



Estimation of Evapotranspiration and Crop Coefficient of *Bunium persicum* (Boiss.) in Khorram Abad Region

Farhad Beiranvandi*

Ph.D. in Physiology and Postharvest Physiology, Agriculture Organization of Lorestan, Khorramabad, Lorestan Province

Received: 08 September 2024/ Revised: 08 October 2024/ Accepted: 09 October 2024

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2040686.1025>

Abstract

In order to reduce water consumption, the water requirement should be calculated and given to the plant based on its water requirement. One of the best approaches to assess plant water requirement is determination of crop evapotranspiration and coefficient, using lysimeters. *Bunium persicum* (Boiss.) is one of the important medicinal plants in Iran. In this study, an experiment was conducted at Agriculture Faculty of Lorestan University for one year to estimate the transpiration of the plant. In present research, *Bunium persicum* and reference grass plant were sown in micro Lysimeters. Each of the experimental units was irrigated, based on crop capacity and weighing method. According to the obtained results, the rate of evaporation and transpiration and yield of *Bunium persicum* species were 547 mm and 300 Kg/ha respectively. In this study, using the quadratic curve fitting on the lysometric data related to plant coefficient (Kc), the plant coefficient equation was obtained as a function of the days after planting for *Bunium persicum* species. The number of days in different stages of growth (first stage (primary), second (growth and development), third (middle) and fourth (final)) were 10, 30, 30 and 20 days. Finally, based on the FAO method, the crop coefficient (Kc) curves were drawn during different growth periods for both species and, in average, it was concluded that in four stages of plant growth, the KC values were 0.25, 0.43, 0.7 and 0.5 respectively. In general, by using the actual water requirement obtained and applying a precise irrigation schedule, it is possible to cultivate this crop in Khorram Abad region.

Keywords: Growth stages, Irrigation scheduling, Lysimeter, Medicinal plants, Water requirement.



برآورد میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی (KC) گونه زیره سیاه در منطقه خرم‌آباد

فرهاد بیرانوند*

دکترای تخصصی فیزیولوژی و فیزیولوژی پس از برداشت، جهاد کشاورزی استان لرستان

دریافت: ۱۸ شهریور ماه ۱۴۰۳ / اصلاحات: ۱۷ مهر ماه ۱۴۰۳ / پذیرش: ۱۸ مهر ماه ۱۴۰۳

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.2040686.1025>

چکیده

به منظور کاهش مصرف آب، باید آب مورد نیاز گیاه محاسبه و بر اساس نیاز آبی، در اختیار آن قرار گیرد. یکی از راهکارهای ارائه شده در رابطه با بحث نیاز آبی گیاهان، تعیین میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی با کمک لایسیمترها است. زیره سیاه (*Bunium persicum* Boiss.) یکی از گونه‌های مهم گیاهان دارویی، در ایران می‌باشد. در تحقیق حاضر، به منظور برآورد تبخیر و تعرق این گونه گیاهی، آزمایشی به مدت یک سال در دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان انجام شد. در این تحقیق، گونه زیره سیاه و همچنین گیاه مرجع چمن، در میکرو لایسیمترها کشت شدند. آبیاری هر کدام از واحدهای آزمایشی بر اساس ظرفیت زراعی و به صورت وزنی اعمال گردید. با احتساب تراکم ۱۰۰ بوته در هر مترمربع میزان تبخیر و تعرق کل و عملکرد گونه زیره سیاه، به ترتیب ۵۴۷ میلی متر و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در این مطالعه با استفاده از برازش منحنی درجه چهار روی داده‌های لایسیمتری مربوط به ضریب گیاهی معادله ضریب گیاهی به عنوان تابعی از روزهای پس از کاشت، برای گونه زیره سیاه به دست آمد. تعداد روزها در مراحل مختلف رشد (مرحله اول (ابتدایی)، دوم (رشد و توسعه)، سوم (میانی) و چهارم (پایانی)) برای گونه زیره سیاه به ترتیب برابر ۱۰، ۳۰، ۳۰ و ۲۰ روز محاسبه گردید. در نهایت، بر اساس روش فائو، برای چهار مرحله دوره رشد، شکل تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد ترسیم گردید و به صورت میانگین، میزان ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد، برای گونه زیره سیاه به ترتیب برابر ۰/۴۳، ۰/۷ و ۰/۵ به دست آمد. در مجموع با استفاده از نیاز آبی واقعی به دست آمده و به کارگیری برنامه دقیق زمان بندی آبیاری می‌توان اقدام به کشت این محصول در منطقه خرم آباد نمود.

کلمات کلیدی: برنامه ریزی آبی، گیاهان دارویی، لایسیمتر، مراحل رشد، نیاز آبی.

