

## Estimation of Potential Evapotranspiration in Different Climates of Iran

BAHAREH BAHMAN ABADI<sup>1</sup>, ABBAS KAVIANI<sup>1\*</sup>

1. Water Engineering Department, Imam Khomeini International University (IKIU), Qazvin, Iran.  
(Received: Feb. 9, 2020- Revised: March. 3, 2020- Accepted: March. 7, 2020)

### ABSTRACT

There are different models for estimation of evapotranspiration that are based on humidity, radiation, temperature and compound groups. The main purpose of this study is to calibrate the evapotranspiration methods and to select the best one for different climatical conditions in provinces of Iran. Meteorological data were collected from 10 synoptic stations in provinces of Iran. The comparison among the potential evapotranspiration, calculated based on the available four experimental groups and observational lysimeter data, for selection of the best model showed that the Hargreaves-Samani method (1985) with  $R^2 < 0.94$  and  $RMSE < 1\text{mm/day}$  was the superior one in the proposed seven provinces and was identified as the best method in the provinces with dry and semi-arid climate. While, the humid methods showed proper results in central provinces and Caspian Sea basin (with moderate and humid climate) and Albrecht (1950) method was selected as the best method among them in these provinces.

**Keywords:** Evapotranspiration, Temperature, Radiation, Humidity, Combination Methods.

## برآورد تبخیر تعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف ایران

بهاره بهمن آبادی<sup>۱</sup>، عباس کاویانی<sup>۱\*</sup>

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷)

### چکیده

مدل‌های زیادی بر مبنای گروه‌های رطوبتی، تشعشعی، دمایی و ترکیبی در برآورد تبخیر تعرق وجود دارد. هدف اصلی این تحقیق کالیبراسیون روش‌های تبخیر تعرق و انتخاب بهترین روش، تحت شرایط اقلیمی متفاوت در استان‌های ایران است. در این تحقیق، اقدام به جمع‌آوری داده‌های هواشناسی از ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در استان‌های ایران شده است و در مقایسه‌ای که بین نتایج تبخیر تعرق محاسبه شده بر مبنای چهار گروه تجربی موجود و داده‌های مشاهداتی لایسیمتر برای انتخاب بهترین مدل در استان‌های مورد بررسی صورت گرفت، بر اساس اقلیم‌های متفاوتی که در کشور ایران وجود دارد، در استان‌هایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک روش Hargreaves-Samani, 1985 با مقدار همبستگی  $R^2 < 0.94$  و مقدار  $RMSE < 1 \text{ mm/day}$  در هفت استان مورد بررسی به‌عنوان روش برتر شناخته شد. در حالیکه در استان‌های مرزی و حومه دریای خزر با اقلیم (معتدل و مرطوب)، روش‌های گروه رطوبتی نتایج مناسبی را از خود ارائه دادند و در بین آن‌ها نیز روش Albrecht (1950) به‌منزله بهترین روش در این استان‌ها انتخاب شد.

**واژه‌های کلیدی:** تبخیر تعرق، روش دمایی، روش تشعشعی، روش رطوبتی، روش ترکیبی.

### مقدمه

کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب به‌شمار می‌رود (Bastiaanssen, 2000). لذا ضرورت تخمین دقیق نیاز آبی گیاهان بر اساس شرایط تغذیه‌ای خاک، وضعیت تنش‌های گیاهی و عوامل اقلیمی در مدیریت منابع آب بسیار تعیین کننده است. شناسایی و ارزیابی این فرآیند هیدرولوژیکی در بهبود کفایت سیستم آبیاری اهمیت به‌سزایی دارد. درک اهمیت اجزای بیلان آب از قبیل تبخیر تعرق و قابلیت نفوذ همراه با برنامه آبیاری مشخص، در توسعه استراتژی‌های مدیریت آبیاری بسیار کاربردی است (Bethune et al., 2008). اندازه‌گیری مستقیم تبخیر تعرق مرجع (ET<sub>0</sub>) به کمک لایسیمتر با دقت زیاد انجام می‌گیرد ولی همیشه اندازه‌گیری آن از این طریق به دلایل مختلف امکان‌پذیر نمی‌باشد. بر اساس پژوهش‌های دهه‌های گذشته رابطه‌های تجربی متعددی، برای تخمین ET<sub>0</sub> با استفاده از پارامترهای هواشناسی ارائه شده‌اند اما هیچ یک از این رابطه‌های تجربی، پاسخگوی نیاز تمامی شرایط اقلیمی نبوده و تنها در شرایط خاصی که توسعه یافته‌اند، جواب‌گو می‌باشند (Landeras et al., 2008). سازمان خواروبار جهانی اقدام به مدل‌سازی روشی تجربی بر مبنای طیف گسترده‌ای از داده‌های هواشناسی و اقلیمی و گیاهی کرده (Allen et al., 1998) و معادله Penman-Monteith را به منظور برآورد محاسباتی و به‌عنوان روشی غیرمستقیم در

برآورد تبخیر تعرق پتانسیل و قابل اجرا در اقلیم و مناطق مختلف معرفی کرد (Khoshravesht et al., 2017; Valipour., 2015b). از آنجا که روش‌های غیرمستقیم برای تخمین، یکسری فرضیات را می‌پذیرد و به کمک روابط تلاش می‌کند تا مفاهیم فیزیکی را در قالب یکسری معادلات ارائه کند، لذا از این روابط به مدل نیز اطلاق می‌شود. با توجه به گستردگی داده‌های مورد نیاز و نبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای دخیل در معادله FAO Penman-Monteith، روش‌های بسیاری توسط محققان و متخصصان در سراسر جهان برای تعیین تبخیر تعرق براساس داده‌های جزئی هواشناسی و اقلیم و شرایط آب و هوایی منطقه، توسعه داده شد (Oudin et al., 2004; Fernandes., 2006; Barros, 2012). شناخت عملکرد این مدل‌ها موضوع اصلی مورد توجه در اقلیم‌های مختلف است (Perreira et al., 2014). که در نهایت این معادلات در چهار گروه دمایی، تشعشعی، رطوبتی و ترکیبی دسته‌بندی می‌شوند. در روش‌های محاسباتی که می‌توان آن‌ها را جزء روش‌های غیرمستقیم دانست، از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و در نهایت روابط به‌دست آمده با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی محلی به‌دست آمده و از اعتبار محدودی برخوردارند (Xu and Singh, 2002). با توجه به در دسترس بودن و قابل اندازه‌گیری بودن دمای هوا و عدم نیاز به اطلاعات هواشناسی پیچیده،

گروه قرار دارند. در بررسی‌هایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران بر روی روش‌های (Makkink (1957), Priestley\_taylor (1972) و Hargreaves در مقایسه با FAO Penman-Monteith (1972) و 56 به‌عنوان روش مرجع برای شناسایی مدل جایگزین ET<sub>0</sub> که نتایج نزدیک به روش PMF-56 را ارائه می‌دهد، پرداختند. در نهایت روش Hargreaves به‌منزله روش برتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرقی ایران معرفی شدند، بالاترین و پایین‌ترین مقدار تبخیر تعرق به ترتیب ۲۵۰ و ۸۰ میلی‌متر در ماه‌های مرداد و فروردین بود (Sabziparvar and Tabari, 2014). در بررسی و مقایسه نتایج ۸ روش تجربی برآورد تبخیر تعرق شامل FAO 24, Hargreave\_Samani, Radiation FAO 24, Blaney-Criddle (1961) و Turk (1961) با داده‌های تشت تبخیر فائو در حوضه دریای خزر با اقلیم خشک و مرطوب، از اطلاعات ۲۶۴ ایستگاه استفاده شد که در نهایت کلیه روش‌ها تطابق مناسبی با روش مرجع داشتند و با کاهش مقیاس زمانی مورد بررسی از میزان خطا کاسته می‌شود (Joshani et al., 2015). در مقایسه گروه‌های تجربی دمایی، تشعشعی و ترکیبی در پنج منطقه با اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌مرطوب، خشک و نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای به‌طور کلی عملکرد روش‌ها نه تنها نسبت به اقلیم بلکه نسبت به سری زمانی (روزانه، ماهانه و...) نیز متغیر بود. روش‌های ترکیبی در تمامی مناطق مورد مطالعه با در نظر گرفتن شرایط آیرودینامیکی و جزء انرژی در بیلان انرژی کمترین میزان RMSE را داشتند (Arellano et al., 2016). بررسی شش روش برآورد تبخیر تعرق پتانسیل در منطقه‌ای با اقلیم خشک نشان داد که تبخیر تعرق پتانسیل در یک سطح بزرگ پوشیده از گیاه در حال رشد اتفاق می‌افتد به شرطی که سطح تحت تاثیر فرارفت و گرمادهی نباشد و منبع تامین آب برای تبخیر تعرق گیاه نامحدود باشد. این محققان در نهایت به این نتیجه رسیدند که مدل‌های کاملاً فیزیکی بهترین نتایج را دارا هستند و سپس به ترتیب مدل‌های تشعشعی، دمایی و انتقال جرم از دیدگاه دقت تخمین، در اولویت‌های بعدی قرار دارند (Li et al., 2016). در تحقیقی دیگر که بر روی تبخیر تعرق پتانسیل روزانه با استفاده از ۱۶ روش (شش روش ترکیبی، پنج روش دمایی و پنج روش تشعشعی) انجام شد، نتایج به‌دست آمده با لایسیمتر وزنی در سال ۲۰۱۸ و در یک اقلیم نیمه‌خشک چین مورد مقایسه قرار گرفت (Zhang et al., 2018). نتایج نشان داد که داده‌های حاصل از سری معادلات پنمن و به‌طور کلی روش‌های ترکیبی بهترین انطباق با لایسیمتر و در گام‌های بعدی به ترتیب روش‌های تشعشعی و دمایی نتایج ضعیف‌تری را تولید نمودند. از سوی دیگر تمامی ۱۶ مدل مورد بررسی در شرایطی که مقدار تبخیر تعرق پتانسیل کم

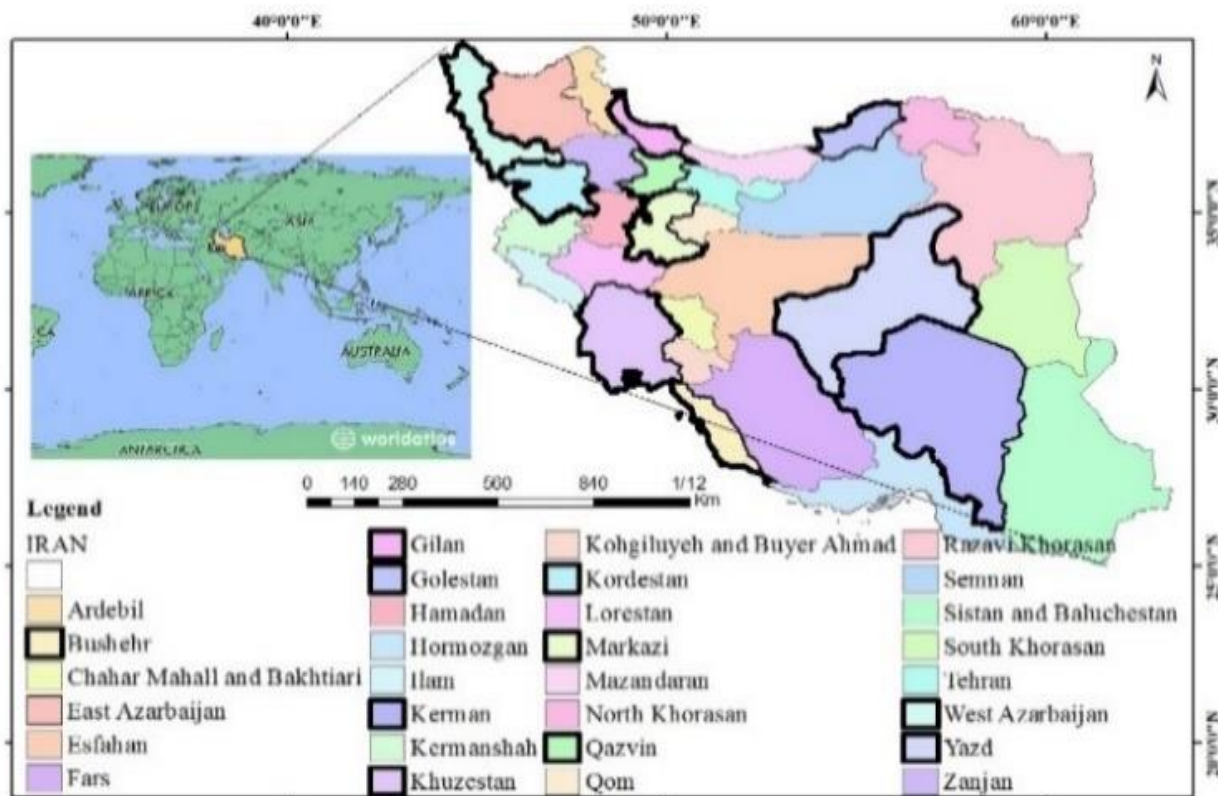
روش‌های دمایی یکی از پرکاربردترین روش‌های تجربی برآورد تبخیر تعرق در منطقه است (Feng et al., 2017, Valipour., 2015c). از جمله روش‌های دمایی می‌توان به Hargreaves-Samani (1985), Blaney-Criddle (1950), Hamon (1961), Mc Cloud (1995), Trajkovic (2007), Ravazzani et al. (2012) و (Berti., 2014) (Berti., 2014) و روش (1961) Turc اشاره کرد. تابش خورشیدی تاثیر به‌سزایی بر روی داده‌های اقلیمی و هواشناسی دارد. گروه روش‌های تجربی برآورد تبخیر تعرق روش‌های تشعشعی با بهره‌گیری از مقدار انرژی تابش خورشیدی در منطقه مقدار تبخیر تعرق را محاسبه می‌کنند (Zhang et al., 2018). از جمله این روش‌ها Valiantzas (2013a), (Allen., 2003) (Allen., 2003), Makkink\_Allen (2003), De (2003), FAO, 24\_Radiation Doorenbos & Pruitt (1977), Makkink\_Hansen (Hansen, Bruin-Keijman (1979) (1984), Priestley\_taylor (1972) Makkink (1957) و Jensen\_Haise (1963) را می‌توان نام برد. در بین گروه‌های مورد بررسی گروه روش‌های رطوبتی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های برآورد تبخیر تعرق است که به دلیل سادگی و دقتی که در تخمین تبخیر تعرق دارد هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور کلی معادلات رطوبتی برآورد تبخیر تعرق بر مبنای قانون دالتون و قانون انتقال موج بخار آب ادی از سطح تبخیر به جو بنا شده‌اند (Singh and Xu, 1997; Shiri, 2018). هر چند که این روش‌ها از دقت مناسبی برخوردارند و در بسیاری از مناطق نتایج قابل قبولی از خود ارائه داده‌اند اما کاهش اثرات آیرودینامیکی می‌تواند باعث کاهش دقت این مدل در منطقه مورد بررسی شود. سه داده اصلی تاثیرگذار در برآورد تبخیر تعرق به روش رطوبتی، گرادیان فشاربخار آب، سرعت باد و دمای کمینه و بیشینه هوا است (Singh and Xu., 1997, Shiri, 2018) و عواملی از قبیل فشار هوا، چگالی مایع، ارتفاع از سطح دریا در منطقه مورد نظر تاثیر در سرعت تبخیر تعرق ندارد (Singh and Xu., 1997). از جمله روش‌های مورد بررسی در این گروه می‌توان به Dalton (1802), Albrecht, Penman (1963), Penman (1948), Trabert (1896), Romanenko (1961), Schendel, Mahringer (1970), Shuttel\_worth (1993) و (1967) اشاره کرد. آخرین گروه از روش‌های تجربی برآورد تبخیر تعرق مجموعه‌ای (ترکیبی) از روش‌های آیرودینامیکی (رطوبتی) و بیلان انرژی است (Arellano et al., 2016). بسیاری از روش‌های تجربی از قبیل Penman\_Kimberly (1996) (Liu et al., 2017), Penman\_Monteith\_FAO (FAO 56), Penman\_FAO 24 ASCE70 که به‌منزله روش‌های مرجع شناخته می‌شوند در این

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

ایران با مساحتی حدود ۱۶۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب غربی آسیا با طول جغرافیایی ۰۰' ۲۵° تا ۳۹' ۳۸° شمالی و عرض جغرافیایی ۰۰' ۴۴° و ۲۵' ۶۳° شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین بارش سالانه کشور ۲۸۰ میلی‌متر و حداکثر و حداقل دمای هوا به ترتیب ۲۸/۶ و ۴/۶ درجه سانتیگراد است. ایران از شمال به دریای خزر و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان محدود می‌شود. به‌طور کلی کشور ایران عمدتاً دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است اما در مجاورت دریای خزر، اقلیم معتدل و مرطوب وجود دارد. دو رشته کوه اصلی ایران، البرز و زاگرس است که به ترتیب آب و هوای استان‌های شمالی کشور و شمال غربی تا جنوبی‌ترین بخش ایران را تحت شعاع قرار می‌دهند. مناطق کوهستانی در تابستان دارای آب و هوای معتدل و در پاییز و زمستان دارای آب و هوای سرد و برفی هستند. از آنجا که تقسیم‌بندی آب و هوایی (شکل ۲) و شناخت مهمترین عوامل و عناصر تأثیرگذار بر هر ناحیه، یکی از راه‌های شناخت اقلیمی نواحی است لذا مختصراً به معرفی استان‌های مورد بررسی در جدول (۱) پرداخته شده است.

