



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

صفحه‌های ۴۳-۳۳

برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک جزئی و دوجزئی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در اقلیم نیمه‌خشک

هوشنگ قمرنیا*^۱، سجاد امیری^۲ و محمود خرمی وفا^۳

۱. دانشیار، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۳. استادیار، گروه زراعت، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۷/۱۴

چکیده

برای برنامه‌ریزی آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تعیین ضرایب گیاهی بر مبنای مراحل رشد و نیز تخمین تبخیر و تعرق گیاه ضروری است. پژوهش حاضر به منظور تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی گیاه رزماری در منطقه‌ای با اقلیم نیمه‌خشک با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار انجام گرفت. با به‌کارگیری لایسیمتر می‌توان مقدار دقیق نیاز آبی را در هر روز تعیین کرد و ارتباط آن با تبخیر و تعرق پتانسیل، مقدار مصرف آب در دوره‌های مختلف رشد گیاه و ضریب K_c گیاه را مشخص و در نتیجه برنامه‌ریزی مناسب آبیاری را اعمال کرد. به این منظور از پنج لایسیمتر زهکش‌دار استفاده شد که دو لایسیمتر به محاسبه تبخیر تعرق چمن و خاک بدون پوشش گیاهی اختصاص یافت و در سه لایسیمتر دیگر گیاه رزماری کشت شد. در طول دوره رشد، آب کافی در اختیار گیاه قرار گرفت و مقدار پتانسیل آب در خاک همواره در حد ظرفیت زراعی بود. مقدار تبخیر و تعرق برای لایسیمترهای چمن و خاک از رابطه بیلان آبی محاسبه شد و از اندازه‌گیری تبخیر و تعرق لایسیمترها، نیاز آبی گیاه رزماری $۴۹۵/۶۳$ میلی‌متر به‌دست آمد. در ضمن بیشترین تبخیر و تعرق در ماه شهریور اتفاق افتاد و از تقسیم نیاز آبی گیاه بر نیاز آبی گیاه مرجع، ضرایب گیاهی منفرد و ضرایب گیاهی پایه در مراحل اولیه، توسعه و میانی به ترتیب $۰/۳۰$ ، $۰/۶۳$ ، $۰/۹۶$ و $۱/۰۵$ ، $۱/۰۲$ ، $۲۰/۳۲$ به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: رزماری، ضریب گیاهی، لایسیمتر زهکش‌دار، معادله بیلان آب، نیاز آبی.

مقدمه

تبخیر- تعرق یکی از اجزای مهم چرخه هیدرولوژی است. با توجه به کاهش شدید ذخیره آبهای شیرین دنیا، برآورد دقیق تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاه ضروری به نظر می‌رسد [۶]. شناخت رفتار و خصوصیات پوشش گیاهی غیرمرجع در مقایسه با پوشش گیاهی مرجع (چمن)، اولین قدم در شناخت تبخیر- تعرق است. ضریب گیاهی (K_c) بیان‌کننده تأثیرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک گیاه غیرمرجع در مقایسه با گیاه مرجع است [۱۰].

در سال ۲۰۱۱ نیاز آبی و ضرایب گیاهی منفرد و دوجزئی سیر با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در آب‌وهوای نیمه‌خشک سرد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که ضریب گیاهی دوجزئی از ضریب گیاهی منفرد دقیق‌تر است، اما استفاده از ضریب گیاهی منفرد برای کاربر ساده‌تر است [۲]. لیو و لوو در سال ۲۰۱۰ ضرایب گیاهی دوگانه را که توسط FAO-56 برای ذرت تابستانه و گندم پاییزه در منطقه شمال چین گزارش شده بود، ارزیابی و بررسی کردند. نتایج نشان داد که روش استفاده از ضرایب گیاهی دوجزئی برای دو محصول پذیرفتنی است، اما برای دوره حداکثر نتایج غلطی ارائه می‌دهد. آنها پیشنهاد کردند که مقادیر ضرایب گیاهی پایه طی دوره‌های اولیه، میانی و پایانی برای دو محصول اصلاح شود. مقادیر ضرایب گیاهی برآوردشده توسط لایسیمتر طی دوره‌های رشد شامل اولیه، توسعه، میانی و پایانی برای گندم پاییزه به ترتیب ۰/۸، ۰/۹۵ و ۱/۱، ۲۵/۱۵ و برای ذرت تابستانه به ترتیب ۰/۹، ۰/۹۳ و ۱/۲۵ و ۱ برای منطقه تحت مطالعه گزارش شد [۱۱]. محققان در سال ۲۰۰۹ ضرایب گیاهی پياز را در اتيوپی با استفاده از سه دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار به‌دست آوردند. آنها مقادیر نیاز آبی در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد را به ترتیب ۵۱/۳، ۱۴۰/۵، ۱۴۴/۸ و ۵۳/۹ میلی‌متر محاسبه کرده و مقادیر K_C برای مراحل ابتدایی، میانی و پایانی رشد را به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۹۹ و

۰/۴۶ برآورد کردند [۹]. در سال ۱۳۹۰ به‌منظور تعیین ضرایب گیاهی گشنیز، آزمایشی به‌مدت دو سال با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار انجام گرفت. در این تحقیق، مقدار نیاز آبی گشنیز با استفاده از روش بیلان آبی و مقدار تبخیر- تعرق مرجع با روش پنمن- مونتیث- فائو محاسبه شد و در نهایت طی دو سال آزمایش، مقدار ضرایب گیاهی برای گشنیز در مراحل رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به ترتیب ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به‌دست آمد [۳].

