

Yield Reaction to Evapotranspiration of Maize, Under the Effect of Water Stress at Different Growth Stages (In Qazvin Plain)

REZA SAEIDI^{1*}, ABBAS SOTOODEHNIA²

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

(Received: Dec. 13, 2020- Revised: Jan. 2, 2021- Accepted: Feb. 13, 2021)

ABSTRACT

In this research, the yield and evapotranspiration of maize were investigated under water stress at different growth stages. The experiment was performed as factorial in a randomized complete block design. Treatments included m water stress at growth stages of 4-leaf, 12-leaf, flowering, grains doughing and a control treatment under full irrigation. Daily plant evapotranspiration was measured based on soil water balance in the root zone. The total amounts of evapotranspiration in the control and the proposed treatments (water stress at growth stages of 4-leaf, 12-leaf, flowering, grains doughing) were estimated to be 462, 401, 322.5, 304.5 and 355 mm, respectively. Similarly, the dry biomass of maize was equal to 15025, 14422, 11384, 7746 and 13416 (kg. ha⁻¹), respectively. Descending amounts of evapotranspiration and yield were correspond to control, 4-leaf, doughing, 12-leaf and flowering treatments, respectively. The reason was the sensitivity and different need of plant to transpiration, at different growth stages. To evaluate the yield response to maize evapotranspiration, the value of K_y coefficient in the mentioned growth stages was determined to be 0.3, 0.8, 1.42 and 0.46, respectively. At the flowering stage, the value of K_y coefficient was higher than one, which indicates that the yield of maize is reduced more than the evapotranspiration. The amount of water productivity in the control and stress treatments were calculated to be 3.25, 3.6, 3.53, 2.54 and 3.78 (kg.m⁻³), respectively. The highest to lowest values were corresponded to seeds doughing, 4-leaf, 12-leaf, control and flowering treatments, respectively. The results showed that the full irrigated plant (control treatment) was not a guarantee to increase the water productivity. Rather, by refusing to achieve the maximum yield and accepting the low reduction in yield, water productivity can be increased. Under these conditions, selecting the suitable plant growth stage for low irrigation was also important.

Keywords: K_y coefficient, Low irrigation, Stomatal resistance, Water productivity.

واکنش عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، تحت تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد (در دشت قزوین)

رضا سعیدی^{۱*} و عباس ستوده‌نیا^۱

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵)

چکیده

در این پژوهش، عملکرد و تبخیر-تعرق ذرت در شرایط اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد بررسی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارها شامل اعمال تنش آبی در مراحل رشد ۴برگی، ۱۲برگی، گل‌دهی، خمیری شدن دانه‌ها و یک تیمار شاهد تحت آبیاری کامل بود. تبخیر-تعرق روزانه گیاه بر اساس بیلان آب خاک در منطقه ریشه اندازه‌گیری شد. مقدار کل تبخیر-تعرق در تیمار شاهد و تیمارهای مذکور به ترتیب برابر با ۴۶۲، ۴۰۱، ۳۲۲/۵، ۳۰۴/۵ و ۳۵۵ میلی‌متر در مترمربع برآورد شد. به همین ترتیب مقدار عملکرد زیست‌توده خشک ذرت برابر با ۱۵۰۲۵، ۱۴۴۲۲، ۱۱۳۸۴، ۷۷۴۶ و ۱۳۴۱۶ کیلوگرم بر هکتار بود. نتایج نشان داد بیشترین تا کم‌ترین مقدار تبخیر-تعرق و عملکرد، به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد، ۴برگی، خمیری شدن، ۱۲برگی و گل‌دهی بود. علت آن، میزان حساسیت و نیاز متفاوت گیاه به انجام تعرق در مراحل مختلف رشد بود. برای بررسی پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، مقدار ضریب K_y در مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۰/۳، ۰/۸، ۱/۴۲ و ۰/۴۶ به دست آمد. در مرحله گل‌دهی، مقدار ضریب K_y بیشتر از عدد یک بود که بیانگر آن است که عملکرد ذرت نسبت به تبخیر-تعرق، کاهش بیشتری دارد. از سوی دیگر، مقدار بهره‌وری مصرف آب در تیمار شاهد و تیمارهای تحت تنش به ترتیب برابر با ۳/۲۵، ۳/۱۶، ۳/۵۴، ۲/۵۴ و ۳/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. بیشترین تا کمترین مقادیر آن به ترتیب مربوط به تیمارهای خمیری شدن دانه‌ها، ۴برگی، ۱۲برگی، شاهد و گل‌دهی بود. نتایج نشان داد آبیاری کامل گیاه (تیمار شاهد) تضمینی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب نبود بلکه با جلوگیری از دستیابی به حداکثر عملکرد و پذیرش اندکی کاهش محصول، می‌توان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد. در این شرایط، انتخاب مرحله‌ی مناسب رشد گیاه برای اعمال کم‌آبیاری نیز حائز اهمیت بود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، ضریب K_y ، کم‌آبیاری، مقاومت روزنه‌ای.

مقدمه

بحران کمبود منابع آب با کیفیت در بخش کشاورزی، باعث می‌شود پژوهش‌هایی در خصوص استفاده بهینه از آب و امکان اعمال کم‌آبیاری در کشت گیاهان زراعی صورت گیرد. در میان غلاتی که به صورت آبی کشت می‌شوند، ذرت به عنوان یک محصول استراتژیک، نقش به‌سزایی در تأمین خوراک دام و طیور هر کشور دارد. بررسی حساسیت مراحل مختلف رشد ذرت به کم‌آبی، می‌تواند راهنمای مؤثری برای اتخاذ مدیریت‌های کم‌آبیاری در طول دوره رشد آن باشد. مقاومت روزنه‌ای از جمله شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاهان به‌شمار می‌رود که در کنترل میزان رطوبت خارج‌شده از گیاه و مقدار CO_2 وارد شده به آن، نقشی تعیین‌کننده دارد. در فرایند تعرق، آب توسط گیاه از محیط خاک جذب شده و پس از عبور از آوندهای گیاهی به صورت بخار از روزنه‌ها خارج می‌شود. اگر آب کافی برای تعرق در دسترس نباشد،

مقدار مقاومت روزنه‌ای و دمای سطح برگ گیاه افزایش یافته و در نهایت روزنه‌های برگ مسدود می‌گردد (Seifi et al., 2014). در پژوهش‌های گذشته و در پاسخ به تنش آبی شدید، مقاومت روزنه‌ای گیاه ۷۰ تا ۷۵ درصد افزایش یافت. افزایش مقاومت روزنه‌ای و کاهش تعرق گیاه تحت شرایط تنش آبی، یک نوع سازگاری بود که گیاه برای کاهش از دست دادن آب اعمال می‌کرد (Fathi et al., 2017). در تحقیقی بر روی ذرت گزارش شد در شرایط کمبود رطوبت خاک (تنش آبی)، هورمون ABA به عنوان مکانیسم هورمونی وارد اندام‌های هوایی شده و به صورت یک سیستم هشداردهنده اولیه عمل نموده و باعث بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. در این شرایط گیاه با بستن روزنه‌های خود، اقدام به حفظ رطوبت و جلوگیری از اتلاف آب می‌کند. به طوری که افزایش دمای برگ و کاهش تثبیت CO_2 تاوان این عمل خواهد بود (Mahrokh et al., 2019). در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴، پژوهشی

