ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع و مقایسه آنها با داده‌های لایسیمتری، مطالعه موردی: ایستگاه اسلام آبادغرب

محمدامین پرندین[1*]، امیرحسین ناظمی[2]، سیدعلی اشرف صدرالدینی[2]

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران amin_parandin@yahoo.com

۲- استادگروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰

چکیده

برنامه‌ریزی آبیاری به منظور تعیین بیلان آب خاک و برآورد مصرف آینده آب بر پایه محاسبه یا اندازه‌گیری مقدار تبخیر-تعرق انجام می‌شود تا توسط آن بتوان زمان رسیدن به حد مجاز تخلیه را پیش‌بینی کرد. این پژوهش با هدف ارزیابی مدل‌های مختلف تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) درمنطقه اسلام آبادغرب انجام شده است. برای این منظور داده-های ماهانه ایستگاه سینوپتیک اسلام‌آبادغرب درطول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۶۵) استفاده شده است. پس از بازسازی داده‌های مفقوده و بررسی مرجع بودن ایستگاه، مقادیر ET_0 با استفاده از ۹ فرمول معتبر در نرم افزار-REF ET محاسبه شد. جهت تعیین مناسب‌ترین روش برای منطقه موردمطالعه، مقادیر ET_0 به‌دست آمده از روش‌های محاسباتی مذکور، بااستفاده از شاخص‌های آماری با داده‌های لایسیمتری مورد مقایسه قرارگرفت. نتایج نشان داد بین روش بلانی کریدل و داده‌های تشتک‌تبخیر ضریب همبستگی بالایی (۰/۹۹) وجود دارد و شاخص جذر میانگین مربعات خطا درروش تورک با مقدار ۲۲/۲ میلیمتر در روز و پس از آن بلانی کریدل با مقدار ۲۴/۴۲ میلیمتر در روز به ترتیب نشان دهنده اختلاف کم مقادیر حاصل از این مدل،ها با داده‌های لایسیمتری می باشد. راندمان یا کارایی مدل تورک بامقدار۰/۹۳ و بلانی‌کریدل با مقدار ۰/۹۲ نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر بود. با لحاظ مقدار کوچک میانگین درصد خطا درروش بلانی‌کریدل (۰/۰۱) مناسب بودن روش تائید گردید.

واژه های : روش بلانی کریدل، ضریب تعیین، ضریب همبستگی، مدل‌های تبخیر- تعرق

مقدمه

فرایند تبدیل آب به بخار را تبخیر گویند. تبخیر ممکن است از سطوح آزاد آب، از سطح مرطوب خاک و یا به‌صورت تعرق از سطح گیاهان صورت گیرد عوامل موثر بر تبخیر زیاد است که از جمله می توان به تابش خورشید، رطوبت نسبی، سرعت باد، شوری آب و سطح تبخیر اشاره کرد. (علیزاده، ۱۳۸۵) فرایند تبخیر- تعرق یکی از اجزای سیکل هیدرولوژی بوده و تعیین مقادیر صحیح آن برای بسیاری از مطالعات نظیر برآورد آب مورد نیاز گیاهان، توازن هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، سازه‌های انتقال و ذخیره آب، شبیه‌سازی میزان محصول و طراحی و مدیریت منابع آب از درجه اول اهمیت برخوردار است (شایان نژاد، ۱۳۸۵). درکشاورزی آب مورد مصرف زراعت به مجموع تبخیر از سطح خاک و مقدارآبی گفته می‌شود که توسط ریشه گیاه از خاک جذب می‌شود. اختلاف ET و CU تنها درمقدارآبی است که صرف فتوسنتز و انتقال مواد درداخل گیاه می‌شود و یا در ساختمان اسکلت گیاه بکار می‌رود. چون این مقدار در قیاس با تعرق بسیار ناچیز است. عملا ET_0 را با آب مورد مصرف در زراعت برابر درنظر می‌گیرند.

برآورد صحیح مقادیر تبخیر- تعرق مرجع، برنامه ریزان را قادر می‌سازد تا با مشخص کردن سقف نیازآبی، علاوه بر تامین بخشی از این نیاز از طریق بارش، به فکر تامین بقیه آب مورد نیاز ازسایر منابع‌آبی نظیر رودخانه‌ها، سدها و چاه‌ها باشند (مجرد و همکاران، ۱۳۸۳). در این راستا محاسبه تبخیر- تعرق مرجع بااستفاده از مناسب‌ترین مدل جهت محاسبه نیازآبی گیاهان مساله‌ای اساسی است (تفضلی، ۱۳۸۵). حال کدامیک از روش‌های موجود برای منطقه مورد مطالعه طرح مناسب است، جای سؤال دارد. اغلب این روش ها تحت واسنجی محلی به دست آمده‌اند و اعتبارجهانی محدودی دارند (آلن و پروت، ۱۹۹۱). پدیده تبخیروتعرق باعث تلفات آب و رطوبت از سطوح آبی، خاک و پوشش گیاهی شده و محاسبه آن از طریق روشی مناسب باتوجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب درایران از اهمیت زیادی برخورداراست. روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل دردوگروه تجربی و ترکیبی قرار می‌گیرند. در روش‌های تجربی اساس کار بر روی میزان فشار و دمای هوا قرار دارد و با استفاده از دمای محیط، تبخیر- تعرق پتانسیل محاسبه می‌گردد. درروش‌های ترکیبی برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل از دو فرایند توازن انرژی و آیرودینامیک استفاده می‌شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر- تعرق ارائه شده است که هریک تابع متغیرهای اقلیمی خاصی می‌باشند (کوچک‌زاده و نیکبخت، ۲۰۰۴).

در ایران مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق یونجه با مقادیر محاسبه شده در باجگاه فارس نشان داد که نتایج حاصل از روش پنمن اصلاح شده فائو از روش‌های دیگر به مقادیر لایسیمتری نزدیک‌تر است (سپاسخواه، ۱۳۷۵). انتصاری و همکاران (۱۳۷۵) تبخیر- تعرق مرجع را در چند منطقه از ایران به روش پنمن- مونتیث محاسبه نمودند و با دیگر روش‌های توصیه شده سازمان خواروبار جهانی (تشتک تبخیر، پنمن، پنمن اصلاح شده، تشعشع و بلانی کریدل) مورد مقایسه قرار دادند و قابلیت اتکا به روش پنمن- مونتیث را تحلیل نمودند (انتصاری، ۱۳۷۵). علیزاده و همکاران (۱۳۸۰) دقت برآورد مقادیر تبخیر- تعرق مرجع دراستان خراسان را با روش‌های هارگریوز- سامانی و تشتک تبخیر محاسبه کرده و به این نتیجه رسیدند که روش تشتک تبخیر علیرغم اینکه تابع داده‌های متعدد هواشناسی است، نتایج قابل قبولی در برآورد تبخیر- تعرق مرجع ندارد. حقیقت جو (۱۳۸۲) به منظور تعیین روش مناسب برآورد تبخیر- تعرق مرجع درمنطقه سیستان مقادیر تبخیر- تعرق مرجع ماهانه را بااستفاده از فرمول‌های تجربی لینکر، بلانی کریدل و هارگریوزسامانی محاسبه نموده و با مقادیر اندازه‌گیری شده بااستفاده از لیسیمتر در ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک مورد مقایسه قرار داد، نتایج نشان داد که فرمول‌های لینکر و پنمن برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع منطقه سیستان مناسب بوده و فرمول‌های بلانی- کریدل و هارگریوز- سامانی نیاز آبی منطقه را کمتر از حد معمول برآورد می‌کنند. درمطالعه‌ای دیگر، روش جنسن‌هیز وهارگریوز برای اقلیم‌های خشک ونیمه‌خشک پیشنهادگردید (ایرماک‌و همکاران، ۲۰۰۳). دهقانی سانیج و همکاران (۲۰۰۴) مدل پنمن -مانتیث و پنمن را به ترتیب برای یک نمونه اقلیمی، نیمه‌خشک درایران و اقلیم مرطوب درژاپن برمبنای مقادیر لایسیمتری معرفی کردند. ET_0 روزانه گیاه مرجع از روش‌های هارگریوز سامانی، ماکینگ، تورک و پاپاداکیس برای اقلیم‌های مختلف ایران براساس اقلیم نمای کوپن محاسبه گردید و با

