

تحلیل مقایسه‌ای دقت پنج مدل مختلف رابطه والیانتراس در برآورد تبخیر- تعرق مرجع

سعید مهدی زاده^۱، فرشاد خشائی^{۲*}، جواد بهمنش^۳ و رضا دلیرحسن‌نیا^۴

۱- دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه ارومیه.

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه ارومیه f.khashayi@urmia.ac.ir

۳- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه.

۴- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۸

چکیده

تخمین دقیق تبخیر-تعرق مرجع برای مدیریت منابع آب و طراحی سیستم‌های آبیاری به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک ضروری می‌باشد. در این تحقیق، عملکرد پنج مدل مختلف رابطه والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های هواشناسی هفت ایستگاه سینوپتیک واقع در شمال‌غرب کشور شامل ارومیه، سلماس، مهاباد، تکاب، تبریز، سراب و مراغه استفاده گردید و مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه توسط روش فائو-پنمن-مانتیت (به‌عنوان روش استاندارد) برآورد شد. سپس همین مقادیر با استفاده از مدل‌های مختلف رابطه والیانتراس برآورد شد. با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای نتایج دوره‌های سالانه، فصلی و ماهانه، دقت روش‌های به‌کار رفته مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) دقیق‌ترین مدل در تخمین ET_0 در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به‌طوری‌که متوسط مقادیر شاخص‌های آماری R^2 و RMSE برای روش مذکور به ترتیب 0.984 و 0.512 میلی‌متر بر روز برای دوره سالانه حاصل شد. همچنین نتایج حاکی از عملکرد نسبتاً ضعیف روش والیانتراس ۵ (R_s, T) با متوسط مقادیر شاخص‌های عملکرد به ترتیب 0.891 و $1/228$ میلی‌متر بر روز برای شاخص‌های فوق بود. در دوره‌های فصلی و ماهانه نیز مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) بهترین برآورد ET_0 را در ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه داد.

کلید واژه‌ها: تبخیر-تعرق مرجع، روابط والیانتراس، فائو-پنمن-مانتیت.

مقدمه

دقیق‌ترین روش تحت شرایط آب و هوایی مختلف ارائه و معرفی نموده‌اند (Irmak et al, 2003; ASCE-EWRI, 2005; Martinez and Thepadia, Jabloun and Sahli, 2008). واسنجی این معادله با داده‌های لایسیمتری در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی و قابلیت کاربرد بدون نیاز به واسنجی محلی در شرایط اقلیمی مختلف از مزایای رابطه فائو-پنمن-مانتیت می‌باشند (Landeras et al, 2008). از طرفی مدل والیانتراس (Valiantzas) یکی از جدیدترین روش‌ها برای برآورد ET_0 می‌باشد. مزایای استفاده از روابط والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع شامل کاربرد ساده به‌منظور واسنجی منطقه‌ای، امکان کاربرد آسان برای توزیع زمانی مقادیر تبخیر-تعرق مرجع، استفاده آسان برای کاربردهای هیدرولوژیکی معمول و سادگی روابط برای دیگر کاربردهای هیدرولوژیکی (Steinman et al, 2010; a, b, c, Valipour, 2015 و Kisi, 2014, Valiantzas, 2013) می‌باشند.

قابلیت کاربرد معادلات تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع در مقایسه با رابطه استاندارد فائو-پنمن-مانتیت در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است (Dehghani Sanij et al, 2004). مقادیر ET_0 به‌دست آمده با استفاده از روابط پنمن، فائو-

برآورد صحیح تبخیر-تعرق برای اهداف مختلفی مانند برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد آبیاری (Dukes و Davis, 2010) اجرای اغلب مدل‌های هیدرولوژیکی (Fisher et al, 2005) ارزیابی تغییرات هیدرولوژی منطقه‌ای تحت سیستم‌های مختلف کشت (Ferguson و Maxwell, 2011) اثرات تولیدات کشاورزی بر اقلیم جهانی و منطقه‌ای (Lo, Puma and Cook, 2010; Kueppers et al, 2007) (Anderson et al, 2013) و هیدرولوژی (and Famiglietti, 2012) مورد نیاز می‌باشد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری یا تخمین تبخیر-تعرق توسعه داده شده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به لایسیمترها (Meissner et al, 2010)، سنجش از راه دور ماهواره‌ای (Tang et و Bastiaanssen et al, 2005) و روش‌های بیلان آبی اشاره کرد. با این حال به دلیل هزینه بالای این روش‌ها و نیز دشوار بودن اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی، تعیین تبخیر-تعرق مرجع (چمن یا یونجه) به‌عنوان روشی قابل قبول در سراسر جهان پذیرفته شده است. مطالعاتی که توسط محققین در نقاط مختلف جهان صورت گرفته، مدل فائو-پنمن-مانتیت (FAO-Penman-Monteith) را به‌عنوان

معادلات مورد استفاده را افزایش می‌دهد. (Djaman et al, 2016)، مدل فائو-پنمن-مانتیت (تحت شرایط کمبود داده) و نیز دو مدل والیانتراس را در هشت ایستگاه در مناطق ساحلی بورکینافاسو مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که رابطه والیانتراس با داده‌های اقلیمی کامل تطابق خوبی با داده‌های مدل فائو-پنمن-مانتیت به‌عنوان رابطه استاندارد داشت. از دیگر مطالعه‌های انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیقات Fisher and Trajkovic and Kolakovic, 2009) و Pringle, 2013 و Jakimavicius et al, 2013 اشاره کرد.

از آنجایی که تخمین تبخیر-تعرق از اهمیت زیادی در مهندسی منابع آب برخوردار بوده و داده‌های لایسیمیتری نیز در بسیاری از مناطق و اقلیم‌های مختلف ایران در دسترس نمی‌باشد، بنابراین ارزیابی دقت معادلات ارائه شده براساس منطقه و اقلیم می‌تواند نقش مهمی در مدیریت منابع آب ایفا نماید. بررسی منابع نشان داد که مطالعه‌های انجام شده در زمینه استفاده از معادله‌های والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در منطقه مورد مطالعه محدود بوده و بنابراین هدف تحقیق حاضر، مقایسه دقت پنج مدل مختلف والیانتراس برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های منتخب واقع در شمال غرب ایران (حوضه آبریز دریاچه ارومیه) و ارائه بهترین مدل والیانتراس به‌صورتی است که نتایج حاصل با آنچه از روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیت به‌دست آمده، بیشترین تطابق را داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، از داده‌های روزانه ثبت شده پارامترهای هواشناسی هفت ایستگاه سینوپتیک شامل ارومیه، سلماس، مهاباد و تکاب (در آذربایجان غربی) و تبریز، سراب و مراغه (در آذربایجان شرقی) که مشخصه‌های هر یک از آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است، استفاده گردید. به‌طوری که متوسط روزانه پارامترهای هواشناسی در دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰) برای محاسبه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع سالانه، فصلی و ماهانه و مورد استفاده قرار گرفت.

