نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۶ / شماره ۴/ ۱۴۰۱
10.22092/jwra.2023.360244.950

تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی گیاه کینوا به روش لایسیمتری در دشت بیرجند

فرزانه گلستانی‌فر[1]، عباس خاشعی سیوکی و سهراب محمودی

دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.**Farzane.golestanifar@yahoo.com**

استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.**Abbaskhashei@birjand.ac.ir**

دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.**Smahmoodi@birjand.ac.ir**

دریافت: مهر۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای محاسبه‌ی نیاز آبی در راستای برنامه‌ریزی کشاورزی برای محصولات مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است. بدین منظور در پژوهش حاضر، برای تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی کینوا به روش لایسیمتری، از سه لایسیمتر زهکش‌دار از جنس پلی‌اتیلن و کاملاً آب‌بندی شده با قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده گردید. بذور کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در تاریخ هفت اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹ با احتساب ۶۰ بوته در مترمربع به عنوان تراکم مطلوب، کشت شد. میزان رطوبت خاک با دستگاه TDR و آب خروجی زهکش در هر لایسیمتر قبل از آبیاری اندازه‌گیری گردید. به منظور سنجش تبخیر و تعرق مرجع از معادلات پنمن- مانتیث، بلانی- کریدل (مبتنی بر درجه حرارت) و پریستلی- تیلور (مبتنی بر تشعشع) استفاده شد. نتایج نشان داد که مجموع میزان تبخیر و تعرق مرجع در طول فصل رشد به روش پنمن- مانتیث (ETo) ۷۲۰ میلی‌متر، به روش بلانی-کریدل، ۵۸۱ میلی‌متر و به روش پریستلی- تیلور ۷۵۴ میلی‌متر بود و مجموع تبخیر و تعرق گیاه کینوا (ETc) با روش لایسیمتری، ۵۵۳ میلی‌متر محاسبه شد. همچنین مقدار ضریب گیاهی کینوا (Kc) در مرحله اول (دوره ۲۱ روزه)، مرحله دوم (دوره ۲۶ روزه)، مرحله سوم (دوره ۳۸ روزه) و مرحله چهارم رشد کینوا (دوره ۳۴ روزه) در روش پنمن- مانتیث به ترتیب برابر با ۰/۴۲، ۰/۶۶، ۱/۰۳ و ۰/۷۱، در روش بلانی- کریدل به ترتیب ۰/۵۴، ۰/۸۸، ۱/۲۸ و ۰/۸۲ و در روش پریستلی- تیلور به ترتیب ۰/۴۰، ۰/۶۲، ۰/۹۷ و ۰/۶۸ بود. نتایج نشان می‌دهد که روش پنمن- مانتیث به عنوان بهترین روش، می‌تواند ملاکی برای تعیین ضریب تبخیر و تعرق مرجع در منطقه قرار گیرد ولی روش بلانی- کریدل نیاز به واسنجی در منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: روش پنمن- مانتیث، روش بلانی- کریدل، روش پریستلی- تیلور، بیلان آبی

---

[1]- آدرس نویسنده مسئول: گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

مقدمه

تولید محصولات در بخش کشاورزی نیازمند منابع فراوان آب است و با توجه به ثبات منابع تجدیدشونده آب در جهان، تأمین آب به‌عنوان یکی از مشکلات اساسی برای بشر بوده است (سلجوقی و همکاران،۱۴۰۰ به نقل از رضایی و منتظری، ۲۰۰۸). با توجه به محدود بودن منابع آب و بالا بودن میزان تبخیر، مسئله بحران آب یکی از عمده‌ترین مسائل در کشور است. لذا یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین راهکارهای مقابله با بحران آب در کشور مدیریت صحیح آبیاری در کشاورزی می‌تواند باشد. بر این اساس شناخت صحیح از فرآیند آبیاری و مدیریت بهینه آن، ضروری به نظر می‌رسد (حقیقی، ۱۳۹۲).

برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای محاسبه‌ی نیاز آبی در راستای برنامه‌ریزی کشاورزی برای محصولات مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است (امامقلی زاده مینایی، ۱۳۸۵). نیاز آبی را به دو جزء می‌توان تقسیم نمود، قسمتی از آن صرف تبخیر از سطح خاک شده و بخش دیگر به‌صورت تعرق از سطح برگ وارد اتمسفر می‌شود (هاشمی-زاده، ۱۳۸۵). محاسبه دقیق نیاز آبی مستلزم استفاده از روشی دقیق در برآورد تبخیر و تعرق گیاه است. دقیق‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق گیاه (ET_c)، اندازه‌گیری مستقیم آن با استفاده از لایسیمتر است. از طرفی عمومی‌ترین روش برای برآورد نیاز آبی هر گیاه، حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) در ضریب گیاهی مربوط به گیاه موردنظر (K_c) است؛ ضریب گیاهی عاملی برای لحاظ نمودن خصوصیات گیاه از قبیل مساحت سطح برگ، ارتفاع بوته، درصد پوشش سبز و مقاومت تاج گیاه است (دورنبوس و پرویت، ۱۹۷۷). محمدی و همکاران (۱۳۹۹) به تعیین ضرایب گیاهی گل نرگس به روش لایسیمتری در دشت بیرجند پرداختند و گزارش نمودند که مقادیر مربوط به ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد شامل مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و مرحله انتهایی، به ترتیب برابر ۰/۹۱، ۱/۱۳، ۱/۱۱ و ۰/۹۶ بود. قوام-سعیدی و همکاران (۱۳۹۹) نیز به برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد را در ایستگاه لایسیمتری بیرجند پرداختند و بیان نمودند که طول مراحل مختلف رشد گیاه شامل مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۳۰، ۵۵، ۷۵ و ۲۰ روز و همچنین مقادیر ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل چهارگانه رشد گیاه به ترتیب برابر ۰/۲۸، ۰/۶۸، ۱/۰۱ و ۰/۵۴ بود. علی‌آبادی و همکاران (۱۴۰۰) در بررسی ضریب گیاهی خاکشیر به روش لایسیمتری در شهرستان بیرجند گزارش نمودند که ضریب گیاهی منفرد برای چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب برابر ۰/۵۲، ۰/۶۸، ۰/۹۶ و ۰/۸۱ و ضریب گیاهی پایه به ترتیب برای چهار مرحله رشد برابر ۰/۳۸، ۰/۵۹، ۰/۹۴ و ۰/۷۵ میلی‌متر بود.

تبخیر و تعرق گیاه مرجع یا به‌طور مستقیم به‌وسیله لایسیمتر و یا به‌صورت غیرمستقیم با استفاده از داده‌های هواشناسی یا تبخیر از تشتک تبخیر برآورد می‌گردد (هاشمی نسب خبیصی و همکاران، ۱۳۹۶). جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع روش‌های متعددی ارائه شده است. از سوی کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID[1]) و سازمان خواربار جهانی (FAO[2])، روش پنمن- مانتیث – فائو (Penman-Monteith FAO) به‌عنوان روش استاندارد برای محاسبه آن معرفی گردیده است (پیرمرادی و همکاران، ۱۳۹۲ به نقل از آلن و همکاران، ۱۹۹۸). چن و همکاران (۲۰۰۵) به‌منظور تعیین بهترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل که در کشور تایوان انجام شد، به این نتیجه رسیدند که روش پنمن مانتیث برآورد دقیق‌تری نسبت به روش‌های دیگر ارائه می‌دهد. برای تدوین برنامه آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تعیین ضرایب گیاهی بر مبنای مراحل رشد و نیز تخمین تبخیر و تعرق گیاه امری ضروری است (قمرنیا و موسی‌بیگی، ۱۳۹۳). شرقی و همکاران (۱۳۸۹)

