

ارزیابی پنج مدل مختلف روش والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی: استان لرستان)

خشایار پیغان*^۱، شکور طافی^۲، زهرا میری^۲، امیر سلطانی محمدی^۳، میلاد پورمنصوری^۲

۱دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۲)

چکیده

تبخیر-تعرق گیاه مرجع و تخمین دقیق آن، نقشی اساسی در برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین دور آبیاری و نیز در مطالعات مربوط به مدل‌سازی بیلان آب هر منطقه ایفا می‌کند. روش والیانتراس یکی از جدیدترین روش‌ها جهت محاسبه تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد که از مزایای آن می‌توان به کاربرد ساده در واسنجی منطقه‌ای و کاربردهای هیدرولوژیکی اشاره کرد. در این مطالعه به منظور بررسی میزان دقت پنج مدل مختلف روش والیانتراس، تبخیر-تعرق مرجع ماهانه طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸، در نه ایستگاه هواشناسی استان لرستان (ازنا، الشتر، الیگودرز، بروجرد، پلدختر، خرم‌آباد، درود، کوه‌دشت و نورآباد) محاسبه و نتایج حاصله با روش مرجع FAO-56 مقایسه گردید. نتایج نشان داد بر اساس دو آماره RMSE و CRM، مدل والیانتراس ۲ بهترین عملکرد را داشت. آماره R^2 برای مدل والیانتراس ۴ در چهار ایستگاه برابر ۰/۹۶ بود و بر اساس این آماره، مدل والیانتراس ۴ بهترین عملکرد را در تخمین تبخیر-تعرق مرجع ثبت کرد. به تفکیک ایستگاه نیز، مدل والیانتراس ۴ در پنج ایستگاه و مدل والیانتراس ۲ در چهار ایستگاه، دقیق‌ترین عملکرد را ارائه نمودند و در نتیجه می‌توان مدل‌های والیانتراس ۴ و ۲ را برای کاربرد در استان لرستان پیشنهاد کرد. هم‌چنین در چهار ایستگاه مدل والیانتراس ۵، در چهار ایستگاه مدل والیانتراس ۳ و در یک ایستگاه مدل والیانتراس ۱ با ثبت ضعیف‌ترین عملکرد، نشان دادند که برای استفاده در استان لرستان مناسب نمی‌باشند. در مجموع علی‌رغم تخمین کم‌تر از حد در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع، هر پنج مدل روش والیانتراس نزدیکی قابل قبولی با روش FAO-56 داشتند و می‌توان نتایج حاصل از این روش را قابل اعتماد دانست.

کلمات کلیدی: استان لرستان، تبخیر-تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی گیاه، روش والیانتراس

۱ مقدمه

برآورد شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۹). از سویی دیگر، کشاورزی نقشی حیاتی در اقتصاد و امنیت غذایی کشور ایفا می‌نماید به نحوی که حدود ۱۰ درصد از تولید ملی و ۲۰ درصد نیروی کار کشور در گروهی کشاورزی است (نظریان و همکاران، ۱۳۹۹). استان لرستان با بیش از ۷۸۳ هزار هکتار اراضی کشاورزی، حدود ۴/۷ درصد از کل اراضی کشاورزی کشور را دربر گرفته است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۷). بر اساس پیش‌بینی‌ها، طی چهار دهه‌ی آینده خشکسالی در کشور از جمله در استان لرستان افزایش پیدا کرده و این استان شاهد تغییر اقلیم خواهد بود (رومیانی و همکاران، ۱۳۹۹).

ایران از نظر اقلیمی جزو کشورهای خشک و نیمه خشک قرار گرفته که به طور مشخص، حدود ۸۵ درصد وسعت آن را نواحی خیلی خشک، خشک و نیمه خشک فرا گرفته‌اند. بارندگی در ایران کم‌تر از یک سوم متوسط جهانی اما تبخیر بیش از سه برابر متوسط جهانی است (Ashraf et al., 2021). منابع آب تجدید شونده سالانه کشور حدود ۱۱۶ میلیارد مترمکعب می‌باشد که به طور متوسط حدود ۸۸/۸ میلیارد مترمکعب آن، معادل ۷۶/۵ درصد، در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد که راندمان متوسط آن حدود ۳۰ درصد

صحت‌سنجی شوند، دوم این که برخی از این مدل‌ها نیازمند به اطلاعات زیادی هستند که در همه ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شوند. معمولاً در سراسر دنیا از روش FAO-56 به عنوان دقیق‌ترین روش در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده لایسیمتری تحت شرایط آب و هوایی مختلف استفاده می‌کنند (Liu et al., 2017; Niaghi et al., 2013; Tabari et al., 2013; Trajkovic., 2007). اسعدی اسکویی و همکاران (۱۴۰۰) طی پژوهشی به ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج بر اساس داده‌های لایسیمتری در جلگه مرکزی گیلان پرداختند. کمیت‌های آب و هوایی مورد نیاز برای برآورد ETo به روش پنمن-مانتیث از خروجی مدل WRF حاصل شد. با توجه به اهمیت این کمیت‌ها در برآورد تبخیر و تعرق، چهار پیکربندی مختلف با استفاده از فیزیک تابش طول موج کوتاه و بلند، لایه سطحی و لایه مرزی برای مدل WRF انتخاب و ارزیابی شدند. در مرحله بعد، مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر و تعرق توسط لایسیمتر با مقادیر برآورده شده از خروجی‌های مدل (با به کارگیری ۴ طرح‌واره مختلف محلی و غیر محلی) مقایسه و تنظیمات بهینه مدل برای تخمین میزان تبخیر و تعرق مشخص شد. بر اساس نتایج پژوهش مذکور، کاربرد طرح‌واره مناسب در لایه سطحی و لایه مرزی مدل WRF بر دقت پیش‌بینی‌های تبخیر و تعرق تأثیر دارد. مدل والیانتراس یکی از جدیدترین روش‌ها برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌باشد. مزایای استفاده از روابط والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع شامل کاربرد ساده در واسنجی منطقه‌ای و کاربردهای هیدرولوژیکی می‌باشد (Steinman et al., 2010; Valiantzas., 2013 a; Valipour., 2015). اطلاعات زیادی برای حل معادله FAO-56 مورد نیاز است که در هر ایستگاه هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شوند و از طرفی در بسیاری از دشت‌های در حال توسعه ایستگاه هواشناسی وجود ندارد. بنابراین استفاده از مدل‌هایی که نیازمند اطلاعات هواشناسی کم‌تری هستند، برای مناطقی که نقص یا کمبود اطلاعات دارند، یک ضرورت به نظر می‌رسد. بدین منظور، تحقیقات زیادی انجام شده است که در آن‌ها سعی شده یک مدل ساده