پنمن-مانتیت، پنمن-رایت، بلانی کریدل (Blancy-Criddle) و هارگریوز-سامانی را با داده‌های لایسیمیتری مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که روش فائو-پنمن-مانتیت برآورد قابل اعتمادی را از مقادیر ET_0 در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده لایسیمیتری به‌دست می‌دهد. Sabziparvar et al (2010) روابط مختلف بر پایه تبخیر از تشت را برای تخمین ET_0 در اقلیم‌های نیمه‌خشک و گرم مقایسه و به این نتیجه رسیدند که روش‌های اورنج (Orange) و سیندر (Synder) به‌ترتیب در اقلیم‌های نیمه‌خشک و گرم نتایج بهتری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌نمایند. Tabari (2010) دقت چهار معادله مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع را در چهار اقلیم مختلف مورد مطالعه قرار داد. وی نتیجه گرفت که مدل تورک (Turc) بهترین مدل در اقلیم‌های مرطوب سرد و خشک و همچنین مدل هارگریوز (Hargreaves) دقیق‌ترین مدل در اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌خشک می‌باشد. (Tabari et al, 2013)، سی و یک روش مختلف برآورد ET_0 را در اقلیم مرطوب ایران مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که پنج روش از بین معادلات مورد استفاده شامل دو روش توسعه داده شده بر پایه تابش خورشیدی در تحقیق، روابط هارگریوز و بلانی-کریدل و معادله سیندر بر پایه تشت از تبخیر در مقایسه با رابطه استاندارد فائو-پنمن-مانتیت دارای بهترین عملکرد بودند. (Kisi, 2014) در تحقیقی، دقت سه مدل مختلف والیانتراس و شش مدل دیگر را با روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیت در چهار ایستگاه در کشور ترکیه مورد مقایسه قرار داد. نتایج نشان داد که رابطه والیانتراس با داده‌های کامل هواشناسی، عملکرد بهتری نسبت به دیگر روابط تجربی داشت.

Djaman et al (2015) به بررسی شانزده مدل تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع در حوضه رودخانه سنگال پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که پنج مدل روماننکو (Romanenko)، اسکندل (Schendel)، ترابرت (Trabert)، ماهرینگر (Mahringer) و والیانتراس عملکرد بهتری در قیاس با داده‌های استاندارد رابطه فائو-پنمن-مانتیت داشتند. (Ahooghalandari et al, 2016)، سه رابطه مختلف رابطه والیانتراس را به همراه پنج معادله دیگر براساس معادله فائو-پنمن-مانتیت در منطقه پیلبارا (Pilbara) در غرب استرالیا واسنجی نمودند. نتایج نشان داد که واسنجی، دقت

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
ارومیه	۴۵° ۰۳'	۳۷° ۴۰'	۱۳۲۸ متر
سلماس	۴۴° ۵۱'	۳۸° ۱۳'	۱۳۳۷ متر
مهاباد	۴۵° ۴۳'	۳۶° ۴۵'	۱۳۵۱/۸ متر
تکاب	۴۷° ۰۶'	۳۶° ۲۴'	۱۸۱۷/۲ متر
تبریز	۴۶° ۱۷'	۳۸° ۰۵'	۱۳۶۱ متر
سراب	۴۷° ۳۲'	۳۷° ۵۶'	۱۶۸۲ متر
مراغه	۴۶° ۱۶'	۳۷° ۲۴'	۱۴۷۷/۷ متر

در روابط (۲) تا (۶): R_s میزان تابش خورشیدی ($MJ m^{-2}$)
 ϕ ، (day^{-1})، عرض جغرافیایی ایستگاه مورد نظر (rad)، RH
 رطوبت نسبی (%): R_a ، تابش فرا جوی ($MJ m^{-2} day^{-1}$)، T متوسط
 دمای روزانه هوا ($^{\circ}C$)، T_{min} دمای حداقل روزانه هوا ($^{\circ}C$)، U
 متوسط روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری ($m s^{-1}$) و W_{aero} فاکتور
 آیرودینامیکی در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد که برای
 $RH \leq 0.65$ برابر $1/0.67$ ، در غیر این صورت برابر 0.78 در نظر
 گرفته می‌شود. از آنجایی که استفاده از معادله فائو-پنمن-مانتیث
 نیازمند داده‌های هواشناسی زیاد بوده، لذا استفاده از روش‌های
 جایگزین با تعداد پارامترهای مورد نیاز کمتر و دقت قابل قبول
 می‌تواند در تخمین نیاز آبی گیاهان مد نظر قرار گیرد. معادلات
 والیانتراس که از معادله استاندارد فائو-پنمن-مانتیث مشتق
 شده‌اند، در نیمکره شمالی براساس داده‌های اقلیمی و همبستگی
 خوب با معادله فائو-پنمن-مانتیث توسعه داده شده‌اند. شایان ذکر
 است که در تحقیق حاضر، دوره‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه
 برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه
 در نظر گرفته شد.

روابط تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع

متأسفانه به علت نبود اندازه‌گیری‌های لایسمتری ET_o برای
 منطقه مورد مطالعه برای اعتبارسنجی روش‌های محاسبه ET_o ،
 مقادیر ET_o متوسط سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از مقادیر
 روزانه پارامترهای هواشناسی توسط روش‌های فائو-پنمن-مانتیث
 به عنوان روش استاندارد (رابطه ۱) و پنج رابطه تجربی والیانتراس
 محاسبه شد که این روابط در زیر ارائه شده‌اند (روابط ۲ تا ۶).
 (Allen et al., 1998) **FAO-56**

$$ET_o = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T_{mean} + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

که در آن؛
 ET_o : تبخیر-تعرق مرجع ($mm day^{-1}$)، R_n : تابش خالص ورودی
 به سطح گیاه ($MJ m^{-2} day^{-1}$)، G : شار گرمای خاک ($MJ m^{-2} day^{-1}$)
 T_{mean} : میانگین روزانه دمای هوا ($^{\circ}C$)، U_2 : میانگین
 روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری ($m s^{-1}$)، e_s : فشار بخار اشباع
 (KPa)، e_a : فشار بخار واقعی (KPa)، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار
 اشباع (KPa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع ($^{\circ}C^{-1} KPa$) و γ :
 ضریب ثابت سایکرومتری ($^{\circ}C^{-1} KPa$) می‌باشند.

