نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۵ / شماره ۳/ ۱۴۰۰

برآورد ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد و مقدار نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند

الیاس استادی ، عباس خاشعی‌سیوکی و امیر سالاری[1]

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.

Ostadielyas@yahoo.com

استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند.

Abbaskhashei@birjand.ac.ir

استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان.

Salari.1361@yahoo.com

دریافت: خرداد ۱۴۰۰ و پذیرش: آذر ۱۴۰۰

چکیده

ضرورت افزایش بهره‌وری اقتصادی کشاورزی و افزایش تقاضای جهانی برای مصرف گیاهان دارویی و همچنین کم بودن نیاز آبی این گیاهان باعث تغییر الگوی کشت به نفع گیاهان دارویی شده است. با توجه به مشخص نبودن نیاز آبی گیاه دارویی سیاهدانه در منطقه خشک بیرجند، این تحقیق با هدف تعیین ضرایب گیاهی (K_c) مراحل مختلف رشد و همچنین تعیین نیاز آبی (ET_c) این گیاه در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. به‌منظور اجرای طرح از سه عدد میکرولایسیمتر وزنی با قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر در سه تکرار استفاده شد. تبخیر و تعرق روزانه واقعی به روش بیلان آب در میکرولایسیمترها برآورد شد و تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از گیاه چمن ۱۲ سانتی‌متری (گیاه مرجع) محاسبه گردید. نتایج نشان داد 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 به‌علت 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 به‌ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۵۳، ۰/۵۹ و ۰/۲۸ بدست آمد. نتیجه‌گیری کلی تحقیق این است که با استفاده از مقادیر ضرایب گیاهی و نیاز آبی بدست آمده می‌توان نسبت به کشت برنامه‌ریزی شده این محصول با حداکثر بهره‌وری آب در منطقه خشک بیرجند اقدام نمود.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق، برنامه‌ریزی آبیاری، میکرولایسیمتر

[1]- آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان.

مقدمه

رویکرد روزافزون به استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهانی، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را روشن‌تر می‌سازد. گیاه دارویی سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. گیاهی یک‌ساله به ارتفاع ۲۹-۲۰ سانتی‌متر متعلق به خانواده آلاله (*Ranunculaceae*) بومی مناطق اروپای جنوبی، آفریقای شمالی و جنوب شرقی آسیا بوده که در بسیاری از کشورهای جهان ازجمله منطقه خاورمیانه کشت می‌شود. ماده مؤثره سیاهدانه خاصیت مسهلی، ضد نفخ، پایین آورنده قند خون و ضد انگلی قوی داشته و به‌صورت تجاری برای درمان اختلالات مختلف دستگاه‌های تنفسی، گوارشی، قلبی- عروقی، کلیه، کبد و سیستم ایمنی بکار می‌رود (کارنا، ۲۰۱۳).

سیاهدانه گیاهی روزبلند است و زمان کاشت آن به‌طور معمول اسفندماه است. زمان گلدهی آن در مناطق جنوبی و گرم‌تر از دهه سوم فروردین و تا دهه اول خرداد طول می‌کشد. در مناطق سردتر و معتدل‌تر معمولاً آخر اردیبهشت گلدهی آغاز و تا دهه اول تیرماه ادامه می‌یابد، به‌طور کلی می‌توان یک دوره تقریباً سه‌ماهه رشد و نمو را برای این گیاه در مناطق معتدل در نظر گرفت که از زمان کاشت تا هنگام برداشت به طول می‌انجامد (زینلی و همکاران، ۱۳۹۸).

با افزایش تقاضاهای جهانی و رقابت بین‌بخشی آب، توجه به افزایش بهره‌وری آب در مزارع آبیاری خصوصاً در نواحی خشک و نیمه‌خشک از اولویت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. دستیابی به حداکثر مقدار بهره‌وری آب در بخش کشاورزی مستلزم دانستن نیاز آبی گیاه است. مقدار نیاز آبی واقعی گیاه بر اساس ضرایب گیاهی و میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تعیین می‌شود (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۹). جهت تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) و تبخیر و تعرق گیاه موردنظر (ET_c) و در ادامه ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد از لایسیمترها استفاده می‌گردد. استفاده از لایسیمترهای وزنی یکی از مؤثرترین روش‌ها برای مطالعات مستقیم ضریب گیاهی است (یریساری و ناوئوس، ۲۰۰۰). علاوه بر اندازه‌گیری-های مستقیم میزان تبخیر و تعرق مرجع توسط لایسیمترها که فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است، سازمان فائو جهت تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روش پنمن- مانتیث را با استفاده از داده‌های هواشناسی پیشنهاد نموده است (آلن، ۲۰۰۰). این روش به دلیل ارائه نتایج آماری قابل‌استفاده در شرایط اقلیمی مختلف سراسر جهان، به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ بودنر و همکاران، ۲۰۰۷؛ اسمیت و همکاران، ۱۹۹۲). محققان زیادی از سراسر جهان نتایج قابل قبولی از استفاده از لایسیمترها در تعیین ضرایب گیاهی محصولات مختلف از قبیل حبوبات، برنج و آفتابگردان در هند، ذرت در اسپانیا، گندم و جو در چین و پنبه و گندم در آمریکا گزارش نموده‌اند (کو و همکاران، ۲۰۰۹؛ لیو و لو، ۲۰۱۰؛ مارتینز، ۲۰۰۸؛ پاندی و پاندی، ۲۰۱۱؛ تیاگی و همکاران، ۲۰۰۰).

