DOI: 10.22059/ijswr.2021.318297.668881 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۵، مرداد ۱۴۰۰ (ص ۱۲۷۳-۱۲۶۳)
(علمی – پژوهشی)

Separation the Evaporation and Transpiration in Maize Cultivation and Investigation of Their Response to Different Irrigation Levels

REZA SAEIDI[1*]
1. Dept of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
(Received: Feb. 1, 2021- Revised: March. 8, 2021- Accepted: Apr. 7, 2021)

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate the response of evapotranspiration components of maize to different levels of water stress. This research was done as a completely randomized design. Treatments were irrigation at four levels; 100(I_0), 80(I_1), 60(I_2) and 40(I_3) percent of the crop water requirement. Daily crop evapotranspiration was measured based on soil water balance in a mini-lysimeter. Mini-lysimeters with and without mulch covering on the soil surface were used to separate the amounts of evapotranspiration components. The amounts of evapotranspiration components (ET, T and E) during the growing period were measured to be 424.5, 267.3 and 157.2 mm (in I_0), 405.8, 245.4 and 160.4 mm (in I_1), 360.5, 194.4 and 166.1 mm (in I_2) and 303.7, 125.5 and 178.2 mm (in I_3) respectively. The results showed that from I_0 to I_3, the amounts of ET and T decreased to 28.4% and 53% respectively, and the E amount increased to 13.4%. Therefore, in water stress conditions, the T portion was decreased to 35% and the E portion increased to 35%. The most amount of T occurred in the developmental period and the most amount of E occurred in the initial and final growth stages. But the highest response of transpiration and evaporation to water stress occurred in the middle period, in which transpiration decreased to 69% and evaporation increased to 253%. The existence of sensitive stages in the middle period of growth caused water stress to be most effective. The results indicated a reduction in transpiration and an increasing in evaporation in deficit irrigation conditions. Therefore, covering the soil surface and applying the suitable level of water stress in irrigation management will be effective factors for increasing the water use efficiency.

Keywords: Irrigation Management, Stress Coefficient, Water Stress.

*Corresponding Author's Email: saeidi@org.ikiu.ac.ir

جداسازی تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری

رضا سعیدی[1*]

۱ .گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱/۱۸)

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی پاسخ اجزای تبخیر-تعرق گیاه ذرت به سطوح مختلف تنش آبی بود که به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارها شامل آبیاری در چهار سطح (I_0) ۱۰۰، (I_1) ۸۰، (I_2) ۶۰ و (I_3) ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. تبخیر-تعرق روزانه گیاه بر اساس بیلان آب خاک در مینی‌لایسیمتر اندازه‌گیری شد. برای جداسازی مقادیر اجزای تبخیر و تعرق، از مینی‌لایسیمترهایی با و بدون پوشش مالچ در سطح خاک استفاده شد. در کل دوره رشد، مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر به‌ترتیب برابر با ۴۲۴/۵، ۲۶۷/۳ و ۱۵۷/۲ میلی‌متر (در تیمارI_0)، ۴۰۵/۸، ۲۴۵/۴ و ۱۶۰/۴ میلی‌متر (در تیمارI_1)، ۳۶۰/۵، ۱۹۴/۴ و ۱۶۶/۱ میلی‌متر (در تیمارI_2) و ۳۰۳/۷، ۱۲۵/۵ و ۱۷۸/۲ میلی‌متر (در تیمارI_3) برآورد شد. نتایج نشان داد از سطح آبیاری I_0 تا I_3، مقادیر تبخیر-تعرق و تعرق به‌ترتیب ۲۸/۴ و ۵۳ درصد کاهش و مقدار تبخیر، ۱۳/۴ درصد افزایش یافت. در شرایط تنش آبی، سهم تعرق و تبخیر در پارامتر تبخیر-تعرق، به‌ترتیب ۳۵ درصد کاهش و ۳۵ درصد افزایش داشت. بیشترین مقدار تعرق در دوره توسعه و بیشترین مقدار تبخیر در دوره‌های اولیه و پایانی رشد اتفاق افتاد. اما بالاترین پاسخ تعرق و تبخیر به تنش آبی در دوره میانی رشد اتفاق افتاد که به‌ترتیب همراه با ۶۹ درصد کاهش و ۲۵۳ درصد افزایش بود. وجود مراحل حساس مانند گل‌دهی و بلال‌دهی ذرت در دوره میانی رشد باعث شد که تنش آبی بیشترین اثر خود را داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان داد در مقادیری از کم‌آبیاری که صرفاً سطح خاک مرطوب نگه‌داشته می‌شود، علاوه بر کاهش تعرق، افزایش سهم تبخیر نیز وجود دارد. از این‌رو پوشاندن سطح خاک و اعمال حد مناسب تنش آبی در مدیریت کم‌آبیاری، از عوامل مؤثر بر افزایش راندمان مصرف آب توسط گیاه خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، ضریب تنش، مدیریت آبیاری.

مقدمه

برای تعین نیاز خالص آبیاری گیاه تحت کشت در یک منطقه، نیاز به برآورد مقدار تبخیر-تعرق (ET)[1] آن گیاه می‌باشد. از سوی دیگر به‌منظور استفاده بهینه اقتصادی از منابع آب شیرین، مدیریت‌های کم‌آبیاری در قالب اِعمال تنش آبی بر گیاه، توصیه می‌شود. در شرایط اقلیمی هر منطقه، اعمال تنش‌های محیطی مانند تنش آبی بر گیاه، باعث کاهش مقدار تبخیر-تعرق و عملکرد گیاه نسبت به شرایط استاندارد (پتانسیل) آن منطقه می‌گردد. پارامتر تبخیر-تعرق گیاه مجموع مقادیر دو جزء تبخیر از سطح خاک (E)[2] و تعرق گیاه (Tr)[3] را شامل می‌شود که تعرق به‌عنوان جزء مطلوب و تبخیر به‌عنوان جزء نامطلوب در نظر گرفته می‌شود (Allen et al., 1998). از این‌رو شناخت واکنش‌های دو جزءِ تبخیر و تعرق نسبت به تنش آبی، می‌تواند برای رسیدن به هدف مصرف آب کم‌تر و بهره‌وری بالای مصرف آب در مدیریت کم‌آبیاری، مؤثر باشد. در میان گیاهان مختلف، ذرت گیاهی است که نیازمند آبیاری بوده و تحت کشت آبی قرار می‌گیرد و اهمیت زیادی در تأمین غذای انسان و دام دارد (Saeidi et al., 2021). بنابراین گیاه ذرت می‌تواند مورد مناسبی برای پژوهش کنونی باشد. تنش آبی، فتوسنتز گیاه ذرت را از طریق بسته شدن روزنه‌ها و عدم رسیدن دی‌اکسید کربن به کلروپلاست و کاهش پتانسیل آب سلول‌های گیاهی، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Huner and Hopkins, 2008). در پژوهشی بر روی ذرت اعلام شد در شرایط اعمال تنش آبی، هورمون آبسزیک اسید وارد اندام‌های هوایی گیاه شده و به‌صورت یک سیستم هشداردهنده اولیه عمل می‌نماید. در این شرایط گیاه با بستن روزنه‌های خود، اقدام به کاهش تعرق، حفظ رطوبت و جلوگیری از اتلاف آب می‌کند (Mahrokh et al., 2019). در پژوهش دیگر گزارش شد که رابطه‌ی بین پتانسیل آب برگ، پتانسیل آب خاک و تعرق گیاه ذرت، به هیدرولیک خاک، ریشه