والیانتراس ۱ (Valiantzas, 2013 c) (R_s, T, RH, U)

$$ET_o = 0.0393R_s \sqrt{|T + 9.5|} - 2.4 \left(\frac{R_s}{R_a}\right)^2 - 0.024(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) + 0.066W_{aero} (T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) U^{0.6} \quad (2)$$

والیانتراس ۲ (Valiantzas, 2013 a.b) (R_s, T, RH, U)

$$ET_o = 0.0393R_s \sqrt{|T + 9.5|} - 0.19R_s^{0.6} \phi^{0.15} + 0.048(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) U^{0.7}$$

والیانتراس ۳ (Valiantzas, 2013 c) (R_s, T, RH)

$$ET_o = 0.0393R_s \sqrt{|T + 9.5|} - 2.4 \left(\frac{R_s}{R_a}\right)^2 - 0.024(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) + 0.1W_{aero} (T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (4)$$

والیانتراس ۴ (Valiantzas, 2013 a.b) (R_s, T, RH)

$$ET_o = 0.0393R_s \sqrt{|T + 9.5|} - 0.19R_s^{0.6} \phi^{0.15} + 0.078(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (5)$$

والیانتراس ۵ (Valiantzas, 2013b) (R_s, T)

$$ET_o = 0.0393R_s \sqrt{|T + 9.5|} - 0.19R_s^{0.6} \phi^{0.15} + 0.0061(T + 20) (|1.12T - T_{min} - 2|)^{0.7} \quad (6)$$

شاخص‌های ارزیابی

همچنان که پیش‌تر نیز اشاره شد رابطه فائو-پنمن-مانتیت به‌عنوان روش استاندارد در نظر گرفته شد و مقادیر تبخیر-تعرق مرجع برآورد شده با سایر روش‌ها توسط رگرسیون خطی با روش فائو-پنمن-مانتیت مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (Root Mean Square Error) و ضریب تعیین (R^2) محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. این شاخص‌ها در روابط (۷) و (۸) ارائه شده‌اند. همچنین معادله خط بین تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده در معادله (۹) بیان شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (7)$$

$$R^2 = \left(\frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - P_{av})(O_i - O_{av}) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{av})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - O_{av})^2}} \right)^2 \quad (8)$$

$$y = Sx \quad (9)$$

که در این روابط؛ n تعداد مشاهدات، O_i مقدار واقعی محاسبه شده با روش فائو-پنمن-مانتیت، P_i مقدار ET_o برآورد شده با دیگر روابط تجربی ارائه شده در این تحقیق، O_{av} میانگین مقادیر ET_o محاسبه‌شده با روش فائو-پنمن-مانتیت (متوسط O_i ها) و P_{av} میانگین مقادیر ET_o محاسبه‌شده با دیگر روابط (متوسط P_i ها)، y مقادیر تبخیر-تعرق مرجع برآورد شده توسط هر مدل، x مقادیر تبخیر-تعرق مرجع برآورد شده از رابطه استاندارد فائو-پنمن-مانتیت و S شیب خطوط برازش داده شده به مجموعه نقاط متناظر هستند که نشان‌دهنده بیش برآوردی یا کم برآوردی مدل مربوطه می‌باشند.

نتایج و بحث

مقادیر حاصل از برآورد تبخیر-تعرق مرجع روزانه با استفاده از پنج مدل تجربی والیانتراس، با مقادیر به‌دست آمده از رابطه استاندارد

فائو-پنمن-مانتیت مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بررسی سالانه شاخص‌های آماری و شیب خط برازش روابط مورد استفاده در ایستگاه‌های مورد مطالعه و نیز متوسط شاخص‌های بدست آمده به‌ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است. همچنین برای تعیین بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی روابط تجربی ارائه‌شده در این تحقیق و نیز مقایسه گرافیکی مقادیر برآوردشده تبخیر-تعرق مرجع با مقادیر استاندارد رابطه فائو-پنمن-مانتیت، شکل‌های مقایسه‌ای مورد نظر برای تمامی مدل‌ها استخراج گردید. به‌عنوان نمونه نتایج

ایستگاه سینوپتیک ارومیه در شکل (۱) نشان داده شده است. نمودارهای مشابه با ایستگاه سینوپتیک ارومیه برای سایر ایستگاه‌ها نیز حاصل شد که جهت جلوگیری از افزایش حجم مقاله از آنها خودداری شده است.

با دقت در تمامی شاخص‌های عملکرد ارائه شده در جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که دقیق‌ترین مدل در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) می‌باشد. به‌طوری که مقادیر شاخص‌های R^2 و RMSE در بهترین تخمین مدل یادشده برای ایستگاه سراب به-ترتیب $0/981$ و $0/441$ میلی‌متر بر روز بود. همچنین بیشترین اختلاف در بررسی مدل‌های برآورد تبخیر-تعرق مرجع نسبت به مدل استاندارد در منطقه مورد مطالعه، در مدل والیانتراس ۵ (R_s, T) و در ایستگاه مراغه با مقادیر شاخص‌های عملکرد $0/898$ و $1/517$ میلی‌متر بر روز به‌ترتیب برای R^2 و RMSE بود.

در تمامی ایستگاه‌ها، مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل والیانتراس ۱ (R_s, T, RH, U) بود. همچنین مدل والیانتراس ۳ (R_s, T, RH, U) در ایستگاه‌های ارومیه، سلماس، مهاباد، تکاب، تبریز و مراغه با دقت بیشتری نسبت به مدل والیانتراس ۴ (R_s, T, RH, U) قادر به برآورد مقادیر تبخیر-تعرق مرجع بود (به‌جز ایستگاه سراب که دقت مدل والیانتراس ۴ (R_s, T, RH, U) بیشتر از مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) بود. متوسط مقادیر شاخص‌های آماری R^2 و RMSE و نیز شیب خطوط برازش داده در جدول (۳) نشان می‌دهد که مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) دقیق‌ترین و مدل والیانتراس ۵ (R_s, T, RH, U) ضعیف‌ترین مدل در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. به‌طوری که متوسط مقادیر شاخص‌های عملکرد R^2 و RMSE برای مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) به‌ترتیب $0/984$ و $0/512$ میلی‌متر بر روز و در مدل والیانتراس ۵ (R_s, T, RH, U) به‌ترتیب $0/891$ و $1/228$ میلی‌متر بر روز بود. با توجه به مقادیر متوسط شیب (S) ارائه شده در جدول (۳) نیز مشاهده می‌شود که دو مدل والیانتراس ۱ (R_s, T, RH, U) و والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) دارای بیش‌برآوردی و سایر مدل‌ها دارای کم برآوردی در محاسبه مقدار تبخیر-تعرق مرجع می‌باشند. علت این امر در این است که دو مدل یاد شده به‌دلیل استفاده از پارامترهای تابش خورشیدی، دما، رطوبت نسبی و سرعت باد دارای بیش‌برآوردی در تخمین مقدار تبخیر-تعرق بوده و دو مدل والیانتراس ۳ (R_s, T, RH, U) و والیانتراس ۴ (R_s, T, RH, U) با در نظر نگرفتن پارامتر سرعت باد و مدل والیانتراس ۵ (R_s, T, RH, U) به‌دلیل نادیده گرفتن تأثیر دو پارامتر سرعت باد و رطوبت نسبی و فقط اکتفا به دو پارامتر دما و تابش خورشیدی، مقدار تبخیر-تعرق مرجع را کمتر از مدل مبنا برآورد می‌نمایند.