روش استاندارد پنمن- مونتیث فائو مقایسه شد (کوچک‌زاده و نیکبخت،۱۳۸۳). نتایج آنان نشان داد که روش هارگریوز سامانی دراقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای؛ روش تورک دراقلیم‌های فراخشک، مرطوب و خیلی مرطوب نوع(ب)؛ و روش مکینگ در اقلیم خیلی مرطوب نوع (الف) مناسب است. درمقیاس ماهانه نیز روش هارگریوز سامانی دراقلیم‌های خشک بیابانی و نیمه-خشک؛ روش مکینگ دراقلیم‌های مدیترانه‌ای مرطوب، خیلی‌مرطوب نوع (الف)، خیلی مرطوب نوع (ب)، و روش تورک در اقلیم فراخشک مناسب تشخیص داده شد. دین پژوه (۲۰۰۶) براساس شاخص خشکی سه روش هارگریوز سامانی، لینیاکر و ترنت وایت اصلاح شده ET_0 درسطح ایران را مورد مطالعه قرار داد. وی برای غرب و شمال غرب کشور روش هارگریوز سامانی، برای شمال و شمال شرق روش ترنت وایت، و درمرکز و جنوب شرق کشور روش لینیاکر را پیشنهاد کرد. درعین حال محققان زیادی روش پنمن- مونتیث را به دلیل جامع بودن آن، به عنوان روشی مناسب در بیشتر مناطق دنیا پیشنهاد داده‌اند که حاصل آن درمطالعات سان وسونگ(۲۰۰۸)، رحیمی-خوب(۲۰۰۸)، گانگ وهمکاران(۲۰۰۶) ودیگران منتشر شده است. شهابی‌فر وهمکاران(۱۳۸۶) شش روش محاسبه ET_0را با داده‌های لیسیمتری درشرایط گلخانه‌ای ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که روش پنمن- مونتیث به ترتیب با جذر میانگین مربعات، قدر مطلق خطای نسبی و ضریب همبستگی برابر با ۱/۴۳ میلیمتر در روز، ۱۵ درصد و ۷۰ درصد از دقت بیشتری برخوردار بوده و روش بلانی‌کریدل اصلاح شده کمترین دقت را دارد (شهابی فرو همکاران، ۱۳۸۶).روش پنمن- مونتیث نیازمند داده های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و از آنجا که دربرخی ایستگاه‌های هواشناسی، دما تنها داده ثبت شده می‌باشد، بنابراین بررسی درجه دقت روش‌های تجربی که فقط به عامل دما نیازمند می باشد، ضرورت می‌یابد. حیدری و همکاران (۱۳۸۸) تحقیقی باعنوان بررسی تأثیر روش محاسبه، طول دوره حداکثر نیازآبی و سطوح احتمال در برآورد بهینه آب مورد نیاز گیاه درمنطقه همدان انجام دادند. دراین پژوهش بااستفاده از آمارواطلاعات ایستگاه سینوپتیک نوژه همدان مقدار ET_0 برای هرروز ژولینوسی ازسال درطول دوره آماری (۲۰۰۶-۱۹۷۷) با پنج روش بلانی‌کریدل، پنمن (۱۹۶۳)، پنمن- فائو۲۴، پنمن- مونتیث و پنمن- مونتیث فائو محاسبه شد. سپس با بکارگیری ضریب‌گیاهی گندم برای منطقه موردنظر مقادیر ET_Cمحصول گندم درطول دوره رشد به منظور بررسی اثر روش‌های بالا در میزان آب مورد نیاز گیاهان محاسبه گردید. دراین رابطه تاریخ شروع و خاتمه دوره‌های حداکثر نیازآبی گیاه بااستفاده از روش میانگین متحرک استخراج و منحنی‌های میانگین تبخیر-تعرق روزانه برای دوره‌های ۱ تا ۳۰ روزه حداکثر نیازآبی با احتمال وقوع‌های متفاوت با توجه به تاریخ به دست آمده ترسیم گردید. نتایج به دست آمده از منحنی‌های استخراج شده نشان داد در صورتی که طراحی سیستم آبیاری براساس میانگین ET_C گندم (طول دوره ۷روزه) با احتمال وقوع ۵۰ درصد و با روش‌های بلانی‌کریدل، پنمن-مونتیث فائو ، پنمن (۱۹۶۳)، پنمن‌فائو۲۴ و پنمن-مونتیث صورت پذیرد، ظرفیت سیستم جهت تأمین آب به ترتیب برای روش های بالا حدود ۱۲، ۱۰، ۱۸، ۱۴و ۱۵ درصد کمتر از حالتی خواهد بود که احتمال وقوع ۷۵درصد اعمال شده است. تجزیه و تحلیل مقادیر نیاز آبی گیاه در سطوح احتمالاتی بیشتر از۵۰ درصد نیز بیانگر این است که با افزایش

دوره‌های حداکثر نیاز آبی، مقدار میانگین نیاز آبی روزانه کاهش می‌یابد. همچنین برای یک دوره خاص با افزایش سطح احتمالاتی، میزان میانگین نیازآبی روزانه گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند (حیدری، ۱۳۸۸). زارع‌ابیانه وهمکاران (۱۳۸۹) ارزیابی و پهنه‌بندیET_0 در گستره کشور ایران و ارائه آن درقالب نقشه‌های پهنه‌بندی و هم تبخیر-تعرق (مرجع) به عنوان ابزاری اساسی برای مدیریت آب پرداختند. در این بررسی با گروه‌بندی مناطق هم اقلیم براساس اقلیم نمای یونسکو از میانگین‌های درازمدت متغیرهای اقلیمی ۹۱ ایستگاه هواشناسی و داده‌های لایسیمتر برای تعیین روش مناسب تخمین ET_0 استفاده شد. تبخیر-تعرق گیاه مرجع برمبنای اطلاعات اقلیمی هر یک از ایستگاه‌ها به کمک نرم افزار RefET به ۱۳ روش محاسبه شد. روش-های محاسباتی شامل هفت روش ترکیبی بر پایه روش پنمن، دو روش دمایی، سه روش تشعشعی-دمایی و یک روش تشعشعی بودند. مناسب‌ترین روش محاسباتی از بین۱۳ روش، در مقایسه با مقادیر تبخیر- تعرق لایسیمتری در هر اقلیم انتخاب شد. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ، میانگین درصد خطا (MBE) و ضریب تبیین (R^2) در ۹ ایستگاه لایسیمتری به ترتیب ۱/۱ میلی‌متر در روز، ۰/۲۳ میلیمتر در روز و ۰/۸۵ به دست آمد، که نشان دهنده دقت مناسب کار در گستره جغرافیایی کشور ایران بود. درنهایت هریک از روش‌های محاسباتی انتخاب شده، برای سایر ایستگاه‌های هم اقلیم فاقد مقادیر لایسیمتری مبنای برآورد ET_0 قرار گرفتند. نتایج نشان‌داد که روش‌های با پایه پنمن دراکثر مناطق ایران مناسب-ترین روش برای برآوردET_0 به شمار می‌آیند. درترسیم نقشه هم تبخیر-تعرق مرجع (ISOETo)و پهنه‌بندی آن براساس نقشه‌های توپوگرافی رقومی شده، اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و بهره‌گیری از نرم‌افزارهای Surfer و GIS براساس داده‌های ET_0 روزانه صورت گرفت. نتایج پهنه بندی به روش کریجینگ، نشان داد میزان ET_0 در ۲۳ درصد از سطح ایران که درمناطق مرتفع شمال کشور قراردارند، کمتر از ۴/۴۸ میلی‌متردرروز است و درمقابل ۷۷ درصد از سطح کشور در پهنه ET_0 بیش از این مقدار تا سقف ۱۰/۷۰ میلی‌متردرروز قرار دارد. تحقیقی توسط شاهدی (۱۳۸۹) به منظور مقایسه روش‌های تبخیر- تعرق و تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر- تعرق مرجع استان مازندران، روش ترکیبی پنمن- مونتیث فائو بعنوان مبنا درنظر گرفته شده ودقت روش‌های مختلف تجربی (بلانی- کریدل، تورنت- وایت، پنمن و هارگریوز- سامانی) براساس آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش بلانی- کریدل با کمترین میزان خطای استاندارد و بیشترین میزان همبستگی با روش پنمن- مونتیث فائو نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده ازدقت بیشتری در برآورد تبخیر- تعرق مرجع استان مازنداران برخوردار می‌باشد. همچنین در این تحقیق مشخص شد که از شرق به غرب استان مازندران از میزان تبخیر- تعرق مرجع کاسته شده است. طبق نتایج روش بلانی- کریدل مقدار تبخیر- تعرق مرجع استان را بطور متوسط ۵ درصد کمتر از روش پنمن- مونتیث فائو تخمین زده است و کمترین اختلاف را نسبت به روش مرجع دارا می-باشد. سالاریان و همکاران (۱۳۹۲) صحت شش روش تجربی محاسبه تبخیر- تعرق مرجع شهرستان اصفهان (روش تشعشعی فائو۲۴، بلانی- کریدل فائو، هارگریوز- سامانی، پریستلی- تیلور، مکینگ۱۹۵۷ و تورک) را درمقابل روش پرکاربرد پنمن- مونتیث فائو مقایسه کردند. به کمک نرم