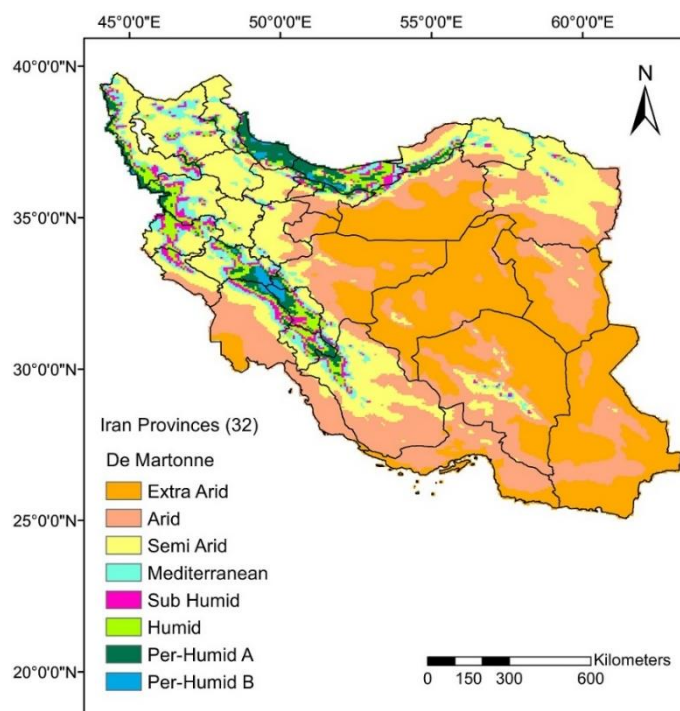
باشند دچار بیش‌برآوردی و در شرایطی که مقادیر تبخیرتعرق بالا بود با کم‌برآوردی مواجه می‌شود. علاوه بر این توصیه شده است معادلات ترکیبی و تشعشی کالیبره و معادلات دمایی به‌دلیل ساختار ضعیف، بهینه سازی شوند (Zhang et al., 2018). در تحقیقی دیگر که در دلتای رودخانه سنگال انجام شده است، نتایج شش معادله تخمین تبخیرتعرق گیاه مرجع با نتایج حاصل از معادله Penman-Monteith اصلاح شده توسط ASCE (ASCE-70) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. براساس مقایسه آماری نتایج مشخص شد که معادله والیانتراس ۲ در هر دو حالت کالیبره شده و بدون اعمال کالیبراسیون بهترین انطباق را نشان داده است و از سوی دیگر اعمال کالیبراسیون بر روی هر شش معادله باعث شد تا مقادیر تبخیرتعرق گیاه مرجع تخمین زده شده به مقادیر شاهد نزدیک‌تر گردد (Djaman et al., 2015). با توجه به اهمیت تخمین دقیق تبخیرتعرق در طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت شبکه‌ها و سامانه‌های آبیاری، در این تحقیق دقت مدل‌های برآورد تبخیرتعرق براساس اقلیم ۱۰ استان از ایران در چهار گروه دمایی، تشعشی، رطوبتی و ترکیبی مورد مطالعه قرار گرفت. برای بررسی نتایج مدل‌ها و انتخاب بهترین روش از داده‌های لایسیمیتری به-عنوان معیار خطاسنجی استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایران در جهان (برگرفته از سایت Worldatlas) و بخش‌بندی استانی ایران. (نکته: استان‌هایی که حاشیه آن‌ها پررنگ شده استان‌های مورد بررسی در این تحقیق هستند).

جدول ۱- جزئیات ایستگاه های هواشناسی مورد استفاده در تحقیق

ارتفاع از سطح دریا (m)	Longitude (Decimal Degree)	Latitude (Decimal Degree)	ایستگاه	استان
۱۲۷۹	۵۰ ۳۵'	۳۶ ۰۰'	قزوین (QA)	قزوین (QA)
۱۳۳۲	۴۵ ۰۳'	۳۷ ۴۰'	ارومیه (UR)	اذربایجان غربی (WA)
۲/۳	۴۸ ۴۰'	۳۱ ۲۰'	اهواز (AH)	خوزستان (KH)
۸	۵۰ ۵۰'	۲۸ ۵۹'	بوشهر (BO)	بوشهر (BO)
-۷	۴۹ ۳۶'	۳۷ ۱۵'	رشت (RA)	گیلان (GIL)
۱۳	۵۴ ۲۴'	۳۶ ۵۴'	گرگان (GOR)	گلستان (GOL)
۱۳۷۳	۴۷ ۰۰'	۳۵ ۲۰'	سنندج (SA)	کردستان (KO)
۱۷۰۸	۴۹ ۴۶'	۳۴ ۰۶'	اراک (AR)	مرکزی (MA)
۱۲۳۷	۵۴ ۱۷'	۳۱ ۵۱'	یزد (YA)	یزد (YA)
۱۷۵۴	۵۵ ۵۴'	۳۱ ۲۵'	رفسنجان (RAF)	کرمان (KE)



شکل ۲- نقشه اقلیمی ایران به روش دومارتن اصلاح شده (Rahimi et al. 2013)

## اطلاعات و داده‌های مورد نیاز

### اطلاعات هواشناسی و لایسیمتری

روش‌هایی که برای محاسبه ETO پیشنهاد شده است هرکدام از نظر داده‌های مورد لزوم نیازهای متفاوتی دارند. در این پژوهش به منظور برآورد اجرا و برآورد میزان تبخیر تعرق بر اساس روش‌های تجربی از داده‌های هواشناسی از قبیل دما، سرعت باد، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، فشار هوا، ساعات آفتابی ایستگاه‌های هواشناسی قزوین، ارومیه، اهواز، بوشهر، رشت، گرگان، سنندج، اراک، یزد و کرمان به صورت روزانه و در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۴-۲۰۰۳ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲ و شکل ۳).

### اطلاعات لایسیمتری

لایسیمتری یکی از معتبرترین روش‌های اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق است. لایسیمتر عبارتست از محوطه جداسازی شده-ای از مزرعه که علاوه بر امکان کاشت و داشت گیاه در شرایط بهینه (از نظر عملیات زراعی و آبیاری و کنترل گیاه و غیره)، امکان اندازه‌گیری مقادیر آب خروجی و ورودی به آن و رطوبت خاک را می‌دهد. لایسیمترها به دو دسته لایسیمتر زهکش‌دار و وزنی تقسیم می‌شوند. تفاوت این دو لایسیمتر در اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه و یا تبخیر از سطح خاک است. لایسیمتر زهکش‌دار غیرمستقیم و با استفاده از روش اندازه‌گیری پروفیل آب خاک مقدار تبخیر و تعرق را محاسبه می‌کند. مبنای کار لایسیمتر

در همان دوره (mm).

$\Delta W$ : تغییرات رطوبتی خاک تا کف لایسیمتر یا تغییر در

مقدار عمق آب موجود در پروفیل خاک در دوره معین (mm) در حالیکه لایسیمتر وزنی مستقیماً و با اندازه‌گیری تغییرات آب خاک از طریق وزن کردن لایسیمتر مقدار تغییرات روزانه تبخیرتعرق را نسبت به رطوبت خاک به خوبی نشان می‌دهد. در این تحقیق به منظور بررسی صحت و دقت برآوردهای صورت گرفته براساس روش‌های تجربی از داده‌های مزرعه‌ای لایسیمتر زهکش‌دار استفاده شده است.

زهک دار بر این اصل مبتنی است که مقدار تبخیرتعرق، با نفاذ مجموع آب آبیاری، بارندگی و آب خروجی از انتهای لایسیمتر (آب زهکشی) برابر می‌باشد. رابطه زیر برای دوره زمانی معینی برای لایسیمتر زهکش‌دار استفاده می‌گردد.

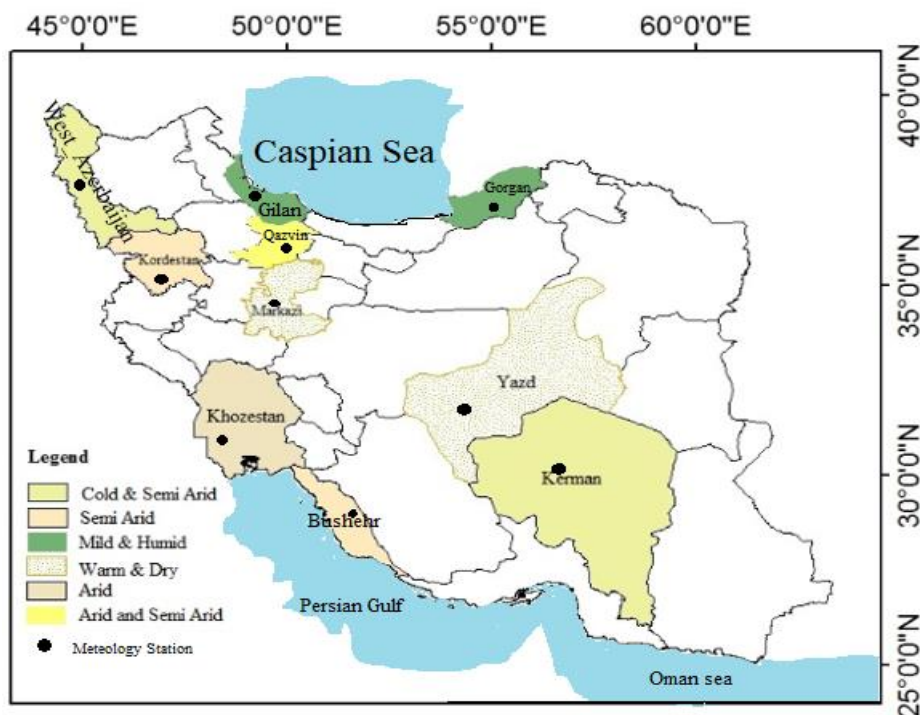
$$ET_p = I + P + D - \Delta W$$

ETp: شدت تبخیر-تعرق پتانسیل به صورت آب تبخیر یا

تعرق یافته در دوره معین (mm)

P: میزان بارندگی در همان دوره معین (mm)

I و D: به ترتیب میزان آب زهکش شده و میزان آب آبیاری



شکل ۳- پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی و نقشه طبقه‌بندی استان‌های مورد بررسی براساس تیپ اقلیمی

جدول ۲- متوسط ماهیانه داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmean (°C)	U2 (Knot)	Rh max (%)	Rh min (%)	N (hr)
QA	-۲/۴۷	۳۶/۰۵	۱۴/۶	۱۷/۷۵	۷۲/۲۵	۳۴/۵	۲۴۸/۲۱
UR	-۶/۶	۳۳	۱۷/۷	۲۹	۹۲	۲۲	۳۰۲/۰۱
AH	۶/۸	۴۷/۶	۲۵/۵۶	۸/۹	۹۴	۱۲	۲۷۲/۴۳
BO	۱۱	۴۰	۲/۴۱	۵/۷	۹۳	۲۸	۲۷۳/۶۳
RA	۳	۳۰/۷	۱۷/۱۱	۱/۹۲	۹۹	۵۴	۱۵۳/۲۲
GOR	۲	۳۳/۹	۱۹/۸۶	۱/۴۶	۹۳	۴۳	۱۹۹/۶۳
SAN	-۶/۱	۳۸/۳	۱۵/۲۳	۴/۲۴	۸۸	۸	۲۶۰/۰۳
AR	-۶/۲	۳۷	۱۵/۶۱	۲۵/۵۸	۸۷	۸	۲۶۲/۳۷
YA	-۰/۸	۴۲/۳	۲۰/۴۱	۵/۱۲	۸۱	۷	۲۸۴/۳۹
RAF	۰/۴	۳۹/۶	۲۰/۴۹	۷/۵۲	۷۴	۱۰	۲۷۸/۱۹

جدول ۳- موقعیت و خصوصیات لایسیمترهای زهکش‌دار

سال	Long (Decimal, Degree)	Lat (Decimal, Degree)	Elevation (m)	ایستگاه
۲۰۰۳-۲۰۰۰	°۵۰.۰۰'	°۳۶.۱۵'	۱۲۷۸/۳	QA
۱۹۹۹-۱۹۹۶	°۴۵.۰۱'	°۳۷.۵۳'	۱۳۲۰	UR
۱۹۹۸-۱۹۹۴	°۴۸.۴۰'	°۳۱.۲۰'	۲/۳	AH
۲۰۰۲-۲۰۰۰	°۵۱.۱۷'	°۲۱.۰۲'	۱۰	BO
۱۹۹۶-۱۹۹۴	°۴۹.۳۶'	°۳۷.۱۵'	-۷	RA
۱۹۹۷-۱۹۹۶	°۵۴.۲۰'	°۳۶.۵۴'	۱۴	GOR
۱۹۹۷-۱۹۹۵	°۴۷.۰۱'	°۳۵.۱۶'	۱۳۷۰	SA
۱۹۹۷-۱۹۹۵	°۴۹.۴۶'	°۳۴.۰۶'	۱۷۰.۸	AR
۱۹۹۷-۱۹۹۶	°۵۴.۱۷'	°۳۱.۵۴'	۱۲۳۷	YA
۱۹۹۸-۱۹۹۷	°۵۶.۵۸'	°۳۰.۱۵'	۱۷۵۴	RAF

روش‌های تجربی برآورد تبخیر تعرق

از این معادلات سرعت باد و رطوبت نسبی نقشی ندارد. این روش - ها معمولاً در اقلیم‌های خشک نتایج مناسبی از خود نشان نمی- دهند اما در سرزمین‌هایی با اقلیم مرطوب عملکرد مناسبی دارند (Allen, 1998). در این تحقیق ۹ مورد از این دسته از معادلات که امکان دستیابی به داده‌های هواشناسی آن‌ها وجود داشته است، ارائه شده‌اند.

روش‌های تخمین تبخیر تعرق براساس پارامترهایی که در برآورد تبخیر تعرق تاثیرگذارند به چهار دسته کلی تقسیم می‌شوند.

روش تشعشعی

روش‌های تشعشعی بر مبنای اجزای بیلان انرژی بوده و در بسیاری

جدول ۴- معادلات گروه تشعشعی

Equations	reference	Abb	Formula	Parameters
Jensen Haise (1963)	Jensen Haise (1963)	JH	$\lambda \times ET_0 = C_T (T - T_x) R_s$	$C_1 = 38 - \left(\frac{2H}{305}\right), C_2 = 7.3^\circ C$ $C_H = \frac{5}{(e_2 - e_1)}, T_x = -2.5 - 1.4(e_2 - e_1) - \frac{H}{550}$ $C_T = 0.025$
Makkink (1957)	Makkink (1957)	MK	$\lambda \times ET_0 = 0.63 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_s$	$\lambda, \Delta, \gamma, R_s$
Priestley_Taylor (1972)	Priestley_Taylor (1972)	PT	$ET_0 = \alpha \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$	$\gamma, G, R_n, \Delta$ $\alpha = 1.26$
FAO, 24_Radiation (1977)	FAO, 24_Radiation (1977)	FR	$ET_0 = b \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_s}{\lambda - 0.3}$	$\lambda, \Delta, \gamma, R_s$ $b = 1.066 - 0.0013RH + 0.045U_d - 0.0011U_d^2$ $U_d = 0.315 \times 10^{-4} \times RH^2 - 0.0011U_d^2$
De Bruin-Keijman (1979)	De Bruin-Keijman (1979)	DK	$\lambda \times ET_0 = \frac{\Delta}{0.85\Delta + 0.63\gamma} (R_n - G)$	$\gamma, G, R_n, \Delta$
Makkink_Hansen (1984)	Hansen (1984)	MH	$ET_0 = 0.7 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{\lambda}$	$\lambda, \Delta, \gamma, R_s$
Makkink_Allen (2003)	Allen (2003)	MA	$ET_0 = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_s}{\lambda} - 0.12$	$\lambda, \Delta, \gamma, R_s$
Valiantzas (2013a)	Valiantzas (2013a)	VALa	$ET_0 = 0.00668R_a \left( (T_{mean} + 9.5) \times (T_{max} - T_{min}) \right)^{0.5} - 0.0696 \times (T_{max} - T_{min}) - 0.024(T_{mean} + 20) \times \left( 1 - \frac{RH}{100} \right) - 0.00455R_a \times (T_{max} - T_{dew})^{0.5} + 0.0984(T_{max} + 17) \left( 1.03 + 0.00055 \times (T_{max} - T_{min})^2 - \frac{RH}{100} \right)$	$T_{dew} = \frac{116.91 + 237.3 \ln(e_a)}{16.78 - \ln(e_a)}$
Valiantzas (2013b)	Valiantzas (2013b)	VALb	$ET_0 = 0.051 \times (1 - \alpha) \times R_s \times (T_{mean} + 9.5)^{0.5} - 2.4 \times \left( \frac{SR}{R_a} \right)^2 + 0.048(T_{mean} + \frac{RH}{100})(0.5 + 0.536u_2) + 0.00012 \times H$	$a = 0.25$

ET<sub>0</sub>: تبخیر تعرق مرجع ( $\frac{mm}{day}$ );  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار در برابر دما ( $KPa \ C^{-1}$ );  $R_n$ : تابش خالص ( $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ );  $G$ : شار گرمای خاک ( $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ );  $\lambda$ : گرمای نهان تبخیر ( $20^\circ C$  در  $2.45 \ MJ \ kg^{-1}$ );  $R_s$ : تابش خورشیدی ( $MJ \ Kg^{-1}$ );  $T_n$  و  $T_x$ : بیشینه و کمینه دمای هوا ( $^\circ C$ );  $Z$ : ارتفاع ایستگاه (m);  $e_1 - e_2$ : فشار بخار اشباع در دمای  $T_x$  و  $T_n$  ( $KPa$ );  $\gamma$ : ثابت سایکرومتری ( $\frac{KPa}{K}$ );  $T$ : متوسط دمای هوا ( $^\circ C$ );  $U_d$ : سرعت باد در روز (m/s);  $RH$ : متوسط رطوبت نسبی (%).