جدول ۲- مقادیر شاخص های آماری پنج مدل مختلف والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع (سالانه)

ایستگاه							شاخص	روش
ارومیه	سلماس	مهاباد	تکاب	تبریز	سراب	مراغه		
۰/۹۸۸	۰/۹۸۱	۰/۹۸۹	۰/۹۸۹	۰/۹۹۴	۰/۹۸۸	۰/۹۹۴	R ²	والیانتراس ۱ (R _s , T, RH, U)
۰/۷۴۲	۰/۸۵۱	۰/۷۵۶	۰/۸۰۰	۰/۷۵۴	۰/۶۲۲	۰/۸۵۰	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۱۳۹	۱/۱۷۰	۱/۱۴۲	۱/۱۵۹	۱/۱۴۴	۱/۱۵۵	۱/۱۵۶	S	
۰/۹۸۷	۰/۹۷۷	۰/۹۸۳	۰/۹۸۶	۰/۹۸۸	۰/۹۸۱	۰/۹۸۸	R ²	والیانتراس ۲ (R _s , T, RH, U)
۰/۴۸۳	۰/۵۷۰	۰/۵۱۳	۰/۵۱۳	۰/۴۸۷	۰/۴۴۱	۰/۵۷۵	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۰۷۶	۱/۰۹۲	۱/۰۷۷	۱/۰۸۶	۱/۰۷۲	۱/۰۸۷	۱/۰۸۸	S	
۰/۹۳۵	۰/۹۳۸	۰/۹۰۶	۰/۹۶۱	۰/۹۴۲	۰/۹۴۴	۰/۹۳۸	R ²	والیانتراس ۳ (R _s , T, RH)
۰/۷۶۶	۰/۶۰۴	۰/۷۸۵	۰/۵۲۷	۰/۶۴۹	۰/۵۹۴	۰/۷۰۰	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۹۰۴	۰/۹۷۰	۰/۹۹۴	۰/۹۵۸	۰/۹۷۲	۱/۰۸۲	۰/۹۶۶	S	
۰/۹۱۷	۰/۹۲۱	۰/۸۸۲	۰/۹۵۰	۰/۹۲۵	۰/۹۲۸	۰/۹۲۴	R ²	والیانتراس ۴ (R _s , T, RH)
۰/۹۲۴	۰/۷۲۳	۰/۸۶۱	۰/۶۷۴	۰/۷۸۰	۰/۵۵۲	۰/۸۱۹	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۸۶۲	۰/۹۱۳	۰/۹۴۵	۰/۹۰۷	۰/۹۱۹	۱/۰۲۰	۰/۹۲۰	S	
۰/۸۹۱	۰/۹۱۶	۰/۸۳۷	۰/۹۲۰	۰/۸۹۱	۰/۸۸۳	۰/۸۹۸	R ²	والیانتراس ۵ (R _s , T)
۱/۲۶۸	۱/۱۷۸	۱/۳۰۵	۱/۳۱۸	۱/۳۸۹	۰/۷۲۳	۱/۵۱۷	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۷۷۷	۰/۷۶۳	۰/۷۹۵	۰/۷۶۵	۰/۷۵۵	۰/۹۱۴	۰/۷۳۹	S	

جدول ۳- متوسط مقادیر شاخص های آماری مدل های مختلف والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع (سالانه)

روش					شاخص
والیانتراس ۱ (R _s , T, RH, U)	والیانتراس ۲ (R _s , T, RH, U)	والیانتراس ۳ (R _s , T, RH)	والیانتراس ۴ (R _s , T, RH)	والیانتراس ۵ (R _s , T)	
۰/۹۸۹	۰/۹۸۴	۰/۹۳۸	۰/۹۲۱	۰/۸۹۱	R ²
۰/۷۶۸	۰/۵۱۲	۰/۶۶۱	۰/۷۶۲	۱/۲۲۸	RMSE (mm day ⁻¹)
۱/۱۵۲	۱/۰۸۳	۰/۹۷۸	۰/۹۲۷	۰/۷۸۷	S

همچنین نمونه‌ای از نتایج حاصل از محاسبات تبخیر-تعرق مرجع برای دوره‌های فصلی و ماهانه برای دو ایستگاه ارومیه و تبریز در جداول (۴) تا (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که از این نتایج مشخص است، مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) در این ایستگاه‌ها و برای هر دو دوره فصلی و ماهانه از دقت بیشتری در برآورد تبخیر-تعرق مرجع برخوردار است. بیشترین دقت این برآورد در دوره‌های فصلی برای هر دو ایستگاه ارومیه و تبریز در فصل زمستان و با RMSE به ترتیب برابر ۰/۲۴۴ و ۰/۲۴۷ میلی‌متر بر روز مشاهده شد. همچنین کمترین دقت مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) برای ایستگاه ارومیه در فصل بهار با RMSE ۰/۷۰۹ میلی‌متر بر روز و برای ایستگاه تبریز در فصل تابستان با RMSE ۰/۵۹۱ میلی‌متر بر روز می‌باشد. در مقیاس ماهانه نیز به‌طور متوسط مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) از دقت بالاتری در برآورد تبخیر-تعرق مرجع نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است که بیشترین دقت آن برای ایستگاه‌های ارومیه و تبریز به ترتیب در ماه‌های بهمن با RMSE ۰/۲۲۳ میلی‌متر بر روز و دی با

RMSE ۰/۱۹۷ میلی‌متر بر روز مشاهده می‌شود. مشابه نتایج حاصل‌شده برای سایر ایستگاه‌ها نیز به‌دست آمد که به‌دلیل ممانعت از افزایش حجم مقاله، از ارائه نتایج مربوط به سایر ایستگاه‌ها اجتناب گردید. مطالعه‌های بسیاری بر اهمیت نقش دو پارامتر سرعت باد و رطوبت نسبی در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع تأکید نموده‌اند. (Jun et al, 2012) و (Zhao et al, 2015) سرعت باد و رطوبت نسبی را جزء مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی مؤثر بر فرایند تبخیر-تعرق مرجع معرفی کرده‌اند. به‌طوری که مقادیر تبخیر-تعرق مرجع حساسیت زیادی را نسبت به این دو عامل در مقایسه با دیگر پارامترهای هواشناسی نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که شرایط اقلیمی و اساس مدل مورد بررسی و تعداد و نوع پارامترهای دخیل در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، از جمله عوامل تأثیرگذار در ایجاد خطا در برآورد دقیق هر مدل نسبت به مدل استاندارد می‌باشند.

در تحقیقی، مدل والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) را مناسب‌ترین رابطه برای برآورد مقادیر تبخیر-تعرق مرجع در مناطق غربی، شرقی و شمالی ایران پیشنهاد نمود.