افزار Ref-ET در دوره ۴۷ ساله (۱۹۶۸-۲۰۱۰) برای ماه‌های سرد وگرم سال که براساس متوسط دما به کمک نرم افزارSAS تقسیم‌بندی شده‌اند. محاسبات انجام شد. نتایج نشان داده دراکثر موارد این معادلات برای ماه‌های سرد سال کاربرد داشته که درآن به ترتیب استفاده از معادلات بلانی کریدل، مکینگ، تشعشعی، هارگریوز، تورک، تیلور به دلیل دارا بودن ضریب تبیین تعدیل یافته R^2 بزرگ‌تر (نزدیک به یک) خطای RMSE کمتر (نزدیک به صفر) و در نتیجه نسبت $R^2/RMSE$ بیشتر (بزرگ‌تر از یک)، جایگزین مناسب برای معادله پنمن- مانتیث فائو می‌باشند. برای ماه‌های گرم سال باتوجه به R^2 کم و خطای RMSE زیاد پیشنهاد می‌شود تنها از روش بلانی‌کریدل استفاده شود (سالاریان، ۱۳۹۲). سالیه و سندیل (۱۹۸۳) روش جنسن- هیز را برای کالیبره کردن روابط تجربی درمناطقی با اقلیم خشک مثل عربستان سعودی مناسب دانستند. آلن و پروت (۱۹۸۸) بعد ازارزیابی معادله پنمن گزارش کردند که بین تبخیر- تعرق اندازه‌گیری‌شده با لایسیمتر و برآوردهای روزانه از یک گیاه با ارتفاع ثابت و جزء مقاومت سطحی که با شاخص سطح برگ و تابش خالص روزانه تغییر می‌کند توافق خوبی دارد. ازآن زمان روش‌های دیگری نیز برای تخمین تبخیر- تعرق مرجع ارائه شده است. کمیته نیاز آبیاری انجمن مهندسان عمران آمریکا آب مورد نیازآبیاری را با ۲۰ روش به طور ماهانه درمناطق مختلف برآورد و با نتایج لایسیمتر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که روش پنمن‌مونتیث بهترین برآورد را دارد (جنسن و همکاران، ۱۹۹۰). در نشریه شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی، فائو برای کمک به کاربران با توجه به داده‌های موجود، چهار روش بلانی- کریدل، تابش، پنمن و تشتک تبخیر برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع ارائه شده است. در این نشریه پنمن به عنوان روشی که بهترین نتایج را با حداقل خطا نسبت به گیاه مرجع ارائه می‌کند، درنظرگرفته شده است. در یکسری مطالعات موازی جامعه تحقیقاتی اروپا نیز به برآورد روش‌های مختلف بااستفاده از داده‌های لایسیمتری پرداخت. نتیجه مطالعات نشان داد که معادله پنمن اصلاح شده مقدار تبخیر- تعرق را تا ۲۰ درصد بیشتر برآورد می‌نماید و سایر روش‌های پیشنهادی فائو نیز بسته به درجه انطباق آنها باشرایط محلی عکس‌العمل متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. درهردومطالعه روش پنمن- مونتیث به عنوان روشی که دارای دقت نسبی بالا و عملکرد ثابت بوده و با درجه احتمال بالا در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از تبخیر- تعرق را ارائه می‌کند. معرفی گردیده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸ ، اسمیت، ۱۹۹۳). آمیتیا و همکاران (۱۹۹۵) در یک تحقیق مشخص کردند که روش‌های تخمین تبخیر- تعرق پنمن- مونتیث نسبت به دیگر روش‌های معمول از یک پایه تئوریک قوی برخوردار می‌باشد، بنابراین نتایج قابل اعتمادی از کاربرد این روش بدست می‌آید.

کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خواربار جهانی (فائو) روش پنمن- مونتیث را به عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌های برآورد تبخیر- تعرق پیشنهاد نمودند (آلن و همکاران، ۱۹۸۸). گریسمر و همکاران (۲۰۰۲) درتحقیقی برای منطقه کالیفرنیا، مقادیر ضریب تشتک را با استفاده از معادلات تجربی ارائه شده، محاسبه نموده سپس مقادیر تبخیر- تعرق مرجع بدست آمده از روش تشتک را با مقادیر تبخیر- تعرق مرجع بدست آمده از روش استاندارد (پنمن- مونتیث فائو) مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند

که مقادیر ضریب تشتک بدست آمده از روش‌های آلن و پروت (۱۹۹۱) و اشنایدر (۱۹۹۲) نسبت به سایر معادلات فوق از دقت بالاتری برخوردار است. جاکوبز و همکاران (۲۰۰۲ و ۲۰۰۴) در مطالعه‌ای روی یک چمنزار مرطوب درفلوریدا نتیجه گرفتند که مدل پنمن- مونتیث کالیبره شده نتایج خوبی برای تبخیر- تعرق مرجع ارائه داده است ولی روش‌های پریستلی- تیلور و پنمن تبخیر- تعرق را بیشتر تخمین زده‌اند و همچنین روش‌های تورک و مکینک تقریبا به خوبی روش پنمن- مونتیث عمل کرده‌اند. سامنر و جاکوبز (۲۰۰۵) طی مطالعه‌ای روی یک مرتع آبیاری نشده در فلوریدا دریافتند که هر دو روش پنمن- مونتیث و پریستلی- تیلور اصلاح شده به پارامترهای واسنجی فصلی نیاز دارند. کاستاندا و رائو (۲۰۰۵) طی تحقیقی چهار روش برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل (تورنت- وایت، بلانی- کریدل، تورک و ماکینک) را درجنوب کالیفرنیا استفاده و باروش پنمن- مونتیث فائو مقایسه کردند. براساس بررسی‌های آماری صورت گرفته روش‌هایی که برای تخمین تبخیر- تعرق پتانسیل بهتر ترجیح داده شدند، بوسیله واسنجی مجدد آنها برای استفاده درجنوب کالیفرنیا توصیه شده‌اند.

برای محاسبه و برآورد مقدار تبخیر و یا تبخیر- تعرق مرجع روش‌های زیادی ابداع شده است. هر کدام از این روش‌ها پارامتر بخصوصی را برای تعیین یا برآورد تبخیر و یا تبخیر-تعرق منظور کرده اند. با توجه به پارامترهای بکار رفته در هرروش، آنها را می‌توان طبقه‌بندی کرد. جهت طبقه‌بندی روش‌ها و نظریه‌های مختلف وجود دارد از آن جمله، تقسیم بندی مربوط به کمیته تکنیکی نیاز آبیاری و زهکشی انجمن مهندسین امریکا (جنسن و همکاران، ۱۹۹۰) می‌باشد. ایشان تمام روش‌های تعیین تبخیر و یا تبخیر- تعرق را در دو دسته کلی به شرح ذیل تقسیم بندی کرده‌اند.

۱- اندازه گیری مستقیم

۲- تخمین بوسیله داده‌های هواشناسی

در این پژوهش از داده‌های بدست آمده از کشت گیاه مرجع چمن در لایسیمتر در منطقه اسلام آبادغرب برای محاسبه تبخیر- تعرق استفاده شد و مقادیر بدست آمده با این روش با ۹ روش محاسبه تبخیر- تعرق مرجع(روش‌های پنمن- مونتیث فائو، بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی، ماکینگ، تورک، روش استاندارد شده ASCE، کیمبرلی- پنمن، پنمن و پریستلی- تیلور) مورد مقایسه قرار داده شد.

هدف از انجام این تحقیق مقایسه روش‌های پنمن- مونتیث فائو، بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی، ماکینگ، تورک، روش استاندارد شده ASCE، کیمبرلی- پنمن، پنمن و پریستلی- تیلور برای محاسبه تبخیر- تعرق با آمار بدست آمده از داده‌های لایسیمتری و تعیین بهترین روش محاسبه تبخیر- تعرق برای منطقه اسلام‌آبادغرب بوده است.

