مجله هواشناسی کشاورزی
جلد ۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲، ص. ۱۳-۱

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 1, No. 1, Spring & Summer. 2013, p. 1-13

تعیین ضریب گیاهی یگانه، دوگانه و تبخیر- تعرق بالقوه گیاه زعفران تکامل یافته

پریسا کیخامقدم [۱]، علی اکبر کامگار حقیقی [۲*]، علیرضا سپاسخواه [۳]، شاهرخ زند پارسا [۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱۰

چکیده

مصرف بهینه آب در کشاورزی بعنوان بزرگترین بخش مصرف کننده آب ، نیازمند یک برنامه‌ریزی دقیق آبیاری می‌باشد. در حالی‌که هدف آبیاری، نگه‌داشتن شرایط مساعد رطوبتی برای گیاه است. آبیاری بایستی با تخمین آب مورد نیاز گیاه برنامه‌ریزی شود، که از طریق تبخیر- تعرق گیاه انجام می‌شود. هدف این پژوهش اندازه‌گیری و برآورد تبخیر – تعرق بالقوه و ضرایب گیاهی یگانه و دوگانه زعفران تکامل یافته در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در دشت باجگاه می‌باشد. این پژوهش در سال سوم و چهارم پس از کشت گیاه زعفران، در سه لایسیمتر بیلان آبی به عنوان سه تکرار صورت گرفت. مقدار کل تبخیر – تعرق بالقوه از لایسیمترهای کشت زعفران در سال سوم و چهارم به ترتیب ۷۲۶ و ۷۸۳ میلی متر بود. حداکثر شار تبخیر – تعرق زعفران برای سال سوم و چهارم به ترتیب ۶/۲۸ و ۶/۴۰ میلی- متر بر روز بود. مراحل رشد گیاه زعفران در طی سال‌های سوم و چهارم پس از کشت، برای مراحل اولیه، توسعه گیاه، میانی و پایانی رشد به ترتیب ۳۰، ۵۵، ۵۵ و ۶۵ روز تعیین شد. ضریب گیاهی یگانه، برای مرحله ابتدایی، مرحله میانی و انتهای مرحله پایانی رشد برای سال سوم به ترتیب ۰/۴۶، ۱/۲ و ۰/۳۵ و برای سال چهارم نیز به ترتیب ۰/۴۹، ۱/۲۵ و ۰/۳۵ و به طور میانگین برای سال سوم و چهارم ۰/۴۸، ۱/۲۳ و ۰/۳۵ برآورد شد. مقدار ضریب گیاهی پایه زعفران برای مراحل سه گانه رشد برای سال سوم به ترتیب برابر ۰/۱۵، ۰/۹ و ۰/۱۷ و در سال چهارم ۰/۱۵، ۰/۹۵ و ۰/۱۸ به دست آمدند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر – تعرق، زعفران، ضریب گیاهی یگانه، ضریب گیاهی دوگانه

مقدمه

پایه و اساس یک برنامه‌بندی آبیاری را تعیین نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد. زعفران از محصولات استراتژیک کشور ایران محسوب می‌شود لذا تعیین تبخیر – تعرق بالقوه و ضریب گیاهی زعفران دارای اهمیت زیادی می‌باشد. روش هایی که برای برآورد تبخیر – تعرق گیاهان به کار می‌روند معمولا به دو گروه اندازه‌گیری و محاسبه تقسیم‌بندی می شوند. در روش‌های اندازه‌گیری بخش کوچک و کنترل شده- ای از مزرعه را مجزا کرده و مقدار تبخیر – تعرق در یک دوره زمانی خاص اندازه‌گیری می‌شود. حال آنکه در روش-های محاسبه‌ای که از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و با استفاده از ارتباط آنها با تبخیر – تعرق و معادله‌هایی که قبلاً توسط روش‌های اندازه گیری واسنجی شده‌اند، تبخیر – تعرق پوشش گیاهی مورد نظر تخمین زده می‌شود. به بیان دقیق‌تر، در اندازه‌گیری تبخیر وتعرق با لایسیمتر بیلان آبی از اصل بیلان آب استفاده می‌شود. در اصل بیلان آب با استفاده از مقدار آبیاری انجام شده، باران باریده، اندازه‌گیری نفوذ عمقی و اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک مقدار تبخیر- تعرق واقعی گیاه به دست خواهد آمد. در این میان لایسیمتر وزنی به عنوان یکی از دقیق‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های

[۱] دانشجوی سابق کارشناسی ارشد
[۲] استاد بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز
(*نویسنده مسئول: aakamgar@shirazu.ac.ir)
[۳] استاد بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز
[۴] دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز

اندازه‌گیری مستقیم تبخیر – تعرق می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (هاول و همکاران[1]، ۱۹۸۵).

مفهوم تبخیر – تعرق گیاه مرجع، برای بررسی قدرت تبخیرکنندگی هوا صرف نظر از نوع گیاه، مرحله رشد آن و مدیریت اعمال شده، تعریف شده است. تبخیر – تعرق گیاه مرجع همان تبخیر – تعرق بالقوه (ET_o) برای یک پوشش گیاهی ویژه (معمولاً چمن یا یونجه) می‌باشد. بنابراین ET_o نیز یک پارامتر آب و هوایی بوده و از داده‌های هواشناسی قابل محاسبه می‌باشد (آلن و همکاران[2]، ۱۹۹۸). در روش‌هایی که برآورد تبخیر- تعرق سطوح پوشش گیاهی، توسط تبخیر – تعرق گیاه مرجع مد نظر است، لازم است مقادیر تبخیر – تعرق گیاه مرجع به دست آمده را در ضریب گیاهی مربوطه ضرب نمود:

$$ET_c = K_c \times ET_o \qquad (۱)$$

که در آن K_c ضریب گیاهی می‌باشد. ضریب گیاهی (K_c) فاکتوری است که به صورت نسبت تبخیر – تعرق بالقوه گیاه (ET_c) به تبخیر – تعرق گیاه مرجع (ET_o) تعریف می‌شود. این ضریب به عواملی چند همچون نوع گیاه، مرحله رشد گیاه، شرایط آب و هوایی، خاک، پوشش گیاهی، و روش آبیاری بستگی دارد و مقدار آن در طول دوره رشد گیاه تغیر می‌کند.

پژوهشی در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز واقع در منطقه باجگاه توسط یرمی و همکاران (۲۰۱۲) صورت گرفت که در آن سه لایسیمتر بیلان آبی برای دو سال اول کشت گیاه زعفران مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که تبخیر – تعرق گیاه زعفران در سال اول و دوم کشت به ترتیب برابر ۵۲۳ و ۶۴۰ میلی متر بود. حداکثر شدت تبخیر – تعرق بالقوه زعفران برای سال اول و دوم دوره رشد به ترتیب برابر ۴/۵ و ۶/۱ میلی متر بر روز بود. همین طور ضریب گیاهی (K_c) برای مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای دوره رشد به ترتیب بین ۰/۴۵-۰/۱۴، ۱/۰۵-۰/۹۳ و ۰/۳۱-۰/۲۹ بود. در این پژوهش نشان داده شد که تبخیر- تعرق زعفران در سال‌های مختلف به علت تکامل گیاه، افزایش یافته است.