مشکل اساسی در کشاورزی این استان، بحران آب است که موجب ایجاد پیامدهای منفی بر کشاورزی و محصولات تولیدی در این استان خواهد شد (رومیانی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی این استان از اهمیت بالایی برخوردار است. تبخیر-تعرق گیاه مرجع یکی از پارامترهای مهم چرخه هیدرولوژی می‌باشد و تخمین دقیق آن جهت مدیریت بهینه منابع آب لازم است. تبخیر-تعرق مرجع به مقدار تبخیر و تعرق از سطح وسیعی از زمین دارای پوشش گیاهی چمن با ارتفاع یکنواخت ۸-۱۵ سانتی‌متر که فعالانه در حال رشد با آب در دسترس مناسب است، اطلاق می‌شود (ملکشاهی و همکاران، ۱۳۹۸). تخمین میزان دقیق تبخیر-تعرق گیاه مرجع در برنامه-ریزی آبیاری، تعیین دور آبیاری و نیز در مطالعات مربوط به مدل‌سازی بیلان آب هر منطقه اهمیت فراوانی دارد. تبخیر-تعرق گیاه مرجع تابع عوامل مختلفی نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی است (Gundekar et al., 2008). تخمین بیش از حد آب مورد نیاز گیاه، ضمن هدر دادن آب آبیاری باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیر زمینی می‌شود. تخمین کم‌تر از حد مورد نیاز گیاه نیز باعث اعمال تنش رطوبتی به گیاه شده و در نتیجه کاهش محصول را در پی خواهد داشت (هژبر و همکاران، ۱۳۹۳). میزان تبخیر-تعرق را می‌توان به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری کرد. روش‌های مستقیم شامل انواع لایسیمترها (وزنی و زهکش‌دار) و بیلان رطوبت خاک بوده و روش‌های غیرمستقیم نیز شامل مدل‌های تجربی می‌باشد (Valiantzas., 2013 a). دقیق‌ترین روش تخمین تبخیر-تعرق، استفاده از لایسیمتر است اما کارگذاری آن هزینه‌های زیادی به دنبال دارد و از طرفی آمار این روش معمولاً در اختیار نمی‌باشد. مدل‌های تجربی بر اساس اطلاعات و شرایط جوی بوده و به سه گروه مدل‌های حرارتی، تشعشی و ترکیبی تقسیم می‌شوند (Djaman et al., 2015; Irmak et al., 2003; Oudin et al., 2005). این مدل‌ها، با وجود سادگی استفاده، دارای دو مشکل عمده می‌باشند؛ اول این که عمومیت ندارند و باید برای هر منطقه واسنجی و

مرطوب (رشت)، مدل دروگرز و آلن برآورد بهتر و نزدیک تری به روش FAO-56 داشتند.

ولی پور (۲۰۱۵) به بررسی عملکرد پنج مدل روش والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع برای شرایط مختلف آب و هوایی در ۳۱ استان ایران پرداخت و نتایج حاصل را با نتایج روش مرجع FAO-56 مقایسه کرد. در نتیجه‌ی این تحقیق، بهترین شرایط آب و هوایی برای استفاده از مدل والیانتراس دمای ۱۶ تا ۱۸ °C، رطوبت نسبی ۴۰ تا ۵۰٪، سرعت باد ۱/۵ تا ۲/۵ متر بر ثانیه و نیز تابش خورشیدی بیش از ۲/۴ مگاژول بر مترمربع بر روز اعلام شد. همچنین مدل والیانتراس ۱ برای مرکز و جنوب ایران (شامل ۹ استان) و مدل والیانتراس ۲ برای غرب، شرق و شمال ایران (شامل ۲۲ استان) پیشنهاد شد. مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) تحلیل مقایسه‌ای دقت پنج مدل مختلف رابطه والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع برای هفت ایستگاه هواشناسی شمال غرب کشور (شامل ارومیه، سلماس، مهاباد، تکاب، تبریز، سراب و مراغه) را در دستور کار قرار دادند. آن‌ها امکان کاربرد مدل والیانتراس به عنوان جایگزین روش FAO-56 را تایید کردند.

طافی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای بر روی ده ایستگاه هواشناسی استان مازندران، ۱۴ روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع از جمله پنج مدل مختلف روش والیانتراس را با روش FAO-56 مقایسه کردند. طافی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به ارزیابی روش‌های تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در سه دسته کلی مبتنی بر دما، تابش و انتقال جرم در استان لرستان پرداختند. آن‌ها اعلام کردند که در بین روش‌های مبتنی بر دما، روش هارگریوز سامانی، در بین روش‌های مبتنی بر تابش خورشید، روش مک کینگ و نیز در بین روش‌های مبتنی بر انتقال جرم، روش WMO بیش‌ترین نزدیکی به روش استاندارد FAO-56 و در نتیجه بهترین عملکرد را داشته‌اند. نامداریان و همکاران (۱۳۹۴) در نتیجه‌ی پژوهشی گزارش کردند که روش FAO-56 در برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در خرم آباد نسبت به روش لایسمتری، ۴/۸ درصد کم برآوردی داشته است. قمرنیا و مهری (۱۳۸۶) روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در استان لرستان را

با دقت قابل قبول در مقایسه با نتایج مدل FAO-56، معرفی شود. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش‌های یودر و همکاران (۲۰۰۵) و ایرماک و همکاران (۲۰۰۳) اشاره نمود که معادله تورک را در شرایط محدود بودن داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع در جنوب شرقی ایالات متحده آمریکا پیشنهاد کردند.