تحقیقات گسترده‌ای در مورد اندازه‌گیری مقدار تبخیر و تعرق واقعی و ضرایب گیاهی گیاهان مختلف با استفاده از لایسیمتر در سطح کشور انجام شده است. قمرنیا و همکاران در منطقه کرمانشاه مقادیر ضرایب گیاهی طی مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی گیاه گشنیز را در سال ۱۳۹۱ به‌ترتیب برابر با ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ و در سال ۱۳۹۲ برای گیاه سیاه‌دانه این ضرایب را نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۵۹، ۰/۹۱، ۱/۲۹ و ۰/۷۸ گزارش نمودند. در باجگاه شیراز مقدار ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد زعفران با استفاده از لایسیمترهای بیلان آبی به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۹۴ و ۱/۰۵ و ۰/۷۳ اندازه‌گیری شد (یرمی و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیقی در منطقه بیرجند، مقدار ضرایب گیاهی زیره سبز به‌روش لایسیمتری در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۶۵، ۰/۹۲، ۱/۲۱ و ۰/۸۵ به دست آمد (ریحانی و خاشعی‌سیوکی، ۱۳۹۴). صابری و همکاران (۱۳۹۶) مقدار ضرایب گیاهی اجغون به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند را در مراحل مختلف رشد ابتدایی، توسعه، میانی و مرحله انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۷۸، ۱/۰۶، ۱/۱۳ و ۰/۹۶ و مجموع تبخیر و تعرق این

گیاه را ۴۹۲ میلی‌متر به دست آوردند. طی تحقیقی دیگر در منطقه فسا مقدار نیاز آبی گیاه سیاهدانه طی مراحل مختلف رشد به ترتیب برابر با ۵۳۴/۴۶، ۵۳۰/۴ و ۵۲۵/۱ میلی‌متر برآورد گردید (زارعی و همکاران، ۱۳۹۶). سعیدنیا و همکاران (۱۳۹۷) نیز با برآورد میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی در منطقه خرم‌آباد طی دوره‌های مختلف رشد، میزان ضریب گیاهی گیاه بابونه را به‌ترتیب برابر با ۰/۱۶، ۰/۵۴، ۰/۸۶ و ۰/۵۰ و گیاه زیره‌سبز را نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۷۰ و ۰/۵۰ به دست آوردند. بیرامی و همکاران (۱۳۹۹) میزان ضریب گیاهی گونه پرسیکا در یزد را در شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر در ابتدا، میانه و انتهای فصل به‌ترتیب برابر با ۱/۳۷، ۱/۵۸ و ۱/۱۰ و شریفی-عاشورآبادی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در منطقه کرج، ضرایب گیاهی آویشین را به‌ترتیب برابر با ۰/۳۳، ۰/۶۵، ۱/۲۰ و ۰/۹۹ به‌دست آوردند. مقدار ضرایب گیاهی گل نرگس در دشت بیرجند طی مراحل مختلف رشد ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر با ۰/۹۱، ۱/۱۳، ۱/۱۱ و ۰/۹۶ به‌دست آمده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). قوام-سعیدی‌نوقابی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در شرایط آب و هوایی بیرجند، مقدار تبخیر – تعرق پتانسیل شاهدانه را ۶۸۸/۸۹ میلی‌متر و مقدار ضرایب گیاهی مراحل مختلف رشد آن را به‌ترتیب برابر با ۰/۲۸، ۰/۶۸، ۱/۰۱ و ۰/۵۴ به‌دست آوردند.

کاهش شدید منابع آبی در دسترس منطقه طی سالیان اخیر، اهمیت اقتصادی و دارویی کشت گیاه سیاهدانه و همچنین عدم وجود گزارشی مبنی بر مقدار نیاز آبی و ضرایب گیاهی گیاه مذکور در منطقه بیرجند باعث گردید در این تحقیق به تعیین نیاز آبی (ET_c) و ضرایب گیاهی (K_c) گیاه سیاهدانه طی مراحل مختلف رشد در این اقلیم خشک پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اواسط فروردین سال ۱۳۹۷ در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در پنج کیلومتری شهرستان بیرجند-کرمان که بین ۵۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی قرارگرفته و با ۱۴۹۱ متر ارتفاع از سطح آزاد دریا، انجام شد. شهرستان بیرجند با توجه به ضریب خشکی دومارتن که برای این منطقه کمتر از ۱۰ است، دارای اقلیم خشک است (صابری و همکاران، ۱۳۹۶). قبل از اجرای آزمایش خصوصیات فیزیکو شیمیایی خاک مورد استفاده اندازه‌گیری شد که در جدول (۱) و جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه و میکرولایسیمترهای مورد مطالعه

جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	نوع بافت	اشباع (SP)	ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی
۱/۵	۷۸	۲۰	۲	Loamy sand	۲۷	۱۷٪/۱۰	۱۱٪

جدول ۲- مشخصات شیمیایی خاک مزرعه و میکرولایسیمترهای مورد مطالعه

هدایت الکتریکی (ds/m)	قلیائیت (pH)	درصد کربن آلی	درصد مواد آلی
۲/۵۹	۷/۹	۰/۰۹	۰/۱۵

به‌منظور اجرای این طرح از سه عدد میکرولایسیمتر با قطر ۲۰ و ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر استفاده شد. برای زهکش میکرولایسیمترها، شن ریز و درشت در کف آن‌ها تعبیه شد. بذرها در ۱۵ فروردین سال ۱۳۹۷ در میکرولایسمترها کشت و مرحله اولیه رشد شروع گردید. به‌منظور اطمینان از درصد جوانه‌زنی مطلوب تعداد ۱۵ تا ۲۰ عدد بذر در هر میکرولایسیمتر کشت گردید و بعد از سبز شدن جهت تراکم مطلوب، عملیات تنک در صورت

لزوم انجام گرفت و در نهایت دو تا سه بوته در میکرولایسیمترها نگه داشته شد. میکرولایسمترهای مورد آزمایش در شکل (۱) نشان داده‌شده است.