در پژوهش سپاسخواه و اندام[3] (۲۰۰۱) تبخیر – تعرق، تعرق، ضریب گیاهی و سایر پارامترهای مورد نیاز در مدیریت آبیاری مزرعه کنجد را توسط لایسیمترهای بیلان آبی در منطقه باجگاه تعیین کردند. نتایج نشان داد که سهم تبخیر (E) و تعرق (T) در ET_c به ترتیب ۴۵ و ۵۵ درصد بوده است. افزایش $\frac{E}{ET_c}$ به دلیل زیاد بودن فاصله بین ردیف‌های کنجد بوده که باعث افزایش تبخیر از سطح خاک حتی در زمان حداکثر شاخص سطح برگ (LAI)گردیده و این امر نسبت $\frac{T}{ET_c}$ را کاهش داده است.

در مروری که برروی گیاه زعفران توسط سپاسخواه و کامگار حقیقی (۲۰۰۹) صورت گرفت نشان داده شد که گیاه زعفران در ایران در نواحی بیابانی و نیمه بیابانی در اواخر پائیز، زمستان و بهار رشد می‌کند، اگر در پائیز قبل از دوران گل دهی بارش باران به تاخیر افتاد، گیاه زعفران به حدود ۱۰۰میلی متر آبیاری نیاز دارد.

عزیزی‌زهان و همکاران (۲۰۰۸) ضریب گیاهی و ضریب تشت را برای زعفران در مزرعه در سال اول و دوم کشت در منطقه فارس به دست آورند. در این پژوهش برای سال اول و دوم ET_c به ترتیب برابر ۴۸۶ و ۶۷۰ میلی‌متر تعیین شد. K_c نیز برای مرحله ابتدایی، مرحله میانی و مرحله پایانی برای سال اول به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۹۴ و ۰/۶۸ و برای سال دوم به ترتیب ۰/۲۴، ۱/۰۵ و ۰/۷۸ به دست آمد. به دلیل افزایش تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی زعفران با سن گیاه، تبخیر- تعرق زعفران در سال‌های تکاملی رشد نیز بایستی تعیین شود. در پژوهشی که توسط سپاسخواه و همکاران (۲۰۰۸) صورت گرفت نشان داده شد که دوره تکامل زعفران ۴ تا ۵ سال می‌باشد. این پژوهش در ادامه تحقیق یرمی و همکاران (۲۰۱۲) جهت تعیین ضریب گیاهی یگانه، دوگانه و تبخیر- تعرق بالقوه گیاه زعفران برای سال سوم و چهارم پس از کشت گیاه زعفران در منطقه باجگاه می‌باشد.

[1] Howell et al.
[2] Allen et al.
[3] Sepaskhah and Andam.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل آزمایش

این تحقیق، در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در دشت باجگاه و در طی سال‌های زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ انجام گردید. عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع منطقه از سطح دریا به ترتیب ´۴۶ °۲۹، ´۳۸ °۵۲ و ۱۸۱۰ متر می‌باشد. آب و هوای ناحیه مورد مطالعه نیمه خشک با تابستان‌های گرم می‌باشد(مالک، ۱۳۶۰).

سه لایسیمتر زهکش‌دار غیر وزنی با قطر ۱/۵ متر و عمق ۱/۷ متر در مجاورت ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی شیراز مورد استفاده قرار گرفت. لوله‌های زیر زمینی متصل شده به کف لایسیمترها آب اضافی را به داخل مخزنی که در اتاقک زیر زمینی لایسیمترها قرار دارد، زهکشی می‌کنند. شیب کف لایسیمترها تقریبا ٪۶/۷ است و به منظور سهولت در زهکشی آب اضافی ، یک لایه سنگریزه‌ای به ضخامت ۱۵ سانتی متر و یک لایه شنی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در کف لایسیمترها ریخته شده است. فاصله بین هر دو لایسیمتر مجاور تقریبا ۱/۵ متر است. با توجه به اینکه لایسیمترها از خاکی کاملا مشابه از زمین‌های اطراف آنها پر شده اند لذا بافت خاک لایسیمترها با نمونه برداری از خاک مجاور آنها به روش هیدرومتری تعیین گردید. همچنین چگالی ظاهری با تهیه نمونه‌های دست نخورده از عمق‌های مختلف تعیین شد و رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از سلول فشاری تعیین گردید. مقادیر اندازه‌گیری شده برخی مشخصات فیزیکی خاک لایسیمترها در جدول ۱ آورده شده است.

دوران رشد گیاه زعفران تقریبا از اوایل آبان تا اواخر اردیبهشت ماه می‌باشد. در تاریخ ۱۵ شهریور ۱۳۸۵ پداژه‌های زعفران در این لایسیمترها در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از هم کشت شد. فاصله پداژه‌ها روی هر ردیف ۲ سانتی متر از هم بود. بطور متوسط تراکم کشت پداژه‌ها ۶ تن در هکتار بود. مساحتی حدود ۱۵۰ متر مربع در اطراف لایسیمترها نیز به کرت‌هایی تقسیم شده و پداژه‌ها در ردیف هایی به فاصله حدود ۵۰ سانتی‌مترکشت شده است. پداژه‌ها در اعماق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر کاشته شدند. قبل از اولین آبیاری ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل نیز به خاک اضافه گردید (یرمی، ۱۳۸۷). این تحقیق در سال سوم و چهارم پس از کاشت صورت گرفت. کنترل علف‌های هرز در لایسیمترها و زمین مجاور آنها به صورت وجین دستی در چندین مرحله مختلف در طول سال‌های زراعی انجام تحقیق صورت گرفت. رطوبت خاک تا عمق ۱۰۵ سانتی‌متری بوسیله نوترون‌متری که قبلا برای این منطقه واسنجی شده است، تعیین شد. لایسیمتر و مزرعه اطراف آن به روش کرتی آبیاری شد. برای آبیاری از کنتور حجمی که در انتهای شیلنگ نصب شده بود استفاده گردید. زمان آبیاری‌ها تقریبا هر ۲۴ روز یک بار بود (در صورت عدم بارندگی). مقدار کل بارندگی در مرحله رشد زعفران برای سال سوم و چهارم به ترتیب ۱۸۷/۵ و ۲۹۰ میلی‌متر بود.

اولین آبیاری برای سال سوم و چهارم پس از کشت به ترتیب در ۴ و ۶ آبان ماه صورت گرفت. پس از گذشت چند روز از اولین آبیاری، گل‌های زعفران سر از خاک بر آورد. تقریبا هر روز گل‌ها برداشت و شمرده شدند.

