نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد 11، خرداد - تیر 1396، ص. 228-219

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 11, Jun.-Jul. 2017, p. 219-228

برآورد تبخیر - تعرق واقعی و ضریب گیاهی گیاه سورگوم (Sorghum bicolor L.) در اقلیم خشک کرمان

سمیرا رهنما[1]، بهرام بختیاری[2*]، عباس رضایی استخروئیه[3]

تاریخ دریافت: 1395/4/14 تاریخ پذیرش: 1395/10/1

چکیده

تبخیر - تعرق یکی از مولفه‌های مهم جهت برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه‌ی منابع آب در شرایط خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. یکی از گیاهان مقاوم به این شرایط، گیاه سورگوم (Sorghum bicolor L.) بوده که در چنین شرایطی برای تولید علوفه، مناسب می‌باشد. پژوهش حاضر در ماه‌های خرداد تا مهر سال 1394 منطبق بر فصل گرم سال در اقلیم خشک کرمان، به منظور تعیین تبخیر - تعرق واقعی (ET_c) و ضریب گیاهی (K_c) این گیاه صورت گرفته است. برای اندازه‌گیری ET_c از یک لایسیمتر زهکش‌دار واقع در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان و رابطه‌ی بیلان آبی حاکم بر آن استفاده‌گردید. همچنین، میزان تبخیر - تعرق مرجع (ET_o) از رابطه‌ی استاندارد پنمن - مانتیث - فائو تعیین شد. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر - تعرق گیاه سورگوم از لایسیمتر 680/7 میلی‌متر و مقدار ET_o برآوردشده با روش پنمن - مانتیث - فائو 744/3 میلی‌متر می‌باشد. در این پژوهش، K_c سورگوم در چهار مرحله‌ی رشد گیاه (مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی) در این اقلیم به ترتیب 0/58، 0/92، 1/12و 0/98 برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: ضریب گیاهی، کرمان، گیاهان علوفه‌ای، لایسیمتر، نیاز آبی

مقدمه

با توجه به اهمیت پروتئین در جیره غذایی انسان، افزایش تولید گیاهان علوفه‌ای که منشا تولید پروتئین از طریق دام می‌باشند، ضروری است. بنابراین علاوه بر گیاهان علوفه‌ای با کمیت و کیفیت مناسب، بایستی گیاهانی برای کشت انتخاب گردد تا نسبت به شرایط نامساعد محیطی نیز مقاوم باشند. در این راستا، سورگوم نه تنها از عملکرد بالایی برخوردار است بلکه با شرایط اقلیمی اکثر مناطق ایران به خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک سازگاری دارد (فومن و همکاران، 1385). سورگوم با نام علمی Sorghum bicolor L. Moench گیاهی علوفه‌ای، یک‌ساله، روزکوتاه و از نظر فتوسنتز جز گیاهان 4 کربنه می‌باشد. این گیاه به دلیل سازگاری با شرایط خشک و کم‌آب، راندمان مصرف آب بالا و توان تولید علوفه بالا به صورت خشک، تر و سیلویی از گیاهان زراعی با ارزش به‌شمار می‌رود (خلیلی‌محله، 1386؛ Mullet et al., 2001). زراعت این گیاه در ایران با وجود قدمت کشت آن اخیراً رونق گرفته‌است، از استان‌های مهم تولید کننده‌ی این محصول در حال حاضر سیستان و بلوچستان، تهران، کرمان، فارس و زنجان را می‌توان نام برد (کاظمی‌اربط، 1388). از سوی دیگر امروزه کمبود آب، یکی از اساسی‌ترین مشکلاتی است که زندگی بشر را تحت‌تأثیر قرار داده‌است. این مشکل بیش‌تر از همه، مناطق خشک و نیمه‌خشک را تحت‌تأثیر قرارداده است، که یکی از عوامل آن مقدار زیاد تبخیر - تعرق[1] (ET) در این مناطق است (پورمحمدی و همکاران، 1389). بنابراین برآورد دقیق و مناسب از مقدار تبخیر - تعرق موجود در سطح منطقه برای برنامه-ریزی دقیق آبیاری، امری ضروری است.

به منظور تعیین تبخیر - تعرق گیاه[2] (ET_c) و برآورد نیاز آبی، روش‌ها و رابطه‌های متفاوتی وجود دارد که تعدادی از آن‌ها مورد اصلاح و بازنگری قرار گرفته‌است. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش پنمن- مانتیث (Allen et al., 1994)، بلانی کریدل اصلاح‌شده (Allen and Pruitt., 1986) و هارگریوز سامانی (Jensen and Haise., 1963) اشاره کرد. برای مناطقی که دارای آمار هواشناسی طولانی‌مدت هستند، روش استاندارد پنمن- مانتیث عملکرد بهتری دارد (فرشی و همکاران، 1376). با توجه به اهمیت موضوع، مطالعات متعددی در ارتباط تبخیر - تعرق و نیاز آبی گیاه سورگوم صورت‌گرفته که در ادامه به ذکر برخی از آن‌ها پرداخته شده است.