دوره رشد گیاه سیاهدانه به‌طور استاندارد به چهار مرحله اولیه از تاریخ جوانه‌زنی تا ۱۰ درصد رشد گیاه، مرحله توسعه از ۱۰ درصد رشد تا شروع گلدهی، مرحله میانی از آغاز گلدهی تا رسیدن محصول و مرحله پایانی از انتهای مرحله میانی تا برداشت محصول تقسیم می‌شود (قمرنیا و همکاران، ۱۳۹۲). در تاریخ پنجم اردیبهشت‌ماه مرحله اولیه رشد به پایان رسید و مرحله توسعه گیاه شروع شد. مرحله توسعه گیاه در تاریخ سیزدهم خردادماه با شروع مرحله گلدهی و مرحله میانی رشد، پایان یافت. مرحله میانی رشد نیز در تاریخ سیزدهم خردادماه شروع و در تاریخ دهم تیرماه سال ۱۳۹۷ به اتمام رسید و مرحله انتهایی نیز در نهایت در تاریخ بیستم و هفتم تیرماه کامل شده و گیاه به پلاسیدگی کامل رسید (اتمام مرحله انتهایی رشد) (جدول ۳).

شکل ۱- جانمایی میکرولایسیمترها در مزرعه

جدول ۳ – تاریخ کاشت و طول هر یک از مراحل رشد گیاه سیاهدانه

سال	تاریخ کاشت	دوره اولیه رشد (روز)	دوره توسعه (روز)	دوره میانی (روز)	دوره انتهایی (روز)	کل (روز)
۱۳۹۷	۱۳۹۷/۱/۱۵	۱۳	۴۷	۳۰	۱۷	۱۰۷

مدیریت آبیاری بر اساس بیشترین تبخیر و تعرق گیاه (ETp) بر اساس روش فائو ۵۶ بود (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). به‌منظور تعیین ET_c طی مراحل مختلف رشدی گیاه، از میکرولایسیمترهای وزنی در سه تکرار استفاده گردید. طی مدت زمان آزمایش، مقدار رطوبت خاک (به‌صورت وزنی) قبل از هر آبیاری و ارتفاع آب زهکشی شده بعد از هر آبیاری به‌طور مرتب اندازه‌گیری گردید عمق آب کاربردی در هر آبیاری از تفاوت حد ظرفیت زراعی (به‌عنوان رطوبت بهینه جهت وارد نیامدن تنش به گیاه) و رطوبت قبل از آبیاری به دست آمد. در این تحقیق سعی گردید رطوبت خاک در اکثر مواقع در محدوده FC باشد و با محاسبه دقیق عمق آب کاربردی سعی گردید به‌گونه‌ای عمل شود تا آبی از زهکش‌ها خارج نشود، در این شرایط دور آبیاری متغیر بود و معمولاً بین یک تا سه روز تغییر می‌کرد.

اگر تغییرات رطوبتی خاک در ابتدا و انتهای هر دور آبیاری برابر با صفر باشد، مقدار تبخیر و تعرق گیاه در هر دوره زمانی برابر است با حجم آب ورودی (مجموع آب آبیاری و آب باران) منهای حجم آب زهکشی شده از میکرولایسیمترها (رابطه ۱):

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta sw \qquad (۱)$$

ET_c : تبخیر و تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر) در یک دوره مشخص، D: مقدار آب زهکشی شده از انتهای میکرولایسیمتر (میلی‌متر) که به‌صورت حجمی اندازه‌گیری و عمق از تقسیم حجم آن بر مساحت میکرولایسیمتر به‌دست می‌آید، I: مقدار آب داده شده به گیاه در

میکرولایسیمتر (میلی‌متر) ، P: مقدار بارندگی در دوره بررسی (میلی‌متر) و $\pm\Delta_{sw}$: تغییرات ذخیره‌ای رطوبت خاک است که مقدار آن از (رابطه ۲) به‌دست می‌آید (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷):

$$\Delta sw = sw_1 - sw_2 \qquad (۲)$$

sw_1: مقدار رطوبت اولیه خاک قبل از آبیاری در شروع دوره بررسی (میلی‌متر) و sw_2: مقدار رطوبت ثانویه خاک در انتهای دوره بررسی (میلی‌متر) است. مقدار آبیاری در هر دوره آبیاری بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی تنظیم می‌شود و تا وزن FC آب به میکرولایسیمتر اضافه می‌شد.