تبخیر – تعرق بالقوه زعفران (ET_c)

برای اندازه‌گیری تبخیر – تعرق بالقوه گیاه زعفران، رطوبت خاک در حدی نگه‌داشته شد تا تنشی به گیاه وارد نشود. تبخیر- تعرق بالقوه گیاه زعفران با استفاده از بیلان آب خاک و از طریق معادله زیر محاسبه شد:

$$ET_c = I + R - D \pm \Delta S \qquad (۲)$$

که در آن: ET_c تبخیر- تعرق بالقوه گیاه زعفران در فاصله اندازه‌گیری آب خاک در لایسیمتر (MM)، I مقدار آب آبیاری(MM)، R ارتفاع بارندگی (MM)، D مقدار آب زهکشی (MM) و ΔS تغییرات رطوبت خاک در عمق لایسیمتر است (MM). حجم آب زهکش یا آب اضافی از منطقه ریشه لایسیمترها بطور هفتگی یا در صورت وقوع بارندگی بعد از خاتمه نفوذ عمقی، اندازه‌گیری شد.

جدول ۱-برخی از ویژگی های فیزیکی خاک لایسیمترها

عمق	بافت	مقدار رطوبت وزنی خاک٪		چگالی ظاهری
Cm		ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی دائم	$G\ CM^{-3}$
۰-۳۰	*CLAY LOAM*	۲۳/۴	۱۳/۳	۱/۳۸
۳۰-۶۰	*SILTY CLAY LOAM*	۲۲/۲	۱۴/۴	۱/۵۱
۶۰-۱۲۰	*SILTY CLAY*	۲۳/۵	۱۴/۹	۱/۵۹

محاسبه تبخیر از سطح خاک *(E)*

در این پژوهش تبخیر از سطح خاک بوسیله میکرولایسیمترهایی که در وسط دو ردیف گیاه، در هر لایسیمتر نصب شده بود اندازه‌گیری شد. میکرولایسیمترهای استفاده شده از جنس لوله PVC با قطر داخلی ۰/۱ متر و ارتفاع ۰/۳ متر هستند و در کف آنها یک صفحه متخلخل PVC قرار داشت. هنگامیکه این میکرولایسیمترها در درون خاک قرار گرفتند، لبه آنها حدود یک سانتی‌متر از سطح خاک بالاتر بود و نیز خاک درون میکرولایسیمترها نیز حدود ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر زیر لبه قرار گرفت. میکرولایسیمترها با خاک مشابه داخل لایسیمترها پر شدند. هر هفته ۱ یا ۲ بار میکرولایسیمترها توزین شده و اختلاف وزن آن‌ها بر سطح مقطع آنها تقسیم شده و ارتفاع تبخیر در آن بازه زمانی بدست آمد.

محاسبه تبخیر – تعرق گیاه مرجع *(ET_o)*

بر اساس تحقیقات پیشین بهترین روش برای محاسبه تبخیر – تعرق گیاه مرجع در منطقه باجگاه استفاده از معادله پنمن – فائو می‌باشد (سپاسخواه و فولادمند، ۲۰۰۴). لذا در این پژوهش نیز از این روش استفاده شد. اطلاعات هواشناسی از ایستگاه هواشناسی مجاور بدست آمد. رابطه کلی محاسبه تبخیر – تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن – فائو به صورت زیر می‌باشد (دور نبوس و پرویت، ۱۹۷۷):

$$ET_o = C\times\left[0.408\times W\times R_n + (1-W)F_u(e_a - e_d)\right] \quad (۳)$$

که در آن، ET_o تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع (mmd^{-1})، W ضریب مربوط به درجه حرارت، $\boldsymbol{R}_n$ تابش خالص دریافتی در سطح گیاه ($MJ\ D^{-1}\ m^{-2}$)، F_u تابع مربوط به سرعت باد، $e_a - e_d$ اختلاف بین فشار بخار اشباع و فشار بخار واقع (میلیبار) و C ضریب اصلاحی با توجه به عوامل جوی، با داشتن سرعت باد، تابش ورودی خورشید با طول موج کوتاه و رطوبت نسبی حداکثر به دست می‌آید.

محاسبه ضریب گیاهی(K_c)

در نشریه ۵۶ سازمان خواربار جهانی[1] دو روش برای محاسبه ضریب گیاهی پیشنهاد شده است، روش ضریب گیاهی یگانه[2] (۱۹۹۸,آلن و همکاران) و روش ضریب گیاهی دوگانه[3]. در روش دوم، اجزای تبخیر- تعرق از یکدیگر مجزا شده و ضریب گیاهی (K_c) به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول آن ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) است، که نشان دهنده تعرق گیاه و بخش دوم ضریب تبخیر (K_e) که بیانگر تبخیر از سطح خاک است. در این روش تبخیر – تعرق پوشش گیاهی (ET_c) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e)ET_o \quad (۴)$$

که در آن ET_c تبخیر- تعرق پوشش گیاهی، K_{cb} ضریب گیاهی پایه، K_e ضریب تبخیر و ET_o تبخیر – تعرق گیاه مرجع می‌باشد. در نشریه شماره ۵۶ سازمان خوارو بار جهانی روش‌های تعیین ضریب گیاهی بیان شده است.

در روش ضریب گیاهی یگانه، تاثیر تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک با یکدیگر در ضریب واحدی به صورت K_c ترکیب شده است. در روش دوگانه، تاثیر تعرق گیاه و تبخیر از سطح

[1] Allen et al., FAO.
[2] Single Crop Coefficient.
[3] Dual Crop Coefficient.

خاک به طور مجزا تعیین شده است، لذا دو ضریب جداگانه تعریف می‌شود:

ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) که بیان کننده نسبت ET_c به ET_o تحت شرایطی است که لایه سطحی خاک خشک باشد، اما رطوبت خاک در منطقه ریشه برای تعرق بالقوه گیاه کافی می‌باشد. ضریب تبخیر از خاک (K_e) که تبخیر در نتیجه خیس شدن سطح خاک به وسیله بارندگی یا آبیاری را نشان می‌دهد.

از تفاوت بین ET_c و E، تعرق گیاه محاسبه شد. KC نیز از نسبت ET_c به ET_o به دست آمد. همچنین ضریب تبخیر و ضریب گیاهی پایه (K_{cb}, K_e) به ترتیب از نسبت E و T به ET_o محاسبه شدند.