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
2- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
3- استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
(* - ایمیل نویسنده مسئول: (Email: drbakhtiari@uk.ac.ir

در مطالعه‌ای میزان تبخیر - تعرق و ضریب گیاهی[3] (K_c) سورگوم را در تگزاس آمریکا در سال‌های 2002 تا 2008 محاسبه- نمودند. در این پژوهش مقدار تبخیر - تعرق گیاه سورگوم (دوره‌ی رشد 130 روز) بین 491 تا 533 میلی‌متر بدست‌آمد (Piccinni et al., 2009). همچنین، میزان K_c در طول دوره‌ی رشد بین 0/2 تا 1/0 متفاوت بود. همچنین مطالعه‌ایی در اتیوپی نیاز آبی سورگوم را در کل دوره‌ی رشد 500/7 میلی‌متر و مقدار ضریب گیاهی این گیاه را در چهار مرحله‌ی رشد اولیه، توسعه، اواسط و اواخر رشد به ترتیب 0/45- 0/83- 1/18 و 0/78 برآورد نمودند (Shenkut et al., 2013). بررسی سایر مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که حداکثر مقدار تبخیر - تعرق سورگوم دانه‌ای در منطقه‌ای واقع در شمال شرقی اسپانیا 588 میلی‌متر می‌باشد (Farre and Faci., 2006). مقدار ET_c فصلی سورگوم در بخش مرکزی اسپانیا 721 میلی‌متر در سال 2007 و در سال 2010، 691 میلی‌متر تعیین شد. همچنین متوسط مقدار K_c در این دو سال بین 0/64 تا 1/19 (مرحله اولیه و توسعه رشد) محاسبه- گردید (Lopez-Urrea et al., 2016).

در ایران نیز مطالعاتی بر روی محصولات مختلف انجام گرفته- است که می‌توان به مطالعات (بختیاری و همکاران، 1380)، (قیصری و همکاران، 1385)، (بختیاری و همکاران، 1388)، (Bakhtiari et al., 2011) و (وحیدی و همکاران، 1391) اشاره‌نمود. به طور نمونه مطالعات قیصری و همکاران (1385) نشان داد که مقدار ET_c ذرت علوفه‌ای در منطقه‌ی نیمه‌خشک ورامین 695 میلی‌متر و ضرایب گیاهی در مراحل اولیه، توسعه، میانی و نهایی رشد به ترتیب 0/45- 0/9- 1/13 و 0/7 می‌باشد. در کرمان نیز بر روی بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف سورگوم (رقم‌های اسپیدفید، پگاه، پیام، سپیده و کیمیا) مطالعه‌ای انجام گردید. نتایج نشان داد که به طور میانگین برای تمامی ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای و دانه‌ای نیاز آبی 666 میلی‌متر و ضریب گیاهی در ابتدای دوره‌ی رشد 0/66، میانه فصل 1/24 و در آخر دوره رشد 0/73 می- باشد (وحیدی و همکاران، 1391). یک جمع‌بندی کلی از پیشینه‌ی مطالعات نشان می‌دهد که تاکنون در زمینه‌ی تعیین تبخیر - تعرق و ضرایب گیاهی یک رقم مشخص سورگوم (رقم اسپیدفید) در منطقه‌ی مطالعاتی، پژوهشی انجام نشده است. از طرفی استان کرمان با توجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیمی همواره با مشکل کم آبی روبه‌رو است. به این منظور برای صرفه‌جویی در مصرف آب و عملکرد رضایت‌بخش از گیاهان زراعی، کشت گیاهانی که نیاز آبی کم‌تری دارند، توصیه می‌شود. به دلیل سازگاری گیاه سورگوم با شرایط خشک و کم‌آبی و مقاومت در برابر گرما، همچنین زودرس بودن و عملکرد بالای سورگوم علوفه‌ای (رقم اسپیدفید) محاسبه‌ی تبخیر - تعرق واقعی و ضریب گیاهی این گیاه ضروری می‌باشد. بنابراین، پژوهش حاضر، با هدف برآورد تبخیر - تعرق واقعی و ضریب گیاهی (K_c) و بررسی الگوی تغییرات آن در طی فصل رشد، برای منطقه‌ی خشک کرمان با توجه به سنجش‌های لایسیمتری اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ماه‌های خرداد تا مهر سال 1394 منطبق بر فصل گرم سال، در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت، که دارای طول جغرافیایی E ″1/5′57°04، عرض جغرافیایی N ″3/19′30°24 و ارتفاع از سطح دریا 1753/8 متر می‌باشد. کرمان در جنوب شرقی ایران واقع‌شده که در طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک می‌باشد. میانگین پارامترهای هواشناسی (دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) اندازه‌گیری شده در محل مزرعه در طول دوره‌ی رشد (خرداد تا مهر 1394) در جدول 1 ارایه شده است.