ضریب گیاهی از تقسیم تبخیر و تعرق واقعی گیاه بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌دست می‌آید و در طول دوره رشد گیاه متغیر است (رابطه ۳):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \qquad (۳)$$

تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) به روش پنمن- مانتیث فائو (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}\mu(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34\mu_2)} \qquad (۴)$$

در این رابطه:

ET_0: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)، G: شار گرمای خاک (مگا ژول بر متر مربع بر روز)، T :دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)، $\mu 2$:سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e_s :فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، (e_s - e_a) کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، Δ :شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، R_n : تابش خالص در سطح گیاه و γ : ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) می‌باشند (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷).

جهت محاسبه مقدار تبخیر – تعرق مرجع از داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بیرجند در سال ۱۳۹۷ طی همان دوره آبیاری استفاده گردید.

نتایج و بحث

مقدار نیاز آبیاری و ضریب گیاهی گیاهان مختلف طی دوره رشد متغیر است، بر همین اساس منحنی ضریب گیاهی به‌صورت تابعی از روزهای پس از کاشت نشان داده می‌شود (دورنبوس و پروت، ۱۹۷۷). این منحنی بر اساس تحقیقات انجام‌شده قبلی، مجله فائو ۵۶ که مورد تأیید تمامی پژوهشگران و متخصصین امر است به چهار مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی تقسیم می‌گردد (پیرمرادیان و همکاران، ۱۳۸۱). متوسط ضرایب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه سیاهدانه در جدول (۴) و مقدار تبخیر و تعرق اندازه-گیری شده به‌وسیله میکرولایسیمترها و تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضرایب گیاهی سیاهدانه طی دوره‌های ده روزه در جدول (۵) ارائه شده است.

برای محاسبه ضریب گیاهی ده روزه از روش میانگین‌گیری استفاده گردید. به نحوی که برای هر مرحله از رشد، میانگین ضریب گیاهی در آن مرحله در نظر گرفته شد. همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، مقدار Kc در مقیاس روزانه تغییرات شدیدی دارد. این تغییرات می-تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری عوامل بیلان و عوامل اقلیمی باشد (صابری و همکاران، ۱۳۹۶؛ کافی و کشمیری، ۱۳۹۰؛ کردوانی، ۱۳۸۱). نتایج به دست آمده از میانگین سه میکرولایسیمتر نشان داد که در مرحله ابتدایی میزان تبخیر و تعرق پایین است، سپس در مراحل توسعه و میانی روند افزایشی دارد و در مرحله انتهایی رشد گیاه به‌علت فرآیند پیری میزان تبخیر و تعرق نیز کاهش می‌یابد. کاهش تبخیر و تعرق در مرحله ابتدایی ناشی از سطح برگ کوچک، کاهش تعداد ساعات آفتابی نسبت به مراحل میانی و تشعشع ضعیف خورشید است، متوسط میزان تبخیر و تعرق در این مرحله ۲/۷۱ میلی‌متر در روز به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴- متوسط ضرایب گیاهی و تبخیر و تعرق گیاه سیاهدانه در مراحل چهارگانه رشد

سال	عامل	دوره اولیه رشد	دوره توسعه	دوره میانی	دوره انتهایی
۱۳۹۷	Kc	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۵۹	۰/۲۸
	Etc (mm/day)	۲/۷۱	۴/۸۴	۹/۹۳	۵/۱۰
	مقدار نیاز آبی (mm)	۵۶/۹	۱۸۸/۸	۲۷۸	۸۶/۷

جدول ۵- نیاز آبی (میلی‌متر) و ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده گیاه سیاهدانه

دهه	تبخیر و تعرق مرجع (mm)	میکرولایسیمتر ۱		میکرولایسیمتر ۲		میکرولایسیمتر ۳		میانگین میکرولایسیمترها	
		ETc (mm)	Kc	ETc (mm)	Kc	ETc (mm)	Kc	ETc (mm)	Kc
۱	۸۷/۲	۲۴/۲۳	۰/۲۸	۲۳/۹۴	۰/۲۷	۲۴/۵۷	۰/۲۸	۲۴/۲۵	۰/۲۸
۲	۶۲/۴	۳۷/۹۹	۰/۶۱	۳۰/۶۴	۰/۴۹	۴۰/۲۹	۰/۶۵	۳۶/۳۱	۰/۵۸
۳	۱۰۵/۶	۴۱/۷۵	۰/۴۰	۳۷/۶۰	۰/۳۶	۴۰/۶۲	۰/۳۸	۳۹/۹۹	۰/۳۸
۴	۹۵/۳	۴۷/۱۷	۰/۴۹	۴۷/۵۴	۰/۵۰	۴۸/۸۴	۰/۵۱	۴۷/۸۵	۰/۵۰
۵	۸۵/۵	۵۲/۶۱	۰/۶۲	۵۱/۸۴	۰/۶۱	۴۸/۵۴	۰/۵۷	۵۰/۹۹	۰/۶۰
۶	۱۴۱/۲	۶۱/۵۱	۰/۴۴	۵۸/۶۰	۰/۴۲	۶۷/۰۶	۰/۴۷	۶۲/۳۹	۰/۴۴
۷	۱۶۲/۶	۹۹/۶۵	۰/۶۱	۹۶/۱۳	۰/۵۹	۱۰۲/۰۸	۰/۶۳	۹۹/۲۹	۰/۶۱
۸	۱۵۷/۴	۱۰۲/۸۲	۰/۶۵	۹۸/۷۹	۰/۶۳	۸۷/۲۷	۰/۵۵	۹۶/۲۹	۰/۶۱
۹	۱۶۶/۰	۱۰۷/۱۶	۰/۶۵	۱۱۳/۷۰	۰/۶۸	۱۰۰/۵۸	۰/۶۱	۱۰۷/۱۵	۰/۶۵
۱۰	۱۹۳/۷	۷۲/۰۱	۰/۳۷	۶۶/۰۲	۰/۳۴	۶۹/۷۴	۰/۳۶	۶۹/۲۶	۰/۳۶
۱۱	۱۸۲/۳	۳۹/۸۴	۰/۲۲	۳۱/۹۲	۰/۱۸	۳۶/۶۲	۰/۲۰	۳۶/۱۳	۰/۲۰
کل	۱۴۳۹/۲	۶۸۶/۷۴	–	۶۵۶/۷۳	–	۶۶۶/۲۰	–	۶۶۹/۸۹	–