* نویسنده مسئول: saeidi@org.ikiu.ac.ir

1 -Evapotranspiration
2 -Evaporation
3 -Transpiration

گیاه و مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها بستگی دارد. از این‌رو پاسخ گیاه ذرت به اعمال تنش آبی، کاهش مقدار تعرق می‌باشد (Hayat et al., 2020). در پژوهشی در ترکیه، مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۷۰ و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه، اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در اثر اعمال تنش آبی، مقدار تبخیر-تعرق ذرت کاهش یافت و در سطوح آبیاری مذکور به‌ترتیب ۷۳۸، ۵۸۳ و ۳۹۰ میلی‌متر برآورد شد (Ucak et al., 2016). در پژوهش دیگر نیز مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۳، ۶۷، ۵۰ و ۳۳ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۶۰۵، ۵۲۶، ۴۵۵، ۳۸۳ و ۳۳۱ میلی‌متر برآورد شد (Greaves and Wang, 2017). به‌دلیل کاهش مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط اعمال تنش آبی، می‌توان از طریق برآورد ضریب تنش، مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه را نسبت به شرایط استاندارد منطقه محاسبه نمود و در مدیریت‌های کم‌آبیاری از آن بهره‌برداری نمود (Saeidi et al., 2021). از سوی دیگر در پژوهشی بر روی ذرت در شمال چین گزارش شد که مقدار تبخیر از سطح خاک حدود ۱۰ تا ۶۰ درصد کل مقدار تبخیر-تعرق را تشکیل داد و سهم کم‌تری از آن به جزء تعرق گیاهی اختصاص یافت (Chen et al., 2010). از این‌رو شناخت اجزای تبخیر-تعرق که شامل تبخیر و تعرق می‌باشد، برای بالا بردن بهره‌وری مصرف آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت پیدا می‌کند (Dehghanisanij et al., 2018). در پژوهشی گزارش شد که با مدیریت مناسب آبیاری، این امکان وجود داشت که از مقدار تبخیر از سطح خاک کاسته شده و به مقدار تعرق گیاه افزوده شود. در این حالت علاوه بر افزایش عملکرد محصول، مقدار مصرف آب نیز کاهش یافت (Mirzaei Alamooti and Ramezani Etedali, 2017). از این‌رو در پژوهشی اثر انواع خاک‌پوش بر کارایی مصرف آب و شاخص‌های رشد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴، در منطقه شهرکرد بررسی شد. تیمارها شامل سطح خاک بدون پوشش (شاهد) و سطح خاک با پوشش‌های پلاستیک شفاف، پلاستیک سیاه، گونی نخی، کناف، گونی سفید و آبی بود. نتایج نشان داد که خاک‌پوش‌ها در تمام مراحل اندازه‌گیری، تأثیر افزاینده بر محتوای نسبی آب برگ و حفظ رطوبت خاک داشته‌اند. خاک‌پوش پلاستیک شفاف بیشترین تأثیر را بر شاخص برداشت به‌مقدار ۵۳/۹۷ درصد داشت که نسبت به تیمار شاهد، ۳۲ درصد بیشتر بود (Najafabadi et al., 2017). در پژوهشی دیگر بر روی ذرت در فلات چین گزارش شد که تفکیک تبخیر-تعرق به دو جزء تبخیر از خاک و تعرق گیاه، ممکن است پیامدهای مهمی از قبیل تجزیه و تحلیل بهره‌وری مصرف آب توسط گیاه، ارزیابی پتانسیل تولید محصول از طریق بارندگی و بهینه‌سازی مدیریت مصرف آب داشته باشد. در این پژوهش اعلام شد که نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ذرت، در شرایط کشت دیم کم‌تر بوده است. یعنی کمبود آب خاک، باعث کاهش سهم جزء تعرق در پارامتر تبخیر-تعرق ذرت شده است (Zhou et al., 2017). همچنین در سامانه‌هایی با دور آبیاری کوتاه مانند سامانه های خُرد آبیاری، آبیاری بارانی متحرک دوار مرکزی و متحرک خطی، بررسی مقدار تبخیر از سطح خاک نسبت به تبخیر-تعرق، در برنامه‌ریزی آبیاری و تأمین نیاز آبی گیاه حائز اهمیت گزارش شده است (Allen et al., 1998). گزارش مذکور این‌طور تفسیر می‌شود که مقدار تبخیر از سطح خاک در لحظه پس از انجام آبیاری، بیشتر از مقدار آن در روزهای قبل از آبیاری است. به‌این دلیل که بلافاصله پس از انجام آبیاری، به‌علت مرطوب بودن سطح خاک، تبخیر بیشتری اتفاق افتاده و به مرور زمان از شدت تبخیر کاسته می‌شود. به‌عبارت دیگر، تبخیر مؤثر از سطح خاک در روزهای نزدیک به بعد از آبیاری اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر در دورهای آبیاری کوتاه، مصرف حجم آب کم و فاصله زمانی کوتاه‌تر بین دو آبیاری مدنظر قرار می‌گیرد. در این شرایط حجم آب آبیاری معمولاً صرف خیس کردن خاک سطحی شده و از نظر زمانی نیز، فاصله بین دو آبیاری (در دور آبیاری کوتاه) هم‌پوشانی بیشتری با زمان انجام تبخیر (مؤثر) پیدا می‌کند. از این‌رو به‌نظر می‌رسد سهم تبخیر از سطح خاک در دورهای آبیاری کوتاه (در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی) بیشتر از دورهای آبیاری بلند بوده و به‌این ترتیب، نیازمند مدیریتی مطلوب در جهت کاهش تلفات تبخیر آب می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های گذشته و اهمیت مطالب فوق، هدف از این پژوهش جداسازی مقادیر اجزای تبخیر و تعرق در کشت ذرت و بررسی پاسخ آن‌ها به سطوح مختلف آبیاری تعیین می‌گردد. در این پژوهش می‌توان رفتار اجزای تبخیر و تعرق ذرت را در طول دوره‌ی رشد و تحت تأثیر تنش آبی بررسی نمود و در جهت افزایش راندمان مصرف آب توسط گیاه، توصیه‌های کاربردی ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

معرفی کلیات طرح

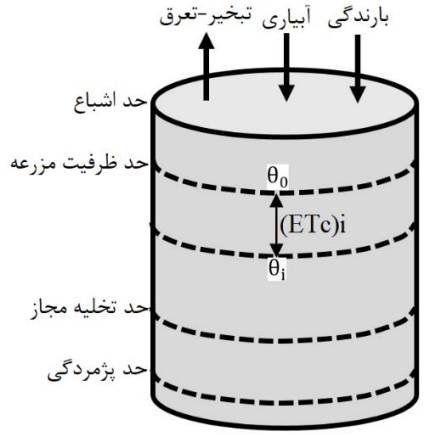
این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) در شهر قزوین و در موقعیت جغرافیایی "۲۳ '۱۹ °۳۶ عرض شمالی و "۳۸ '۰۰ °۵۰ طول شرقی انجام شد. گیاه مورد مطالعه، ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود و با هدف برآورد جداگانه تبخیر و تعرق، کاشت آن‌ها در مینی‌لایسیمترهای کوچک استوانه‌ای شکل به قطر ۳۵ و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام

شد (Saeidi et al., 2019). برای کنترل مقدار آب داده شده به خاک در آبیاری و عدم آب ماندگی در بستر کشت گیاه، زهکش مناسب در کف مینی‌لایسیمتر تعبیه شد. خاک بستر کشت، مخلوط خاک کشاورزی، ماسه بادی و کود حیوانی با نسبت ۳، ۱ و ۱ بود و مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شد. خاک طبیعی مزرعه با مشخصات فوق، پس از شخم زدن و آماده شدن برای کشت، دارای چگالی ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. بنابراین با توجه به حجم هر مینی‌لایسیمتر، وزن مشخصی از خاک برای رسیدن به تراکم مذکور، در آن‌ها ریخته شد. بذرها در تاریخ اول خرداد ماه کاشته شد و برداشت محصول در تاریخ ۱۶ مهرماه انجام شد. روش کاشت به‌این صورت بود که در هر مینی‌لایسیمتر تعداد سه بذر بر اساس تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار، کاشته شد (Hamzei et al., 2017). تیمارها شامل آبیاری در چهار سطح ۱۰۰(I_0)، ۸۰(I_1)، ۶۰(I_2) و ۴۰(I_3) درصد نیاز آبی گیاه بود. در طول دوره کشت، بارندگی اتفاق نیفتاد و تأمین نیاز آبی گیاه صرفاً بر اساس آبیاری بود. در فاصله‌ی بین دو آبیاری، مقدار رطوبت روزانه خاک توسط دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دِلتا تی (ΔT)، در مرکز مینی‌لایسیمتر اندازه‌گیری شد. مقدار تبخیر-تعرق گیاهان با توجه به تغییرات روزانه رطوبت خاک و بر اساس بیلان آب خاک (شکل ۱) و از طریق رابطه (۱) برآورد شد. در عملیات آبیاری، مقدار آب داده شده به خاک صرفاً برای رساندن رطوبت به حد ظرفیت مزرعه[1](FC) در نظر گرفته شد و زهاب خروجی از مینی‌لایسیمتر وجود نداشت. از دیگر نقاط پتانسیلی مهم خاک، نقطه پژمردگی دائم (PWP[2]) بود که درصد رطوبت وزنی خاک در حد FC و PWP با استفاده از دستگاه‌های صفحات فشاری و گرم‌خانه، محاسبه و در جدول (۱) ارائه شد. فشار مکشی برای حد FC و PWP به‌ترتیب یک سوم و ۱۵ اتمسفر در نظر گرفته شد.

برای جداسازی مقادیر اجزای تبخیر و تعرق، تیمارها در دو سِری مینی‌لایسیمتر اجرا شد. در سری اول، سطح خاک بدون پوشش و به حالت طبیعی بود و تغییرات روزانه رطوبت خاک در بین دو آبیاری، نشان‌دهنده مجموع مقادیر تبخیر و تعرق گیاهان بود. اما در سری دوم پس از جوانه‌زنی بذور، برای حذف اثر تبخیر و برآورد تعرق، از مالچ پلاستیکی با رنگ روشن و به شکل ورقه های نازک بر روی سطح خاک استفاده شد. از سوی دیگر برای جلوگیری از جذب گرمای تابشی خورشید توسط مالچ و انتقال آن به خاک، مالچ پلاستیکی با فاصله‌ی ۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شد. لذا تهویه‌ی مناسب در سطح خاک امکان‌پذیر شد و از تشکیل قطره‌های آب در زیر مالچ و تأثیر آن بر مقدار رطوبت خاک جلوگیری شد. بنابراین تغییرات روزانه رطوبت خاک در سِری دوم مینی‌لایسیمترها فقط مربوط به تعرق گیاه بود و اختلاف آن با داده‌های سری اول، نشان‌دهنده مقدار تبخیر روزانه بود. به‌طور کلی تیمارها در سه تکرار و مجموعاً ۲۴ مینی لایسیمتر، به‌صورت طرح پایه کاملاً تصادفی اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی در این طرح شامل مقادیر تبخیر-تعرق، تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک در سطوح مختلف آبیاری بود. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین فاکتورها توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن، در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

جدول ۱- مشخصات خاک مینی‌لایسیمتر

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی عصاره اشباع	$dS.m^{-1}$	۰/۶۴
اسیدیته (pH)	-	۷/۳
بافت خاک	-	لوم شنی
رطوبت وزنی حد ظرفیت مزرعه	%	۲۴
رطوبت وزنی حد پژمردگی	%	۱۰/۵
چگالی ظاهری	$g.cm^{-3}$	۱/۳۵



شکل ۱- موازنه آب در واحد حجم خاک، تحت تأثیر فرایند تبخیر-تعرق گیاه (Allen et al., 1998)

$$(ET_c)_i = (\theta_{i-1} - \theta_i).\rho b.D_{rz} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$(ET_c)_i$: تبخیر- تعرق روزانه گیاه (cm)، θ: رطوبت وزنی خاک (درصد)، i: شمارنده روزهای بین دو آبیاری، $(\theta_{i-1} - \theta_i)$: اختلاف رطوبت روزانه خاک (درصد)، ρb: چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، D_{rz}: عمق مینی‌لایسیمتر (cm).

تعیین زمان انجام آبیاری

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌صورت روزانه با دستگاه رطوبت‌سنج ساخت شرکت دِلتا تی (ΔT) انجام شد. مقدار رطوبت خاک در عمق لایسیمتر، در ۴ لایه‌ی ۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. قبل از شروع آزمایش، اعداد ثبت شده توسط دستگاه مذکور نسبت به

1- Field Capacity

2- Permanent wilting point

مقادیر واقعی رطوبت وزنی خاک واسنجی شد. از تقسیم وزن آب موجود در خاک مرطوب بر وزن خاک کاملاً خشک، مقدار رطوبت وزنی واقعی خاک محاسبه شد. سپس در یک نمودار، داده‌های واقعی در محور عمودی و داده‌های ثبت شده توسط دستگاه در محور افقی قرار داده شد و منحنی اِشل (با معادله مشخص) برای تبدیل داده‌های دستگاه به داده‌های واقعی رطوبت تهیه شد. از سوی دیگر حد آب سهل‌الوصول خاک برای گیاه ذرت در منطقه کرج، در تمام مراحل رشد بین ۴۰ تا ۸۰ درصد گزارش شد (Jarollahi, 2001). از این‌رو در تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، برای اطمینان از این‌که به گیاه ذرت حتی در حساس‌ترین دوره رشد هم تنش آبی وارد نمی‌شود، حد آب سهل‌الوصول خاک مقدار۴۰ درصد درنظر گرفته شد. یعنی پس از اتمام ۴۰ درصد از رطوبت بین دو حد ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) در مینی‌لایسیمترهای مذکور، عملیات آبیاری انجام شد. برای محاسبه و کنترل حد آب سهل الوصول در مینی‌لایسیمترها از رابطه (۲) استفاده شد.

$$RAW = \frac{\theta_{FC}-\theta_0}{\theta_{FC}-\theta_{PWP}} \quad \text{(Saeidi et al., 2021)} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

[1]

در رابطه ۲، RAW: حد آب سهل‌الوصول، θ_{FC}: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_0: رطوبت وزنی خاک (درصد) در زمان انجام آبیاری و θ_{PWP}: رطوبت وزنی خاک در حد نقطه پژمردگی دائم (درصد) می‌باشد.

تعیین حجم آب آبیاری

آب مورد نیاز برای انجام آبیاری از آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۵۷ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته ۷/۱ تأمین شد. حجم آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل (I_0)، با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک تا حد FC، ارتفاع و مساحت سطح خاک در مینی‌لایسیمتر، بر اساس رابطه (۳) تعیین شد. از این‌رو آب اضافی برای تبدیل به زهاب و خروج از انتهای مینی‌لایسیمتر وجود نداشت و راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد بود. از سوی دیگر به تیمارهای I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب مقدار ۰/۸، ۰/۶ و ۰/۴ حجم آب آبیاری کامل (تیمار I_0) اختصاص داده شد.

$$V = \frac{(\theta_{FC}-\theta_0)}{100}.\rho b.D_{rz}.A \quad \text{(Alizade, 2007)} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

V: حجم آب آبیاری (m^3)، θ_{FC}: رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (درصد)، θ_0: رطوبت وزنی خاک (درصد) در زمان انجام آبیاری، ρb: چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، D_{rz}: عمق مینی لایسیمتر(m) و A: مساحت سطح خاک (m^2).