مقدمه

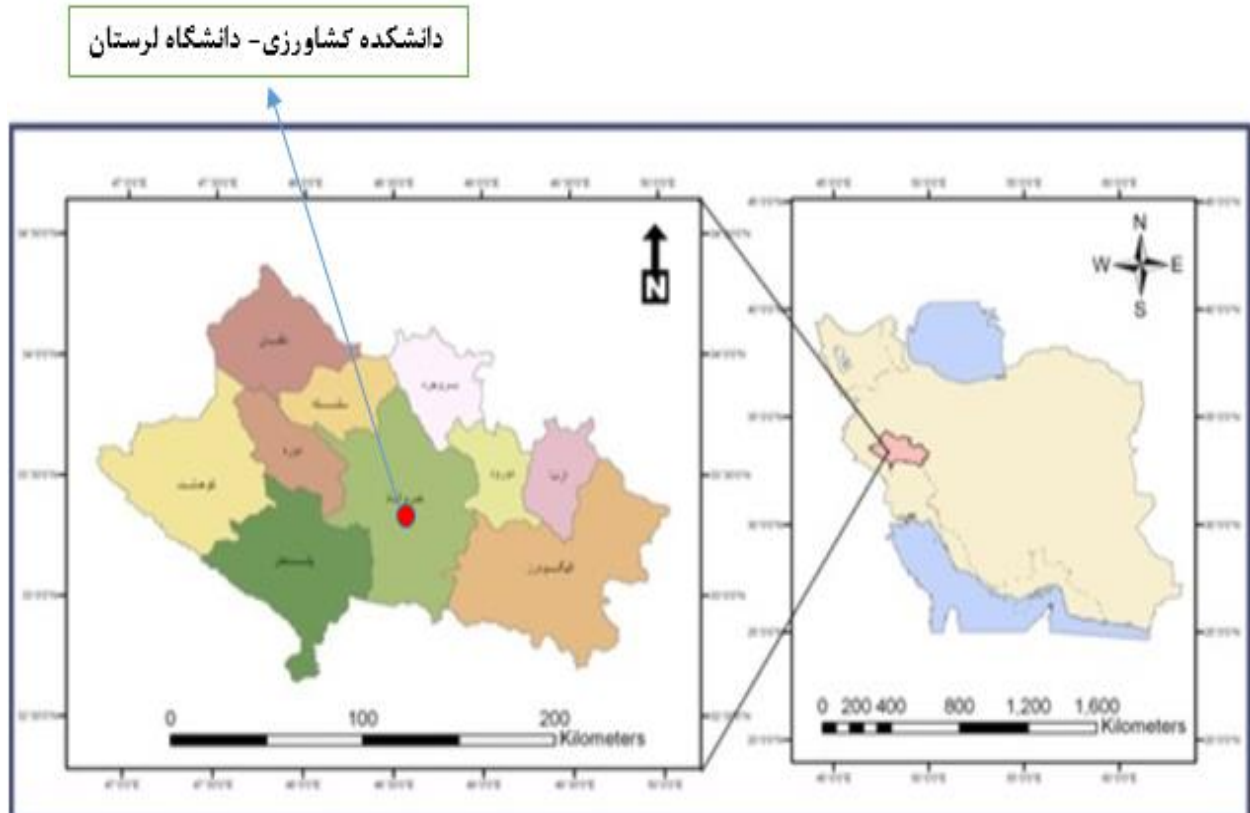
با توجه به رشد روز افزون جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیشتر و کمبود آب در ایران، تعیین نیاز آبی و میزان تبخیر و تعرق واقعی محصولات کشاورزی در هر منطقه، امری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین برای صرفه‌جویی در مصرف آب، باید آب مورد نیاز گیاه محاسبه و بر اساس نیاز آبی در اختیار گیاه قرار گیرد (Alizadeh, 2014). دستیابی به حداکثر مقدار ممکن بهره‌وری آب، بدون شناخت واقعی نیاز آبی گیاه، امری غیر ممکن است. بنابراین تعیین نیاز آبی محصولات کشاورزی هر منطقه، اساسی‌ترین کار ممکن در راستای اهداف آبیاری است (Miri et al., 2021; Ghavam saeidi noghbi et al., 2021). تبخیر و تعرق^۱ (ET) شامل تعرق از بافت‌های گیاهی و تبخیر از سطوح خاک و گاهی اوقات برگ‌های مرطوب است. برآورد دقیق تبخیر و تعرق و اجزای آن برای مطالعات هیدرولوژی، اکولوژی و کشاورزی بسیار حائز اهمیت است (Gan and Liu, 2020). به‌عنوان بزرگترین مؤلفه تبخیر و تعرق، تعرق به‌عنوان یک پیوند مرکزی بین کربن، آب و شار انرژی عمل می‌کند و بخش بزرگی (۴۰-۹۰٪) از شار سالانه آب سطح زمین را تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، تعرق نیز برای درک کارایی مصرف آب گیاه و همچنین پاسخ روزنه‌ها به تنش‌های محیطی مورد نیاز است (Li et al., 2019). برای تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاهان از دو روش متداول استفاده می‌شود (۱) اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_c) با ضریب تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET₀) در ضریب گیاهی (Kc) مراحل مختلف رشد و (۲) تعیین مستقیم تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_c) توسط لایسیمتر (بیان آبی) با دقت بسیار بالا (Li et al., 2019). ضریب گیاهی (Kc) یک مقدار ثابت نبوده و به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی وابسته است (Gan and Liu, 2020). بر اساس روش پیشنهادی فائو باید منحنی تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد ترسیم گردد تا در هر مرحله از رشد، ضریبی متناسب با آن مرحله اعمال گردد. در این حالت، کل دوره رشد گیاه به چهار مرحله اول (ابتدایی)، دوم (رشد و توسعه)، سوم (میانی) و چهارم (پایانی) تقسیم می‌گردد. مرحله اول از جوانه‌زنی تا ۱۰ درصد رشد گیاه، مرحله دوم از انتهای مرحله اول تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد خود رسیده باشد، مرحله سوم از انتهای مرحله توسعه تا رسیدن محصول و مرحله آخر هم تا برداشت محصول ادامه دارد. مراحل مختلف رشد در هر منطقه بسته به شرایط آب و هوایی متفاوت است (Li et al., 2019; Alizadeh, 2014). تحقیقات انجام شده در زمینه تعیین میزان ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق، بیشتر در مورد محصولات زراعی بوده و متأسفانه در زمینه گیاهان دارویی فعالیت چندانی صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت کشت گیاهان دارویی و امکان کشت وسیع در منطقه خرم‌آباد، باید برآورد مناسبی از نیاز آبی این گیاهان در منطقه مورد نظر صورت بگیرد. بنابراین برای مدیریت بهتر آبیاری و یا آبیاری‌های تکمیلی در شرایط دیم، بهتر است به‌صورت بنیادی عمل کرد و با تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی در منطقه، مدیریت‌های آبیاری با دقت بالاتری انجام گیرد. تاکنون نیز در مورد نیاز آبی و ضریب گیاهی، گونه زیره سیاه در خرم‌آباد پژوهشی در این راستا انجام نشده است که در تحقیق حاضر به آن پرداخته شده است.

