علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۰، شماره‌ی۳، پاییز ۹۶، ص. ۱۲۱-۱۰۹

برآورد تبخیر ـ تعرق واقعی و ضرایب یک جزئی و دو جزئی گیاه دارویی همیشه بهار در منطقه کرمان

فریده السادات هاشمی نسب خبیصی[1*]، محمد موسوی بایگی[2] و بهرام بختیاری[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانش آموخته دکتری رشته هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
Farideh_hasheminasab@yahoo.com
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۳- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۲

چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور برآورد تبخیر ـ تعرق و ضرایب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار در منطقه کرمان واقع در جنوب شرقی ایران، که در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک می‌باشد، صورت گرفته است. به‌منظور برآورد تبخیر ـ تعرق در پنج لایسیمتر گیاه دارویی همیشه بهار و در یک لایسیمتر گیاه مرجع چمن برای اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق مرجع کشت شد و با استفاده از معادله بیلان آب میزان تبخیر ـ تعرق اندازه گیری شد. علاوه بر این تبخیر ـ تعرق مرجع با استفاده از روش پنمن ـ مانتیث محاسبه و با نتایج حاصل از لایسیمتر مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تبخیر ـ تعرق برآورد شده برای گیاه دارویی همیشه بهار با لایسیمتر برای فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ برابر ۳۳۵/۵ و ۱۰٤۳/۲٦ میلی‌متر و تبخیر ـ تعرق برآورد شده توسط لایسیمتر گیاه مرجع چمن و روش پنمن ـ مانتیث برابر ۷٦۹/۷٦ و ۷٤٦/۷ میلی‌متر برای دوره کشت ۱۳۹۳ و ۱۷٦۷/۷٦ و ۱٤۲٤/۸ میلی‌متر برای دوره کشت ۱۳۹٤ می‌باشد. همچنین در این پژوهش ضرایب گیاهی یک جزئی و دو جزئی نیز برآورد گردید. در این مطالعه مقادیر ضرایب گیاهی یک جزئی گیاه دارویی همیشه بهار در مرحله رشد اولیه، میانی و پایانی به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۱/٦۱۲ و ۰/۸۵۵ برای فصل کشت ۱۳۹۳ و مقادیر ۰/۸٤، ۱/۵۷٤ و ۱/۰۸۳ برای فصل کشت ۱۳۹٤ برآورد شد، همچنین برای ضریب گیاهی دوگانه در مراحل مختلف رشد مقادیر ۱/۲۳۸، ۱/۵٤۹ و ۰/۹۰۵ برای فصل کشت ۱۳۹٤ و مقادیر ۱/۲٦٦، ۱/٦۰٦ و ۱/۰۹۸ برای فصل کشت ۱۳۹٤ برآورد گردید.

کلید واژه‌ها: تبخیر- تعرق، ضریب گیاهی، گیاه دارویی همیشه بهار، لایسیمتر.

مقدمه

گیاهان از ابتدای تمدن بشر تاکنون کاربردهای متنوعی داشته‌اند، برخی به عنوان ماده غذایی تأمین‌کننده نیازهای تغذیه‌ای مطرح هستند و گروهی از آن ها خاصیت دارویی داشته و تسکین دهنده دردها می‌باشند. گروهی نیز به صورت چند منظوره مورد استفاده قرار می‌گیرند. کشور ایران دارای شرایط آب و هوایی متنوعی است که این امر خود موجب تنوع رشد گیاهان مختلف از جمله گیاهان دارویی شده است. گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیر نفتی داشته باشند(امیدبیگی ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴).

یکی از عوامل مهم و مؤثر در کشت و اهلی کردن گیاهان دارویی، تعیین میزان حداقل آب مورد نیاز در مراحل مختلف رشد و توسعه گیاه می‌باشد. به طور کلی رکن اساسی در مدیریت منابع آب و مهمترین بخش طراحی و بهره‌برداری از سیستم‌های تأمین کننده آب مورد نیاز کشاورزی، تخمین نیاز آبی گیاه می‌باشد. لازمه تعیین نیاز آبی گیاه، محاسبه تبخیر ـ تعرق سطوح گیاهی مرجع برای منطقه مورد مطالعه است که یا به طور مستقیم به وسیله لایسیمتر اندازه‌گیری می‌شود و یا به صورت غیرمستقیم با استفاده از داده‌های هواشناسی یا تبخیر از تشتک تبخیر برآورد می‌گردد.

آلن و همکاران[1] (۲۰۰۵) به بررسی دقت پیش‌بینی تبخیر ـ تعرق گسترده با استفاده از ضرایب گیاهی و تبخیر ـ تعرق مرجع پرداختند، آن‌ها پژوهش خود را در منطقه‌ای از کالیفرنیای آمریکا برای محصولات مختلف انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که خطای سالانه تبخیر ـ تعرق گیاه ۳/۴ درصد و خطای ماهانه تبخیر ـ تعرق گیاه ۱۵ درصد کاهش یافته و تبخیر ـ تعرق با دقت بیشتری برآورد گردیده است. وکهنگل و گرک[2] (۲۰۱۳) تبخیر ـ تعرق واقعی را با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری نمودند و با تبخیر ـ تعرق شبیه‌سازی شده پنمن توسط یک مدل رشد گیاهی مورد مقایسه قرار دادند، برای شبیه‌سازی تبخیر ـ تعرق واقعی، اندازه‌گیری ذخیره‌سازی آب خاک و نرخ زهکشی، توسط هشت لایسیمتر وزنی پوشیده از چمن در طی ۳ سال انجام گرفت، نتایج

1- Allen *et al*
2- Wegehenkel and Gerke

آن‌ها نشان داد که نرخ تبخیر ـ تعرق واقعی شبیه‌سازی شده بالاتر از نرخ مشاهده شده در تابستان است و همچنین برای اوایل و اواخر دوره تابستان میزان تبخیر ـ تعرق محاسبه شده از لایسیمتر بالاتر از تبخیر ـ تعرق شبیه‌سازی شده چمن بوده است.