روش دمایی

این روش‌ها یکی از پرستفاده‌ترین روش‌های برآورد تبخیرتعرق است. در این تحقیق ۹ مورد از این دسته از معادلات ارائه شده‌اند.

در این معادلات دمای هوای به‌عنوان پارامتر اصلی در برآورد ET<sub>0</sub> معرفی می‌شود. با توجه به سهولت دستیابی به داده‌های دمایی،

جدول ۵- معادلات گروه دمایی

Equations	reference	Abb	Formula	Parameters
Blaney-Criddle (1950)	Blaney-Criddle (1950)	BC	$ET_0 = k \times p \times (0.46T_a + 8.13)$	$T_a, p, k,$
Blaney-Criddle (FAO 24) (1950)	Blaney-Criddle (FAO 24) (1950)	FAO_24	$ET_0 = a + b \times p \times (0.46T + 8.13)$	$a = 0.0043RH_n - \frac{n}{N} - 1.41$ $p = \frac{N_j}{\sum_{i=1}^{365} N_i} \times 100 \times b$ $= 0.82 - 0.0041RH_n$ $+ 1.07 \frac{n}{N} + 0.066U_d$ $- 0.006RH_n \times \frac{n}{N}$ $- 0.0006RH_n \times U_d$
Turc (1961)	Turc (1961)	TU	$\lambda \times ET_0 = a_T 0.013 \frac{T}{T + 15} (23.8856R_s + 50)$	$a_T = \begin{cases} 1 & \text{if } RH \geq 50\% \\ 1 + \frac{50 - RH}{70} & \text{if } RH < 50\% \end{cases}$
Hargreaves-Samani (1985)	Hargreaves-Samani (1985)	HS	$ET_0 = C \times R_a \times (T + a) \times (T_x - T_n)^m$	$T_{mean}, T_x, T_n, C=0.0023, a=17.8, m=0.5$
Mc Cloud (1995)	Mc Cloud (1995)	ML	$ET_0 = 0.254 \times 1.07^{1.8T}$	T
Trajkovic (2007)	Trajkovic (2007)	TJ	$ET_0 = 0.0023R_a(T + 17.8)(T_x - T_n)^{0.424}$	$T_x, T_n, R_a$
Ravazzani et al. (2012)	Ravazzani et al. (2012)	RV	$ET_0 = (0.817 + 0.00022z)0.0023R_a(R_a + 17.8)(T_x - T_n)^{0.5}$	$T_x, T_n, R_a$
Hargreaves-Berti (2014)	Hargreaves-Berti (2014)	HB	$ET_0 = 0.00193R_a(T + 17.8)(T_x - T_n)^{0.517}$	$T_x, T_n, R_a$
Hamon (1961)	Hamon (1961)	Ha	$ET_0 = 0.55 \left(\frac{N}{12}\right)^2 \frac{\rho_v^*}{100} \times 25.4$	$\rho_v^* = \frac{0.622e_s}{R_d \times T}$ و $e_s = 6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right]$

R<sub>a</sub>: تابش فراوجی (MJm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>), T<sub>mean</sub>: میانگین دمای هوا (درجه سانتیگراد), T<sub>min</sub>, T<sub>max</sub>: به ترتیب حداکثر و حداقل دمای هوا (درجه سانتیگراد), R<sub>d</sub>: ثابت گازها برای هوای خشک (287.058 J Kg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>), e<sub>s</sub>: فشار بخار اشباع (kPa), N: ساعت آفتابی تئوریک (ساعت), RH<sub>n</sub>: رطوبت نسبی حداقل (%), H: ارتفاع (m), n: ساعت واقعی آفتاب (ساعت), e<sub>a</sub> و e<sub>s</sub>: فشار بخار اشباع و واقعی (kPa), p: درصد ساعت روشنایی هر روز از سال, k: ضریب کاهش ماهانه که به نوع گیاه، موقعیت، فصل سال و فصل رشد (ضریب کالیبراسیون محسوب می‌شود) بستگی دارد.

در روش ترکیبی استفاده می‌شوند به شرح زیر هستند.

شاخص‌های آماری

با هدف مقایسه نتایج حاصل از روش‌های تجربی با مقادیر مشاهداتی از لایسیمتر در منطقه مورد مطالعه از آماره‌هایی متداول همچون میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین جذر مربعات خطا (RMSE) خطای استاندارد (SE)، خطای اریب میانگین (MBE) و r ضریب همبستگی استفاده شده است. علاوه بر این موارد و با هدف بررسی یکسان بودن و هم‌قوارگی برآوردهای به‌دست آمده روش‌های تجربی از آزمون T-Test استفاده شد.

روش رطوبتی

روش‌های رطوبتی و یا روش‌های انتقال جرم بیشتر در مناطقی با آب و هوای مرطوب عملکرد مناسبی را از خود نشان می‌دهند. در اجرای معادلات روش‌های رطوبتی، کمبود فشار بخار آب، سرعت باد و دما سه داده اصلی هواشناسی هستند. در این تحقیق ۱۰ مورد از این دسته از معادلات ارائه شده‌اند.

روش ترکیبی

در سال ۱۹۴۸ پنمن از ترکیب روش‌های آیرودینامیک و توازن انرژی روشی را برای محاسبه تبخیرتعرق ارائه نمود که به روش ترکیبی پنمن معروف شد (Penman., 1948). در عمل معادلاتی که



که در آن‌ها، RMSE جذر خطای میانگین مربعات (mm/day)، MAE میانگین خطای مطلق (mm/day)، MBE میانگین خطای اریب میانگین (mm/day)،  $r$  ضریب همبستگی (-)، SE: خطای استاندارد (mm/day)، مقادیر Esi، Eoi و  $\bar{E}$  به ترتیب تبخیر تعرق تخمین زده شده با معادلات، تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده از لایسیمتر و مقدار میانگین هر یک از مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده می‌باشد. واحد آن‌ها میلی‌متر بر روز است و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Esi - Eoi)^2}{n-1}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$SE = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Esi - Eoi)^2}{n-1} \right)^{0.5} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (Esi - Eoi)}{n} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Eoi - \bar{Eo}) (Esi - \bar{Es})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Eoi - \bar{Eo})^2 \sum_{i=1}^n (Esi - \bar{Es})^2}} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

جدول ۶- معادلات گروه رطوبتی

Equations	reference	Abb	Formula	Parameters
Dalton (1802)	Dalton (1802)	Da	$ET_0 = 0.44(1 + 0.27u_2)(e_s - e_a)$	$e_s, e_a, u_2$
Trabert (1896)	Trabert (1896)	Tr	$ET_0 = 0.408 \times 0.3075 \times \sqrt{u_2} \times (e_s - e_a)$	$e_s, e_a, u_2$
Penman (1948)	Penman (1948)	Pe-48	$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{C_p \times \rho_a \times VPD}{r_a}}{\Delta + \gamma}$	$r_a = \frac{\left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_h \right] \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_m \right]}{k^2 u}$ $z_0 = 0.13h_c$
Albrecht (1950)	Albrecht (1950)	Al	$ET_0 = (0.1005 + 0.297u_2)(e_s - e_a)$	$e_s, e_a, u_2$
Romanenko (1961)	Romanenko (1961)	RO	$ET_0 = 0.0018(100 - RH)(T + 25)^2$	T, RH
Schendel (1967)	Schendel (1967)	ES	$ET_0 = 16 \frac{T}{RH}$	T, RH
Penman (1963)	Penman (1963)	Pe_68	$ET_0 = 0.35 \times (1 + 0.24u_2)(e_s - e_a)$	$e_s, e_a, u_2$
Mahringer (1970)	Mahringer (1970)	Ma	$ET_0 = 0.15072 \times \sqrt{3.6u_2}(e_s - e_a)$	$e_s, e_a, u_2$
Shuttleworth (1993)	Shuttleworth (1993)	SW	$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 6.43(1 + 0.536u_2)VPD$	$u_2, \gamma, G, R_n, \Delta$
Oudin_Romanenko (2005)	Oudin (2005)	OR	$ET_0 = 4.5 \left[ 1 + \left( \frac{T}{25} \right)^2 \right] \left( 1 - \frac{e_s}{e_a} \right)$	$e_s, e_a, T$

$e_s$ : فشار بخار اشباع (KPa)،  $e_a$ : فشار بخار واقعی (KPa)،  $C_p$ : گرمای ویژه هوای خشک در فشار ثابت ( $J \text{ Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )،  $\rho_a$ : چگالی هوا ( $\text{Kg m}^{-3}$ )، VPD: کمبود فشار بخار (KPa)،  $r_a$ : مقاومت آیرودینامیک ( $\frac{S}{m}$ )،  $z$ : ارتفاع مبنا (m)،  $z_0$ : طول زبری گیاه در برابر انتقال مومنوم (m)،  $k$ : ثابت فون کارمن ( $0.41$ )،  $\psi_h$ : تابع اصلاح پایداری برای انتقال گرما و آب،  $\psi_m$ : تابع اصلاح انتقال مومنوم،  $u$ : سرعت باد در ارتفاع مبنا ( $\frac{m}{s}$ )،  $h_c$ : میانگین ارتفاع گیاه (m).

جدول ۷- معادلات گروه ترکیبی

Equations	ref	Abb	Formula	Parameters
Penman_Monteith_FAO (FAO 56)	(Allen et al., 1998)	PMF	$ET_0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} \times u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times u_2)}$	$u_2 = u_{10} \times \frac{4.87}{\ln(67.8 \times z - 5.42)}$ $R_s = \left( a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a$ $a_s = 0.25$ $b_s = 0.5$
Penman_FAO 24	(Liu et al., 2017)	PF_24	$\lambda \times ET_0 = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + 2.7 \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} (1 + 0.864u_2)(e_s - e_a) \right]$	$c = 1$
Penman_FAO-PPP17	(Liu et al., 2017)	PF17	$\lambda \times ET_0 = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + 6.43 \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} (a_w + b_w u_2)(e_s - e_a) \right] - G$	$a_w = 1$ $b_w = \begin{cases} 0.54 & \text{if } \Delta T < 12^\circ\text{C} \\ 0.54 + 0.35 \frac{(\Delta T - 12)}{4} & \text{if } \Delta T \geq 12^\circ\text{C} \end{cases}$
Penman_Kimberly (1996)	(Liu et al., 2017)	PK	$\lambda \times ET_0 = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + 6.43 \frac{\gamma}{\gamma + \Delta} (a_w + b_w u_2)(e_s - e_a) \right]$	$a_w = 0.3 + 0.58 \exp\left(-\left(\frac{l-170}{45}\right)^2\right)$ $b_w = 0.32 + 0.54 \exp\left(-\left(\frac{l-228}{67}\right)^2\right)$
Penman_Monteith (ASCE_70)	Penman_Monteith (ASCE_70)	ASCE	$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \frac{\gamma \times C_n \times u_2}{(T + 273)} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d \times u_2)}$	$e_s, e_a$ $\gamma, C_n, u_2$ $\Delta, \gamma, C_d$

## نتایج و بحث

## داده‌های لایسیمتری

در بررسی‌های لایسیمتر استان قزوین (QA)، میانگین تبخیر تعرق سالانه چمن ۱۲۵۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. بیش‌ترین تبخیر تعرق در ماه مرداد و کمترین آن در ماه دی مشاهده شده است که به ترتیب مقادیر ۲۶۴/۸ میلی‌متر و ۷/۴۷ میلی‌متر را به خود اختصاص داده است. میانگین بارش ۳۱۴/۷ میلی‌متر است که تقریباً ۲۵/۱۷ درصد از تبخیر تعرق گیاه مرجع را در برمی‌گیرد. از کل بارشی که در منطقه باریده است حدود ۷۰/۵ درصد آن در فصل غیر رویشی گیاه اتفاق افتاده است و در خلال دوره رویش فعال حدود ۲۹/۵ درصد آب مورد نیاز از طریق بارش تامین شده است. در لایسیمتر ارومیه (UR) واقع در استان آذربایجان غربی سویا کشت شده است. میانگین تبخیر تعرق در طول سه سال مورد بررسی در مرحله اولیه رشد این گیاه به ترتیب ۹۵/۴، ۹۲/۷ و ۹۵/۴ میلی‌متر بوده است و در مراحل بعدی (مرحله توسعه رشد) به دلیل افزایش رشد گیاه میزان تبخیر تعرق افزایش پیدا کرده و در مرحله پایان گلدهی و غلاف‌بندی سویا میزان تبخیر تعرق به حداکثر مقدار خود رسیده که به ترتیب ۶۳۰، ۶۴۴، ۶۲۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. در مرحله پایان فصل رشد آب مصرفی نسبت به مراحل قبل با کاهش چشمگیری همراه بوده است. اهواز (AH) در استان خوزستان از نظر شرایط اقلیمی جزو مناطق نیمه-خشک تا خشک بوده است و در خلال سال‌های مورد بررسی به دلیل افزایش دما میزان تبخیر تعرق با روند افزایشی همراه بوده است (به ترتیب ۵۹۹، ۲۳۷۱، ۲۴۲۴/۵، ۲۴۹۶/۸ میلی‌متر). در شهر بوشهر (BU) واقع در استان بوشهر متوسط سه‌ساله تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع (چمن) ۲۰۷۲/۸ میلی‌متر تعیین شد. از آنجا که در آغاز فصل کشت سطح خاک بدون پوشش گیاهی است مقدار تبخیر تعرق اندک و لذا کل آب تلف شده از راه تبخیر از سطح خاک می‌باشد و عوامل اقلیمی نظیر دمای هوا، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و میزان تابش خورشیدی اهمیت به‌سزایی در این مرحله خواهد داشت. در ماه تیر زمانی که گیاه به بلوغ و رشد کامل رسیده است علاوه بر عوامل اقلیمی، عوامل گیاهی از قبیل نوع گیاه، مرحله رشد، شکل ظاهری برگ و پتانسیل آب در درون برگ نیز در میزان تبخیر تعرق اثرگذار خواهد بود و در این مرحله با افزایش نمایه سطح برگ، نیاز آبی افزایش خواهد یافته و سهم تعرق در تبخیر تعرق بر تبخیر پیشی گرفته است. در بررسی لایسیمتر

ایستگاه رشت (RA) واقع در استان گیلان در سال‌های اول و دوم بررسی، به دلیل مشکل نفوذ آب به داخل لایسیمترها برآورد دقیقی صورت نگرفته است. اما در سال سوم روند اندازه‌گیری مطلوبی صورت گرفته است. با توجه به وابستگی میزان تبخیر تعرق به پارامترهای هواشناسی، زمانی که رطوبت نسبی هوا کم بوده و یا وقتی که تششع خورشیدی بالا و ابر کمتری در آسمان وجود داشته مقدار تبخیر تعرق با افزایش همراه بوده است. در اواسط تیر تا اواخر مرداد به دلیل بالا بودن درجه حرارت و کم بودن رطوبت نسبی هوا و نیز بالا بودن فعالیت رشدی گیاه میزان تبخیر تعرق به حداکثر مقدار (۷/۰۶ میلی‌متر بر روز) خود رسیده است. در ایستگاه گرگان (GOR) واقع در استان گلستان در طی سال‌های مورد بررسی میانگین بارش ۷۰۰-۵۰۰ میلی‌متر بوده و تعداد ماه‌های خشک ۴-۵ ماه می‌باشد. گرچه در این منطقه محصولات زیادی با بارندگی طبیعی رشد می‌کنند ولی در بهار و تابستان غالباً آب باران کافی نبوده و توزیع مناسبی ندارد. طبق نتایج به‌دست آمده، تبخیر در سال ۱۳۷۵ به دلیل افزایش درجه حرارت روزانه بیشتر از سال ۱۳۷۶ و بارندگی کمتر از سال ۱۳۷۶ بوده است. در ایستگاه سنندج (SA) واقع در استان کردستان در سال اول بررسی به دلیل توزیع مناسب بارندگی میزان آب مصرفی در مقایسه با سال‌های دوم و سوم کمتر بوده است. به دلیل فرارفت در منطقه، میزان تبخیر تعرق به‌دست آمده با ۲۰٪ کاهش تعدیل شده است. میانگین تبخیر تعرق در ایستگاه اراک (AR) واقع در استان مرکزی به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری شده است. میانگین ماهانه تبخیر تعرق در سال ۱۳۷۶ بیشتر از سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۴ بوده است که علت آن کاهش بارندگی و افزایش روند دمایی در سال ۱۳۷۶ می‌تواند باشد. یزد (YA) واقع در استان یزد دارای اقلیم خشک و کویری و بارندگی بسیار اندک است لذا در ماه‌های گرم سال هیچ بارشی وجود ندارد. بنابراین در فصل تابستان و اواخر بهار بیشترین میزان تبخیر تعرق مشاهده می‌شود. در برآوردهای به‌دست آمده از لایسیمتر ایستگاه رفسنجان (RAF) واقع در استان کرمان میزان تبخیر تعرق به‌دست آمده در سال ۱۳۷۶ به‌طور محسوسی کمتر از سال ۱۳۷۷ بوده که این تغییر به دلیل اثر واحه‌ای (انتقال افقی هوای گرم) در منطقه می‌باشد. در این سال به دلیل ناکافی بودن چمن‌کاری اطراف لایسیمتر از میزان تبخیر تعرق کاسته شده است. نتایج مقایسه برآوردهای به‌دست آمده از روش‌های تجربی بانایج مشاهداتی لایسیمتر در جدول (۸) آورده شده است.