زیره سیاه با نام علمی (*Bunium persicum* Boiss.) از خانواده چتریان، گیاهی است دارویی و ادویه‌ای با ساقه‌های صاف و میان تهی که تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد. میوه زیره سیاه، کشیده و به رنگ خاکستری قهوه‌ای است (Nourihosseini and Zabihi, 2015). گیاهی بومی منطقه مدیترانه و به‌ویژه جنوب شرق ایران است که بیشتر به‌صورت وحشی در مناطق مختلف استان‌های کرمان، سمنان، شاهرود، اصفهان و یزد می‌روید (Nourihosseini and Zabihi, 2015). زیره سیاه در طب سنتی در موارد ضد گرفتگی عضلات، اشتهاآور، افزایش‌دهنده ترشح شیر، طعم‌دهنده در صنایع غذایی و تقویت‌کننده معده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Khorram Del et al., 2014). برآورد نیاز آبی واقعی گیاهان می‌تواند قدمی موثر در بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی باشد و آینده روشنی را برای مدیریت اثر بخش آب در بخش کشاورزی به ارمغان آورد. در رابطه با برآورد نیاز آبی گیاهان به‌خصوص گیاهان دارویی، در چند سال اخیر تحقیقاتی در سطح کشور انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شو (Miri et al., 2021; Ostadi et al., 2021). میری و همکاران (Miri et al., 2021) در بررسی میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی گیاه دارویی خرفه به روش لایسیمتری گزارش کردند در پایان فصل و در مراحل مختلف رشد، مقادیر مربوط به ضرایب گیاهی خرفه شامل مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و نقطه انتهایی به ترتیب برابر ۰/۹، ۱/۱، ۱/۴ و ۰/۸ به دست آمد نیاز آبی فصلی گیاه خرفه در منطقه مورد مطالعه ۳۵۸/۹۷ میلی‌متر محاسبه شد. میانگین تبخیر و تعرق دره ابتدایی، توسعه و رشد، میانی و نقطه انتهایی به ترتیب ۶۸، ۸۷/۶، ۹۶/۱۱ و ۱۰۷/۲۴ میلی‌متر به دست آمد. نتایج تعیین نیاز آبی و

ضرایب گیاهی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند نشان داد در مرحله ابتدایی میزان تبخیر و تعرق پایین بود، در مراحل توسعه روند افزایشی داشت، در مرحله میانی به حداکثر مقدار خود رسید و در مرحله انتهایی رشد گیاه به علت فرآیند پیری میزان تبخیر و تعرق به حداقل مقدار کاهش یافت (Ostadi et al., 2021). برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند با استفاده از روش بیلان آبی به کمک لایسیمتر نشان داد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و تبخیر و تعرق پتانسیل شاهدانه به ترتیب برابر ۸۹/۶۸۸ و ۶/۸۹۹ میلی‌متر بود. طول مراحل مختلف رشد گیاه شامل مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۳۰، ۵۵، ۷۵ و ۲۰ روز به دست آمد. همچنین مقادیر ضریب گیاهی شاهدانه در مراحل چهارگانه رشد گیاه به ترتیب برابر ۰/۲۸، ۰/۶۸، ۱/۰۱ و ۰/۵۴ به دست آمد. این مقادیر برای برآورد نیاز آبی و مدیریت آبیاری گیاه شاهدانه توصیه می‌شوند (Ghavam saeidi noghahi et al., 2021). نتایج ارزیابی مراحل مختلف رشد گونه سیاهدانه و تعیین ضریب گیاهی آن با استفاده از میکرو لایسیمترها نشان داد طول هر یک از چهار مرحله رشد به ترتیب ۱۰، ۱۱، ۴۱ و ۲۳ روز و ضریب گیاهی برای این دوره‌ها به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۱/۰۲، ۱/۲۱ و ۰/۸ بوده است (Zarei et al., 2017). با توجه به اهمیت بحث گیاهان دارویی و خواص درمانی بالای زیره سیاه، در این تحقیق به بررسی امکان کشت گیاه زیره سیاه در منطقه خرم‌آباد و برآورد مناسبی از ضریب گیاهی این گیاه در این منطقه پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به منظور تعیین تبخیر و تعرق زیره سیاه به مدت یک سال در سال زراعی ۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در کیلومتر ۱۲ جاده خرم‌آباد- اندیمشک (با مختصات جغرافیایی ۲۱ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و ۹۹ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۱۲۱ متری از سطح دریا) (شکل ۱) انجام شد. متوسط ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه زیره سیاه در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Location of the study area