یافته‌ها و بحث

تبخیر – تعرق بالقوه گیاه زعفران (ET_c)

مقدار تبخیر – تعرق بالقوه زعفران (ET_c) از رابطه بیلان آب خاک برای هر لایسیمتر جداگانه محاسبه شد. نتایج برای سال سوم و چهارم در جدول ۲ نشان داده شده است. مقدار کل تبخیر – تعرق برای سال سوم و چهارم رشد به ترتیب برابر ۷۲۶ و ۷۸۳ میلی متر می‌باشد که این مقدار در سال چهارم نسبت به سال سوم حدود ٪۸ افزایش یافته است. علت این افزایش، ازدیاد پداژه‌های زعفران در هر سال نسبت به سال قبل و در نتیجه افزایش پوشش گیاهی می‌باشد. برای سال اول و دوم کشت گیاه زعفران نیز نتایج مشابهی گزارش شد (یرمی و همکاران، ۲۰۱۲)

شدت تبخیر – تعرق بالقوه زعفران (ET_c)

شدت تبخیر – تعرق زعفران در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ابتدای مرحله اولیه که پوشش گیاهی کم است، این مقدار کوچک می‌باشد. در این دوران که مصادف با دوران گلدهی گیاه است نیاز آبی گیاه کم می‌باشد. اما بعد از گذشت حدود ۸۰ روز بعد از شروع گلدهی بر تعداد و همچنین طول و سطح برگ‌ها افزوده می‌شود و شدت تبخیر – تعرق نیز به تبع آن افزایش می‌یابد. شدت تبخیر – تعرق بالقوه تا ۳۰ روز بعد از اولین آبیاری و شروع رشد گیاه بین ۱ تا ۲ میلی متر در روز بوده و پس از آن شدت تبخیر -تعرق روند افزایشی داشته است. بطوریکه، حداکثر آن (۶/۲۸ میلی متر بر روز) حدودا ۱۳۶ تا ۱۴۰ روز بعد از اولین آبیاری اتفاق افتاده است که زمان آن دهه سوم اسفند ماه بود. بعد از آن به تدریج تبخیر – تعرق روند کاهشی داشته است. در مرحله میانی رشد یعنی حدود ۱۳۶ تا ۱۷۶ روز بعد از اولین آبیاری، گیاه حداکثر شدت تبخیر – تعرق ۶/۴۰ میلی متر بر روز بود، و پس از آن مجددا با روند کاهشی آن در ۲۰۱ روز بعد از اولین آبیاری به ۲/۶۶ میلیمتر بر روز رسید. مشاهده می‌شود که در فصل زمستان با وجود پایین بودن دمای هوا، شدت تبخیر – تعرق گیاه زعفران بالا است. نتایج مقایسه این پژوهش با پژوهش یرمی و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهد که در ۴ سال اول رشد گیاه زعفران، در هر سال نسبت به سال پیش، مقدار تبخیر - تعرق افزایش پیدا کرده است. علت آن ازدیاد پداژه‌ها به صورت چشمگیر در سال دوم نسبت به سال اول و به نسبت کمتری در دوره‌های رشد میانی و پایانی و در نتیجه توسعه پوشش گیاه بوده است.

شدت تبخیر از سطح خاک

تغییرات شدت تبخیر از سطح خاک در دو سال آزمایش در دوره‌های زمانی اندازه‌گیری شده در شکل ۱ ارائه شده است. بطور کلی مقدار و شدت تبخیر از سطح خاک در طی فصل رشد زعفران بالا بوده است. شکل ۱ متوسط شدت تبخیر در فواصل زمانی مختلف بعد از اولین آبیاری در دو سال را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در دوره رشد میانی، شدت تبخیر از سطح خاک در بعضی از روزها نسبت به دوره پایانی بیشتر بوده است. در بازه ۵۰ تا ۱۲۵ روز بعد از اولین آبیاری، در اثر یخبندان سطح خاک یخ زده است و شدت تبخیر از سطح خاک کمتر شده است که این کاهش در سال چهارم بیشتر بوده است. کل مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره‌های میانی و پایانی به ترتیب برابر ۳۷۶/۲۹ و ۳۵۴/۹۸ میلیمتر بوده است. به دلیل توسعه پوشش گیاهی در سال چهارم، شدت و مقدار تبخیر در مقایسه با سال سوم پایین‌تر

جدول ۲- مقدار و شدت تبخیر – تعرق بالقوه فصلی زعفران در فواصل زمانی مختلف بعد از اولین آبیاری در دو سال

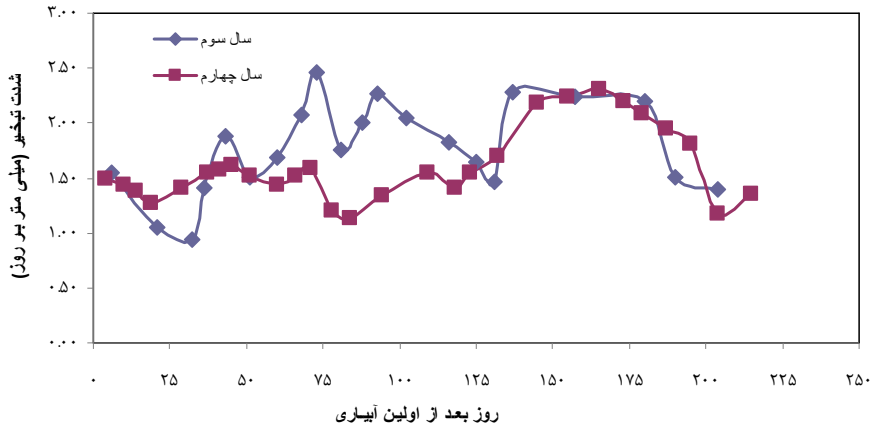
سال چهارم رشد(۲۰۱۰-۲۰۰۹)				سال سوم رشد(۲۰۰۹-۲۰۰۸)			
شدت ET_c mm d^{-1}	ET_c mm	تاریخ	روزها بعد از اولین آبیاری	شدت ET_c mm d^{-1}	ET_c mm	تاریخ	روزها بعد از اولین آبیاری
		۲۰۰۹/۱۰/۲۶-				۲۰۰۸/۱۰/۲۷-	
۱/۷۵	۴۵/۵۰	۱۱/۲۰	۱-۲۶	۱/۷۳	۲۰/۷۲	۱۱/۷	۱۰-۱۲
۱/۷۵	۱۷/۵۰	۱۱/۲۱-۱۱/۳۰	۲۶-۳۶	۱/۶۱	۲۹/۰۴	۱۱/۸-۱۱/۲۵	۱۲-۳۰
۲/۲۹	۱۳/۷۲	۱۲/۱-۱۲/۶	۳۶-۴۲	۲/۲۰	۵۵/۰۰	۱۱/۲۶-۱۲/۲۰	۳۰-۵۵
						۱۲/۲۱-	
۲/۲۳	۳۱/۱۷	۱۲/۷-۱۲/۲۰	۴۲-۵۶	۲/۶۳	۴۲/۰۳	۲۰۰۹/۱/۴	۵۵-۷۱
۲/۷۲	۲۷/۱۷	۱۲/۲۱-۱۲/۳۰	۵۶-۶۶	۲/۸۸	۲۰/۱۸	۱/۵-۱/۱۱	۷۱-۷۸
۲/۹۱	۲۶/۱۶	۱۲/۳۱-۲۰۱۰/۱/۸	۶۶-۷۵	۳/۱۷	۴۷/۵۰	۱/۱۲-۱/۲۶	۷۸-۹۳
۳/۰۹	۳۷/۱۲	۱/۹-۱/۱۶	۷۵-۸۷	۴/۱۶	۷۴/۹۴	۱/۲۷-۲/۱۳	۹۳-۱۱۱
۳/۵۹	۶۴/۶۲	۱/۱۷-۲/۷	۸۷-۱۰۵	۵/۰۲	۵۰/۲۳	۲/۱۴-۲/۲۳	۱۱۱-۱۲۱
۴/۹۵	۶۴/۶۰	۲/۸-۲/۱۹	۱۰۵-۱۱۷	۶/۲۳	۹۳/۵۰	۲/۲۴-۳/۱۰	۱۲۱-۱۳۶
۵/۷۵	۲۶/۵۸	۲/۲۰-۲/۲۴	۱۱۷-۱۲۲	۶/۲۸	۳۱/۴۲	۳/۱۱-۳/۱۵	۱۳۶-۱۴۱
۶/۰۵	۲۴/۲۰	۲/۲۵-۲/۲۸	۱۲۲-۱۲۶	۵/۰۳	۱۱۰/۰۰	۳/۱۶-۴/۶	۱۴۱-۱۶۳
۶/۴۰	۹۶/۰۵	۳/۱-۳/۱۵	۱۲۶-۱۴۱	۴/۲۰	۵۴/۶۰	۴/۷-۴/۱۹	۱۶۳-۱۷۶
۶/۱۰	۶۱/۰۳	۳/۱۶-۳/۲۵	۱۴۱-۱۵۱	۲/۷۵	۵۷/۶۸	۴/۲۰-۵/۱۰	۱۷۶-۱۹۷
۵/۲۰	۵۷/۱۶	۳/۲۶-۴/۵	۱۵۱-۱۶۲	۲/۶۲	۳۹/۳۵	۵/۱۱-۵/۲۶	۱۹۷-۲۱۲
۴/۴۶	۶۲/۴۴	۴/۶-۴/۱۹	۱۶۲-۱۷۶				
۳/۹۰	۳۱/۱۷	۴/۲۰-۴/۲۷	۱۷۶-۱۸۴				
۲/۷۱	۲۱/۶۵	۴/۲۸-۵/۵	۱۸۴-۱۹۲				
۲/۶۸	۲۴/۱۵	۵/۶-۵/۱۴	۱۹۲-۲۰۱				
۲/۶۶	۳۲/۹۱	۵/۱۵-۵/۲۳	۲۰۱-۲۱۰				
۲/۷۵	۲۷/۵۰	۵/۲۴-۶/۲	۲۱۰-۲۲۰				
	۷۸۳/۴۲		(مجموع)		۷۲۶/۱۹		(مجموع)