جدول ۸- مقایسه تبخیر تعرق به دست آمده بر اساس مدل‌های تجربی و لایسیتر به تفکیک استان‌های مورد بررسی

Estimation	Qazvin						West Azerbaijan_Urmia				
	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/day)	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/day)
Radiation based	Pristley_taylor (1972)	۱/۷۱e-۱۲	۴/۲۳	۰/۹۲	۳/۲۹	۱/۱۹	۱/۴۹e-۱۵	۴/۵۲	۰/۸۷	۴/۰۵	۰/۸۷
	De Bruin-Keijman	۳/۱e-۰۵	۲/۷۳	۰/۸۷	۱/۸۷	۱/۸۲	۴/۸۵e-۱۶	۴/۶۵	۰/۷۲	۴/۱۶	۱/۸۲
	Makkink (1957)	۰/۰۴	۱/۳۳	۰/۹۶	۰/۳۸	۰/۶	۰/۰۳	۱/۱۵	۰/۹۶	۰/۳۹	۰/۶۱
	JensenHaise (1963)	۰/۰۲	۱/۴۶	۰/۹۶	-۰/۷۲	۰/۵۳	۴/۸۵e-۱۶	۴/۶۵	۰/۷۲	۴/۱۶	۱/۸۲
	FAO, 24_Radiation	۵/۴۷e-۰۶	۳/۴	۰/۹۵	-۳/۱۸	۰/۶۳	۴/۳e-۱۶	۴/۶۶	۰/۷	۴/۱۸	۱/۹۶
	Valintzas (2013)a	۰/۰۰۵	۱/۹۶	۰/۹۵	۱/۲۸	۰/۷۲	۱/۱۳e-۰۵	۲/۳۹	۰/۷۹	۱/۸۵	۱/۴۱
	Makkink_Hensen (1984)	۰/۰۰۹	۱/۱۳	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۶	۰/۰۰۰۹	۱	۰/۹۶	-۰/۰۳	۰/۶۱
Mass Transfer based	Makkink_Allen (2003)	۰/۰۰۲	۱/۴۵	۰/۹۶	۰/۶	۰/۶	۰/۰۱۲	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۶۳	۰/۶۱
	Dalton (1802)	۱/۶۶e-۱۰	۱/۰/۳	۰/۹۲	۸/۷۶	۷/۲۸	۱/۱۳e-۱۳	۴/۰۶	۰/۷۲	۳/۶۱	۱/۸۰
	Shuttel_worth (1993)	۶/۳e-۰۶	۲/۸	۰/۹۲	۲/۰۵	۱/۱۹	۰/۰۶۶	۱/۳۸	۰/۹	۰/۷۶	۰/۷۲
	Trabert (1896)	۷/۰۳e-۱۰	۳/۶۱	۰/۸۹	-۲/۸۴	۲/۴۰	۹/۹۸e-۱۶	۴/۵۶	۰/۷۴	۴/۰۹	۱/۶۹
	Mahringer (1970)	۷/۲۲e-۱۱	۳/۷۶	۰/۹۴	-۲/۹۷	۲/۴۳	۱/۳۳e-۱۴	۴/۲۹	۰/۷۴	۳/۸۲	۱/۶۹
	Penman (1968)	۲/۶۷e-۰۵	۳/۲۱	۰/۲۵	-۱/۸۷	۲/۲۳	۵/۸۱e-۱۴	۴/۱۵	۰/۷۲	۳/۶۸	۱/۸۱
	Alberchet (1950)	۰/۰۳	۱/۴۶	۰/۸۷	۱/۱۵	۰/۷۸	۳/۲۳e-۱۳	۳/۹۷	۰/۷۴	۰/۷۷	۱/۵۴
Temperature based	Eskandel (1967)	۰/۰۰۱	۲/۴۷	۰/۹۳	-۱/۸۱	۱/۰۵۶	۰/۰۰۶	۲/۱۴	۰/۶۸	-۱/۴۶	۲/۰۶
	Romanenko (1961)	۱/۵۷e-۰۵	۲/۷	۰/۹	-۱/۹	۲/۲	۱/۷۴e-۲۴	۱۷۴/۳۲	۰/۶۷	۱۶/۷۵ -۴	۲/۰۸
	Oudin_Romanenko (2005)	۱/۶۶e-۰۵	۲/۶۴	۰/۸۷	-۱/۹۱	۲/۲۹	۰/۰۰۲	۱/۵۸	۰/۶۲	-۰/۴۸	۲/۳۵
	Hargrives_Samani (1985)	۰/۰۳۵	۱	۰/۹۷	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۰۴	۱/۳۱	۰/۸۹	۰/۸	۰/۷۶
	Blaney-Criddle (1950)	۲/۷e-۱۰	۳/۶۲	۰/۹۶	۲/۲۷	۰/۵۳	۱/۳۲e-۱۰	۳/۴۱	۰/۸۷	۲/۹۱	۰/۸۸
	Turk	۰/۰۳	۲/۰۷	۰/۹۶	۱/۹۳	۰/۶	۱/۷۱e-۱۵	۴/۷۸	۰/۷۲	۴/۳۶	۲
	Hamoon	۶/۵۹e-۱۱	۴/۰۹	۰/۰۲	۲/۹۹	۸/۱۴	۷/۶۶e-۱۵	۴/۳۶	۰/۸۵	۳/۸۷	۱/۰۳
combination-based	Mc cloud	۰/۰۴	۱/۵۴	۰/۹۲	۱/۰۴	۱/۱۹	۰/۰۰۰۵	۲/۱۶	۰/۷۲	۱/۶۵	۱/۸۹
	Blaney-Criddle (FAO 24)	۰/۰۱۹	۱/۱۴	۰/۹۶	-۰/۷۸	۰/۶	۰/۰۰۹	۱/۴۴	۰/۸۴	۰/۸	۱/۰۹
	Trajkovic (2007)	۰/۰۲	۱/۷۵	۰/۹۷	۱/۰۲	۰/۴۴	۰/۰۰۰۵	۱/۹۶	۰/۸۹	۱/۴۴	۰/۷۳
	Ravazzani etal. (2012)	۰/۰۰۰۷	۲/۴۰	۰/۹۴	۱/۴۹	۰/۸۷	۲/۴۵e-۰۶	۲/۵۲	۰/۸۶	۱/۹۸	۰/۹۶
	Hargrives_Berti (2014)	۰/۰۰۸	۱/۵۱	۰/۹۷	۰/۸۱	۰/۴۴	۰/۰۰۲	۱/۸۲	۰/۸۸	۱/۲۷	۰/۸۵
	Penman_montith_FAO (FAO 56)	۰/۰۲	۱/۲۱	۰/۹۶	-۰/۷۱	۰/۵	۰/۰۳	۱/۱۱	۰/۹	-۰/۴۲	۰/۶۹
	Penman_FAO 24	۰/۰۰۹	۱/۳۷	۰/۹۲	۰/۰۵۶	۱/۱۰	۰/۰۴	۱/۱۴	۰/۸۹	۰/۳۴	۰/۷۳
Radiation based	Peman_FAO-PPP17	۶/۰۶e-۰۶	۴/۱۰	۰/۹۵	-۳/۶۲	۰/۷۱	۷/۵e-۰۶	۳/۰۷	۰/۹	-۲/۸۷	۰/۷۲
	Penman_Kimberly (1996)	۰/۰۱۹	۱/۶۷	۰/۹۳	-۱/۱	۱/۱	۰/۰۲	۰/۹۶	۰/۹۱	-۰/۵۵	۰/۵۱
	Penman_Montith(ASCE_70)	۶/۲e-۰۵	۲/۵۶	۰/۹۲	۱/۸۳	۱/۱۹	۶/۲۶e-۰۷	۲/۷۶	۰/۸۹	-۲/۵۶	۰/۷۵
	Penman (1963)	۰/۰۰۲	۱/۹۲	۰/۹۳	-۱/۵۴	۱/۷۰	۰/۰۱	۱/۴۸	۰/۹	-۱/۰۹	۰/۶۶
Estimation	Khozestan_Ahvaz						Boushehr_Boushehr				
	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/day)	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/day)
Radiation based	Pristley_taylor (1972)	۲/۳۷e-۱۴	۶/۹۹	۰/۹۶	۵/۸۶	۱/۱۳	۳/۵۲e-۲۲	۵/۸۵	۰/۹۶	۵/۴۳	۰/۴۴
	De Bruin-Keijman	۱/۳۹e-۱۰	۵/۷۱	۰/۹۳	۴/۷۳	۲/۰۹	۶/۶۶e-۱۵	۴/۳۰	۰/۹۴	۴/۰۱	۰/۵۹
	Makkink (1957)	۰/۰۰۰۵	۳/۵۴	۰/۹۱	۲/۴۳	۲/۵۰	۰/۰۰۰۱	۲/۰۸	۰/۹۵	۱/۷۹	۰/۵۴
	JensenHaise (1963)	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۸۹	۰/۴۸	۳/۲۴	۰/۰۰۷	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۱۶	۰/۸۸
	FAO, 24_Radiation	۰/۰۴	۲/۲۹	۰/۹۲	-۱/۷۰	۲/۳۳	۰/۰۰۰۱	۲/۶۴	۰/۹۶	-۲/۴۵	۰/۴۶
	Valintzas (2013)a	۲/۶۶e-۰۵	۳/۸۱	۰/۸۷	۲/۹۷	۳/۵۲	۹/۱۱e-۱۳	۳/۸۶	۰/۹۴	۳/۵۳	۰/۵۹
	Makkink_Hensen (1984)	۲/۲۷e-۱۳	۶/۲۹	۰/۸۵	۵/۳۳	۴/۲۶	۰/۰۰۴	۱/۶۹	۰/۹۵	۱/۴۰	۰/۶۵

Mass Transfer based	Makkink_Allen (2003)	۳/۸۲e-۱۴	۶/۵۱	۰/۸۵	۵/۵۶	۴/۴۱	۲/۰۴e-۰۵	۲/۳۴	۰/۹۵	۲/۰۹	۰/۶۵
	Dalton (1802)	۰/۰۰۷۳	۱/۶۸	۰/۹۳	۰/۲۵	۲/۰۷	۷/۱۱e-۲۳	۶/۰۳	۰/۹۲	۵/۵۹	۰/۸۹
	Shuttle_worth(1993)	۰/۰۰۲	۲/۸۱	۰/۹۵	۲/۲۰	۳/۳۵	۶/۵۵e-۰۷	۲/۶۹	۰/۹۴	۲/۴۸	۰/۵۹
	Trabert (1896)	۱/۷۸e-۱۴	۶/۵۹	۰/۸۹	۵/۶۶	۳/۳۸	۶/۲۶e-۲۲	۵/۷۹	۰/۹۱	۵/۳۷	۰/۹۳
	Mahringer (1970)	۳/۳۴e-۱۲	۵/۸۸	۰/۸۹	۵/۰۶	۳/۳۸	۲/۱۳e-۲۰	۵/۴۳	۰/۹۱	۵/۰۵	۰/۹۳
	Penman(1968)	۳/۵۷e-۱۱	۵/۵۸	۰/۸۸	۴/۷۹	۳/۳۲	۱/۲۲e-۱۹	۵/۲۶	۰/۹۲	۴/۹۰	۰/۸۳
	Alberchet (1950)	۱/۹۷e-۰۸	۴/۷۶	۰/۸۸	۴/۱۴	۳/۴۰	۱e-۱۷	۴/۹۰	۰/۸۷	۴/۵۸	۱/۳۵
	Eskandel (1967)	۰/۰۰۲	۶/۹۷	۰/۸۶	-۵/۱۶	۳/۸۴	۰/۰۱	۱/۲۰	۰/۹۱	-۰/۷۵	۰/۹۳
Romanenko (1961)	۴/۵۶e-۱۶	۴/۲۳	۰/۸۵	-۲/۹۸	۴/۰۵	۰/۰۰۲	۱/۴۳	۰/۹۰	۰/۷۴	۱/۰۲	
Oudin_Romanenko (2005)	۰/۰۰۶	۲/۲۴	۰/۸۲	-۰/۳۳	۵/۰۲	۰/۰۴	۱/۷۴	۰/۷۸	۰/۹۰	۲/۱۵	
Temperature based	Hargrives_Samani (1985)	۰/۰۰۱	۱/۰۸	۰/۹۳	۲/۲۶	۲/۱۴	۰/۰۵	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۲۳	۰/۷۹
	Blaney-Criddle (1950)	۷/۵۲e-۱۱	۵/۶۴	۰/۹۲	۴/۵۶	۲/۵۶	۹/۰۴e-۱۶	۴/۴۷	۰/۹۲	۴/۰۴	۰/۸۲
	Turk	۵/۳۸e-۰۶	۴/۳۰	۰/۹۱	۳/۲۰	۲/۶۴	۳/۳۷e-۰۸	۲/۹۴	۰/۹۵	۲/۶۲	۰/۵۶
	Hamoon	۱/۰۳e-۱۴	۶/۷۳	۰/۹۷	۵/۹۹	۰/۹۷	۲/۹۶e-۲۱	۵/۶۴	۰/۹۴	۵/۲۱	۰/۶۱
	Mc cloud	۰/۰۴	۶/۳۳۳	۰/۸۳	-۲/۹۹	۴/۷۹	۰/۰۴	۴/۱۳	۰/۹۷	-۱/۹۵	۱/۹۶
	Blaney-Criddle (FAO 24)	۰/۰۰۷	۱/۸۷	۰/۸۸	-۰/۲۴	۳/۴۲	۱/۳۸e-۰۶	۲/۵۸	۰/۸۰	۲/۲۹	۰/۴۸
	Trajkovic (2007)	۱/۸۸e-۰۵	۳/۸۱	۰/۹۳	۲/۹۷	۱/۹۶	۳/۷۵e-۰۹	۳/۱۳	۰/۹۶	۲/۸۲	۰/۴۵
	Ravazzani <i>et al.</i> (2012)	۲/۳۶e-۰۹	۵/۱۱	۰/۹۶	۴/۱۵	۱/۳۱	۹/۲۷e-۱۵	۴/۲۵	۰/۹۷	۳/۸۶	۰/۳۷
Hargrives_Berti (2014)	۹/۵۹e-۰۵	۳/۵۴	۰/۹۳	۲/۷۳	۲/۰۶	۱/۳۵e-۰۸	۳/۰۲	۰/۹۵	۲/۷۲	۰/۴۹	
combination-based	Penman_monthith_FAO (FAO 56)	۰/۰۰۶	۱/۸۱	۰/۹۳	۰/۳۶	۲/۱۹	۰/۰۳	۱/۳۳	۰/۸۵	-۰/۴۹	۱/۵۴
	Penman_FAO 24	۰/۰۰۷	۲/۹۱	۰/۹۶	۱/۹۲	۱/۲۸	۰/۰۲	۱/۵۲	۰/۹۲	۱/۱۱	۰/۸۸
	Peman_FAO-PPP17	۳/۰۸e-۰۵	۹/۲۸	۰/۹۰	-۷/۱۰	۳/۰۳	۱/۴۸e-۰۸	۸/۶۳	۰/۸۸	-۷/۳۴	۱/۲۷
	Penman_Kimberly (1996)	۰/۰۰۲	۱/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۵	۲/۷۴	۰/۰۰۵	۱/۳۹	۰/۸۷	۰/۳۳	۱/۳۲
	Penman_Monthith (ASCE_70)	۰/۰۰۷	۳/۶۲	۰/۹۱	-۳/۱۹	۲/۶۱	۱/۱۹e-۰۷	۴/۴۳	۰/۸۷	-۳/۹۷	۱/۹۱
	Penman (1963)	۰/۰۰۸	۱/۷۸	۰/۹۵	-۰/۱۹	۱/۶۳	۰/۰۴	۱/۴۲	۰/۹۰	-۱/۰۴	۱/۰۱
Estimation	Golestan_Gorgan						Kordestan_Sanandaj				
	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/d ay)	MBE (mm/d ay)	SE (mm/d ay)	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/d ay)
	Pristley_taylor (1972)	۰/۰۰۳	۱/۵۰	۰/۹۳	-۰/۲۰	۱/۲۰	۶/۸۱e-۱۲	۴/۸۱	۰/۸	-۴/۳۴	۰
	De Bruin-Keijman	۶/۴e-۰۶	۳/۷۵	۰/۷۳	۳/۶۵	۰/۹۳	۳/۲۷e-۰۶	۳/۰۳	۰/۶۶	-۲/۵۶	۰/۳۲
	Makkink (1957)	۰/۰۰۲	۲/۲۱	۰/۵۹	۱/۹۸	۱/۳۱	۰/۲۵	۱/۱۸	۰/۹۴	-۰/۵۷	۰/۱۳
	JensenHaise (1963)	۰/۰۶	۱/۵۸	۰/۷۶	۱/۳۳	۰/۸۴	۰/۰۰۳	۰/۹۵	۰/۹۴	-۰/۱۳	۰/۱۶
	FAO, 24_Radiation	۰/۱	۱/۷۶	۰/۶۰	-۱/۲۵	۱/۲۸	۹/۱e-۰۷	۴	۰/۹۵	۳/۸۴	۰/۵۱
	Valintzas (2013)a	۴/۸۱e-۰۶	۳/۵۹	۰/۶۴	۳/۴۳	۱/۱۷	۰/۰۵	۱/۴۴	۰/۸۸	۰/۹۷	۳/۳۹
	Makkink_Hensen (1984)	۰/۰۱	۱/۹۰	۰/۵۹	۱/۶۱	۱/۳۱	۰/۰۱	۲/۷۴	۰/۹۱	۲/۱۷	۱/۸۲
	Makkink_Allen (2003)	۰/۰۰۱	۲/۴۱	۰/۵۹	۲/۲۰	۱/۳۱	۰/۰۳	۱/۵۶	۰/۹۳	-۱/۱۰	۰/۱۴
	Dalton (1802)	۶/۹۱e-۰۸	۴/۸۹	۰/۵۸	۴/۷۵	۱/۳۱	۶/۱e-۱۳	۴/۹۴	۰/۸۹	۴/۴۶	۳/۱۲
	Shuttle_worth (1993)	۰/۲۲	۱/۸۶	۰/۷۳	-۱/۱۵	۰/۹۴	۶/۱۴e-۱۲	۰/۹۹	۰/۹۴	-۰/۴۶	۳/۷۸
	Trabert (1896)	۸/۵۶e-۰۸	۴/۸۱	۰/۷۴	۴/۶۸	۰/۸۹	۵/۱۴e-۱۲	۴/۶۳	۰/۸۸	۴/۱۹	۳/۰۹
	Mahringer (1970)	۲/۸۸e-۰۵	۳/۰۶	۰/۷۳	۲/۸۰	۰/۹۴	۱/۱۲e-۱۰	۴/۱۹	۰/۸۸	۳/۷۸	۳/۰۹
	Penman (1968)	۸/۵۶e-۰۸	۴/۸۱	۰/۷۴	۴/۶۸	۰/۸۹	۷/۴۶e-۱۰	۳/۹۳	۰/۸۹	۳/۵۴	۳/۱۳
	Alberchet (1950)	۰/۰۵	۰/۹۷	۰/۶۶	-۰/۳۳	۰/۹۱	۷/۵۶e-۰۹	۳/۶۶	۰/۸۴	۳/۳۱	۳/۰۴
	Eskandel (1967)	۳/۷۳e-۰۸	۵/۱۲	۰/۶۸	۴/۹۸	۱/۰۸	۶/۱۸e-۰۵	۶/۷۸	۰/۸۵	-۵/۵۵	۳/۰۹
	Romanenko (1961)	۰/۰۶	۱/۵۱	۰/۵۵	۱/۱۰	۱/۳۹	۰/۰۰۱۳	۳/۸۸	۰/۸۶	-۳/۴۰	۳/۳۰
Oudin_Romanenko (2005)	۰/۲۳	۱/۴۹	-۰/۲۳	۰/۶۱	۱/۸۹	۰/۰۰۱۳	۲/۴۰	۰/۸	-۲/۰۳	۳/۵۱	
Hargrives_Samani (1985)	۰/۰۰۲	۲/۱۵	۰/۶۹	۱/۹۴	۱/۰۳	۰/۰۰۶	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۲۱	۳/۴۲	
Blaney-Criddle (1950)	۲/۵۲e-۰۶	۳/۷۳	۰/۷۷	۳/۵۹	۰/۸۰	۸/۳۸e-۰۹	۳/۵۳	۰/۹۶	۳/۰۶	۳/۵۵	
Turk	۰/۰۰۰۱	۲/۸۱	۰/۶۰	۲/۶۳	۱/۲۸	۰/۰۰۱۲	۲/۰۶	۰/۹۵	۱/۶۴	۱/۰۱	