تعیین ضرایب تنش آبی

قابلیت جذب آب توسط ریشه‌ی گیاه، در شرایط اعمال تنش آبی کاهش یافته و موجب کاهش مقدار تبخیر-تعرق گیاه نسبت به شرایط استاندارد (پتانسیل) منطقه می‌شود. برای نشان دادن اثر تنش آبی بر مقدار تبخیر-تعرق گیاه از ضریب تنش آبی (Ks) استفاده می‌شود، که عددی کوچک‌تر از یک است. با ضرب کردن ضریب Ks در مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل منطقه، مقدار تبخیر-تعرق واقعی در شرایط تحت تنش به‌دست می‌آید. در پژوهش کنونی، ضریب مذکور علاوه بر تبخیر-تعرق، برای اجزای آن نیز محاسبه شده و معادله‌های آن در روابط (۴) الی (۶) آورده شد. از سوی دیگر روابط مذکور به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی تبخیر-تعرق نسبی، تعرق نسبی و تبخیر نسبی نیز می‌باشد.

$$K_S = \frac{ET_{c-adj}}{ET_c} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$K_{S-Tr} = \frac{T_{r-adj}}{T_{r-i}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$K_{S-E} = \frac{E_{-adj}}{E_{-i}} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

در روابط فوق، K_S، K_{S-Tr} و K_{S-E} به‌ترتیب معرف ضرایب تنش‌های تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، ET_{c-adj}، T_{r-adj} و E_{-adj} به‌ترتیب معرف مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر (میلی‌متر) در شرایط اعمال تنش آبی و ET_c، T_{r-i} و E_{-i} به‌ترتیب معرف مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر (میلی‌متر) در شرایط آبیاری کامل (بدون تنش آبی) می‌باشد.

نتایج و بحث

اجزای تبخیر-تعرق ذرت در طول دوره رشد

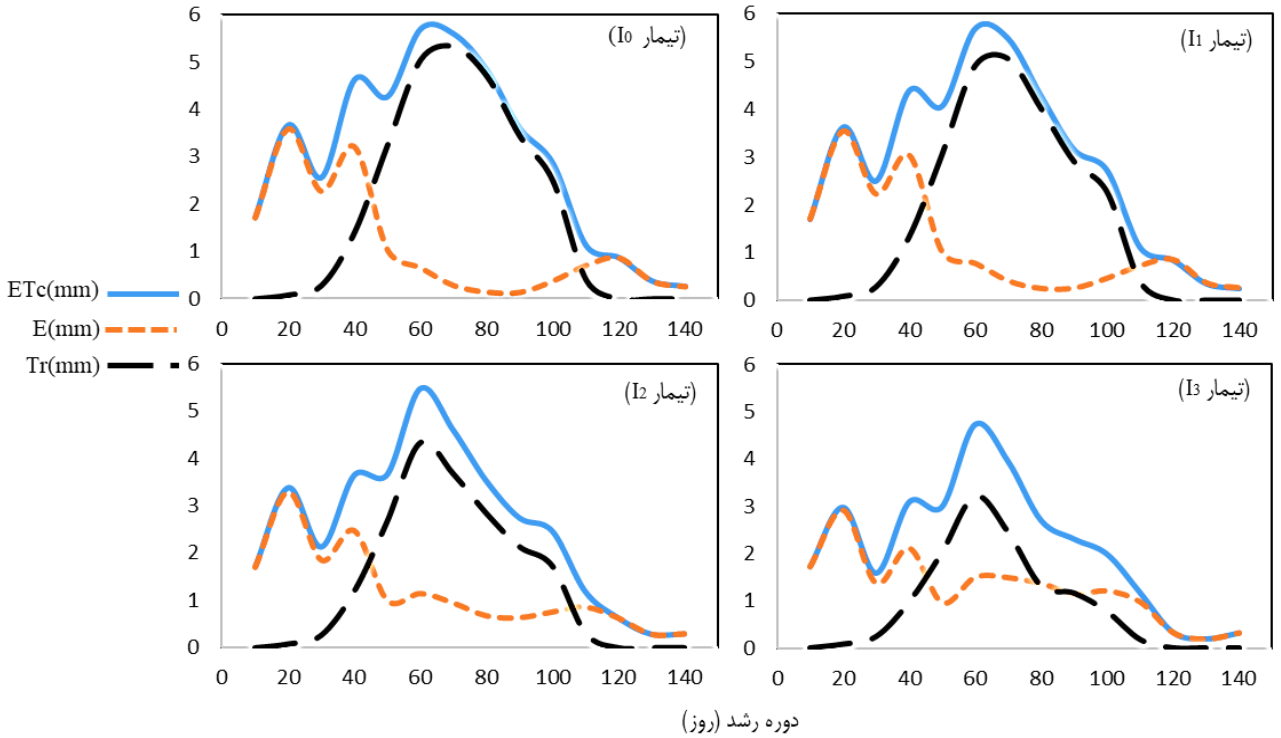
با عنایت به شکل (۲) و طی روزهای دوره رشد، مقادیر تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت به‌ترتیب در بازه‌ی ۰/۳-۳/۶، ۰- ۵/۳ و ۰/۳-۵/۷ میلی‌متر بر روز (در تیمارI_0)، ۰/۳- ۳/۵، ۰- ۵/۱ و ۰/۳-۵/۶ میلی‌متر بر روز (در تیمار I_1)، ۰/۳- ۳/۳، ۰- ۴/۳ و ۰/۳-۵/۵ میلی‌متر بر روز (در تیمار I_2) و ۰/۲- ۲/۹، ۰- ۳/۲ و ۰/۲-۴/۷ میلی‌متر بر روز (در تیمار I_3) قرار داشت. نتایج نشان داد در همه تیمارها بیش‌ترین مقدار تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت به ترتیب در دوره رشد اولیه، توسعه، توسعه و کمترین آن‌ها در دوره رشد پایانی (زمان پلاسیدگی و خشک شدن گیاه) اتفاق افتاد. علت نتایج به‌دست آمده این بود که در اوایل و اواخر دوره رشد، تعرق گیاه ناچیز و سهم بیشتر تبخیر-تعرق متعلق به جزء تبخیر بود. پوشیدگی کم سطح زمین توسط اندام‌های گیاه در ابتدای دوره رشد و کاهش هدایت روزنه‌ای در پایان دوره رشد، از دلایل کاهش تعرق و افزایش تبخیر در دوره‌های مذکور بود. اما در اواسط دوره رشد به‌علت توسعه‌ی اندام‌های گیاهی و سایه‌اندازی کامل گیاه بر روی سطح خاک، سهم بیشتر تبخیر-تعرق متعلق به جزء