مواد و روش‌ها

دراین پژوهش برای مطالعه تبخیر- تعرق منطقه اسلام آباد غرب ، از آمار۳۰ ساله میانگین ماهانه ، حداقل و حداکثر درجه‌حرارت، میانگین و حداقل- رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی اخذ شده از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اسلام‌آبادغرب واقع درطول جغرافیائی۴۸ درجه و۲۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی۳۴ درجه و۷ دقیقه شمالی استفاده شده است. جدول۱ میانگین آمار و اطلاعات هواشناسی۳۰ ساله استفاده شده در برآورد تبخیر- تعرق در منطقه اسلام‌آبادغرب می‌باشد.

جدول ۱- میانگین آمار و اطلاعات هواشناسی ۳۰ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۴)

متغیر	واحد	ماه‌های مختلف سال											
		فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
بارندگی	(mm)	۵۸/۱۵	۳۴/۱۴	۱/۷	۰/۸	۰/۲	۱/۸۹	۱۰/۳۵	۷۶/۴۱	۶۶/۴۵	۶۳/۱۷	۷۵/۲۶	۷۲/۴۲
روزهای بارانی	(day)	۹/۶۳	۷/۷۹	۱/۱۷	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۳۴	۲/۸۶	۸/۳۸	۹/۱۷	۹/۷۲	۱۱/۴۸	۱۰/۵۵
متوسط دما	(c)	۱۰/۷۷	۱۵/۴۶	۲۱/۵۷	۲۶/۶	۲۷/۱	۲۳/۲۲	۱۷/۳۶	۱۰/۴۲	۴/۸۵	۱/۵۸	۱/۵۲	۵/۶۸
حداکثر مطلق دما	(c)	۲۵	۳۰	۳۶/۰۸	۳۹/۹	۳۹/۸۶	۳۷/۷۸	۳۲/۲۹	۲۵/۲۸	۱۷/۹۸	۱۴/۱۵	۱۴/۵۵	۱۹/۹۷
حداقل مطلق دما	(c)	۳/۷۹-	۰/۸۶	۵/۵۲	۹/۹۱	۱۲/۲۳	۶/۹۷	۳/۹۸	۳/۴۴-	۸/۱۴-	۱۱/۸۱-	۱۲/۴۶	۱۰/۶۱-
متوسط رطوبت	(٪)	۵۸/۸۳	۵۳/۵۵	۳۸/۱۷	۲۸/۶۷	۲۷/۵	۲۹/۲۱	۳۸/۴۸	۵۹/۵۲	۶۵/۱	۷۱/۹۷	۷۱/۰۷	۶۳/۳۱
بیشترین رطوبت	(٪)	۸۳/۱۴	۷۷/۷۶	۶۰/۳۴	۴۴/۷۹	۴۳/۲۱	۴۵/۵۵	۵۷/۹۳	۸۲/۲۱	۸۸/۹۷	۹۱/۳۸	۹۱/۶۹	۸۸/۰۷
کمترین رطوبت	(٪)	۳۳/۸۳	۲۹/۶۲	۱۵/۹۷	۱۲/۶۹	۱۲	۱۲/۸۶	۱۸/۸۶	۳۶/۸۳	۴۵/۵۲	۵۲/۳۸	۵۰/۴۸	۳۷/۹۳
روزهای یخبندان	(day)	۷/۵۵	۰/۶۲	۰	۰	۰	۰	۰/۳۱	۷/۳۱	۱۸/۶۲	۲۳/۴۵	۲۳/۳۱	۱۷/۱
ساعات آفتابی	(hr)	۷/۵۴	۸/۶۹	۱۱/۲۳	۱۱/۶	۱۱/۱۹	۱۰/۷۱	۸/۸۳	۶/۸۲	۵/۶۳	۵/۲۵	۵/۶۶	۶/۵۴
سرعت باد غالب	(mps)	۴/۴۲	۴/۳	۴/۳۶	۴/۴	۴/۵۲	۴/۳۹	۴/۲۸	۳/۶۲	۳/۳۹	۳/۴	۳/۵۵	۴/۰۷

به منظور انجام محاسبات میزان تبخیر- تعرق مرجع از داده‌های لایسیمتری اندازه‌گیری شده گیاه مرجع چمن، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان اسلام‌آبادغرب استفاده شد. برای اجرای آن، یک‌دستگاه لایسیمتر زهکشدار به قطر ۱/۲ متر و ارتفاع ۱/۴ درنظر گرفته شده است که گیاه چمن که بعنوان مرجع مورد استفاده قرار گرفته است داخل آن کشت شد. لایسیمترها از جنس فلزی بود که داخل و خارج آن عایق بندی شد. جهت زهکشی نیز کف لایسیمتر تا ارتفاع ۱۵ سانتیمتری شن درشت و ریز ریخته شد و بقیه حجم آن توسط خاک زراعی و کود حیوانی پر شد. درطول فصل رشد، نیز کلیه عملیات زراعی مثل کوددهی و سم پاشی انجام شد. در طول دوره آب مازاد خارج شده از لایسیمتر با استفاده از لوله به داخل مخزن مجاور لایسیمتر ریخته شد و مقدار آن اندازه‌گیری شد. بافت خاک منطقه براساس آزمایش لومی-رسی بوده و میزان رطوبت آن در فاز ظرفیت زراعی خاک ۳۶/۵ درصد وزنی و چگالی ظاهری آن ۱/۳۱ گرم‌برسانتی-مترمکعب تعیین گردید. اندازه‌گیری مقدار آب موجود درخاک قبل از هرآبیاری در سه عمق توسط بلوک گچی انجام گرفت.

محاسبه تبخیر- تعرق در روش‌های ذکر شده به شکل زیر می باشد.

۱- روش پنمن

درسال ۱۹۴۸ پنمن- مدل خود را با استفاده از داده‌های استاندارد هواشناسی (ساعات آفتابی، درجه حرارت، رطوبت و سرعت باد) ارائه داد که صورت نهایی آن می‌تواند به شکل زیر نوشته شود (پنمن، ۱۹۴۸)

[۱]

$$\int ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}(R_n - G) + \frac{\gamma}{\gamma+\Delta}15.36(1+0.0062u_2)(e_z^o - e_z)$$

[۲]

$$\Delta = \frac{e_z^o - e_z}{T_0 - T_z}$$

که در آن Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع، e_s نسبت به درجه حرارت T $(kPaC_0^{-1})$ و γ ضریب رطوبتی (سایکرومتری) رابطه بین کمبود فشار بخار و اختلاف درجه حرارت دماسنج‌های تر و

خشک ($kPaC_0^{-1}$) و R_n تشعشع خالص ورودی ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و G شـــارگرمـــایی خـــاک ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و u_2 سرعت بـاد در ارتفـاع دو متری از سطح زمـین بـر حسـب $miles.day^{-1}$ و e^o_o فشار بخار آب اشباع درسطح تبخیر و e_z فشـار بخار آب در ارتفاع z و T_0 دمـا در سـطح تبخیـر و T_z دما در ارتقاع z است.

۲- روش هارگریوز و سامانی

هارگریوز و سامانی درسال۱۹۸۵ رابطه‌ای تعریف کرده اند که به مقادیر روزانه دمای حـداقل ، دمـای حداکثر و تابش خورشیدی برای محاسبه نیاز دارد و می تواند مقدار تبخیر- تعرق را بصـورت هفتگـی ، ماهانه ، ۲۴ ساعته و ۱۰ روزه محاسبه کنـد. معادلـه هارگریوز- سامانی به این صورت است (هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۵).

[۳]

$$ET_o = 0.0023 \times Ra \times (T_{max} - T_{min})^{0.5}(T_{mean} + 17.8)$$

کـه در آن T_{max} حـداکثر دمـای روزانـه هـوا و T_{min} حداقل دمای روزانه هوا و T_{mean} میـانگین روزانـه دمـا هـوا و R_n تشعشـع خـالص ورودی ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) است.

۳- روش تعدیل شده بلانی- کریدل که توسط دورینوس‌وپروت (۱۹۷۷) تغییر یافته است.

[۴]

$$ET_0 = a + b[p0.46T_{mean} + 8.13]$$

که درآن ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع برحسب میلی‌متردرروز (میانگین درطول ماه) و T_{mean} میانگین حرارت روزانه درماه مورد نظر بر حسب درجه سلسیوس و a وb ضرایب اقلیمی که بستگی به حداقل رطوبت نسبی هوا(RH_{min}) ، نسبت ساعات واقعی آفتابی (n) به حداکثر ممکن ساعات آفتابی (N) و سرعت باد در روز دارد ، است.