شکل ۲- نمودار ضریب گیاهی مربوط به میانگین سه میکرولایسیمتر

طی مرحله توسعه چون گیاه در حال رشد است میزان تبخیر و تعرق نیز افزایش می‌یابد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق طی مرحله میانی با متوسط مقدار ۹/۹۳ میلی-متر در روز به‌دست آمد (جدول ۵). علت این امر می‌تواند توسعه کامل کانوپی گیاه و به‌دنبال آن افزایش تقاضای گیاه برای تبخیر باشد.

نتایج نشان داد که حداکثر و حداقل متوسط نیاز آبی ده روزه گیاه طی دوره آزمایش به‌ترتیب برابر با ۱۰۷/۱۵

و ۲۴/۲۵ میلی‌متر در ده روز است. بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش تبخیر و تعرق واقعی سالانه سیاهدانه برابر با ۶۶۹/۸۹ و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) برابر ۱۴۳۹/۲ میلی‌متر به‌دست آمد (جدول ۵). طول هر مرحله رشدی بسته به طول فصل رشد برای هر گیاه و اقلیم متفاوت است (۴ و ۲۸). با توجه به نوع محصول، اقلیم منطقه و طول فصل رشد، طول دوره‌های اولیه، توسعه، میانی و انتهایی گیاه سیاهدانه به‌ترتیب ۱۳، ۴۷، ۳۰ و ۱۷ روز اندازه‌گیری گردید.

بر اساس مطالعه زارعی و همکاران (۱۳۹۶) در منطقه فسا نتایج به دست آمده نشان دادند که طول دوره هر یک از مراحل چهارگانه رشد گیاه سیاهدانه (مرحله اولیه رشد، مرحله توسعه، مرحله میانی و مرحله پایانی) به ترتیب ۱۰، ۱۱، ۴۱ و ۲۳ روز است و ضریب گیاهی سیاهدانه در هر یک از این مراحل به‌ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۱/۰۲، ۱/۲۱ و ۰/۸ بود و همچنین بر اساس نتایج کل، آب مصرفی این گونه در طول یک دوره کامل رشد معادل ۵۳۴/۴۶، ۵۳۰/۴ و ۵۲۵/۱ میلی‌متر برآورد شد که نسبت به نتایج این تحقیق مقادیر کمتری است، طولانی‌تر بودن طول دوره رشد و بیشتر بودن مقدار نیاز آبیاری گیاه سیاهدانه در منطقه بیرجند می‌تواند ناشی از تفاوت شرایط اقلیمی این دو منطقه و خشک‌تر بودن اقلیم و بالاتر بودن میانگین دمای هوای بیرجند نسبت به فسا و همچنین متفاوت بودن عوامل مدیریت آبیاری باشد و همچنین تفاوت در عوامل مدیریت آبیاری است. بیرجند دارایی آب و هوایی خشک بوده و میانگین دمای هوا آن بیشتر از فسا است و این امر در طول دوره رشد و نیاز آبی گیاه مؤثر است.

تغییرات ضریب گیاهی به‌دست آمده از میانگین سه میکرولایسیمتر در شکل (۲) نمایش داده شده است. بر اساس این نتایج، حداکثر میزان ضریب گیاهی (۰/۵۹) در دوره میانی و کمترین مقدار ضریب گیاهی (۰/۲۸) در دوره انتهایی رشد حاصل شد. کاهش ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی (۰/۳۹) می‌تواند به‌علت افزایش سهم تبخیر نسبت به تعرق بوده که خود ناشی از رشد رویشی کم در این مرحله است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ضریب گیاهی در این مرحله بیشتر تحت تأثیر توان تبخیرکنندگی اتمسفر است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷). کیخامقدم و همکاران (۱۳۹۲) و یرمی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نتایج مشابهی گزارش نمودند.

محققان با مطالعه روی محصولات دانه روغنی دریافتند که بیشترین میزان ضریب گیاهی مربوط به مراحل توسعه و میانی است (کار و همکاران، ۲۰۰۷). تراکم کشت باعث کاهش دمای خاک و از طرفی افزایش میزان تبخیر تعرق می‌گردد (هونساکر و همکاران، ۲۰۰۵). در واقع تبخیر از سطح خاک با افزایش کانوپی گیاه کاهش می یابد و در نتیجه بر خلاف مرحله ابتدایی و انتهایی، سهم تعرق نسبت به تبخیر بیشتر است و ضریب گیاهی با افزایش توسعه اندام‌های هوایی و به‌دنبال آن افزایش تعرق، افزایش می‌یابد. نقاط اندازه‌گیری شده و منحنی برازش یافته در شکل (۳) نشان داده شده است. در مرحله میانی، میزان ضرایب گیاهی پایین است. با شروع دوره رشد، بر میزان ضریب گیاهی افزوده شده تا اینکه در مرحله میانی، حداکثر مقدار ضریب گیاهی برابر با ۰/۵۹ به دست آمد، در مرحله پایانی با شروع پیری و کاهش کانوپی گیاه، از میزان ضریب گیاهی کاسته شده و ضریب گیاهی پایانی برابر با ۰/۲۸ اندازه‌گیری گردید (شکل ۳).