[1] -International Commission on Irrigation and Drainage

[2] -Food and Agriculture Organization

مطالعاتی با عنوان برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن- مانتیث- فائو و پهنه‌بندی آن در استان یزد انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که پس از روش بیلان آبی با استفاده از لایسیمتر وزنی، روش پنمن- مانتیث- فائو برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع هم در شرایط آب و هوایی خشک و هم در شرایط آب و هوایی مرطوب روش مناسبی است. احمدپری و همکاران (۱۳۹۸) بیان کردند که روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بر پایه روش پنمن، تطابق بیشتری با روش پنمن- مانتیث- فائو دارند ولی به دلیل اینکه نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت هستند و در برخی ایستگاه‌های هواشناسی، دما تنها داده‌ی ثبت شده است استفاده از روش تجربی هارگریوز و سامانی را که فقط به عامل دما نیازمند است، ترجیح داده می‌شود؛ بنابراین می‌توان در صورت کمبود آمار می‌توان از روش هارگریوز- سامانی (Hargreaves-Samani) برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه در منطقه استفاده نمود. امیری و پورقاسمی (۱۳۹۸) براساس ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق و با توجه به معیار MAE و RMSE، روش بلانی- کریدل (Blaney-Criddle) کمترین میزان خطا (به ترتیب ۸/۶۴ و ۲/۴۹) و روش هارگریوز- سامانی بیش‌ترین مقدار خطا (به ترتیب ۱۲/۰۶ و ۳/۴۸) را داشتند و بیان نمودند که در مجموع روش بلانی- کریدل بهترین روش تبخیر و تعرق پتانسیل به‌دلیل پایین بودن میزان خطا نسبت به روش‌های هارگریوز- سامانی و تورنت- وایت (Thornth-Waite) است.

کینوا[1] گیاهی علفی، یک‌ساله، دولپه از خانواده تاج-خروسیان[2]، بومی منطقه آند (شامل کلمبیا، پرو، اکوادور، آرژانتین، شیلی و بولیوی) است (روئیز و همکاران، ۲۰۱۴) که معمولاً هدف از کشت آن تولید بذر است، کینوا دارای ریشه-های قوی، عمیق و منشعب شیری‌رنگ، ساقه استوانه‌ای، برگ-ها مثلثی، گل‌ها ناقص، بدون گلبرگ و دوجنسه (باقری، ۱۳۹۷)، میوه فندقه و دارای رنگ سفید و زرد تا بنفش و سیاه است (آدولف و همکاران، ۲۰۱۲). کینوا از حدود ۷۰۰۰ سال قبل از آغاز دهه ۱۹۸۰ میلادی، وارد منطقه آند شده است و تعداد کشورهایی که کینوا در آنجا رشد نموده از هشت کشور در سال ۱۹۸۰ میلادی به ۷۵ کشور در سال ۲۰۱۴ رسیده است و در اوایل سال ۲۰۱۵ نیز در ۲۰ کشور دیگر مورد کشت قرار گرفت (بازیل و همکاران، ۲۰۱۶). تولیدکنندگان اصلی کینوا در جهان، بولیوی و پرو می‌باشند به‌نحوی‌که در سال ۲۰۱۷ میلادی، سطح برداشت‌شده در بولیوی و پرو به ترتیب ۱۱۰۶۳۹ و ۶۱۷۲۱ هکتار و عملکرد به ترتیب ۶۰۳۷ و ۱۲۷۴۴ کیلوگرم در هکتار بود (قائو، ۲۰۱۹). براساس گزارش گارسیا و همکاران (۲۰۰۳) ضریب گیاهی کینوا رقم چاکاپاکا[3] بومی بولیوی، در اوایل، اواسط و انتهای فصل رشد به ترتیب ۰/۵۲، ۱ و ۰/۷ و طبق گزارش رازقی و همکاران (۲۰۱۲) برای رقم تی‌تی‌کاکا، به ترتیب ۱/۰۵، ۱/۲۲ و ۱ بود. با توجه به نیاز آبی ذاتی کم، کینوا توانایی مقابله با کمبود آب، مهارت بازگشت سریع به سطح فتوسنتزی و سطح برگ قبلی خودش از یک دوره تنش آبی را دارد (جاکوبسن و همکاران، ۲۰۰۹). لذا هدف از این مطالعه بررسی نیاز آبی و ضریب گیاهی کینوا در منطقه بیرجند با توجه به قرارگیری در اقلیم خشک و نیمه خشک است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات محل آزمایش

مطالعه در ایستگاه لایسیمتری دانشگاه بیرجند واقع در پنج کیلومتری جاده بیرجند-کرمان با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد، انجام

[1] -*Chenopodium quinoa* Willd.
[2] -Amaranthaceae
[3] -Chucapaca

شد. بنی‌واهب و علیجانی (۱۳۸۲) در دوره مطالعه ۴۷ ساله ایستگاه هواشناسی بیرجند، گزارش نمودند که میانگین بارش سالانه ۱۷۰/۳۹ میلی‌متر و دمای سالانه ۱۶/۲۵ درجه سانتی-گراد است. استان خراسان جنوبی از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست و آب‌وهوای نیمه‌خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است (کوزه گران و همکاران، ۱۳۹۶). نمونه‌برداری آب‌وخاک قبل از کشت به‌منظور اطلاع از خصوصیات فیزیکی خاک و خصوصیات شیمیایی خاک و آب از لایسیمترها انجام شد که نتایج به شرح جدول ۱ ارائه شده است و همچنین داده‌های هواشناسی از قبیل دمای حداقل، حداکثر و متوسط دما بر حسب درجه‌سانتی‌گراد، متوسط سرعت باد برحسب متر بر ثانیه، تعداد ساعت آفتابی و میزان بارندگی برحسب میلی‌متر در بازه مورد مطالعه از سازمان هواشناسی استان خراسان جنوبی دریافت گردید (جدول ۲).

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های خاک و آب ایستگاه لایسیمتری

آزمایش‌های شیمیایی آب‌وخاک										
نمونه	pH	ECe mS/cm	SAR	Ca^{2+} meq/lit	Mg^{2+} meq/lit	Na^{+} meq/lit	K^{+} meq/lit	Cl^{-} meq/lit	HCo_3^{-} meq/lit	Co_3^{-2} meq/lit
خاک	۸/۱	۱/۱۴۷	۰/۹۶	۱۰	۱۰	۳/۰۴	۰/۴۱	۵۰	۴۶	۱۴
آب	۷/۶	۳/۹۰۵	۰/۳۱	۲	۶/۵	۰/۶۵	۰/۰۷	۴/۴۵	۵/۶	–

آزمایش‌های فیزیکی خاک						
بافت خاک	فراوانی نسبی ذرات (٪)			ظرفیت زراعی (٪)	نقطه پژمردگی (٪)	وزن مخصوص ظاهری g/cm^3	وزن مخصوص حقیقی g/cm^3
	رس	سیلت	شن				
شنی لومی	۷	۳۲	۶۱	۱۶	۹	۱/۵۸	۲/۶۵

نحوه‌ی اجرای آزمایش

در مطالعه حاضر جهت تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی کینوا به روش لایسیمتری، از سه لایسیمتر زهکش‌دار از جنس پلی‌اتیلن و کاملاً آب‌بندی شده با قطر ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده گردید (شکل ۱). جهت ایجاد زهکش نیز لوله‌هایی در انتهای لایسیمترها تعبیه شد و در فاصله ۱/۵ متری از سطح خاک نیز ظروف مدرج جهت جمع-آوری آب زهکش، قرار گرفت. در این مطالعه از گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا استفاده شد که در تاریخ هفت اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹ کشت گردید و با احتساب ۶۰ بوته در مترمربع به‌عنوان تراکم مطلوب (صمدزاده و همکاران، ۱۴۰۰) و همچنین با توجه به مساحت لایسیمترها (۰/۲۸۳ مترمربع)، تعداد ۱۷ بوته پس از تنک کردن درون هر لایسیمتر باقی ماند. از ابتدای کاشت، میزان رطوبت خاک توسط دستگاه TDR یادداشت‌برداری و همچنین خروجی زهکش در هر لایسیمتر قبل از آبیاری، اندازه‌گیری شد.

شکل ۱ - نمایی از لایسیمترها در زمان کاشت

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo)

در این مطالعه به‌منظور سنجش تبخیر و تعرق مرجع از معادلات پنمن- مانتیث- فائو (روش ترکیبی، آلن و همکاران، ۱۹۹۸) بلانی- کریدل (مبتنی بر درجه حرارت، آلن و پروت، ۱۹۹۱) و پریستلی- تیلور (مبتنی بر تشعشع، پریستلی و تیلور، ۱۹۷۲) استفاده شد که معادلات در جدول ۲ ارائه گردیده است.