مشابه نتایج به دست آمده، Kisi (2014) دقت بالای رابطه والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U) را که از داده‌های هواشناسی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها بهره می‌برد در سه ایستگاه آدانا، آنتالیا و اسپارتا مورد تأیید قرار داده بود. همچنین Valipour (2015)

جدول ۴- مقادیر شاخص‌های آماری ۵ مدل مختلف والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع ارومیه (فصلی)

فصل				شاخص	روش
زمستان	پائیز	تابستان	بهار		
۰/۹۵۳	۰/۹۷۹	۰/۹۷۱	۰/۹۵۶	R^2	والیانتراس ۱ (R_s, T, RH, U)
۰/۲۷۶	۰/۳۶۳	۰/۸۵۶	۱/۱۲۱	RMSE (mm day^{-1})	
۱/۰۶۰	۱/۰۷۳	۱/۱۱۹	۱/۱۸۱	S	
۰/۹۲۹	۰/۹۸۰	۰/۹۵۷	۰/۹۳۳	R^2	والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U)
۰/۲۴۴	۰/۳۶۰	۰/۴۸۱	۰/۷۰۹	RMSE (mm day^{-1})	
۱/۰۵۰	۱/۰۶۹	۱/۰۵۶	۱/۱۰۰	S	
۰/۸۶۹	۰/۹۴۳	۰/۵۸۳	۰/۶۱۹	R^2	والیانتراس ۳ (R_s, T, RH)
۰/۲۹۷	۰/۴۳۶	۰/۹۹۱	۱/۰۲۵	RMSE (mm day^{-1})	
۰/۹۳۷	۰/۸۶۰	۰/۹۲۰	۰/۸۸۷	S	
۰/۸۲۵	۰/۹۰۳	۰/۵۵۲	۰/۵۷۴	R^2	والیانتراس ۴ (R_s, T, RH)
۰/۳۱۰	۰/۴۲۳	۱/۱۸۵	۱/۲۹۶	RMSE (mm day^{-1})	
۰/۹۳۱	۰/۸۹۵	۰/۸۷۷	۰/۸۳۴	S	
۰/۶۸۶	۰/۸۶۱	۰/۴۷۶	۰/۴۶۱	R^2	والیانتراس ۵ (R_s, T)
۰/۴۹۴	۰/۵۸۳	۱/۶۳۰	۱/۷۵۷	RMSE (mm day^{-1})	
۰/۷۶۴	۰/۸۱۸	۰/۷۹۴	۰/۷۴۹	S	

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری ۵ مدل مختلف والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع تبریز (فصلی)

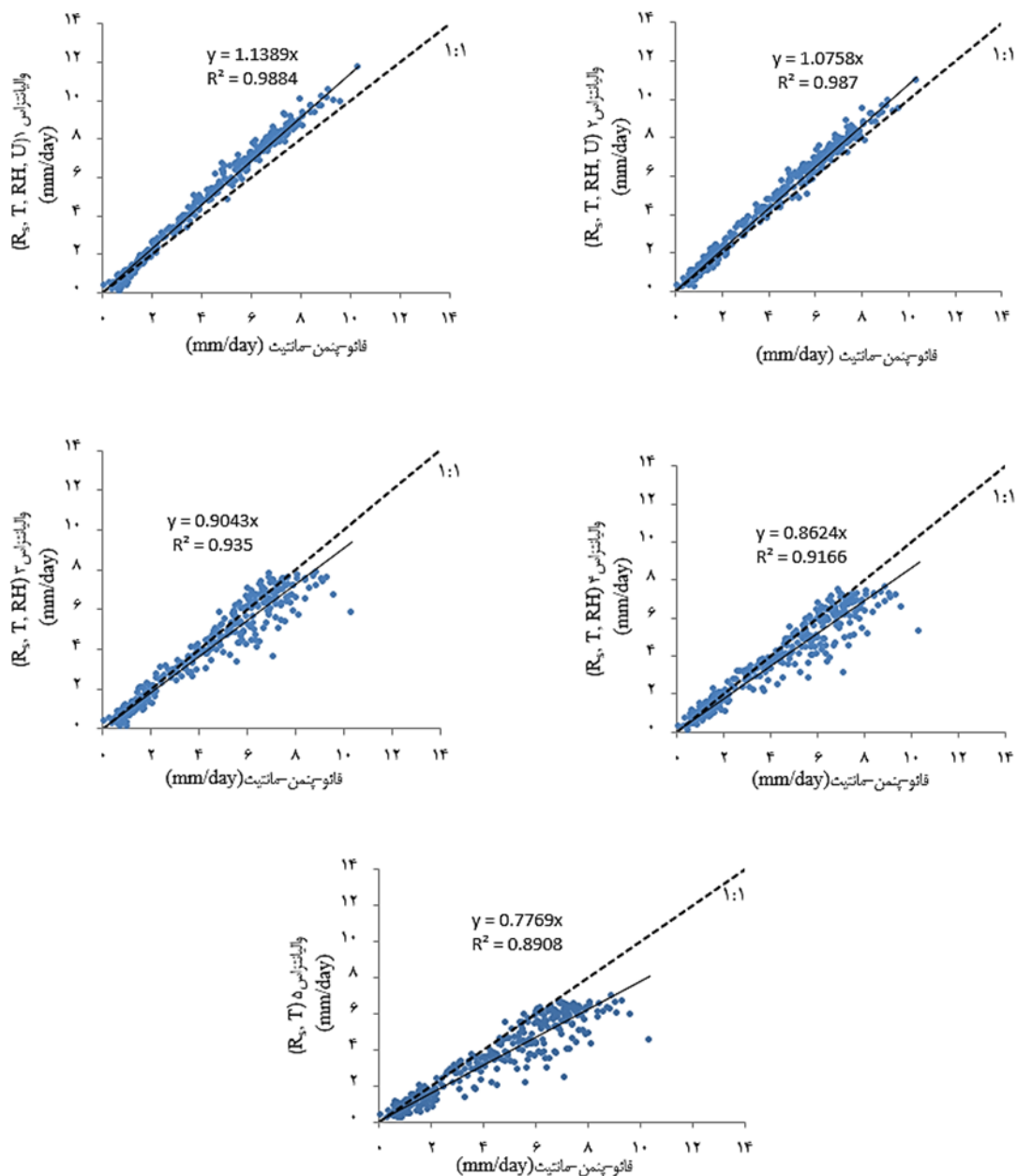
فصل				شاخص	روش
زمستان	پائیز	تابستان	بهار		
۰/۹۵۰	۰/۹۷۶	۰/۹۸۷	۰/۹۷۷	R^2	والیانتراس ۱ (R_s, T, RH, U)
۰/۲۸۸	۰/۴۲۶	۱/۰۶۱	۰/۹۲۱	RMSE (mm day^{-1})	
۱/۱۰۸	۱/۱۵۱	۱/۱۳۷	۱/۱۵۸	S	
۰/۹۱۷	۰/۹۷۶	۰/۹۷۵	۰/۹۵۴	R^2	والیانتراس ۲ (R_s, T, RH, U)
۰/۲۴۷	۰/۴۲۴	۰/۵۹۱	۰/۵۴۵	RMSE (mm day^{-1})	
۱/۰۴۰	۱/۰۶۸	۱/۰۶۷	۱/۰۶۹	S	
۰/۸۷۲	۰/۹۱۱	۰/۷۶۶	۰/۸۵۴	R^2	والیانتراس ۳ (R_s, T, RH)
۰/۲۷۱	۰/۴۵۵	۱/۰۳۰	۰/۵۶۵	RMSE (mm day^{-1})	
۱/۰۲۴	۱/۰۹۷	۰/۹۳۵	۱/۰۱۴	S	
۰/۸۱۸	۰/۸۶۹	۰/۷۲۳	۰/۸۲۳	R^2	والیانتراس ۴ (R_s, T, RH)
۰/۲۹۳	۰/۵۳۷	۱/۲۳۳	۰/۷۱۲	RMSE (mm day^{-1})	
۰/۹۶۴	۱/۱۱۹	۰/۸۸۶	۰/۹۴۱	S	
۰/۷۳۰	۰/۸۱۱	۰/۵۶۲	۰/۷۳۵	R^2	والیانتراس ۵ (R_s, T)
۰/۴۷۴	۰/۵۲۵	۲/۲۴۴	۱/۴۲۳	RMSE (mm day^{-1})	
۰/۷۶۶	۰/۸۹۸	۰/۷۲۷	۰/۷۸۰	S	