جدول ۱. ویژگی‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه
Table 1. Climatic characteristics of the studied area

ماه	دما (درجه سانتی‌گراد)		بارندگی (میلی‌متر)	رطوبت نسبی (درصد)	
	حداقل	حداکثر		حداقل	حداکثر
فروردین	9.35	24.54	3.05	78.5	25.43
اردیبهشت	11.06	29.25	1.06	76.65	20.65
خرداد	13.42	35.60	0.00	37.23	7.94
تیر	20.13	40.73	0.00	23.90	6.68
مرداد	21.81	41.48	0.00	20.65	6.48
شهریور	18.45	39.19	0.00	23.19	6.26

آزمایش در شرایط میکروولایسیمترهای وزنی (گلدانی - گلدان پلاستیکی با قطر دهانه‌ای ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر) در داخل مزرعه با سه تکرار انجام شد. برای زیره سیاه و گیاه مرجع چمن (بذور زیره سیاه و چمن از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید)، در مجموع شش گلدان در نظر گرفته شد. در هر گلدان، کاشت بذر با تراکم ۱۰۰ بوته در هر متر مربع انجام گرفت. آبیاری هر کدام از واحدهای آزمایشی به صورت وزنی انجام شد. در هر گلدان، به منظور خروج آب اضافی و اندازه‌گیری آن، سوراخ‌هایی در کف گلدان تعبیه شد. برای سهولت زهکشی، یک لایه شن درشت دانه در کف هر گلدان قرار داده شد و حجم باقی مانده توسط خاک زراعی، به همراه کود حیوانی پر شد (Saeidinia et al., 2018). ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های خاک مورد استفاده
Table 2. Characteristics of the soil used

نقطه پژمردگی درصد وزنی	ظرفیت زراعی درصد وزنی	ترکیبات (درصد)			نوع خاک
		سیلت	شن	رس	
16	32	23	46	31	لومی

کشت در هر واحد آزمایشی در اوایل فصل بهار (فروردین) انجام شد. قبل از کشت، ظرفیت زراعی خاک به صورت وزنی و توسط دستگاه صفحات فشار مشخص گردید. وزن مجموع واحدهای آزمایشی در ظرفیت زراعی ثبت گردید. در طول دوره رشد، اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و میزان آب مورد نیاز به صورت وزنی انجام شد و آبیاری به گونه‌ای اعمال شد که رطوبت در حد ظرفیت زراعی باقی بماند. کشت چمن نیز به صورت مستقیم انجام شد و آب مورد نیاز آن نیز طبق روش ذکر شده اعمال گردید. در طول دوره رشد، ارتفاع گیاه مرجع چمن بین ۸ الی ۱۵ سانتی‌متر حفظ گردید.

از کشت مستقیم چمن برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) استفاده شد. بدین صورت که قبل از کاشت بذر گیاه زیره سیاه (*Bunium persicum* Boiss.)، بذر چمن در گلدان‌های کشت داده شد تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری رشد کنند. در طول دوره رشد گیاه زیره سیاه، ارتفاع گیاه چمن در این حد حفظ و در حد پتانسیل، آبیاری شد. نیاز آبی چمن در طول دوره رشد ثبت و به‌عنوان میزان تبخیر و تعرق مرجع در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998).

میزان تبخیر و تعرق واقعی (ET_c) گونه زیره سیاه، به صورت مستقیم و با استفاده از معادله بیلان رطوبتی برآورد شد. معادله کلی بیلان رطوبتی در شرایط استفاده از لایسیمتر به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Allen et al., 1998).

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta S \quad (1)$$

در رابطه فوق ET_c : میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاه، I : میزان آب آبیاری، P : میزان بارندگی، D : آب زهکشی شده و ΔS : تغییرات ذخیره‌ای رطوبت خاک می‌باشد. هر یک از ویژگی‌های فوق در طول دوره رشد به روش وزنی اندازه‌گیری شدند و در نهایت میزان تبخیر و تعرق واقعی محاسبه گردید.

با استفاده از رابطه ۲ مقدار ضریب گیاهی (روزانه) در طول دوره رشد، برای گونه زیره سیاه، محاسبه شد و سپس شکل روزانه ضریب گیاهی، در طول دوره رشد ترسیم گردید. به منظور تعیین بهتر مراحل مختلف دوره رشد گیاه و تعیین ضریب گیاهی در هر مرحله از دوره رشد، اقدام به برازش بهترین منحنی غیر خطی، روی داده‌های مربوط به ضریب گیاهی گردید و از روی منحنی، تعداد روزهای مربوط به دوره‌های مختلف رشد (مرحله ابتدایی (از جوانه‌زنی تا ۱۰ درصد رشد گیاه)، رشد و توسعه (از انتهای مرحله اول تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد خود رسیده باشد)، میانی (از انتهای مرحله توسعه تا رسیدن محصول) و پایانی (از مرحله رسیدن تا مرحله برداشت محصول)) نمایش داده شد (Ko et al., 2009; Piccinni et al., 2009) و در نهایت بر اساس نشریه فائو (Allen et al., 1998) و با در دست داشتن ضریب گیاهی در مراحل ابتدایی، میانی و پایانی، اقدام به ترسیم شکل مربوط به ضریب گیاهی گردید.