حاصل این بود که به ازای هر واحد اُفت در میزان تبخیر-تعرق نسبی گیاه، اُفت عملکرد نسبی ۱/۱۴ واحد بود (Kiani and Saberi, 2015). تاکنون پژوهش‌های متنوعی در خصوص تأثیر تنش آبی بر عملکرد ذرت، در کل دوره و مراحل مختلف رشد صورت گرفته است. اما در مورد پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت تحت تأثیر حداکثر تنش آبی ممکن در مراحل مختلف رشد، پژوهش‌چندانی انجام نشده است. در پژوهش حاضر با اعمال پالس‌هایی جداگانه از تنش آبی در مراحل رشد گیاه، واکنش عملکرد نسبت به تبخیر-تعرق واقعی ذرت و بهره‌وری مصرف آب، در منطقه قزوین بررسی شد. از این رو در زمان کمبود آب با کیفیت در این منطقه، می‌توان کشت ذرت را با اعمال تنش آبی (کم‌آبیاری) انجام داد. در این شرایط انتخاب مرحله‌ی رشد مناسب (بهینه) برای اعمال تنش، می‌تواند موجب بروز کمترین خسارت در مقدار عملکرد محصول باشد.

مواد و روش‌ها

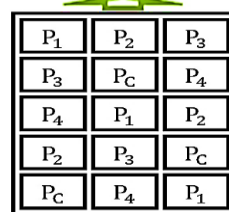
معرفی طرح

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ و در شهر قزوین، با موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه و صفر دقیقه و ۳۳ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۷ ثانیه عرض شمالی انجام شد. آب مورد نیاز برای آبیاری از آب زیرزمینی با هدایت الکتریکی ۰/۴۷ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیتته ۷/۲ تأمین شد. قبل از اجرای پژوهش، در ۵ نقطه از مزرعه و از اعماق ۳۰-۶۰، ۶۰-۳۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری، نمونه خاک تهیه شد. آنالیز شیمیایی و فیزیکی بر روی نمونه‌ها، توسط آزمایشگاه خاک‌شناسی معتبر انجام شد و نتایج آن در جدول (۱) ارائه شد. گیاه مورد مطالعه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود که در کرت‌هایی با ابعاد ۳×۳ متر و با فاصله ۲ متر از هم کاشته شد. هر کرت دارای پنج ردیف کشت جوچه‌ای با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از هم بود که به صورت سطحی آبیاری شد. بذرها با تراکم ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار در تاریخ اول تیر ماه کشت شد و زیست‌توده نهایی با هدف مصرف علوفه‌ای ذرت‌ها در تاریخ ۲۵ مهرماه برداشت شد. در طول دوره‌ی رشد گیاه، بارندگی اتفاق نیفتاد و نیاز آبی گیاه صرفاً از طریق آبیاری تأمین شد. بر اساس نتایج بررسی شیمیایی خاک، مصرف کودهای ازت (اوره)، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم، گوگرد و کود دامی به ترتیب به مقدار ۳۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار توسط آزمایشگاه خاک توصیه شد. کود اوره در طول دوره کشت و بقیه کودها قبل از کشت به خاک اضافه شد. تیمارها شامل یک تیمار شاهد و چهار تیمار اعمال تنش آبی تا حد آستانه پژمردگی موقت گیاه (انسداد جزئی روزنه برگ‌ها) بود. مقدار

بر روی ذرت تحت تیمارهای مختلف آبیاری در دانشگاه نبراسکا-لینکلن انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش آبیاری، تبخیر-تعرق واقعی گیاه افزایش یافت (Daran, 2015). در پژوهش دیگر مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت تنش آبی بررسی شد. نتایج نشان داد با انجام آبیاری در سطح ۵۵ درصد نیاز آبی ذرت (کم‌آبیاری)، مقدار تبخیر-تعرق نسبت به شرایط آبیاری کامل حدود ۳۳ درصد کاهش یافت (Trout and Dejonge, 2017). در پژوهش‌های گذشته گزارش شد که پاسخ گیاهان به تنش آبی، در مراحل مختلف رشد متفاوت بوده است. این مسئله در برنامه‌ریزی کم‌آبیاری دارای اهمیت زیادی بود (Al-Kaisi and Broner, 2009). به طوری که ذرت در مراحل رشد رویشی و رسیدگی، تحمل بیشتری به تنش آبی داشت. حساس‌ترین مرحله رشد ذرت مرحله گل‌دهی بود و کمترین عملکرد دانه در اثر کمبود رطوبت خاک، در آن مرحله اتفاق افتاد (Doorenbos and Kassam, 1979). در تحقیق دیگر اعلام شد دوره‌های بحرانی تنش آبی ذرت شامل مراحل استقرار گیاهچه، دوره رشد سریع، مرحله گرده افشانی و پرشدن دانه بود. دلیل آن فرایندهای فیزیولوژیکی متفاوت در مراحل رشد ذرت بود که باعث تأثیر متفاوت تنش بر روی عملکرد محصول می‌شد (Nielsen, 2002). در پژوهشی عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ تحت تأثیر چهار سطح آبیاری ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، بررسی شد. نتایج نشان داد در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی به دلیل کاهش رشد رویشی و به تأخیر افتادن گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیکی ذرت، کاهش عملکرد محصول معنی‌دار بود (Alinejadian Bidabadi et al., 2016). در تحقیق دیگر گزارش شد که افزایش تنش آبی قبل از مرحله گل‌دهی ذرت، بر مقدار عملکرد و بهره‌وری مصرف آب بسیار مؤثر بود. به طوری که افزایش تنش قبل از گل‌دهی، بر شدت کاهش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب نسبت به مراحل دیگر رشد افزود (Akbari Nodehi, 2018). به طور کلی نتایج نشان داد که تنش آبی بر کاهش مقدار تبخیر-تعرق و عملکرد گیاه ذرت مؤثر بوده است. بنابراین در شرایط تنش آبی می‌توان پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق گیاهان را نسبت به شرایط پتانسیل منطقه بررسی نمود، تا میزان اثرپذیری عملکرد نسبت به سطوح مختلف تنش مشخص گردد. برای این منظور ضریب K_y که نشان دهنده شیب کاهش عملکرد نسبی نسبت به کاهش تبخیر-تعرق نسبی بود، توسط دورنوس و کسام (۱۹۷۹) ارائه شد. در تحقیقی مقدار ضریب K_y برای کل دوره رشد گیاه ذرت در شرایط تنش آبی، عدد ۱/۲۵ برآورد شد (Doorenbos and Kassam, 1979). در تحقیق دیگر با اعمال تنش آبی از طریق تغییر دور آبیاری از ۶ به ۱۰ روز، مقدار ضریب K_y در کل دوره رشد ذرت عدد ۱/۱۴ محاسبه شد. مفهوم عدد