	Hamoon	۵/۸۸e-۰۸	۴/۹۴	۰/۷۷	۴/۸۱	۰/۸۱	۹/۸۴e-۱۲	۴/۵۶	۰/۸۳	۴/۰۸	۳/۵۸
	Mc cloud	۰/۴۳	۱/۸۲	۰/۶۷	-۰/۷۷	۱/۱۱	۰/۱۶	۱/۴۲	۰/۸۷	-۰/۹۱	۲/۸۹
	Blaney-Criddle(FAO 24)	۰/۰۸	۱/۴۸	۰/۵۷	۱/۰۶	۱/۳۵	۰/۰۲	۱/۷۷	۰/۹۳	۱/۵۶	-۰/۶۲
	Trajkovic (2007)	۰/۰۰۲	۲/۶۳	۰/۷۱	۲/۴۶	۰/۹۹	۰/۰۲	۱/۵۱	۰/۹۵	۱/۰۷	۳/۴۳
	Ravazzani <i>et al.</i> (2012)	۴/۱۹e-۰۶	۳/۶۱	۰/۷۱	۳/۴۶	۰/۹۸	۰/۰۰۰۱	۲/۳۶	۰/۸۵	۱/۸۳	۳/۵۶
	Hargrives_Berti (2014)	۰/۰۰۳	۲/۵۵	۰/۶۹	۲/۳۷	۱/۰۵	۰/۱۴	۱/۲۰	۰/۹۵	-۰/۷۲	۳/۴۲
combination-based	Penman_monthly_FAO (FAO 56)	۰/۰۰۲	۲/۳۲	۰/۸۲	۲/۲۲	۰/۶۵	۳/۶۷e-۰۶	۲/۹۲	-۰/۹۰	۲/۱۷	۳/۷۵
	Penman_FAO 24	۰/۰۰۲	۲/۲۳	۰/۷۷	۲/۱۰	۰/۸۰	۰/۲۱	۱/۳۰	۰/۸۵	-۰/۶۳	-۰/۳۷
	Peman_FAO-PPP17	۰/۲۵	۱/۳۹	۰/۸۰	-۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۰۰۰۳	۳/۷۲	۰/۹۱	۳/۲۹	۱/۷۸
	Penman_Kimberly (1996)	۰/۰۴	۱/۸۷	۰/۷۶	۱/۵۹	۰/۸۵	۰/۰۰۵	۰/۷۴	۰/۹۴	-۰/۳۵	-۰/۴۰
	Penman_Montith (ASCE_70)	۰/۰۹	۱/۳۴	۰/۸۵	۱/۱۶	۰/۵۶	۱/۲e-۰۵	۳/۲۰	۰/۸۶	-۲/۹۷	۳/۵۲
	Penman (1963)	۰/۳۴	-۰/۹۷	۰/۷۸	۰/۶	۰/۹۷	۰/۱۱	۱/۳۳	۰/۸۷	-۰/۸۶	-۰/۴۶
	Markazi_Arak					Yazd					
Estimation	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/d ay)	MBE (mm/d ay)	SE (mm/d ay)	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/d ay)
Radiation based	Pristley_taylor (1972)	۳/۸۱e-۳۳	۶/۷۵	۰/۹۱	۶/۳۰	۰/۹۱	۰/۱۶	۲/۴۲	۰/۷۲	-۱/۰۹	۳/۱۰
	De Bruin-Keijman	۱/۵۷e-۲۱	۴/۷۵	۰/۸۳	۴/۳۲	۱/۶۵	۳/۷۲e-۱۳	۴/۵۶	۰/۸۹	۴/۲۸	۱/۳۱
	Makkink (1967)	۴/۸۸e-۰۹	۲/۸۹	۰/۸۱	۲/۳۵	۱/۹۱	۰/۰۰۰۷	۲/۴۱	۰/۸۱	۱/۷۵	۲/۲۴
	JensenHaise (1963)	۰/۷۶	۲/۳۶	۰/۶۷	-۰/۱۷	۲/۹۸	۰/۰۰۰۲	۱/۱۳	۰/۸۲	۱/۹۱	۲/۱۴
	FAO, 24_Radiation	۱/۶۲e-۰۵	۲/۴۳	۰/۸۲	-۲/۰۱	۱/۸۰	۳/۷۴e-۰۶	۳/۲۶	۰/۷۹	-۳/۲۲	۲/۴۰
	Valintzas (2013a)	۸/۲۳e-۱۴	۳/۷۷	۰/۶۰	۳/۲۴	۳/۴۵	۲/۵۵e-۰۵	۲/۹۴	۰/۶۳	۲/۲۲	۳/۸۲
	Makkink_Hensen (1984)	۱/۹e-۰۶	۲/۴۷	۰/۸۱	۱/۸۸	۱/۹۱	۰/۰۱	۲/۰۲	۰/۸۱	۱/۲۵	۲/۲۴
Makkink_Allen (2003)	۱/۷۲e-۱۰	۳/۱۱	۰/۸۱	۲/۶۰	۱/۹۱	۰/۰۰۰۱	۲/۶۱	۰/۸۱	۲/۰۲	۲/۲۴	
Mass Transfer based	Dalton (1802)	۲/۸۵e-۳۴	۶/۹۸	۰/۶۱	۶/۵۲	۳/۳۹	۱/۳۲e-۱۲	۴/۶۶	۰/۵۷	۴/۲۴	۴/۳۴
	Shuttleworth (1993)	۱/۹۵e-۱۰	۳/۰۵	۰/۸۸	۲/۶۱	۱/۲۰	۰/۱۹	۱/۸۲	۰/۷۴	-۰/۶۶	۲/۸۵
	Trabert (1896)	۴/۶۶e-۳۳	۶/۷۴	۰/۶۴	۶/۲۹	۳/۱۸	۰/۹۸e-۱۵	۶/۰۶	۰/۵۳	۵/۷۵	۴/۶۰
	Mahringer (1970)	۴/۴۹e-۳۱	۶/۳۷	۰/۶۴	۵/۹۴	۳/۱۸	۴/۰۹e-۱۶	۵/۴۲	۰/۵۳	۵/۰۶	۴/۶۰
	Penman (1968)	۱/۵۴e-۲۹	۶/۱۱	۰/۶۱	۵/۶۸	۳/۴۱	۹/۸۸e-۱۵	۵/۱۰	۰/۵۷	۴/۷۲	۴/۳۰
	Alberchet (1950)	۴/۹۸e-۲۹	۶/۰۳	۰/۶۶	۵/۶۱	۳/۰۹	۱/۴۸e-۱۱	۴/۵۹	۰/۴۶	۴/۰۹	۵/۰۶
	Eskandel (1967)	۵/۶۸e-۰۶	۶/۹۵	۰/۵۰	-۴/۵۲	۴/۰۵	۶/۳۸e-۱۰	۱۶/۴۷	۰/۴۷	-۱۴/۵۸	۴/۹۵
	Romanenko (1961)	۰/۰۰۲	۳/۲۷	۰/۵۵	-۱/۷۹	۳/۸۰	۶/۱۷e-۰۹	۵/۹۵	۰/۶۰	-۵/۷۰	۴/۰۸
Oudin_Romanenko (2004)	۰/۰۳	۲/۲۶	۰/۵۰	۰/۹۱	۴/۳۴	۰/۷۳	۱/۹۸	۰/۵۲	-۰/۱۸	۴/۶۷	
Temperature based	Hargrives_Samani (1985)	۰/۰۱	۱/۴۹	۰/۶۸	۰/۶۳	۲/۹۴	۰/۲۸	۱/۵۰	۰/۹۳	-۰/۶۹	-۰/۸۶
	Blaney-Criddle (1950)	۱/۹۲e-۲۶	۵/۵۵	۰/۷۶	۵/۰۹	۲/۳۰	۸/۴۱e-۱۵	۵/۰۰	۰/۸۲	۴/۶۲	۲/۱۰
	Turk	۳/۰۶e-۱۶	۳/۹۹	۰/۷۷	۳/۵۴	۲/۱۸	۹/۲e-۰۸	۳/۳۸	۰/۷۹	۲/۸۹	۲/۳۷
	Hamoon	۳/۰۷e-۳۲	۶/۵۸	۰/۸۸	۶/۱۲	۱/۲۲	۳/۶۷e-۱۹	۶/۱۲	۰/۹۲	۵/۸۲	-۰/۹۵
	Mc cloud	۴/۹۴e-۰۸	۳/۵۷	۰/۵۷	۲/۸۳	۳/۶۴	-۰/۵	۳/۴۰	۰/۶۴	-۰/۶۳	۳/۷۵
	Blaney-Criddle (FAO 24)	۸/۲۳e-۱۰	۳/۰۳	۰/۷۸	۲/۵۳	۲/۱۴	۰/۰۲	۲/۲۵	۰/۶۸	-۱/۵۵	۳/۴۰
	Trajkovic (2007)	۱/۱۹e-۱۴	۳/۷۴	۰/۷۹	۳/۲۹	۲/۰۵	۴/۵۸e-۰۷	۳/۱۹	۰/۸۳	۲/۷۲	۲/۰۳
	Ravazzani <i>et al.</i> (2012)	۴/۹۹e-۲۰	۴/۵۰	۰/۹۱	۴/۰۳	۰/۹۶	۷/۹۷e-۱۲	۴/۲۷	۰/۸۹	۳/۸۶	۱/۳۶
	Hargrives_Berti (2014)	۷/۴۵e-۰۷	۳/۴۹	۰/۷۸	۳/۰۲	۲/۱۶	۴/۶۴e-۰۶	۲/۹۶	۰/۸۱	۲/۴۵	۲/۱۶
	Penman_monthly_FAO (FAO 56)	۱/۱۸e-۰۷	۲/۶۲	۰/۸۵	۲/۱۳	۱/۴۸	۰/۶۴	۱/۸۵	۰/۶۲	-۰/۲۵	۳/۸۹
combination-based	Penman_FAO 24	۸/۸۶e-۱۱	۳/۰۹	۰/۹۰	۲/۶۴	۱/۰۰	۰/۰۰۱	۲/۳۲	۰/۸۰	۱/۶۴	۲/۲۶
	Peman_FAO-PPP17	۰/۲۵	۱/۵۹	۰/۷۹	-۰/۵۴	۲/۰۲	-۰/۶e۱/۱۹	۶/۲۰	۰/۶۰	-۵/۵۱	۴/۰۸
	Penman_Kimberly (1996)	۴/۷۸e-۰۶	۲/۳۳	۰/۸۷	۱/۹۴	۱/۳۴	۰/۴۵	۱/۷۳	۰/۷۱	-۰/۴۵	۳/۱۲
	Penman_Montith(ASCE_70)	۳/۴۲e-۱۰	۱/۸۸	۱/۸۰	۰/۳۹	۱/۹۸	۳/۷۲e-۰۵	۳/۳۷	۰/۵۰	-۲/۸۵	۴/۷۲