[۵]

$$a = 0.0043RH_{mean} - \frac{n}{N} - 1.41$$

[۶]

$$b = 0.908 - 0.00483RH\min + 0.7949 \times (\frac{n}{N}) + 0.0768[LnU_d + 1]^2 - 0.0038 \times RH\min(\frac{n}{N}) - 0.000433 \times RH\min \times (Ud) + 0.281Ln(U_d + 1)Ln(\frac{n}{N} + 1) - 0.00975 \times Ln(U_d + 1) \times \left[Ln(RH_{\min} + 1)^2 \times Ln(\frac{n}{N} + 1) \right]$$

۴- روش مک کینگ (آلن، ۲۰۰۰)

[۷]

$$ET_0 = 0.61\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\frac{R_s}{2.45} - 0.12$$

که در آن ET_0 تبخیر- تعـرق گیـاه مرجـع بـر حسب میلی متردرروز (میانگین در طـول مـاه) و R_s تابش خورشیدی ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و Δ شیب منحنی تغییـرات فشـار بخـار اشـباع (e_s) نسبت به درجه حـرارت (T) ($kPaC_0^{-1}$) و γ ضریب رطوبتی (سایکرومتری) رابطه بین کمبود فشار بخار و اختلاف درجه حرارت دماسنج‌هـای تر و خشک ($kPaC_0^{-1}$) است.

۵- معادله تورک

[۸]

$$ETo = a_T \times 0.013\frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15}\frac{23.8856 \times Rs + 50}{\lambda}$$

که درآن ET_0گیاه مرجع تبخیر- تعرق روزانه ($mm.d^{-1}$) و T_{mean} دمای متوسط روزانه (C) و a_T : ۱ برای $RH_{mean}>50\%$ و $a_T=1+(50-RH_{mean})/70$ برای $RH_{mean}<50\%$ و Rs تشعشع خورشیدی ($Mj.M^{-2}.d^{-1}$) و λ گرمای نهان تبخیر ($Mj.Kg^{-1}$) است.

۶- معادله پریستلی- تیلور

[۹]

$$ETo = a_T \times 0.013\frac{T_{mean}}{T_{mean} + 15}\frac{23.8856 \times Rs + 50}{\lambda}$$

ککه در آن R_n تشعشع خالص ورودی ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و G حریان حرارتی خاک ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و λ گرمای نهان تبخیر($Mj.Kg^{-1}$) و Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع (e_s) نسبت به درجه حرارت (T) ($kPaC_0^{-1}$) و γ ضریب‌رطوبتی(سایکرومتری) رابطه بین کمبودفشاربخارو اختلاف درجه‌حرارت دماسنج‌های تروخشک ($kPaC_0^{-1}$) است.

۷- روش پنمن کمبرلی

دراین روش همه واحدها، تعریف و شکل معادله همانند معادله اولیه پنمن- می‌باشد ولی ضرایب عملکرد باد (برای گیاه چمن) درطول سال تفاوت می‌کند و با استفاده از معادلات زیر تعیین می شود.

[۱۰]

$$a_w = 0.4 + 1.4\exp\left\{-\left[(D-173)/58\right]^2\right\}$$

[۱۱]

$$b_w = 0.007 + 0.004\exp\left\{-\left[(D-243)/80\right]^2\right\}$$

D شماره روز سال از اول ژانویه

۸- معادله استاندارد شده ASCE (آلن، ۲۰۰۰)

[۱۲]

$$ET_0 = \frac{0.408\left[\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{C_n}{T+273}U_2(e_s - e_a)\right]}{\Delta + \gamma(1 + C_a U_2)}$$

که درآن R_n تشعشع خالص ورودی و G حریان حرارتی خاک ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و T میانگین روزانه یا ساعتی دمای هوا در ارتفاع ۱.۵ تا ۲ متری ، U_2 سرعت باد درارتفاع ۲ متر و e_s , e_a فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب درهوا درارتفاع ۱.۵ تا ۲ متری بر حسب میلی‌بار، Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع (e_s) نسبت به درجه حرارت (T) و γ ضریب رطوبتی (سایکرومتری) رابطه بین کمبود فشار بخار و اختلاف درجه حرارت دماسنج‌های تروخشک و C_n ضریب صورت برای نوع گیاه و دوره زمانی محاسبه و C_d ضریب مخرج برای نوع گیاه و دوره زمانی محاسبه است.

۹- روش پنمن- مونتیث فائو

آلـن و همکـاران (۱۹۹۸) ، در نشـریه ۵۶ فـائو روش مذکور را بعنوان یک روش اسـتاندارد جهـانی معرفی می کند که به شکل زیر ارائه شده است.

[۱۳]

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

کـــه درآن R_n تشعشـــع خـــالص ورودی ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و G حریـان حرارتـی خـاک ($MJ\ m^{-2}day^{-1}$) و T میانگین روزانه یا سـاعتی دمای هوا در ارتفـاع ۱.۵ تـا ۲ متـری U_2 سـرعت بادردارتفـاع ۲ متـری و e_s , e_a فشـار بخاراشـباع و فشار واقعی بخارآب درهوا درارتفاع ۱.۵ تا ۲ متـری بر حسب میلی بار و Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع (e_s) نسبت به درجـه حـرارت (T) و γ ضریب رطوبتی (سایکرومتری) رابطـه بـین کمبـود فشار بخار و اختلاف درجه حرارت دماسنج‌های تر و خشک است.

اصلاح عامل دما برای شرایط غیرمرجع، اولـین اقدام برای تخمین مقادیر قابل اعتماد تبخیر- تعرق مرجع است. ایستگاه‌هـای هواشناسـی ایـران اغلـب درشرایط غیرمرجع واقع شده‌اند. اگرچه اصـلاح دمـا برای چنین محل‌هایی ضروری است ولـی بـه نظـر می‌رسد چنین اصلاحاتی در مطالعات تبخیر- تعـرق صورت نمی‌گیرد (دین پژوه، ۲۰۰۶). روش مذکور با رابطه زیر معرفی می‌شود

$$MDD = (T_d - T_n) > 2 \qquad [۱۴]$$

در رابطه فوق MDD = انحراف از نقطه شبنم (برحسب درجه‌سلسیوس) و Td = دمای نقطه شبنم (برحسب درجه سلسیوس) و Tn = دمای حداقل (برحسب درجه سلسیوس) است. چنانچه حاصل

رابطه فوق بیشتر از ۲ باشد، با استفاده از فرمول‌های مربوطه باید داده‌های دمایی اصلاح گردند. لازم به ذکر است که چون MDD<۲ منعکس‌کننده شرایط مرجع (خوب آبیاری شده) می‌باشد. لذا درشرایط MDD<۲ داده‌های دمایی اصلاح نمی-شوند (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۹).

به منظور آسان‌سازی مقایسه بین روش‌های مختلف و همچنین توانائی مقایسه آنها با داده‌های لایسیمتری از برنامه REF-ET که توسط آلن و همکاران (۲۰۰۰) دردانشگاه آیداهو نوشته شده است استفاده شد. این نرم‌افزار تبخیر- تعرق مرجع را می‌تواند به شکل ماهانه، روزانه، ساعتی و با متر محاسبه کند و توانائی دریافت انواع فرمت‌ها را دارا می‌باشد. در پژوهش حاضر از این نرم افزار جهت محاسبه تبخیر- تعرق مرجع استفاده شده است. جهت تعیین قابل اعتماد بودن مقادیر تبخیر- تعرق مرجع و بررسی مرجع بودن ایستگاه از رابطه (۱۴) استفاده شد. بررسی با استفاده از رابطه مذکور نشان داد که ایستگاه اسلام‌آبادغرب در شرایط مرجع واقع شده و نیازی به اصلاح عامل دما ندارد.