1 Readily available water

تعرق گیاه بود. در این دوره، هم‌پوشانی سطوح برگ‌ها در گیاهان همجوار مانع تابش مستقیم نور خورشید به سطح خاک شد و سهم جزء تبخیر ناچیز بود. از سوی دیگر، کاهش مقدار آب آبیاری (کم‌آبیاری) در طول دوره رشد نیز، بر پاسخ اجزای تبخیر-تعرق ذرت به تنش آبی مؤثر بود. نتایج نشان داد از سطح آبیاری I_0 تا I_3 (اعمال کم‌آبیاری)، مقدار تعرق گیاه در دوره‌های اولیه، توسعه و میانی رشد به‌ترتیب ۱۱، ۴۲ و ۶۹ درصد کاهش یافت و در دوره پایانی رشد، مقدار تعرق در همه تیمارها صفر بود. در این شرایط مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره‌های اولیه، توسعه و میانی رشد به‌ترتیب ۲۰ درصد کاهش، ۱۷ و ۲۵۳ درصد افزایش و در دوره پایانی رشد ۴۲ درصد کاهش یافت. نکته حائز اهمیت این بود که اگرچه تنش آبی اثر کاهشی بر مجموع تبخیر-تعرق گیاه داشت، ولی در دوره‌های توسعه و میانی رشد، اعمال تنش آبی اثر افزایشی بر سهم تبخیر داشت. در دوره‌ی توسعه‌ی گیاه از تیمار I_0 تا I_3، مقدار تبخیر-تعرق ذرت ۵۴/۵ میلی‌متر کاهش یافت که پاسخ تعرق به تنش آبی، مقدار ۶۳/۵ میلی‌متر کاهش و پاسخ تبخیر، مقدار ۹ میلیمتر افزایش بود. در این شرایط و در دوره میانی رشد، مقدار تبخیر-تعرق ذرت ۴۲/۴ میلی‌متر کاهش یافت که پاسخ تعرق به تنش آبی، مقدار ۷۶ میلی‌متر کاهش و پاسخ تبخیر به آن، مقدار ۳۳/۶ میلی‌متر افزایش بود. به‌طور کلی در اثر اعمال تنش آبی بر تبخیر-تعرق انجام شده طی دوره‌های توسعه و میانی رشد ذرت، به‌ترتیب سهم تعرق به‌مقدار ۱۵ و ۴۷ درصد کاهش و سهم تبخیر به‌مقدار ۱۵ و ۴۷ درصد افزایش یافت. اما در دوره های اولیه و پایانی رشد، به‌دلیل غالب بودن جزء تبخیر و ناچیز بودن جزء تعرق، تفاوتی در مقدار سهم اجزای تبخیر-تعرق حاصل نشد (شکل ۲). وجود مراحل حساس مانند گل‌دهی و بلال‌دهی ذرت در دوره میانی رشد باعث شد که تنش آبی بیشترین اثر خود را در کاهش سهم تعرق، در این دوره داشته باشد. در این شرایط و در فضای رقابتی بین اجزای تبخیر و تعرق برای اختصاص آب به خود، کاهش شدید مقدار تعرق در پارامتر تبخیر-تعرق، از طریق افزایش سهم تبخیر جبران شد. تفسیر آن به‌این صورت بود که در تیمارهای با تنش زیاد، آب آبیاری قبل از ذخیره شدن در عمق خاک، صرف خیس کردن سطح خاک می‌شد و از آنجایی‌که توان تبخیرکنندگی اتمسفر پس از آبیاری بیشتر بود، لذا نرخ تبخیر نسبت به نرخ تعرق افزایش یافت. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت در چین گزارش شد که مقدار تبخیر از سطح خاک در اوایل دوره رشد ذرت بسیار زیاد بود. توصیه شد که می‌توان با اتخاذ تدابیر مناسب (مانند مالچ کردن سطح خاک)، موجب کاهش هدر رفت آب از طریق تبخیر و افزایش تعرق گیاهی شد (Zhou et al., 2017). در پژوهش دیگر، در ارزیابی اجزای تبخیر-تعرق ذرت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در منطقه کرج گزارش شد که مقدار تبخیر از سطح خاک در دوره های اولیه، توسعه و میانی رشد به‌ترتیب برابر با ۶۵، ۵۸/۸۳ و ۳۴/۹۸ میلی متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) و ۷۳/۰۲، ۶۵/۷۳ و ۳۷/۳۲ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی) بود. همچنین مقدار تعرق گیاهی در دوره‌های رشد مذکور به‌ترتیب برابر با ۱۲/۷۸، ۸۱/۳۱ و ۱۱۸/۹۵ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی) و ۵/۸۸، ۷۶/۸۲ و ۱۱۸/۲۱ میلی‌متر (در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی) گزارش شد (Dehghanisanij et al., 2018). در پژوهش مذکور مانند پژوهش حاضر، راه‌کار مدیریتی برای کاهش پارامتر تبخیر از سطح خاک (انتخاب سیستم آبیاری زیرسطحی) اتخاذ شده است. از پژوهش اخیر این‌طور نتیجه‌گیری می‌شود که رَوَند تغییرات مقدار پارامترهای تبخیر و تعرق در دوره رشد ذرت، با نتایج پژوهش کنونی مطابقت داشت. همچنین در سیستم آبیاری زیر سطحی که مدیریت بهتری در جهت کاهش پارامتر تبخیر از سطح خاک انجام می‌گیرد، افزایش تعرق گیاه نسبت به سیستم آبیاری سطحی، به‌خصوص در مراحل اولیه رشد مشاهده می‌شود. به‌طور کلی در این بخش از پژوهش مشخص شد که تنش آبی بر جزء مطلوب تبخیر-تعرق ذرت (تعرق)، تأثیر کاهشی و بر جزء نامطلوب آن (تبخیر) تأثیر افزایشی داشت و این ویژگی در دوره های حساس رشد، آشکارتر بود.

در کل دوره رشد ذرت، تأثیر اِعمال تنش آبی در سطوح مختلف آبیاری بر مقدار تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقادیر تجمعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر در کل دوره‌ی رشد به‌ترتیب برابر با ۴۲۴/۵، ۲۶۷/۳ و ۱۵۷/۲ میلی‌متر (در تیمارI_0)، ۴۰۵/۸، ۲۴۵/۴ و ۱۶۰/۴ میلی‌متر (در تیمارI_1)، ۳۶۰/۵، ۱۹۴/۴ و ۱۶۶/۱ میلی متر (در تیمارI_2) و ۳۰۳/۷، ۱۲۵/۵ و ۱۷۸/۲ میلی‌متر (در تیمارI_3) بود (شکل‌های ۳ و ۴). نتایج نشان داد که اعمال تنش آبی در کل دوره رشد ذرت، باعث کاهش تبخیر-تعرق، کاهش جزء تعرق و افزایش جزء تبخیر شد. از سطح آبیاری I_0 تا I_3، مقادیر تبخیر-تعرق و تعرق به‌ترتیب ۲۸/۴ و ۵۳ درصد کاهش و جزء تبخیر به‌مقدار ۱۳/۴ درصد افزایش یافت. یعنی در شرایط اعمال کم‌آبیاری، علی‌رغم کاهش تعرق گیاه، سهم زیادی از آب آبیاری به تبخیر از سطح خاک اختصاص می‌یابد. زیرا در مقادیر بسیار کم آبیاری که صرفاً سطح خاک مرطوب می‌شود، توان اتمسفر در تبخیر آب خاک، بر نرخ جذب و مصرف آب توسط گیاه غلبه می‌نماید. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت در کشور چین، اجزای تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاه، با استفاده از روش