جدول ۶- مقادیر شاخص‌های آماری ۵ مدل مختلف والیانتراس در برآورد تبخیر-تغرق مرجع ارومیه (ماهانه)

ماه												شاخص	روش
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین		
۰/۹۲۸	۰/۹۱۵	۰/۷۴۲	۰/۹۲۴	۰/۸۷۹	۰/۹۵۲	۰/۹۸۱	۰/۹۷۰	۰/۹۴۲	۰/۹۱۴	۰/۹۳۰	۰/۹۶۲	R ²	والیانتراس ^۱ (R _s , T, RH, U)
۰/۳۲۶	۰/۲۵۱	۰/۲۴۷	۰/۳۱۲	۰/۱۰۰	۰/۴۵۴	۰/۶۲۵	۰/۸۹۶	۱/۰۰۱	۱/۲۴۲	۱/۱۲۹	۰/۹۷۵	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۱۲۱	۱/۰۱۷	۰/۸۰۰	۰/۹۲۵	۰/۹۷۶	۱/۱۰۹	۱/۰۹۹	۱/۱۱۷	۱/۱۳۷	۱/۱۷۶	۱/۱۸۵	۱/۱۸۳	S	
۰/۸۴۳	۰/۹۱۹	۰/۷۹۴	۰/۹۱۴	۰/۶۹۵	۰/۹۰۱	۰/۹۵۲	۰/۹۵۰	۰/۹۳۹	۰/۸۵۸	۰/۹۰۸	۰/۹۲۹	R ²	والیانتراس ^۲ (R _s , T, RH, U)
۰/۲۷۵	۰/۲۲۳	۰/۲۳۲	۰/۲۸۰	۰/۲۶۵	۰/۴۹۱	۰/۳۷۹	۰/۴۷۱	۰/۵۷۴	۰/۸۴۲	۰/۶۷۰	۰/۵۹۱	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۰۵۰	۱/۰۶۳	۱/۰۱۴	۱/۱۴۰	۱/۰۲۸	۱/۱۰۵	۱/۰۳۷	۱/۰۵۳	۱/۰۷۲	۱/۱۱۰	۱/۰۹۲	۱/۰۹۴	S	
۰/۶۴۰	۰/۸۲۸	۰/۴۶۰	۰/۷۴۴	۰/۵۳۸	۰/۸۵۴	۰/۷۴۲	۰/۰۶۵	۰/۵۷۵	۰/۴۰۴	۰/۶۸۵	۰/۳۲۰	R ²	والیانتراس ^۳ (R _s , T, RH)
۰/۲۹۵	۰/۲۴۱	۰/۳۴۵	۰/۴۷۹	۰/۳۰۱	۰/۵۰۱	۱/۰۲۰	۱/۲۱۹	۰/۶۴۹	۰/۷۶۵	۰/۹۰۹	۱/۳۱۹	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۹۹۱	۰/۹۲۱	۰/۶۳۶	۰/۶۹۲	۰/۸۲۲	۰/۸۹۰	۰/۸۶۲	۰/۹۰۶	۰/۹۷۶	۰/۹۴۹	۰/۸۸۰	۰/۷۹۲	S	
۰/۵۰۳	۰/۷۶۶	۰/۵۶۳	۰/۶۴۹	۰/۵۱۰	۰/۷۱۱	۰/۶۶۰	۰/۰۴۵	۰/۵۶۹	۰/۳۰۲	۰/۶۰۵	۰/۲۵۰	R ²	والیانتراس ^۴ (R _s , T, RH)
۰/۳۹۲	۰/۲۶۷	۰/۲۵۵	۰/۳۰۸	۰/۳۵۶	۰/۵۶۲	۱/۲۳۴	۱/۴۳۶	۰/۷۹۳	۰/۹۸۳	۱/۲۴۲	۱/۵۹۰	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۹۳۰	۰/۹۸۱	۰/۸۰۲	۰/۹۰۲	۰/۸۴۷	۰/۹۰۱	۰/۸۲۴	۰/۸۶۴	۰/۹۲۸	۰/۹۰۵	۰/۸۱۴	۰/۷۳۴	S	
۰/۲۵۰	۰/۵۶۵	۰/۳۰۴	۰/۵۶۷	۰/۲۸۵	۰/۶۰۳	۰/۵۸۱	۰/۰۲۰	۰/۴۹۶	۰/۱۰۲	۰/۴۱۱	۰/۱۵۹	R ²	والیانتراس ^۵ (R _s , T)
۰/۶۶۳	۰/۴۰۵	۰/۳۶۸	۰/۴۲۴	۰/۵۰۴	۰/۷۶۵	۱/۵۹۵	۱/۹۶۹	۱/۲۴۴	۱/۴۳۰	۱/۷۶۹	۲/۰۲۱	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۷۶۱	۰/۸۱۳	۰/۶۴۰	۰/۷۶۷	۰/۷۶۶	۰/۸۳۴	۰/۷۵۶	۰/۷۷۲	۰/۸۴۵	۰/۸۳۲	۰/۲۵۹	۰/۶۴۰	S	

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های آماری ۵ مدل مختلف والیانتراس در برآورد تبخیر-تغرق مرجع تبریز (ماهانه)