لایسیمتر مورد استفاده در این پژوهش از نوع بیلان آبی (زهکش‌دار) به صورت استوانه‌ای به قطر 1/6 متر، ارتفاع 1 متر و مساحت 2/01 مترمربع می‌باشد. جهت نصب لایسیمتر گودالی بزرگ- تر از ابعاد لایسیمتر در مزرعه حفر گردید و لایسیمتر در داخل آن قرار داده شد. کف لایسیمتر به صورت شیب‌دار بوده و در انتها به وسیله لوله‌ای به خارج متصل گردید تا زه‌آب‌ها به محل اندازه‌گیری هدایت شوند. در کف لایسیمتر جهت تسهیل زهکشی به اندازه 10 سانتی‌متر شن ریخته و سپس لایسیمتر با خاک مزرعه با در نظر گرفتن ترتیب نیم‌رخ خاک پر شد و در چندین نوبت فشرده گردید. جهت تحکیم خاک قبل از انجام عملیات کشت برروی لایسیمتر، در چندین نوبت به خاک داخل لایسیمتر آب داده شد و پس از نشست کامل مجدداً تا سطح مورد نظر با خاک پر گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه در جدول2 ارایه شده است. شکل 1 لایسیمتر آماده کشت را نشان می‌دهد. پس از آماده شدن لایسیمتر، بذرهای سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید در نیمه دوم خرداد ماه بر روی ردیف‌هایی به فواصل 10 سانتی‌متر و در عمق 4-2 سانتی‌متر به صورت دستی کشت شدند. شکل 2 لایسیمتر زهکش‌دار کشت‌شده از گیاه سورگوم به همراه خروجی زهکش را در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد. جانمایی محل استقرار لایسیمتر، ایستگاه هواشناسی خودکار و مزرعه‌ی سورگوم در شکل 3 نشان داده شده است.

تبخیر - تعرق گیاه مرجع

در این پژوهش، با توجه به عدم وجود لایسیمتر گیاه مرجع در منطقه و کشت وسیع گیاه سورگوم در مزرعه (به منظور کاهش اثر ادوکسیون) تبخیر - تعرق مرجع[4] (ET_o) با استفاده از رابطه‌ی استاندارد پنمن- مانتیث- فائو (رابطه‌ی 1) محاسبه‌گردید (Allen et al., 1998).

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

جدول 1- میانگین پارامترهای اقلیمی طی دوره‌ی آزمایش (خرداد تا مهر 1394) در ایستگاه هواشناسی مزرعه‌ی دانشگاه شهید باهنر کرمان

ماه	دمای هوا (°C)	رطوبت نسبی (درصد)	ساعات آفتابی (ساعت)	سرعت باد ($m\ s^{-1}$)
خرداد	25/08	24/58	11/19	4/42
تیر	24/70	24/31	10/80	4/41
مرداد	25/08	24/22	11/63	4/45
شهریور	21/16	25/13	10/43	4/06
مهر	19/20	31/96	9/95	3/75

جدول 2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه‌ی مورد مطالعه

وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	PH	EC ($ds\ m^{-1}$)	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)
1/52	لومی شنی	78	10	12	7/7	3/3	4	352

شکل 1- لایسیمتر آماده کشت در منطقه‌ی مورد مطالعه

شکل 2- کشت گیاه سورگوم در لایسیمتر و اندازه‌گیری آب خروجی در منطقه‌ی مطالعاتی

شکل 3- محل استقرار لایسیمتر و ایستگاه هواشناسی خودکار در مزرعه‌ی تحقیقاتی

که در این‌جا ET_o تبخیر - تعرق سطح مرجع (میلی‌متر‌بر روز)، R_n تشعشع خالص در سطح زمین (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه‌سلسیوس)، T میانگین دمای هوا (سانتی‌گراد)، u_2 سرعت باد در ارتفاع 2 متری (متر بر ثانیه)، (e_s-e_a) کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال) و Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار اشباع با دمای هوا (کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد) می‌باشد.

تبخیر - تعرق گیاه سورگوم

برای برآورد ET_c واقعی در طول فصل زراعی، از رابطه‌ی بیلان آب خاک با استفاده از داده‌های لایسیمتری رابطه‌ی 2 استفاده شد (Allen et al., 1998).

$$ET_c = I + P - D \pm \Delta S \qquad (2)$$

که در این‌جا P میزان بارندگی (میلی‌متر)، I میزان آب آبیاری (میلی‌متر)، D میزان آب زهکش (میلی‌متر) و ΔS تغییرات رطوبت خاک (ارتفاع معادل تغییرات رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری) بر حسب (میلی‌متر) و ET_c میزان تبخیر - تعرق گیاه (میلی‌متر) می‌باشد. در این پژوهش، به منظور برآورد رطوبت خاک از بلوک‌های گچی در اعماق 30 و 60 سانتی‌متری لایسیمتر استفاده شد. سپس با استفاده از منحنی تعیین رطوبت خاک، میزان رطوبت محاسبه‌گردید. برای کالیبره نمودن بلوک گچی از روش وزنی استفاده شد. به این صورت که حجم مشخص و اندازه‌گیری شده‌ای از خاک را در نظر گرفته و بلوک‌های گچی را داخل خاک قرار داده شد، به مدت نیم ساعت اجازه داده شد که بلوک‌ها با محیط خاک به تعادل برسند. سپس مقاومت بلوک‌ها از طریق دستگاه مقاومت‌سنج قرائت و یادداشت گردید. هم‌زمان از خاک نمونه وزنی نیز گرفته شد. انجام این عملیات تا مرحله اشباع خاک ادامه داشت. سپس با استفاده از نمونه مرطوب و خشک رطوبت به صورت وزنی محاسبه گردید. درنهایت با رسم منحنی تغییرات مقاومت بلوک و درصد رطوبت خاک بلوک‌ها واسنجی شدند. هنگام اجرای آزمایش با اندازه‌گیری مقاومت بلوک‌های گچی و با استفاده از منحنی بدست‌آمده، درصد رطوبت خاک محاسبه گردید.