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_0} \quad (2)$$

نتایج و بحث

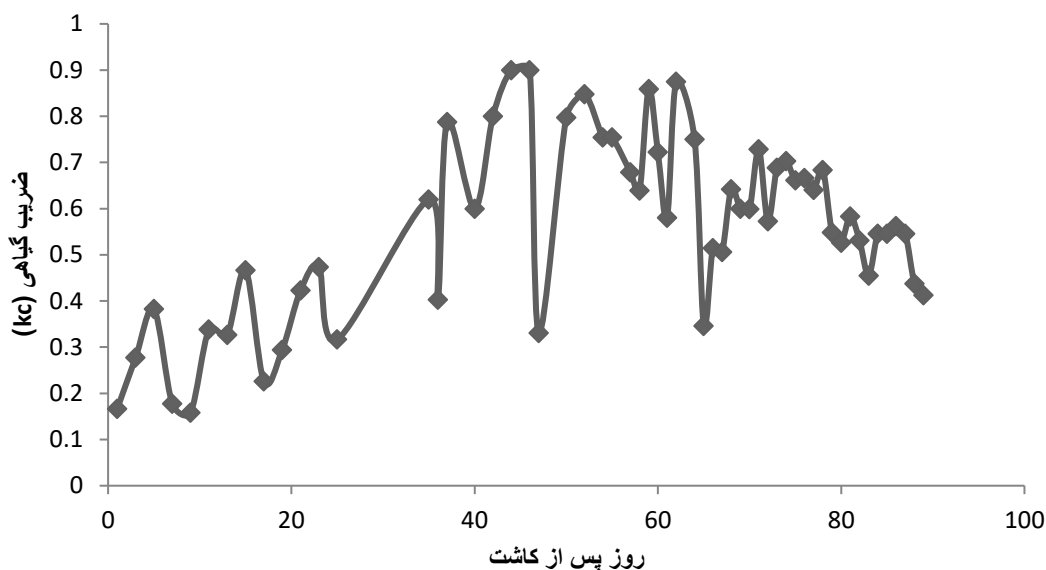
اطلاع از میزان تبخیر و تعرق و یا میزان آب مورد نیاز گیاه، پایه و اساس یک برنامه‌ریزی صحیح آبیاری را تشکیل می‌دهد و در این رابطه، تعیین میزان ضریب گیاهی یکی از بهترین راهکارهای ارائه شده می‌باشد. با احتساب تراکم ۱۰۰ بوته در هر مترمربع، میزان تبخیر و تعرق که بر اساس واحد حجم محاسبه گردید، بر اساس سطح گلدان‌های مورد استفاده، میزان تبخیر و تعرق بر اساس میلی متر در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. تبخیر و تعرق گونه زیره سیاه با استفاده از میکروالیسیمترهای وزنی

Table 3. Evaporation and transpiration of *Bunium persicum* Boiss. species using weighing micro lysimeters

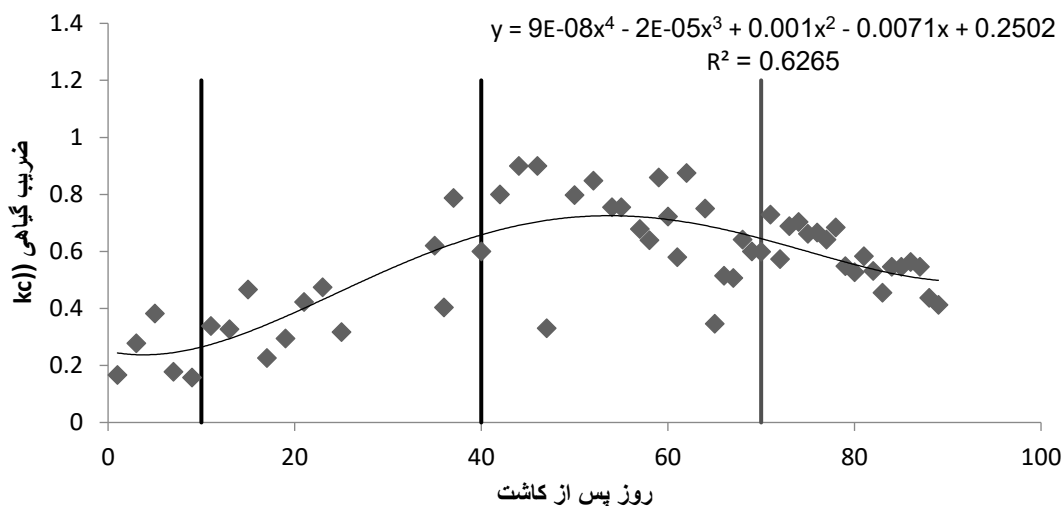
دهه	تبخیر و تعرق (میلی متر)
1	20.34
2	27.224
3	30.724
4	36.228
5	42.332
6	116
7	106.5
8	90.24
9	77.52
جمع کل	547.11