ماه												شاخص	روش
اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین		
۰/۸۸۵	۰/۹۲۱	۰/۶۳۲	۰/۹۰۱	۰/۸۷۱	۰/۹۵۸	۰/۹۷۴	۰/۹۷۶	۰/۹۷۷	۰/۹۳۹	۰/۹۶۳	۰/۹۳۵	R ²	والیانتراس ^۱ (R _s , T, RH, U)
۰/۴۰۱	۰/۲۰۹	۰/۲۱۷	۰/۲۷۹	۰/۲۹۳	۰/۶۱۸	۰/۸۳۰	۱/۱۷۷	۱/۱۴۲	۱/۱۰۵	۰/۹۲۶	۰/۶۸۵	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۱۶۱	۱/۰۶۹	۰/۸۷۲	۱/۰۴۷	۱/۱۲۳	۱/۱۶۹	۱/۱۴۴	۱/۱۲۹	۱/۱۴۴	۱/۱۵۵	۱/۱۷۱	۱/۱۴۷	S	
۰/۷۷۹	۰/۸۹۷	۰/۷۹۸	۰/۸۴۹	۰/۷۲۹	۰/۸۸۶	۰/۹۳۷	۰/۹۵۶	۰/۹۶۳	۰/۸۶۵	۰/۹۳۸	۰/۸۵۳	R ²	والیانتراس ^۲ (R _s , T, RH, U)
۰/۳۱۲	۰/۲۲۱	۰/۱۹۷	۰/۳۹۱	۰/۳۸۱	۰/۶۳۷	۰/۵۵۶	۰/۶۱۵	۰/۶۰۱	۰/۶۵۴	۰/۵۳۶	۰/۴۲۰	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۰۴۵	۱/۰۶۲	۰/۹۵۵	۱/۲۸۶	۱/۱۵۶	۱/۱۵۶	۱/۰۸۰	۱/۰۵۹	۱/۰۷۰	۱/۰۷۹	۱/۰۶۸	۱/۰۴۳	S	
۰/۵۹۷	۰/۸۵۲	۰/۲۹۲	۰/۶۲۲	۰/۵۷۵	۰/۷۲۰	۰/۷۹۷	۰/۳۶۴	۰/۷۳۱	۰/۴۱۲	۰/۸۰۳	۰/۵۷۵	R ²	والیانتراس ^۳ (R _s , T, RH)
۰/۳۲۹	۰/۲۰۶	۰/۲۶۷	۰/۲۹۷	۰/۲۷۸	۰/۶۷۵	۰/۶۷۹	۱/۴۷۱	۰/۷۴۷	۰/۶۲۸	۰/۵۲۵	۰/۵۳۶	RMSE (mm day ⁻¹)	
۱/۰۴۷	۱/۰۵۰	۰/۸۱۴	۰/۹۸۷	۱/۰۲۳	۱/۱۲۵	۱/۰۶۳	۰/۸۷۵	۰/۹۴۷	۱/۰۱۴	۱/۰۳۰	۰/۹۹۰	S	
۰/۴۵۲	۰/۸۲۳	۰/۵۶۸	۰/۵۲۰	۰/۳۵۰	۰/۶۲۴	۰/۷۴۳	۰/۳۳۸	۰/۷۰۴	۰/۳۸۴	۰/۷۶۹	۰/۵۰۶	R ²	والیانتراس ^۴ (R _s , T, RH)
۰/۴۱۳	۰/۲۲۶	۰/۱۹۹	۰/۴۱۸	۰/۴۱۱	۰/۷۲۲	۰/۶۳۱	۱/۷۶۶	۱/۰۲۳	۰/۷۴۲	۰/۶۴۸	۰/۷۴۱	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۹۴۲	۱/۰۴۷	۰/۹۰۶	۱/۲۲۹	۱/۰۵۸	۱/۱۱۷	۱/۰۰۹	۰/۸۳۱	۰/۸۹۵	۰/۹۵۴	۰/۹۴۵	۰/۹۰۴	S	
۰/۳۳۹	۰/۷۳۱	۰/۱۳۵	۰/۴۳۷	۰/۱۴۵	۰/۴۴۴	۰/۶۲۳	۰/۰۸۵	۰/۴۸۴	۰/۲۶۲	۰/۶۱۵	۰/۳۳۸	R ²	والیانتراس ^۵ (R _s , T)
۰/۶۴۰	۰/۳۵۷	۰/۳۷۹	۰/۳۳۱	۰/۵۱۴	۰/۶۷۳	۱/۱۵۱	۳/۱۲۰	۲/۰۱۴	۱/۵۴۱	۱/۳۳۰	۱/۴۲۰	RMSE (mm day ⁻¹)	
۰/۷۸۵	۰/۷۸۰	۰/۶۰۷	۰/۸۷۳	۰/۸۳۱	۰/۹۱۴	۰/۸۲۷	۰/۶۶۴	۰/۷۵۷	۰/۸۰۷	۰/۷۷۵	۰/۷۱۷	S	



شکل ۱-پراکنش بین مقادیر ET₀ برآوردشده توسط هر مدل با مقادیر ET₀ روش فائو-پنمن-مانیتث در ایستگاه سینوپتیک ارومیه

قرار گرفت. نتایج نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، دو رابطه والیانتراس^۲ (R_s, T, RH, U) و والیانتراس^۵ (R_s, T) به ترتیب دقیق‌ترین و ضعیف‌ترین مدل در برآورد مقادیر تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های منتخب واقع در شمال غربی کشور بودند. در کل می‌توان چنین نتیجه گرفت که از روش والیانتراس^۲ (R_s, T, RH, U) و در اولویت‌های بعدی از دو مدل والیانتراس^۱ (R_s, T, RH, U) و والیانتراس^۳ (R_s, T, RH) می‌توان

نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی هفت ایستگاه سینوپتیک ارومیه، سلماس، تکاب، مهاباد، تبریز، سراب و مراغه (واقع در شمال غرب ایران)، قابلیت کاربرد پنج مدل مختلف رابطه والیانتراس برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع مورد مطالعه قرار گرفت. دو شاخص ضریب تعیین (R²) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ارزیابی دقت مدل‌ها مورد استفاده

والیانتراس^۲ (R_s, T, RH, U) که داده‌های ورودی کمتری نسبت به روش استاندارد نیاز دارد، استفاده نمود. پیشنهاد می‌شود ارزیابی‌های بیشتری در خصوص استفاده از معادلات والیانتراس در مناطق مختلف ایران صورت گیرد.