کیسی (۲۰۱۳) مقایسه‌ای بین روش‌های تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع از جمله روش والیانتراس انجام داد. نتایج این پژوهش که با استفاده از داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی در اقلیم مدیترانه‌ای ترکیه صورت گرفت، نشان داد که روش والیانتراس با داده‌های هواشناسی کامل، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های تجربی در سه ایستگاه مورد مطالعه ثبت کرده است. جمان و همکاران (۲۰۱۶) نیز روش‌های FAO-56 و والیانتراس را در شرایط کمبود داده برای هشت ایستگاه هواشناسی در مناطق ساحلی بورکینافاسو مورد بررسی قرار و اظهار داشتند که روش والیانتراس با روش FAO-56 به عنوان روش استاندارد، تطابق خوبی داشت. جمان و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیقی ۱۶ روش تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع شامل روش والیانتراس را در سنگال بررسی و با نتایج حاصل از روش FAO-56 مقایسه کردند. از سایر پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام گرفته است، می‌توان به پژوهش‌های یاکیموویسیوس و همکاران (۲۰۱۳)، آلموروکس و همکاران (۲۰۱۸) و لندراس و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. پیری و پوزن (۱۳۹۸) ارزیابی ۲۴ روش تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع از جمله پنج مدل مختلف روش والیانتراس در اقلیم‌های مختلف ایران را از طریق مقایسه با روش FAO-56 صورت دادند. بدین منظور داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) نه شهر کشور (شهر کرد، ارومیه، مشهد، زاهدان، بندرعباس، اهواز، گرگان، رشت و ساری) به کار گرفته شد. نتایج نشان داد در اقلیم‌های سرد و نیمه‌خشک (ارومیه)، سرد و معتدل (شهر کرد)، گرم و خشک (زاهدان)، سرد و خشک (مشهد) و نیز گرم و مرطوب (اهواز)، مدل مک کینگ اصلاح شده، در اقلیم گرم و مرطوب (بندرعباس)، مدل والیانتراس ۵ و در اقلیم‌های مدیترانه‌ای (گرگان)، نیمه مرطوب (ساری) و

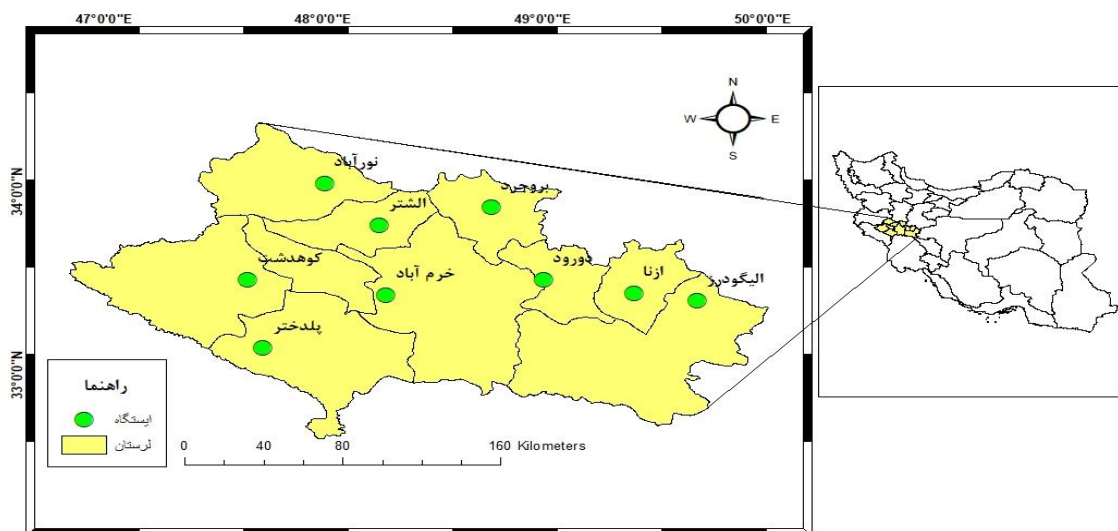
تبخیر-تعرق مرجع در استان لرستان و ارائه مدلی است که نتایج حاصل از آن، بیشترین تطابق را با نتایج روش استاندارد FAO-56، داشته باشد.

۲ مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه، شامل نه شهر استان لرستان می‌باشد. استان لرستان در جنوب غربی کشور، بین ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از نصف النهار مبدا واقع شده است. این استان با حدود ۲۸۳۰۸ کیلومتر مربع وسعت و بیش از ۱۷۶۰۰۰۰ نفر جمعیت، به ترتیب ۱/۷ و ۲/۲ درصد از مساحت و جمعیت کشور را شامل می‌شود. میانگین ارتفاع از سطح دریا در استان لرستان حدود ۲۲۰۰ متر می‌باشد در حالی که مرتفع‌ترین نقطه، قله اشترانکوه، ۴۰۸۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد (سعیدی‌راد و همکاران، ۱۳۹۹). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی نشان داده شده است. برای انجام تحقیق حاضر از داده‌های ماهانه هواشناسی نه

مقایسه کردند. از میان شش روش بررسی شده، در خرم آباد روش مکینگ و در بروجرد و الیگودرز روش FAO-56، به عنوان مناسب‌ترین روش معرفی شدند. رئوف و عزیزی مبصر (۱۳۹۶) مدل برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع را در دشت اردبیل با نتایج به دست آمده از لایسمتر و روش FAO-56 مقایسه نمودند و عملکرد مدل والیانتراس ۱ و ۲ را به عنوان یکی از ضعیف‌ترین روش‌ها گزارش کردند. جانی‌پور و همکاران (۱۳۹۳) در برآورد تبخیر-تعرق محصولات زراعی در دشت سیلاخور استان لرستان با استفاده از داده‌های طیفی، روش FAO-56 را به عنوان معیار دقت نتایج حاصل از داده‌های طیفی در نظر گرفتند.

با توجه به اهمیت فراوان تخمین تبخیر-تعرق در مدیریت منابع آب و در دسترس نبودن داده‌های لایسمتری در بسیاری از مناطق و اقلیم‌های مختلف ایران، ارزیابی دقت معادلات ارائه شده بر اساس منطقه و اقلیم می‌تواند اثر مطلوبی بر مصرف بهینه منابع آب داشته باشد. بنابراین هدف تحقیق حاضر، مقایسه دقت پنج مدل مختلف روش والیانتراس جهت برآورد



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعاتی در استان لرستان

است. میانگین پارامترهای هواشناسی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری مورد نظر در جدول شماره ۱ قابل رویت می‌باشد.