مقاومت روزنه‌ای برگ‌های ذرت به‌صورت روزانه و توسط دستگاه پرومتر مدل AP4 ساخت شرکت دلتاتی (ΔT) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری پارامتر مذکور، هر روز ساعت ۷ صبح از هر کرت سه گیاه و از هر گیاه سه برگ جوان انتخاب شد و میانگین داده‌ها ثبت شد. در تیمار شاهد (P_C) آبیاری در حد نیاز آبی گیاه (آبیاری کامل) و قبل از اتمام آب سهل الوصول خاک انجام شد. در تیمارهای دیگر، تنش آبی در چهار مرحله‌ی رشد ۴ برگی (P_1)، ۱۲ برگی (P_2)، گل‌دهی (P_3) و خمیری شدن دانه‌ها (P_4) اعمال شد. مراحل مذکور براساس مراحل رشد ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی گیاه ذرت انتخاب شد. به‌طور کلی تیمارها در سه تکرار و مجموعاً ۱۵ کرت، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اعمال شد (شکل ۱).

شمال جغرافیایی



شکل ۱- شبکه تیمارها در مزرعه

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

پارامتر	واحد	عمق خاک (سانتی‌متر)		
		۹۰-۶۰	۶۰-۳۰	۳۰-۰
هدایت الکتریکی	$dS.m^{-1}$	۰/۶۷	۰/۶	۰/۵۴
اسیدیته (PH)	-	۷/۸	۷/۶	۷/۶
کربن آلی	درصد	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۶
ازت	درصد	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۶
فسفر قابل جذب	p.p.m	۱	۱	۴
پتاسیم قابل جذب	p.p.m	۵۷	۶۰	۲۸۸
بافت خاک	-	SL	SL	SL
رس	درصد	۱۱	۸	۱۰
سیلت	درصد	۳۰	۲۴/۵	۳۳
شن	درصد	۵۹	۶۷/۵	۵۷
رطوبت وزنی حد ظرفیت زراعی	درصد	۲۳/۷	۲۴/۵	۲۳
رطوبت وزنی حد پژمردگی	درصد	۱۰/۶	۱۱	۱۰
چگالی ظاهری	$g.cm^{-3}$	۱/۵۱	۱/۵۵	۱/۵۳

تعیین زمان و حجم آبیاری

داد که برای جلوگیری از تخلیه آب از اندام‌های گیاهی، روزنه‌ی برگ‌های گیاهان تحت تنش به‌طور جزئی مسدود شد. این لحظه زمان رسیدن به نقطه پژمردگی موقت بود، به‌طوری که از نظر ظاهری نیز پژمردگی برگ‌های تحت تنش نسبت به شاهد، مؤید آن بود. بنابراین زمان آبیاری کرت‌های تحت تنش پس از اعمال حداکثر تنش ممکن بر گیاه (پژمردگی موقت) در نظر گرفته شد تا از پژمردگی دائم و مرگ گیاهان جلوگیری شود.

حجم آب آبیاری در هر تیمار، با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک تا حد FC، عمق ریشه گیاه و مساحت کرت، بر اساس رابطه (۱) تعیین شد. مقدار حجم آب ورودی به هر کرت با کنترل حجمی کنترل شد. آب از مخزن مورد نظر توسط شیلنگ به کرت‌ها انتقال داده شد و آبیاری در جویچه‌ها به‌صورت سطحی انجام شد. آب به‌شکل یکنواخت در سطح هر کرت توزیع شد و با توجه به محصور بودن کرت‌ها و عدم خروج آب از آن‌ها، بازده آبیاری صد در صد بود. به‌طور کلی، تاریخ و حجم آب آبیاری هر تیمار در جدول (۲) ارائه شد.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_m)}{100} \cdot \rho_b \cdot D_{rz} \cdot A \quad (\text{رابطه ۱})$$

V : حجم آب آبیاری (m^3)، θ_{FC} : درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت مزرعه، θ_m : درصد رطوبت وزنی خاک بلافاصله قبل از انجام آبیاری، ρ_b : چگالی ظاهری خاک ($g.cm^{-3}$)، D_{rz} :

در این پژوهش رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه گیاه، به‌صورت روزانه با دستگاه بازتاب زمانی امواج (TDR^1) مدل TRIME-FM اندازه‌گیری شد. قبل از شروع آزمایش، دستگاه TDR برای برآورد مقادیر مختلف رطوبت خاک مزرعه مورد ارزیابی قرار گرفت و اعداد ثبت شده توسط آن، نسبت به مقادیر واقعی رطوبت خاک واسنجی شد. از سوی دیگر برای حذف اثرات حاشیه‌ای، داده‌های

³- Permanent Wilting Point

¹- Time Domain Reflectometer

²- Field Capacity

واحد سطح، بر اساس بیلان آب خاک (شکل ۲) و از طریق رابطه (۲) برآورد شد.

$$(ET_c)_i = (\theta_{i-1} - \theta_i) \cdot \rho_b \cdot D_{rz} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