(به‌عنوان جایگزینی برای روش استاندارد فائو-پنمن-مانتیث) جهت برآورد مقادیر تبخیر-تعرق مرجع در منطقه استفاده کرد. از نتایج این تحقیق می‌توان استنتاج نمود که در مناطقی که با محدودیت داده‌های هواشناسی جهت استفاده از رابطه فائو-پنمن-مانتیث مواجه است، می‌توان با دقت قابل قبولی از رابطه

منابع

- 1- Ahooghalandari, M., Khiadani, M. and Jahromi, M.E., 2017. Calibration of Valiantzas' reference evapotranspiration equations for the Pilbara region, Western Australia. *Theoretical and applied climatology*, 128(3-4), pp.845-856.
- 2- 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 56. Fao, Rome, 300(9), p.D05109.
- 3- Anderson, R.G., Lo, M.H. and Famiglietti, J.S., 2012. Assessing surface water consumption using remotely-sensed groundwater, evapotranspiration, and precipitation. *Geophysical Research Letters*, 39(16).
- 4- ASCE-EWRI., 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. In: Allen, R. G., Walter, I. A., Elliot, R. L., et al.(Eds.), Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Final Report. American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, pp.213.
- 5- Azhar, A.H. and Perera, B.J.C., 2010. Evaluation of reference evapotranspiration estimation methods under Southeast Australian conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(5), pp.268-279.
- 6- Bastiaanssen, W.G.M., Noordman, E.J.M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B.P. and Allen, R.G., 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1), pp.85-93.
- 7- Davis, S.L. and Dukes, M.D., 2010. Irrigation scheduling performance by evapotranspiration-based controllers. *Agricultural water management*, 98(1), pp.19-28.
- 8- DehghaniSanij, H., Yamamoto, T. and Rasiah, V., 2004. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural water management*, 64(2), pp.91-106.
- 9- Djaman, K., Balde, A.B., Sow, A., Muller, B., Irmak, S., N'Diaye, M.K., Manneh, B., Moukoumbi, Y.D., Futakuchi, K. and Saito, K., 2015. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: regional studies*, 3, pp.139-159.
- 10- Djaman, K., Irmak, S., Kabenge, I. and Futakuchi, K., 2016. Evaluation of FAO-56 penman-monteith model with limited data and the valiantzas models for estimating grass-reference evapotranspiration in Sahelian conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(11), p.04016044.
- 11- Ferguson, I.M. and Maxwell, R.M., 2011. Hydrologic and land-energy feedbacks of agricultural water management practices. *Environmental Research Letters*, 6(1), p.014006.
- 12- Fisher, J.B., DeBiase, T.A., Qi, Y., Xu, M. and Goldstein, A.H., 2005. Evapotranspiration models compared on a Sierra Nevada forest ecosystem. *Environmental Modelling & Software*, 20(6), pp.783-796.
- 13- Fisher, D.K. and Pringle III, H.C., 2013. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Sciences*, 4(08), p.51. -60.

- 14- Holwerda, F., Bruijnzeel, L.A., Barradas, V.L. and Cervantes, J., 2013. The water and energy exchange of a shaded coffee plantation in the lower montane cloud forest zone of central Veracruz, Mexico. *Agricultural and forest meteorology*, 173, pp.1-13
- 15- Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G. and Jones, J.W., 2003. Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 129(5), pp.336-347.
- 16- Jabloun, M.D. and Sahli, A., 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to Tunisia. *Agricultural water management*, 95(6), pp.707-715.
- 17- Jakimavičius, D., Kriaučiūnienė, J., Gailiūšis, B. and Šarauskiene, D., 2013. Assessment of uncertainty in estimating the evaporation from the Curonian Lagoon. *Baltica*, 26(2), pp.177-186.
- 18- Jun, W., Xinhua, W., Meihua, G. and Xuyan, X.U., 2012. Impact of climate change on reference crop evapotranspiration in Chuxiong City, Yunnan Province. *Procedia Earth and Planetary Science*, 5, pp.113-119.
- 19- Kisi, O., 2013. Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(1), p.04013002.
- 20- Kueppers, L.M., Snyder, M.A. and Sloan, L.C., 2007. Irrigation cooling effect: Regional climate forcing by land-use change. *Geophysical Research Letters*, 34(3).
- 21- Landeras, G., Ortiz-Barredo, A. and López, J.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(5), pp.553-565.
- 22- Lo, M.H. and Famiglietti, J.S., 2013. Irrigation in California's Central Valley strengthens the southwestern US water cycle. *Geophysical Research Letters*, 40(2), pp.301-306.
- 23- Martinez, C.J. and Thepadia, M., 2009. Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 136(7), pp.494-501.
- 24- Meissner, R., Rupp, H., Seeger, J., Ollesch, G. and Gee, G.W., 2010. A comparison of water flux measurements: passive wick-samplers versus drainage lysimeters. *European journal of soil science*, 61(4), pp.609-621.
- 25- Puma, M.J. and Cook, B.I., 2010. Effects of irrigation on global climate during the 20th century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D16).
- 26- Sabziparvar, A.A., Tabari, H., Aeni, A. and Ghafouri, M., 2010. Evaluation of class A pan coefficient models for estimation of reference crop evapotranspiration in cold semi-arid and warm arid climates. *Water resources management*, 24(5), pp.909-920.
- 27- Steinman, B.A., Rosenmeier, M.F., Abbott, M.B. and Bain, D.J., 2010. The isotopic and hydrologic response of small, closed-basin lakes to climate forcing from predictive models: Application to paleoclimate studies in the upper Columbia River basin. *Limnology and Oceanography*, 55(6), pp.2231-2245.
- 28- Tabari, H., 2010. Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water resources management*, 24(10), pp.2311-2337.
- 29- Tabari, H., Grismer, M.E. and Trajkovic, S., 2013. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, 31(2), pp.107-117.

- 30- Tang, Q., Peterson, S., Cuenca, R.H., Hagimoto, Y. and Lettenmaier, D.P., 2009. Satellite-based near-real-time estimation of irrigated crop water consumption. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D5).
- 31-Trajkovic, S. and Kolakovic, S., 2009. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. *Water Resources Management*, 23(14), p.3057 –3067.
- 32-Valiantzas, J.D., 2013a. Simple ET_0 forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. I: theoretical development. *Irrigation and Drainage Engineering*, 139(1),pp.1-8.
- 33-Valiantzas, J.D., 2013b. Simple ET_0 forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. II: comparisons with reduced set-FAO and other methodologies. *Irrigation and Drainage Engineering*, 139(1),pp.9-19.
- 34-Valiantzas, J.D., 2013c. Simplified reference evapotranspiration formula using an empirical impact factor for Penman's aerodynamic term. *Hydrologic Engineering*, 18(1),pp.108–114.
- 35- Valipour, M., 2015. Investigation of Valiantzas' evapotranspiration equation in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 121(1-2), pp.267-278.
- 36-Zhao, L., Xia, J., Xu, C.Y., Wang, Z., Sobkowiak, L. and C. Long., 2013. Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. *Geographical Sciences*, 23(2),pp.359–369.
- 37-Zhao, J., Xu, Z.X., Zuo, D. P. and X.M. Wang., 2015. Temporal variations of reference evapotranspiration and its sensitivity to meteorological factors in Heihe river basin, China. *Water Science and Engineering*, 8(1),pp.1-8.