بنلی و همکاران[1] (۲۰۰۶) ضریب گیاهی و تبخیر ـ تعرق گیاه یونجه را با استفاده از لایسیمتر وزنی به دست آوردند، آن‌ها تبخیر ـ تعرق مرجع را با استفاده از روش‌های پنمن ـ مانتیث، ماکینگ و فائو ـ پنمن به دست آوردند، نتایج آن‌ها نشان داد که تبخیر ـ تعرق یونجه در اقلیم نیمه خشک در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ به ترتیب برابر ۱۴۷۰، ۱۵۵۷ و ۱۱۶۱ میلی‌متر بوده است و همچنین ضرایب گیاهی یونجه در مراحل رشد برابر ۰/۷۱، ۱/۷۸ و ۱/۵۱ می‌باشد. میراندا و همکاران[2] (۲۰۰۶)، به تعیین تبخیر ـ تعرق و ضرایب گیاهی برای فلفل تاباسکو پرداختند، آن‌ها در شمال شرقی برزیل با استفاده از لایسیمتر وزنی میزان تبخیر ـ تعرق گیاه فلفل را برآورد نمودند، همچنین تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع را با استفاده از معادله پنمن ـ مانتیث ـ فائو محاسبه نمودند، میزان کل تبخیر ـ تعرق گیاه برابر ۸۸۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و حداکثر میزان تبخیر ـ تعرق روزانه برابر ۵/۶ میلی‌متر بر روز برآورد گردید. همچنین میانگین ضریب گیاهی برای دوره رشد اولیه، میانی و نهایی فلفل به ترتیب برابر ۰/۳، ۱/۲۲ و ۰/۶۵ محاسبه گردید. در پژوهش دیگری بختیاری و همکاران[3] (۲۰۱۱)، با استفاده از لایسیمتر وزنی به بررسی مدل‌های تبخیر ـ تعرق مرجع در یک منطقه نیمه خشک کرمان پرداختند و داده‌های لایسیمتری اندازه‌گیری شده برای ارزیابی شش مدل تبخیر ـ تعرق شامل پنمن ـ مانتیث ـ فائو ۵۶، پنمن ـ کیمبرلی ۱۹۹۶، بلانی ـ کریدل ـ فائو ۲۴، تابش فائو ۲۴، ماکینگ و هارگریوز ـ سامانی مورد استفاده قرار گرفت، نتایج آن‌ها در تمام طول دوره روش تابش فائو ۲۴ نتایج دقیق‌تری را نشان داد، همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در هر سه دوره روش ماکینگ نتایج ضعیف‌تری را نسبت به سایر مدل‌ها نشان داد و برای منطقه توصیه نمی‌شود. عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۸۷)، به مقایسه روش‌های تخمین تبخیر ـ تعرق سطح مرجع با داده‌های لایسیمتری در اصفهان پرداختند، آن‌ها در پژوهش خود برای تخمین تبخیر ـ تعرق مرجع از چهار روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو، ترک، هارگریوز و تشت تبخیر استفاده نمودند و میزان تبخیر ـ تعرق برآورد شده از چهار روش فوق را با تبخیر ـ تعرق محاسبه شده از لایسیمتر مورد مقایسه قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که معادله پنمن ـ مانتیث ـ فائو از دقت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار می‌باشد و معادله تشت تبخیر دقت کمتری را در برآورد تبخیر ـ تعرق دارد. قمرنیا و همکاران (۱۳۹۰)، به برآورد ضریب گیاهی گشنیز در اقلیم نیمه خشک کرمانشاه پرداختند، پژوهش آن‌ها در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی شهرستان کرمانشاه در سال‌های زراعی ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ انجام گرفت، در آن پژوهش به منظور اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق واقعی گشنیز از سه لایسیمتر با قطر ۱/۲ و ارتفاع ۱/۴ استفاده شد. آن‌ها در نتایج خود به تبخیر ـ تعرق ۷۱۳/۵۸ و ۵۸۰/۶۴ میلی‌متری گشنیز برای سال‌های ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ اشاره نمودند و مقادیر ضرایب گیاهی گشنیز حاصل از پژوهش آن‌ها برای دوره چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۶۶، ۱/۱۹، ۱/۳۶ و ۰/۹۸ به دست آمد. فتحعلیان و نوری امامزاده‌ای (۱۳۹۱)، در شرایط گلخانه با استفاده از میکرولایسیمتر تبخیر ـ تعرق و ضریب گیاهی خیار را برآورد نمودند، در این پژوهش به منظور تعیین تبخیر ـ تعرق گیاه چمن و خیار توسط دو لایسیمتر وزنی به صورت روزانه اندازه‌گیری شد و با سه روش مورد مقایسه قرار گرفت. تبخیر ـ تعرق خیار در طول دوره رشد با توجه به فاصله کشت خیار در طول دوره رشد چهار ماهه برابر ۲۷۳/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و مقادیر ضرایب گیاهی مراحل چهارگانه رشد به ترتیب برابر ۰/۱۴، ۰/۷۸، ۱/۳۷ و ۰/۸۶ برآورد گردید. نتایج آن‌ها نشان داد گه مقادیر ضرایب گیاهی برآورد شده از روش‌هارگریوز ـ سامانی و ماکینگ به مقادیر واقعی ضریب گیاهی نزدیک‌تر بوده و مقادیر برآورد شده از معادله پنمن ـ مانتیث ـ فائو حدود ۱/۶ تا ۵ برابر بیشتر از مقادیر واقعی بوده است. قمرنیا و همکاران[4] (۲۰۱۴)، آب مورد نیاز، ضرایب گیاهی یککانه و دوگانه زیره سیاه را در اقلیم نیمه خشک کرمانشاه با استفاده از لایسیمتر برآورد نمودند. در این پژوهش نیاز آبی گیاه زیره سیاه ۷۲۴ میلی‌متر با روش تعادل آب برآورد گردید، همچنین ضرایب گیاهی یککانه و دوگانه زیره سیاه برای مراحل چهارگانه رشد به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۹۱، ۱/۲۹، ۰/۷۸ و ۰/۲۴، ۰/۷۱، ۱/۰۹، ۰/۷۸ برآورد گردید. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که، تعیین نیاز آبی گیاه زیره سیاه با استفاده از ضرایب دوگانه نسبت به نتایج حاصل از مدل رگرسیونی تفاوت کمتری دارد. همچنین مطالعاتی در زمینه گیاه دارویی همیشه بهار انجام گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به عامری و نصیری محلاتی (۱۳۸۷)، اشاره نمود که به بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بر میزان ماده مؤثره و کارایی مصرف نور گل همیشه بهار پرداختند، پژوهش فوق در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت. تحلیل نتایج آن‌ها نشان داد که اثر نیتروژن و تراکم بر روی کارایی مصرف نور در گل همیشه بهار معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که، در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن، هر چه میزان تراکم بوته افزایش یابد، کارایی مصرف نور نیز افزایش خواهد یافت. ثقه الاسلامی و موسوی (۱۳۸۷)، به بررسی اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و گل همیشه بهار پرداختند، آن‌ها گیاه همیشه بهار را در ۳ تاریخ ۱۰ فروردین، ۲۵ فروردین و ۱۰ اردیبهشت کشت نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد که تاریخ کشت و تراکم دارای اثر معنی‌دار روی عملکرد گل خشک و عملکرد دانه بوده است و تاریخ کشت

1- Benli *et al*
2- Miranda *et al*
3- Bakhtiari *et al*
4 - Ghamarnia *et al*

۱۰ و ۲۵ فروردین عملکرد گل خشک بیشتری نسبت به تاریخ کشت ۱۰ اردیبهشت داشتند. همچنین نتایج نشان داد که تأخیر در کشت، شاخص برداشت و گل و دانه دارای افزایش معنی‌دار می‌باشد. همچنین شاخص برداشت گل تحت تأثیر تراکم قرار نگرفت اما شاخص برداشت دانه در بوته با افزایش تراکم کاهش معنی‌دار نشان داد. با توجه به اینکه میزان تبخیر- تعرق واقعی گیاه دارویی همیشه بهار با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری نشده است و همچنین نیاز آبی آن در مناطق خشک محاسبه نگردیده است، لذا با توجه به کشت آن به عنوان یک گیاه دارویی و یک گیاه پر مصرف در فضاهای سبز شهری اندازه‌گیری آن ضروری به نظر می‌رسد. محاسبه ضرایب گیاهی، گیاه دارویی همیشه بهار امکان محاسبه تبخیر –تعرق گیاه در مناطق خشک را فراهم می‌آورد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۲۴′ ۳۰° شمالی و در طول جغرافیایی ۴′ ۵۷° شرقی و در ارتفاع ۱۷۴۰ متری از سطح دریا واقع شده است. شهر کرمان با توجه به آمار بلند مدت هواشناسی و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک می‌باشد. بر اساس آمار ۴۰ ساله (۹۳-۱۳۵۳) ایستگاه هواشناسی کرمان، داری میزان بارش ۱۶۴/۱ میلی متر، میانگین دمای هوا ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی ۳۲ درصد در سال می‌باشد. جدول(۱) پارامترهای هواشناسی را در طول دوره کشت نشان می‌دهد و جدول(۲) مشخصات فیزیکی خاک منطقه را نشان می‌دهد.

در مقاله حاضر برای اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق از روش لایسیمتری استفاده شد، از پنج لایسیمتر زهکش‌دار برای اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار و یک لایسیمتر زهکش دار برای اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع چمن استفاده گردید. برای احداث لایسیمترها از مخازن با قطر ۷۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر استفاده شد، جنس این مخازن از پلی‌اتیلن بوده و به طور کامل آب‌بندی شده و در کف آن‌ها لوله هایی با قطر ۷۵ میلی‌متر پلی اتیلن تعبیه شد، تا امکان خروج آب زهکشی از کف مخازن لایسیمتر وجود داشته باشد و در نهایت آب زهکش خروجی از این لوله‌ها در ظرف مدرجی، که در عمق حدود ۸۰ سانتی‌متری سطح خاک قرار گرفته‌اند، می‌ریزد. برای اندازه گیری تبخیر ـ تعرق از معادله بیلان آب و خاک (رابطه ۱) استفاده شده، که در آن ET مجهول است:

$$(I + P) - (D + ET + DW) = 0 \qquad (۱)$$

که در آن P: میزان بارندگی،I: مقدار آبیاری، D: آب زهکشی، DW: تغییرات رطوبت خاک (اختلاف رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری) و ET: مقدار تبخیر ـ تعرق می‌باشد.

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی اندازه گیری شده در منطقه و فرودگاه کرمان در طول فصل رشد

دوره کشت	ماه	دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	تبخیر ماهانه (میلی‌متر)	بارندگی ماهانه (میلی‌متر)
دوره اول کشت (۱۳۹۳)	شهریور	۲۲/۷	۱۶	۳/۷	۳۱۳/۳	۰/۰
	مهر	۲۰/۲	۲۲	۳/۶	۲۲۱/۱	۰/۰
	آبان	۱۰/۵	۳۴	۳/۵	۷۹/۱	۰/۸
	آذر	۷/۴	۴۵	۲/۸	۶۳/۱	۶/۸
دوره دوم کشت (۱۳۹۴)	فروردین	۱۷/۳	۴۱	۴/۱	۲۱۶/۷	۱۲/۸
	اردیبهشت	۲۱/۳	۲۸	۴/۲	۳۰۰/۸	۴/۰
	خرداد	۲۵/۱	۱۶	۴/۴	۳۹۷/۹	۰/۰
	تیر	۲۷/۵	۱۶	۴/۴	۴۱۵/۱	۱/۵
	مرداد	۲۴/۴	۱۶/۱	۴/۵	۳۷۰/۸	۰/۰

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه

عمق (سانتی متر)	کلاس بافت خاک (درصد)			بافت خاک	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	رطوبت حجمی (درصد)	
	شن	سیلت	رس			ظرفیت زراعی	حد پژمردگی
۰-۲۰	۴۱	۳۷	۲۲	شنی لومی	۱/۴۶	۲۶/۲	۱۲/۱
۲۰-۴۰	۳۵	۳۹	۲۶	لومی شنی	۱/۴۳	۲۷	۱۱/۵