همان طور که جدول (۳) نشان می‌دهد میزان تبخیر و تعرق در مراحل ابتدایی، پایین و در مراحل میانی به حداکثر مقدار خود رسیده و سپس در مراحل پایانی روند کاهشی دارد. بر اساس نتایج به دست آمده، مقدار متوسط تبخیر و تعرق سالانه گونه زیره سیاه با احتساب تراکم کشت ۱۰۰ بوته در هر مترمربع، برابر با ۵۴۷۰ مترمکعب در هکتار (۵۴۷ میلی متر) به دست آمده است. در این تحقیق میانگین وزن خشک محصول (عملکرد) در هر بوته زیره سیاه نیز، معادل ۰/۳ گرم حاصل گردید و با احتساب تراکم کشت ۱۰۰ بوته در هر متر مربع، در گونه زیره سیاه، میزان وزن خشک محصول (عملکرد) برابر با ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. در مرحله بعد، ضریب گیاهی به صورت روزانه محاسبه و ترسیم گردید. میانگین مقادیر روزانه ضریب گیاهی گونه زیره سیاه، در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲. میانگین تغییرات روزانه ضریب گیاهی برای گونه زیره سیاه
 Fig.2. Average daily variation of plant coefficient for *Bunium persicum* Boiss. species

همان طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، تغییرات روزانه ضریب گیاهی شدید می‌باشد، به نظر می‌رسد، این تغییرات ناشی از شرایط آب و هوایی، دقت معادله بیلان و یا خطای اندازه‌گیری باشد (Rahimian, 1991). اما روند کلی نشان می‌دهد در ابتدای دوره رشد، ضریب KC کوچک بوده و در دوره‌های میانی روند صعودی داشته و در انتهای دوره یک روند نزولی دارد. در پژوهش حاضر ابتدا شکل ضرایب گیاهی مربوط به دو گونه گیاهی به‌عنوان تابعی از روزهای پس از کاشت، با استفاده از برازش بهترین منحنی غیر خطی ترسیم گردید.



شکل ۳. تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره‌های مختلف رشد گونه زیره سیاه
 Fig.3. Variations of plant coefficient during different growth periods of *Bunium persicum* Boiss. species

با استفاده از این شکل، نحوه تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد مشخص و در نهایت تعداد روزهای مربوط به هر مرحله رشد تعیین گردید. محققین زیادی مانند سعیدی‌نیا و همکاران (Saeedinia et al., 2018)، احسانی و همکاران (Ehsani et al., 2016)، کو و همکاران (Ko et al., 2009) و پیکسینی و همکاران (Piccinni et al., 2009) از این روش برای ترسیم منحنی ضرایب گیاهی استفاده کرده‌اند. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است میزان ضریب گیاهی به‌عنوان تابعی از روزهای پس از کاشت برای گونه زیره سیاه برابر با $KC = 0.2502 - 0.0071(DAP) + 0.001(DAP^2) - 2 \times 10^{-5}(DAP^3) + 9 \times 10^{-8}(DAP^4)$ به‌دست آمد. نتایج

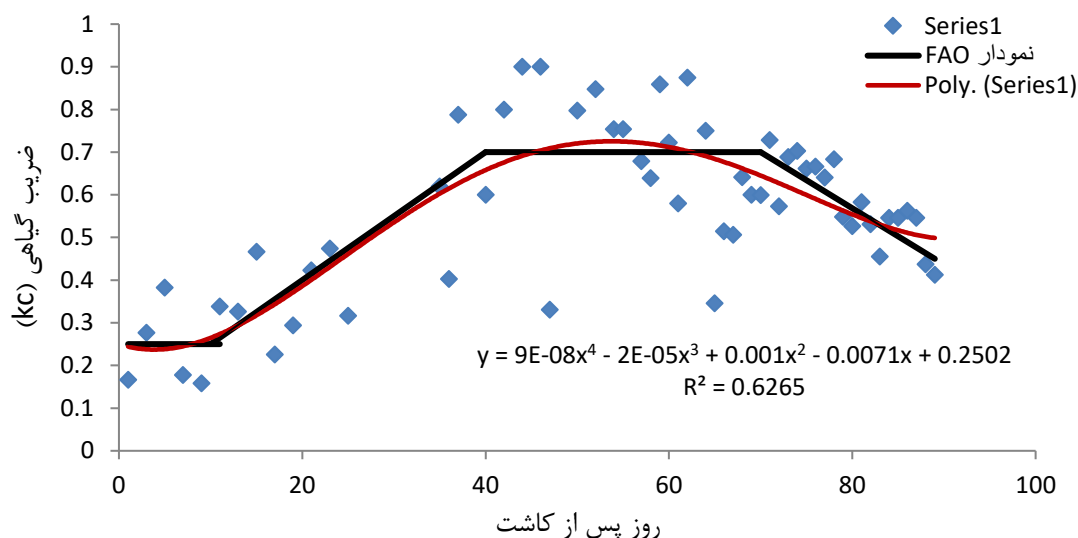
این پژوهش با یافته‌های کو و همکاران (Ko et al., 2009) و پیکسینی و همکاران (Piccinini et al., 2009) که گزارش کرده‌اند این توابع چندجمله‌ای، می‌توانند از درجه سه تا پنج تغییر کنند، همخوانی دارد. قابل ذکر است که، تعداد روزها در مراحل مختلف رشد (مرحله اول (ابتدایی)، دوم (رشد و توسعه)، سوم (میانی) و چهارم (پایانی)) برای گونه زیه سیاه برابر ۱۰، ۳۰، ۳۰ و ۲۰ حاصل شد (جدول ۴).

