۴۰). بنابراین، با مقایسه خروجی روش‌های تخمین  $ET_0$  که نیاز به پارامترهای هواشناسی کمتری دارند با نتیجه روش FAO56PM می‌توان مناسب‌ترین روش را که با پارامتر کمتری نیاز دارد تعیین نمود. در این مطالعه از ۳ مدل تجربی شامل HG, KPM, PT و مدل‌های مختلف رگرسیون خطی و غیرخطی با تعداد پارامترهای متفاوت برای ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه استفاده شد و عملکرد آن‌ها با مقایسه با خروجی روش FAO56PM مقایسه گردید. خلاصه نتایج بدست آمده در خصوص مدل‌های تجربی در شکل‌های ۲ تا ۴ ارائه گردید، که معلوم شد از بین ۳ مدل تجربی مدل HG مناسب‌تر است. این مدل فقط به داده‌های دما (حداکثر و حداقل) نیاز دارد که به آسانی قابل دسترسی می‌باشد. این نتیجه از شکل ۳ استنباط گردید مقادیر RMSE برای مدل HG بین ۰/۱ تا ۰/۶ بوده و با توجه به مطالعه سنتل‌هاس و همکاران (۲۰۱۰: ۶۴۰) دارای دقت مناسبی می‌باشد زیرا نامبردگان برای بخش جنوبی ایالت اونتاریو اقع در کانادا مقادیر RMSE را برای روش HG مابین ۰/۷۶ تا ۰/۹۶ (میلیمتر بر روز) گزارش کرده‌اند. مقایسه نتایج با یافته‌های ژانگ و همکاران (۲۰۱۹: ۵۰۸) نشان می‌دهد که مقادیر ضریب تعیین حاصل شده در مطالعه خیلی بیشتر از مقادیر نظری در چین می‌باشد. زیرا مقادیر ضریب همبستگی ( $r$ ) در چین بین ۰/۹۰۳ تا ۰/۹۸۱ حاصل شده است.

### نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر از سه مدل تجربی و ۵ مدل رگرسیونی خطی و یک مدل غیرخطی به‌منظور یافتن مناسب‌ترین روش برای تخمین  $ET_0$  استفاده شد. برای تعیین مناسب‌ترین روش با داده‌های هواشناسی کمتر، روش FAO56PM به عنوان مینا استفاده شد. روش FAO56PM مذکور به عنوان یک روش استاندارد در همه‌ی اقلیم‌ها کاربرد دارد ولیکن در اکثر ایستگاه‌ها همه داده‌های مورد نیاز روش FAO56PM در دسترس نمی‌باشد، بر این اساس، مدل‌های ساده‌تر مورد آزمایش واقع شدند. در اکثر ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه، روش HG که فقط به ۲ پارامتر هواشناسی شامل حداکثر دمای هوایی و حداقل دمای هوایی نیاز دارد، می‌تواند به عنوان روش جایگزین استفاده شود. میانه مقادیر RMSE با روش HG در حدود ۰/۹ (میلیمتر بر روز) بدست آمد که نسبت به روش PT بسیار کمتر است. همچنین از بین ۳ مدل تجربی، مدل HG دارای میانه آماره MAE معادل با ۰/۷ (میلیمتر بر روز) به عنوان مدل مناسب در نظر گرفته شد زیرا میانه آماره MAE برای روش KPM حدود ۱ و برای روش PT بیش از ۰/۵ (میلیمتر بر روز) بدست آمد. از طرفی مقایسه نتایج MLR با تعداد پارامترهای متفاوت نشان داد که به جز رگرسیون خطی با یک پارامتر ورودی، سایر روش‌ها نتایج نسبتاً مشابهی به‌دست می‌دهند. در



مدل رگرسيون ۲ پارامتری، مهم ترین پارامترهای ورودی به ترتیب  $t_{max}$  و سرعت باد بودند. چون روند افزایشی در مقادیر  $ET_0$  حوضه به اثبات رسیده است (بابامیری و دین پژوه، ۱۳۹۶: ۲۷۶؛ دین پژوه، ۱۴۱۶: ۲۰۱۱)، بنابراین، بهره گیری از نتایج این مطالعه در استفاده پایدار از آب در منطقه مفید به نظر می‌رسد.