اولین آبیاری در هنگام کاشت بذر انجام شد و آبیاری‌های بعدی زمانی اعمال شد که رطوبت خاک داخل لایسیمتر در حد رطوبت سهل‌الوصول باشد. عمق آب زه‌کش قبل از هر آبیاری توسط ظروف مدرجی که در محل خروجی لوله زه‌کش نصب شده‌بود به صورت حجمی اندازه‌گیری و با تقسیم آن بر مساحت لایسیمتر (2/01 مترمربع) بدست آمد. مقدار بارندگی در بازه زمانی انجام پژوهش در منطقه‌ی مورد مطالعه برابر صفر بود.

ضریب گیاهی (K_c)

ضریب گیاهی به طور کلی در 4 مرحله رشد شامل مرحله ابتدایی (از زمان کاشت تا هنگامی که گیاه 10 درصد سطح زمین را بپوشاند)، مرحله‌ی توسعه گیاه (از انتهای مرحله ابتدایی تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد رسیده و حدود 70 تا 80 درصد سطح زمین را در برگیرد)، مرحله‌ی میانی (از انتهای مرحله توسعه تا زمانی که گیاه شروع به رسیدن می‌کند، برگ‌ها زرد می‌شوند یا می‌ریزند) و مرحله‌ی نهایی (از انتهای مرحله میانی تا مرحله برداشت محصول) مورد محاسبه قرار می‌گیرد. به طور کلی ضریب گیاهی اثر متفاوت بودن ویژگی‌های یک محصول و سطح چمن با ظاهر ثابت و پوشش گیاهی کامل را در یک ضریب می‌گنجاند (Allen et al., 1998). ضریب گیاهی، به طور عمده، به ویژگی‌های گیاه و به طور محدودتر، به اقلیم بستگی دارد. این ویژگی بیانگر لزوم استفاده از ضرایب گیاهی استاندارد در مناطق و اقلیم‌های مختلف می‌شود.

ضریب گیاهی (K_c)، نسبت تبخیر - تعرق گیاه به تبخیر - تعرق مرجع می‌باشد (رابطه‌ی 3) و محاسبه‌ی آن برای برنامه‌ریزی‌های معمول آبیاری (سطحی و بارانی) و اهداف معمول مدیریتی ضروری است (Allen et al., 1998).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \qquad (3)$$

که در این‌جا K_c ضریب گیاهی، ET_c تبخیر - تعرق گیاه و ET_o تبخیر - تعرق مرجع می‌باشد.

نکته حائز اهمیت در رابطه با انتخاب مقادیر K_c این است که مقادیر پیشنهادی ضریب گیاهی میانی و پایانی (K_{cmid} and K_{cend}) توسط منابع مختلف، برای حالتی هستند که متوسط سرعت باد در ارتفاع دو متری (u_2) برابر 2 متر بر ثانیه و حداقل رطوبت نسبی (RH_{min}) برابر 0/45 باشد. بنابراین در مناطقی که پارامترهای مذکور متفاوت هستند، لازم است که ضرایب گیاهی این دو مرحله با استفاده از رابطه‌ی 4 اصلاح گردند (Allen et al., 1998 ؛ Doorenbos and Pruitt, 1977).

$$K_{cmid,end} = K_c + \left[0.04(u_2-2) - 0.004(RH_{min}-45)\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}\right] \qquad (4)$$

که در این‌جا، $K_{c\ mid,end}$ ضریب گیاهی اصلاح‌شده در مراحل میانی و پایانی رشد، K_c مقدار ضریب گیاهی که با استفاده از رابطه‌ی 3 بدست می‌آید (مرحله میانی و انتهایی)، u_2 سرعت باد در ارتفاع 2 متری (متربرثانیه)، RH_{min} میانگین روزانه حداقل رطوبت نسبی روزانه (%) و h میانگین ارتفاع گیاه در مراحل میانی و پایانی (متر) می‌باشد.

جهت آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین مقدار تبخیر - تعرق اندازه‌گیری شده (توسط لایسیمتر) با مقدار تبخیر - تعرق محاسبه

شده (به وسیله ضریب گیاهی اصلاح شده) از آزمون t جفت شده[5]، استفاده شده است. در این حالت فرضیه H_0 نمایانگر برابر بودن میانگین‌ها و فرضیه مقابل H_1 بیانگر وجود اختلاف بین میانگین‌ها است. فرضیه‌های آماری به صورت روابط 5 و 6 خواهند بود.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0 \quad (5)$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0 \quad (6)$$

آماره آزمون t به صورت رابطه‌ی 7 تعریف‌می‌شود.