رزماری با نام علمی (*Rosmarinus officinalis* L.) از خانواده نعنائیان (Labiatae) است که پرورش آن در بسیاری از نقاط ایران معمول است [۴]. گیاه رزماری یکی از کاربردی‌ترین گیاهان دارویی و معطر در صنایع دارویی و غذایی است. روغن رزماری در صنایع دارویی و آرایشی و بهداشتی کاربرد وسیعی دارد [۵]. رزماری گیاهی چندساله و به‌شکل بوته‌ای است که در تمام فصل‌های سال سرسبز است. از خصوصیات این گیاه بوی فراوان برگ‌ها است که آن را به‌عنوان یک گیاه معطر مشهور کرده است. این گیاه از گیاهان بومی مدیترانه است و در ایران نیز کشت می‌شود. اسانس رزماری با کاربرد طعم‌دهندگی در مواد غذایی استفاده می‌شود و همچنین به‌علت دارا بودن خاصیت ضد میکروبی و خاصیت آنتی‌اکسیدانی وسیع نوعی گیاه دارویی به‌شمار می‌رود [۱].

با توجه به اینکه در منابع مختلف مقداری برای ضرایب گیاهی رزماری و همچنین برآورد نیاز آبی آن تاکنون در هیچ مرجعی گزارش نشده و علی‌رغم مصرف و توان تولید فراورده‌های مختلف دارویی از آن، هنوز مطالعه خاصی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آب آن صورت نپذیرفته است، این تحقیق با هدف اندازه‌گیری و برآورد نیاز آبی و تعیین K_c رزماری و بررسی الگوی تغییرات آن طی فصل رشد، با استفاده از روش بیلان آبی و براساس مقادیر تبخیر و تعرق لایسیمتری در اقلیم نیمه‌خشک طراحی و اجرا شد.

مدیریت آب و آبیاری

مواد و روش‌ها

برای اجرای این طرح از پنج عدد لایسیمتر زهکش‌دار به قطر ۱/۳ متر و عمق ۱/۴ متر استفاده شد که در سه لایسیمترها گیاه رزماری و در یک لایسیمتر، گیاه مرجع چمن کشت شد و در لایسیمتر دیگر تبخیر از خاک بدون پوشش برآورد شد. بافت خاک به‌کاررفته در لایسیمترها، سیلتی رسی و مقدار رطوبت آن در محدوده ظرفیت زراعی خاک ۲۴ درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری آن ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. در جدول‌های ۲ و ۳ مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه تحت استفاده در لایسیمترها آمده است.

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی پردیس دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متری از سطح دریا در سال ۱۳۹۱ به انجام رسید. طی مدت اجرای تحقیق و بررسی داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی تمام‌اتوماتیک که به فاصله پنجاه متری از محل آزمایش قرار داشت، به‌صورت روزانه دریافت شد. پارامترهای هواشناسی در طول دوره آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی در طول دوره آزمایش در سال ۱۳۹۱

سال	ماه	متوسط درجه حرارت (°C)	متوسط رطوبت نسبی (درصد)	متوسط سرعت باد (m/s)	متوسط ساعت آفتابی (hr)	بارندگی ماهیانه (mm)	تابش (j/cm ²)
۱۳۹۱	خرداد	۲۴/۹	۲۱/۴	۷/۹	۹/۷	۰/۰	۴۵۲۶/۵
	تیر	۲۸/۱	۱۹/۶	۷/۶	۱۰/۲	۰/۰	۲۵۷۴/۲
	مرداد	۲۹/۸	۱۶/۳	۷/۸	۹/۹	۰/۰	۲۵۷۵/۳
	شهریور	۲۵/۹	۱۴/۶	۷/۴	۱۰/۳	۰/۰	۱۷۷۷
	مهر	۲۰/۱	۲۷/۷	۶/۹	۸/۳	۰/۱	۲۳۷۵

جدول ۲. مشخصات فیزیکی خاک منطقه تحت مطالعه

عمق نمونه‌گیری (cm)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm ³)	بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
۹۰ - ۰	۱/۳	سیلتی رسی	۳/۷	۴۲/۳	۵۴

جدول ۳. مشخصات شیمیایی خاک منطقه تحت مطالعه

pH	EC _e (μmohs/cm)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم جذب قابل (ppm)	کربن آلی %	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
۷/۳	۰,۶۰	۲۶	۴۴۰	۱/۳۸	۷/۸	۱۱/۹	۱/۳۶	۱/۶۴

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

۱. محاسبه ضریب گیاهی منفرد (یک جزئی)

ضریب گیاهی منفرد اثر متفاوت بودن ویژگی‌های یک محصول و سطح چمن با ظاهر ثابت و پوشش گیاهی کامل را در یک ضریب می‌گنجانند. بنابراین، انواع محصولات، ضرایب گیاهی متفاوتی دارند. متغیر بودن ویژگی‌های گیاه در طول دوره رشد نیز بر ضریب گیاهی مؤثر است. ضریب گیاهی منفرد برای دو گروه لایسیمتر تحت آزمایش از رابطه ۲ به دست آمد.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (2)$$