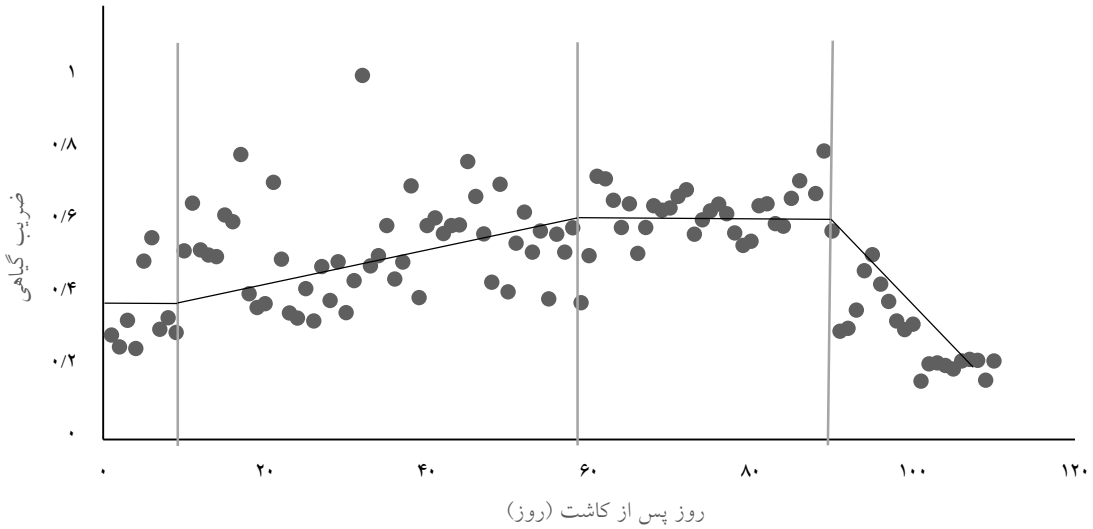
مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) از میکرولایسیمترها و مقادیر به دست آمده از فرمول پنمن مونتیث در شکل (۴) قابل‌مشاهده است که ضریب R^2 آن برابر با ۰/۸۸ است و بیانگر همبستگی خوب و دقت بالای آزمایش است.

قمرنیا و همکاران (۱۳۹۲) طی تحقیقی در منطقه کرمانشاه مقادیر میانگین ضریب گیاهی سیاهدانه را در پی دو سال کشت متوالی برای دوره‌های رشد ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب برابر با ۰/۵۹، ۰/۹۱، ۱/۲۹ و ۰/۷۸ به دست آوردند، این محققین همچنین میانگین مقدار ETc طی دو سال آزمایش بر روی سیاهدانه را ۷۲۴/۱۱ میلی‌متر برآورد نمودند که نسبت به مقدار گزارش‌شده در این

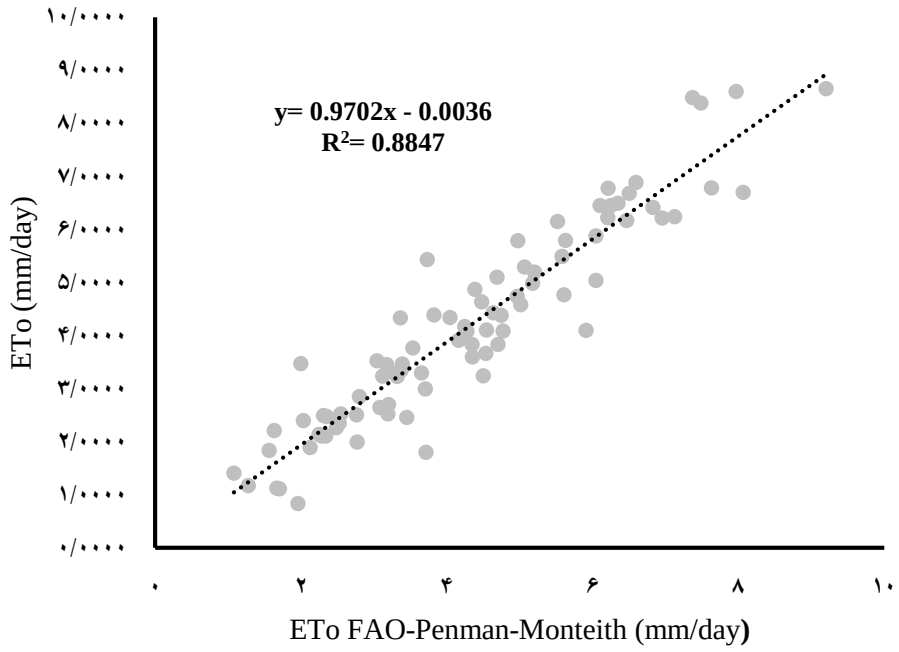
تحقیق رقم نسبتاً بالایی است و از دلایل آن می‌توان به تغییرات شرایط جوی و اقلیمی و همچنین خطاهای انسانی و اندازه‌گیری در طول آزمایش اشاره نمود.