در این پژوهش از گیاه دارویی همیشه بهار به عنوان گیاه مورد مطالعه استفاده شد، از عوامل انتخاب این گیاه می توان به، کاربرد چندگانه این گیاه اشاره نمود، گیاه دارویی همیشه بهار به عنوان یک گیاه زینتی در باغبانی استفاده می‌شود، همچین می‌توان از مهمترین کاربرد آن استفاده در صنایع داروسازی و لوازم آرایشی اشاره نمود. گیاه دارویی همیشه بهار به عنوان یک گیاه یک ساله شناخته شده و کشت می‌شود، لذا تاریخ کاشت با توجه به وجود پدیده‌های اقلیمی مانند تغییرات دما، رطوبت و.... در هر منطقه متفاوت بوده، برای حصول حداکثر عملکرد، بهترین تاریخ کاشت باید مورد توجه قرار گیرد (امیدبیگی، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۴ و وکهنگل و گرک، ۲۰۱۳). لذا در این تحقیق یک فصل کشت بهاره و یک فصل کشت پاییزه انجام گرفته است تا شرایط رشد گیاه در فصول مختلف کشت بررسی شود. فصل اول کشت به عنوان کشت پاییزه در تاریخ یک شهریور ۱۳۹۳ آغاز گردید و تا ۳۰ آذر ماه ۱۳۹۳ ادامه پیدا کرد و فصل دوم کشت به عنوان کشت بهار آن در تاریخ ۱۰ فروردین آغاز گردید و تا ۳۰ مرداد ادامه یافت. بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر کشت شده تا تراکم کافی و پوشش کامل سطح را برای برآورد تبخیر ـ تعرق دارا باشند. بذر همیشه بهار در موقع کشت، در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر کشت شد. شکل (۱) نمونه‌ای از لایسیمترها را نشان می‌دهد.

محاسبه ضرایب گیاهی

ضریب گیاهی یک جزئی

با محاسبه تبخیر ـ تعرق مرجع و تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار که از لایسیمتر محاسبه گردید امکان محاسبه ضریب گیاهی فراهم شد و با استفاده از نسبت آن‌ها مقدار ضریب گیاهی در هر مرحله رشد محاسبه گردید.

باید به این نکته توجه داشت که، بیشترین اثر اقلیم در برآورد تبخیر ـ تعرق مرجع گنجانده شده است، بنابراین همان طور که تبخیر ـ تعرق مرجع نمایه‌ای از تقاضای تبخیر در اقلیم مشخص می‌باشد، ضریب گیاهی نیز به صورت اساسی به ویژگی‌های گیاه و به طور محدودی به اقلیم بستگی دارد. ضریب گیاهی (K_c) نسبت تبخیر ـ تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد (ET_c) به تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع (ET_o) بوده است. که به صورت رابطه (۲) می‌باشد:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \qquad (۲)$$

ضریب گیاهی دو جزئی

در این روش دو جزء، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک، به صورت جداگانه بررسی و تعیین شد و در آن از ضرایب گیاهی پایه(K_{cb}) برای توصیف فرآیند تعرق گیاه و از ضریب تبخیر(K_e) برای توصیف فرآیند تبخیر استفاده می‌شود و به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$K_c = K_{cb} + K_e \qquad (۳)$$

در شرایطی که لایه خاک سطحی خشک بوده، اما مقدار آب برای تعرق کامل به میزان کافی برای گیاه وجود داشته باشد، ضریب گیاهی پایه را از نسبت تبخیر ـ تعرق گیاه به تبخیر ـ تعرق مرجع به دست می‌آورند، لذا ضریب گیاهی پایه همان ضریب گیاهی یک جزئی در شرایطی می‌باشد که اثر تبخیر اضافی ناشی از خیس شدن سطح خاک با آبیاری و یا بارندگی وجود نداشته باشد.



شکل ۱- نمونه ای از لایسیمترهای کشت شده

ضریب تبخیر، تبخیر از سطح خاک را توصیف می‌نماید و میزان آن پس از آبیاری و بارندگی می‌تواند بالا باشد و با خشک شدن سطح خاک، ضریب تبخیر کاهش یافته و پس از مصرف آب قابل تبخیر،صفر می‌شود. در روش محاسبه ضریب گیاهی به روش دو جزئی نیاز به محاسبه جداگانه جزء تعرق و تبخیر می‌باشد.

برای محاسبه جزء تعرق، ضریب گیاهی پایه محاسبه شود. زمانی که خاک سطحی خشک بوده، اما تعرق به میزان پتانسیل باشد، به عبارت دیگر آب محدود کننده تعرق نیست، ضریب گیاهی پایه با نسبت تبخیر ـ تعرق گیاه به تبخیر ـ تعرق مرجع بیان می‌شود. بنابراین در تبخیر ـ تعرق با استفاده از ضریب گیاهی دو جزئی عبارت $K_{cb} \times ET_o$ جزء تعرق گیاه را نشان می‌دهد. تبخیر آب از خاک که رطوبت مورد نیاز آن از آب لایه خاک خشک زیرین پوشش گیاهی تأمین می‌شود، نیز در جزء تعرق قرار می‌گیرد.

برای محاسبه جزء تبخیر، همان‌طور که بیان شد تبخیر از خاک خیس شده بیشترین مقدار خواهد بود، با این وجود ضریب گیاهی دو جزئی بزرگ‌تر از بیشترین مقدار ضریب تبخیر نخواهد شد و باید توجه داشت که حداکثر تبخیر از خاک تابع انرژی در دسترس می‌باشد. با توجه به این مطلب که با خشک شدن لایه خاک سطحی، برای تبخیر آب کمتری در دسترس می‌باشد و مقدار آن متناسب با آب باقی مانده کاهش می‌یابد. از این جهت رابطه (۴) برای جزء تبخیر برقرار می‌باشد:

$$K_e = K_r(K_{c\,max} - K_{cb}) \le f_{ew}K_{max} \qquad (۴)$$

که در آن K_e: ضریب تبخیر از خاک، K_{cb}: ضریب گیاهی پایه، $K_{c\ max}$: حداکثر مقدار ضریب گیاهی پس از آبیاری و بارندگی، Kr: ضریب کاهش تبخیر وابسته به عمق تخلیه (تبخیر) تجمعی از لایه خاک و F_{ew}: کسر خاک خیس شده و در معرض هوا یا کسر خاکی که دارای بیشترین مقدار تبخیر می‌باشد.

کران بالای ضریب گیاهی ($K_{c\,max}$) در یک سطح کشت، که اثر محدودیت‌های طبیعی مؤثر بر انرژی در دسترس، که به صورت Rn-G-H می‌باشد، را شامل می‌شود که از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$K_{c\,max} = \max\left(\left[1.2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}\right], \{K_{cb} + 0.05\}\right) \qquad (۵)$$

که در آن $K_{c\,max}$: کران بالای تبخیر ـ تعرق در سطح کشت شده، u_2 میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری سطح در مرحله میانی (متر بر ثانیه) بین ۱ تا ۶ متر بر ثانیه، RH_{min}: میانگین حداقل رطوبت نسبی روزانه در مرحله میانی رشد (درصد) بین ۲۰ تا ۸۰ درصد و h: میانگین حداکثر ارتفاع گیاه در دوره رشد مورد نظر (متر) و Max: حداکثر مقدار عامل $\{K_{cb}+0.05\}$ می‌باشد.

در ابتدای چرخه خشک شدن خاک پس از آبیاری یا بارندگی سنگین، میزان آب در لایه سطحی خاک در حد ظرفیت زراعی می باشد و مقدار آب تخلیه شده از آن به صورت تبخیر (D_e)، صفر می‌باشد. در ادامه در مرحله اول تبخیر لایه خاک سطحی خیس بوده و تبخیر از آن حداکثر می باشد و شدت آن تنها به مقدار انرژی در دسترس سطح بستگی دارد و این مرحله تا زمانی ادامه خواهد یافت که تبخیر تجمعی سبب کاهش هدایت هدرولیکی لایه خاک سطحی شود و سرعت حرکت آب به سمت لایه سطحی کمتر از نیاز تبخیر شود، در این مرحله ضریب تبخیر برابر ۱ خواهد بود.

در مرحله بعد کاهش سرعت تبخیر زمانی آغاز می‌شود که مقدار تبخیر تجمعی (D_e) بیش از مقدار آب با سهولت قابل تبخیر (REW) باشد و باید توجه داشت در این مرحله، سطح خاک خشک می‌باشد و کاهش تبخیر از خاک متناسب با مقدار آب باقی مانده در لایه می‌باشد(آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$K_r = \frac{TEW - D_{e.i-1}}{TEW - REW} \qquad D_{e,i-1} > REW \qquad (۶)$$

که در آن K_r: ضریب کاهش تبخیر و وابسته به تخلیه آب خاک سطحی (Kr=1 برای De,i-1≤REW)، De,i-1: عمق تجمعی تبخیر از لایه خاک سطحی زمانی که در پایان روز i-1 یعنی روز قبل (میلی‌متر)، TEW: حداکثر عمق آب قابل تبخیر از لایه سطحی خاک هنگامی که Kr=۰ (میلی‌متر)، و REW: عمق تجمعی آب با سهولت قابل تبخیر در پایان مرحله اول تبخیر می‌باشند.