تبخیر و تعرق (نیاز آبی) گیاه کینوا (ETc)

برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه از معادله بیلان آب استفاده شد. این روش شامل بررسی جریان ورودی و خروجی به محدوده توسعه ریشه گیاه در طول یک دوره مشخص است. آبیاری (I) و بارندگی (P) منابع آب ورودی به محدوده توسعه ریشه گیاه محسوب می‌شوند که در این رابطه، ETc: تبخیر و تعرق واقعی گیاه برحسب میلی‌متر، P: بارندگی برحسب میلی‌متر، I: آب آبیاری برحسب میلی‌متر، D: آب زهکش شده برحسب میلی‌متر و ΔS: تغییرات ذخیره ای رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر می‌باشند (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۷).

$$ETc = I + P - D \pm \Delta S \qquad (۱)$$

زمان و حجم آبیاری، مطابق با پژوهش نامداریان و همکاران (۱۳۹۵)، به‌گونه‌ای تنظیم شد که جهت عدم مواجه گیاه با تنش رطوبتی، رطوبت خاک، کمتر از ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نشود. بدین منظور باید رطوبت خاک قبل از آبیاری (توسط TDR) اندازه‌گیری و با محاسبه اختلاف این میزان و حد ظرفیت زراعی، حجم آب مورد نیاز برای آبیاری تعیین شد. با توجه به اینکه لایسیمتر یک محیط کنترل‌شده و قابل زهکشی است، همواره حجم آبیاری بیشتر بود تا حداکثر ۱۰ درصد زه‌آب ایجاد شود. در نتیجه دور آبیاری یک هفته و در زمان‌های خیلی گرم، چهار روز بسته شد و دوره بیلان ده روزه تعیین گردید.

ضریب گیاهی (Kc)

ضریب گیاهی نیز به‌صورت اساسی به ویژگی‌های گیاه و به‌طور محدودی به اقلیم بستگی دارد. ضریب گیاهی (Kc) نسبت تبخیر و تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد (ETc) به تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) بوده است (هاشمی نسب خبیصی و همکاران، ۱۳۹۶).

$$K_c = \frac{ETc}{ETo} \qquad (۲)$$

نتایج و بحث

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo)

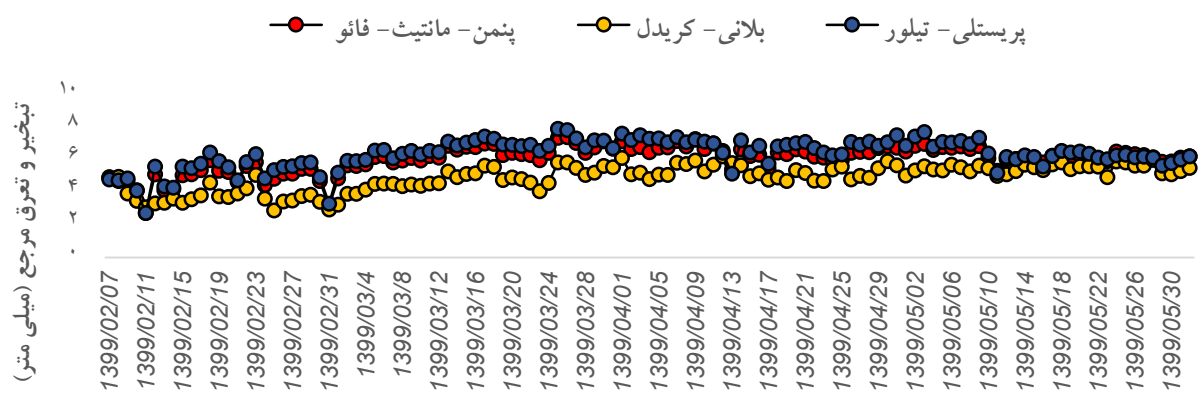
داده‌های هواشناسی جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از اداره هواشناسی استان خراسان جنوبی و برای شهرستان بیرجند جمع‌آوری و سپس به کمک معادلات ارائه‌شده در جدول (۲)، ابتدا اجزای هر معادله و در نهایت میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌صورت روزانه در طی فصل رشد محاسبه گردید (جدول ۳). در شکل ۲ روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع به هر سه روش و در جدول ۴ میزان آن به‌صورت هفتگی ارائه گردید. در مجموع میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش پنمن- مانتیث- فائو ۷۲۰/۰۹ میلی‌متر، به روش بلانی- کریدل، ۵۸۱/۳۹ میلی‌متر و به روش پریستلی- تیلور، ۷۵۴/۳۹ میلی‌متر در طول فصل رشد، محاسبه به دست آمد. روش پنمن- مانتیث- فائو با روش‌های بلانی -کریدل و پریستلی- تیلور به ترتیب دارای ضریب تبیین ۰/۶۴ و ۰/۹۳ و خطای RMSE ۰/۴۸ و ۰/۲۳ و روش بلانی- کریدل با روش پریستلی- تیلور نیز دارای ضریب تبیین ۰/۴۵ و خطای ۰/۶۸ بود. با توجه به این موضوع که هر چه مقدار R^2 بالاتر و مقدار RMSE کوچک‌تر باشد، برآورد به‌دست‌آمده دقیق‌تر است، درنتیجه داده‌های حاصل از روش پنمن- مانتیث- فائو با روش پریستلی- تیلور دارای همبستگی بیشتری می‌باشند.

جدول ۲ - معادلات مورد استفاده در آزمایش

روش	معادلات	توضیحات
پنمن - مانتیث - فائو	$\mathrm{ETo} = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma\,[890/(T+273)]\,U_2\,(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,U_2)}$ $R_n = 0.77\left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right)R_a - 2.45\times10^{-9}(0.9\frac{n}{N} + 0.1)(0.34 - 0.14\sqrt{e_a})(T_{kx}^4 + T_{kn}^4)$ $R_a = 37.6\,dr\,(W_S\,sin\emptyset\,sin\sigma + \cos\emptyset\,cos\sigma\sin W_S)$ $W_S = arc\cos(1 - tag\emptyset\,tag\sigma)$ $\sigma = 0.409\sin(0.0172\,J - 1.39)$ $J = integer\,(30.5M - 14.6)$ $dr = 1 + 0.033\cos(0.0172\,J)$ $N = 7.64\,W_S$ $U_2 = U_z\,(\frac{2}{Z})^{1.5}$ $\Delta = \frac{2504\exp(17.27\frac{T}{T+237.3})}{(T_P + 237.3)^2}$ $e_s - e_a = \left[0.611\,exp\left(\frac{17.27\,T}{T + 237.3}\right)\right] - \left[0.611\,exp\left(\frac{17.27\,T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right)\right]$ $\gamma = 0.00163\frac{P}{\lambda}$ $p = 101.3\,(\frac{239 - 0.0065\,Z}{293})^{5.26}$ $\lambda = 2.501 - (2.361\times10^{-3})$	$\mathrm{ET_o}$: تبخیر و تعرق مرجع ($\mathrm{mm\ d^{-1}}$) Rn: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (MJm-2d-1) T: متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (°C) U_2: متوسط سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($\mathrm{m\ s^{-1}}$) e_s-e_a: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa) Δ: شیب منحنی فشار بخار ($\mathrm{KPa\ ^\circ C^{-1}}$) γ: ضریب رطوبتی ($\mathrm{KPa\ ^\circ C^{-1}}$) G: شار گرما به داخل خاک ($\mathrm{MJm^{-2}d^{-1}}$) که صفر است Ra: تابش برون زمینی ($\mathrm{MJm^{-2}d^{-1}}$) Ws: زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان) σ: زاویه میل خورشید (رادیان) J: شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال مسیحی dr: فاصله نسبی زمین تا خورشید N: تعداد ساعات روشنایی روز n: تعداد ساعات واقعی آفتاب (hr) M: شماره ماه میلادی که تبخیر و تعرق آن محاسبه می‌شود Ø: عرض جغرافیایی (رادیان) Tkn و Tkx: به ترتیب حداقل دما و حداکثر دما برحسب کلوین Uz: متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه) و z: ارتفاع از سطح دریا Tmin: حداقل دما (°C)
بلانی - کریدل	$ETo = \{a + b[0.46T + 8.13]\}\left[1 + 0.1\left(\frac{Elve}{1000}\right)\right]$ $a = 0.0043(RH_{min}) - \left(\frac{n}{N}\right) - 1.41$ $b = 0.908 - 0.0048(RH_{min}) + 0.0768\left[ln\left(U_{day} + 1\right)\right]^2 - 0.0038(RH_{min})\left(\frac{n}{N}\right)$ $- 0.000433(RH_{min})(U_{day} + 1)ln\left(\frac{n}{N} + 1\right) - 0.00975\times ln\left(\frac{n}{N} + 1\right)b$ $= 0.908 - 0.0048(RH_{min}) + 0.0768\left[ln\left(U_{day} + 1\right)\right]^2 - 0.0038(RH_{min})\left(\frac{n}{N}\right)$ $- 0.000433(RH_{min})(U_{day} + 1)ln\left(\frac{n}{N} + 1\right) - 0.00975\times ln\left(\frac{n}{N} + 1\right)$	T میانگین درجه حرارت روزانه (°C) Elve متوسط ارتفاع مکان مورد مطالعه از سطح دریا (m). (n/N) نسبت ساعات آفتابی به حداکثر ساعات آفتابی ممکن $\mathrm{RH_{min}}$ متوسط حداقل رطوبت نسبی روزانه (%) $\mathrm{U_{day}}$ میانگین سرعت باد در طول روز در ارتفاع دو متری ($\mathrm{m\ s^{-1}}$).
پریستلی - تیلور	$ETo = 1.26\times\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\times\frac{R_n - G}{\lambda}$	Δ شیب منحنی فشار بخار ($\mathrm{KPa\ ^\circ C^{-1}}$) λ گرمای نهان تبخیر ($\mathrm{MJ\ Km^{-1}}$) Rn تابش خالص در سطح پوشش گیاهی G شار گرما به داخل خاک ϒ ضریب رطوبتی

میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش پنمن- مانتیث- فائو و پریستلی- تیلور، در دامنه‌ی نتایج ارائه‌شده در سامانه نیاز آبی کشور (۱۴۰۱) قرار دارد، در نتیجه می‌توان بیان نمود که روش پنمن- مانتیث- فائو، به‌عنوان بهترین روش، می‌تواند ملاکی برای تعیین ضریب تبخیر و تعرق مرجع در منطقه قرار گیرد ولی روش بلانی- کریدل نیاز به واسنجی در منطقه دارد.

علی‌آبادی و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از هفت مدل محاسباتی تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از جمله پنمن- مانتیث- فائو، بلانی-کریدل، هارگریوز (Hargreaves)، لینیاکر (Linacre)، رومانکو (Romanenko)، پریستلی- تیلور و تورک (Turk)، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برآورد نمودند. نتایج نشان داد که معادله پنمن- مانتیث- فائو در برآورد میزان تبخیر و تعرق با ضریب تبیین ۰/۷۷ و خطای RMSE کمتر نسبت به سایر روش‌ها تطابق بیشتری با داده-های اندازه‌گیری شده و روش لینیاکر با بیشترین خطا کمترین تطابق را با داده‌های اندازه‌گیری شده از لایسیمتر را دارد. کهخامقدم (۱۳۹۷) مقادیر میانگین ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با استفاده از ۳۰ مدل تعیین نمودند و گزارش کردند که تبخیر و تعرق محاسبه شده از معادله اشنایدر (Snyder)، هارگریوز-۴ (Hargreaves-4)، تورک و همچنین دالتون (Dalton) به ترتیب از روش‌هایی که بر پایه ضریب تشت، دما، تشعشع و انتقال جرم هستند، با کمترین درصد خطا از هر گروه، بهترین برآورد را نشان دادند. به‌طورکلی، روش‌های بر پایه انتقال جرم از نظر آماری ضعیف‌ترین عملکرد را نسبت به سایر روش‌ها در مقایسه با روش استاندارد نشان دادند، اما مدل‌های دمایی و تشعشعی مانند مدل تورک، جنسن- هیز (Jensen-Haise)، هارگریوز-۴ و بلانی- کریدل می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش ترکیبی نسبتاً پیچیده پنمن- مانتیث- فائو، برای اقلیم گرم و خشک شهرستان زاهدان باشند. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱)، جهت محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع در استان کرمانشاه از پنج روش پنمن- مانتیث- فائو، تورنت-وایت، بلانی- کریدل اصلاح شده (M.Blaney-Criddle)، هارگریوز و پنمن اصلاح شده (M.Penman) استفاده نمودند و بیان کردند که روش پنمن- مانتیث- فائو، برآورد دقیق‌تری برای تبخیر و تعرق مرجع ارائه می‌کند. عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۷) گزارش نمودند که معادله‌ی پنمن- مانتیث- فائو از دقت بیشتری نسبت به سایر معادلات برخوردار است و پس از آن به ترتیب معادلات تورک، هارگریوز و تشت تبخیر (Pan Evaporation) روش-های مناسبی می‌باشند. سلیمان و هوگنبوم (۲۰۰۹)، استفاده از روش پنمن- مانتیث- فائو را به دلیل اینکه در تخمین تبخیر و تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی مختلف نتایج قابل قبولی می‌دهد را برای تمام دنیا توصیه نمودند. استادی و همکاران (۱۴۰۰) نیز بیان کردند که ضریب R^2 بین مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) از میکرولایسیمترها و به دست آمده از فرمول پنمن- مانتیث- فائو برابر با ۰/۸۸ بود که بیانگر همبستگی خوب و دقت بالای آزمایش است.



شکل۲ - روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع

تبخیر تعرق (نیاز آبی) گیاه کینوا (ETc)

تبخیر و تعرق گیاه کینوا از معادله‌ی بیلان آب محاسبه و پارامترهای معادله بیلان و مقدار تبخیر و تعرق در دوره بیلان (۱۰ روزه) محاسبه گردید و در نهایت با تقسیم آن بر تعداد روزهای موجود در دور، تبخیر و تعرق گیاه به‌صورت روزانه به دست آمد (جدول ۴). میزان کل تبخیر و تعرق گیاه کینوا در لایسیمترهای یک، دو و سه به ترتیب معادل ۵۶۰/۲۲، ۵۳۵/۵۷ و ۵۶۴/۶۱ میلی‌متر در طول فصل رشد آن تعیین گردید که این مقدار در بازه‌ی زمانی هفت اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ الی یک شهریور ماه ۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد. در نتیجه با توجه به تعیین نیاز آبی از تبخیر و تعرق گیاه، می‌توان بیان نمود که نیاز آبی گیاه کینوا در طول فصل رشد در شهرستان بیرجند ۵۵۳۴/۶۷ مترمکعب در هکتار بود. نتایج فوق با نتایج سامانه نیاز آبی گیاهان کشور (۱۴۰۱) در شهرستان بیرجند ۵۴۴ میلی‌متر (میزان تبخیر و تعرق) و ۵۴۷۰ مترمکعب در هکتار (نیاز آبی)، منطبق است. در سایر مطالعات نیز تبخیر و تعرق گیاه کینوا و نیاز آبی آن، برآورد گردیده است. گارسیا و همکاران (۲۰۰۳)، میزان کل ETc کینوا را در بولیوی ۴۵۰ میلی‌متر در طول فصل رشد گزارش نمودند. آن‌ها میزان تبخیر و تعرق گیاهی کینوا را در ۹ مرحله فنولوژیکی گیاه شامل مراحل سبز شدن (هفته ۱-۳)، چهار برگی واقعی (هفته ۴)، رشد رویشی (هفته ۵-۶)، تشکیل جوانه گل (هفته ۶-۷)، گلدهی (هفته ۸)، پایان گلدهی (هفته ۹-۱۰)، دانه شیری (هفته ۱۱-۱۲)، دانه خمیری (هفته ۱۳-۱۴) و رسیدگی فیزیولوژیکی (هفته ۱۵) مورد بررسی قرار دادند و میزان آن را به ترتیب ۲/۸۰، ۲/۷۷، ۳/۱۲، ۳/۳۲، ۴/۲۱، ۴/۵۴، ۴/۷۱، ۴/۰۸ و ۳/۲۵ میلی‌متر در روز گزارش نمودند. در مطالعه آلگوسبی و همکاران (۲۰۱۷) نیز نیاز آبی گیاه کینوا را در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس به ترتیب ۵۱۵، ۸۶۰، ۱۱۴۰ و ۵۱۴/۲۵ مترمکعب در هکتار گزارش نمودند که درنهایت مجموع نیاز آبی کینوا ۳۰۲۹/۲۵ مترمکعب در هکتار بود که از نیاز آبی گندم کمتر است. آن‌ها همچنین بیان نمودند که نیاز آبی کینوا با کاهش در مقدار آبیاری تغییر می‌نماید به‌نحوی‌که در تیماری که هر چهار روز یک‌بار آبیاری می‌گردد، میزان آب مصرفی ۶۹۲۱ مترمکعب در هکتار، در آبیاری به‌صورت هفته‌ای یک‌بار، به میزان ۳۹۵۵ مترمکعب در هکتار و در آبیاری هر دو هفته یک‌بار به میزان ۱۸۴۶ مترمکعب در هکتار بود. سلیم و همکاران (۲۰۱۹)، میزان تبخیر و تعرق روزانه کینوا و همچنین تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در روز) به کمک سه روش، مورد بررسی قرار دادند. میانگین تبخیر و تعرق مرجع (ETo) برای روش تشت تبخیر در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و می به ترتیب ۲/۴، ۳/۶۲، ۵/۶۹ و ۷/۵۲ میلی‌متر در روز در روش دورنبوس و پرویت (۱۹۷۷) به ترتیب ۲/۴۷، ۳/۶۳، ۳/۷۵ و ۷/۵۷ میلی‌متر در روز و در روز فائو