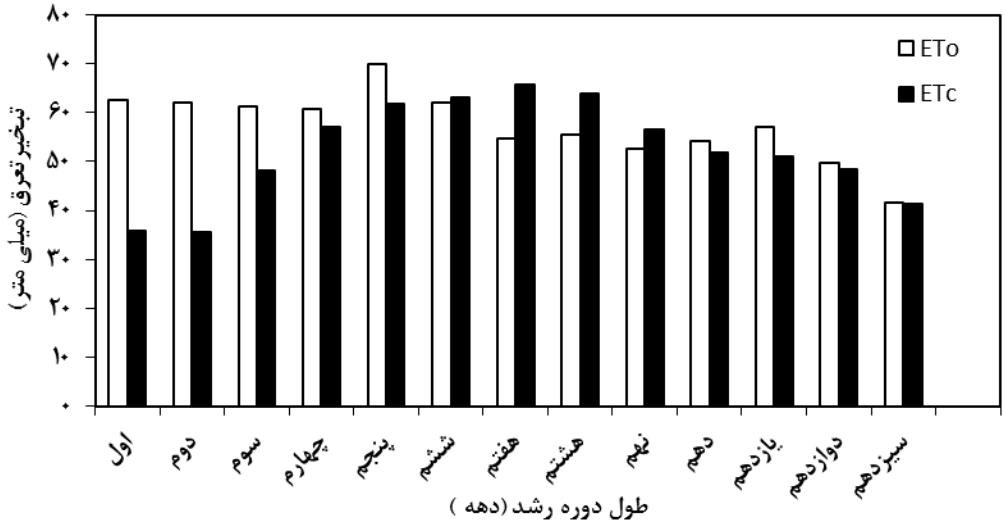
$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{S_d}{\sqrt{n}}} \quad (7)$$

در این حالت مقدار t با توجه به درجه آزادی df = n-1 و سطح تشخیص $\alpha = 1-\rho$ از جدول t استیودنت استخراج و منطقه‌ی بحرانی مشخص می‌شود. اگر آماره آزمون در منطقه‌ی بحرانی قرار گیرد، فرضیه H_0 رد می‌شود، بدین مفهوم که در سطح تشخیص α، اختلاف بین مقادیر در دو حالت مقادیر ET_c اندازه‌گیری شده و محاسبه شده معنی‌دار می‌باشد و در غیر این صورت این اختلاف معنی‌دار نیست (Box et al., 1989).

نتایج و بحث

تبخیر - تعرق سورگوم با اندازه‌گیری میزان آب آبیاری در بین دو نوبت آبیاری و اندازه‌گیری زه‌آب لایسیمتر قبل از آبیاری با استفاده از رابطه بیلان آبی (رابطه‌ی 2) محاسبه گردید. نتایج تبخیر - تعرق گیاه بدست آمده از لایسیمتر (ET_c) و مقادیر تبخیر - تعرق مرجع (ET_o) برآورد شده از رابطه‌ی پنمن- مانتیث- فائو و ضرایب گیاهی محاسبه شده در دوره‌های رشد 10 روزه طی دوره‌ی رشد سورگوم در جدول 2 ارایه شده است.

بررسی نتایج این جدول نشان می‌دهد که در طی دوره‌ی رشد در سال 1394 در منطقه‌ی مورد مطالعه مقدار تبخیر - تعرق گیاه سورگوم (ET_c)، 680/7 میلی‌متر و تبخیر - تعرق مرجع (ET_o)، 744/3 میلی‌متر بوده که در طی دوره‌ی رشد 130 روزه، بدست آمده است. در ابتدای کشت به دلیل رشد کم گیاه و کوچک بودن آن سهم تبخیر بیش‌تر از تعرق بوده و بنابراین در این زمان نیاز آبی از ماه‌های دیگر کم‌تر است. سپس با توسعه اندام‌های هوایی گیاه تعرق افزایش یافته و سپس در ماه‌های آخر با کاهش فعالیت برگ‌ها مجددا تعرق و در پی آن نیاز آبی کم می‌گردد. همچنین مقدار تبخیر - تعرق گیاه سورگوم از دهه اول تا هفتم روند افزایشی و دهه هشتم تا آخر روند کاهشی داشته است. مقادیرتبخیر - تعرق گیاه سورگوم (ET_c) و تبخیر - تعرق مرجع (ET_o) محاسبه شده در طول دوره‌ی رشد در شکل 4 ارایه شده است. همان‌طورکه نتایج نشان‌می‌دهد در شروع دوره، ابتدا مقدار ET_o کم بوده و با گذشت زمان مقدار آن افزایش می‌یابد که این افزایش به دلیل بلند بودن طول روز و افزایش تابش خالص خورشیدی می‌باشد. سپس با کاهش دما و تابش خالص خورشیدی مقدار آن تا انتهای دوره کاهش می‌یابد.