کسر سطح خیس شده و در معرض هوا: در اغلب موارد تبخیر از پوشش گیاهی غیر کامل یکنواخت نمی‌باشد، کسر سطح خیس شده در معرض هوا (few) باید همان کسر خاک خیس شده توسط آبیاری را نشان دهد و به صورت زیر محاسبه می‌شود(آلن و همکاران، ۱۹۹۸):

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \qquad (۷)$$

که در آن 1-fc: میانگین کسر خاک بدون پوشش گیاهی و در معرض هوا و فاقد سایه انداز (۰/۱ تا ۱)، fw: میانگین کسر خاک خیس شده با آبیاری یا بارندگی (۰/۱ تا ۱) می باشد و در این مرحله تأکید بر حداقل مقدار این دو می باشد. مقدار fw با توجه به نوع آبیاری تعیین می گردد و در اینجا با توجه به استفاده از لایسیمتر و خیس شدن کامل سطح مقدار fw برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود و میزان few به صورت زیر می‌شود:

$$f_{ew} = 1 - f_c \qquad (۸)$$

کسر سطح خاک در معرض هوا (1-fc) دارای بیشترین مقدار تبخیر در آن انجام می گیرد و در این عبارت fc، کسر سطح خاک دارای پوشش گیاهی بوده و کران بالای آن کوچکتر از ۰/۹۹ می باشد و برای مراحل مختلف رشد باید مقدار مناسب انتخاب شود.

نتایج و بحث

هدف از این تحقیق اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار و محاسبه ضرایب گیاهی آن می‌باشد. در این تحقیق ابتدا مقادیر تبخیرـ تعرق گیاه مرجع چمن به وسیله لایسیمتر اندازه‌گیری شد و با مقادیر به دست آمده از روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار میانگین در دوره کشت ۱۳۹۳ برابر ۶/۴۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد، درحالی که مقدار میانگین کل دوره کشت سال ۱۳۹۴ برابر ۱۲/۳۵ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد.

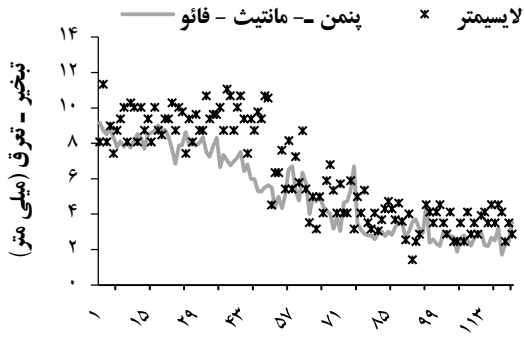
باید توجه داشت که دوره کشت ۱۳۹۳ از یک شهریور ماه شروع شده و تا ۳۰ آذر ماه ادامه یافته و دوره چهار ماهه را در خود جای داده و در این دوره به دلیل فصل پاییز و دمای کمتر هوا و ساعات آفتابی کمتر میزان تبخیر ـ تعرق کاهش داشت و در نتیجه مقادیر تبخیر ـ تعرق دوره کشت ۱۳۹۳ کمتر بوده است. در دوره کشت ۱۳۹۴ با توجه به شروع کشت در تاریخ ۱۰ فروردین و انتهای دوره کشت در ۳۱ مرداد ماه، میزان تبخیر ـ تعرق به مراتب بیشتر از فصول دیگر سال می‌باشد و باید توجه داشت، فصل تابستان بیشترین تبخیر ـ تعرق را در طول فصل کشت خواهد داشت. مجموع مقادیر تبخیر ـ تعرق مرجع دوره کشت ۱۳۹۳ برابر ۷۶۹/۷۶ میلی‌متر بوده و مقدار مجموع تبخیر ـ تعرق دوره کشت ۱۳۹۴ برابر ۱۷۶۷/۷۶ میلی‌متر بوده است و این مقادیر نشان می-دهند که میزان اختلاف ۱۰۰۰ میلی‌متری برای تبخیر ـ تعرق مرجع در دو فصل کشت مختلف وجود دارد و این اختلاف از تفاوت محسوس دما در مناطق خشک و نیمه خشک در فصل گرم و سرد سال ناشی می‌شود و این میزان اختلاف در تبخیرـ تعرق می‌تواند دلیل محکمی برای مطالعات بیشتر در زمینه فصل کشت محصولات مختلف باشد.

روند تغییرات تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر و روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو در شکل (۲) و شکل (۳) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر تبخیر ـ تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر از روند مقادیر تبخیر ـ تعرق برآورد شده از روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو پیروی می‌کنند.

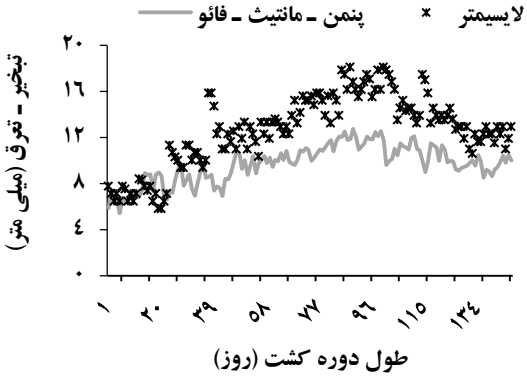
جدول(۳) مقادیر شاخص های صحت سنجی تبخیر ـ تعرق مرجع را نشان می‌دهد که مقدار ضریب همبستگی (r) در هر دو فصل کشت نشان می‌دهد این مقدار بالاتر از ۰/۷۵ می‌باشد و مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر برآورد شده از همبستگی خوبی برخوردار می‌باشند. شاخص‌های دیگر خطا نیز مقادیر کمی اختلاف و خطا را میان داده‌های تبخیرـ تعرق مرجع برآورد شده از روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو با داده های لایسیمتر نشان می‌دهند و با توجه به این‌که روش پنمن ـ مانیث ـ فائو روش توصیه شده توسط سازمان خوار و با جهانی می‌باشد و صحت این مدل در پژوهش‌های مختلف در مناطق خشک بررسی شده است و با توجه به استفاده از پارامترهای هواشناسی متعدد برای محاسبه تبخیر ـ تعرق دارای دقت بالایی می‌باشد. همان‌طور که نتایج شاخص‌های جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین خطای بایاس نشان می‌دهند مقادیر به دست آمده از روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو دارای اختلاف کمی با مقادیر اندازه‌گیری شده از روش لایسیمتری بوده است. همچنین مقادیر شاخص میانگین درصد خطا میزان درصد خطای پایینی را نشان می‌دهد.

محاسبه تبخیر- تعرق گیاه دارویی همیشه بهار

در این مرحله با استفاده از داده‌های به دست آمده از هر یک از لایسیمترهای کشت شده و با استفاده از معادله بیلان آب و خاک مقادیر تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار برای دو دوره کشت سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ محاسبه شد. جدول (۴) مقادیر میانگین تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تبخیرـ تعرق روزانه گیاه مرجع در فصل کشت ۱۳۹۳



شکل ۳- تبخیر- تعرق روزانه گیاه مرجع در فصل کشت ۱۳۹٤

جدول۳- شاخص‌های خطایابی تبخیر ـ تعرق مرجع به دست آمده از لایسیمتر و روش پنمن ـ مانتیث ـ فائو (دوره کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

فصل رشد	شاخص‌های خطاسنجی	مقادیر خطا
شهریور تا آذر ۱۳۹۳	ضریب تعیین	۰/۸۲
	جذر میانگین مربعات خطا	۱/۸۴ میلی متر
	میانگین خطای مطلق	۱/۴۳ ملی متر
	میانگین خطای بایاس	۰/۱۶ میلی متر
	شاخص میانگین درصد خطا	۱۱/۰۵- درصد
فرودین تا مرداد۱۳۹۴	ضریب تعیین	۰/۷۸
	جذر میانگین مربعات خطا	۲/۹۵ میلی متر
	میانگین خطای مطلق	۲/۵۰ میلی متر
	میانگین خطای بایاس	۲/۱۴ میلی متر
	شاخص میانگین درصد خطا	۲۱/۰۶- درصد