جدول ۴. تاریخ کشت و طول مراحل مختلف رشد گیاه زیره سیاه

Table 4. Cultivation date and length of different growth stages of *Bunium persicum* Boiss. plant

دوره رشد	دوره اولیه (روز)	دوره توسعه (روز)	دوره میانی (روز)	دوره انتهایی (روز)
طول دوره رشد	10	30	30	20
ضریب گیاهی	0.25	0.43	0.7	0.5

در مرحله آخر، بر اساس نشریه فانو (Allen et al., 1998) اقدام به ترسیم شکل مربوط به ضرایب گیاهی گردید. نتایج نشان داد در مرحله ابتدایی که رشد گیاه کم است، سهم تبخیر بیشتر از تعرق بوده و لذا مقدار ضریب گیاهی پایین است (شکل ۴ و جدول ۴). در واقع ضریب گیاهی دقت مدل را می‌رساند. با توجه به اینکه کار در محیط باز انجام شده است، طبیعی است که ضریب تبیین خیلی بالا نباشد. در مراحل توسعه و میانی با توسعه اندام‌های هوایی گیاهان، میزان تعرق و در نتیجه میزان ضریب گیاهی افزایش می‌یابد. در مرحله پایانی که همراه با زوال گیاه می‌باشد، مجدداً تعرق و در پی آن، میزان ضریب گیاهی کاهش می‌یابد (Ghamar Nia et al., 2014). استادی و همکاران (Ostadi et al., 2021) نیز در برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند نشان دادند که در مرحله ابتدایی میزان تبخیر و تعرق پایین بود، در مراحل توسعه روند افزایشی داشت، در مرحله میانی به حداکثر مقدار خود رسید و در مرحله انتهایی رشد گیاه به علت فرآیند پیری میزان تبخیر و تعرق به حداقل مقدار کاهش یافت. مقدار تبخیر و تعرق مرجع برابر با ۱۴۳۹ میلی‌متر، میانگین نیاز آبی سیاهدانه برابر با ۶۷۰ میلی‌متر و مقدار ضرایب گیاهی در مراحل مختلف اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۵۳، ۰/۵۹ و ۰/۲۸ به دست آمد. نتایج بررسی میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی دو گونه بابونه و زیره سبز در منطقه خرم‌آباد نشان داد میزان تبخیر و تعرق و عملکرد گونه بابونه (با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع) به ترتیب برابر با ۶۱۰/۳ میلی‌متر و ۷۸۰ کیلوگرم در هکتار و در گونه سبز برابر با ۴۱۶/۴ میلی‌متر و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در نهایت، بر اساس روش فانو، برای چهار مرحله رشد، نمودار تغییرات ضریب گیاهی ترسیم و به صورت میانگین، میزان ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد برای گونه بابونه به ترتیب برابر ۰/۱۶، ۰/۵۴، ۰/۸۶ و ۰/۵ و برای گونه سبز برابر ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۷ و ۰/۵ به دست آمد (Saeedinia et al., 2018). بر اساس روش فانو، برای گونه زیره سیاه، به صورت میانگین برای چهار دوره رشد، ضرایب گیاهی به ترتیب برابر ۰/۲۵، ۰/۴۳، ۰/۷ و ۰/۵ به دست آمد. با استفاده از مقادیر به دست آمده برای ضریب گیاهی، می‌توان در مدیریت‌های آبیاری به برآورد نیاز آبی گیاه در منطقه خرم‌آباد پرداخت. به‌طور کلی ضریب گیاهی در چهار مرحله رشد، شامل مرحله ابتدایی رشد (از زمان کاشت تا زمانی که گیاه ۱۰ درصد سطح زمین را بپوشاند)، مرحله توسعه گیاه (از انتهای مرحله ابتدایی تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد خود رسیده و حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد سطح زمین را در برگیرد)، مرحله میانی (از انتهای مرحله توسعه تا زمانی که گیاه شروع به رسیدن کند مثلاً برگ‌ها زرد شوند یا بریزند) و مرحله نهایی (از انتهای مرحله میانی تا زمان برداشت محصول) مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ضریب گیاهی تاثیر تفاوت ویژگی‌های یک محصول و سطح چمن با ظاهر ثابت و پوشش گیاهی کامل را در یک ضریب می‌گنجاند (Allen et al., 1998). در نتیجه انواع محصولات دارای ضرایب گیاهی متفاوتی هستند. ضریب گیاهی به‌طور عمده به ویژگی‌های گیاه و به‌طور محدودتر به اقلیم هر منطقه بستگی دارد که این امر بیانگر لزوم استفاده از ضرایب گیاهی استاندارد در مناطق و اقلیم‌های مختلف می‌باشد (Ghavam saeidi nohabati et al., 2021).