ایستگاه سینوپتیک استان لرستان شامل ازنا، الشتر، الیگودرز، بروجرد، پلدختر، خرم‌آباد، درود، کوهدشت و نورآباد استفاده شد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹). دوره آماری بررسی شده در این مطالعه، ۲۰ سال (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸) بوده

جدول ۱. میانگین پارامترهای هواشناسی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸

نورآباد	کوهدشت	دورود	خرم-آباد	پلدختر	بروجرد	الیگودرز	الشتر	ازنا	
۱۳/۰۲	۱۶/۵۸	۱۷/۰۲	۱۷/۱۸	۲۳/۳۲	۱۵/۰۹	۱۲/۶۱	۱۳/۷۱	۱۳/۱۲	میانگین دما (°C)
۱۹/۵۷	۲۴/۹۵	۲۲/۶۹	۲۵/۵۲	۲۹/۱۶	۲۱/۸۰	۱۹/۶۸	۲۲/۱۲	۲۰/۳۵	بیشینه دما (°C)
۴/۵۶	۷/۲۰	۹/۹۱	۸/۹۹	۱۶/۶۹	۸/۶۹	۶/۱۸	۳/۳۶	۵/۰۹	کمینه دما (°C)
۴۶/۷۶	۴۸/۰۶	۳۸/۵۸	۴۳/۱۱	۳۶/۳۸	۴۱/۶۰	۴۱/۶۷	۵۱/۶۰	۴۵/۶۱	رطوبت نسبی (%)
۳/۱۹	۱/۸۲	۳/۴۴	۲/۳۴	۲/۶۰	۳/۱۳	۴/۴۵	۱/۹۵	۲/۴۲	سرعت باد (m/s)
۲۵۴/۷۴	۲۶۲/۷۷	۲۵۸/۹۳	۲۵۴/۰۱	۲۵۶/۷۸	۲۵۶/۸۶	۲۶۶/۳۴	۲۵۵/۴۶	۲۶۰/۷۱	ساعات آفتابی (hr/month)

که در آن ET_0 تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($MJm^{-2}day^{-1}$)، T میانگین دمای ماهانه هوا ($^{\circ}C$)، G تراکم شار گرمای خاک (MJm^{-2})، U_2 میانگین سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (m/s)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، γ ضریب سایکرومتری ($kPa^{\circ}C^{-1}$) و Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع ($kPa^{\circ}C^{-1}$) می‌باشد (Allen et al., 1998). روابط مربوط به پنج مدل روش والیانتراس شامل والیانتراس ۱ (Val 1)، والیانتراس ۲ (Val 2)، والیانتراس ۳ (Val 3)، والیانتراس ۴ (Val 4) و والیانتراس ۵ (Val 5) (روابط ۲ تا ۶) در جدول شماره ۲ ارائه شده‌اند:

روابط تجربی برآورد تبخیر-تعرق مرجع با توجه به در دسترس نبودن داده‌های لایسمتری در منطقه مطالعاتی، به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل‌های مختلف روش والیانتراس، مقادیر تبخیر-تعرق مرجع ماهانه با استفاده از داده‌های ماهانه پارامترهای هواشناسی، توسط روش FAO-56 (معادله ۱)، محاسبه و به عنوان معیار سنجش در نظر گرفته شد.

$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

جدول ۲. معادلات مربوط به مدل‌های والیانتراس

معادله	منبع	مدل	شماره معادله
$ET_0 = 0.0393R_s \sum \sqrt{ T + 9.5 } - 2.4 \left(\frac{R_s}{R_a}\right)^2 - 0.024(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) + 0.066W_{aero}(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) U^{0.6}$	Valiantzas. 2013 c	Val 1 (Rs, T, RH, U)	(۲)
$ET_0 = 0.0393R_s \sum \sqrt{ T + 9.5 } - 0.19R_s^{0.6} \varphi^{0.15} + 0.048(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) U^{0.7}$	Valiantzas. 2013 a.b	Val 2 (Rs, T, RH, U)	(۳)
$ET_0 = 0.0393R_s \sum \sqrt{ T + 9.5 } - 2.4 \left(\frac{R_s}{R_a}\right)^2 - 0.024(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right) + 0.1W_{aero}(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right)$	Valiantzas. 2013 c	Val 3 (Rs, T, RH)	(۴)
$ET_0 = 0.0393R_s \sum \sqrt{ T + 9.5 } - 0.19R_s^{0.6} \varphi^{0.15} + 0.078(T + 20) \left(1 - \frac{RH}{100}\right)$	Valiantzas. 2013 a.b	Val 4 (Rs, T, RH)	(۵)
$ET_0 = 0.0393R_s \sum \sqrt{ T + 9.5 } - 0.19R_s^{0.6} \varphi^{0.15} + 0.0061(T + 20) (1.12T - T_{min} - 2)^{0.7}$	Valiantzas. 2013 b	Val 5 (Rs, T)	(۶)

میزان بیش برآوردی یا کم برآوردی تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد. FAO-56 توسط روش والیانتراس در مقایسه با روش واحد این آماره همواره مطابق با واحد پارامتر مورد بررسی نسبت پراکندگی بین مقادیر R^2 است (میلی متر بر ماه). آماره را نشان می‌دهد. FAO-56 حاصل از روش والیانتراس و روش نیز نشان‌دهنده تمایل مدل برای بیش برآوردی و CRM آماره FAO-56 یا کم برآوردی تبخیر-تعرق مرجع در مقایسه با روش نشان‌دهنده تخمین کم - CRM می‌باشد. مقادیر مثبت آماره 56 تر از حد و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده تخمین بیش از حد در صورتی که نتایج حاصل از روش والیانتراس با نتایج است برابر CRM و RMSE با هم برابر باشند، مقدار FAO-56 روش Hassanli et al., برابر یک خواهد شد (R^2 صفر و مقدار 2016).

به منظور تعیین دقت هر یک از پنج مدل روش والیانتراس، بر اساس مقدار شاخص‌های آماری در هر یک از ایستگاه‌ها، به مدل‌ها امتیاز بین ۱ تا ۵ داده شد. بدین نحو که دقیق‌ترین مدل در هر ایستگاه امتیاز ۵ و ضعیف‌ترین مدل امتیاز ۱ را دریافت کرد. در نهایت با تجمیع امتیازهای هر مدل، رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس هر یک از شاخص‌های آماری، مشخص گردید. هم-چنین بهترین و ضعیف‌ترین مدل در هر ایستگاه تعیین شد. تمامی محاسبات این مطالعه، در محیط نرم‌افزار اکسل انجام شده است.