نتایج حاصل از تبخیر ـ تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر در دوره کشت سال ۱۳۹۳ نشان می‌دهد که میزان تبخیر ـ تعرق در مرحله اولیه رشد و مرحله توسعه گیاه مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد و پس از آن در مرحله میانی و پایانی مقادیر تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار رو به کاهش بوده است، این نتایج نشان می دهد در ابتدای دوره که میزان تبخیر بیشتر از تعرق بوده است و سطح خاک به طور کامل از گیاه پوشیده نشده، جزء اصلی تبخیر ـ تعرق را می‌توان جزء تبخیر در نظر گرفت و در مرحله میانی و پایانی که بیش از ۹۵ در صد سطح لایسیمترها پوشیده از گیاه بوده میزان تبخیر کاهش یافته و بر میزان تعرق افزوده شده است و می‌توان این گونه در نظر گرفت که جزء غالب تبخیر ـ تعرق در مرحله میانی جزء تعرق بوده و بیشترین میزان تعرق در این مرحله برای گیاه رخ داده است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق توسط لایسیمترها در فصل کشت ۱۳۹۴ میزان تبخیر ـ تعرق در ابتدای دوره با توجه به دمای کمتر هوا و همچنین کم بودن میزان تعرق و غالب بودن جزء تبخیر کمتر از کل دوره می‌باشد. در این فصل کشت سه دهه اول مربوط به مرحله ابتدایی دوره رشد گیاه می‌باشد و گیاهان کوچک بوده و سطح خاک کمتر از ۱۰ درصد پوشده از گیاه می‌باشد و در این مرحله اغلب تبخیر از سطح خاک رخ داده است و جزء تعرق کوچک بوده است و در سه دهه بعدی یا به عبارتی دهه چهار تا شش که مرحله توسعه گیاه بوده و از ۱۰ درصد پوشش در ابتدای مرحله توسعه به ۹۰ درصد پوشش سطح رسیده است و در این مرحله علاوه بر جزء تبخیر میزان جزء تعرق به دلیل رشد گیاه و پوشیده شدن سطح خاک از گیاه افزایش یافته و مقادیر تبخیر ـ تعرق در این مرحله افزایش یافته‌اند و باید توجه داشت که در اواخر بهار دمای هوا نیز افزایش چشم‌گیری داشته است. در مرحله میانی رشد گیاه (دهه ۷ تا ۱۱) که در حدود ۵۰ روز به طول انجامید، مقدار تبخیر ـ تعرق نیز به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. از جمله عوامل مؤثر بر این افزایش را می‌توان رشد کامل گیاه و پوشش کامل سطح از گیاه دانست و در این مرحله بیشترین میزان تعرق را داشته نباید این نکته را فراموش نمود که دمای هوا نیز به حداکثر میزان خود رسیده و می‌تواند بر روی افرایش تعرق گیاه تأثیرگذار باشد. در نهایت مرحله پایانی کشت که از گل دهی گیاه شروع شده و به بذر نشستن گل و زوال گیاه ختم شده است و در این مرحله مقدار تبخیر ـ تعرق رو به کاهش بوده و در اواخر دوره به حداقل مقدار خود رسیده است.

جدول ٤- میانگین تبخیر ـ تعرق (میلی متر بر روز) ده روزه اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر برای گیاه دارویی همیشه بهار (دروه کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤)

فصل رشد	دهه های رشد	لایسیمتر (میلی متر بر روز)					میانگین
		۱	۲	۳	۴	۵	(میلی متر بر روز)
شهریور تا آذر ماه ۱۳۹۳	۱	۲/۵۶	۲/۷۶	۲/۹۳	۳/۱۲	۳/۰۵	۲/۸۸
	۲	۲/۵۳	۳/۱۵	۲/۸۹	۳/۱۶	۲/۸۲	۲/۹۱
	۳	۴/۳۷	۴/۱۱	۴/۱۹	۴/۱۰	۳/۴۱	۴/۰۴
	۴	۴/۸۲	۴/۶۱	۵/۱۶	۵/۱۳	۴/۰۲	۴/۷۵
	۵	۵/۱۷	۵/۰۵	۵/۲۷	۵/۱۸	۴/۷۶	۵/۰۹
	۶	۳/۷۵	۳/۶۷	۳/۵۲	۳/۷۹	۳/۷۵	۳/۷۰
	۷	۳/۰۲	۲/۹۴	۲/۹۰	۳/۰۶	۲/۸۲	۲/۹۵
	۸	۲/۹۹	۳/۱۵	۳/۰۷	۲/۹۵	۲/۹۵	۳/۰۲
	۹	۱/۳۹	۱/۲۷	۱/۱۲	۱/۲۳	۱/۷۰	۱/۳۴
	۱۰	۱/۹۵	۱/۵۲	۲/۰۶۳	۲/۱۸	۱/۸۳	۱/۹۱
	۱۱	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۱
	۱۲	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۶
	میانگین دوره	۲/۸۰	۲/۷۶	۲/۸۴	۲/۹۱	۲/۶۸	۲/۸۰
فرودین تا مرداد ماه ۱۳۹۴	۱	۴/۷۱	۴/۹۳	۴/۸۲	۵/۰۵	۵/۰۶	۴/۹۱
	۲	۵/۸۴	۵/۹۲	۵/۹۱	۵/۷۵	۵/۵۲	۵/۷۹
	۳	۶/۴۸	۶/۳۳	۶/۷۳	۶/۰۴	۶/۰۷	۶/۳۳
	۴	۶/۴۹	۶/۳۴	۶/۶۴	۶/۲۴	۶/۳۹	۶/۴۲
	۵	۶/۷۰	۶/۵۴	۷/۱۲	۷/۳۹	۶/۳۸	۶/۸۳
	۶	۷/۱۷	۷/۴۳	۶/۹۳	۷/۵۴	۷/۱۵	۷/۲۴
	۷	۷/۲۲	۶/۴۵	۶/۳۹	۷/۲۴	۷/۲۴	۶/۹۱
	۸	۱۱/۵۴	۱۱/۳۸	۱۰/۸۴	۱۱/۴۶	۱۱/۴۰	۱۱/۳۲
	۹	۱۳/۰۶	۱۲/۹۵	۱۲/۴۷	۱۲/۴۲	۱۳/۰۵	۱۲/۸۰
	۱۰	۱۲/۳۱	۱۲/۷۸	۱۲/۷۵	۱۲/۷۲	۱۲/۷۲	۱۲/۶۶
	۱۱	۹/۸۲	۱۰/۲۱	۹/۹۵	۱۰/۰۰	۹/۵۷	۹/۹۰
	۱۲	۵/۶۱	۵/۶۴	۶/۵۸	۶/۵۲	۵/۶۱	۵/۹۹
	۱۳	۴/۰۶	۳/۹۷	۴/۴۴	۴/۰۳	۳/۸۱	۴/۰۶
	۱۴	۳/۰۸	۳/۳۹	۳/۲۳	۳/۳۹	۲/۸۶	۳/۱۹
	میانگین دوره	۷/۴۳	۷/۴۵	۷/۴۸	۷/۵۷	۷/۳۴	۷/۴۵

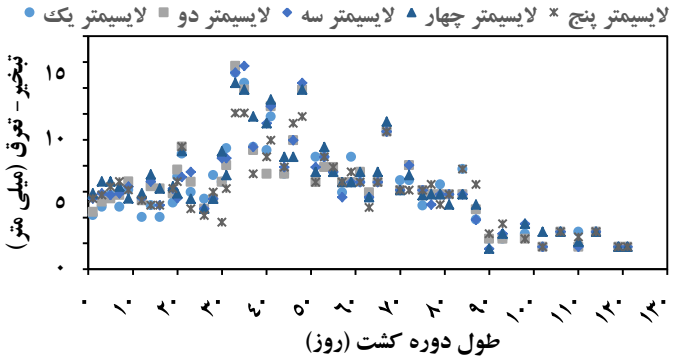
میانگین تبخیر ـ تعرق در دوره کشت پاییزه ۱۳۹۳ برابر ۲/۸۰ میلی‌متر بر روز بوده است و این مقدار در دوره کشت بهاره ۱۳۹۴ برابر ۷/۴۵ میلی‌متر بر روز بوده است و در دوره کشت بهاره تبخیر ـ تعرق در حدود ۲ برابر بیشتر از تبخیر ـ تعرق پاییزه خواهد بود.

جدول (۵) مقادیر تبخیر ـ تعرق ماهانه گیاه دارویی همیشه بهار را برای هر یک از لایسیمتر ها نشان می دهد. همان‌طور که جدول فوق نشان می‌دهد، در ابتدای دوره (شهریور ۱۳۹۳ و فروردین ۱۳۹۴) تبخیر ـ تعرق گیاه کمتر بوده و در انتهای دوره رشد نیز مقادیر تبخیر ـ تعرق کاهش یافته و در ماه‌های میانی دوره رشد، تبخیر ـ تعرق دارای مقادیر بیشتری بوده است. در مجموع تبخیر ـ تعرق در فصل کشت ۱۳۹۳ کمتر از فصل کشت ۱۳۹۴ بوده و توجه داشت کشت در فصل پاییز مقادیر آب کمتری نیاز است.