بوده است. همچنین در سال سوم نسبت به سال چهارم پداژه ها تنک‌تر و پوشش برگ‌ها نیز کمتر بوده است. برای سال اول و دوم پس از کشت گیاه زعفران نیز نتایج مشابهی مشاهده شد (یرمی و همکاران،۲۰۱۲). جدول ۳ نشان می‌دهد که در هر دو سال در ابتدای رشد گیاه که پوشش کامل نبوده و سطح خاک لخت بوده است، میزان تبخیر از سطح خاک بالا می‌باشد، اما به تدریج با افزایش پوشش گیاهی این نسبت کاهش یافته است، بطوریکه با کامل شدن پوشش گیاه در اسفند ماه کمترین مقدار را داشته است. در اواخر دوره رشد زعفران یعنی از اواخر فروردین و اوایل اردیبهشت ماه به بعد نیز با زرد شدن برگ‌ها شدت تبخیر از خاک و سهم تبخیر از کل مقدار تبخیر – تعرق افزایش یافته است. میانگین نسبت تبخیر به تبخیر – تعرق بالقوه گیاه در دو فصل رشد زعفران به ترتیب به ۵۷ و ۵۲ درصد محاسبه شد. برای سال‌های اول و دوم رشد، میانگین $\frac{E}{ET_c}$ در سال اول و دوم دوره رشد به ترتیب ۶۶ و ۵۶ درصد گزارش شده است (یرمی، ۱۳۸۷). قابل توجه است که دمای آستانه گیاه زعفران سه درجه سانتی‌گراد می‌باشد(یرمی، ۱۳۸۷)، با توجه به این مهم، اگر چه دوره رشد زعفران بیشتر در ماه‌های سرد سال با مقدار تبخیر پایین اتفاق می‌افتد، ولی با توجه به اینکه پوشش گیاهی برگ‌های زعفران آن چنان متراکم نمی‌باشند، این

مقادیر تلفات تبخیری از سطح خاک، کاملا قابل توجه می‌باشد. شکل ۲ نسبت $\frac{E}{ET_c}$ را در دو دوره رشد نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که این نسبت در سال چهارم رشد زعفران بطور قابل توجهی نسبت به سال سوم کمتر است، به‌طوری‌که این نسبت در سال سوم و چهارم کشت به ترتیب به ۶۲ و ۵۴ درصد رسید. علت این موضوع افزایش پوشش خاک توسط برگ‌ها در سال چهارم می‌باشد. بطور متوسط این نسبت در سال چهارم ۹ درصد نسبت به سال سوم کاهش داشته است.

تعرق زعفران

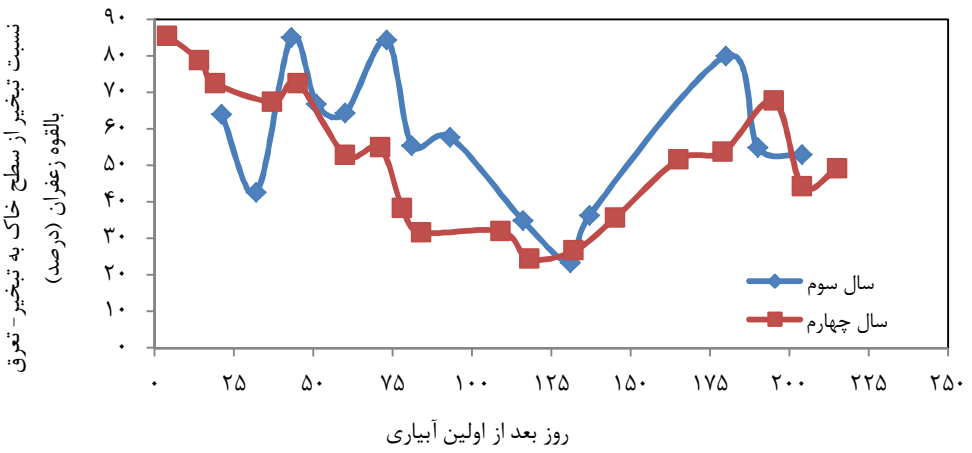
تغییرات شدت تعرق زعفران در طی دو فصل رشد در شکل ۳ نشان داده شد. مشاهده می‌گردد که شار تعرق گیاه در ابتدای فصل رشد پایین است. اولین مرحله رشد زعفران گلدهی است (بازه زمانی ۱۵ آبان تا ۱۰ آذر)، که شکل ۳ بیانگر کم بودن شدت تعرق گیاه در این مرحله از رشد در هر دو سال مورد بررسی می‌باشد. با پایان مرحله گلدهی و شدت گرفتن رشد رویشی گیاه، شدت تعرق نیز رو به افزایش گذاشته است، اما به علت سردی هوا این روند افزایشی زیاد نبوده است. حداکثر شدت تعرق در سال سوم حدودا ۴/۸ میلی‌متر بر روز که در اواسط اسفند ماه یعنی در بازه ۱۲۹ تا ۱۳۷ روز بعد از اولین آبیاری اتفاق افتاده است. حداکثر شدت تعرق در سال چهارم نیز در اواسط اسفند اتفاق افتاد و حدودا به ۴/۷ میلی متر بر روز رسید که تفاوت چندانی با سال سوم نداشته است، بنابراین حداکثر شدت تعرق در سال سوم اتفاق افتاده است. زمان کامل شدن پوشش گیاهی که همزمان با اتفاق افتادن حداکثر شدت تعرق است، تقریبا بر هم منطبق می‌باشد. در اواخر دوره رشد که برگ‌ها شروع به زرد شدن نمودند، شدت تعرق نیز روند کاهشی داشته است. حداکثر شدت تعرق در سال اول رشد حدودا ۲/۵ میلی‌متر بر روز بوده که در اواسط اسفند ماه اتفاق افتاده است. شدت تعرق در سال دوم بطور قابل توجهی بالاتر از سال اول بود که حداکثر آن به میزان ۳/۹ میلی متر بر روز در تاریخ ۶ تا ۱۹ اسفند ماه رخ داده است (یرمی، ۱۳۸۷). حداکثر شدت تعرق در سال دوم نسبت به سال اول حدود ۵۶ درصد و در سال سوم نسبت به سال دوم حدود ۲۳ درصد بیشتر بوده است.