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

جدول ۲- زمان و مقدار آب آبیاری در هر تیمار

تیمار شاهد		مرحله ۴ برگی		مرحله ۱۲ برگی		مرحله گل‌دهی		مرحله خمیر شدن دانه	
تاریخ	حجم آبیاری (لیتر در کرت)	تاریخ	حجم آبیاری (لیتر در کرت)	تاریخ	حجم آبیاری (لیتر در کرت)	تاریخ	حجم آبیاری (لیتر در کرت)	تاریخ	حجم آبیاری (لیتر در کرت)
۹۴/۴/۱	۲۲۵	۹۴/۴/۱	۲۲۵	۹۴/۴/۱	۲۲۵	۹۴/۴/۱	۲۲۵	۹۴/۴/۱	۲۲۵
۹۴/۴/۶	۲۲۵	۹۴/۴/۶	۲۲۵	۹۴/۴/۶	۲۲۵	۹۴/۴/۶	۲۲۵	۹۴/۴/۶	۲۲۵
۹۴/۴/۱۲	۲۲۵	۹۴/۴/۱۲	۲۲۵	۹۴/۴/۱۲	۲۲۵	۹۴/۴/۱۲	۲۲۵	۹۴/۴/۱۲	۲۲۵
۹۴/۴/۱۹	۲۳۴	۹۴/۴/۱۹	۲۳۴	۹۴/۴/۱۹	۲۳۴	۹۴/۴/۱۹	۲۳۴	۹۴/۴/۱۹	۲۳۴
۹۴/۴/۲۶	۲۵۲	۹۴/۴/۲۶	۲۵۲	۹۴/۴/۲۶	۲۵۲	۹۴/۴/۲۶	۲۵۲	۹۴/۴/۲۶	۲۵۲
۹۴/۵/۳	۲۶۱	۹۴/۵/۳	۲۶۱	۹۴/۵/۳	۲۶۱	۹۴/۵/۳	۲۶۱	۹۴/۵/۳	۲۶۱
۹۴/۵/۱۲	۲۷۹	۹۴/۵/۱۲	۲۷۹	۹۴/۵/۱۲	۴۶۸	۹۴/۵/۱۲	۲۷۹	۹۴/۵/۱۲	۲۷۹
۹۴/۵/۲۱	۲۷۹	۹۴/۵/۲۱	۲۷۹	۹۴/۵/۲۱	۲۵۲	۹۴/۵/۲۱	۲۷۹	۹۴/۵/۲۱	۲۷۹
۹۴/۵/۲۹	۲۸۸	۹۴/۵/۲۹	۲۸۸	۹۴/۵/۲۹	۲۵۲	۹۴/۵/۲۹	۲۸۸	۹۴/۵/۲۹	۲۸۸
۹۴/۶/۶	۲۹۷	۹۴/۶/۶	۴۰۵	۹۴/۶/۶	۲۵۲	۹۴/۶/۶	۲۹۷	۹۴/۶/۶	۲۹۷
۹۴/۶/۱۳	۳۰۶	۹۴/۶/۱۳	۱۵۳	۹۴/۶/۱۳	۲۴۳	۹۴/۶/۱۳	۳۰۶	۹۴/۶/۱۳	۳۰۶
۹۴/۶/۱۹	۳۰۶	۹۴/۶/۱۹	۱۴۴	۹۴/۶/۱۹	۲۴۳	۹۴/۶/۱۹	۳۰۶	۹۴/۶/۱۹	۳۰۶
۹۴/۷/۱۱	۱۲۶	۹۴/۷/۱۱		۹۴/۷/۱۱		۹۴/۷/۱۱	۲۷۹	۹۴/۷/۱۱	۲۷۹
۹۴/۷/۱۹	۱۱۷	۹۴/۷/۱۹		۹۴/۷/۱۹		۹۴/۷/۱۹	۲۷۹	۹۴/۷/۱۹	۲۷۹

از سوی دیگر تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌های مربوط به مقدار تبخیر-تعرق و عملکرد زیست‌توده خشک محصول، توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

ضریب پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق (K_y) و بهره‌وری مصرف آب (WP')

در اثر تنش آبی وارده بر گیاه، تبخیر-تعرق و عملکرد گیاه نسبت به شرایط استاندارد (پتانسیل) منطقه کاهش می‌یابد. در این شرایط، کاهش نسبی عملکرد نسبت به کاهش نسبی تبخیر-تعرق گیاه، برای گیاهان مختلف و مراحل رشد آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد. حساسیت مطلب فوق با استفاده از ضریب K_y تبیین شده و از طریق رابطه (۳) قابل محاسبه است (Doorenbos and Kassam, 1979).

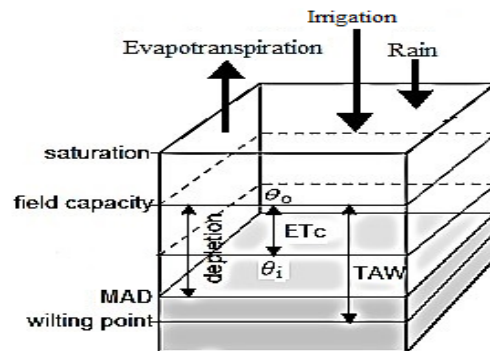
$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_{max}} \right) \quad (\text{رابطه } ۳)$$

K_y : ضریب پاسخ عملکرد ذرت به تبخیر-تعرق، Y_a : عملکرد زیست‌توده خشک ذرت در کرت تحت تنش (kg)، Y_{max} : عملکرد زیست‌توده خشک ذرت در کرت شاهد (kg)، ET_a : مجموع تبخیر-

عمق ریشه گیاه (m) و A: مساحت کرت (m^2).

برآورد تبخیر-تعرق

در فاصله‌ی بین دو آبیاری، مقدار رطوبت روزانه خاک در مرکز هر کرت و در منطقه ریشه گیاه اندازه‌گیری شد. با توجه به عدم وجود بارندگی در دوره کشت و نبود زهکشی یا جریان‌های ترجیحی در عمق خاک، روند کاهش رطوبت خاک صرفاً متأثر از فرایند تبخیر-تعرق گیاهان بود. بنابراین مقدار تبخیر-تعرق گیاهان در

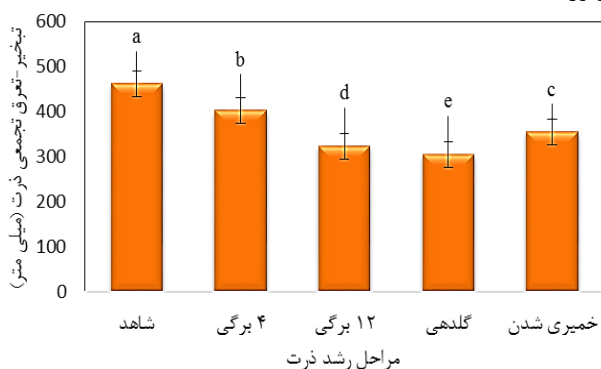


شکل ۲- بیلان رطوبتی خاک تحت تأثیر فرایند تبخیر-تعرق گیاه

اندازه‌گیری عملکرد محصول و تحلیل آماری

پس از رسیدگی بیولوژیکی ذرت‌ها، در تاریخ ۲۵ مهرماه عملیات برداشت محصول انجام شد. با توجه به هدف برداشت علوفه‌ای ذرت، بوته‌های هر کرت از کف زمین بریده شد و برای خشک شدن به آزمایشگاه منتقل شد. به این صورت که بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل گرمخانه قرار داده شد و در دمای ۷۲ درجه به طور کامل خشک شد. وزن کل بوته‌های خشک شده در واحد سطح، به عنوان عملکرد زیست‌توده خشک ذرت در نظر گرفته شد.