در این آزمایش مقدار ET_c از معادله بیلان آبی خاک (۱) برای گیاه به دست آمده و مقدار ET_0 با اندازه‌گیری مستقیم از لایسیمتر، برای گیاه مرجع محاسبه شد. ضمناً، در این تحقیق، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چمن به‌طور مستقیم از لایسیمتر و روش بیلان آبی محاسبه شده، ولی از آنجا که همیشه امکان محاسبه مستقیم ET_0 وجود ندارد باید مناسب‌ترین روش تجربی را که بیشترین دقت را در محاسبه تبخیر تعرق مرجع دارد به دست آورد. در این شرایط، پس از بررسی روش‌های مختلف، روش پنمن مانیت با داشتن ضریب همبستگی $R^2 = 0.79$ با نتایج لایسیمتری، به‌عنوان بهترین روش محاسبه ET_0 انتخاب شد. تبخیر تعرق گیاه مرجع در روش پنمن مانیت از رابطه ۳ محاسبه شد [۸].

(۳)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

که در آن:

R_n = تابش خالص خورشیدی (MJ m⁻² per day);

G = شار حرارتی خاک (MJ m⁻² day⁻¹);

γ = ثابت سایکرومتری (kPa°C⁻¹);

Δ = شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما (kPa°C⁻¹);

u_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (m s⁻¹);

$(e_s - e_a)$ = کمبود فشار بخار اشباع هوا (kPa).

در خرداد ۱۳۹۱ کشت رزماری از طریق انتقال بوته‌ها به محل کشت انجام گرفت. طول دوره رشد گیاه ۱۲۵ روز بود و رشد گیاه تا زمان گلدهی و شرایط مناسب برای اسانس‌گیری از گیاه ادامه داشت. به دلیل اینکه بهترین زمان برای برداشت بوته‌ها و سرشاخه‌های مناسب برای اسانس‌گیری قبل از رفتن بوته به گلدهی است، قبل از رسیدن دوره پایانی گیاه برداشت صورت گرفت. با شروع فصل رشد نمونه‌برداری‌ها آغاز شد. ضمناً در هر رکوردگیری مقادیر عمق آبیاری، بارندگی، زهکش و تغییرات ذخیره رطوبتی خاک ثبت و با استفاده از معادله بیلان آب، تبخیر و تعرق واقعی گیاه رزماری و چمن و خاک بدون پوشش تعیین شد.

برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاهی توسط لایسیمتر زهکش‌دار برای دوره زمانی معین، از رابطه بیلان آبی خاک استفاده شد.

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

که در آن:

I = آب آبیاری (mm)

P = بارندگی (mm)

D = زهکش (mm)

ΔS = تغییرات رطوبت خاک در دوره معین (mm)

در این تحقیق اندازه‌گیری محتوای آب خاک قبل از هر آبیاری توسط دستگاه TDR و حسگرهای مربوط که در هر لایسیمتر در اعماق ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داشت انجام گرفت و چنانچه رطوبت خاک در لایسیمتر با کشت رزماری حداکثر از ۷۰ درصد رطوبت سهل‌الوصول کمتر بود، اقدام به آبیاری می‌شد. آب اضافی خارج شده از لایسیمترها نیز با استفاده از لوله‌های زیرزمینی به داخل مخازن موجود در اتاقک دسترسی زیرزمینی مجاور لایسیمترها تخلیه شده و توسط ظرف مدرج اندازه‌گیری شد.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک جزئی و دوجزئی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در اقلیم نیمه خشک

جدول ۴. مقایسه روش‌های مختلف محاسبه ET_0

Method	Mean (mm/day)	Total (mm)	R	RMSE	MBE	t
1 FAO-Penman equation	۱۷/۸۳	۲۷۶۳/۴۱	۰/۵۰	۱۳/۳۵	۱۲/۵۱	۳۳/۲۷
2 Penman-Kimberly	۱۱/۵۴	۱۷۸۹/۱۹	-۰/۱۶	۷/۷۲	۶/۲۲	۱۶/۹۵
3 Penman-Monteith 56 (PM)	۴/۸۹	۷۵۷/۳۷	۰/۸۹	۱/۲۰	-۰/۴۳	۴/۷۹
4 Turc-Radiation	۲/۶۶	۴۱۲/۷۰	۰/۸۵	۳/۰۵	-۲/۶۶	۲۱/۸۹
5 Priestley and Taylor	۷/۱۰	۱۱۰۱/۲۲	۰/۷۴	۲/۳۷	۱/۷۹	۱۴/۱۷
6 Hargreaves	۶/۹۳	۱۰۷۳/۷۴	۰/۸۷	۱/۹۶	۱/۶۱	۱۷/۸۱
7 Blaney-Criddle	۷/۴۹	۱۱۶۱/۳۹	۰/۸۹	۲/۵۴	۲/۱۷	۲۰/۶۲
8 Makkink	۴/۴۰	۶۸۱/۲۳	۰/۷۳	۱/۸۷	-۰/۹۲	۷/۰۵
9 FAO-Radiation	۸/۴۴	۱۳۰۸/۱۸	۰/۸۰	۳/۵۱	۳/۱۲	۲۴/۱۳

۲. محاسبه ضریب گیاهی دوجزئی

ضریب گیاهی در روش دوجزئی، به دو ضریب جداگانه که یکی اثر تعرق گیاه را توصیف می‌کند و ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) نامیده می‌شود و دیگری اثر تبخیر از خاک (K_e) را بیان می‌کند، تفکیک می‌شود و بنابراین، ضریب گیاهی دوجزئی به صورت رابطه ۴ محاسبه شد.