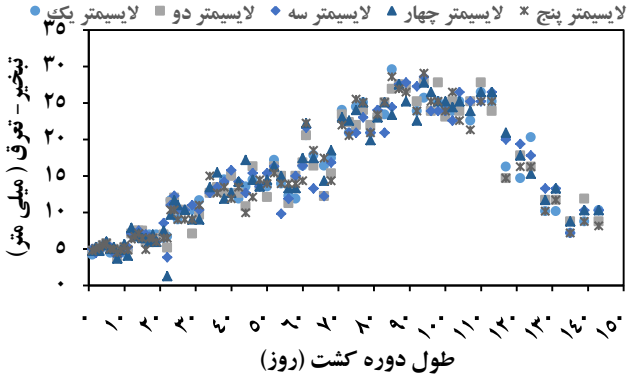
همان‌طور که جدول های (۴) و (۵) نشان می‌دهد، طول دوره کشت در کشت پاییزه (۱۳۹۳) کمتر از کشت بهاره (۱۳۹۴) بوده است و همچنین مقدار تبخیر ـ تعرق در کشت پاییزه به مراتب کمتر از کشت بهاره می‌باشد و می‌توان این نتیجه را در برداشته باشد که در کشت پاییزه مقدار آب کمتری استفاده شده است. شکل (۴) و شکل (۵) میزان تبخیر ـ تعرق لایسیمترها را در نمودار نشان داده است.

جدول ۵- تبخیر ـ تعرق ماهانه گیاه دارویی همیشه بهار برای هر یک از لایسیمترها (میلی‌متر بر روز)

فصل کشت	ماه	لایسیمتر یک	لایسیمتر دو	لایسیمتر سه	لایسیمتر چهار	لایسیمتر پنج
۱۳۹۳	شهریور	۵/۹۱	۶/۲۶	۶/۲۵	۶/۴۹	۵/۸۰
	مهر	۹/۸۱	۹/۵۳	۹/۹۶	۱۰/۰۷	۸/۹۵
	آبان	۶/۱۳	۶/۱۳	۵/۹۱	۶/۰۴	۶/۲۳
	آذر	۳/۵۱	۲/۹۰	۳/۵۱	۳/۶۸	۳/۳۳
۱۳۹۴	فروردین	۵/۶۵	۵/۷۴	۵/۷۰	۵/۵۶	۵/۶۵
	اردیبهشت	۱۲/۵۵	۱۲/۲۶	۱۳/۰۵	۱۲/۷۷	۱۱/۹۳
	خرداد	۱۹/۱۴	۱۸/۹۶	۱۸/۰۲	۱۹/۶۱	۱۹/۴۱
	تیر	۲۵/۴۳	۲۵/۷۸	۲۵/۶۳	۲۵/۳۷	۲۵/۳۸
	مرداد	۱۲/۷۹	۱۳/۲۶	۱۴/۵۰	۱۴/۱۱	۱۲/۲۰



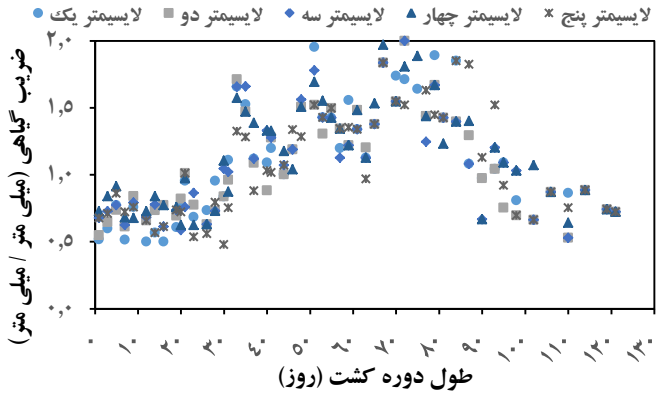
شکل ٤- تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار در هر لایسیمتر در فصل کشت ۱۳۹۳ (میلی‌متر)



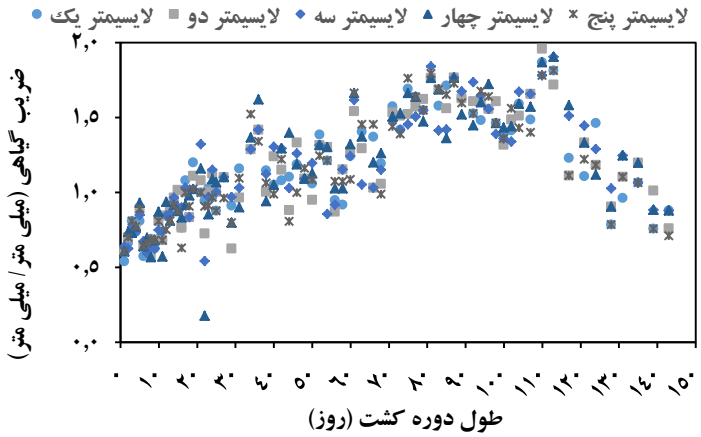
شکل ٥- تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار در هر لایسیمتر در فصل کشت ۱۳۹۳ (میلی‌متر)

جدول ٦- ضریب گیاهی یک جزئی مراحل مختلف رشد در دو فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

دوره کشت	مراحل رشد	طول هر مرحله (روز)	ضریب گیاهی	
			قبل از اعمال ضرایب اصلاحی	بعد از اعمال ضرایب اصلاحی
دوره کشت اول شهریور تا آذر ۱۳۹۳	مرحله اولیه	۲۷	۰/۷۱	۰/۷۵
	مرحله میانی	۳۶	۱/۵۷۵	۱/۶۱۲
	مرحله نهایی	۳۳	۰/۸۱۴	۰/۸۵۵
دوره دوم کشت فروردین تا مرداد ۱۳۹۴	مرحله اولیه	۳۱	۰/۸۴۰	۰/۸۴۰
	مرحله میانی	۴۷	۱/۵۳۸	۱/۵۷۴
	مرحله نهایی	۳۲	۱/۰۳۹	۱/۰۸۳



شکل ٦- ضرایب گیاهی طول دوره کشت گیاه دارویی همیشه بهار برای دوره کشت ۱۳۹۳



شکل ۷ - ضرایب گیاهی طول دوره کشت گیاه دارویی همیشه بهار برای دوره کشت ۱۳۹٤

محاسبه ضریب گیاهی یک جزئی

مقادیر ضرایب گیاهی در سه مرحله اولیه، میانی و پایانی رشد قبل و بعد از اصلاح در جدول(۶) برای فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ ارائه شده است. شکل (۶) و شکل (۷) ضرایب گیاهی روزانه فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ را برای هر پنج لایسیمتر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند تغیرات ضریب گیاهی در طول فصل کشت از الگوی نمودار ضرایب گیاهی پیروی می‌کند و این الگوی خاص در هر دو فصل کشت مشاهده می‌شود.

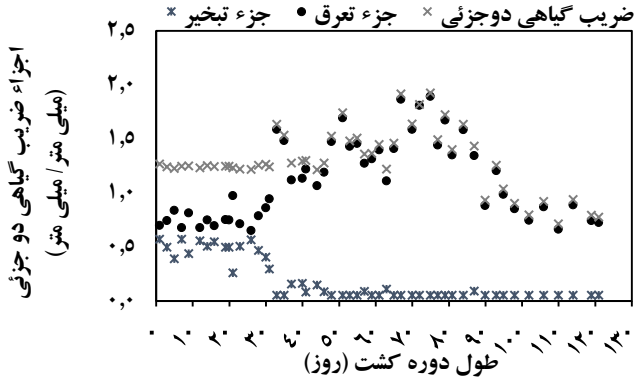
محاسبه ضریب گیاهی دو جزئی

برای برآورد ضریب گیاهی دو جزئی ابتدا جزء تعرق و سپس جزء تبخیر را به دست آورده و از مجموع آن‌ها ضریب گیاهی دو جزئی حاصل شد. جدول (۷) نتایج به دست آمده برای هر یک از مراحل کشت را نشان می‌دهد.

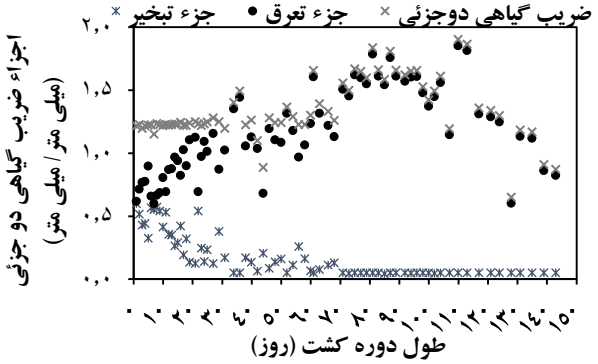
جزء تعرق و جزء تبخیر ضریب گیاهی، گیاه دارویی همیشه بهار در مقایسه با ضریب گیاهی دو جزئی حاصل از مجموع آن‌ها در شکل (۸) و شکل (۹) رسم شده است، همان طور که در شکل مشخص است و فرایند محاسبه بر این مبنا بوده است، ضریب گیاهی دو جزئی از حاصل جمع جزء تعرق و تبخیر به دست می‌آید و در این جا مشاهده می‌شود که در ابتدای دوره به دلیل زیاد بودن تبخیر این ضریب به طور مشخص از مجموع آن ها به دست آمده اما ضریب گیاهی در مرحله میانی به دلیل کم شدن میزان تبخیر و غالب بودن جزء تعرق میزان ضریب گیاهی در اغلب موارد به جزء تبخیر نزدیک می‌باشد و این روند تغییرات در تمامی لایسیمترها و در هر دو فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به همین ترتیب می‌باشد. باید توجه داشت که ضرایب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار تاکنون محاسبه نشده است و برای اولین بار در این مقاله محاسبه گردید و در نتایج به دست آمده روند تغییرات مقادیر ضرایب گیاهی، از روند تغییرات ضرایب گیاهی ارائه شده در نشریه فائو ۵۶ پیروی می‌کنند.