شکل 4- مقادیر تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_o) و تبخیر - تعرق گیاه سورگوم (ET_c) طی دوره‌ی مطالعاتی (خرداد تا مهر 1394)

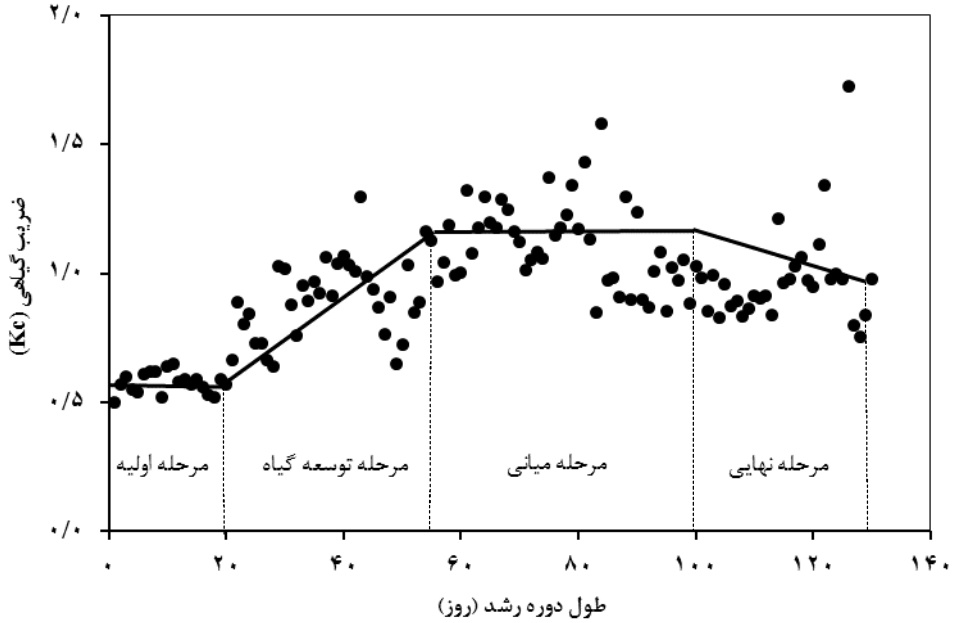
جدول 2- مقادیر دهه تبخیر - تعرق و ضرایب گیاهی گیاه سورگوم و مقادیر تبخیر - تعرق مرجع به‌دست آمده روش پنمن- مانتیث- فائو (خرداد تا مهر 1394)

دهه	تبخیر - تعرق گیاه سورگوم (ET_c) (mm)	تبخیر - تعرق مرجع (ET_o) (mm)	ضرایب گیاهی (K_c)
اول	35/9	62/68	0/57
دوم	35/6	62/19	0/57
سوم	48/1	61/28	0/78
چهارم	57/1	60/70	0/94
پنجم	61/9	69/95	0/88
ششم	63/0	62/13	1/01
هفتم	65/8	54/80	1/20
هشتم	64/0	55/79	1/15
نهم	56/5	52/57	1/08
دهم	51/9	54/21	0/96
یازدهم	51/0	56/95	0/89
دوازدهم	48/5	49/82	0/97
سیزدهم	41/4	41/59	1/00
کل دوره‌ی رشد	680/7	744/3	

مقادیر ضریب گیاهی سورگوم و طول مراحل مختلف رشد در جدول 3 ارایه شده است. این مقادیر برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب 0/58، 0/92، 1/12 و 0/98 بدست‌آمد. فائو با تقسیم طول رشد این گیاه به سه مرحله (ابتدایی، میانی و انتهایی) این مقادیر را برای اقلیم نیمه مرطوب به ترتیب 0/7، 1/20 و 1/05 ارایه کرده است. (علیزاده و کمالی، 1387) نیز مقدار این ضریب را به طور متوسط در مناطق نیمه‌مرطوب 0/98 گزارش کردند. بین نتایج حاصل از این پژوهشگران با پژوهش حاضر 8/16 درصد اختلاف وجود دارد. تفاوت در نوع اقلیم منطقه، خاک، رقم بذر، تاریخ کاشت، دوره رشد و مدیریت باعث بروز چنین اختلافی در این مقادیر گردید. همچنین (وحیدی و همکاران، 1391) در تحقیق خود در کرمان برای مراحل مختلف ارقام گوناگون سورگوم، ضریب گیاهی را به طور متوسط 0/88 بدست‌آوردند. این اختلاف به دلیل استفاده از ارقام مختلف سورگوم (اسپیدفید، پگاه، پیام، سپیده و کیمیا) در مطالعه پیشین و لحاظ نمودن میانگین مقادیر برای ارقام مختلف سورگوم (علوفه‌ای و دانه‌ای) و رژیم‌های مختلف آبیاری (پس از 50، 80 و 110 میلی‌مترتبخیر از تشت تبخیر کلاس A) باشد. همچنین شرایط اقلیمی مشابه باعث گردیده است که نتایج حاصل از این پژوهش اختلاف کمی (2/5 درصد) با مطالعه‌ی (وحیدی و همکاران، 1391) داشته‌باشد. طول دوره‌ی رشد در هر مرحله به ترتیب 20، 35، 45 و 30 بوده و کل دوره‌ی رشد 130 روز می‌باشد که این مقدار بسته به منطقه‌ی تحت کشت متفاوت خواهد بود. نمودار ضریب گیاهی پیشنهادی و توسعه یافته حاصل از این پژوهش جهت برآورد و برنامه-ریزی آبیاری گیاه سورگوم در شکل 5 ارایه شده است. بر اساس این نتایج مقادیر ضریب گیاهی در مرحله‌ی اولیه رشد پایین و تقریبا ثابت است. با شروع مرحله‌ی توسعه گیاه افزایش یافته و در زمان حداکثر توسعه یا نزدیک به آن، بیش‌ترین مقدار خود ($K_{c\ mid}$) رسیده است. در نهایت در طول مرحله‌ی پایانی رشد که پلاسیدگی یا ریزش برگ-ها به طور طبیعی یا تحت‌تأثیر عملیات زراعی شروع می‌شود، ضریب گیاهی کاهش یافته است.