برای مقایسه کمی نتایج حاصله از مدل‌های مختلف بررسی شده و انتخاب بهترین روش محاسبه تبخیر- تعرق مرجع، آمار تشتک با داده‌های۹ روش بیان شده از شاخص‌های آماری همبستگی پیرسون، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، راندمان یا کارائی مدل (EF) ، میانگین درصد خطا (MAPE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شده است. محاسبه ضریب همبستگی با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت و پارامتر آماری جذر میانگین مربعات خطا بین داده‌های لایسیمتری و معادلات مختلف تعیین گردید. برای این منظور از رابطه‌های زیر استفاده شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(d_i)^2}{N}} \qquad [۱۵]$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i^m - X_i^c)^2}{\sum_{i=1}^{N}(X_i^m - \bar{X})^2} \qquad [۱۶]$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{N}\frac{(X_i^c - X_i^m)}{X_i^m}}{N} \qquad [۱۷]$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^{N}(X_i^c - \bar{X}^m)(X_i^m - \bar{X}^m))^2}{\sum_{i=1}^{N}(X_i^c - \bar{X}^m)^2(X_i^m - \bar{X}^m)^2} \qquad [۱۸]$$

در رابطه‌های فوق RMSE جذر میانگین مربعات خطا ، EF راندمان یا کارایی مدل ، MAPE میانگین درصد خطا ، R^2 ضریب تبیین ، di تفاضل بین روش لایسیمتری ، سایر معادلات ، X_i^m مقادیر روش لایسیمتری بعنوان مرجع ، X_i^c مقادیر مدل‌های مختلف، $\bar{X}$ میانگین مقادیر مدل‌های مختلف، X^m میانگین مقادیر لایسیمتری، N تعداد ماههایی که تبخیر- تعرق آن محاسبه می‌شود. مقدار RMSE نشان می‌دهد که نتایج هرکدام از مدل‌ها تا چه حد نسبت به مقادیر بدست آمده از لایسیمتر بیشتر یا کمتر تخمین زده شده‌اند. مقدارEF نیز نتایج هرکدام از مدل‌ها را با مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن که از لایسیمتر بدست آمده است مقایسه می‌کند و مقادیر مثبت این شاخص نشان می‌دهد که مقادیر مدل‌ها نسبت به مقادیر واقعی، قرابت دارد. و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم کارایی مدل‌های مورد استفاده در پیش‌بینی تبخیر- تعرق مرجع است. R^2 نشان‌دهنده بخشی از تغییرات کل می‌باشد که به وسیله رابطه خطی بین دو متغیر توجیه می‌شود.

نتایج و بحث

مقادیر تبخیر- تعرق مرجع محاسبه شده با روش‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است. میزان ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا بین روش‌های مختلف و داده‌های لایسیمتری اندازه گیری شده نیز در جدول ۳ ارائه شده است. در شرایطی که ضریب همبستگی بین روش ها و داده-

های لایسیمتری یکسان باشد، روشی انتخاب می‌شود که کمترین اختلاف را داشته باشد.

شاخص‌آماری ضریب‌همبستگی هرقدر به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده همبستگی بیشتر عوامل مقایسه‌شده می‌باشد لذا روش بلانی- کریدل با ضریب‌همبستگی۰/۹۹، نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد. شاخص جذرمیانگین‌مربعات خطا که نشان دهنده پراکندگی داده‌ها می‌باشد هرچه کمتر باشد نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن نتایج است لذا روش تورک با جذر میانگین‌مربعات‌اختلاف ۲۲/۲ و پس‌ازآن بلانی-کریدل با جذرمیانگین‌مربعات-اختلاف۲۴/۴۲ دارای شرایط مناسب‌تری هستند. راندمان مدل تورک با مقدار۰/۹۳ و بلانی-کریدل با مقدار۰/۹۲ نسبت به سایر مدل‌ها بیشتر بوده و مناسب‌تر می‌باشد و میانگین‌درصدخطا در روش بلانی- کریدل (۰/۰۱) و تورک (۰/۰۲) کوچک و معنادار نبود. ضریب تبیین نیز که یکی از مهمترین شاخص‌های آماری است نشان‌دهنده مناسب بودن روش بلانی-کریدل به میزان ۰/۹۸ درمقایسه با روش لایسیمتری است.

نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش بلانی-کریدل برای منطقه نتایج بسیار نزدیکی با روش پنمن- مونتیث اصلاح شده که روش استاندارد سازمان خواروبارجهانی است، دارد. حقیقت جو (۱۳۸۲) روش مناسب برآورد تبخیر- تعرق مرجع درمنطقه سیستان را روش‌های لینکر و پنمن دانسته و برآورد روش‌های بلانی کریدل و هارگریوزسامانی را کمتر از میزان تبخیر- تعرق منطقه دانستند.

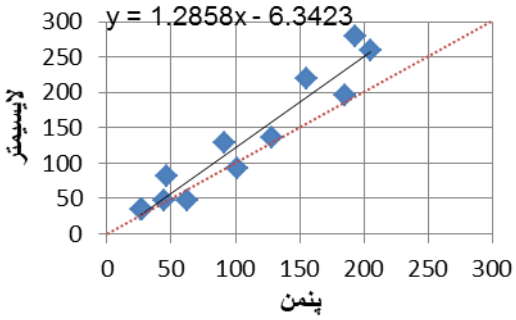
شکل ۱ مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق مرجع (mm) برآورد شده توسط روش‌های مختلف با مقادیر روش لایسیمتری می‌باشد.

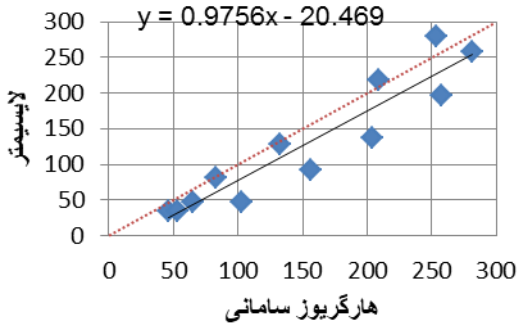
جدول ۲- مقادیر تبخیر- تعرق مرجع محاسبه شده با روش های مختلف

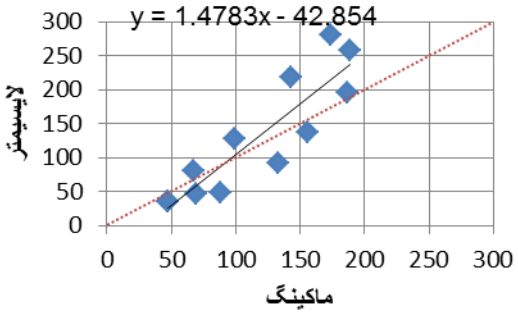
ماه	روش									
	پنمن	هارگریوز سامانی	بلانی کریدل	ماکینگ	تورک	پریستلی تیلور	پنمن کیمبرلی	ASCE	پنمن- مونتیث فائو	داده‌های لایسیمتری
دی	۲۶/۷	۴۶	۱۷	۴۶/۹	۱۴/۷	۶۷/۷	۲۹/۶	۵۵/۹	۵۶/۴	۳۴/۶۶
بهمن	۴۴/۸	۶۵/۱	۲۳/۹	۶۸/۹	۱۹/۶	۵۰/۶	۴۸/۳	۶۳/۹	۶۴/۵	۴۷/۱
اسفند	۶۲/۳	۱۰۳/۱	۵۷/۵	۸۷/۷	۶۴/۱	۵۱/۸	۶۹/۹	۸۶/۹	۸۷.۷	۴۷/۷
فروردین	۱۰۱/۶	۱۵۶/۸	۱۰۵/۵	۱۳۳/۲	۱۲۶/۲	۷۹/۵	۱۱۹/۶	۱۳۴/۸	۱۳۵.۸	۹۱/۶
اردیبهشت	۱۲۸/۲	۲۰۴/۱	۱۵۴/۸	۱۵۶/۲	۱۶۲/۲	۱۲۷/۳	۱۶۸	۱۴۰/۱	۱۴۱.۲	۱۳۶/۵
خرداد	۱۸۵	۲۵۷/۶	۲۴۸/۷	۱۸۶/۷	۲۳۶/۵	۲۰۳/۱	۲۷۹/۳	۱۸۰	۱۸۱.۵	۱۹۶/۲
تیر	۲۰۵/۸	۲۸۱/۶	۳۰۲/۸	۱۸۹/۲	۲۷۳	۲۶۶/۱	۳۴۸/۹	۲۰۴/۸	۲۰۶.۵	۲۵۸/۷
مرداد	۱۹۳/۳	۲۵۳/۳	۲۸۹/۲	۱۷۳/۹	۲۵۶/۴	۲۸۹/۳	۳۳۵	۱۹۳/۸	۱۹۵.۴	۲۷۹/۷
شهریور	۱۵۵/۱	۲۰۸/۶	۲۳۸/۴	۱۴۳/۱	۲۰۷/۶	۲۸۴/۵	۳۴۳/۹	۱۷۴/۵	۱۷۶	۲۱۸/۹
مهر	۹۱/۳	۱۳۳	۱۴۵/۱	۹۸/۷	۱۲۷/۸	۲۲۳/۸	۱۲۹/۸	۱۲۰/۶	۱۲۱.۸	۱۲۸/۱
آبان	۴۶/۶	۸۲/۵	۶۶/۵	۶۷/۷	۶۸/۸	۱۶۰/۹	۵۶	۸۵/۲	۸۶	۸۰/۷
آذر	۲۷/۴	۵۳/۵	۲۹/۹	۴۷/۲	۳۴/۶	۱۰۳/۶	۳۱/۸	۶۱/۶	۶۲.۲	۳۴/۶