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (۴)$$

که در آن:

$$K_{cb} = \text{ضریب گیاهی پایه؛}$$

$$K_e = \text{ضریب مربوط به تبخیر از سطح خاک.}$$

براساس پژوهش آلن و پیرا در سال ۲۰۰۹ برای K_{cb} رابطه ۵ ارائه شده است [۷]:

$$K_{cb} = K_{c,min} + K_d (K_{cb,full} - K_{c,min}) \quad (۵)$$

که در آن:

$$K_{cb} = \text{ضریب گیاهی پایه؛}$$

$$K_{c,min} = \text{حداقل ضریب گیاهی برای خاک خشک بدون}$$

پوشش (۰/۲-۰/۱۵) که در این آزمایش ۰/۱۵ در نظر گرفته

شده است؛

$$K_d = \text{ضریب تراکم}$$

$$K_{cb,full} = \text{مقدار } K_{cb} \text{ در دوره پیک رشد گیاه (هنگامی}$$

که پوشش گیاه کامل باشد).

$$K_d = (1 - e^{(-0.7LAI)}) \quad (۶)$$

که در آن:

$$LAI = \text{شاخص سطح برگ (m}^2/\text{m}^2\text{)}$$

$$h = \text{متوسط ارتفاع گیاه در طول دوره رشد (m).}$$

(۷)

$$K_{cb,full} = F_r (\min(1 + 0.1h, 1.2) + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)](h/3)^{0.3})$$

$$F_r = \text{فاکتور اصلاحی برای کنترل روزنه گیاه که مقدار}$$

آن بین ۰ تا ۱ متغیر است.

$$\text{مقدار استاندارد } F_r \text{ برابر یک است، زیرا برای اغلب}$$

$$\text{گیاهان یکساله مقدار } r \text{ برابر (s/m) ۱۰۰ در نظر گرفته می-}$$

شود [۸].

$$\text{فرض بر این است که تبخیر از خاک زیرین پوشش}$$

$$\text{گیاهی در } K_{cb} \text{ گنجانده شده است، بنابراین به صورت}$$

$$\text{مستقیم اندازه گیری نمی شود. تبخیر محاسبه شده، مربوط به}$$

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

مقدار تبخیر از خاک بدون پوشش به‌طور مستقیم از لایسمتر اندازه‌گیری شد و با محاسبه کسر خاک خیس شده و در معرض هوا از روابط گفته‌شده، جزء تبخیر در معادله ضریب گیاهی دوجزئی برآورد شد.

نتایج و بحث

هدف این تحقیق فراهم آوردن بهترین شرایط برای رشد گیاه بود. بنابراین دور آبیاری به‌گونه‌ای انتخاب شد که تنشی به گیاه وارد نشود. در جدول ۵، مقدار آب آبیاری، تاریخ آبیاری و تعداد دفعات آبیاری طی آزمایش ارائه شده است. همچنین شکل ۱ زمان، مقدار آبیاری، بارندگی و تغییرات متوسط دما را نشان می‌دهد. در تاریخ‌هایی که در منطقه تحت مطالعه بارندگی رخ داده، نیازی به آبیاری نبوده و در ماه‌های گرم (تیر و مرداد) که نیاز آبی گیاه بیشتر است، مقدار آبیاری نیز بیشتر بوده است. شکل ۲، تغییرات تبخیر-تعرق گیاه از لایسمتر (ET_c) و گیاه مرجع (ET_0) در دوره رشد گیاه رزماری در لایسمترها را نشان می‌دهد. اختلاف بین مقادیر تبخیر-تعرق گیاه رزماری و تبخیر-تعرق گیاه مرجع طی دوره رشد، نشان از افزایش نیاز آبی رزماری در دوره رشد گیاه دارد. در جدول ۶، تبخیر-تعرق ماهیانه رزماری در طول دوره رشد آورده شده است. پس از محاسبه ET_c در هر یک از لایسمترها، میانگین تبخیر-تعرق ماهیانه محاسبه شد. مجموع تبخیر-تعرق در طول دوره رشد رزماری ۴۹۵/۵۰ میلی‌متر به‌دست آمد.