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی آبیاری با هدف جلوگیری از هدر رفت آب، افزایش راندمان آبیاری و مقدار تولید محصول مستلزم تعیین نیاز واقعی آب مورد نیاز محصولات زیر کشت است. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، میانگین نیاز آبی سیاهدانه در سال ۱۳۹۷، برابر با ۶۶۹/۸۹ میلی‌متر و مقدار ضرایب گیاهی در مراحل اولیه، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۵۳، ۰/۵۹ و ۰/۲۸ به دست آمد. نتیجه‌گیری کلی این تحقیق آن است که با استفاده از مقادیر نیاز آبی واقعی به دست آمده و به‌کارگیری برنامه دقیق زمان‌بندی آبیاری می‌توان به کشت این محصول در منطقه بیرجند پرداخت.



شکل ۳- ضرایب گیاهی سیاهدانه اندازه‌گیری شده و برازش یافته در مراحل مختلف رشد



شکل ۴- مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از فرمول پنمن مونتیث

فهرست منابع

۱. بیرامی، ح.، رحیمیان، م. ح. و دهقانی، ف. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی دو گونه سالیکورنیا در یزد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۳): ۴۰۱- ۴۱۵.

۲. پیرمرادیان، ن.، کامکارحقیقی، ع. ا. و سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۸۱. ضریب گیاهی و نیاز آبی برنج در منطقه کوشکک استان فارس. مجله علوم آب‌وخاک. ۶(۳): ۱۵- ۲۴.

۳. ریحانی، ن. و خاشعی‌سیوکی، ع. ۱۳۹۴. برآورد ضریب گیاهی زیره سبز در طول مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند. مجله آب‌وخاک. ۲۹(۵): ۱۰۴۷- ۱۰۵۶.

۴. زارعی، ع.، ظهرابی، ص. و بومه، ف. ۱۳۹۶. ارزیابی مراحل مختلف رشد و تعیین ضریب گیاهی (Kc) سیاهدانه (*Nigella sativa L.*). دو ماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران. ۲۳(۴): ۶۰۷-۵۹۷.

۵. زارعی، ع. ر.، امیری، م. ج.، ظهرابی، ص. و بومه، ف. ۱۳۹۶. تعیین ضریب گیاهی در گونه *Medicago polymorpha* با استفاده از میکرولایسیمتر وزنی. نشریه علمی پژوهشی مرتع. ۱۰(۲): ۲۰۴- ۲۱۲.

۶. سعیدنیا، م.، ترنیان، ف. ا.، حسینیان، س. ح. و نصراللهی، ع. ح. ۱۳۹۷. برآورد میزان تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی دو گونه بابونه و زیره سبز در منطقه خرم‌آباد. مدیریت آب و آبیاری. ۸(۱): ۱۶۵- ۱۷۵.

۷. شریفی‌عاشورآبادی، ا.، روحی‌پور، ح.، جبلی، م.، مکی‌زاده‌تفتی، م. و نادری، ب. ۱۳۹۹. تعیین ضریب گیاهی و تبخیر – تعرق آویشن دنایی در شرایط استاندارد در کرج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۳): ۳۸۹- ۴۰۱.

۸. صابری، ا.و رضایی، ف. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۶. برآورد ضریب گیاهی اجغون (*Trachyspermum ammi*) در مراحل مختلف رشد به روش لایسیمتری در منطقه بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱ (۳).

۹. قمرنیا، ه، جعفری‌زاده، م.، میری، ا. و قبادی، م. ا. ۱۳۹۲. تعیین نیاز آبی گشنیز (*Coriandrum sativum L*) به روش لایسیمتری در منطقه‌ای با اقلیم نیمه‌خشک. مجله علوم آب‌وخاک. ۱۷ (۶۶) :۱-۹.

۱۰. قمرنیا، ه، میری، ا.، جعفری‌زاده، م.، و قبادی، م. ا. ۱۳۹۱. تعیین نیاز آبی سیاه‌دانه (*Nigella Sativa L.*) به روش لایسیمتری در اقلیم خشک و نیمه‌خشک. مجله علوم مهندسی و آبیاری. ۳۵(۴) :۷۵- ۸۲.

۱۱. قوام‌سعیدی‌نوقابی، س.، شهیدی، ع. و حمامی، ح. ۱۳۹۹. برآورد نیاز آبی و ضرایب گیاهی شاهدانه در مراحل مختلف رشد در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۴): ۵۶۳- ۵۷۴.

۱۲. کیخامقدم، پ.، کامکارحقیقی، ع. ا.، سپاسخواه، ع. ر. و زندپارسا، ش. ۱۳۹۲. تعیین ضریب گیاهی یگاه، دوگانه و تبخیر – تعرق گیاه زعفران تکامل‌یافته. مجله هواشناسی کشاورزی. ۱(۱): ۱- ۱۳.

۱۳. گلدانی، م. و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۸۴. اثر سطوح خشکی و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام دیم و آبی نخود در مشهد. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۲(۲): ۱۲-۱.

۱۴. محمدی، ا.، نجفی‌مود، م. ح.، خاشعی‌سیوکی، ع. و شهیدی، ع. ۱۳۹۹. تعیین ضرایب گیاهی گل نرگس به روش لایسیمتری در دشت بیرجند. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۴(۴): ۵۹۱- ۶۰۲.