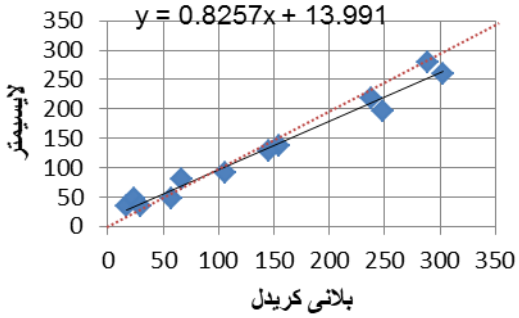
جدول۳- مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق مرجع با داده‌های لایسیمتری با روش های مختلف

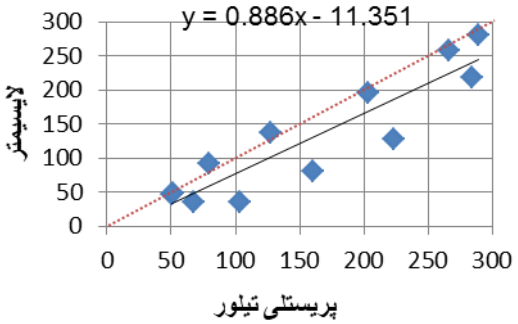
مدل	ضریب همبستگی	جذر میانگین مربعات خطا	راندمان یا کارایی مدل	میانگین درصد خطا	ضریب تبیین
پنمن	۰/۹۶۱	۳۸/۱۷	۰/۸۱	۰/۱۴	۰/۹۲
هارگریوز سامانی	۰/۹۳۶	۳۸/۵۴	۰/۸۱	۰/۳۲	۰/۸۷
بلانی کریدل	۰/۹۸۸	۲۴/۴۲	۰/۹۲	۰/۰۱	۰/۹۸
ماکینگ	۰/۸۸۹	۴۷/۷۸	۰/۶۹	۰/۰۹	۰/۷۹
تورک	۰/۹۷	۲۲/۲	۰/۹۳	۰/۰۲	۰/۹۴
پریستلی تیلور	۰/۹۱۲	۴۶/۷۳	۰/۷۳	۰/۴۲	۰/۸۳
پنمن کیمبرلی	۰/۹۸۲	۴۲/۴۷	۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۹۶
ASCE	۰/۹۶۲	۳۸/۱۶	۰/۸	۰/۱۹	۰/۹۳
پنمن- مونتیث فائو	۰/۹۶۲	۳۷/۷۱	۰/۸	۰/۲	۰/۹۳

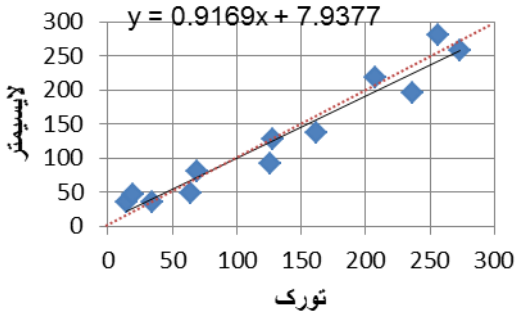


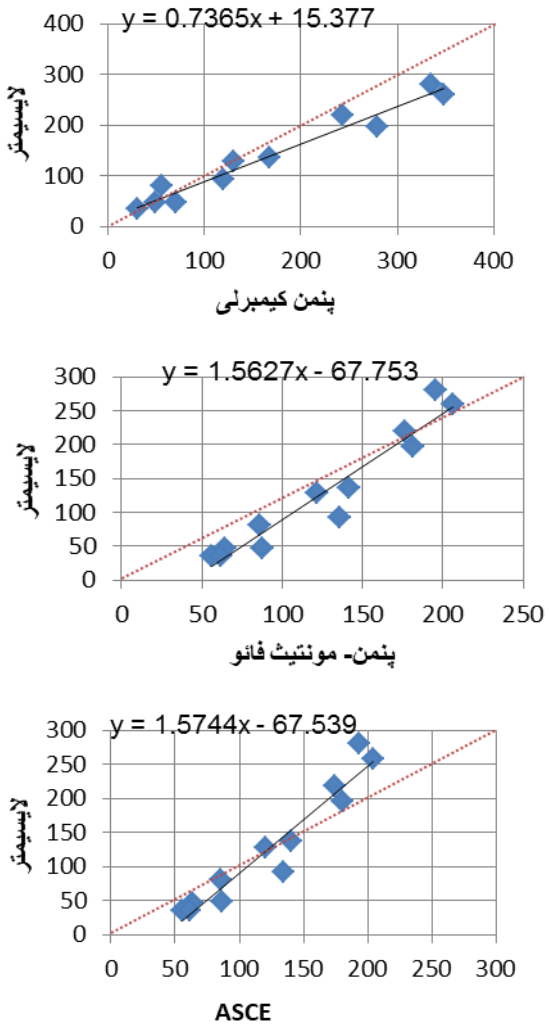



y = 1.4783x - 42.854
لایسیمتر
ماکینگ


y = 0.8257x + 13.991
لایسیمتر
بلانی کریدل


y = 0.886x - 11.351
لایسیمتر
پریستلی تیلور


y = 0.9169x + 7.9377
لایسیمتر
تورک



شکل ۱- مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق مرجع (mm) برآورد شده توسط روش‌های مختلف با مقادیر لایسیمتر

در مقیاس ماهانه نیز روش‌هارگریوز سامانی دراقلیم‌های خشک بیابانی و نیمه‌خشک؛ روش مکینگ دراقلیم‌های مدیترانه‌ای مرطوب، خیلی مرطوب و روش تورک دراقلیم فراخشک مناسب تشخیص داده شد. دین پژوه (۱۳۹۵) برای غرب و شمال غرب کشور روش‌هارگریوز سامانی، برای شمال و شمال شرق روش ترنت وایت، و درمرکز و جنوب شرق کشور روش لینیاکر را برای محاسبه تبخیر- تعرق مناسب دانست. زارع ابیانه وهمکاران(۱۳۸۹) نتایج روش‌های با پایه پنمن دراکثر مناطق ایران را مناسب‌ترین روش برای برآورد ET_0 دانستند. شاهدی و همکاران (۱۳۸۹) در استان مازنداران روش بلانی‌کریدل را مناسب-ترین روش دربرآورد تبخیر- تعرق مرجع دانستند. سالاریان و همکاران (۱۳۹۲) مناسب‌ترین روش برآورد تبخیروتعرق پتانسیل درشرایط کمبود داده هواشناسی در ماه‌های گرم وسرد سال در اصفهان را به ترتیب استفاده از معادلات بلانی کریدل، مکینگ، تشعشعی، هارگریوز، تورک، تیلور دانستند. جهانبخش و همکاران (۱۳۸۹) نیز روش بلانی

کریدل را جهت برآورد تبخیر- تعرق در حوضه جنوبی ارس مناسب ترین روش داستند. مطلوبیت روش بلانی‌کریدل برای منطقه اقلیم نیم خشکی چون مشهد و کرج به ترتیب درمطالعات علیزاده و میرشاهی (۱۳۸۰) و نساجی زواره و صادقی‌فر (۱۳۸۶) توصیه شده است، که با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر توصیه یک روش دما مبنا همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی:

بررسی‌های نتایج نشان دهنده این بود که در منطقه اسلام‌آبادغرب روش بلانی-کریدل که توسط دورینوس و پروت (۱۹۷۷) اصلاح شده است انطباق بیشتری با داده‌های روش لایسیمتری نشان داد. ضمنا تعداد پارامترهای هواشناسی موردنیاز جهت برآورد تبخیر- تعرق در روش بلانی-کریدل که یک روش تجربی است، از روش‌هایی که برپایه فیزیکی بنا شده کمتر بوده و برآورد آن در مناطقی که تعداد داده های هواشناسی محدودتر است آسان‌تر می-باشد.

به نظر می‌رسد روش‌هایی که در آن محاسبه تبخیر- تعرق بر اساس دمای محیط می‌باشد، در منطقه نتایج مطلوب‌تری نسبت به سایر روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق نشان می‌دهد و شاید بعلت دقیق تر بودن اطلاعات دمایی نسبت به سایر اطلاعات هواشناسی و یا وجود ریزگردها درمنطقه که برآمارواطلاعات هواشناسی مربوط به تابش- وتشعشع تاثیر می‌گذارد و به همین علت نتایج مربوط به روش‌های بلانی-کریدل، تورک و هارگریوز- سامانی از نتایج روش‌هایی مثل ماکینگ، پریستلی- تیلور، پنمن- کیمبرلی و حتی پنمن و پنمن- مانتیث فائو و ASCE به نتایج روش لایسیمتری نزدیک‌تر بود.