لایه خاک خیس در معرض هوا است. تبخیر E_i از معادله زیر محاسبه شد:

$$\frac{E_i}{few} = K_e \times ET_0 \quad (8)$$

عبارت (E_i/few)، شدت تبخیر در کسر خاک خیس شده و در معرض هوا را نشان می‌دهد.

few = کسر خاک خیس شده و در معرض هوا؛

K_e = ضریب مربوط به تبخیر از سطح خاک؛

E_i = تبخیر از خاک؛

ET_0 = تبخیر-تعرق گیاه مرجع.

$$few = 1 - fc$$

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{cmin}}{K_{cmax} - K_{cmin}} \right)^{(1+0.5h)} \quad (9)$$

که در آن:

f_c = کسر پوشش گیاهی مؤثر (۰/۹۹-۰)؛

K_{cb} = ضریب گیاهی پایه برای یک روز یا یک دوره

مشخص؛

K_{cmin} = حداقل ضریب گیاهی برای خاک خشک بدون

پوشش (۰/۲-۰/۱۵)؛

K_{cmax} = حداکثر ضریب گیاهی بلافاصله پس از خیس

شدن سطح خاک (رابطه ۱۰)؛

h = میانگین ارتفاع گیاه (m).

$$(10)$$

$$K_{cmax} = \max \left\{ \left[1.2 + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)](h/3)^{0.3} \right], (K_{cb} + 0.05) \right\}$$

که در آن:

K_{cb} = ضریب گیاهی پایه؛

h = حداکثر ارتفاع گیاه در دوره مورد نظر؛

U_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (ms^{-1})؛

RH_{min} = میانگین روزانه حداقل رطوبت نسبی (%).

برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک جزئی و دوجزئی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در اقلیم نیمه خشک

جدول ۵. تاریخ و مقدار آب آبیاری برای لایسیتراهای گیاه رزماری

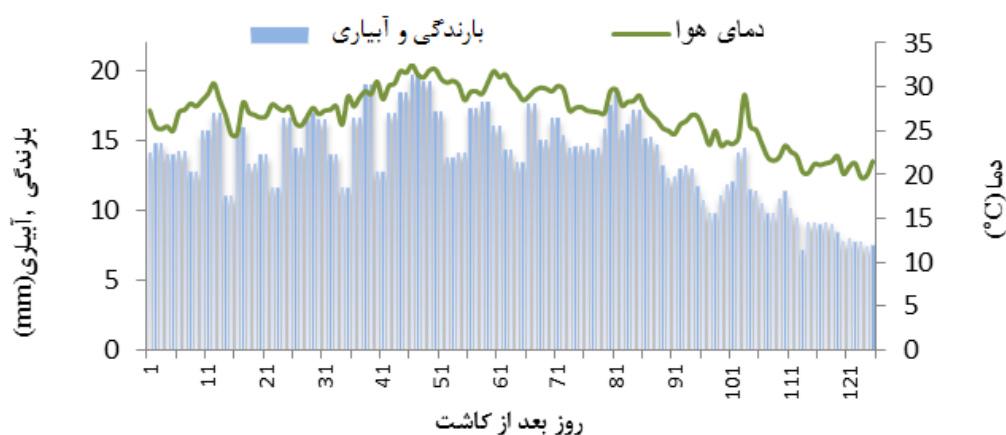
مقدار آبیاری (mm)	تاریخ آبیاری	مقدار ردیف	مقدار آبیاری (mm)	تاریخ آبیاری	مقدار ردیف	مقدار آبیاری (mm)	تاریخ آبیاری	مقدار ردیف	مقدار آبیاری (mm)	تاریخ آبیاری	مقدار ردیف
۲۴/۱۶	۱۳۹۱/۷/۹	۴۶	۳۶/۰۵	۱۳۹۱/۶/۶	۳۱	۲۰/۰۶	۱۳۹۱/۴/۳۱	۱۶	۱۴/۱	۱۳۹۱/۳/۱۹	۱
۵۵/۸۸	۱۳۹۱/۷/۱۴	۴۷	۴۲/۲۴	۱۳۹۱/۶/۹	۳۲	۳۵/۸۰	۱۳۹۱/۵/۴	۱۷	۱۰/۳۵	۱۳۹۱/۳/۲۱	۲
			۴۳/۰۹	۱۳۹۱/۶/۱۱	۳۳	۲۶/۸۷	۱۳۹۱/۵/۷	۱۸	۱۲/۸۸	۱۳۹۱/۳/۲۳	۳
			۳۰/۸۳	۱۳۹۱/۶/۱۳	۳۴	۲۲/۹۷	۱۳۹۱/۵/۹	۱۹	۱۶/۶۱	۱۳۹۱/۳/۲۶	۴
			۳۹/۷۲	۱۳۹۱/۶/۱۵	۳۵	۲۸/۲۱	۱۳۹۱/۵/۱۱	۲۰	۱۶/۹۸	۱۳۹۱/۳/۲۹	۵
			۳۱/۸۲	۱۳۹۱/۶/۱۷	۳۶	۱۹/۸۲	۱۳۹۱/۵/۱۳	۲۱	۱۵/۲۹	۱۳۹۱/۴/۱	۶
			۲۲/۳۶	۱۳۹۱/۶/۱۹	۳۷	۳۸/۳۶	۱۳۹۱/۵/۱۶	۲۲	۱۴/۹۹	۱۳۹۱/۴/۴	۷
			۳۲/۶۰	۱۳۹۱/۶/۲۱	۳۸	۳۱/۴۳	۱۳۹۱/۵/۱۹	۲۳	۱۳/۲۳	۱۳۹۱/۴/۷	۸
			۱۹/۰۵	۱۳۹۱/۶/۲۳	۳۹	۲۷/۳۰	۱۳۹۱/۵/۲۱	۲۴	۱۶/۸۱	۱۳۹۱/۴/۱۰	۹
			۳۱/۲۱	۱۳۹۱/۶/۲۶	۴۰	۲۴/۴۶	۱۳۹۱/۵/۲۳	۲۵	۱۶/۷۷	۱۳۹۱/۴/۱۳	۱۰
			۱۸/۴۱	۱۳۹۱/۶/۲۸	۴۱	۲۷/۷۴	۱۳۹۱/۵/۲۵	۲۶	۱۵/۹۲	۱۳۹۱/۴/۱۶	۱۱
			۱۹/۹	۱۳۹۱/۶/۳۰	۴۲	۴۱/۵۹	۱۳۹۱/۵/۲۸	۲۷	۱۴/۱۹	۱۳۹۱/۴/۱۹	۱۲
			۳۰/۴۴	۱۳۹۱/۷/۲	۴۳	۲۴/۰۴	۱۳۹۱/۵/۳۰	۲۸	۲۲/۵۶	۱۳۹۱/۴/۲۳	۱۳
			۱۸/۰۹	۱۳۹۱/۷/۴	۴۴	۳۰/۲۰	۱۳۹۱/۶/۱	۲۹	۱۲/۵۵	۱۳۹۱/۴/۲۵	۱۴
			۵۷,۲۵	۱۳۹۱/۷/۷	۴۵	۴۱/۸۰	۱۳۹۱/۶/۴	۳۰	۲۲/۴۰	۱۳۹۱/۴/۲۸	۱۵