۱۵. وزیری، ژ.، سلامت، ع.، انتصاری، م.، مسچی، م.، حیدری، ن. و دهقانی سانیچ، ح. ۱۳۸۷. تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)، گروه‌کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۱۲۲، ۳۶۲.

۱۶. زینلی ح، کمالیون ا، توکلی م، ۱۳۹۸. آشنایی با گیاه دارویی سیاه‌دانه و روش تولید آن. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت امور باغبانی.

۱۷. کافی، م. و کشمیری، ا. ۱۳۹۰. مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد توده بومی و رقم هندی زیره سبز (Cuminum cyminum) در شرایط خشکی و شوری. نشریه علوم باغبانی(علوم و صنایع کشاورزی)، (۲۵)۳۲۷-۳:۳۳۴.

۱۸. کردوانی، پ. ۱۳۸۱. ارزیابی و مقایسه خصوصیات ماکروسکوپی، میکروسکوپی و فیتوشیمیایی میوه‌های بادیان، رازیانه و زنیان. پایان‌نامه داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان.

19. Allen R.G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. Journal of Hydrology, 229: 27–41.
20. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, FAO.
21. Bodner G., Loiskandl W., and Kaulm H. 2007. Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. Agricultural Water Management, 93: 85–98.
22. Doorenbos J., and Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, No.24. FAO, Rome.
23. Hunsaker DJ. Pinter PJ. and Kimball BA. 2005. Wheat basal crop coefficients determined by normalized difference vegetation index. Irrigation Science, 24: 1–14.
24. Kar G., Kumar A., and Martha M. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management, 87(1): 73-82.
25. Karna S.K.L. 2013. Phytochemical screening and gas chromatography - mass spectrometry and analysis of seed extract of Nigella sativa Linn. International Journal of Chemical Studies, 1(4): 183-188.
26. Ko J., Piccinni G., Marek T., and Howell T. 2009. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (K_c) of cotton and wheat. Agricultural Water Management, 96: 1691–1697.
27. Liu Y., and Luo Y.A. 2010. Consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agricultural Water Management, 97: 31–40.
28. Martinez-Cob A. 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. Irrigation Science, 26: 335–345.
29. Pandey P., and Pandey V. 2011. Lysimeter based crop coefficients for estimation of crop evapotranspiration of black gram (Vigna mungo L.) in sub-humid region. International Journal of Agricultural & Biological Engineering, 4: 50–58.
30. Santos F. X., Montenegro A. A. A., Silva J. R., and Souza E. R. 2009. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. Revista Brasileira De Ciências Agrárias, Recife, 4(3): 304-310.
31. Smith M., Allen R., Monteith JL., Perrier A., Santospereira L., and Sageren A. 1992. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Rome, Italy. 60.
32. Tyagi N. K., Sharma D.K., and Luthra S.K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agricultural Water Management, 45: 41–54.
33. Yarami N., Kamgar-Haghighi A. A., Sepaskhah A. R., and Zand-Parsa Sh. 2012. Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. Arch. Agron. Soil Sci, 57(7): 727- 740.
34. Yrisarry J. B., and Naveso F. S. 2000. Use of weighing lysimeter and Bowen-Ratio Energy-Balance for reference and actual crop evapotranspiration measurements. Acta horticulturae, 537(537): 143- 150.

Estimation of Crop Coefficients in Different Stages of Growth and Water Requirement of *Nigella sativa L.* in Arid Region of Birjand, Iran

E. Ostadi, A. Khasheisiuki, and A. Salari [1]

PhD student of irrigation and drainage Engineering, University of Zabol.
Ostadielyas@yahoo.com
Associated Professor of water engineering Dept. University of Birjand.
Abbaskhashei@birjand.ac.ir.
Assistant Professor, Department of Sciences and Water Engineering, Minab Higher Education Center University of Hormozgan. **Salari.1361@yahoo.com**

Received: June 2021, and Accepted: November 2021

Abstract

The necessity of increasing economical productivity of agriculture and the increasing global demand for medicinal plants and considering the low water requirement of these plants have shifted the cropping pattern to their benefit. Water needs of *Nigella sativa L.*, an important medicinal plant, was not known, therefore, we aimed to determine its water needs. (ETc) and crop coefficients (Kc) for different phenological stages in arid conditions of Birjand, in 2018. In order to conduct the research, three weighing lysimeters (with a diameter of 20 cm and a height of 16 cm) were used in three replications. Actual daily evapotranspiration was estimated by water balance in lysimeters and reference evapotranspiration was calculated based on 12 cm grass. The results showed that, in the initial stage, the rate of evapotranspiration was low, in the developmental stage it had an increasing trend, and after stabilization in the middle stage, with the onset of aging in the maturity stage of growth, the rate of evapotranspiration decreased. Actual and reference crop evapotranspiration was obtained as 670 mm and 1439 mm, respectively. The values of crop coefficients in the initial, development, middle, and final stages were obtained as 0.39, 0.53, 0.59, and 0.28, respectively. The general conclusion of the research is that by using the values of crop coefficients and water requirement, it is possible to cultivate this crop with maximum water productivity in the arid region of Birjand.

Keywords: Evapotranspiration, Irrigation scheduling, Micro-lysimeter

[1] - Corresponding author: Department of Water Sciences and Engineering, Minab Higher Education Center University of Hormozgan.