۳ نتایج و بحث

نتایج تخمین تبخیر-تعرق مرجع ماهانه حاصل از پنج مدل روش والیانتراس با نتایج حاصل از روش FAO-56، به عنوان روش استاندارد، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این مقایسه که به کمک شاخص‌های آماری صورت گرفت در جدول شماره ۳ آورده شده است. مطابق جدول ۳ و بر اساس شاخص‌های آماری، تمامی پنج مدل روش والیانتراس عملکرد مناسبی در تخمین تبخیر-تعرق مرجع در ایستگاه‌های نه گانه مورد مطالعه ارائه نمودند. آماره RMSE از ۱/۳۷ میلی متر بر ماه برای مدل والیانتراس ۲ در ایستگاه ازنا تا ۷/۲۹ میلی متر بر ماه برای مدل والیانتراس ۵ در ایستگاه پلدختر ثبت گردید. آماره R^2 با ثبت

در روابط ۲ تا ۶: T_{min} حداقل دمای هوا ($^{\circ}C$)، T متوسط دمای ماهانه هوا ($^{\circ}C$)، RH رطوبت نسبی (%)، ϕ عرض جغرافیایی ایستگاه مورد نظر (rad)، Ra تابش فراجوی ($MJm^{-2}day^{-1}$)، U_2 میانگین سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین W_{aero} ، (m/s) فاکتور آیرودینامیکی در محاسبه تبخیر-تعرق مرجع که برای RH کم تر از ۶۵ درصد برابر ۱/۰۶۷ و در غیر این صورت برابر ۰/۷۸ در نظر گرفته می‌شود و R_s میزان تابش خورشیدی ($MJm^{-2}day^{-1}$) است (Valiantzas, 2013 a.b.c). شاخص‌های ارزیابی همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد رابطه FAO-56 مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع را با دقت بالایی محاسبه می‌نماید. بنابراین، این روش به عنوان روش استاندارد در نظر گرفته شد و مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع به دست آمده به وسیله پنج مدل روش والیانتراس با روش FAO-56 مورد مقایسه قرار گرفت. برای انجام این مقایسه، شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE, Root Mean Square Error Determination) ضریب تعیین (R^2 coefficient) و ضریب باقی مانده جرم (CRM, Coefficient of Residual Mass) محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. روابط مربوط به شاخص‌های آماری مورد استفاده در ذیل آورده شده است:

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

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \times \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

$$CRM = \frac{(\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (9)$$

مقدار تبخیر-تعرق مرجع O_i تعداد مشاهدات، n در روابط بالا مقدار تبخیر-تعرق برآورد P_i ، FAO-56 محاسبه شده با روش میانگین مقادیر \bar{O} شده با مدل‌های مختلف روش والیانتراس، \bar{P} و FAO-56 تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شده با روش میانگین مقادیر تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شده با مدل‌های نشان می‌دهد RMSE مختلف روش والیانتراس است. آماره

اعلام کردند. جمان و همکاران (۲۰۱۵) اعلام کردند که مدل والیانتراس، برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع در سنگال مناسب است. از منظر بیش برآوردی و یا کم برآوردی نیز آماره CRM به جز یک مورد برای مدل والیانتراس ۲ در ایستگاه ازنا، در تمامی موارد مثبت بود که نشان می‌دهد در تمامی موارد مدل‌های روش والیانتراس نسبت به روش مرجع FAO-56، در تخمین تبخیر-تعرق مرجع دچار کم برآوردی بوده‌اند. طافی و همکاران (۱۴۰۰) نیز تایید کردند که هر ۵ مدل روش والیانتراس، تبخیر-تعرق گیاه مرجع در استان مازندران را نسبت به روش مرجع FAO-56، کم‌تر برآورد کرده‌اند.

حداقل ۰/۸۴، برای مدل والیانتراس ۱ در ایستگاه پلدختر، حاکی از موفقیت نسبی تمام مدل‌های روش والیانتراس در تخمین تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد. آماره CRM نیز در حالت بیشینه برابر ۰/۷۴ محاسبه شد که مربوط به مدل والیانتراس ۳ در ایستگاه الشتر بود. بنتی احمد و همکاران اعلام کردند که هر شش مدل روش والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شبه جزیره مالزی، نزدیکی خوبی با روش FAO-56 نشان داده و R^2 بالای ۰/۹۰ را ثبت نموده‌اند (Binti Ahmad et al., 2019). پیری و پورزن (۱۳۹۸) نیز در مقایسه روش والیانتراس با روش FAO-56 در گرگان که همانند خرم‌آباد دارای اقلیم مدیترانه‌ایست، آماره RMSE را بین ۲/۱۴ تا ۴/۱۸

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های آماری پنج مدل مختلف روش والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع ماهانه

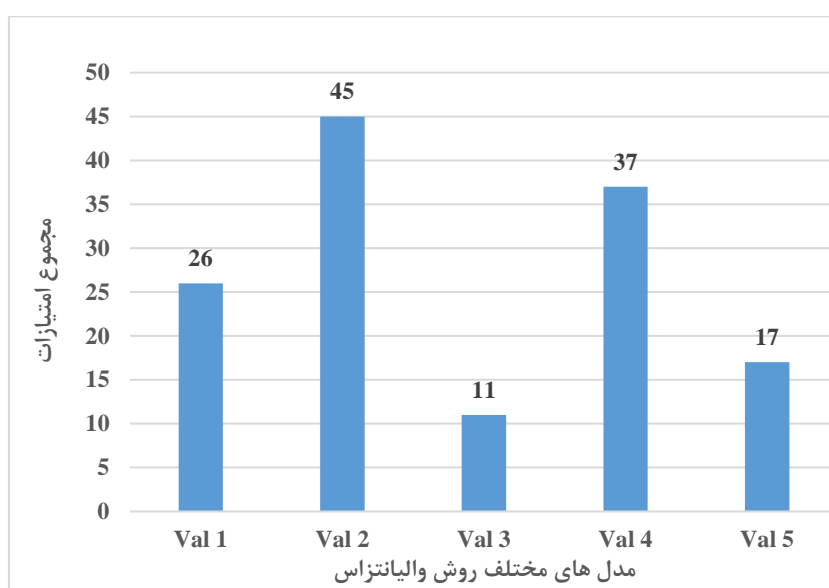
ایستگاه									شاخص	روش
نورآباد	کوه‌دشت	دورود	خرم‌آباد	پلدختر	بروجرد	الیگودرز	الشتر	ازنا		
۲/۷۸	۴/۷۰	۳/۵۸	۴/۷۴	۶/۲۵	۳/۲۶	۳/۹۵	۴/۱۳	۱/۷۱	RMSE (mm/month)	Val 1
۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۸۶	R^2	
۰/۵۲	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۵۹	۰/۶۵	۰/۳۰	CRM	
۱/۷۴	۳/۵۳	۲/۶۸	۳/۶۳	۵/۳۰	۲/۳۴	۲/۷۶	۲/۸۵	۱/۳۷	RMSE (mm/month)	Val 2
۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۶	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۸۶	R^2	
۰/۲۱	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۲۰	۰/۳۴	۰/۳۹	-۰/۰۹	CRM	
۳/۳۸	۵/۳۵	۴/۲۷	۵/۴۸	۷/۱۵	۳/۹۳	۴/۶۰	۴/۶۷	۲/۲۴	RMSE (mm/month)	Val 3
۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۲	R^2	
۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۴۷	CRM	
۲/۱۸	۴/۰۹	۳/۱۵	۴/۲۳	۶/۰۰	۲/۸۰	۳/۳۲	۳/۳۳	۱/۳۷	RMSE (mm/month)	Val 4
۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۱	R^2	
۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۰۸	CRM	
۲/۹۵	۴/۷۶	۴/۱۶	۵/۱۱	۷/۲۹	۳/۷۴	۴/۲۶	۳/۷۴	۲/۳۲	RMSE (mm/month)	Val 5
۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۸۷	R^2	
۰/۴۸	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۳۷	CRM	