مراحل قبل و بعد از مرحله‌ی گل‌دهی، عملیات آبیاری انجام شد. از طریق بستن بیلان آب در عمق ریشه، مقدار تبخیر-تعرق برآورد شد. بیشترین مقدار تبخیر-تعرق به مقدار ۴۹۶ میلی‌متر، در تیمار تخلیه‌ی رطوبتی ۳۰ درصد قبل و ۹۰ درصد بعد از مرحله‌ی گل‌دهی رخ داد. کمترین مقدار تبخیر-تعرق نیز به مقدار ۳۴۲ میلی‌متر مربوط به معکوس حالت فوق بود. نتایج نشان داد به علت افزایش حساسیت در مرحله گل‌دهی ذرت، اعمال تنش آبی در قبل از این مرحله، باعث کاهش ۳۰ درصدی مقدار تبخیر-تعرق شد (Akbari Nodehi, 2018). در پژوهش حاضر نیز اعمال تنش آبی در مرحله گل‌دهی، باعث کاهش ۳۴ درصدی مقدار تبخیر-تعرق شد و از این نظر مشابه نتایج پژوهش‌های گذشته بود. در یک تحقیق چهار ساله در دشت‌های مرکزی آمریکا، مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۵، ۷۵، ۷۰، ۵۵ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد اعمال کم‌آبیاری (تنش آبی) در طول دوره رشد گیاه، باعث کاهش مقدار تبخیر-تعرق ذرت نسبت به شرایط آبیاری کامل شد. به طوری که برای تیمارهای آبیاری ۱۰۰ تا ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه، مقدار تبخیر-تعرق ذرت طی چهار سال زراعی (۲۰۰۸-۲۰۱۱) به ترتیب در بازه‌ی ۶۳۵-۴۳۱، ۶۳۴-۳۷۹، ۶۱۶-۳۵۵ و ۶۴۸-۳۶۸ میلی‌متر قرار داشت (Trout and Dejonge, 2017). در تحقیقی در تایوان جنوبی، تبخیر-تعرق ذرت در سطوح آبیاری کامل و کم آبیاری شامل نسبت ۸۳، ۶۷، ۵۰ و ۳۳ درصد آبیاری کامل بررسی شد. نتایج نشان داد در سال زراعی ۲۰۱۵-۲۰۱۶، مجموع تبخیر-تعرق ذرت در تیمارهای مذکور به ترتیب برابر با ۳۲۵، ۳۷۵، ۲۷۵ و ۲۲۵ میلی‌متر بود (Greaves and Wang, 2017). تحقیق دیگر در ایالت نبراسکا، مقدار تبخیر-تعرق ذرت تحت سطوح مختلف کم‌آبیاری و آبیاری کامل در بازه‌ی ۴۸۱ الی ۶۳۴ برآورد شد (Djaman et al., 2013).



شکل ۳- تبخیر-تعرق تجمعی ذرت در شرایط اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد

عملکرد محصول

در این پژوهش تأثیر اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد، بر

تعرق ذرت در کرت تحت تنش ET_{max} (mm): مجموع تبخیر-تعرق ذرت در کرت شاهد (mm).

برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب، مقدار حجم آب مصرف شده برای تأمین کمبود رطوبت خاک تا حد ظرفیت مزرعه، در کل دوره کشت برای هر تیمار جمع‌شد. سپس از تقسیم وزن عملکرد زیست‌توده خشک محصول بر حجم آب مصرفی، بهره‌وری مصرف آب برآورد شد (رابطه ۴).

$$WP = \frac{Y}{V} \quad (\text{رابطه ۴})$$

WP: بهره‌وری مصرف آب $(kg \cdot m^{-3})$; Y: عملکرد زیست‌توده

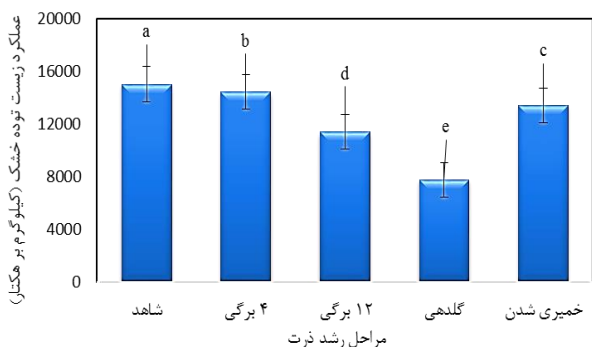
خشک ذرت $(kg \cdot ha^{-1})$; V: مجموع حجم آب آبیاری مصرف شده در کل دوره رشد $(m^3 \cdot ha^{-1})$

نتایج و بحث

تبخیر-تعرق

نتایج بررسی مقادیر تبخیر-تعرق در تیمارهای مختلف نشان داد تنش آبی باعث کاهش مقدار تبخیر-تعرق نسبت به شرایط استاندارد (پتانسیل) منطقه شد. تأثیر اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد بر مقدار تبخیر-تعرق ذرت، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مجموع تبخیر-تعرق ذرت در تیمار شاهد و تیمارهای مرحله رشد ۴برگی، ۱۲برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها به ترتیب برابر با ۴۶۲، ۴۰۱، ۳۲۲/۵، ۳۰۴/۵ و ۳۵۵ میلی‌متر در واحد سطح بود (شکل ۳). بر اساس نتایج به‌دست آمده اعمال حداکثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد ذرت، تأثیر متفاوتی بر مقدار تبخیر-تعرق تجمعی گیاه داشت. بیشترین تا کم‌ترین مقدار تبخیر-تعرق به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد، ۴برگی، خمیری شدن، ۱۲برگی و گل‌دهی بود. به طوری کلی مقدار کاهش تبخیر-تعرق در مراحل رشد ۴برگی، ۱۲برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه به ترتیب ۱۳/۲، ۳۰/۲، ۳۴/۱ و ۲۳/۲ درصد نسبت به گیاه شاهد بود. مقادیر تبخیر-تعرق نشان داد که از زمان اعمال تنش آبی (انجام آب سهل‌الوصول خاک) تا انسداد روزنه‌ها، مقدار کاهش تبخیر-تعرق گیاه، در همه‌ی مراحل رشد به اندازه‌ای یکسان نبوده است. در این خصوص، بررسی منحنی KC (ضریب گیاهی تبخیر-تعرق در دوره رشد) نیز این نکته را یادآوری کرد که مقدار تبخیر-تعرق ذرت در طول دوره رشد روند یکسانی ندارد. به طوری که در دوره میانی رشد دارای بیشترین مقدار و در دوره‌های ابتدایی و انتهایی رشد مقادیر کمتری داشت. بنابراین میزان حساسیت و نیاز متفاوت گیاه به انجام تبخیر-تعرق در مراحل مختلف رشد ذرت، از علل کاهش متفاوت تبخیر-تعرق بوده است. در تحقیقی مشابه بر روی ذرت در استان