جدول ۶. تبخیر- تعرق ماهانه رزماری (میلی متر)

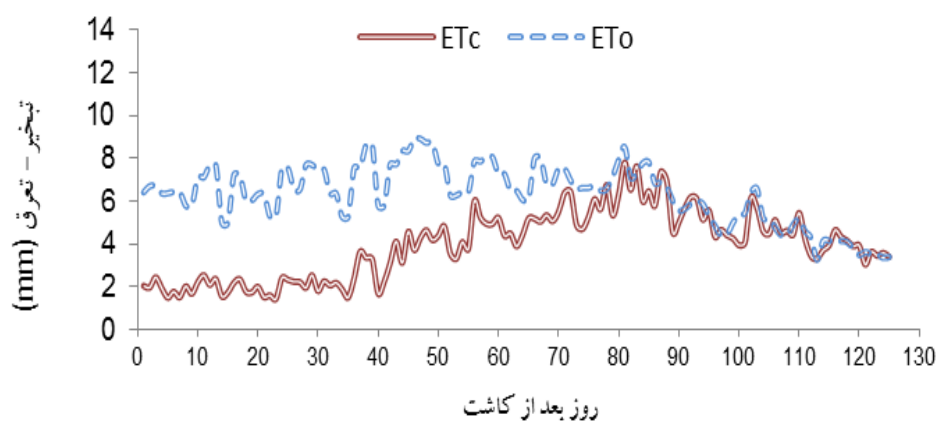
لایسیترا	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	جمع
لایسیترا ۱	۲۸/۲	۶۹/۵	۱۵۶/۳	۱۷۱/۸	۷۲/۹	۴۹۸/۷
لایسیترا ۲	۲۲/۸	۶۳/۰	۱۴۳/۸	۱۷۱/۶	۶۲/۵	۴۶۳/۷
لایسیترا ۳	۳۷/۴	۹۴/۰	۱۵۴/۸	۱۷۳/۴	۶۴/۷	۵۲۴/۳
میانگین	۲۹/۴	۷۵/۵	۱۵۱/۶	۱۷۲/۳	۶۶/۷	۴۹۵/۵

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳



شکل ۱. زمان و مقدار آبیاری و بارندگی و تغییرات متوسط دما در لایسیمترها



شکل ۲. تغییرات تبخیر- تعرق گیاه رزماری از لایسیمتر (ETC) و گیاه مرجع (ETO) در دوره رشد

۱. محاسبه ضریب گیاهی منفرد (یک جزئی)

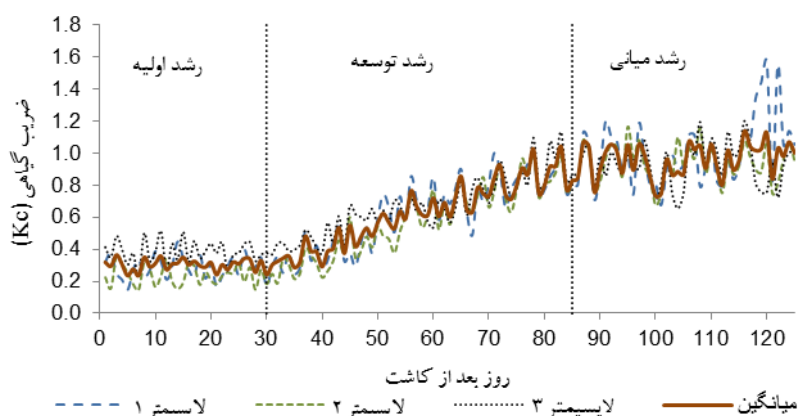
دوره رشد رزماری به سه مرحله (ابتدایی، توسعه و میانی) تقسیم شد. در شکل ۳ ضرایب گیاهی منفرد روزانه رزماری طی دوره رشد مشاهده می‌شود. در نهایت در شکل ۴ میانگین مقادیر K_c از لایسیمترها و منحنی میانگین‌گیری شده آنها بر حسب روزهای رشد نشان داده شده است. در جدول ۷، مقادیر ضرایب گیاهی برای دوره‌های مختلف رشد در لایسیمترها آورده شده است.