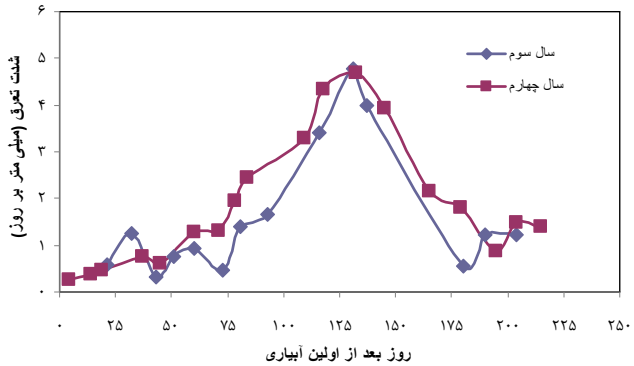
شکل ۱- شدت تبخیر از سطح خاک در زمان های مختلف بعد از اولین آبیاری در دو سال کشت (اولین آبیاری در ۴ آبان صورت گرفته است)

جدول ۳- نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر – تعرق بالقوه زعفران در دو فصل رشد زعفران

سال چهارم رشد(۲۰۱۰-۲۰۰۹)		سال سوم رشد(۲۰۰۹-۲۰۰۸)	
تاریخ	$\frac{E}{ET_C}$ %	تاریخ	$\frac{E}{ET_C}$ %
۲۰۰۹/۱۰/۲۷-۱۱/۲	۸۵/۵	۲۰۰۸/۱۱/۸-۱۱/۲۶	۶۴/۱
۱۱/۷-۱۱/۱۰	۷۸/۹	۱۱/۲۷-۱۱/۲۹	۴۲/۷
۱۱/۱۱-۱۱/۱۸	۷۲/۶	۱۲/۵-۱۲/۱۲	۵۸/۲
۱۲/۱-۱۲/۵	۶۷/۵	۱۲/۱۳-۱۲/۲۱	۶۶/۹
۱۲/۹-۱۲/۱۲	۷۲/۵	۱۲/۲۲-۱۲/۳۱	۶۴/۵
۱۲/۲۱-۱۲/۳۰	۵۲/۹	۲۰۰۹/۱/۵-۱/۱۲	۸۴/۴
۲۰۱۰/۱/۳-۱/۸	۵۴/۹	۱/۱۳-۱/۱۹	۵۵/۶
۱/۹-۱/۱۷	۳۸/۴	۱/۲۶-۱/۳۰	۵۷/۸
۱/۱۸-۱/۲۰	۳۱/۷	۲/۱۴-۲/۲۵	۵۳/۰
۲/۷-۲/۱۹	۳۲/۱	۳/۴-۳/۱۱	۲۳/۴
۲/۲۰-۲/۲۴	۲۴/۴	۳/۱۲-۳/۱۵	۳۶/۴
۳/۱-۳/۱۶	۲۶/۷	۴/۲۱-۴/۲۹	۸۰/۰
۳/۱۷-۳/۲۵	۳۵/۷	۴/۳۰-۵/۱۰	۵۵/۰
۴/۷-۴/۱۵	۵۱/۶	۵/۱۱-۵/۲۶	۵۲/۰
۴/۲۰-۴/۲۷	۵۳/۷		
۵/۶-۵/۱۴	۶۷/۷		
۵/۱۵-۵/۲۳	۴۴/۳		
۵/۲۴-۶/۲	۴۹/۲		
میانگین	**۵۲/۲**	**میانگین**	**۵۷/۴**



شکل ۲- مقایسه نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر– تعرق بالقوه زعفران در دو دوره رشد گیاه (اولین آبیاری در ۴ آبان صورت گرفته است



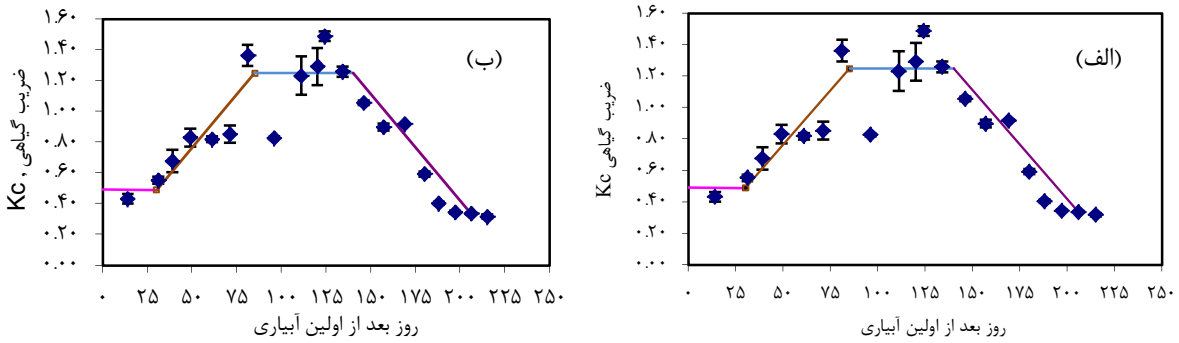
شکل ۳- شدت تعرق زعفران در بازه های زمانی مختلف بعد از اولین آبیاری در دو دوره رشد گیاه (اولین آبیاری در ۴ آبان صورت گرفته است)