بعدی قرار گرفتند. بر اساس آماره R^2 ، مدل والیانتراس ۴ با کسب ۴۲ امتیاز، دقیق‌ترین عملکرد را داشته و مدل والیانتراس ۳ نیز با ۴۱ امتیاز و فاصله‌ای اندک در جایگاه دوم قرار گرفته است. مدل‌های والیانتراس ۵، ۲ و ۱ به ترتیب رتبه‌های سوم تا پنجم را کسب کردند. بر اساس آماره CRM، مدل والیانتراس

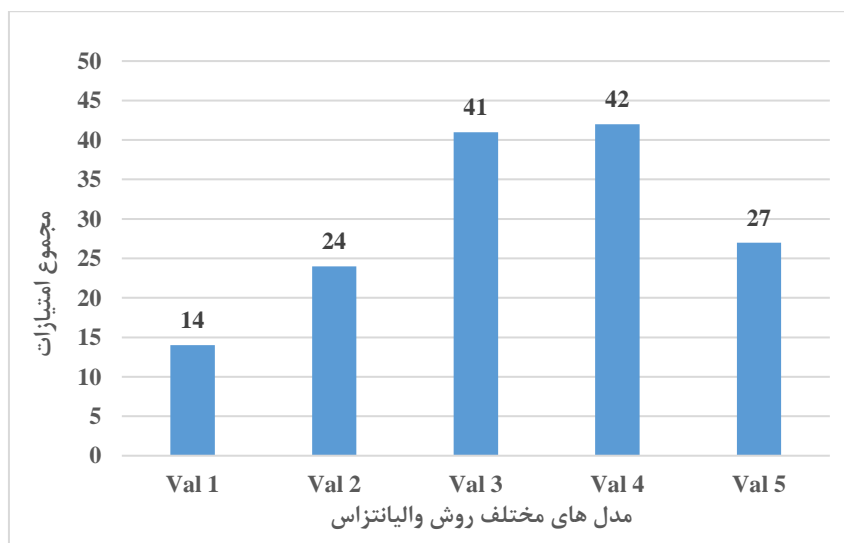
نتایج رتبه‌بندی مدل‌های روش والیانتراس بر اساس هر یک از آماره‌ها در شکل شماره ۲ آورده شده است. بر اساس آماره RMSE، مدل والیانتراس ۲ در تخمین تبخیر-تعرق مرجع، نزدیک‌ترین برآورد را نسبت به روش مرجع FAO-56 ثبت نموده است. مدل‌های والیانتراس ۴، ۱، ۵ و ۳ نیز در رتبه‌های

۲ با کسب بالاترین امتیاز، ۴۴ امتیاز، بهترین عملکرد را بین مدل‌های والیانتزاس برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع نمایش داد. مدل‌های والیانتزاس ۴، ۵، ۱ و ۳ به ترتیب در رتبه‌های بعدی جای گرفتند. ولی‌پور (۲۰۱۵) در ارزیابی مدل‌های مختلف روش والیانتزاس، مدل والیانتزاس ۴ را دقیق‌ترین مدل در استان لرستان گزارش کرد. مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی عملکرد پنج روش مختلف رابطه والیانتزاس شمال غرب ایران، نتیجه گرفتند که مدل والیانتزاس ۲ با R^2 برابر

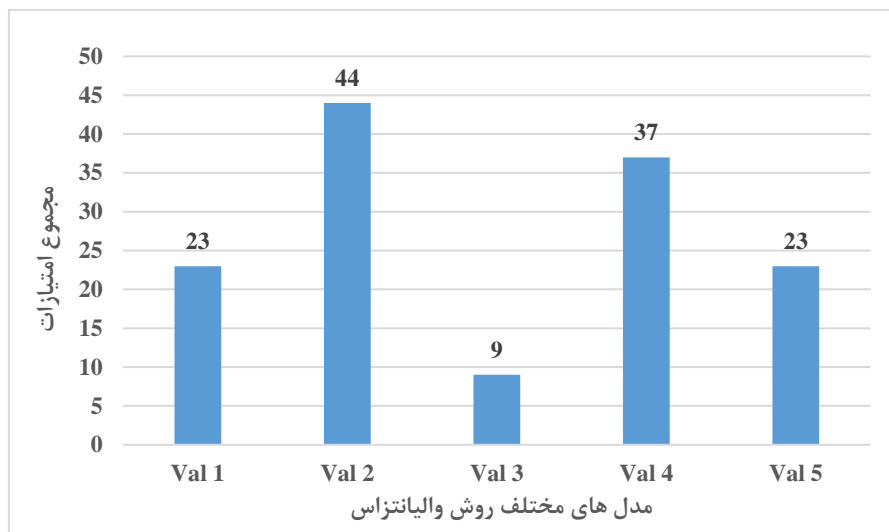
۰/۹۸۴ و RMSE برابر ۰/۵۱۲ میلی‌متر بر روز، بهترین مدل و مدل والیانتزاس ۵ با R^2 برابر ۰/۸۹۱ و RMSE برابر ۱/۲۲۸ میلی‌متر بر روز، ضعیف‌ترین مدل والیانتزاس در منطقه مورد مطالعه بوده است. طافی و همکاران (۱۴۰۰) نیز با مقایسه پنج مدل مختلف روش والیانتزاس با روش FAO-56 در استان مازندران اعلام کردند که مدل والیانتزاس ۴ در شش ایستگاه و مدل‌های والیانتزاس ۲ و ۵ هر کدام در دو ایستگاه بهترین عملکرد را ارائه نمودند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲. رتبه بندی مدل های والیانتراس بر اساس آماره های (الف) RMSE، (ب) R^2 و (ج) CRM

بهترین و ضعیف ترین مدل در هر ایستگاه، در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس مجموع آماره ها، در پنج ایستگاه مورد مطالعه، مدل والیانتراس ۴ و چهار ایستگاه، مدل والیانتراس ۲ بهترین عملکرد را ثبت نمودند. هم چنین مدل های والیانتراس ۵ و ۳ هر کدام در چهار ایستگاه و والیانتراس ۱ در یک ایستگاه ضعیف ترین عملکرد را نسبت به روش مرجع فائو نشان دادند.