		Penman (1963)	۰/۰۰۰۷	۱/۹۴	۰/۸۹	۱/۲۹	۱/۱۲	۰/۶۳	۱/۵۷	۰/۷۵	-۰/۲۵	۲/۸۴	
		Kerman_Rafsanjan					Gilan_Rasht						
Estimation	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/da y)	MBE (mm/da y)	SE (mm/da y)	Estimation	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/da y)
Radiation based	Pristley_taylor (1972)	-۱۰e۱/۵۶	۸/۰۳	۰/۸۷	-۶/۹۹	.	Radiation based	Pristley_taylor(1972)	-۰۰۵e۱/۸۹	۲/۰۴	۰/۰۶	-۱/۷۵	۰/۷۵
	De Bruin-Keijman	-۰۰۷e۸/۱	۶/۲۴	۰/۸۸	-۵/۳۸	۰/۱۵		De Bruin-Keijman	-۱۳e۸/۷۵	۳/۷۴	۰/۰۵	۳/۶۴	۰/۷۵
	Makkink (1957)	۰/۰۰۰۴	۴/۱۶	۰/۷۳	-۳/۱۴	۰/۶۹		Valintzas(2013)a	-۱۴e۱/۲۷	۴/۴۴	۰/۲۹	۴/۳۷	۰/۶۹
	JensenHaise (1963)	۰/۴۳	۳	۰/۶۱	-۰/۸۵	۷/۵۷		Dalton (1802)	-۱۷e۴/۸۸	۱/۶۷	۰/۶۱	۵/۶۲	۰/۶۸
	FAO, 24_Radiation	۰/۱۱	۲/۷۲	۰/۷۴	۱/۵۷	۳/۱۶		Shuttle_worth(1993)	-۰۰۶e۱/۶۳	۱/۱۹	۰/۵۲	-۱/۹۷	۰/۷۴
	Valintzas (2013)a	-۰۰۵e۷/۰۷	۴/۷۱	۰/۶۰	-۳/۶۳	۰/۸۰		Trabert (1896)	-۱۷e۱/۴۱	۱/۹۹	۰/۶۸	۵/۹۴	۰/۷۰
	Makkink_Hensen (1984)	۰/۰۰۰۲	۳/۷۵	۰/۷۳	-۲/۶۹	۰/۸۵		Mahring (1970)	-۱۷e۲/۰۲	۱/۹۰	۰/۵۸	۵/۸۴	۰/۷۰
	Makkink_Allen (2003)	۰/۰۰۰۱	۴/۳۸	۰/۷۳	-۳/۳۹	۰/۶۵		Penman (1968)	-۱۷e۳/۴۵	۵/۷۶	۰/۵۱	۵/۷۱	۰/۶۸
	Dalton (1802)	-۱۱e۰/۰۹	۸/۲۱	۰/۵۷	-۷/۱۵	.		Alberchet (1950)	-۱۷e۲/۳۹	۰/۹۲	۰/۶۷	۵/۸۰	۰/۷۰
	Shuttle_worth (1993)	۰/۰۱	۳/۲۳	۰/۷۹	-۲/۲۱	۰/۹۰		Eskandel (1967)	-۰۰۵e۸/۳۴	۲/۱۳	۰/۵۴	۱/۳۷	۰/۶۷
Mass Transfer based	Trabert (1896)	-۱۰e۴/۲۴	۷/۷۵	۰/۵۷	-۶/۷۱	۰/۰۴	Romanenko (1961)	-۱۵e۳/۸۹	۰/۳۹۱	۰/۶۳	۳/۳۰	۰/۶۷	
	Mahringer (1970)	-۰۰۹e۴/۹۹	۷/۰۶	۰/۵۷	-۶/۰۶	۰/۱۸	Oudin_Romanenko (2005)	-۱۷e۴/۴۸	۱/۱۷	۰/۶۹	۱/۹۸	۰/۷۵	
	Penman (1968)	-۰۰۷e۱/۳۷	۶/۸۰	۰/۵۷	-۵/۸۱	۰/۰۲۷	Hargrives_Samani (1985)	-۰۰۹e۲/۸۵	۱/۹۰	۰/۲۱	۲/۴۱	۰/۷۲	
	Alberchet (1950)	۰۰۷e۶/۵۵	۱/۸۶	۰/۵۹	-۴/۸۹	۰/۷۲	Blaney-Criddle (1950)	-۱۴e۱/۵۷	۴/۳۵	۰/۳۹	۴/۲۹	۰/۶۴	
	Eskandel (1967)	-۰۰۵e۷/۱۶	۱۱/۷۲	۰/۴۷	۰/۰۰۹	۵۲/۴۵	Hamoon	-۱۴e۷/۲	۶/۵۶	۰/۲۴	۵/۵۰	۰/۷۱	
	Romanenko (1961)	-۱۳e۱/۶۷	۴/۴۴	۰/۵۲	۲/۸۶	۹/۶۹	Mc load	۰/۰۰۳	۲/۵۳	۰/۲۹	۱/۴۴	۰/۶۹	
	Oudin_Romanenko (2005)	۰/۰۹	۳/۲۰	۰/۴۹	-۱/۴۵	۲/۰۱	Blaney-Criddle (FAO 24)	-۰۰۷e۵/۶	۲/۲۱	۰/۳۰	۲/۰۵	۰/۶۹	
	Hargrives_Samani (1985)	۰/۰۰۰۲	۱/۳۸	۰/۷۴	-۳/۳۴	۰/۹۴	Trajkovic (2007)	-۱۱e۴/۴۳	۳/۰۶	۰/۲۴	۲/۹۶	۰/۷۱	
	Blaney-Criddle (1950)	-۰۰۷e۱/۳۵	۷/۴۷	۷/۴۷	-۵/۷۵	۰/۰۸	Ravazzani et al. (2012)	-۱۳e۲/۱۳	۳/۹۱	.	۳/۸۲	۰/۷۶	
	Temperature based	Turk	-۰۰۶e۶/۹۲	۵/۱۹	۰/۷۱	-۴/۲۱	۰/۴۴	Hargrives_Berti (2014)	-۱۱e۶/۹۵	۲/۹۷	۰/۴۳	۲/۸۸	۰/۶۲
Hamoon		-۱۰e۲/۸۳	۷/۸۶	۰/۸۱	-۶/۸۲	.	Penman_monthith_FAO (FAO 56)	-۰۰۷e۱/۵۳	۲/۳۹	۰/۰۴	۲/۲۳	۰/۷۶	
Mc load		۰/۰۳	۴/۱۰	۰/۵۰	-۲/۴۰	۸/۸۳	Penman_FAO 24	-۰۰۷e۲/۲۲	۲/۲۹	۰/۱۱	۲/۱۴	۰/۷۵	
Blaney-Criddle (FAO 24)		۰/۶۲	۲/۵۲	۰/۶۴	-۰/۴۶	۰/۶۴	Peman_FAO-PPP17	۰/۰۴	۱/۰۵	۰/۲۱	-۰/۶۲	۰/۷۲	
Trajkovic (2007)		-۰۰۵e۱/۳۹	۵/۰۰	۰/۷۵	-۴/۰۶	۰/۴۸	Penman_Kimberly (1996)	۰/۰۰۰۲	۱/۵۵	۰/۲۱	۱/۲۹	۰/۷۲	
Ravazzani et al. (2012)		-۰۰۷e۲/۹۳	۵/۳۹	۰/۸۶	-۴/۹۶	۰/۱۰	Penman_Monthith(ASCE_70)	۰/۰۰۰۳	۱/۴۵	۰/۰۲	۱/۱۴	۰/۷۶	
Hargrives_Berti (2014)		-۰۰۵e۳/۸۳	۴/۷۶	۰/۷۴	-۳/۸۱	۰/۵۹	Penman (1963)	۰/۰۱	۱/۰۵	۰/۱۷	۰/۶۹	۰/۷۳	
Penman_monthith_FAO (FAO 56)		۰/۲۹	۲/۶۴	۰/۷۷	-۰/۹۰	۱/۶۳							
Penman_FAO 24		۰/۰۰۳	۳/۵۲	۰/۸۲	-۲/۵۷	۰/۶۷							
Peman_FAO-PPP17		۰/۰۰۲	۵/۹۶	۰/۶۷	۴/۵۲	۱۴/۳۹							
combination-based	Penman_Kimberly (1996)	۰/۱۶	۲/۷۹	۰/۶۷	-۱/۳۴	۳/۳۸							
	Penman_Monthith(ASCE_70)	۰/۰۱	۳/۵۰	۰/۷۳	۲/۵۸	۳/۱۰							
	Penman (1963)	۰/۷۴	۱/۴۱	۰/۸۳	۰/۲۹	۱/۱۹							

کاربردی است (Feng et al., 2017). براساس ارزیابی‌های آماری انجام شده توسط نظری و کاویانی در سال ۱۳۹۵ در بین گروه‌های روش‌های تشعشی، دمایی، رطوبتی و ترکیبی در استان قزوین، در بین روش‌های مورد بررسی، روش Hargreaves-Samani (1985) در گروه دمایی، در گروه رطوبتی Ivanof، در گروه تشعشی روش Makkink و در گروه روش‌های ترکیبی FAO Penman-Monteith56 به‌عنوان روش‌های برتر در منطقه معرفی شدند (Nazari and Kaviani., 2015). ایستگاه مورد بررسی در استان آذربایجان غربی در ارومیه با اقلیم سرد و خشک قرار دارد که معادله Penman\_Kimberly (1996) در گروه ترکیبی با میزان خطای (RMSE=۰/۹۶) و همبستگی (R=۰/۹۱) و کم‌ترین خطای استاندارد (SE=۰/۵۱) در سطح ۹۵٪ به‌منزله روش برتر در این منطقه شناخته می‌شود. البته در بین دیگر گروه‌های مورد بررسی روش Shuttel\_worth (1993) در گروه رطوبتی با میزان خطای (۱/۳۸)، روش Hargreaves\_Samani (1985) با خطای (۱/۳۱) در گروه دمایی و Hargreaves\_Samani (1984) Hansen (1984) با میزان خطای (RMSE=۱) در هر گروه مورد بررسی به‌منزله روش برتر معرفی می‌شوند. در بررسی‌هایی که در سال ۲۰۱۸ بر روی حوضه دریاچه ارومیه انجام شد، نتایج نشان داد که گروه تشعشی و دمایی عملکرد مناسبی داشته‌اند و گروه رطوبتی عملکرد ضعیفی را از خود نشان داده‌اند (Farzanpour et al., 2018). این می‌تواند به‌دلیل استفاده از سرعت باد و دما به‌عنوان دو پارامتر موثر بر مقدار کل ETO باشد. در حالی که مؤلفه انرژی این پدیده که از طریق پارامتر تابش قابل تفسیر است در مدل‌های مبتنی بر انتقال جرم نادیده گرفته شد (Farzanpour et al., 2018). در استان خوزستان براساس اقلیم خشک این استان روش هارگریوز-سامانی (۱۹۸۵) در گروه دمایی با میزان خطای (RMSE=۱/۰۸) با میزان همبستگی (R=۰/۹۳) نسبت به دیگر روش‌ها نتایج قابل اعتمادتری را برآورد کرده است. در این روش برآوردهای تخمین زده شده با مقدار (MBE=۲/۲۶) با بیش برآورد نسبت به داده‌های لایسیمتری همراه بوده است. پس از روش برتر Hargreaves\_Samani (1985) روش Penman (1963) در گروه ترکیبی با خطای استاندارد (۱/۶۳) میلی‌متر بر روز) در رده دوم قرار می‌گیرد و پس از آن روش تشعشی Jensen Haise (1963) و Oudin\_Romanenko (2005) در گروه‌های رطوبتی در برآورد تبخیر تعرق در این منطقه قابل اعتماد می‌باشند. لازم به ذکر است که به لحاظ زمانی فصل تابستان نیز در کلیه روش‌های انتقال جرم، تشعشی

در ایستگاه مورد بررسی استان قزوین در گروه روش‌های مورد بررسی تشعشی، رطوبتی، دمایی و ترکیبی به‌ترتیب روش‌های Hansen (1984) Makkink\_Hansen (1984) Albrecht، Hargreaves\_Samani (1985) Penman-FAO (1950) و Monteith56 با کم‌ترین میزان جذر خطای ریشه میانگین مربعات (۱/۱۳، ۱/۴۶، ۱ و ۱/۲۱ میلی‌متر بر روز) بهترین نتیجه را در این منطقه نشان دادند. مقدار MBE در بین این روش‌ها به غیر از روش FAO Penman-Monteith منفی بوده و نسبت به داده‌های لایسیمتری با برآورد کم‌تری روبه‌رو بوده است. مقدار خطای استاندارد در کلیه روش‌های تجربی برتر کمتر از یک بوده که برتری این روش‌ها را تایید می‌کند. در این ۴ گروه، روش‌های Dalton (1802)، Priestley\_taylor (1972) و Hamon (1961) و FAO Penman- (PPP17) Monteith بالاترین خطا را در برآورد تبخیر تعرق داشته‌اند (RMSE=4.23,1.03,4.09,4.10 mm/day). با دقت در مقادیر خطا مشخص است که از میان همین چهار مدل به جزء مدل Dalton (1802) که از گروه رطوبتی محسوب می‌شود سه مدل دیگر که در آنها پارامتر دما مشاهده می‌شود نتایج ضعیفی را نشان داده است. دو مدل دیگر که در گروه‌های تشعشی قرار دارند نیز یا پارامتر دما را بصورت مستقیم یا غیرمستقیم در مدل استفاده می‌کنند. لذا در منطقه نیمه‌خشک قزوین مدل‌هایی که پارامتر دمایی در آنها مشاهده می‌شود نتایج تضعیف می‌شوند. بسته به توان پارامتر دما و موقعیت قرارگیری در معادلات میزان خطا نوسان می‌نماید. در بین چهار گروه‌های مورد بررسی، در گروه دمایی در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قزوین، روش Hargreaves\_Samani (1985) با بالاترین میزان همبستگی (۰/۹۷ میلی‌متر بر روز) و کم‌ترین خطای استاندارد (۰/۴۴ میلی‌متر بر روز) در سطح معنی داری ۹۵٪ طبق محاسبات انجام شده براساس جدول ANNOVA به‌منزله دقیق‌ترین گروه معرفی می‌شود. دقت روش هارگریوز به شدت به میزان ابرناک آسمان و به‌عبارت دیگر به ساعت آفتابی وابسته است به‌طوری‌که در روزهایی با درجه ابرناکی بالاتر نتایج ضعیف‌تری به‌دست آمده است. علت این امر بازگشت امواج با طول موج بلند و برهم خوردن بیلان انرژی بر روی سطح است به‌طوری‌که تاثیر تابش بر روی تبخیر تعرق پتانسیل از تاثیر دما بیشتر خواهد شد و لذا باعث ایجاد خطا در نتایج تخمین تبخیر تعرق پتانسیل با استفاده از مدل هارگریوز-سامانی می‌شود، در استان قزوین با اقلیم خشک و نیمه‌خشک تعداد روزهای ابرناکی به شدت پایین بوده، بنابراین این روش بسیار

شده در دوره‌های ده روزه خرداد تا شهریور در طی سه سال زراعی متوالی در مؤسسه تحقیقات برنج کشور، مقدار تبخیرتغرق گیاه مرجع محاسبه شده و با ۱۶ معادله تجربی موجود در نرم افزار Ref-ET با آماره‌های RMSE و R مورد مقایسه قرار گرفت که به ترتیب معادلات هارگریوز، پرستلی تیلور و پنمن (فائو ۲۴) با دارا بودن کم‌ترین مقادیر RMSE در هر یک از سه سال و دارا بودن مقادیر ضریب همبستگی کوچکتر از ۱ با داده‌های لایسیمتری به‌عنوان بهترین روش‌ها شناخته شدند، در بین سه روش، فرمول تجربی هارگریوز به‌عنوان مناسب‌ترین فرمول برای منطقه ی رشت پیشنهاد شد، زیرا این روش برخلاف دو روش دیگر، روشی دمایی است و با توجه به پدیده گرمایش زمین، قادر است مقادیر تبخیرتغرق را در آینده پیش بینی نماید که امکان برنامه ریزی آبیاری و مدیریت آب را نیز فراهم کند (Pooryazdankhah et al., 2011). برآوردهای صورت گرفته در گرگان با اقلیم معتدل و مرطوب نشان‌دهنده این موضوع است که روش رطوبتی (Albrecht (1950) و روش ترکیبی (Penman(1963) با خطای جذر میانگین مربعات (۰/۹۷) تواما به‌منزله روش‌های تجربی برتر در این منطقه معرفی می‌شوند در بررسی‌های صورت گرفته بر مبنای میزان خطای استاندارد روش (Albrecht (1950) با خطای استاندارد کمتر (۰/۹۱ میلی‌متر بر روز) نسبت به روش (Penman(1963) با خطای استاندارد ۰/۹۷ میلی‌متر بر روز، برتری بیشتری داشته و در رده اول قرار می‌گیرد. در بین گروه‌های دمایی و تشعشعی به ترتیب روش‌های (Priestley \_taylor (1972) و Blaney-Criddle (FAO 24) (1950) به‌منزله روش‌های برتر در این منطقه معرفی می‌شوند. در پژوهشی، مطالعه تطبیقی بین روش فائو پنمن-مانتیت با ۲۰ روش تجربی برآورد تبخیرتغرق پتانسیل در یک دوره زمانی ۱۰ ساله در ایستگاه‌های رشت، ساری و گرگان در نوار ساحلی دریای خزر صورت گرفت. نتایج بیانگر عملکرد پایین مدل Romanenko می‌باشد. در مجموع در اقلیم‌های مورد مطالعه، مدل‌های (Ravazzani et al., 2012, Berti et al., 2014, Hargreaves \_Samani (1985), Irmac, Eskandel و همچنین مدل Valiantazas عملکرد مطلوبتری در برآورد تبخیرتغرق مرجع داشتند، همچنین اذعان داشتند که در هنگام استفاده از مدل‌های تجربی و کاربرد آن‌ها در برآورد تبخیرتغرق باید به این نکته توجه کرد که این مدل‌ها در شرایط اقلیمی متفاوت می‌توانند نتایج متغیری از خود نشان دهند و الزاماً هیچ مدلی به‌طور قطعی نمی‌تواند به‌عنوان مبنای تمامی مناطق ساحلی مورد استفاده قرار گیرد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷). در مناطق نزدیک به دریا و در دلتاها کاربرد