میکرولایسیمتری در سیستم آبیاری جویچه‌ای برآورد شد. نتایج نشان داد در کل دوره رشد، ۳۰ تا ۴۰ درصد از مقدار کل تبخیر-تعرق گیاه ذرت به جزء تبخیر و مابقی به جزء تعرق گیاه اختصاص یافت (Ferreira et al., 2012). در پژوهش دیگر توانایی مدل Aqua Crop در پیش‌بینی سهم مجزای تبخیر-تعرق گندم در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری، ارزیابی شد. نتایج نشان داد که سهم تعرق در آبیاری کامل برابر با ۷۱ درصد و سهم تبخیر برابر با ۲۹ درصد بود. اما با اعمال کم‌آبیاری در دو مرحله رشد، سهم تعرق و تبخیر به‌ترتیب ۶۴ و ۳۶ درصد مشاهده شد. یعنی با اعمال تنش آبی، نسبت به شریط آبیاری کامل، مقدار تعرق گیاه کاهش و مقدار تبخیر از سطح خاک افزایش یافت (Mirzaei Alamooti and Ramezani Etedali, 2017). پژوهشی نیز در سال ۲۰۱۱ و در دشت‌های آمریکا با هدف برآورد مقادیر تبخیر از سطح خاک، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۵، ۷۵، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه انجام شد. مقادیر پارامترهای مذکور به‌ترتیب ۷۹، ۵۳۱ و ۶۱۰ میلی‌متر (در سطح آبیاری کامل) و ۹۴، ۲۵۴ و ۳۴۸ میلی‌متر (در سطح آبیاری ۴۰ درصد) برآورد شد. نتایج نشان داد با اعمال تنش آبی تا حد ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار تبخیر از سطح خاک ۱۹ درصد افزایش، مقدار تعرق گیاه ۲۰۹ درصد کاهش و مقدار کل تبخیر-تعرق ۱۷۵ درصد کاهش یافت (Trout and Dejonge, 2017).

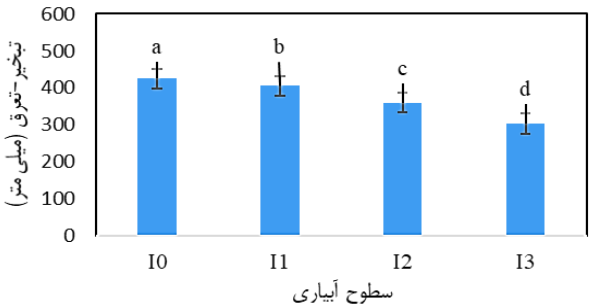


شکل ۲- مقادیر تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری در دوره رشد

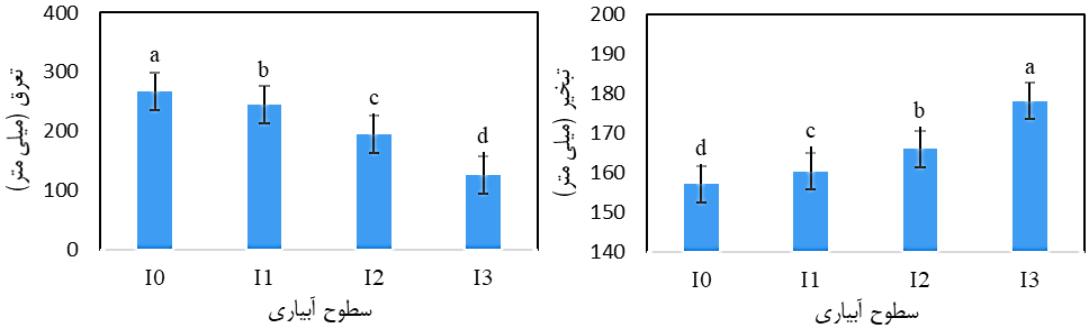
جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		تبخیر	تعرق	تبخیر-تعرق
تکرار	۲	۰/۷۱۶^{ns}	۰/۳۰۱^{ns}	۱/۶۸۷^{ns}
سطوح آبیاری	۳	۲۵۷/۷**	۱۱۹۰۰**	۸۶۸۵**
خطا	۶	۱/۰۱	۱/۴۱۷	۰/۴۰۱
ضریب تغییرات (٪)		۵/۱	۷/۳	۹/۲

ns و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد



شکل ۳-تبخیر-تعرق تجمعی ذرت در سطوح مختلف آبیاری

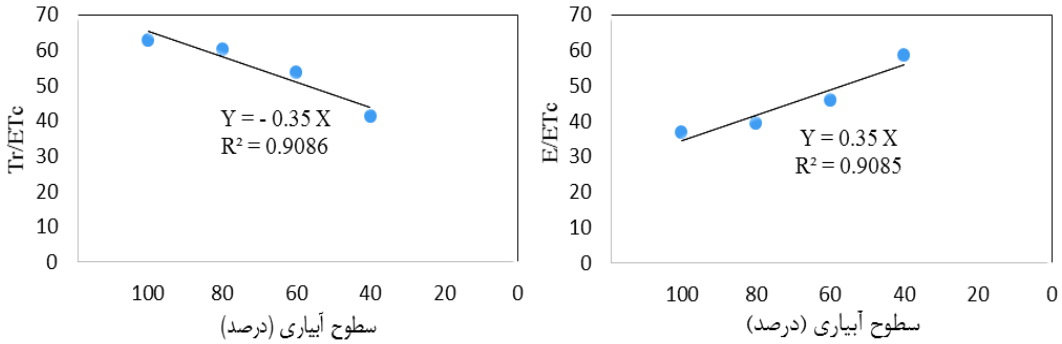


شکل ۴- تفکیک تعرق و تبخیر تجمعی ذرت در سطوح مختلف آبیاری

راندمان اجزای تبخیر-تعرق

در شکل (۵) سهم تعرق و تبخیر در پارامتر تبخیر-تعرق، نسبت به سطوح مختلف آبیاری نشان داده شد. سهم تعرق و تبخیر به‌ترتیب برابر با ۶۳ و ۳۷ درصد (در تیمار I_0)، ۶۰/۵ و ۳۹/۵ درصد (در تیمار I_1)، ۵۴ و ۴۶ درصد (در تیمار I_2) و ۴۱ و ۵۹ درصد (در تیمار I_3) بود. اعداد مذکور نشان‌دهنده‌ی راندمان اجزای تبخیر-تعرق در سطوح مختلف آبیاری بود. لازم به‌ذکر است که نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ذرت (Tr/ET)، نشان‌دهنده راندمان مصرف آب توسط گیاه می‌باشد. در شرایط اِعمال تنش آبی، راندمان مصرف آب و تبخیر از خاک به‌ترتیب ۳۵ درصد کاهش و ۳۵ درصد افزایش داشت. از سوی دیگر، دوره‌ی رشد ذرت نیز بر نسبت تعرق به تبخیر-تعرق (Tr/ET) مؤثر بود. به طوری که مقدار آن در دوره‌های رشد اولیه، توسعه، میانی و پایانی به‌ترتیب برابر با ۴/۵، ۷۴/۴، ۸۹ و ۰ درصد (تیمار I_0)، ۴/۵، ۷۳، ۸۵ و ۰ درصد (تیمار I_1)، ۴/۵، ۶۸، ۷۱ و ۰ درصد (تیمار I_2) و ۴/۵، ۵۸، ۴۲ و ۰ درصد (تیمار I_3) بود. در پژوهشی مشابه در فلات چین، اجزای تبخیر-تعرق ذرت مورد بررسی قرار گرفت. در دوره‌ی گل‌دهی تا بلوغ ذرت، متوسط تبخیر-تعرق و تعرق روزانه به‌ترتیب برابر با ۲/۶ و ۱/۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ذرت (Tr/ET) در دوره‌ی گل‌دهی تا بلوغ ذرت مقدار ۶۳/۳ درصد و در کل دوره‌ی رشد مقدار ۵۳ درصد گزارش شد. به‌طور کلی از مقدار Tr/ET ذرت در دوره‌های پایانی رشد کاسته شد. دلیل آن مربوط به بلوغ گیاه، زرد شدن و ریزش برگ‌های گیاه در دوره پایانی رشد بود که موجب کاهش تعرق شد (Zhou et al., 2017). در پژوهش دیگر در اراضی ماسه‌ای شمال چین، نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ذرت در دوره میانی رشد، مقدار ۶۶/۴ درصد گزارش شد (Tang et al., 2011). مقدار Tr/ET ذرت در دو پژوهش اخیر، به مقدار به‌دست آمده در تیمار I_0 در پژوهش کنونی، نزدیک بود. در تحقیق دیگر بر روی ذرت اعلام شد در زمانی که سطح خاک پوششی نداشت و گیاه تحت تنش آبی بود، نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق ذرت (E/ET) حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد افزایش یافت که با نتایج پژوهش کنونی مطابقت داشت (Gimenez et al., 2016). نتیجه کلی این‌که در سطوح تنش آبی زیاد (مانند آبیاری در حد ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه که ۶۰ درصد تنش آبی بر گیاه اعمال می‌شود) علاوه بر کاهش تبخیر-تعرق گیاه، راندمان مصرف آب توسط گیاه و به‌دنبال آن عملکرد محصول به‌شدت کاهش می‌یابد. بنابراین در مدیریت‌های کم‌آبیاری، با اعمال حد منطقی از تنش آبی و فراهم نمودن پوشش مناسب در سطح خاک، راندمان مصرف آب توسط گیاه افزایش خواهد یافت. همچنین توصیه می‌شود در مدیریت‌های کم آبیاری، به‌جای کاربرد حجم آب کم در دورهای آبیاری کوتاه، از حجم آب زیاد در دورهای آبیاری بلند مدت استفاده شود. زیرا حجم آب کم، بیشتر صرف جزء تبخیر از سطح خاک شده و کمتر به مصارف جذب و تعرق گیاه می‌رسد. اما در کاربرد حجم آب زیاد به‌علت امکان ذخیره آب در اعماق خاک، امکان افزایش سهم تعرق گیاه نسبت به سهم تبخیر وجود دارد. البته در کنار توصیه