پنمن- مانتیث به ترتیب ۳/۲۶، ۴/۸۲، ۵/۷۵ و ۱۰/۷۱ میلی‌متر در روز محاسبه شد. میانگین تبخیر و تعرق روزانه کینوا (ETc) در ماه‌های مورد بررسی نیز به ترتیب ۱/۶، ۱/۵، ۴، ۴/۱ به دست آمد. براساس مطالعه امداد و همکاران (۱۴۰۱) که در بازه ۹۰ روزه در استان البرز اجرا گردید، میزان تبخیر و تعرق گیاه کینوا رقم تی‌تی‌کاکا در شرایط شاهد (آبیاری پس از ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک: T_1) به ترتیب ۳۲۰ و ۳۴۵ میلی‌متر در سال اول و دوم آزمایش بود.

ضریب گیاهی یک جزئی (Kc)

با در اختیار داشتن تبخیر و تعرق گیاهی حاصل از داده‌های لایسیمتر و همچنین تبخیر و تعرق مرجع که با سه روش محاسبه‌شده بود ضریب گیاهی کینوا بر پایه این سه روش به‌صورت روزانه محاسبه گردید. دوره رشد کینوا در لایسیمتر به چهار مرحله‌ی ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی تقسیم‌بندی شد که ضریب گیاهی یک جزئی کینوا در طول مراحل مختلف رشد در جدول ۵ ارائه شده است. مطابق مطالعه قمرنیا و همکاران (۱۳۹۱)، دوره رشد گیاه به‌صورت استاندارد به چهار مرحله اولیه (جوانه‌زنی تا ۱۰ درصد رشد گیاه)، مرحله توسعه (۱۰ درصد رشد تا شروع گلدهی)، مرحله میانی (آغاز گلدهی تا رسیدن محصول) و مرحله پایانی (انتهای مرحله میانی تا برداشت محصول) تقسیم شد که ارزیابی مراحل به‌صورت چشمی و زمانی که ۵۰ درصد جامعه گیاهی به آن مرحله رسیده بودند، انجام شد. در دوره اولیه رشد به دلیل اینکه میزان ضریب گیاهی وابسته به توان تبخیرکنندگی اتمسفر است، در نتیجه عدد آن (به ترتیب ۰/۴۲۴ در روش پنمن- مانتیث- فائو، ۰/۵۴۳ در روش بلانی- کریدل و ۰/۴۰۲ در روش پریستلی- تیلور) کمتر است. در دوره توسعه رشد، ضریب گیاهی تحت تأثیر شرایط اقلیمی و خصوصیات گیاهی است. دوره میانی رشد، اثر مدیریت آبیاری و عملیات زراعی در این ضریب تأثیرگذار است. در دوره پایانی رشد، بدلیل اینکه گیاه تا زمان نزدیک به برداشت آبیاری انجام گردید در نتیجه لایه خاک سطحی مرطوب بوده و با توجه به اینکه علاوه بر تعرق، تبخیر هم در تعیین نیاز آبی مؤثر است، در نتیجه میزان ضریب گیاهی ۰/۷۰۶ در روش پنمن- مانتیث- فائو، ۰/۸۲۲ در روش بلانی- کریدل و ۰/۶۸۵ در روش پریستلی- تیلور به دست آمد. نتایج فوق نشان می‌دهد که بر اساس روش بلانی- کریدل نمی‌توان ضریب گیاهی استاندارد تولید نمود زیرا داده تبخیر و تعرق مرجع برای این منطقه پایین است.

آلگوسبی و همکاران (۲۰۱۷) نیز از طریق جمع نمودن ضریب پایه گیاه و ضریب تبخیر، ضریب گیاهی را در طی فصل رشد محاسبه و بیان نمودند که مقدار آن در مرحله اول (دوره ۲۱ روزه)، مرحله دوم (دوره ۲۵ روزه)، مرحله سوم (دوره ۴۰ روزه) و مرحله چهارم رشد کینوا (دوره ۲۱ روزه) به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۶، ۱ و ۰/۲۵ بود. سلیم و همکاران (۲۰۱۹) نیز ضریب گیاهی کینوا را در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل و می به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۴۱، ۰/۷۰ و ۰/۵۵ گزارش نمودند. تلاهیگ و همکاران (۲۰۱۷) ضریب گیاهی کینوا را در چهار مرحله ابتدایی (۱۵ روز)، توسعه (۵۰ روز)، میانه فصل (۵۰ روز) و انتهای فصل (۴۵ روز) به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۱۴ الی یک، یک و همچنین یک الی ۰/۶ گزارش نمودند. جمالی و همکاران (۱۴۰۰) به نقل از طالب‌نژاد و سپاس‌خواه (۲۰۱۵) میزان ضریب گیاهی کینوا را در سه مرحله ابتدایی، میانه و انتهایی به ترتیب ۰/۵۵، ۱/۲ و ۰/۷۵ گزارش نمودند. براساس نتایج بدست آمده در مطالعه تافته و امداد (۱۴۰۰) بر روی کینوا، به‌طورکلی در دو سال مورد آزمایش، دوره رشد اولیه ۲۰ روز، دوره توسعه ۳۰ روز، دوره میانی ۲۸ روز و دوره پایانی ۱۲ روز تعیین شد؛ بنابراین کل دوره رشد این گیاه در منطقه مشکین‌دشت (استان البرز) ۹۰ روز اندازه‌گیری شد