جدول 3- طول دوره رشد در هر مرحله و مقادیر ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد طی دوره‌ی مطالعاتی (خرداد تا مهر 1394)

مراحل مختلف رشد	طول دوره رشد (روز)	ضریب گیاهی (K_c)
اولیه	20	0/58
توسعه	35	0/92
میانی	45	1/12
نهایی	30	0/98
کل دوره‌ی رشد	130	



شکل 5- ضریب گیاهی گیاه سورگوم در طول دوره‌ی رشد (خرداد تا مهر 1394)

جهت آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین مقدار تبخیر - تعرق اندازه‌گیری شده (توسط لایسیمتر) با مقدار تبخیر - تعرق محاسبه شده (بعد از اصلاح ضریب گیاهی)، آزمون t جفت شده انجام گردید (جدول 4). نتایج حاصل نشان می‌دهد مقادیر t محاسباتی به طور معنی‌داری با t بحرانی اختلاف داشته و در تمامی ماه‌های مورد مطالعه سطح معنی‌داری[6] کوچک‌تر از 0/05 است. این مطلب نمایانگر رد فرضیه H_0 با اطمینان 95 درصد می‌باشد. بنابراین، اختلاف ET_c اندازه‌گیری‌شده با لایسیمتر با ET_c محاسبه‌شده پس از اعمال ضریب گیاهی اصلاح‌شده در سطح اعتماد 5 درصد معنی‌دار می‌باشد.

جدول 4- نتایج آزمون t جهت مقایسه تبخیر - تعرق محاسبه‌شده با تبخیر - تعرق اندازه‌گیری‌شده طی دوره مطالعاتی (خرداد تا مهر 1394)

	آزمون t استیودنت				
ماه	درجه آزادی (df)	t محاسبه شده	حدود اعتماد 95% اختلاف		نتیجه آزمون (P value)
			حد بالا	حد پایین	
خرداد	11	-8/51	-0/30	-0/52	0/000
تیر	30	-2/93	-0/04	-0/25	0/000
مرداد	30	4/62	0/38	0/15	0/000
شهریور	30	11/20	0/68	0/47	0/000
مهر	24	13/67	0/76	0/56	0/000

نتیجه‌گیری

برای تدوین برنامه‌ی آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارا و آگاهانه، تخمین تبخیر - تعرق و تعیین ضریب گیاهی بر مبنای مراحل رشد، امری ضروری است. بنابراین در پژوهش حاضر، اقدام به کشت گیاه سورگوم در سال 1394 در اقلیم خشک کرمان به منظور تعیین تبخیر - تعرق و ضرایب گیاهی آن شد. مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع با استفاده از رابطه‌ی استاندارد پنمن- مانتیث- فائو 744/3 میلی‌متر تعیین گردید. مقدار تبخیر - تعرق واقعی سورگوم با استفاده از نتایج لایسیمتری و با روش بیلان آبی 680/7 میلی‌متر در منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین گردید. ضرایب گیاهی اصلاحی سورگوم در چهار مرحله‌ی رشد گیاه (مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی) در منطقه‌ی مورد مطالعه به ترتیب 0/58، 0/92، 1/12و 0/98 محاسبه شد. مقادیر مورد نظر جهت مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب گیاه علوفه‌ای

سورگوم در مناطقی که با اقلیم خشک کشت می‌شود، کاربرد داشته و می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

پی نوشت‌ها

1- Evapotranspiration
2- Crop evapotranspiration
3- Crop coefficient
4- Reference evapotranspiration
5- Paired t-test
6- P value

منابع

بختیاری،ب.ف.، خانجانی،م.ج.، علیزاده،ا.، کمالی،غ و ترازج. 1380. محاسبه‌ی تبخیر - تعرق روزانه گیاه مرجع و مقایسه‌ی آن با مقدار اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر الکترونیکی. اولین کنفرانس ملی بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، زابل، دانشگاه زابل، 9-10 اسفند، 485-496.

بختیاری،ب.، لیاقت،ع.، خلیلی،ع.، خانجانی،م.ج. 1388. ارزیابی دو مدل ترکیبی برآورد تبخیر - تعرق مرجع چمن در بازه‌ی زمانی ساعتی (مطالعه‌ی موردی اقلیم کرمان). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. 50.13: 13-26.

پورمحمدی،س.، دستورانی،م.ت.، چراغی،س.ع.م.، مختاری،م.ح و رحیمیان،م.ح. 1389. ارزیابی و برآورد اجزای بیلان آبی در حوزه-های مناطق خشک با به‌کارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز منشاد یزد). مجله آب و فاضلاب، 3: 99-108.

خلیلی‌محله،ج.، تاج‌بخش،م.، فیاض‌مقدم،ا و سیادت،ع.ا. 1386. تأثیر تراکم بوته بر ویژگی‌های کمی و کیفی هیبریدهای سورگوم علوفه‌ای در کشت دوم. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. 75: 59-67.