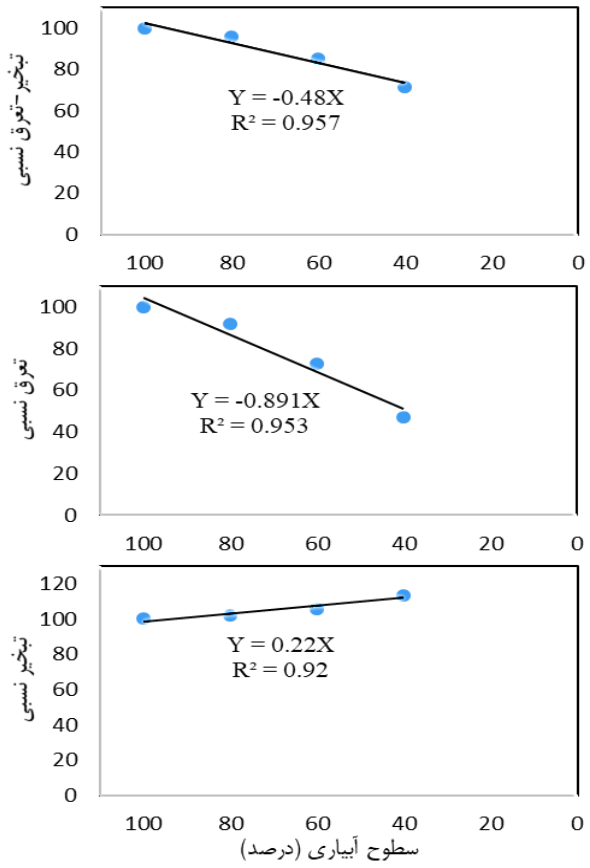
فوق، نوع ریشه گیاه، بافت خاک و شرایط اقلیمی منطقه نیز باید مد نظر قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، سایر تنش‌های محیطی (مانند تنش‌های شوری و حاصلخیزی) مؤثر بر کاهش تبخیر-تعرق گیاه نیز مورد مطالعه قرار گرفته و پاسخ اجزای تبخیر-تعرق نسبت به تنش‌های مذکور بررسی گردد.



شکل ۵-راندمان اجزای تعرق و تبخیر نسبت به سطوح مختلف آبیاری

ضرایب تنش آبی

در این پژوهش، پس از ثبت داده‌ها در سطوح مختلف آبیاری، اقدام به محاسبه ضرایب تنش آبی بر اساس روابط (۴) الی (۶) شد. با توجه به مقدار تنش وارده بر گیاه، مقادیر ضرایب تنش آبی برای پارامترهای تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر، متفاوت بود. از سطح آبیاری I_0 تا I_3، ضرایب تنش‌های تبخیر-تعرق (K_S)، تعرق (K_{S-Tr}) و تبخیر (K_{S-E}) به‌ترتیب در بازه‌ی ۱- ۰/۷۱، ۱- ۰/۴۷ و ۱-۱/۱۳ قرار داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که ضریب تنش تعرق نسبت به تبخیر-تعرق کاهش بیشتری داشت و برخلاف دو پارامتر مذکور، ضریب تنش تبخیر حالت افزایشی داشت. بر این اساس، شیب خطوط در شکل (۶) نشان داد که به‌ازای یک درصد کم‌آبیاری ذرت، به‌طور متوسط مقدار تبخیر-تعرق نسبی و تعرق نسبی ذرت به‌ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۸۹ درصد کاهش و تبخیر نسبی از سطح خاک به‌مقدار ۰/۲۲ درصد افزایش یافت. به‌طور کلی با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان برای سطوح مختلف آبیاری، مقادیر واقعی تبخیر-تعرق، تعرق و تبخیر را نسبت به شرایط استاندارد منطقه برآورد نمود. در پژوهشی مشابه بر روی ذرت در آمریکا، از سطح آبیاری ۱۰۰ تا ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار ضریب تنش تبخیر-تعرق در بازه‌ی ۱- ۰/۵۷ قرار داشت و به‌ازای یک درصد کم‌آبیاری ذرت، ۰/۷۲ درصد از مقدار تبخیر-تعرق نسبی کاهش یافت (Trout and Dejonge, 2017). در پژوهشی در جنوب ایران با اقلیم نیمه‌خشک (منطقه باجگاه)، تبخیر-تعرق ذرت در سطوح آبیاری $1/25\ ET_c$، $0/93\ ET_c$ و $0/62\ ET_c$ برآورد شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ضریب تنش تبخیر-تعرق در بازه‌ی ۱-۰/۵۸ بود و در شرایط تنش آبی، مقدار تبخیر-تعرق نسبی با شیب ۰/۶۵ کاهش یافت (Azizian and Sepaskhah, 2014). در پژوهشی در ترکیه، تبخیر-تعرق ذرت تحت تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۰ و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه، بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار ضریب تنش تبخیر-تعرق در بازه‌ی ۱-۰/۵۳ قرار داشت و شیب کاهش تبخیر-تعرق نسبی در شرایط مذکور، ۰/۷۲ بود (Ucak et al., 2016).