جدول ۴. بهترین روش تخمین تبخیر-تعرق مرجع ماهانه مبتنی بر پنج مدل روش والیانتراس در ایستگاه های استان لرستان

ایستگاه	ازنا	الشتر	الگودرز	بروجرد	پلدختر	خرم آباد	دورود	کوهدشت	نورآباد
بهترین روش	Val 4	Val 2	Val 4	Val 2	Val 4	Val 2	Val 4	Val 4	Val 2
ضعیف ترین روش	Val 5	Val 1	Val 3	Val 5	Val 5	Val 3	Val 5	Val 3	Val 3

۱-۳- نتیجه گیری

ایستگاه مورد مطالعه، دارای کم برآوردی بودند. با این وجود، بر اساس آماره ها، نتایج حاصل از روش والیانتراس نزدیکی قابل قبولی با روش FAO-56 داشتند. بر اساس دو آماره RMSE و CRM، مدل والیانتراس ۲ و بر اساس آماره ضریب تعیین، مدل والیانتراس ۴ دقیق ترین عملکرد را در تخمین تبخیر-تعرق مرجع داشتند. هم چنین به تفکیک ایستگاه، مدل والیانتراس ۴ در پنج ایستگاه از نه ایستگاه مورد مطالعه، با نزدیک ترین نتایج نسبت به روش مرجع FAO-56، بهترین عملکرد را ارائه نمود و در نتیجه می توان استفاده از مدل والیانتراس ۴ را در ایستگاه های مورد مطالعه در استان لرستان پیشنهاد کرد. در چهار ایستگاه دیگر نیز مدل والیانتراس ۲

در این پژوهش، ارزیابی عملکرد پنج مدل روش والیانتراس جهت تخمین تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده های ماهانه نه ایستگاه هواشناسی استان لرستان شامل ازنا، الشتر، الگودرز، بروجرد، پلدختر، خرم آباد، دورود، کوهدشت و نورآباد صورت گرفت. این ارزیابی بر اساس میزان نزدیکی به روش مرجع FAO-56 و به کمک آماره های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تعیین (R^2) و ضریب باقی مانده جرم (CRM) انجام شد.

بر اساس نتایج، هر پنج مدل روش والیانتراس در تخمین تبخیر-تعرق مرجع نسبت به روش مرجع FAO-56، در هر نه

پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۴، شماره ۶، صفحات ۲۲۷ تا ۲۴۱.

سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۹، آمار و اطلاعات تهیه شده توسط سازمان هواشناسی استان لرستان.

سعیدی راد، م.، اسفرم، ی.، کرمی، ف. و قورچی، م.، ۱۳۹۹، تحلیل شکاف جغرافیایی شاخص های توسعه کشاورزی در استان لرستان، نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال اول، شماره ۱، صفحات ۳۱ تا ۴۴.

طافی، ش.، بلادی، آ.، سلطانی محمدی، ا. و پیغان، خ.، ۱۳۹۹، مقایسه و ارزیابی روش های تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع در سه دسته کلی مبتنی بر دما، تابش و انتقال جرم (مطالعه موردی: استان لرستان)، نشریه نیوار، دوره ۴۴، شماره ۱۱۰-۱۱۱، صفحات ۱۰۷ تا ۱۲۰.

طافی، ش.، پیغان، خ.، باقری خانقاهی، م.، صالحی پور باور صادت و سلطانی محمدی، ا.، ۱۴۰۰، ارزیابی چهارده روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی: استان مازندران)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۳، جلد ۱۵، صفحات ۵۱۰ تا ۵۲۰.

قمرنیا، ه. و مهری، ا.، ۱۳۸۶، مقایسه روشهای مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در استان لرستان، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.

ملکشاهی، ا. ا.، درزی نفت چالی، ع. و محسنی، ب.، ۱۳۹۸، تحلیل دقت معادله های برآورد تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس روزانه، ماهانه و فصلی در یک منطقه مرطوب، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دهم، شماره ۳۸، صفحات ۲۲۹ تا ۲۴۶.

مهدی زاده، س.، خشائی، ف.، بهمنش، ج. و دلیرحسن نیا، ر.، ۱۳۹۷، تحلیل مقایسه ی دقت پنج مدل مختلف رابطه والیانتراس در برآورد تبخیر-تعرق مرجع، مجله علوم مهندسی و آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۴۱، شماره ۳، صفحات ۱۱۹ تا ۱۳۲.

نامداریان، ک.، ناصری، ع.، ایزدپناه، ز. و ملک، ع.، ۱۳۹۴، مقایسه روش فایو پنمن مانیت و تشت تبخیر کلاس A با داده های لایسیمتری در برآورد تبخیر و تعرق گیاه نخود در منطقه

بهترین عملکرد را داشت. هم چنین در چهار ایستگاه مدل والیانتراس ۵، در چهار ایستگاه مدل والیانتراس ۳ و در یک ایستگاه مدل والیانتراس ۱ ضعیف ترین عملکرد را داشته و برای به کارگیری در استان لرستان توضیه نمی شوند. در مجموع می توان نتیجه گرفت که روش والیانتراس عملکردی قابل اتکا داشته و می تواند در مواردی که استفاده از روش های چون لایسیمتر و FAO-56 مقدور نیست، به عنوان جایگزین به کار گرفته شود. با توجه به نتایج به دست آمده، از میان مدل های مختلف روش والیانتراس، مدل های والیانتراس ۴ و ۲ برای استفاده در استان لرستان در اولویت می باشند.

۴ منابع

اسعدی اسکویی، ا.، محمدپورپنجاه، م.، گودرزی، ل. و شکوهی، م.، ۱۴۰۰، ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش بینی تبخیر و تعرق گیاه برنج بر اساس داده های لایسیمتری در جلگه مرکزی گیلان، نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی - پژوهشی)، سال یازدهم، شماره ۲، صفحات ۱ تا ۱۱.