شکل ۴. میانگین ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد برای گونه زیره سیاه
 Fig.4. Average plant coefficient in different growth periods for *Bunium persicum* Boiss. species

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر نتایج نشان داد میزان تبخیر و تعرق و عملکرد گونه زیره سیاه، برای هر بوته، به‌ترتیب برابر با ۵/۴۷ لیتر (با احتساب تراکم ۱۰۰ بوته در هر مترمربع میزان تبخیر و تعرق برابر ۵۴۷ میلی‌متر) و ۰/۳ گرم به دست آمد. با استفاده از برازش منحنی درجه چهار، بر روی داده‌های لایسیمتری مربوط به ضریب گیاهی، معادله ضریب گیاهی به‌عنوان تابعی از روزهای پس از کاشت، برای گونه زیره سیاه به‌صورت $Kc=0.2502 - 0.0071 (DAP) + 0.001 (DAP^2) - 2 \times 10^{-5} (DAP^3) + 9 \times 10^{-8} (DAP^4)$ در مراحل مختلف رشد (مرحله اول (ابتدایی)، دوم (رشد و توسعه)، سوم (میانی) و چهارم (پایانی)) برای گونه زیره سیاه برابر ۱۰، ۳۰، ۳۰ و ۲۰ روز محاسبه گردید. در نهایت، بر اساس روش فائو، برای چهار مرحله دوره رشد، شکل تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد ترسیم گردید و به‌صورت میانگین، میزان ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد، برای گونه زیره سیاه به‌ترتیب برابر ۰/۲۵، ۰/۴۳، ۰/۷ و ۰/۵ به‌دست آمد. با توجه به کمبود آب در کشور، تعیین ضریب گیاهی و نیاز آبی زیره سیاه، علاوه بر آبیاری مکانیزه، امکان برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری در طول دوره رشد گیاه نیز فراهم خواهد کرد.

منابع

- Alizadeh, A. (2014). Soil, water, plant relationship. 14th edition, *Imam Reza University Press*, Mashhad, Iran (In Persian).
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome, 300(9)*, D05109.
- Ehsani, M., Heshmati, G., & Tamertash, R. (2016). Investigating the effects of topographical factors and LFA indices on plant species diversity (Case study: Summer rangeland at the Valuye of Kiyasar), *Journal of Range Land, 9(3)*, 255-267 (In Persian).
- Gan, G., & Liu, Y. (2020). Inferring transpiration from evapotranspiration: A transpiration indicator using the priestley-taylor coefficient of wet environment. *Ecological Indicators, 110*, 105853.
- Ghamar Nia, H., Jafari Zadeh, M., Miri, E., & Ghobadi M. (2014). Determination of water requirement for *coriandrum sativum* L. by lysimetric method in a semi-arid climate. *JWSS - Journal of Water and Soil Science, 17(66)*, 1-9 (In Persian).
- Ghavam saeidi noghabi, S., shahidi, A., & Homami, H. (2021). Estimation of water requirement and crop coefficient for hemp at different growth stages in birjand plain. *Journal of Water Research in Agriculture, 34(4)*, 563-573 (In Persian).
- Ghavam seeidi noghabi, S., Khashei-siuki, A., & Hammami, H. (2019). The estimation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) crop coefficients at different growth stages by lysimetric method in birjand region. *Water and Soil, 33(1)*, 1-11 (In Persian).

- Khorram Del, S., Rizvani Moghadam, P., Asadi, G.A., Seidi, S.M., & Azizi, H. (2014). Effect of different levels of manure and tuber weights on yield and yield components of black cumin (*Bunium persicum* Bioss.). *Plant Production Research*, 22(4), 133-155 (In Persian).
- Ko, J., Piccinni, G., Marek, T., & Howell, T. (2009). Determination of growth-stage-specific crop coefficient (Kc) of cotton and wheat. *Agricultural Water Management*, 96(12), 1691-1697.
- Li, X., Gentine, P., Lin, C., Zhou, S., Sun, Z., Zheng, Y., & Zheng, C. (2019). A simple and objective method to partition evapotranspiration into transpiration and evaporation at eddy-covariance sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265, 171-182.
- Miri, Z., Khashei-Siuki, A., & Salari, A. (2021). The estimation of evapotranspiration and crop coefficient of purslane herb plant in shiraz. *Water and Irrigation Management*, 11(3), 451-460 (In Persian).
- Nourihosseini, S.M., & Zabihi, H.R. (2015). Optimed management of fertilizer recommendation in black cumin (*Bunium persicum* L.) cultivated lands. *Land Management Journal*, 3(1), 49-60 (In Persian).
- Ostadi, E., Khasheisiuki, A., & salari, A. (2021). Estimation of crop coefficients in different stages of growth and water requirement of *nigella sativa* L. in arid region of birjand, iran. *Journal of Water Research in Agriculture*, 35(3), 277-286 (In Persian).
- Piccinni, G., Ko, J., Marek, T., & Howell, T. (2009). Determination of growth-stage-specific crop coefficient (Kc) of maize and sorghum. *Agricultural Water Management*, 96(12), 1698-1704.
- Rahimian Mashhadi, H. (1991). Effect of planting date and irrigation on growth and yield of cumin. *Journal of Agricultural Science*, 3(4), 46-61 (In Persian).
- Saeidinia, M., Tarnian, F., Hosseinian, S.H., Nasrollahi, A. (2018). Estimation of the evapotranspiration and crop coefficient of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) and cumin (*Cuminum cyminum* L.) in khorram abad region. *Water and Irrigation Management (Scientific Journal of Agriculture)*, 8(1), 165-174.
- Zarei, A., Zohrabi, S., & Boomeh, F. (2017). Evaluation of different growth stages of *nigella sativa* L. and assessment of crop coefficient (Kc). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(4), 597-607 (In Persian).