را بر کاهش عملکرد ذرت داشت، از این رو نتایج به دست آمده مشابه نتایج پژوهش حاضر بود. در تحقیق دیگر، مقدار عملکرد ماده خشک ذرت علوفه‌ای در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، به ترتیب ۲۱۵۶۰، ۱۹۵۰۰ و ۱۲۵۶۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (Saeidinia et al., 2019). در تحقیقی تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری در شرایط قبل و بعد از گل‌دهی ذرت بررسی شد. در این شرایط، مقدار عملکرد محصول در منطقه مازندران از ۵۳۴۲ تا ۱۴۴۶۱ کیلوگرم بر هکتار متغیر بود. وقوع تنش آبی هم‌زمان با تقسیم میوزی در گل تاجی باعث عقیم شدن دانه‌های گرده شد. لذا از طول شدن ابریشم‌ها در بلال جلوگیری شد و در نتیجه کاهش شدید عملکرد محصول اتفاق افتاد (Akbari Nodehi, 2018). در تحقیق دیگر در غرب ترکیه، مقدار عملکرد ذرت بین ۲۸۸۰ تا ۱۱۳۴۰ کیلوگرم بر هکتار برآورد شد (Dagdelin et al., 2006). در پژوهشی نیز با اعمال کم‌آبیاری در سطوح ۸۳، ۶۷، ۵۰ و ۳۳ درصد آبیاری کامل، مقدار عملکرد دانه ذرت به ترتیب ۸/۶، ۱۰/۵، ۲۵/۱ و ۳۷/۷ درصد کاهش یافت (Greaves and Wang, 2017).



شکل ۴- عملکرد زیست‌توده خشک ذرت در شرایط اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد

ضریب پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق (K_y)

در این پژوهش، کاهش مقادیر تبخیر-تعرق و عملکرد زیست‌توده ذرت تحت تأثیر اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد، ثبت شد. برای بررسی پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق در شرایط تنش آبی، ضریب K_y با استفاده از رابطه (۳) برآورد شد. مقدار ضریب K_y در مراحل رشد ۴ برگگی، ۱۲ برگگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها به ترتیب برابر با ۰/۳، ۰/۸، ۱/۴۲ و ۰/۴۶ به دست آمد (شکل ۵). نتایج نشان داد پاسخ عملکرد به تبخیر-تعرق ذرت، در مراحل مختلف رشد متفاوت بود و در مراحل حساس رشد، مقدار ضریب K_y افزایش یافت. به طوری که در مرحله گل‌دهی ذرت، مقدار ضریب K_y بیشتر از عدد یک شد. شرایط مذکور (ضریب K_y بزرگ‌تر از یک)، نشان‌دهنده این بود که عملکرد ذرت نسبت به

مقدار عملکرد زیست‌توده خشک ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار عملکرد خشک ذرت در تیمار شاهد و تیمارهای مرحله رشد ۴ برگگی، ۱۲ برگگی، گل‌دهی و شیرگی شدن دانه‌ها به ترتیب برابر با ۱۵۰۲۵، ۱۴۴۲۲، ۱۱۳۸۴ و ۷۷۴۶ کیلوگرم بر هکتار بود (شکل ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در طرح

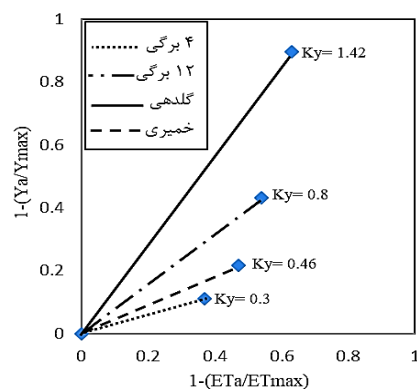
تابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد زیست‌توده خشک	تبخیر-تعرق
تکرار	۲	۱۱۰/۶ ^{ns}	۰/۱۱۴ ^{ns}
مراحل رشد	۴	۸۴۴۹×۱۰ ^۴ **	۳۸۱۳۶**
خطا	۸	۱۵/۶۱	۰/۵۷۴

ns و **: به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد

بیشترین تا کمترین مقدار عملکرد زیست‌توده خشک به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد، ۴ برگگی، خمیری شدن دانه‌ها، ۱۲ برگگی و گل‌دهی بود. به طوری کلی مقدار کاهش عملکرد زیست‌توده خشک در مراحل رشد ۴ برگگی، ۱۲ برگگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه به ترتیب ۴، ۲۴/۲، ۴۸/۴ و ۱۰/۷ درصد نسبت به گیاه شاهد بود. حساسیت متفاوت ذرت به تنش آبی در مراحل مختلف رشد، دلیل مطمئنی برای نتایج به دست آمده بود. کمبود آب در مراحل اولیه رشد، تأثیر چندانی بر مقدار زیست‌توده نهایی ذرت نداشت و از نظر زمانی امکان جبران خسارت در مراحل بعدی رشد وجود داشت. اما در مراحل توسعه و میانی رشد به علت گسترش سریع اندام‌های گیاهی و نیاز آبی بالا، تأثیر تنش آبی بر عملکرد چشمگیر بود و فرصتی نیز برای جبران آن موجود نبود. تنش آبی در زمان گل‌دهی باعث اختلال در عمل گرده‌افشانی، عقیم شدن گیاه و مانعی در مسیر تولید بلال و دانه ذرت بود. در مرحله خمیری شدن دانه، تقریباً دانه‌ها به آستانه پُر شدن و رسیدگی بیولوژیک نزدیک شده بودند. بنابراین تنش آبی در مرحله نهایی رشد، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد زیست‌توده ذرت نگذاشت. در پژوهش مشابه گزارش شد که تنش آبی در اوایل رشد رویشی ذرت، تولید ماده خشک گیاه را به مقدار کمی کاهش داد. ولی در اواخر رشد و در مرحله گل‌دهی، تأثیر زیادی بر کاهش شاخص رشد گیاه داشت (Pandey et al., 2000). در تحقیقی مقدار کاهش عملکرد بیولوژیکی ذرت تحت تأثیر تنش آبی در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و دانه‌بندی به ترتیب ۳۲/۸۲، ۳۸/۰۹ و ۱۸/۴۹ درصد بود. اعمال تنش آبی در مرحله دانه‌بندی و گل‌دهی به ترتیب کمترین و بیشترین اثر را بر مقدار عملکرد بیولوژیکی ذرت داشت (Mohammadi Behmadi and Armin, 2017). در تحقیق مذکور اعمال تنش آبی در مرحله گل‌دهی بیشترین اثر