جدول ۳- میانگین اطلاعات هواشناسی و اجزاء معادلات تبخیر و تعرق مرجع به‌صورت هفتگی

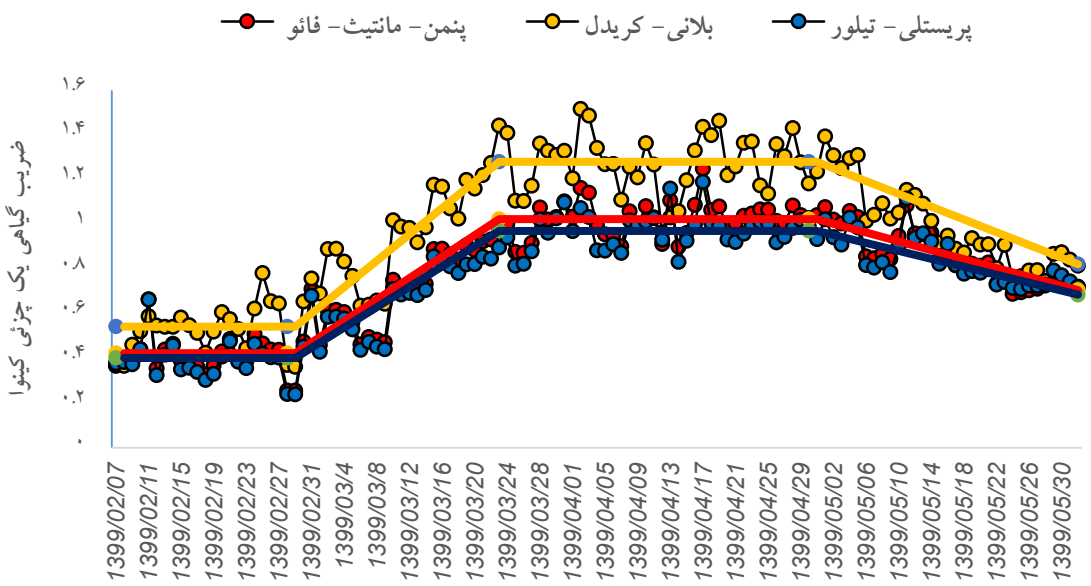
هفته	اطلاعات هواشناسی				اجزاء اصلی معادلات									
	دمای حداقل(°C)	دمای حداکثر (°C)	متوسط دما (°C)	ساعت آفتابی (hr)	سرعت باد ($m\ s^{-1}$)	R_n ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)	e_s-e_a ($kpa_)$	U_2 (m/s)	Δ (kpa/c)	γ (kpa/c)	λ (MJ/km)	a	B	n/N (hr)
۱	۱۳/۱۱	۲۷/۲۹	۲۰/۲۰	۸/۵۴	۴/۳۹	۱۲/۹۷۴	۰/۸۶۰	۱/۶۲۹	۰/۱۴۷	۰/۰۵۶۴	۲/۴۵۳	−۱/۶۴	۱/۰۲	۰/۳۰۰
۲	۱۲/۲۳	۲۹/۳۱	۲۰/۷۷	۱۱/۰۶	۳/۴۱	۱۵/۸۳۱	۱/۰۲۹	۱/۲۵۶	۰/۱۵۱	۰/۰۵۶۴	۲/۴۵۲	−۱/۶۷	۱/۰۰	۰/۳۱۰
۳	۱۱/۸۱	۲۸/۴۰	۲۰/۱۱	۱۱/۱۷	۳/۷۹	۱۵/۷۸۱	۰/۹۷۱	۱/۴۰۴	۰/۱۴۸	۰/۰۵۶۴	۲/۴۵۴	−۱/۶۸	۱/۰۲	۰/۳۱۰
۴	۱۰/۷۴	۲۸/۸۹	۱۹/۸۱	۱۰/۷۴	۳/۵۲	۱۵/۲۴۹	۱/۰۱۷	۱/۳۰۴	۰/۱۴۳	۰/۰۵۶۴	۲/۴۵۴	−۱/۶۶	۰/۹۹	۰/۳۱۰
۵	۱۴/۱۴	۳۳/۱۹	۲۳/۶۶	۱۲/۷۴	۳/۸۸	۱۷/۲۴۵	۱/۳۱۰	۱/۴۳۷	۰/۱۷۶	۰/۰۵۶۶	۲/۴۴۵	−۱/۶۸	۱/۰۴	۰/۳۲۰
۶	۱۶/۴۷	۳۶/۵۰	۲۶/۴۹	۱۲/۴۶	۴/۱۶	۱۸/۱۶۱	۱/۵۸۲	۱/۵۴۳	۰/۲۰۴	۰/۰۵۶۷	۲/۴۳۸	−۱/۷۰	۱/۰۷	۰/۳۲۰
۷	۱۶/۲۱	۳۴/۰۴	۲۵/۱۳	۱۲/۷۴	۴/۰۴	۱۸/۳۰۸	۱/۳۴۸	۱/۴۹۶	۰/۱۹۱	۰/۰۵۶۷	۲/۴۴۲	−۱/۷۰	۱/۰۶	۰/۳۲۰
۸	۱۸/۹۱	۳۸/۸۷	۲۸/۸۹	۱۲/۲۹	۴/۲۳	۱۸/۴۴۵	۱/۷۹۷	۱/۵۶۹	۰/۲۳۱	۰/۰۵۶۹	۲/۴۳۳	−۱/۷۱	۱/۰۸	۰/۳۲۰
۹	۲۰/۰۴	۳۷/۱۱	۲۸/۵۸	۱۲/۳۴	۴/۱۳	۱۸/۶۹۰	۱/۵۶۲	۱/۵۳۰	۰/۲۲۷	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۴	−۱/۷۰	۱/۰۶	۰/۳۲۰
۱۰	۲۰/۳۶	۳۷/۵۰	۲۸/۹۳	۱۰/۹۹	۵/۴۸	۱۷/۱۸۹	۱/۵۹۵	۲/۰۳۳	۰/۲۳۱	۰/۰۵۶۹	۲/۴۳۳	−۱/۶۹	۱/۱۲	۰/۳۲۰
۱۱	۱۷/۶۱	۳۳/۸۳	۲۵/۷۲	۱۲/۳۷	۴/۸۹	۱۷/۶۸۸	۱/۲۹۰	۱/۸۱۳	۰/۱۹۶	۰/۰۵۶۷	۲/۴۴۰	−۱/۶۹	۱/۰۸	۰/۳۱۵
۱۲	۱۹/۷۴	۳۵/۳۹	۲۷/۵۶	۱۱/۴۴	۴/۱۳	۱۷/۳۳۷	۱/۳۸۲	۱/۵۳۰	۰/۲۱۶	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۶	−۱/۶۸	۱/۰۳	۰/۳۱۵
۱۳	۱۹/۸۱	۳۶/۲۶	۲۸/۰۴	۱۲/۶۰	۵/۰۶	۱۸/۳۹۱	۱/۴۶۹	۱/۸۷۷	۰/۲۲۱	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۵	−۱/۶۹	۱/۱۰	۰/۳۱۵
۱۴	۱۹/۸۹	۳۶/۰۳	۲۷/۹۶	۱۱/۹۰	۵/۱۸	۱۷/۳۴۴	۱/۴۴۶	۱/۹۲۰	۰/۲۲۰	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۵	−۱/۶۸	۱/۰۹	۰/۳۱۰
۱۵	۱۹/۷۰	۳۷/۱۳	۲۸/۴۱	۱۱/۶۴	۵/۰۰	۱۵/۸۲۲	۱/۵۷۶	۱/۸۵۴	۰/۲۲۵	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۴	−۱/۶۷	۱/۰۹	۰/۳۰۰
۱۶	۱۹/۵۷	۳۷/۰۱	۲۸/۲۹	۱۲/۱۶	۵/۰۱	۱۶/۲۰۲	۱/۵۶۷	۱/۸۵۶	۰/۲۲۴	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۴	−۱/۶۸	۱/۱۰	۰/۳۰۰
۱۷	۱۸/۰۹	۳۸/۳۱	۲۸/۲۰	۱۱/۷۰	۴/۷۱	۱۵/۵۶۰	۱/۷۵۱	۱/۷۴۸	۰/۲۲۳	۰/۰۵۶۸	۲/۴۳۴	−۱/۶۸	۱/۰۹	۰/۳۰۰