فرشی،ع.ا.، شریعتی،م.ر.، جارالهی،ر.، قائمی،م.ر.، شهابی‌فر.م و تولایی،م.م. 1376. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (جلد اول گیاهان زراعی). نشر آموزش کشاورزی، زراعت جهاد کشاورزی، 629 ص.

فومن،ع.، قنادها،م.ر.، حسین‌زاده،ع و شکیب،ع.م. 1385. بررسی صفات کمی و کیفی ارقام جدید سورگوم علوفه‌ای در چین‌های مختلف. نهال و بذر. 2.22: 215-224.

علیزاده،ا.، کمالی،غ. 1387. نیاز آبی گیاهان در ایران. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دوم، 228 ص.

کاظمی‌اربط،ح.ا. 1388. زراعت خصوصی (غلات). انتشارات نشر مرکز دانشگاهی، چاپ اول، 254ص.

وحیدی،ح.، خواجویی‌نژاد،غ.، رضایی،ع و عبدالشاهی،ر.ا. 1391. تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی سورگوم در منطقه‌ی کرمان. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، 20-21 شهریور، ص 1-7.

Allen,R.G and Pruitt,W.O. 1986. Rational use of the FAO Blaney-Criddle formula. Journal of Irrigation and Drainage of Engineering. ASCE. 112.2:139-155.

Allen,R.G., Pereira,L.S., Raes,D and Smith,M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 300 p.

Allen,R.G., Smith,M., Pereira,L.S and Perrier,A. 1994. An Update for the Calculation of Reference Evapotranspiration. ICID Bull., 43.2:35-92.

Bakhtiari,B., Ghahreman,N., Liaghat,A.M and Hoogenbom,G. .2011. Evaluation of Grass Reference Evapotranspiration Models for a Semiarid Envionmet Using lysimeter Measurements, Journal of Agricultural Science and Technology. 13.2:223-237.

Box,G.E.P., Hunter,W.G and Hunter,J.S. .1989. Statistic Para Investigators. Reverte Pub. Barcelona.

Doorenbos,J and Pruitt,W.O. 1977. Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper, No.24, Food and Agriculture Organization of United Nations. Rome, Italy.

Farre,I and Faci,J.M. 2006. Comparative response of maize (Zea mays L.) and sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. Agriculture Water Management. 83:135-143.

Jensen,M.E and Haise,H.R. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation, Journal of Irrigation and Drainage. ASCE. 89:15-41.

Lopez-Urrea,R., Martinez-Molina,L., DelaCruz,F., Montoro,A., Gonzalez-Piqueras,J., Odi-Lara,M and Sanchez,J.M. 2016. Evapotranspiration and Crop Coefficients of Irrigated Biomass Sorghum for Energy Production, Irrigation Science. 34.4:287-296.

Mullet,J.E., Klein,R.R and Klein,P. 2001. Sorghum Bicolor an Important Species Comparative Grass Genomics and Sours of Beneficial Genes for Agriculture, Current Opininon Plant Biology. 5: 118-151.

Piccinni,G., Ko,J., Marek,T and Howell,T. 2009. Determination of Growth-Stage-Specific Crop Coefficients (K_c) of Maize and Sorghum.

Agricultural Water Management. 96: 1698-1704.

Shenkut,A., Tesfaye,K., Abegaz,F and Hordofa,T. 2013. Determination of Water Requirement and Crop Coefficient for Sorghum (Sorghum bicolor L.) at Melkassa, Ethiopia, East African Journal of Sciences. 7.10:41-50.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 2, Vol. 11, Jun.-Jul. 2017, p. 219-228

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره2، جلد 11، خرداد - تیر 1396، ص. 228-219

Estimation of Actual evapotranspiration, Crop Coefficients of Sorghum (Sorghum bicolor L.) in the Arid Climate of Kerman

S. Rahnama[1], B. Bakhtiari[2*], A. Rezaie Estakhroeih[3]
Recived: Jul.04, 2016 Accepted: Dec.21, 2016

Abstract

Evapotranspiration is one of the important components for the planning and management of water resources, especially in arid and semi-arid areas. Sorghum (Sorghum bicolor L.) is a plant that is resistance to this condition and it is suitable for forage production. Experiments were carried out in the months of May to October 2015 in accordance with the warm season in the climate of Kerman, to determine the actual evapotranspiration (ET_c) and crop coefficients (K_c) of the plant. For measurement of ET_c, the prevailing water balance equation and a drainage lysimeter that is located in research farm of Shahid Bahonar University of Kerman were used. Also, the reference evapotranspiration (ET_o) was determined from standard FAO-Penman-Monteith equation. The results showed that the amount of sorghum Actual evapotranspiration (ET_c) from lysimeter was 680.7 mm. Also, plant reference evapotranspiration (ET_o) using FAO-Penman-Monteith was 744.3 mm. In this study, crop coefficients in four stages of plant growth (initial, development, middle and end) of sorghum in this climate were determined to be as 0.58, 0.92, 1.12 and 0.98 respectively.

Keywords: Crop coefficient, Forage Crops, Kerman, Lysimeter, Water Requirement

1- M. Sc. Student of Water Resources Management, Water Engineering Department., College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2- Assistant Professor, Water Engineering Department., College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
3- Assistant Professor, Water Engineering Department., College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
(*- Corresponding Author Email: drbakhtiari@uk.ac.ir)