جدول ۷- ضریب گیاهی دوجزئی مراحل مختلف رشد در دو فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

دوره کشت	مراحل رشد	طول هر مرحله (روز)	ضریب گیاهی	
			قبل از اعمال ضرایب اصلاحی	بعد از اعمال ضرایب اصلاحی
دوره کشت اول شهریور تا آذر ۱۳۹۳	مرحله اولیه	۲۷	۰/۷۱	۱/۲۳۸
	مرحله میانی	۳۶	۱/۵۷۵	۱/۵۴۹
	مرحله نهایی	۳۳	۰/۸۱۴	۰/۹۰۵
دوره دوم کشت فروردین تا مرداد ۱۳۹۴	مرحله اولیه	۳۱	۰/۸۴۰	۱/۲۲۶
	مرحله میانی	۴۷	۱/۵۳۸	۱/۶۰۶
	مرحله نهایی	۳۲	۱/۰۳۹	۱/۰۳۹



شکل ۸- اجزاء ضرایب گیاهی دو جزئی برای فصل کشت ۱۳۹۳



شکل ۹- اجزای ضرایب گیاهی دو جزئی برای فصل کشت ۱۳۹٤

جزء تعرق و جزء تبخیر ضریب گیاهی، گیاه دارویی همیشه بهار در مقایسه با ضریب گیاهی دو جزئی حاصل از مجموع آن‌ها، همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است و فرایند محاسبه بر این مبنا بوده است، ضریب گیاهی دو جزئی از حاصل جمع جزء تعرق و تبخیر به دست می‌آید و در این جا مشاهده می‌شود که در ابتدای دوره به دلیل زیاد بودن تبخیر این ضریب به طور مشخص از مجموع آن‌ها به دست آمده اما ضریب گیاهی در مرحله میانی به دلیل کم شدن میزان تبخیر و غالب بودن جزء تعرق میزان ضریب گیاهی در اغلب موارد به جزء تبخیر نزدیک می‌باشد و این روند تغییرات در تمامی لایسیمترها و در هر دو فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به همین ترتیب می‌باشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق هدف اصلی اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق واقعی گیاه دارویی همیشه بهار در دو فصل کشت با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار بوده است، در ادامه برای رسیدن به این هدف کلی، به برآورد ضرایب گیاهی یک جزئی و دو جزئی گیاه دارویی همیشه بهار پرداخته شد. برای رسیدن به این اهداف، گیاه دارویی همیشه بهار در پنج لایسیمتر در منطقه شهر کرمان کشت گردید و

همچنین یک لایسیمتر برای اندازه‌گیری تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع چمن نصب گردید. با استفاده از نتایج به دست آمده از تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار و تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع چمن مقادیر ضریب گیاهی یک جزئی و دو جزئی محاسبه گردید. تحلیل نتایج حاصل از تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع چمن حاصل از لایسیمتر و مدل پنمن ـ مانتیث ـ فائو نشان داد که برای فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب دارای همبستگی ۰/۸۲ و ۰/۷۸ بوده است و همچنین مقادیر خطای محاسبه شده به صفر نزدیک بوده است.

نتایج تبخیر ـ تعرق به دست آمده از لایسیمترهای کشت شده از گیاه دارویی همیشه بهار بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و در هر دو فصل کشت این نتایج از روند خوبی پیروی نمودند و با توجه به این که در ابتدای دوره میزان تبخیر ـ تعرق کمتر بوده و با افزایش سطح پوشش گیاهی این مقدار افزایش می‌یابد و در نهایت در مرحله پلاسیدگی و زوال گیاه این مقدار مجددا کاهش می‌یابد، در تمامی لایسیمترها این روند مشخص بوده و ادامه داشت. مقدار میانگین تبخیر ـ تعرق گیاه دارویی همیشه بهار در فصل کشت ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به ترتیب برابر ۲/۸۰ و ۷/۴۵ میلی‌متر بر روز اندازه‌گیری شد. نتایج کلی حاصل از ضرایب گیاهی یک جزئی نشان می‌دهند که مقادیر به دست آمده از این مقاله در هر دو فصل کشت از روند کلی نمودار ضرایب گیاهی پیروی می‌کند و نتایج به دست آمده با توجه به دقت مقادیر تبخیر-تعرق، از صحت خوبی برخوردار می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از ضرایب گیاهی دو جزئی با توجه به استفاده از دو جزء تبخیر و تعرق به صورت جداگانه از دقت خوبی برخوردار بوده است. باید توجه داشت در ارتباط با تبخیر ـ تعرق واقعی و ضرایب گیاهی گیاه دارویی همیشه بهار پژوهشی در ایران و سایر نقاط دنیا صورت نگرفته است و تنها در ارتباط با تاریخ کشت، و دور آبیاری، کیفیت اسانس و میزان گل دهی بر اساس مقادیر کود دهی انجام شده است.

منابع

۱- امید بیگی، رضا. ۱۳۷۹. رهیافتهای تولید و فرآوری گیاهان دارویی ، جلد اول، چاپ دوم، انتشارات طراحان نشر.

۲- امید بیگی، رضا.۱۳۸۴ . تولید و فرآوری گیاهان دارویی(جلد اول)، به نشر(انتشارات آستان قدس رضوی).

۳- ثقه الاسلامی، محمد جواد. و موسوی، غلام رضا. ۱۳۸۷. اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و گل همیشه بهار(Calendula officinalis L.). مجله پژوهش های زراعی ایران، ۶(۲): ۲۶۳- ۲۹۶ .

۴- عابدی کوپایی، جهانگیر. اسلامیان، سعید. و امیری، محمد جواد. ۱۳۸۷. مقایسه چهار روش تخمین تبخیر- تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرولایسیمتری در منطقه اصفهان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه چمران اهواز، ۸ - ۱۰ بهمن.

۵- عامری، علی اکبر. و نصیری محلاتی، مهدی. ۱۳۸۷. اثرات سطوح مختلف نیتروژن و تراکم بر میزان تولید گل و ماده مؤثره و کارایی مصرف نور در گیاه دارویی همیشه بهار(Calendula officinalis L.). مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۸۱: ۱۴۴ - ۱۳۳.

۶- فتحعلیان، فریده.، نوری امام زاده‌ئی، محمد رضا. ۱۳۹۱. تعیین تبخیر ـ تعرق و ضریب گیاهی با استفاده از میکرولایسیمتر در شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌ها گلخانه ای،۱۲: ۱۳۳ - ۱۲۵.

۷- قمرنیا، هوشنگ. جعفری زاده، مریم. میری، الهام. و قبادی، محمد. اقبال. ۱۳۹۰. برآورد ضریب گیاهی گشنیز (Coriandrum sativum L.) در منطقه‌ای با اقلیم نیمه خشک. فصلنامه مدیریت آب و آبیاری، ۱ (۲):۸۳ - ۷۳.

8- Allen, R.G., Clemmens, A.J., Burt, C.M., Solomon, K. and T. O'Halloran. 2005. Prediction accuracy for projectwide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineer, 131: 24-36.

9- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage, Paper N.56, Rome.

10- Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat, A.M. and G. Hoogenboom. 2011. Evaluation of reference evapotranspiration models for a semiarid environment using lysimeter measurements. Journal of Agriculture Science Technology, 13:223-237.

11- Benli, B., Kodal, S., Ilbeyi, A. and H. Ustun. 2006. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. Agricultural Water Management, 81: 358–370.

12- Ghamarnia, H., Miri, E. and M. Ghobadei. 2014. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (Nigella sativa L.) in a semi-arid climate. Irrigation Science, 32: 67–76.

13- Miranda, F.R., Gondim, R.S. and C.A.G. Costa. 2006. Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (Capsicum frutescens L.). Agricultural Water Management, 82: 237–246.

14- Wegehenkel, M and H.H. Gerke. 2013. Comparison of real evapotranspiration measured by weighing lysimeters with simulations based on the Penman formula and a crop growth model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 61(2): 161-172.

Irrigation Sciences and Engineering Vol.40, No. 3, Fall 2017, p. 109-121

EXTENDED ABSTRACT

An Estimation of Actual Evapotranspiration and Single and Dual Crop Coefficients for Calendula officinalis L. (Case Study: Kerman)

F. Hasheminasab[1*], M. Mousavi-Baygi[2] and B. Bakhtiari[3]

1*- Corresponding Author, Ph.D. Educated of Agrometeorology, Department of Water Engineering., Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. *Farideh_Hasheminasab@yahoo.com*
2- Professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3- Assistant professor of Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar university of Kerman, Iran.

Received:5 January 2016 Accepted:12 July 2016

Keywords: Evapotranspiration, Crop Coefficients, Calendula officinalis L., Lysimeter.