جدول ۴- میانگین هفتگی تبخیر و تعرق مرجع، تبخیر و تعرق گیاه کینوا

هفته	میانگین ETc (mm/day)	ETo محاسباتی (mm/day)		
		پنمن- مانتیث- فائو	بلانی- کریدل	پریستلی- تیلور
۱	۱/۸۱۰	۴/۳۳۳	۳/۸۴۶	۴/۴۳۷
۲	۱/۹۹۵	۵/۱۶۶	۳/۷۶۶	۵/۵۵۱
۳	۲/۲۵۳	۵/۰۸۲	۳/۸۰۳	۵/۴۵۶
۴	۲/۳۴۳	۴/۹۶۸	۳/۵۶۶	۵/۲۵۶
۵	۳/۲۷۵	۵/۹۸۰	۴/۴۱۸	۶/۳۳۵
۶	۵/۲۴۴	۶/۶۱۰	۵/۰۱۹	۶/۹۳۷
۷	۵/۸۵۳	۶/۳۷۱	۴/۷۳۵	۶/۸۷۸
۸	۶/۸۲۰	۶/۹۴۵	۵/۴۹۷	۷/۲۴۶
۹	۶/۹۲۹	۶/۷۹۴	۵/۲۹۹	۷/۳۱۹
۱۰	۶/۶۶۲	۶/۶۰۰	۵/۷۴۳	۶/۷۲۲
۱۱	۶/۶۲۲	۶/۲۶۱	۴/۹۹۵	۶/۶۸۲
۱۲	۶/۴۹۷	۶/۲۱۰	۴/۹۹۹	۶/۶۷۷
۱۳	۶/۹۸۲	۶/۷۲۳	۵/۴۷۵	۷/۱۵۵
۱۴	۵/۹۳۳	۶/۴۴۴	۵/۴۰۷	۶/۷۲۱
۱۵	۵/۳۷۴	۶/۰۷۰	۵/۴۹۲	۶/۱۲۲
۱۶	۴/۷۲۶	۶/۱۹۷	۵/۵۳۲	۶/۲۷۲
۱۷	۴/۴۶۳	۶/۱۱۳	۵/۴۶۳	۶/۰۰۱
جمع کل	**۵۵۳/۴۷**	**۷۲۰/۰۹**	**۵۸۱/۳۹**	**۷۵۴/۳۹**

جدول ۵- محاسبه ضریب گیاهی یک گانه کینوا

مراحل رشد	طول دوره (روز)	میانگین ضریب گیاهی بر پایه روش		
		پنمن- مانتیث- فائو	بلانی- کریدل	پریستلی- تیلور
ابتدایی	۲۱	۰/۴۲۴	۰/۵۴۳	۰/۴۰۲
توسعه	۲۶	۰/۶۶۳	۰/۸۸۴	۰/۶۲۵
میانی	۳۸	۱/۰۲۴	۱/۲۸۰	۰/۹۷۱
انتهایی	۳۴	۰/۷۰۶	۰/۸۲۲	۰/۶۸۵



شکل۳- روند تغییرات ضریب گیاهی یک جزئی کینوا

نتیجه‌گیری کلی

مجموع میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش پنمن- مانتیث- فائو (ETo) ۷۲۰/۰۹ میلی‌متر، به روش بلانی- کریدل، ۵۸۱/۳۹ میلی‌متر و به روش پریستلی- تیلور، ۷۵۴/۳۹ میلی‌متر در طول فصل رشد بدست آمد. داده‌های حاصل از روش پنمن- مانتیث- فائو با روش پریستلی- تیلور دارای همبستگی بیشتری بود. براساس داده‌های لایسیمتری، مجموع تبخیر و تعرق گیاه کینوا (ETc) ۵۵۳/۴۷ میلی‌متر در طول فصل رشد محاسبه شد. همچنین مقدار ضریب گیاهی کینوا (Kc) چهار مرحله رشد بر پایه محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن- مانتیث- فائو به ترتیب برابر با ۰/۴۲۴، ۰/۶۶۳، ۱/۰۳۴ و ۰/۷۰۶، به روش بلانی- کریدل به ترتیب ۰/۵۴۳، ۰/۸۸۴، ۱/۲۸۰ و ۰/۸۲۲ و به روش پریستلی- تیلور به ترتیب ۰/۴۰۲، ۰/۶۲۵، ۰/۹۷۱ و ۰/۶۸۵ بود. در نتیجه روش پنمن- مانتیث- فائو، به‌عنوان بهترین روش، می‌تواند ملاکی برای تعیین ضریب تبخیر و تعرق مرجع در منطقه قرار گیرد ولی روش بلانی- کریدل نیاز به واسنجی در منطقه دارد.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی پاک، ن.ع.، آ.، تافته.، ا، اگدرنژاد.، و ص، اسدی کپورچال. ۱۳۹۷. تعیین ضرایب تبخیر و تعرق ماهانه گندم با استفاده از روش‌های مختلف تخمین تبخیر و تعرق و تشت تبخیر در دشت قزوین. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۸ (۳۲): ۱۰۷-۱۲۱.

۲. احمدپری، ه.، م، صفوی گردینی.، و م، ابراهیمی. ۱۳۹۸. انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر تعرق مرجع در شرایط کمبود دادههای هواشناسی (مطالعه موردی شهرستان خرمبید در استان فارس). نشریه مدیریت زراعی. ۷(۲): ۲۲۳-۲۳۰.

۳. استادی، ا.، ع، خاشعی‌سیوکی.، و ا، سالاری. ۱۴۰۰. برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۵(۳): ۲۷۷-۲۸۷.

۴. امامقلی‌زاده مینایی، م. ۱۳۸۵. بررسی شرایط آب وهوایی شمال استان آذربایجان غربی به منظور کشت زیتون و پهنه بندی زراعی آن منطقه، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۵. امداد، م.ر.، آ، تافته.، و ن.ع، ابراهیمی‌پاک. ۱۴۰۱. کارایی مد آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد کینوا در مدیریت-های مختلف کم آبیاری. نشریه آب و خاک. ۳۶(۳): ۳۱۹-۳۳۱.

۶. امیری، م.، و ح.ر، پورقاسمی. ۱۳۹۸. مقایسه روش‌های مختلف تبخیر و تعرق پتانسیل و بررسی تغییرات زمانی-مکانی آن در حوزه آبخیز مهارلو، استان فارس با استفاده از GIS. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۱۰(۱۹): ۲۲-۳۴.

۷. باقری، م. ۱۳۹۷. دستنامه زراعت کینوا. انتشارات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر. چاپ اول. ۴۸ صفحه.

۸. پیرمرادیان، ن.، ف، ذکری.، م، رضایی.، و و، عبداللهی. ۱۳۹۲. استخراج ضرایب گیاهی سه رقم برنج برا پایه روش برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه رشت. تحقیقات غلات. ۳(۲): ۹۵-۱۰۶.

۹. تافته، آ.، و م.ر، امداد. ۱۴۰۰. تعیین ضرایب حساسیت عملکرد محصول نسبت به آب (Ky) در مدیریت‌های کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه کینوا. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. ۸(۲): ۱۰۱- ۱۱۶.

۱۰. جمالی، ص.، ح، انصاری.، و س.م، زین‌الدین. ۱۴۰۰. ارزیابی اثر کود نیتروزن و روش‌های آبیاری جویچه‌ای یک درمیان بر کارایی کاربرد اب در کشت گیاه کینوا. مدیریت آب و آبیاری. ۱۱(۲): ۹۹-۱۱۲.

۱۱. حقیقی، ب. ۱۳۹۲. گزارش طرح ترویجی بهبود مدیریت و مصرف بهینه آب در فرآیند تولید محصولات کشاورزی. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری. ۳۳ صفحه.

۱۲. سامانه نیاز آبی گیاهان کشور (مؤسسه تحقبقات خاک و آب). ۱۴۰۱. http://niwr.ir/Login.aspx. {برخط:۲۰ آبان ۱۴۰۱}

۱۳. سلجوقی، ش.، م، سالارپور.، م، احمدپور برازجانی.، و ع، سرگزی. ۱۴۰۰. تعیین الگوی بهینه کشت با تأکید بر محدودیت منابع آب در شهرستان ارزوئیه. اقتصاد کشاورزی و توسعه. ۲۹(۱۱۳): ۹۳-۱۱۶.

۱۴. شرقی، ط.، ح، بری ابرقویی.، م.ا، اسدی.، و م.ر، کوثری. ۱۳۸۹.برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو- پنمن- مانتیث و پهنه‌بندی آن در استان یزد. فصلنامه علمی- پژوهشی خشکبوم. ۱: ۲۵-۳۲.

۱۵. صمدزاده، ع.ر.، غ.ر، زمانی.، و ح.ر، فلاحی. ۱۳۹۹. امکان سنجی تولید گیاه جدید کینوا در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی تحت تأثیر تاریخ و تراکم کاشت. نشریه پژوهش های کاربردی زراعی. ۳۳(۱): ۸۲-۱۰۴.