ضریب گیاهی

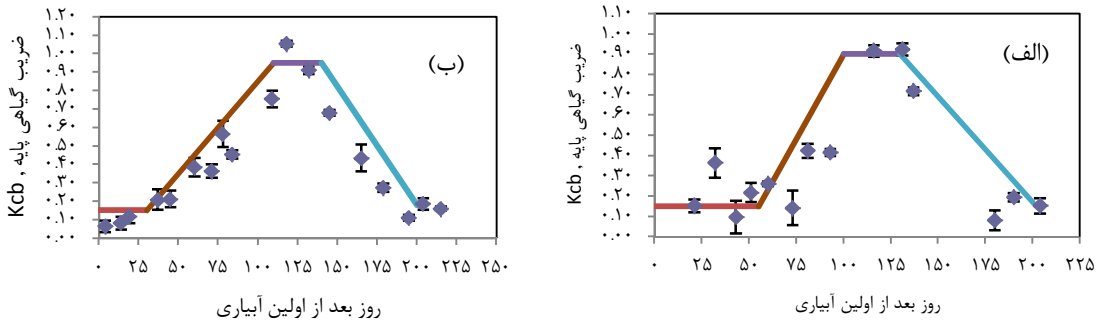
ضریب گیاهی در دوره رشد گیاه متغیر می‌باشد. تغییرات ضریب گیاهی را می‌توان بر اساس روزهای بعد از کاشت گیاه نشان داد. آلن و همکاران (۱۹۹۸) منحنی ضریب گیاهی را به صورت تابعی از مرحله رشد گیاه تعریف کردند. بر اساس ضرایب گیاهی بدست آمده در دوره رشد زعفران و نحوه تغییرات آن‌ها، در شکل ۴ مشاهده شود که، مراحل رشد زعفران به چهار مرحله تقسیم می‌شود. با توجه به روند تغییرات ضریب گیاهی در سال سوم، دوران رشد زعفران به چهار مرحله ی ۳۰، ۵۵، ۵۵ و ۶۵ روزه تقسیم شد و در سال چهارم نیز بر اساس ضرایب گیاهی بدست آمده این مراحل به چهار مرحله‌ی ۳۰، ۵۵، ۵۵ و ۶۵ روزه تعیین شدند. طبق تعریف دورنبوس و پرویت (۱۹۷۷) تغییرات ضریب گیاهی مطابق با مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای مرحله پایانی رشد زعفران در سال سوم ۰/۴۶، ۱/۲ و ۰/۳۵ و در سال چهارم این ضرایب به ترتیب ۰/۴۹، ۱/۲۵ و ۰/۳۵ بدست آمدند. یرمی و همکاران (۲۰۱۲) ضریب گیاهی در سال اول دوران رشد زعفران را به چهار مرحله‌ی ۳۰، ۴۰، ۷۰ و ۶۰ روزه و سال دوم را هم به چهار مرحله‌ی ۳۰، ۴۵، ۶۵ و ۶۰ روزه تقسیم نمودند. این ضرایب مطابق با مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای مرحله پایانی رشد برای سال اول ۰/۴۱، ۰/۹۳ و ۰/۲۹ و برای سال دوم به ترتیب و ۰/۴۵، ۱/۰۵ و ۰/۳۱ بدست آمدند. با توجه به نتایج این تحقیق و تحقیق یرمی و همکاران (یرمی و همکاران، ۲۰۱۲) مشخص می‌شود که به علت تغییرات زیاد شرایط اقلیمی مانند دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد، تابش خورشیدی و ...، که خود موثر بر تبخیر- تعرق می‌باشند، طول دوره‌های رشد ثابت نبوده و برای منظور نمودن این دوره‌ها نیاز به تحقیقات بیشتری است. مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار ضریب گیاهی همزمان با پوشش کامل گیاه اتفاق افتاده است. به نظر می‌رسد که مرحله میانی رشد زعفران فعال‌ترین دوره است و ازدیاد پداژه‌ها و حداکثر رشد برگ‌ها در این دوره اتفاق می‌افتد.

ضریب گیاهی پایه (K_{cb})

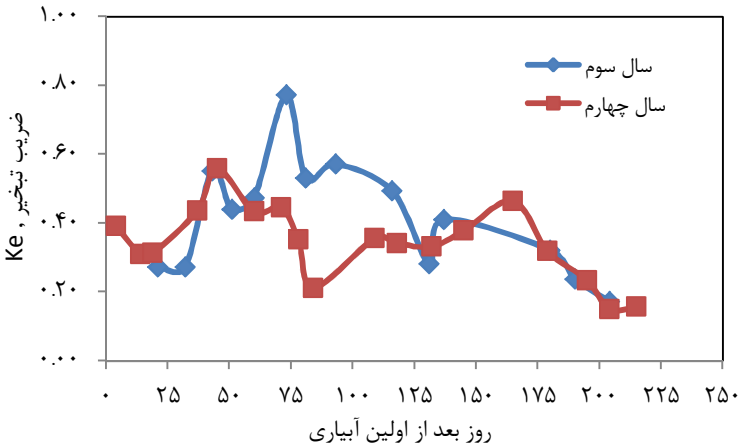
مقادیر ضریب گیاهی پایه تابعی از مراحل فنولوژیکی رشد گیاه است که در شکل ۵ نشان داده شده است. ضریب گیاهی پایه مطابق با مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای مرحله پایانی رشد زعفران در سال سوم ۰/۱۵، ۰/۹ و ۰/۱۷ و در سال چهارم این ضرایب به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۹۵ و ۰/۱۸ به دست آمدند. این ضرایب برای سال اول کشت زعفران ۰/۱۵، ۰/۴۱ و ۰/۱۵ و برای سال دوم نیز برابر ۰/۱۶، ۰/۶۴ و ۰/۱۷ به دست آمدند (یرمی و همکاران، ۲۰۱۲). مشاهده می‌شود که ضرایب گیاهی پایه به دست آمده در سال چهارم بیشتر از سال سوم، و در سال سوم بیشتر از سال دوم، و در سال دوم بیشتر از سال اول می‌باشد. در این روش نیز حداکثر ضریب گیاهی پایه هم زمان با پوشش کامل گیاه رخ داد.



شکل ۴- تغییرات ضریب گیاهی زعفران در مراحل چهارگانه ی رشد آن در دو فصل کشت (اولین آبیاری در ۴ آبان صورت گرفته است (الف: ۱۳۸۷-۱۳۸۸ ، ب: ۱۳۸۸-۱۳۸۹)



شکل ۵- تغییرات ضریب گیاهی پایه زعفران در مراحل چهارگانه در دو فصل رشد (اولین آبیاری در ۴ آبان صورت گرفته است (الف: ۱۳۸۷-۱۳۸۸ ، ب: ۱۳۸۸-۱۳۸۹)



شکل ۶- مشاهده ضریب تبخیر از سطح خاک در روزهای بعد از اولین آبیاری در دو سال کشت (اولین آبیاری در ۴ آبان صورت گرفته است)

ضریب تبخیر از سطح خاک (K_e)

نمودار تغییرات ضریب تبخیر برای دوره رشد سوم و چهارم زعفران در شکل ۶ نشان می‌دهد که عموما ضریب تبخیر از سطح خاک در دوره چهارم رشد به علت پوشش بیشتر خاک توسط گیاه، کمتر بوده است. علت آن هم طبیعت خاص گیاه زعفران می‌باشد چون گیاه دارای برگ برگ‌های باریکی می باشد و پوشش خیلی متراکمی را ایجاد می‌کند (یرمی و همکاران، ۲۰۱۲).