منابع مورد استفاده

۱. انتصاری م ، نوروزی م ، سلامت ع ، احسانی م ، توکلی ع، ۱۳۷۵. مقایسه روش پنمن- مونتیث با سایر روش‌های توصیه شده جهت محاسبه تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) در چند منطقه مختلف ایران. صفحه‌های ۲۲۷تا ۲۳۱. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، کمیته ملی آبیاری وزهکشی.

۲. بی‌نام، ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه، گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

۳. تفضلی ف، ۱۳۸۵، ارزیابی حساسیت مدل‌های برآورد ET_0 به تابش ورودی روزانه در شرایط اقلیمی همدان، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

۴. پورمحمدی س، دستورانی مت، مختاری م، رحیمیان م، ۱۳۸۹. تعیین و پهنه‌بندی ET_0 واقعی توسط فن سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی حوزه آبخیز منشاد در استان یزد)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران . سال چهارم، شماره ۱۳، صفحه‌های۲۱ تا ۳۰.

۵. حقیقت‌جو پ، ۱۳۸۲. تعیین روش مناسب برآورد تبخیر- تعرق مرجع درمنطقه سیستان، هشتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۷ و ۸ بهمن ماه ۱۳۸۲ ، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۶. رحیم زادگان ر، ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر–تعرق در منطقه اصفهان، مجله علوم کشاورزی ایران، شماره ۱ و ۲، جلد۲۲، صفحه‌های ۱ تا۹.
۷. زارع ابیانه ح، قاسمی ع ، احمدی م، ۱۳۸۶. تعیین مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع درمقایسه با روش‌های تجربی برای منطقه همدان، صفحه‌های ۲۱ تا ۲۸ ، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان، ۱۶ تا ۱۸ بهمن ماه ۱۳۸۶.
۸. سالاریان م، نجفی م، داوری ک، اسلامیان س، حیدری م، ۱۳۹۲. مناسب‌ترین روش برآورد تبخیروتعرق مرجع در شرایط کمبود داده هواشناسی در ماه‌های گرم‌وسرد سال (مطالعه موردی شهرستان اصفهان)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۸، صفحه‌های ۶۲ تا ۷۲.
۹. سپاسخواه ع، محمدی ا، ۱۳۷۵. تعیین تبخیروتعرق یونجه و کنجد به روش پنمن- مونتیث درمنطقه باجگاه، صفحه‌های ۲۱ تا ۳۱ ، ششمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۰ الی ۱۱ شهریور، دانشگاه کرمان.
۱۰. شاهدی ک، زارعی م، ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر- تعرق مرجع در استان مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال اول، شماره۲، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۱ .
۱۱. شایان نژاد محمد، ۱۳۸۵. مقایسه دقت روش‌های شبکه های عصب مصنوعی و پنمن- مونتیث در محاسبه تبخیر- تعرق مرجع، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری‌وزهکشی، ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۵، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
۱۲. شهابی‌فر م، عصاری م، کوچک‌زاده م، عزیزی‌زهان ع، ۱۳۸۶. ارزیابی شش روش محاسباتی تبخیر- تعرق مرجع با داده‌های لایسیمتری در شرایط گلخانه‌ای، اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای، موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، ۲۶ مهرماه.
۱۳. علیزاده ا، ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی، انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، مشهد.
مجرد ف، قمرنیا ه، نصیری، ش، ۱۳۸۳. مطالعه تطبیقی روش‌های برآورد تبخیر- تعرق مرجع در جلگه مازندران، نیوار، شماره ۵۴ و ۵۵، صفحه‌های ۷۷ تا ۹۵.
14. Allen RG and Pruitt WO, 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 117(5): 758-773.
15. Allen RG and Pruitt WO, 1988. Closure to rational use of the FAO Blany- Criddle formula. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 114(2): 375-380.
16. Allen RG Pereira LS Raes D Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
17. Allen RG, 2000. Manual REF-ET. Available Online at www.kimberly.Audaho.edu.
18. Alizadeh A and Mirshahi B, 2001. Assessment accuracy of hargirivz-samani and evaporation pan methods in calculated potential evapotranspiration in khorasan province synoptic stations. Journal of Scientific and Technical Meteorological Organization 42(43): 51-70.
19. Amatya DM and Skaggs RW and Gregory JD, 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Proc, Journal of Irrigation and Drainage Engineering 121(6): 427–435.

20. Castaneda L and Rao P, 2005. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in southern California. Journal of Environmental Hydrology, 13(2): 251–260.
21. Dehghani Sanij H and Yamamoto T and Rasiah V, 2004. Assessment of evapotranspitation estimation models for use in Semi-arid environments. Agriculture Water Management, 64: 91-106.
22. Dinpashoh Y, 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran, Agricultural Water Management 84: 123-129.
23. Doorenbos J, Pruitt. 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirement, Irrigation and drainage Paper 24 (Second Edition), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
24. Grismer M E Orang M Snyder R Matyac R, 2002. pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods, Journal Irrig and Drain Eng, ASCE, 128(3): 180-184.
25. Jacobs JM Anderson MC Friess LC and Diak GR, 2004. Solar radiation long wave radiation and emergent wetland evapotranspiration estimates from satellite data in florida, USA. Hydrological Sciences Journal 49 (3): 461–476.
26. Jensen ME Burman RD Allen RG, 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE manuals and report on engineering practices No70 , American Society of Civil Engineers, New York, ISBN 0-87262-763-2, 360p.
27. Kouchakzadeh M and Nikbakht J, 2004. comparison of different methods to estimate reference evapotranspiration in Iran different climate with PMFAO standard method, Agricultural Sciences,10(3)43-57.
28. Lin C Chao C and Chen w, 2008. estimation regional evapotranspiration by adaptive network-based fuzzy inference system for dan-shui basin in Taiwan, Journal of Chinese Institute of Engineering. 30(6): 1091-1096.
29. Salih AM and Sendil U, 1983. Evapotranspiration under extremely arid environment, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 110(3): 289–303.
30. Smith M, 1993. Climwat For CropWat A Climatic Database For Irrigation Planning And Management. FAO Irrigation and Drainage Paper, no. 49, Rome (Italy), 116 p.
31. Snyder R, 1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 118(6): 977–980.
32. Sumner DM and Jacobs JM, 2005. Utility of Penman–Monteith, Priestley– Taylor, reference evapotranspiration and pan evaporation methods to estimate pasture vapotranspiration. Journal of Hydrology, 308(4): 81–104.
33. Weiß M and Menzel L, 2008. A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. Advances in Geoscience 18: 15–23.

Evaluation of Different Estimation Methods of Reference Crop Evapotranspiration and Their Comparison with the Pan Evaporation Method case study: Islamabad-Gharb Area

Mohammad amin parandin[1*],Amirhosein Nazemi[2], Seyed Aliashraf Sadraddini[2]

1-Water Engineering Group, agriculture Department, Tabriz University,Tabriz,Iran
2-Professor of Water Engineering Group, Agriculture, Department University of Tabriz., Tabriz., Iran

Abstract

An irrigation planning is set in order to determining the soil water balance and estimation of the water future consumption based on the calculation or measuremant of the Evapotranspiration values, which providing a possibility for prediction of a real time that corresponding to the moisture index of management Allowed Deficit (MAD) in soil. This study was conducted for evaluation different reference evapotranspiration models in Islamabad-Gharb area. for this purpose, the monthly data of Islamabad-Gharb synoptic Meteorology stations during a period of 30-year (1394-1364)were used. After restruction of the missed data and verification of the reference stations, values of the evapotranspiration were calculated with 9 valied formulas using REF-ET software. In order to determine the best method, the output values of the models were compared with evaporation pan data, using some statistical criterio. According to the results, the highest correlation coeficient (r=0.99) was obtained between the output data of the Blaney-Cradle model and evaporation pan. Also the minimum root mean square error (RMSE) values of 22.2 (mm/day) and 24.42 (mm/day) were belogend to the models of torque and Blaney- Cradle, respectively. Furthermore the highest efficiency (EF) value(0.93) was obtained for the both models of Blaney- Cradle and torque. Hence by considering the resulted minimum mean percentage error (MAPE) value (0.01) for Blaney-Cradle, this model was proposed as the most suitable model for application in the studied area.

Keywords: Blany-cridle method, The determination coefficient, The correlation coefficient, Evapotranspiration models