کم‌ترین دقت و صحت را دارند. در استان خوزستان روش‌های دمایی در تخمین ET<sub>0</sub> دقت بیشتری را از خود نشان دادند (Zorati pour et al., 2018). بر اساس نتایج به‌دست آمده در استان بوشهر با اقلیم نیمه‌خشک، هر دو معادله Blaney-Criddle (FAO24) در گروه دمایی (RMSE=۰/۸) و Jensen Haise (1963) در گروه تشعشعی با میزان جذر خطای میانگین مربعات (RMSE=۰/۹۳) نتایج قابل اعتمادی را از خود نشان دادند و با توجه به مثبت بودن مقادیر MBE نتایج آن‌ها با بیش-برآوردی نسبت به برآوردهای لایسیمتری همراه هستند. در نهایت در دو گروه روش‌های رطوبتی و ترکیبی، روش (Romanenko (1961) و Penman-Monteith-FAO به‌ترتیب با مقدار جذر خطای میانگین مربعات ۰/۹ و ۰/۹۳ میلی‌متر بر روز عملکرد مناسبی داشته است. در تحقیقات انجام شده در استان بوشهر در بررسی روش‌های مختلف برآورد تبخیرتغرق پنمن فائو ۲۴ و بلانی کریدل نتایج قابل قبولی داشتند (Tanhapour et al., 2015). همچنین در تحقیقی دیگر که در برازجان استان بوشهر انجام شده است داده‌های سه سال زراعی متوالی از لایسیمتر زهکش دار برای ارزیابی روش‌های بلانی کریدل و بلانی کریدل اصلاح شده و پنمن مانتیت فائو مورد استفاده قرار گرفت. براساس تجزیه و تحلیل‌های آماری بیش‌ترین انطباق داده‌های تخمین زده شده با روش بلانی-کریدل مشاهده می‌شود که ضمن نیاز به داده‌های هواشناسی کمتر مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل را با دقت بالاتری نسبت به دو روش دیگر برآورد می‌نماید (Kaviani et al., 2015). با دقت در شکل (۲) اقلیم این استان نیز بسیار خشک و خشک نشان داده شده است و همان‌گونه که قبلاً نیز در این خصوص توضیحات ارائه شده است معمولاً معادلات گروه دمایی در این شرایط نتایج بهتری را به نمایش می‌گذارند. در اقلیم خیلی مرطوب رشت روش تجربی (Albrecht (1950) در گروه رطوبتی با کم‌ترین مقدار جذر خطای میانگین مربعات (MBE=۰/۹۲ میلی‌متر بر روز) بالاترین میزان دقت را با میزان اطمینان ۹۹٪ در بین روش‌های مورد بررسی نشان داد. در این منطقه نیز روش ترکیبی Penman-FAO (PPP17) با مقدار خطای (RMSE= ۱/۰۹ میلی‌متر بر روز) و روش دمایی (Hargreaves \_Samani (1985) با خطای (RMSE= ۱/۰۹ میلی‌متر بر روز) و روش (Priestley \_taylor (1972) با خطای (RMSE= ۲/۰۴ میلی‌متر بر روز) در رده‌های دوم تا چهارم قرار می‌گیرند. در برآوردهای صورت گرفته در منطقه رشت برخی از روش‌های گروه دمایی به‌دلیل نبود داده-های هواشناسی مورد نیاز و ایجاد خطای بسیار بالا حذف شدند. در تحقیقی با استفاده از میانگین داده‌های لایسیمتری برداشت



نسبت به اندازه‌گیری‌های لایسیمتری، به‌منزله معادلات برتر در هر گروه معرفی می‌شوند. در بررسی ۶ روش برآورد تبخیر و تعرق (Blaney-Criddle (BC)؛ Hargreaves (1985)؛ Penman (PE)؛ Dalton (DA)؛ Priestley-Taylor (PT)؛ و Shuttleworth (SW) روش Hargreaves (HA) و در مناطق خشک، روش‌های Priestley-Taylor، Penman (PE) در این مناطق نتایج مناسبی را از خود ارائه دادند (Zhang *et al.*, 2018). در رفسنجان نیز معادله Hargreaves\_Samani (1985) در گروه روش‌های دمایی با کمترین میزان خطا ( $RMSE = 1/38$ ) به‌منزله روشی دقیق در برآورد تبخیر تعرق معرفی می‌شود. پس از آن معادله‌های Penman (1963) در گروه ترکیبی، Albrecht (1950) در گروه رطوبتی و FAO 24 در گروه تشعشعی به‌ترتیب با مقدار میانگین مربعات خطای (۱/۴۱)، ۱/۸۶ و ۲/۷۲ میلی‌متر بر روز) به‌منزله معادلات برتر در هر گروه معرفی می‌شوند. در کرمان معادلات گروه دمایی در سطح اطمینان ۹۹٪ نتایج قابل قبولی را ارائه داده و در اقلیم خشک این منطقه به‌منظور برآورد تبخیر تعرق پیشنهاد می‌شود. در بررسی‌هایی که در اقلیم نیمه‌خشک انجام شد از داده‌های لایسیمتری جهت ارزیابی ۶ معادله تبخیر تعرق چمن شامل پنمن-مانتیت فائو-۵۶، پنمن-کیمبرلی ۱۹۹۶، بلانی کریدل فائو-۲۴، ماکینک، تشعشع فائو-۲۴ و هارگریوز-سامانی استفاده شد. آماره‌های جذر مربعات میانگین خطا ( $RMSE$ ) و نمایه توافق (d) برای انجام تحلیل‌های آماری و مقایسه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، نتایج نشان داد برای کل دوره سال، معادله FAO-24 تابش با داشتن میانگین خطای ۱/۶۳ میلی‌متر بر روز دقیق‌ترین روش بوده است (Bakhtiari *et al.*, 2009). به‌طور کلی در ایستگاه قزوین بر اساس نتایج شاخص‌های آماری برآورد تبخیر تعرق توسط معادلات هر چهار گروه در سطح ۹۹ درصد قابل اعتماد هستند. گروه‌های دمایی و ترکیبی بر اساس میزان خطاسنجی نتایج قابل اعتمادتری را از خود نشان دادند. اقلیم خشک و نیمه‌خشک این استان نیز این نتایج را تایید می‌کند. گروه ترکیبی به‌دلیل استفاده از داده‌های جزئی هواشناسی نتایج مناسب‌تری را ارائه می‌دهند. گروه دمایی نیز به‌دلیل سهولت در اجرا و در دسترس بودن داده‌های دمایی در استان قزوین پیشنهاد می‌شود. از سوی دیگر در ایستگاه ارومیه معادلات واقع در گروه ترکیبی با کمترین میزان جذر خطای مربعات (۱/۸۳ میلی‌متر بر روز) در سطح اطمینان ۹۹٪ به‌منزله گروه برتر معرفی می‌شود. اقلیم سرد و خشک منطقه مورد نظر موکد این مطلب است که روش‌های گروه تشعشعی نیز می‌توانند برآورد مناسبی در منطقه داشته باشند. در استان خوزستان

معادلات مبتنی بر انتقال جرم بدلیل وابستگی اینگونه معادلات به کمبود فشار بخار، نتایج بهتری را تولید نموده اند (Djaman *et al.*, 2016). در اقلیم نیمه‌خشک سنندج روش ترکیبی Penman\_Kimberly (1996) نتایج قابل اعتمادی را در سطح معنی‌داری ۹۵٪ از خود نشان داد ( $SE = 0/4$ ،  $RMSE = 0/74$ ،  $R = 0/94$  میلی‌متر بر روز) بنابراین براساس شاخص همبستگی  $r$  می‌توان بر روی همبستگی بالای نتایج به‌دست‌آمده از روش Penman\_Kimberly (1996) در مقایسه با برآوردهای به‌دست‌آمده از لایسیمتر اشاره کرد. در گروه دمایی، معادله Hargreaves\_Samani (1985) نیز با مقدار خطای ( $RMSE = 0.88$ ) در رده دوم نسبت به دیگر روش‌ها قرار می‌گیرد. همچنین معادلات JensenHaise (1963) و Shuttelworth (1993) نیز در گروه‌های تشعشعی و رطوبتی برآوردهای مناسبی داشته‌اند ( $0/99$  و  $0/95$   $RMSE =$  میلی‌متر بر روز)، با این وجود در اقلیم‌های مشابه روش‌های دمایی نتیجه بهتری را ارائه داده‌اند. عملکرد معادلات گروه‌های ترکیبی و دمایی در اقلیم نیمه‌خشک سنندج کاملاً مشهود است. در بررسی کارایی روش‌های تجربی برآورد تبخیر تعرق مرجع برای اقلیم نیمه‌خشک روش‌های Hargreaves\_Samani (1985)، Hamoon (1961) مناسب دانسته شد (Ghamarnia and Lorestani., 2019). اراک بر اساس اقلیم‌نمای دمارتن دارای اقلیم گرم و خشک است. در گروه‌های مورد بررسی، معادله دمایی Hargreaves\_Samani (1985) با کم‌ترین میزان خطا در بین روش‌های برتر دیگر گروه‌ها ( $RMSE = 1/49$ ) به‌عنوان بهترین روش انتخاب می‌شود. در دیگر گروه‌ها نیز روش Penman-Monteith (ASCE70) در گروه ترکیبی با خطای ( $RMSE = 1/88$ )، روش Oudin\_Romanenko (2005) در گروه رطوبتی با خطای ( $RMSE = 2/26$ ) و معادله JensenHaise (1963) در گروه تشعشعی با خطای ( $RMSE = 2/36$ ) در رده‌های بعدی نسبت به معادله برتر Hargreaves\_Samani (1985) قرار می‌گیرند. در مقایسه و ارزیابی برخی مدل‌های معمول، تعیین تبخیر تعرق چمن با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار روش پنمن مانیتیت همبستگی خطی بهتری با نتایج لایسیمتری نشان می‌دهد (Movahed *et al.*, 2012). یزد دارای اقلیم گرم و نیمه‌خشک است که معادله JensenHaise (1963) در گروه دمایی کمترین خطا را نسبت به دیگر روش‌های برآورد تبخیر تعرق داشته است. پس از آن روش Hargreaves\_Samani (1985) با خطای ( $RMSE = 1/50$ )، Penman (1963) با خطای ( $RMSE = 1/57$ ) و Oudin\_Romanenko (2005) با خطای ( $RMSE = 1/98$ )

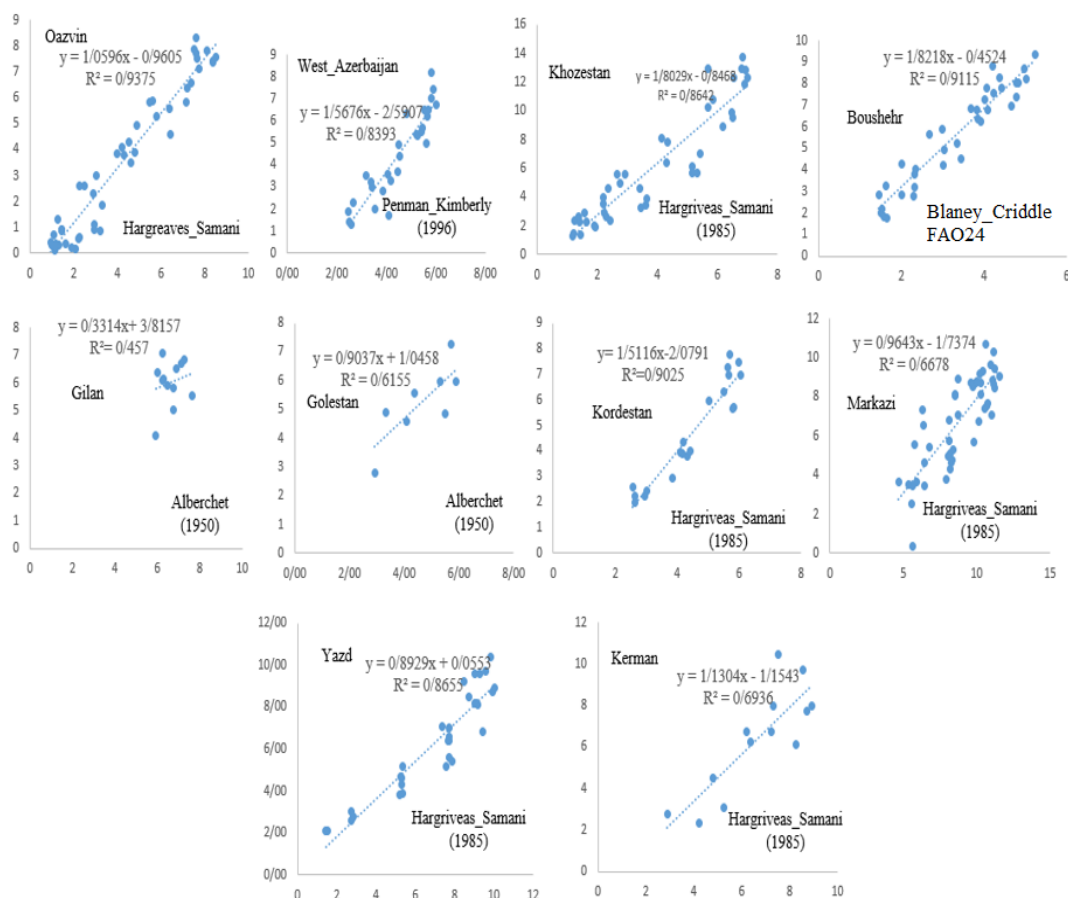
گلستان و پوشش جنگلی متراکم و بالا بودن رطوبت نسبی هوا در این استان، برتری معادلات گروه رطوبتی مشهود است. در ایستگاه اراک روش‌های دمایی خطای کمتری نسبت به دیگر روش‌ها داشته و برآورد مناسبی داشته است. روش‌های ترکیبی نیز در این اقلیم می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های دمایی باشند. تابش خورشیدی تأثیر به‌سزایی بر روی داده‌های هواشناسی و اقلیمی دارد. کارامدی و عملکرد مناسب روش‌های گروه تشعشعی در ایستگاه استان یزد با اقلیم خشک و کویری نیز موید این مطلب می‌باشد.

براساس مقایسه نتایج تبخیرتقرق تخمین زده شده از معادلات مختلف با نتایج اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری و نمودارهای ارائه شده در شکل (۴)، معادله Hargreaves (1985) Samani در اکثر شهرهای مرکزی ایران (۷ استان) که اقلیم آن‌ها گرم و خشک تا نیمه‌خشک سرد است، نتایج قابل قبولی را از خود ارائه داده است. علاوه بر این در استان‌های محدوده دریای خزر نیز معادله رطوبتی (Albrecht 1950) به‌منزله روش برتر تخمین تبخیرتقرق معرفی می‌شود که با شرایط اقلیمی مرطوب منطقه همخوانی معنی‌داری دارد.