نتیجه گیری

در مورد گیاه زعفران مشاهده شد که در هر سال نسبت به سال قبل تبخیر – تعرق گیاه به علت افزایش پداژه‌های افزایش می‌یابد. این مقدار برای دوره رشد سوم و چهارم به ترتیب برابر ۷۲۶ و ۷۸۳ میلی متر بود. حداکثر شدت تعرق در سال سوم حدود ۴/۸ میلی‌متر بر روز بوده که در اواسط اسفند ماه یعنی در بازه زمانی ۱۲۹ تا ۱۳۷ روز بعد از اولین آبیاری اتفاق افتاده است. شدت تعرق در سال چهارم نیز در اواسط اسفند ماه اتفاق افتاد و حدودا به ۴/۷ میلی متر بر روز رسید که تفاوت چندانی با سال سوم نداشته است. علت نبود تفاوت چشمگیر در حداکثر شدت تعرق در ۲ سال مورد بررسی، نبود تفاوت قابل ملاحظه در شاخص سطح برگ و پوشش گیاهی می‌باشد. حداکثر ضریب گیاهی در سال سوم ۱/۴۳ می‌باشد که ۱۲۱ تا ۱۳۶ روز بعد از اولین آبیاری وجود داشته است. این مقدار در سال چهارم به ۱/۴۹ ، در ۱۱۷ تا ۱۲۱ روز بعد از اولین آبیاری رسیده است. ضریب گیاهی مطابق با مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای مرحله پایانی رشد زعفران در سال سوم ۰/۴۶، ۱/۲ و ۰/۳۵ و در سال چهارم این ضرایب به ترتیب ۰/۴۹، ۱/۲۵ و ۰/۳۵ به دست آمدند. تغییرات ضریب گیاهی پایه نیز به صورت تابعی از مراحل چهارگانه رشد گیاه تعیین شد. ضریب گیاهی پایه مطابق با مراحل ابتدایی، مرحله رشد میانی و انتهای مرحله پایانی رشد زعفران در سال سوم ۰/۱۵، ۰/۹ و ۰/۱۷ و در سال چهارم این ضرایب به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۹۵ و ۰/۱۸ به دست آمدند. نتایج نشان می‌دهند که تفاوت قابل ملاحظه‌ای برای ۲ سال مشاهده نشده است. حداکثر مقدار ضریب گیاهی پایه همزمان با پوشش کامل گیاه اتفاق افتاده است. بنابراین نتایج نشان می‌دهد با تراکم کشت این پژوهش، رشد زعفران در سال ۴-۳ به حداکثر خود رسیده است. اگر تراکم کشت کمتر باشد حداکثر رشد، ممکن است در سال‌های بعدی اتفاق بیافتد.

منابع

مالک، ا.، ۱۳۶۰. روش های بررسی بیلان آب و تعیین اقلیم با مثالی در مورد باجگاه، مجله علوم کشاورزی ایران، (۱۲): ۵۷-۷۲.

یرمی، ن.، ۱۳۸۷. تعیین تبخیر - تعرق بالقوه و ضریب گیاهی زعفران با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig.and Drain., 56:1- 300 pp.

Azizi-Zohan, A., Kamgar-Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R. 2008. Crop and pan coefficients for saffron in a semiarid region of Iran. J. Arid Enviorn., 72: 270-278.

Doorenbos, J., Pruitt, W. O. 1977. Crop Water Requirements. Irrig. Drain., Paper 24 FAO, Rome., 144 pp.

Howell, T. A., McCormick, R. L., Phene, C. J. 1985. Design and installation of large weighing lysimeter. Trans. ASAE., 28: 106-112.

Sepaskhah, A. R., Fooladmand, H. R. 2004. A computer model for desing of microcatchment water harvesting system for rain-fed vineyard. Agric. Water Manag., 64: 213-232.

Sepaskhah, A. R., Andam, M. 2001. Crop coefficient of sesame in a semi- arid region of I. R. Iran. Agric. Water. Manag., 49: 51-63.

Sepaskhah, A.R., Kamgar- Haghighi, A. A. 2009. Saffron Irrigation Regime. Inter. J. Plant Prod., 3 (1): 1-16.

Sepaskhah, A. R., Dehbozorgi, F., Kamgar-Haghighi, A. A. 2008. Optimal irrigation water and saffron corm planting intensity under two cultivation practices in a semi arid region. Biosyst. Eng., 101:452-462.

Yarami, N., Kamgar-Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., 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.

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 1, No. 1, Spring & Summer. 2013, p. 1-13

مجله هواشناسی کشاورزی
جلد ۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲، ص. ۱۳-۱

Determination of Single and Dual Crop Coefficients and Potential Evapotranspiration of Developed Saffron

P. Keykhamoghadam[1] – A. Kamgar Haghighi*[2] - A. Sepaskhah[2] – Sh. Zand Parsa[3]

Received: 29-1-2012
Accepted: 31-5-2013

Abstract

Agriculture as the largest water consumer for its efficient water use requires an appropriate irrigation scheduling. For an optimum irrigation the amount of potential evapotranspiration is needed. The aim of this study was to measure potential evapotranspiration and single and dual crop coefficients of saffron in the Agricultural Research farm of Shiraz University located in Bajgah area. This experiment was conducted in three water balance lysimeters. Total potential evapotranspiration was 726 and 783 mm for the third and fourth year growing season, respectively. Maximum potential evapotranspiration rate was 6.28 and 6.4 mm day^{-1} for the third year and fourth year, respectively. Different growth stages for saffron for the third and fourth year were 30, 55, 55 and 65 days. The single crop coefficient for the initial stage, middle stage and the final stage of growth for the third and fourth year were 0.46, 1.2 and 0.35 and 0.49, 1.25 and 0.35, respectively. Basal Crop coefficients for third stages of the third and fourth year were 0.15, 0.9 and 0.17 and 0.15, 0.95 and 0.18, respectively.

Keywords: Evaporation-Transpiration, Saffron, Single crop coefficient, Dual crop coefficient

[1] M. Sc. Graduate, Water Engineering Department , Faculty of Agricultural, University of Shiraz
[2] Professor, Water Engineering Department , Faculty of Agricultural, University of Shiraz
[3] Associate Professor, Water Engineering Department , Faculty of Agricultural, University of Shiraz
(*Corresponding Email Address: aakamgar@shirazu.ac.ir)