میانگین ضرایب گیاهی برای مراحل اولیه، توسعه و میانی لایسیمترها به ترتیب (۰/۳۰، ۰/۶۳، ۰/۹۶) به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده از ضریب گیاهی می‌توان نتیجه گرفت که در مرحله اولیه اندازه گیاه کوچک بوده و مقدار تبخیر بیشتر از مقدار تعرق است و به همین علت مقدار K_c پایین بوده، ولی در مراحل توسعه و میانی با رشد گیاه و افزایش شاخص سطح برگ مقدار تعرق زیاد شده و به دنبال آن K_c نیز افزایش یافته است.

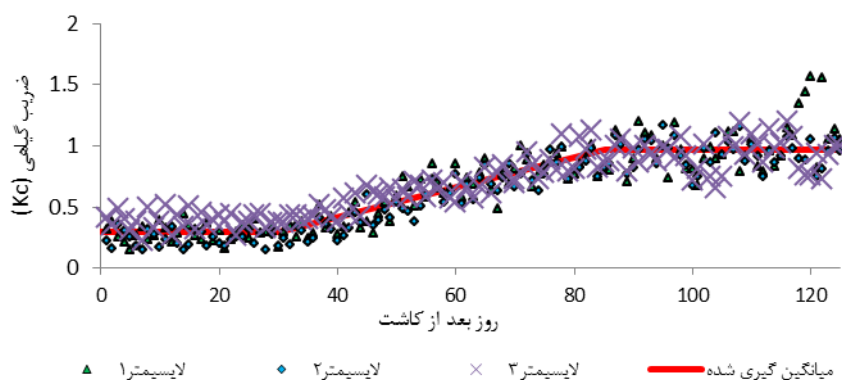
مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی یک‌جزئی و دوجزئی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در اقلیم نیمه‌خشک



شکل ۳. ضرایب گیاهی منفرد روزانه در مراحل رشد برای لایسیمترها



شکل ۴. ضرایب گیاهی منفرد رزماری در مراحل رشد و منحنی میانگین‌گیری شده برای لایسیمترها

جدول ۷. میانگین ضرایب گیاهی منفرد رزماری در مراحل رشد برای لایسیمترها

سال	مرحله ابتدایی	مرحله توسعه	مرحله میانی
لایسیمتر ۱	۰/۲۹	۰/۶۳	۱/۰۱
لایسیمتر ۲	۰/۲	۰/۵۸	۰/۹۴
لایسیمتر ۳	۰/۳۸	۰/۶۷	۰/۹۳
میانگین	۰/۳۰	۰/۶۳	۰/۹۶

۲. محاسبه ضریب گیاهی دوجزئی

مختلف رشد گیاه رزماری در جدول ۸ ارائه شده است. شکل ۵ نیز تغییرات ضریب گیاهی دوجزئی را برای گیاه رزماری نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده آن است که مقدار ضریب گیاهی پایه (جزء تعرق) به تدریج زیاد شد و در

مقادیر ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب تبخیر (K_e) و ضریب گیاهی دوجزئی از طریق لایسیمترها در هر روز به دست آمد. مقادیر ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) در مراحل

مدیریت آب و آبیاری

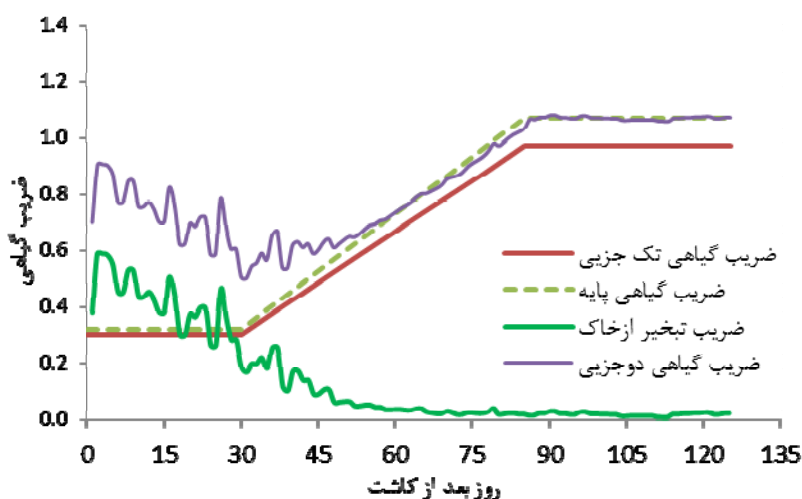
دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

مرحله اولیه که پوشش سبز گیاه کم است، مقدار تبخیر از خاک حداکثر بود و این ضریب به تدریج کاهش یافت تا اینکه در مرحله میانی به حداقل رسید. ضریب گیاهی دوگانه که مجموع جزء تعرق و جزء تبخیر است، نیز به تدریج کاهش یافت. در ضمن نوسانات مشاهده شده در نمودارها به دلیل کوتاه بودن دور آبیاری است.