ایستگاه اهواز از بین ۴ گروه مورد بررسی، معادلات گروه تشعشعی نتایج مناسبی را ارائه داده است و در سطح اطمینان ۹۹٪، نتایج تفاوت معنی‌داری با داده‌های لایسیمیتری دارند. روش‌های دمایی نیز در سطح اطمینان ۹۵٪ نتایج قابل قبولی را از خود ارائه داده‌اند. در ایستگاه بوشهر بررسی چهار گروه تشعشعی، دمایی، رطوبتی و ترکیبی نشان از عملکرد بهتر گروه دمایی دارد. گروه ترکیبی ضعیف‌ترین عملکرد را از خود نشان داده است. گروه تشعشعی نیز براساس خشک بودن منطقه و افزایش ساعات آفتابی و تشعشعات خورشیدی عملکرد مناسبی داشته و در رده دوم قرار می‌گیرد. در ایستگاه رشت با توجه به قرارگیری ایستگاه رشت در حاشیه دریای خزر و تبخیر شدید در این منطقه میزان رطوبت بسیار بالا است و بنابراین عملکرد مناسب روش‌های گروه رطوبتی این موضوع را تأیید می‌کند چرا که در این روش دما و رطوبت نسبی دو پارامتر اساس هستند بنابراین در این مناطق روش‌های رطوبتی می‌توانند عملکرد مناسبی را از خود نشان دهند. روش‌های ترکیبی نیز عملکرد مناسبی داشته‌اند اما به‌دلیل نیاز مبرم این روش‌ها به اطلاعات دقیق هواشناسی امکان بروز خطا وجود دارد. بنابراین این گروه در رده دوم قرار گرفته است. بر اساس موقعیت جغرافیایی استان

جدول ۹- مقایسه چهار گروه برآورد تبخیر و تفرق در ایستگاه‌های مورد بررسی

Station	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/day)	Station	Methods	P_Value	RMSE (mm/day)	R (mm/day)	MBE (mm/day)	SE (mm/day)
Qazvin	تشعشعی	۳/۰۳	۲/۵۷	۰/۶۱	۰/۴۵	۴/۸۳	Samandaj	تشعشعی	۰/۰۳	۳/۴۸	۰/۳۶	۰/۴	۳/۲۸
	دمایی	۹/۵۶e-۱۳	۲/۳	۰/۷	۱/۱۸	۳/۹		دمایی	۹/۶۳e-۱۱	۲/۴۹	۰/۴۷	۱/۱۴۱	۲/۹۲
	رطوبتی	۲/۷۶e-۱۰	۸۷/۸۴	۰/۲۹	-۳۷/۴۳	۷/۰۳		رطوبتی	۰/۰۰۰۷	۴/۳۲	۰/۲۲	-۰/۱۲	۴/۹۸
Urmia	ترکیبی	۰/۰۰۷	۲/۴	۰/۷	-۰/۴	۳/۸۴	ترکیبی	۰/۰۰۹	۲/۵۳	۰/۵۱	-۰/۵۳	۲/۷۸	
	تشعشعی	۰/۰۰۰۹	۲/۸۵	۰/۳	۱/۷۴	۳/۴۸	تشعشعی	۱/۳۴e-۳۲	۵/۶۵	۰/۱۸	۳/۰۹	۵/۲۴	
	دمایی	۰/۰۵	۳/۵۶	۰/۲۵	۰/۱۴	۳/۶	دمایی	۱/۷e-۱۳	۲/۲۸	۰/۶۴	۰/۳۵	۳/۶۹	
Ahvaz	رطوبتی	۳/۶۵e-۸	۳/۱۶	۰/۲۵	۱/۱۸۹	۳/۶۱	رطوبتی	۸/۰۱e-۹۷	۴/۲۸	۰/۳۶	۳/۵۲	۴/۷۱	
	ترکیبی	۰/۰۰۰۹	۱/۸۳	۰/۶۸	-۰/۹	۲/۰۳	ترکیبی	۰/۰۲e-۲۶	۳/۹۹	۰/۳۱	۲/۳۵	۴/۹۱	
	تشعشعی	۳/۵e-۱۷	۴/۷۷	۰/۵۲	۲/۷۱	۱۱/۱۴	تشعشعی	۰/۰۰۰۱	۲/۹۸	۰/۴۶	۰/۶۸	۴/۶۷	
Bushehr	دمایی	۱/۰۶e-۱۶	۴/۵۶	۰/۴۸	۲/۴۹	۱۱/۶۹	دمایی	۹/۵۴e-۲۵	۳/۹۴	۰/۳۴	۲/۴۵	۲/۵۷	
	رطوبتی	۳/۳۵e-۶	۴/۹۵	۰/۴۸	۱/۵۲	۱۱/۵۳	رطوبتی	۰/۰۰۳	۷/۴۱	۰/۱۶	۰/۴۵	۵/۷۹	
	ترکیبی	۰/۰۰۵	۴/۸۰	۰/۶۴	-۱/۴۰	۸/۹۱	ترکیبی	۰/۰۰۱	۳/۵۵	۰/۴۱	-۱/۰۴	۴/۹۲	
Rasht	تشعشعی	۷/۸۲e-۸	۳/۶۸	۰/۴۴	۲/۶۶	۴/۳۸	تشعشعی	۵/۷۷e-۳۱	۵/۳۶	۰/۳۲	-۴/۲۱	۵/۱۵	
	دمایی	۳/۸۸e+۳۰	۲/۷۲	۰/۶	۱/۲۸	۳/۳۳	دمایی	۴/۶۶e-۱۳	۰/۶۵	۰/۳۰	۳/۲۰	۹/۶۲	
	رطوبتی	۱/۱۸e-۴۹	۴/۰۶	۰/۵۷	-۱/۴۹	۳/۴۷	رطوبتی	۳/۸۲e-۶	۶/۹۶	۰/۲۶	-۲/۶۴	۳۶/۸۷	
Gorgan	ترکیبی	۰/۰۰۱۲	۴/۲۶	۰/۳۲	۳/۱۴	۴/۵۹	ترکیبی	۰/۰۰۳	۳/۶۱	۰/۴۸	۰/۴۶	۱۱/۲	
	تشعشعی	۵/۶۶e-۵	۳/۵۵	۰/۴۱	-۲/۰۹	۰/۶۳	تشعشعی	۶/۶۲e-۶	۲/۵۲	۰/۳۵	۱/۵۴	۳/۵۱	
	دمایی	۱/۶۹e-۴۸	۵/۰۳	۰/۳۷	۳/۱۷	۰/۶۳	دمایی	۹/۰۶e-۱۷	۰/۰۳	۰/۲۵	۲/۴	۵/۶۲	
Rasht	رطوبتی	۱/۲۱e-۲۹	۱/۹۰	۰/۵۷	۱/۲۶	۰/۷۴	رطوبتی	۰/۰۰۰۸	۱/۵۲	۰/۵۶	۰/۹	۲/۸۴	
	ترکیبی	۵/۳۷e-۸	۲/۴۴	۰/۶۵	۳/۹۵	۱/۵۲	ترکیبی	۳/۸۹e-۱۶	۱/۵۷	۰/۴۲	۲/۴۶	۵/۹۹	



شکل ۴- مقایسه داده‌های تبخیر تعرق لایسیمتر با دقیق‌ترین روش برتر برآورد تبخیر تعرق در هر استان (محور افقی نمایه داده‌های لایسیمتری و محور عمودی نمایه روش برتر می‌باشد)

تخمین مقادیر ماهانه ETO در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران داشته است. در مقابل در بررسی‌های انجام شده در شهرهای ناحیه دریای خزر نیز به دلیل شرایط اقلیمی معتدل و مرطوب، معادله رطوبتی Albrecht (1950) به‌منزله روش برتر شناخته شد. در یک نگاه کلی و با توجه به اینکه کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و بنا بر نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، معادله Hargreaves\_Samani (1985) برای برآورد تبخیر تعرق مرجع و در نهایت برنامه ریزی آبیاری توصیه می‌شود.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق ۸ معادله از گروه تشعشعی، ۹ معادله از گروه رطوبتی، ۹ معادله از گروه دمایی و ۶ معادله از گروه ترکیبی برای برآورد تبخیر تعرق مرجع در ۱۰ استان ایران مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت در مقایسه‌های به‌دست آمده از روش‌های مورد بررسی در هر گروه تشعشعی، رطوبتی، دمایی و ترکیبی نشان داد که معادله Hargreaves\_Samani (1985) بهترین عملکرد را برای

## REFERENCES

- Albrecht, F. (1950). Die methoden zur bestimmung der verdunstung der naturlichen erdober flache. Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. Ser. B2, 138.
- Allen, G.R., (2003). Crop coefficients. In: Stewart, B.A., Howell, T.A. (Eds.), Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker Publishers. New York, pp. 87-90.
- Allen, R.G. Pereira, L.S. Raes, D.Smith M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Paper no. 56. FAO, Rome
- Arellano, M.G. Irmak, S. ASCE.M. (2016). Potential Evapotranspiration. Comparison of Temperature, Radiation, and Combination-Based Energy Balance Equations in Humid, Sub humid, Arid, Semiarid, and Mediterranean-Type Climates. Journal of Irrig. Drain Eng. 142(4)
- Bakhtiari, B. Ghahreman, N. Liaghat, A. Grit, H. 2009. Evaluation of Reference Transpiration Evaporation Models Using Lysimetric Measurements in a Semi-Arid Climate. International Journal of Agricultural Science and Technology. Vol,13. P: 223-237.(In Farsi)
- Barros, V.R. (2012) Avaliação da evapotranspiração utilizando o algoritmo SEBAL e imagens LANDSAT5-TM – Estudo de caso: bacia do rio Piabanha/RJ. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal

- do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.
- Bastiaanssen, W.G.M.(2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. International Water Management Institute. Journal of Hydrology. p. 87–100
- Berti, A., Tardivo, G., Chiaudani, A., Rech, F. and Borin, M. (2014), “Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in North-Eastern Italy”, Agricultural Water Management, Vol. 140, pp. 20-25.
- Bethune. M, Selle. B, Wang, Q. (2008). Understanding and predicting deep percolation under surface irrigation. Journal of Water Resour. 15(4). 120-134
- Blaney, H.F., Criddle, W.D. (1950). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. In: USDA soil Conserv. Serv., SCS-TP-96, 44Pp.
- Dalton, J. ( 1802). Experimental essays on the constitutions 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.
- De Bruin, H.A.R., Keijman, J.Q. (1979). Priestley - Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. Journal of Appl. Meteorol. 18, 898-903.
- Djaman, K. Tabari, H. Blade, A.B. Diop. L, Futakuchi. K, Irmac. S, (2016). Analyses, calibration and validation of evapotranspiration models to predict grass-reference evapotranspiration in the Senegal river delta. Journal of hydrology: Regional studies, Vol.8, pp 82-94.
- Doorenbos, J. Pruitt, W.O. (1977). Crop water requirements. In: Irrigation and drainage paper 24. FAO. Rome (Revised).
- Farzanpour, H. Shiri, J. Sadraddini, A.A. Trajekovic, S. (2018). Global comparison of 20 reference evapotranspiration equations in a semi-arid region of Iran. Hydrology Research. doi: 10.2166/nh.2018.174.
- Feng, Y. Jia, Y. Cui, N. Zhao, L. Li, C. Gong, D. (2017). Calibration of Hargreaves model for reference evapotranspiration estimation in Sichuan basin of southwest China. Journal of Agricultural Water Management 181, 1–9.
- Fernandes, L.C. (2006) Avaliação de diversas equações empíricas de evapotranspiração. Estudo de caso: Campos dos Goytacazes e Ilha do fundão-RJ .f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.
- Ghamarnia. H. Lorestani, M. (2019). Evaluating the efficiency of temperature empirical based methods for estimating evapotranspiration in different climate conditions (case study of Iran). Water and Irrigation Management. Scientific Journal of Agriculture ,Vol. 8 , No. 2 , Autumn & Winter 2019. [In Persian]
- Hamon, W.R. (1961). Estimating potential evapotranspiration. Journal of Hydrol. Div. Proc. Am. Soc. Civil. 87, pp 107-120.
- Hansen, S., (1984). Estimation of potential and actual evapotranspiration. Nordic Hydrol. 15, 205–212, <http://dx.doi.org/10.2166/nh.1984.017>
- Hargreaves GL, Samani ZA (1985) Reference crop evapotranspiration from temperature. Appl Eng Agric 1(2):96–99
- Jensen, M.E., Haise, H.R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. Proc. Journal of. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 89(4), pp 203-205
- Joshani, A. Dastjerdi, J. Abyaneh, H. (2015). Evaluating Different Estimation methods of reference evapotranspiration with FAO Evaporation pan in both dry and Humid Climate of Caspian Sea Basin. Bull. Env. Journal ofPharmacol. Life Sci., Vol 4(2) 190-200
- Kaviani, A, Ebrahimi, M. Khosravi, L. (2015). omparison of Evaluation of Potential Evapotranspiration Potentials of Blany-Criddel and Modified Blany-Criddel with Lysimetric Data (Case Study: Borazjan), Second National Conference on Water, Human and Land, Isfahan.(In Farsi)
- Khoshravesh, M., Sefidkouhi, M. A. G., & Valipour, M. (2017). Estimation of reference evapotranspiration using multivariate fractional polynomial, Bayesian regression, and robust regression models in three arid environments. *Applied Water Science*, 7(4), 1911-1922.
- Landeras G. Ortiz-Barredo A and Lopez IJ, (2008). Comparison of artificial neural network models and empirical and semi-empirical equations for daily reference evapotranspiration estimation in the Basque Country (northern Spain). A Journal of gricultural Water Management 95:553-565
- Li, Sien. Kang, Shaozhong. Zhang, Lu. Zhang, Jianhua. Du, Taisheng. Tong, Ling. Ding, Risheng. (2016), Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid region. Journal of Hydrology, 543(5), pp. 450-461.
- Liu, X. Xu, C. Zhong, L. Yuan, X. Cao, J. 2017. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. Agricultural Water Management 184 (2017) 145–155
- Mahringer, W. ( 1970). Verdunstungsstudien am neusiedler see. Journal of Theor. Appl. Clim. 18(1), pp1-20.
- Makkink, G.F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. Journal of Int. Water Eng. 11, pp 277-288.
- Mc Cloud, D.E. (1955). Water requirements foe field crops in Florida as influenced by climate. Journal of Proc. Soil. Sci. Soc. Fla. 15, 165-172.
- Nazari, R. Kaviani, A. (2015). Evaluation of potential evapotranspiration and evapotranspiration methods with alisimeter values in a climate Semi-dry( Case Study: Qazvin Plain )J. Ecuhydrology.ir

Vol. 3. Pp:19-30. [In Persian]

- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andreassian, V., Anctil, F., Loumagne, C., 2005. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2-Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *J. Hydrol.* 303, 290-306.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Journal of Proc. R. Meteorol. Soc.* 193, pp 120-145.
- Penman, L.H., (1963). *Vegetation and Hydrology*. Tech. Comm. No. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, England., 125
- Perreira, L.S. Allen, R.G. Smith, M. Raes, D. (2014), Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future, *Agricultural water management*.
- Pooryazankhah, H. Razani Pour, T. Khaledian, M. Rezaee, M. (2011). Determining Appropriate Methods for Estimating Reference Evapotranspiration in Rasht Region. Third National Conference on Comprehensive Water Management. (In Farsi)
- Priestley CHB, Taylor RJ (1972) On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration using large scale parameters. *MonWeather Rev* 100:81-92
- Rahimi J, Ebrahimpour M and Khalili A (2013) Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*. 112(3-4): 409-418
- Ravazzani, G. Corbari, C. Morella, S. Gianoli, P. Moncini, M. (2012). Modified Hargreaves-Samani equation for the assessment of reference evapotranspiration in Alpine River Basins. *Journal of Irrig. Drain. Eng.* ASCE 138(7), 592-599.
- Romanenko, V.A. (1961). Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. In: *Proceedings, Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, No.3, Kiev*.
- Sabziparvar, A.A., Tabari, H. (2014). Regional Estimation of Reference Evapotranspiration in Arid and Semiarid Regions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 136, No. 10
- Schendel, U., (1967). *Vegetations Wasserverbrauch und Wasserbedarf*. Habilitation, Kiel, pp. 137
- Shiri, J. (2018). Improving the performance of the mass transfer-based reference evapotranspiration estimation approaches through a coupled wavelet-random forest methodology. *Journal of Hydrology* 561. pp737-750
- Shuttleworth, W.J., 1993. *Evaporation*. Handbook of Hydrology, DR Maidment, Ed
- Singh, V.P. Xu, C.Y. (1997). Evaluation and generalization of 133 mass transfer equations for determining free water evaporation. *Journal of Hydrol. Process.* 11, pp 311-323.
- Tanha Pour, M. Ahmadpari, H. Hajizadeh, M. Karami, A. (2015). Evaluation of Different Evaluation Methods of Reference Evapotranspiration Based on Penman Monteith FAO Method in Bushehr Province. *Future National Earth Observation Conference on Climate, Agriculture and Environment, Shiraz, Iran Modern Education Development Center*. [In Persian]
- Trabert, W. (1896). *Neue Beobachtungen über verdampfungsge schwindigkeiten*. *Meteorol. Z.* 13, 261-263.
- Trajkovic, S. (2007). Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *Journal of Irrig. Drain. Eng.* 133(1), 38-42.
- Turc, L. (1961). Water requirements assessment of irrigation, potential evapotranspiration: simplified and updated climatic formula. *Ann. Agronom.* 12, 13-49.
- Valiantzas, D.J. (2013a). Simplified forms for the standardized FAO-56 Penman-Monteith reference evapotranspiration using limited data. *Journal of Hydrol.* 505, 13-23.
- Valiantzas JD (2013b). Simple ET<sub>0</sub> forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. II: comparisons with reduced set-FAO and other methodologies. *J Irrig Drain Eng* 139(1):9-19
- Valipour M (2015b) Calibration of mass transfer-based models to predict reference crop evapotranspiration. *Journal of Applied Water Science*. doi: 10.1007/s13201-015-0274-2
- Valipour M (2015c) Analysis of potential evapotranspiration using limited weather data. *Applied Water Science*. doi: 10.1007/s13201-014-34-2
- Xu, C.Y. Singh, V.P. (2002). Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Journal of Water Resour. Manage.* 16 (3), pp 197-219
- Zhang, Q. Cui, N. Feng, Y. Jia, Y. Zhao, L. Gong, D. (2018). Comparative Analysis of Global Solar Radiation Models in Different Regions of China. *Journal of Advances in Meteorology* Volume 2018, Article ID 3894831, 21 pages
- Zorati pour, A. Soltani Mohammad, A. Zorati pour, A. 2018. Spatial and temporal monitoring of estimating evapotranspiration methods of reference crop (case study: Khozestan province). *J. Ecohydrology*. Vol 2, p. 478-465. (In Farsi)