خاک تا حد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد. واکنش زیست توده خشک ذرت به مقدار حجم آب مصرفی، نشان دهنده بهره‌وری مصرف آب در دوره‌ی رشد گیاه بود. در این پژوهش مقدار بهره‌وری مصرف آب در تیمار شاهد و تیمارهای مرحله رشد ۴برگی، ۱۲برگی، گل‌دهی و شیرگی شدن دانه‌ها به ترتیب برابر با ۳/۲۵، ۳/۶، ۳/۵۳، ۲/۵۴ و ۳/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب بود (شکل ۶). بیشترین تا کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب به ترتیب مربوط به تیمارهای خمیری شدن دانه‌ها، ۴برگی، ۱۲برگی، شاهد و گل‌دهی بود. همچنین بین دو پارامتر عملکرد زیست توده خشک ذرت و بهره‌وری مصرف آب، تابع $WP = -5 \times 10^{-8} Y^2 + 0.001 Y - 4.463$ با ضریب همبستگی ۰/۹۴۹، برازش داده شد (شکل ۷). نتایج نشان داد اثر تنش آبی در مراحل مختلف رشد یکسان نبود و آبیاری کامل گیاه (تیمار شاهد) تضمینی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب نبود. بلکه با خودداری از دستیابی به عملکرد پتانسیل گیاه در منطقه (حداکثر عملکرد) و پذیرش اندکی کاهش محصول، می‌توان امکان افزایش بهره‌وری مصرف آب را فراهم نمود. لذا در شرایطی که اهمیت مصرف آب بیش از افزایش تولید محصول بود، استفاده از تابع مذکور در جهت مصرف بهینه‌ی آب توصیه شد. برای یافتن عملکرد و بهره‌وری بهینه مصرف آب (رأس منحنی)، از تابع ارائه شده در شکل (۷) مشتق گرفته و مساوی صفر قرار داده شد. پس از حل رابطه‌ی حاصل، مشخص شد که اعمال تنش آبی (کم آبیاری) در حوالی مرحله‌ی خمیری شدن دانه‌ها، منجر به تولید بهینه محصول از لحاظ بهره‌وری مصرف آب شد. بنابراین اعمال کم آبیاری در مرحله‌ی رشد مذکور، راه‌کار مناسبی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب بود. در تحقیقی مشابه بر روی ذرت، بیشترین بهره‌وری مصرف آب زمانی حاصل شد که تنش آبی در مرحله رشد رویشی اعمال شد. همچنین بیشترین کاهش عملکرد در اثر تنش آبی، در مرحله گل‌دهی و گرده افشانی ذرت اتفاق افتاد (Mansouri Far et al., 2010). در تحقیقی در استان مازندران، تیمارهای آبیاری بر اساس تخلیه‌ی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد رطوبت در قبل و بعد از مرحله‌ی گل‌دهی ذرت اعمال شد. نتایج نشان داد بیشترین بهره‌وری مصرف آب به مقدار ۴/۲۵ (کیلوگرم بر مترمکعب) مربوط به تیمار ۳۰ درصد تخلیه‌ی رطوبتی خاک بود. اما افزایش تنش آبی قبل از گل‌دهی، باعث کاهش شدیدتر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت شد (Akbari Nodehi, 2018). در پژوهش حاضر نیز کم‌ترین مقدار بهره‌وری مصرف آب مربوط به اعمال تنش آبی در مرحله گل‌دهی ذرت بود. در تحقیقی بر روی ذرت در خوزستان، اثر کم آبیاری در حد ۷۰ درصد آبیاری کامل بررسی شد. نتایج نشان داد در شرایط کم آبیاری مذکور، بهره‌وری مصرف آب نسبت به شرایط مطلوب ۳۱/۶

تبخیر- تعرق گیاه کاهش بیشتری داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در همه‌ی مراحل رشد ذرت، عملکرد محصول نسبت به مقدار تبخیر- تعرق آن، با یک شیب ثابت تغییر نکرده است. یعنی برای اعمال یک دوره‌ی محدود از تنش آبی (کم آبیاری)، می‌توان مرحله‌ای از رشد گیاه را انتخاب نمود که منجر به حداقل کاهش عملکرد محصول گردد. همچنین لازم است برنامه‌ریزان در مدیریت‌های آبیاری، تأمین نیاز آبی گیاهان در مراحل حساس رشد را مدنظر قرار دهند. به‌طور مشابه در نشریه شماره ۳۳ آبیاری و زهکشی فائو (FAO33)، در شرایط تنش آبی مقدار ضریب K_y برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه، میانی، نهایی و کل دوره رشد ذرت به ترتیب ۰/۴، ۱/۵، ۰/۵، ۰/۲ و ۱/۲۵ گزارش شد (Doorenbos and Kassam, 1979). در تحقیقی اثر تنش آبی در مراحل رشد ذرت شامل مرحله رشد رویشی، گل‌دهی و رسیدن، در منطقه‌ی کرج بررسی شد. مقادیر ضریب K_y در مراحل رشد مذکور به ترتیب ۰/۴، ۱/۵ و ۰/۵ برآورد شد (Rezaverdinejad et al., 2011). در تحقیق دیگر مقدار ضریب K_y برای ذرت، در یک اقلیم مرطوب در ترکیه محاسبه شد. ضریب K_y تحت رژیم کم آبیاری در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و پر شدن دانه‌های ذرت به ترتیب ۰/۹، ۱/۱۲ و ۰/۸۷ به‌دست آمد (Kuscu and Demir, 2013). در تحقیقی نیز گزارش شد که با کاهش آب آبیاری تا میزان ۴۰ درصد آبیاری کامل، ضریب K_y در کل دوره رشد ذرت، عدد ۱/۳۶ برآورد شد (Trout and Dejonge, 2017). در پژوهشی دیگر اثر تنش آبی بر رشد، مصرف آب و عملکرد ذرت علوفه‌ای در اقلیم نیمه‌خشک مراکش مطالعه شد. نتایج نشان داد در این پژوهش با تیمارهای آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد تبخیر- تعرق ذرت، ضریب K_y در کل دوره رشد عدد ۱/۱۲ برآورد شد (Bouazzama et al., 2012).

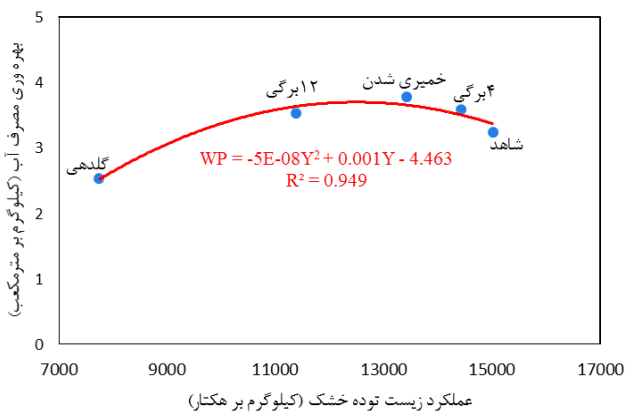


شکل ۵- مقادیر ضریب K_y برای مراحل مختلف رشد ذرت، در شرایط تنش آبی

بهره‌وری مصرف آب (WP)

حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف، برای تأمین کمبود آب

تیمارهای مختلف تاریخ کشت در منطقه نیراسکا بررسی شد. نتایج نشان داد مقدار بهره‌وری مصرف آب تحت شرایط فوق بین ۵/۲۲ الی ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد (Djaman and Irmak, 2012). در پژوهش کنونی مقادیر بهره‌وری مصرف آب در بازه‌ی ۲/۵۴ تا ۳/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب قرار داشت. از این رو علی‌رغم تفاوت در روش آزمایش، نتایج به‌دست آمده در محدوده نتایج پژوهش‌های گذشته بود.