مرحله میانی به حداکثر خود رسید. مقدار ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e) پس از خیس شدن لایه خاک سطحی با بارندگی یا آبیاری، بیشترین مقدار است. با خشک شدن این لایه، ضریب تبخیر کاهش می یابد. در شرایطی که آب در لایه خاک سطحی باقی نماند، ضریب تبخیر می تواند صفر لحاظ شود. با در نظر گرفتن نمودارهای ارائه شده، در

جدول ۸. میانگین ضرایب گیاهی پایه رزماری در مراحل رشد برای لایسیترها

مرحله میانی	مرحله توسعه	مرحله اولیه	مراحل رشد
۱/۰۵	۱/۲۰	۰/۳۲	میانگین



شکل ۵. ضرایب گیاهی دوجزئی رزماری در مراحل رشد برای لایسیترها

آبی رزماری (ETc) با استفاده از نتایج لایسیمتر و با روش بیلان آبی تعیین شد. روند تغییرات تبخیر تعرق رزماری و گیاه مرجع نشان داد که در آغاز فصل رشد سهم تبخیر از سطح خاک، از تبخیر تعرق صورت گرفته بیشتر بود، ولی با شروع مرحله توسعه و رشد رفته رفته سهم تعرق از تبخیر پیشی گرفت. در ابتدای کشت، نیاز آبی گیاه رزماری کمتر از گیاه مرجع بود و بعد از رسیدن به مرحله توسعه و میانی

نتیجه گیری

استفاده از ضرایب گیاهی منتشر شده در نشریه خواربار جهانی (فائو) برای برآورد نیاز آبی گیاهان امری عادی است، هر چند که در این مرجع هیچ مقداری در مورد گیاهان دارویی و از جمله رزماری ارائه نشده است. لذا در این تحقیق مقادیر تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر زهکش دار و رابطه بیلان آبی به دست آمد و نیاز

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۴ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۳

۵. ملکی دوززاده م. خدیو پارسی پ. رضازاده ش. ابوالقاسمی ح. پیرعلی همدانی م. (۱۳۸۶). بررسی فرایند استخراج روغن های فرار گیاه رزماری به روش تقطیر با بخار آب. فصلنامه گیاهان دارویی. ۶(۲۴): ۱۰۱-۱۱۰.
۶. نعمت پور ع. میرلطفی م. محمدی ک (۱۳۸۹). ارزیابی اثر مقاومت آبرودینامیک و تاج گیاه بر برآورد تبخیر- تعرق مرجع به وسیله معادله پنمن ماننیتس. مجله آبیاری و زهکشی. ۴(۱): ۱۵۶-۱۶۶.
- به مقدار نیاز آبی گیاه مرجع نزدیک شد. میانگین نیاز آبی رزماری ۴۹۵/۵۰ میلی متر اندازه گیری شد. ضرایب گیاهی منفرد و ضرایب گیاهی پایه به دست آمده در مراحل اولیه، توسعه و میانی به ترتیب ۰/۳۰، ۰/۶۳، ۰/۹۶ و ۰/۳۲، ۰/۲۰، ۱/۰۵ بود. از مقادیر به دست آمده در این تحقیق، به ویژه ضرایب گیاهی منفرد (یک جزئی)، می توان برای مدیریت و برنامه ریزی منابع آب گیاه دارویی رزماری در مناطقی که با اقلیم نیمه خشک کشت می شوند، به عنوان مرجعی جدید و ساده استفاده کرد.

منابع

۱. جعفرزاده خالدی ک. آفازاده مشگی م. شریفیان ا. لاریجانی ک (۱۳۸۹). بررسی اثر اسانس رزماری بر روی روند باکتری استافیلوکوکوس ارئوس در رسوب آماده تجارتهی. بیوپاتولوژی مقایسه ای ایران. ۷(۲): ۲۵۵-۲۶۳.
۲. زارع ایبانه ح. قاسمی ع. معروف ص. بیات ورکشی م (۱۳۸۹). تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه سیر در اقلیم نیمه خشک سرد. مجله دانش آب و خاک. ۱(۱): ۱۱۱-۱۲۲.
۳. قمرنیا ه. جعفرزاده م. میری ا. قبادی م (۱۳۹۰). برآورد ضریب گیاهی گشنیز (*Corandrum Sativa* L.) در منطقه ای با اقلیم نیمه خشک. مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۱ (۲): ۷۳-۸۳.
۴. قنادی ع. سجادی ا. محمد المسلمی م (۱۳۸۱). بررسی فیتوشیمیایی فلاونوئیدها و روغن فرار گیاه رزماری کشت شده در ایران. مجله علمی پزشکی اهواز. ۳۴.
7. Allen RG and Pereir L S (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. Irrigation Science. 28:17-34.
8. Allen RG, Pereira L S, Raes D and Smith M (1998). Crop Evapotranspiration. Irrig. Drain. Paper 56, FAO, Rome.
9. Bossie M, Tilahun K and Hordofa T (2009). Crop coefficient and evapotranspiration of onion at Awash Melkassa, Central Rift Valley of Ethiopia. Irrig Drainage Syst, 23:1-10.
10. Doorenbos J and Pruitt W O (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.
11. Liu Y and Luo Y (2010) A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agricultural Water Management. 97(1): 31-40.