پیری، ح. و پوزن، م. ط.، ۱۳۹۸، ارزیابی ۲۴ مدل تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم های مختلف ایران، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۳، صفحات ۶۱۱ تا ۶۲۲.

جانی پور، ح.، یوسفی فرد، ی. و متین فر، ح.، ۱۳۹۳، برآورد تبخیر و تعرق واقعی محصولات زراعی بر مبنای داده های طیفی و اقلیمی (مطالعه موردی: بخشی از استان لرستان)، دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

رومیانی، س.، غلامرضایی، س.، رحیمیان، م. و عارف نژاد، م.، ۱۳۹۹، بررسی راهکارهای مدیریت ریسک خشکسالی کشاورزی در استان لرستان با استفاده از تکنیک دلفی فازی، مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (علوم کشاورزی ایران)، دوره ۵۱، شماره ۱، صفحات ۶۵ تا ۷۹.

رئوف، م. و عزیزی مبصر، ج.، ۱۳۹۶، ارزیابی هیجده مدل تبخیر و تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی دشت اردبیل، نشریه

- Gundekar, H. G., U.M. Khodke., S. Sarkar and R.K. Rai, 2008, Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region, *Irrigation Science*, 26 (2): 169-175.
- Hassanli, M., H. Ebrahimian., E. Mohammadi., A. Rahimi and A. Shokouhi, 2016, Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP models, *Agricultural water management*, 176: 91-99.
- Irmak, S., A. Irmak., R.G. Allen and J.W. Jones, 2003, Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates, *Journal of irrigation and drainage engineering*, 129 (5): 336-347.
- Jakimavičius, D., J. Kriauciūnienė., B. Gailiūšis and D. Šarauskiene, 2013, Assessment of uncertainty in estimating the evaporation from the Curonian Lagoon, *Baltica*, 26 (2): 177-186.
- Kisi, O., 2013, Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140 (1): 04013002.
- Landeras, G., E. Bekoe., J. Ampofo., F. Logah., M. Diop., M. Cisse and J. Shiri, 2018, New alternatives for reference evapotranspiration estimation in West Africa using limited weather data and ancillary data supply strategies, *Theoretical and Applied Climatology*, 132 (3): 701-716.
- Liu, X., C. Xu., X. Zhong., Y. Li., X. Yuan and J. Cao, 2017, Comparison of 16 models for reference crop Evapotranspiration against weighing Lysimeter measurement, *J. Agric, Water Manage*, 184: 145-155.
- Niaghi, A. R., A. Majnooni-Heris., D.Z. Haghi and G. Mahtabi, 2013, Evaluate several potential evapotranspiration methods for regional use in Tabriz, Iran, *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 3 (6): 31-41.
- Oudin, L., F. Hervieu., C. Michel., C. Perrin., V. Andréassian., F. Anctil and C. Loumagne, 2005, Which potential Evapotranspiration input lumped rainfall simple efficient Evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling, *J. Hydrol*, 303: 290-306.
- Steinman, B.A., M.F. Rosenmeier., M.B. Abbott and D.J. Bain, 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): 2231-2245.
- Tabari, H., M.E. Grismer and S. Trajkovic, 2013, Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions, *Irrigation Science*, 31(2): 107-117.
- Trajkovic, S., 2007, Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions, *J. Irrig. Drain. Eng.* 133: 38-42.
- خرم آباد، مجله پژوهش های حبوبات ایران، جلد ۶، شماره ۱، صفحات ۹۲ تا ۹۹.
- نظریان، س.م.، زیبایی، م و شیخ زین الدین، آ.، ۱۳۹۹، ارزیابی پایداری سیستمهای کشاورزی با استفاده از رهیافت برنامه ریزی توافقی: منطقه کوهدشت لرستان، مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۳۴، شماره ۳، صفحات ۲۳۹ تا ۲۵۷.
- هژبر، ح.، معاضد، ه و شکرکی کوچک، س.، ۱۳۹۳، برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل های تجربی، مدل سازی آن با شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آنها با داده های لایسمتری در ایستگاه کهرئز ارومیه، علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال چهارم، شماره ۱۵، صفحات ۱۳ تا ۲۵.
- وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۷، آمارنامه کشاورزی. وزارت نیرو، ۱۳۹۹، توصیه های ساده برای مدیریت مصرف آب، دفتر مدیریت مصرف و ارتقای بهره وری آب و آبفا، صفحه ۵.
- Allen, R.G., L.S. Pereira., D. Raes and M. Smith, 1998, Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements, *FAO Irrigation and drainage paper* 56, FAO. Rome, 300(9), p.D05109.
- Almorox, J., A. Senatore., V. H. Quej and G. Mendicino, 2018, Worldwide assessment of the Penman-Monteith temperature approach for the estimation of monthly reference evapotranspiration, *Theoretical and applied climatology*, 131 (1): 693-703.
- Ashraf, S., A. Nazemi and A. AghaKouchak, 2021, Anthropogenic drought dominates groundwater depletion in Iran, *Scientific reports*, 11 (1): 1-10.
- Binti Ahmad, N. F. A., S. Harun., H. N. A. Hamed., M. Askari., Z. Ibrahim., M. N. Hanapi and M. H. Ali, 2019, INVESTIGATION ON THE VALIANTZAS'EVAPOTRANSPIRATION MODELS FOR PENINSULAR MALAYSIA, *Journal of Urban & Environmental Engineering*, 13 (1).
- Djaman, K., A. B. Balde., A. Sow., B. Muller., S. Irmak., M. K. N'Diaye ... and K. Saito, 2015, Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley, *Journal of Hydrology, regional studies*, 3, 139-159.
- Djaman, K., S. Irmak., I. Kabenge and K. Futakuchi, 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): 04016044.

- impact factor for Penman's aerodynamic term, *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1): 108-114.
- Valipour, M., 2015, Investigation of Valiantzas' evapotranspiration equation in Iran, *Theoretical and applied climatology*, 121 (1-2): 267-278.
- Yoder, R.E., L.O. Odhiambo and W.C. Wright, 2005, Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid southeast United States, *Applied Engineering in Agriculture*, 21 (2): 197-202.
- Valiantzas, J. D., 2013 a, Simple ET 0 forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. I: Theoretical development, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139 (1): 1-8.
- Valiantzas, J. D., 2013 b, Simple ET 0 forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. II: Comparisons with reduced set-FAO and other methodologies, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139 (1): 9-19.
- Valiantzas, J. D., 2013 c, Simplified reference evapotranspiration formula using an empirical