۱۶. عابدی کوپایی، ج.، س.س، اسلامیان.، و م.ج، امیری. ۱۳۸۷. مقایسه چهار روش تخمین تبخیر و تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرولایسیمتری در منطقه اصفهان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱ بهمن- تهران.

۱۷. علی‌آبادی، م. م.ح، نجفی‌مود.، ع، خاشعی‌سیوکی.، و ع، شهیدی. ۱۴۰۰. تعیین نیاز آبی و ضرایب یک گانه و دوگانه گیاهی خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) با استفاده از روش لایسیمتری. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند. ۱۱۰ صفحه.

۱۸. علیزاده، ا.، غ.ع، کمالی.، م.ج، خانجانی.، و م.ر، رهنورد. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر وتعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹: ۹۷-۱۰۵.

۱۹. قمرنیا، ه.، و ف، موسی‌بیگی. ۱۳۹۳. برآورد نیاز آبی، ضرایب گیاهی یک جزئی و دو جزئی نعنا فلفلی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸: ۶۷۰ – ۶۷۸.

۲۰. قمرنیا، ه.، ا، میری.، م، جعفری‌زاده.، و م.ا، قبادی. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) به روش لایسیمتری در منطقه‌ای با اقلیم خشک و نیمه خشک. مجله علوم مهندسی و آبیاری. ۳۵ (۴): ۷۵-۸۲.

۲۱. قوام‌سعیدی نوقابی، س.، ع، شهیدی، و ح، حمامی. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴(۴): ۵۶۳-۵۷۳.

۲۲. کهخامقدم، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل‌های تنبخیر و تعرق مرجع برای اقلیم گرم و خشک (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک زاهدان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۱): ۳۰۹ – ۳۱۷.

۲۳. محمدی، ا.، م.ح، نجفی مود.، ع، خاشعی سیوکی.، و ع، شهیدی. ۱۳۹۹. تعیین ضرایب گیاهی گل نرگس به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۴(۴): ۵۹۱-۶۰۱.

۲۴. میرموسوی، ح.، ح، پناهی.، ح، اکبری.، و ی، اکبرزاده. ۱۳۹۱. واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETo) و محاسبه‌ی نیاز آبی گیاه (ETc) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۳: ۶۴-۴۵.

۲۵. نامداریان، ک.، ع.ع، ناصری.، ز، ایزدپناه.، و ع، ملکی. ۱۳۹۵. برآورد ضریب گیاهی نخود با استفاده از لایسیمتر در منطقه خرم آباد. مجله پژوهش آب ایران. ۱۰(۲): ۱۱۸-۱۲۳.

۲۶. هاشمی‌نسب خبیصی، ف.، م، موسوی بایگی.، و ب، بختیاری. ۱۳۹۶. برآورد تبخیر و تعرق واقعی و ضرایب یک جزئی و دوجزئی گیاه دارویی همیشه بهار در منطقه کرمان. علوم و مهندسی آبیاری. ۴۰(۳): ۱۰۹-۱۲۱.

۲۷. هاشمی‌نیا، س.م. ۱۳۸۵. مدیریت آب در کشاورزی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم، ۵۳۵ صفحه.

28. Adolf, V.I., S, Shabala., M.n, Andersen., F, Razzaghi., and S.E, Jacobsen. 2012. Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. Plant Soil. 357:117–129.
29. Algosaibi, A.M., A.E, Badran., A.M, Almadini., and M, El-Garawany. 2017. The effect of irrigation intervals on the growth and yield of quinoa crop and its components. Journal of Agricultural Science. 9 (9): 183-191.
30. Allen R, Pruitt W O (1991) FAO-24 reference evapotranspiration factors. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 117(5):758–773.
31. 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), D05109.
32. Bazile, D., C, Pulvento., A, Verniau., M.S, Al-Nusairi., D, Ba., J, Breidy., L, Hassan., M.I, Mohammed.,O, Mambetov., M, Otambekova., N.A, Sepahvand., A, Shams, D, Souici., K, Miri., and S, Padulosi. 2016 b. Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. Frontiers in plant science. 7: 1-18.
33. Doorenbose, J., and W.O, Pruitt. 1977. Guideline for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 24, Rome, Italy. pp: 193.
34. Food and Agriculture Organization. 2019. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC. [Online: 2 July 2019].

35. Garcia, M., D, Raes., and S.E, Jacobsen. 2003. Evapotranspiration analysis and irrigation requirements of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the Bolivian highlands. Agricultural Water Management. 60: 119–134.
36. Jacobsen, S.E., F, Liu., and C.R, Jensen. 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticultural, 122(2), 281–287.
37. Jin-Fa Chen, J.F., H.F, Yeh., CH.H, Lee., and W.H, Lo. 2005. Optimal Comparison of Empirical Equations for Estimating Potential Evapotranspiration in TAIWAN, XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea.
38. Priestley, C.H.B., and R.J, Taylor. 1972. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly Weather Review. 100: 81–92.
39. Razzaghi, F., F, Plauborg., S.E, Jacobsen., C.R, Jensen., and M.N, Andersen. 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. Agricultural Water Management. 109: 20–29.
40. Ruiz, K.B., S, Biondi, R, Oses., I.S, Acuña-Rodríguez., F, Antognoni., E.A, Martinez-Mosqueira., A, Coulibaly., A, Canahua-Murillo., M, Pinto., A, Zurita-Silva., D, Bazile., S.E, Jacobsen., and M.A, Molina-Montenegro. 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. Agronomy for Sustainable Development. 34: 349-359.
41. Salim, S., I, Al-Hadeethi., and S, Juper Alobaydi. 2019. Role of irrigation scheduling and potassium fertilization on soil moisture depletion and distribution of quinoa root (irrigation scheduling fertilization and their effect on moisture depletion and yield). Plant Archives. 19(2): 3844-3852.
42. Suleiman, A.A., and G, Hoogenboom. 2009. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspirationfor a 15-min time step in humid climate conditions. Journal of Hydrology. 375: 326–333.
43. Telahigue, D., L, Yahia., F, Aljane., KH, Belhouchett., and L, Toumi. 2017. Grain yield, biomass productivity and water use efficiency in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under drought stress. Journal of Scientific Agriculture, 1: 222-232.

Determination of Crop Coefficient and Water Requirement for Quinoa by Lysimetric Method in Birjand Plain

F. GolestaniFar[1], A. Khashei Siyoki, and S. Mahmoodi

PhD candidate, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University.
Farzane.golestanifar@yahoo.com
Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University.
Abbaskhashei@birjand.ac.ir
Associate Prof., Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University.
Smahmoodi@birjand.ac.ir

Received: October 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

Estimating potential evapotranspiration values is very important for calculating the water requirement in line with agricultural planning for different crops. For this purpose, in the present study, three polyethylene lysimeters with drains and completely sealed, with a diameter of 60 cm and a height of 100 cm were used to determine the crop coefficient and water requirement of quinoa. Titicaca quinoa seeds were planted on May 7, 2019, with 60 plants/m^2. The soil moisture level was recorded by TDR and also the drainage output in each lysimeter was measured before irrigation. In order to measure potential evapotranspiration, the equations of Penman-Monteith, Blaney-Criddle (based on temperature) and Priestley-Taylor (based on radiation) were used. The results showed that the total amount of potential evapotranspiration during the growing season according to the FAO Penman-Monteith (ETo) method was 720 mm, according to the Blaney-Criddle method 581 mm, and according to the Priestley-Taylor method, 754 mm, while the total evapotranspiration of quinoa (ETc) in lysimeters was 553 mm. Also, the value of quinoa crop coefficient (Kc) in the first stage (21 days period), second stage (26 days period), third stage (38 days period) and fourth stage of quinoa growth (34 days period) using the Penman-Monteith method was equal to 0.42, 0.66, 1.03 and 0.71, in Blaney-Criddle method, 0.54, 0.88, 1.28 and 0.82, and in Priestley-Taylor method 0.40, 0.62, 0.97 and 0.68, respectively. These results show the Penman-Monteith method, as the best method, can be used as a criterion for determining the potential evapotranspiration, but the Blaney-Criddle method needs to be calibrated in the region.

Key words: Penman-Monteith method, Blaney–Criddle method, Priestley-Taylor method, Water balance.

[1] - Corresponding author: Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand University.