Introduction

To date, Calendula Officinalis L. applications have been expanded as a decorative and medical plant, in horticulture, green spaces, pharmaceuticals, and cosmetics industry. Calendula officinalis L. can be broadly applicable as an antiseptic and anti-inflammatory as well as a light antibacterial and antiviral agent. Being native to Mediterranean countries, water requirement and crop coefficient (K_c) pertaining to Calendula officinalis L. in arid regions need more evaluations. To know about the water requirement of crops is necessary to manage agricultural water and irrigation scheduling in hydrological studies and field management. This is closely related to the exact estimation of crop evapotranspiration (ET_c) which depends on crop characteristics, development stage, weather parameters, environmental status, and management practices.

Miranda et al. (2006) used weighing lysimeter for measuring tabasco pepper daily evapotranspiration and crop coefficient. Their results showed total ET_c observed during the 300-day crop season was 888 mm, with maximum daily value of 5.6 mmd^{-1}. Ghamarnia et al. (2014) used drainage lysimeters to estimate K_c of black cumin in semi-arid regions of Iran. In their research, the black cumin water requirement of 724 mm was estimated using water balance method. Bakhtiari et al. (2011) recorded hourly data from Grass reference evapotranspiration in three periods in a year using lysimeter in the semi-arid climate of Kerman Province. Lysimetric data can be used to estimate six grass evapotranspiration models, including; FAO-56 Penman–Monteith, Penman-Kimberly 1996, FAO-24 Blaney-Criddle, FAO-24 Radiation, Makkink, and Hargreaves-Samani. In all three periods, the Makkink method indicated poor performance; hence, it cannot be recommended for this region.

Crop coefficients were calculated for many plants except medicinal plants during the growing season. The results were reported by FAO in the table below. According to the studies mentioned above, the crop coefficient and crop evapotranspiration were calculated for medical plants. In Iran, due to the great use of medicinal plants as a food additive or medicine, calculating the crop coefficient and evapotranspiration for medical plants is inevitable. Low rainfall in arid and semi-arid climate regions of Iran, makes it necessary to calculate the evapotranspiration, in order to determine the amount of water required for the cultivation region of medicinal plants.

Methodology

The setting of this study is Kerman province (Latitude 30°24'19.3"N, Longitude 57°04'11.5"E, Elevation 1753.8 m above sea level), in Southeast of Iran. The area is classified as an arid climate

with the minimum annual temperature of 7.6° C, the maximum annual temperature of 25.5° C, and annual precipitation of 152.3 mm. The Calendula officinalis evapotranspiration (ETc) was determined on daily basis, using five drainable lysimeter with a surface area of 1.55 m2 and a depth of 60 cm. The lysimeters were made of PE with the internal diameter of 75 cm and depth of 60 cm. The bottoms of lysimeters were inclined toward the center to extract the extra drainable water. A PE pipe with the suitable slope of 75 mm diameter was placed at the bottom of each lysimeter to move the drained water out into a container, and the extra water was extracted from the lysimeters by a graded container. At the bottom of each lysimeter, 15-cm of silica gravel and 45-cm of sand were placed. In this study, five lysimeters were planted by Calendula officinalis L. and the last lysimeter was planted by grass. Crop ET and ET_o was calculated daily by using the following soil water balance equation. Moreover, reference evapotranspiration (ET_o) has been calculated using Penman-Monteith method, and was compared with the ET_o obtained from the lysimeter.

Based on the findings of this study, as the crop develops, the ground surface, the length of the crop, and the leaf surface changes. Due to differences in evapotranspiration during different stages of growth, the K_c for a given crop will vary over the growth period. The growing period can be divided into four distinct growth stages: initial, crop development, mid-season, and late season. In this study, the initial stage was from seedling until the plant reaches up to 10 % of its growth. The development stage was from 10 % of growing period to the flowering phase, the middle period was from flowering phase to yielding phase, and finally late stage was from yielding until harvesting period.

Results and Discussionn

The Calendula officinalis L. obtained evapotranspiration from lysimeter was 335.5 and 1043.3 mm for the 2014 and 2015 seasons; also the reference evapotranspiration obtained from lysimeter and Penman-Monteith method was 769.7, and 746.7 mm for the 2014 season and 1767.8 ,and 1424.8 mm for the 2015 season. In this study the values of single crop coefficients for different Calendula officinalis L. initial, middle, and end stages were determined as 0.75, 1.612, and 0.855 for the 2014 season and 0.84, 1.574, and 1.083 for the 2015 season respectively and the estimated Calendula officinalis L. dual crop coefficients in different growth stages were 1.238, 1.549, and 0.905 for the 2014 season and 1.226, 1.606, and 1.098 for the 2015 season.

Table (1)illustrates the changes in crop evapotranspiration during the growth period. It shows a rise in crop evapotranspiration rate from the beginning of the cultivation period until the middle of the growth period, followed by a fall in crop evapotranspiration rate afterward.

The actual daily crop coefficients for Calendula officinal was obtained from lysimetric collected data during the growth period as shown in Fig.1. As shown in Fig.2, basal crop coefficient the highest values was obtained with the gradual increase in the middle of the growth stage. However, transpiration values decreased during late growing stage. Soil evaporation in the initial stage, the greatest amount of growth over the entire period of growth, while during the plant growth it gradually decreased to the lowest values, were obtained at the end stage.

Table 1- The average Calendula officinalis Monthly ET_c

Growth season	Month	Lysimeter 1	Lysimeter 2	Lysimeter 3	Lysimeter 4	Lysimeter 5
2014	Sept	5.91	6.26	6.25	6.49	5.80
	Oct	9.81	9.53	9.96	10.07	8.95
	Nov	6.13	6.13	5.91	6.04	6.23
	Des	3.51	2.90	3.51	3.68	3.33
2015	Apr	5.65	5.74	5.70	5.56	5.65
	May	12.55	12.26	13.05	12.77	11.93
	June	19.14	18.96	18.02	19.61	19.41
	Jul	25.43	25.78	25.63	25.37	25.38
	Aug	12.79	13.26	14.50	14.11	12.20

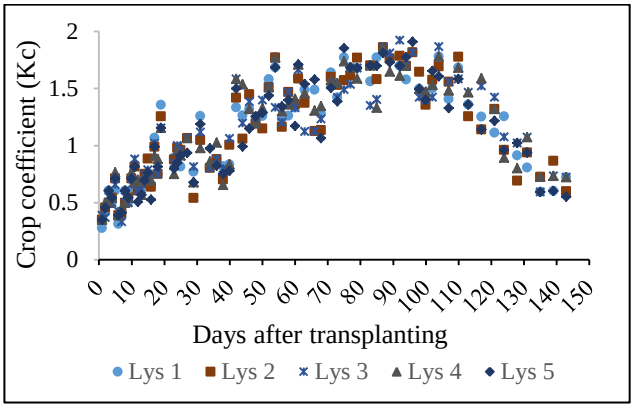


Figure 1- daily single Crop Coefficient curve for Calendula officinalis during different growing stages (2015) (Lysimeter shown by: Lys 1, Lys 2, Lys 3, Lys 4, and Lys 5)

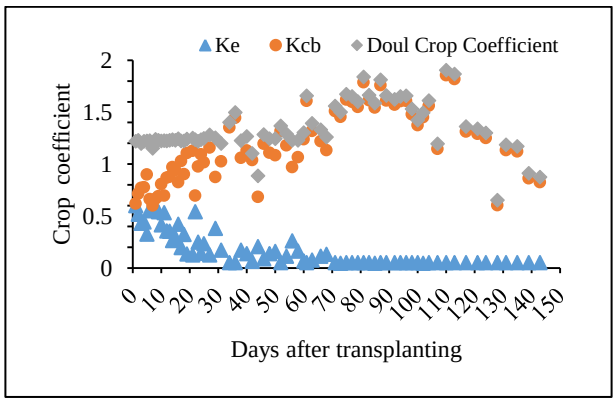


Figure 2- Daily basal Crop Coefficient curve for Calendula officinalis during different growing stages (2015)

Conclusions

In this study, Calendula officinalis L. crop coefficients and crop evapotranspiration were examined under an arid climate by lysimeters during the growth period. The estimated values including evapotranspiration, crop coefficient of Calendula officinalis L. for arid climate region had not been studied in previous papers. The introduced values will be useful estimations of Calendula Officinalis L. crop coefficients in different growth stages; that is to say, irrigation management, and crop water requirements in semi-arid regions throughout the world.

References

1- Allen, R.G., Pereira L.S., Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage, Paper N.56, Rome

2- Bakhtiari, B., Ghahreman, N., Liaghat, A.M. and G. Hoogenboom. 2011. Evaluation of reference evapotranspiration models for a semiarid environment using lysimeter measurements. Journal of Agriculture Science Technology, 13:223-237.

3- Ghamarnia, H., Miri, E. and M. Ghobadei. 2014. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (Nigella sativa L.) in a semi-arid climate. Irrigation Science, 32: 67–76.

4- Miranda, F.R., Gondim, R.S. and C.A.G. Costa. 2006. Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (Capsicum frutescens L.). Agricultural Water Management, 82: 237–246.