## منابع

- بابامیری، امید، دین‌پژوه، یعقوب (۱۳۹۶). "بورسی روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه". *دانش آب و خاک*، ۲۶۷(۱): ۲۷۹-۲۶۷.
- خیرابی، جمشید، توکلی علیرضا، انتصاری محمد، سلامت علیرضا (۱۳۷۶). *معرفی جهات نظری و کاربردی روش پمن-مانتیس و ارانه تبخیر-تعرق مرجع استاندارد برای ایران*. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ۱۶۶ صفحه.
- جهانبخش اصل، سعید، رضایی بنشه، مجید، اسماعیل پور، مرضیه، تدینی، مقصومه (۱۳۹۱). "ارزیابی مدل‌های تبخیر-تعرق پتانسیل و توزیع مکانی سالانه آن در حوضه جنوبی رود ارس". *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی (دانشگاه تبریز)*، سال ۱۶، شماره ۴۰، ۴۶-۲۵.
- جهانبخش اصل، سعید، موحد‌دانش، علی‌اصغر و مولوی، احمد (۱۳۸۰). "تحلیل برآورد تبخیر-تعرق برای ایستگاه هواشناسی تبریز". *دانش کشاورزی*، ۱۱(۵۶): ۵۱-۵۶.
- دین‌پژوه، یعقوب، جهانبخش اصل، سعید، فروغی، مقصومه (۱۳۹۷)، اثر تغییر اقلیم بر تغییرات جهشی تبخیر-تعرق پتانسیل (مطالعه موردی : شمال غرب ایران). *نشریه آب و خاک*، ۳۲(۳): ۶۱۷-۶۳۲.
- سبزی‌پرور، علی‌اکبر، تفضلی، فرزین، زارع‌ابیانه، حمید، باززاد، حسین، موسوی‌بایگی، محمد، غفوری، محمد، محسنی‌موده، اسدالله، مریانجی، زهره، (۱۳۸۷). "مقایسه چند مدل برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک". *نشریه آب و خاک*، ۲۲(۲): ۳۲۹-۳۳۹.
- سلطانی، اسعد، میرلطیفی، مجید، دهقانی‌سانیج، حسین (۱۳۹۱). "برآورد تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف". *نشریه آب و خاک*، ۲۶(۱): ۱۳۹-۱۴۹.
- Choudhury, B. (1997). Global pattern of potential evaporation calculated from the Penman-Monteith equation using satellite and assimilated data. *Remote Sensing of Environment*. 61(1):64-81.
  - Dinpashoh, Y. (2012). Analysis of trends in reference crop evapotranspiration (Case study: station Hmadan). *Geographical Space*. 11(34): 260 – 286. (In Persian)
  - Dinpashoh, Y, Jhajharia, D, Fakheri- Fard, A, Singh, VP, Kahya, E. (2011). Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*. 399: 422- 433.
  - Nandagiri, L, and Kovoor, M. (2005). Sensitivity of the food and agriculture organization Penman-Monteith evapotranspiration estimates to alternative procedures for estimation of parameters, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 131 (3):238-248
  - Popova, Z, Kercheva, M, Pereira, LS. (2006). Validation of the FAO methodology for computing ET<sub>0</sub> with limited data. Application to south Bulgaria. *Irrigation and Drainage* .55: 201- 215.
  - Sentelhas, PC, Gillespie, TJ, Santos, EA. (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.
  - Singandhupe, RB, Brahmanand, PS. (2016) Sensitivity analysis of various reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) models with FAO 56 Penman Monteith for semi-arid region of India. *International Journal of Current Science*. 19(4):62-85.
  - Shuttleworth, W.J (1993) Evapotranspiration. In Hand Book of Hydrology. (Ed). Maidment DR. McGraw – Hill.
  - Sumner, D, Jacobs, JM. (2005). Utility of Penman–Monteith, Priestley–Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. 308(Issues 1-4):81-104.



- Zhai, L, Feng, QI, Li, Q, XU, C. (2010) Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province, Northwest China. **Irrigation and Drainage.** 59: 477- 490
- Zhang, L, Traore, S, Cui, Y, Lou, Y, Zhu, G, Liu, B, Fipps, G, Karthikeyan, R, Singh, V, (2019) Assessment of spatiotemporal variability of reference evapotranspiration and controlling climate factors over decades in china using geospatial techniques. **Agricultural Water Management.** 213:499-511