شکل ۶- تبخیر-تعرق نسبی، تعرق نسبی و تبخیر نسبی تحت مدیریت کم‌آبیاری ذرت

جدول ۳- تفکیک ضرایب مربوط به تأثیر تنش آبی بر اجزای تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق گیاه

	سطح آبیاری I_0	سطح آبیاری I_1	سطح آبیاری I_2	سطح آبیاری I_3
ضریب K_S	۱	۰/۹۶	۰/۸۵	۰/۷۱
ضریب K_{S-Tr}	۱	۰/۹۲	۰/۷۳	۰/۴۷
ضریب K_{S-E}	۱	۱/۰۲	۱/۰۶	۱/۱۳

نتیجه‌گیری

بررسی پاسخ اجزای تبخیر-تعرق گیاهان زراعی در شرایط اعمال تنش آبی، تأثیر مهمی بر مدیریت کم‌آبیاری گیاهان به‌همراه خواهد داشت. در این پژوهش، مقادیر تبخیر، تعرق و تبخیر-تعرق ذرت در دوره‌های مختلف رشد و تحت سطوح مختلف آبیاری برآورد شد. نتایج نشان داد از نظر دوره رشد، بیشترین مقدار تعرق در دوره توسعه و کم‌ترین آن در دوره‌های اولیه و پایانی رشد اتفاق افتاد. پوشیدگی کم سطح زمین توسط اندام‌های گیاه در ابتدای دوره رشد و کاهش هدایت روزنه‌ای در پایان دوره رشد، از دلایل کاهش تعرق و افزایش تبخیر از سطح خاک در دوره‌های مذکور بود. اما در اثر اعمال تنش آبی، مقدار تبخیر-تعرق و تعرق، کاهش و مقدار تبخیر از سطح خاک افزایش یافت، که این اثر در دوره های توسعه و میانی رشد نمایان‌تر بود. به‌طوری که با تغییر سطح آبیاری از I_0 به I_3 در دوره‌های مذکور، به‌ترتیب مقدار تبخیر-تعرق ۵۴/۵ و ۴۲/۴ میلی‌متر کاهش، مقدار تعرق ۶۳/۵ و ۷۶ میلی‌متر کاهش و مقدار تبخیر ۹ و ۳۳/۶ میلی‌متر افزایش داشت. بنابراین سهم تعرق در پارامتر تبخیر-تعرق به‌مقدار ۱۵ و ۴۷ درصد کاهش و سهم تبخیر به‌مقدار ۱۵ و ۴۷ درصد افزایش یافته بود. یعنی در شرایط کم‌آبیاری نسبت به آبیاری کامل، سهم بیشتری از آب آبیاری به تبخیر از سطح خاک اختصاص یافت. با اعمال تنش آبی در کل دوره رشد ذرت، نسبت تعرق به تبخیر-تعرق (Tr/ET) که نشان‌دهنده‌ی راندمان مصرف آب توسط گیاه بود، ۳۵ درصد کاهش و نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق (راندمان تبخیر) ۳۵ درصد افزایش یافت. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که در مدیریت‌های کم‌آبیاری، با اعمال حد مناسب از تنش آبی (مانند سطح آبیاری ۸۰ درصد) و فراهم نمودن پوشش مناسب در سطح خاک، امکان افزایش راندمان مصرف آب توسط گیاه وجود خواهد داشت. همچنین توصیه علمی پژوهش حاضر این است که انجام آبیاری کامل گیاه در یک نوبت، به‌جای تقسیط همان مقدار آب در دورهای آبیاری کوتاه‌تر، اولویت دارد. زیرا در دورهای آبیاری کوتاه، صرفاً به خیس کردن سطح خاک پرداخته می‌شود که نتیجه آن افزایش سهم تبخیر و کاهش سهم تعرق در حجم آب آبیاری می‌باشد.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد."

REFERENCES

Alizade, A. (2007). *Design of surface irrigation systems* (2th ed.). Mashhad

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation Drainage Paper No.56, 1-326.

Azizian, A. and Sepaskhah, A. R. (2014). Maize response to water, salinity and nitrogen levels: yield-water relation, water-use efficiency and water uptake reduction function. *Journal of Plant Production*. 8(2), 183- 214.

Chen, S., Zhang, X., Sun, H., Ren, T. and Wang, Y. (2010). Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. *Journal of Agricultural water management*. 97, 1126-1132.

Dehghanisanij, H., Kanani, E. and Akhavan, S. (2018). Evaluation of Corn Evapotranspiration and its Components and Relationship between Leaf Area Index and Components in Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems. *Journal of Water and Soil*. 31(6), 1549-1560. (In Farsi)

Ferreira, M. I., Silvestre, J., Conceic, N. and Malheiro, A. C. (2012). Crop and stress coefficients in rain fed and deficit irrigation vineyards using sap flow techniques. *Journal of Irrigation Science*. 30, 433–447

Gimenez, L., Petillo, M. G., Paredes, P. and Pereira, L. S. (2016). Predicting Maize Transpiration, Water Use and Productivity for Developing Improved Supplemental Irrigation Schedules in Western Uruguay to Cope with Climate Variability. *Journal of water*. 8(309), 1-22.

Greaves, G. and Wang, Y. (2017). Yield response, water productivity, and seasonal water production functions for maize under deficit irrigation water management in southern Taiwan. *Journal of Plant Production Science*. 20(4), 353-365.

Hamzei, J., Abbasi, H. and Vaziri Amjad, Z. (2017). Effect of different mulches on yield, yield components of grain maize and weeds dry weight. *Journal of crop improvement*. 19(1), 105-117.

Hayat, F., Ahmed, M. A., Zarebanadkouki, M., Javaux, M., Cai, G. and Carminati, A. (2020). Transpiration Reduction in Maize (Zea maysL) in Response to Soil Drying. *Journal of Frontiers in Plant Science*. 10, 1965.

Huner, N. P. and Hopkins, W. G. (2008). Introduction to Plant Physiology: Wiley, NewYork.

Jarollahi, R. (2001). Determination of readily available water in different stages of growth for grain corn in Karaj. *Journal of Soil and Water Sciences*. 15(2), 290-298. (In Farsi)

Mahrokh, A., Nabipoor, M., Roshanfekr, H. and Chookan, R. (2019). Response of some physiological traits of corn to drought stress and

application of cytokinin and auxin. *Journal of environmental stresses in crop sciences.* 12(1), 1-15. (In Farsi)

Mirzaei Alamooti, L. and Ramezani Etedali, H. (2017). Investigation the effect of different irrigation managements on the separate share of evapotranspiration using the Aqua Crop model. In: Proceedings of 14th National Conference of Irrigation and Evaporation Reduction, 25-26 Oct, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.

Najafabadi, Sh., Nori, M., Ghobadinia, M. and Danesh, A. (2017). The effects of different types of mulch on water use efficiency of SC 704 corn growth indexes. *Journal of water and soil*. 30(3), 727-737.

Saeidi, R., Soltani, M., Liaghat, A. and Sotoodenia, A. (2019). The Effect of Salinity on Maize Yield in Various Growth Stages. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(8), 1975-1983.

Saeidi, R., Ramezani Etedali, H., Sotoodenia, A., Kaviani, A. and Nazari, B. (2021). Salinity and Fertility Stresses modifies K_s and Readily Available Water Coefficients in Maize (Case study: Qazvin region). *Journal of Irrigation Science*. https://doi.org/10.1007/s00271-020-00711-1

Tang, X., Cui, J. Y., Zhao, X. Y., Yun, J. Y., Lian, J., Wang, X. Y. and Li, Y. Q. (2011). Characteristics of maize transpiration and soil evaporation in Horqinsandland. *Journal of Pratacultural Science*. 28, 788–792

Trout, T. J. and Dejonge, K. C. (2017). Water productivity of maize in the US high plains. *Journal of Irrigation Science*. 35, 251–266.

Ucak, A. B., Ayasan, T. and Turan, N. (2016). Yield, Quality and Water Use Efficiencies of Silage Maize as Effected by Deficit Irrigation Treatments. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 4(12), 1228-1239.

Zhou, S., Liu, W. and Lin, W. (2017). The ratio of transpiration to evapotranspiration in a rain fed maize field on the Loess Plateau of China. *Journal of Water Science and Technology*. 17(1), 221-228.