شکل ۷- تابع تولید محصول - بهره‌وری آب، در شرایط اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد

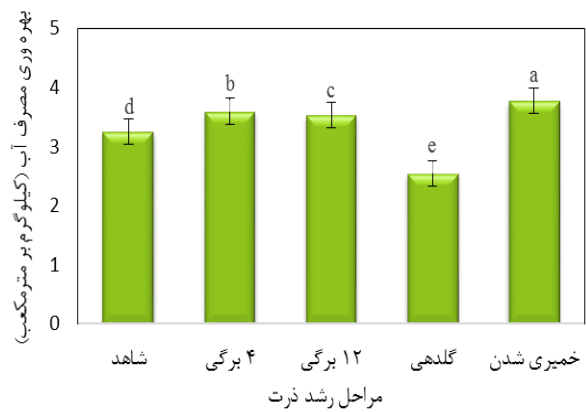
محدود از تنش آبی (کم‌آبیاری)، انتخاب مرحله‌ای از رشد گیاه که منجر به حداقل کاهش عملکرد محصول گردد، حائز اهمیت بود. از سوی دیگر، بیشترین تا کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب مربوط به تیمارهای خمیری شدن دانه‌ها، ۴برگی، ۱۲برگی، شاهد و گل‌دهی بود. نتایج نشان داد با تأمین آب مورد نیاز گیاه در حد پتانسیل منطقه (تیمار شاهد)، لزوماً بالاترین مقدار بهره‌وری مصرف آب حاصل نشد. بلکه اعمال کم‌آبیاری در مراحل ابتدایی و پایانی رشد ذرت، راه‌کار مناسبی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب بود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Akbari Nodehi, D. (2018). Effect of water stress on different growth stages of yield and water use efficiency of maize. *Journal of Water and Irrigation Management*. 7(2), 305-318. (In Farsi)
 Alinejadian Bidabadi, A., Jorooni, E., Barzegar, A. and Maleki, A. (2016). The effect of different irrigation levels on water use efficiency on the basis of maize grain and soil moisture variations. *Journal of water and irrigation management*. 6(1), 47-59. (In Farsi)
 Al-kaisi, M. M. and Broner, I. (2009). Crop Water Use and Growth Stages. Colorado State University

درصد کاهش یافت (Kazemizadeh et al., 2019). در تحقیقی در ترکیه، بهره‌وری مصرف آب ذرت علوفه‌ای تحت تیمارهای کم‌آبیاری بررسی شد. نتایج نشان داد بهره‌وری مصرف آب در دو سال زراعی بین مقادیر ۳/۶۲ الی ۴/۴۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود (Ucak et al., 2016). در پژوهشی در یک اقلیم نیمه‌خشک در آمریکا مقدار بهره‌وری مصرف آب ذرت بین ۵ الی ۲/۳ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شد (Djaman et al., 2018). در آزمایشی دیگر شامل سیستم آبیاری زیرسطحی، عملکرد ذرت تحت



شکل ۶- بهره‌وری مصرف آب ذرت در شرایط اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد

نتیجه‌گیری

در شرایط بحران کمبود آب، کاهش مصرف آب ضمن حفظ تولید محصولات کشاورزی، نیازمند اتخاذ راه‌کارهایی مناسب در مدیریت کم‌آبیاری است. برای این منظور، در این پژوهش عکس‌العمل عملکرد زیست‌توده به تبخیر-تعرق ذرت تحت اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد بررسی شد. نتایج نشان داد در مراحل رشد ۴برگی، ۱۲برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌های ذرت، عملکرد زیست‌توده خشک نسبت به مقدار تبخیر-تعرق آن، با یک شیب ثابت تغییر نکرد. افزایش مقدار ضریب K_y در مراحل حساس رشد، نشان‌داد عملکرد ذرت نسبت به تبخیر-تعرق آن کاهش بیشتری داشت. بنابراین برای اعمال یک دوره‌ی

Extension. No. 4.715

Bouazzama, B., Xanthoulis, D., Bouaziz, A., Ruelle, P. and Mailhol, J. C. (2012). Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in a semiarid climate of Tadla (Morocco). *Journal of Agronomy, Society et Environment*. 16(4), 468-477.
 Dagdelin, N., Yilmaz, E., Sezgin, F and Gurbuz, T. (2006). Water-yield relation and water use efficiency of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and second crop corn (*Zea mays* L.) in western Turkey. *Journal of Agricultural Water Management*.

- 82(1-2), 63-85.
- Djaman, K. and Irmak, S. (2012). Soil water extraction patterns, crop, irrigation, and evapotranspiration water use efficiency under full and limited irrigation and rainfed conditions. *Journal of ASABE*. 55, 1223-1238
- Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W. R., Martin, D. L. and Eisenhauer, D. E. (2013). Maize evapotranspiration, yield production function, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *Journal of ASABE*. 56, 273-293
- Djaman, K., Neill, M., Owen, C., Smeal, D., Koudahe, K., West, M., Allen, S., Lombard, K. and Irmak, S. (2018). Crop Evapotranspiration, Irrigation Water Requirement and Water Productivity of Maize from Meteorological Data under Semiarid Climate. *Journal of water*. 10, 405: 1-17.
- Daran, R. R. (2015) Maize evapotranspiration, canopy and stomatal resistances, crop water productivity, and economic analysis for various nitrogen fertilizer rates under full irrigation, limited irrigation, and rainfed settings. Ph.D. dissertation, University of Nebraska.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. K. (1979). Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, United Nations, Rome. 176 p.
- Fathi, H., Amiri, M. E., Imani, A., Hajilou, J. and Nikbakht, J. (2017). Tolerance Almond Genotypes on GN15 Rootstock to Deficit Irrigation Stress on Some Physiological Characteristics and Leaf Temperature. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*. 18(2), 159-176. (In Farsi)
- 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.
- 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)
- Kazemizadeh, M., Hooshmand, A., Naseri, A. Golabi, M. and Meskarbashee, M. (2019). Evaluation of yield, water use efficiency and Nitrogen efficiency in corn cultivation in Khuzestan province. *Journal of protection of water and soil resources*. 9(1), 35-50. (In Farsi)
- Kiani, A. R. and Saberi, A. R. (2015). An investigation of sweet corn yield and water use influenced by different deficit irrigation methods and two sowing patterns. *Journal of Water and Soil Conservation*. 21(6), 155-171. (In Farsi)
- Kuscu, H. and Demir, A. O. (2013). Yield and Water Use Efficiency of Maize under Deficit Irrigation Regimes in a Sub-Humid Climate. *Journal of philipp agric scientist*. 96(1), 32-41.
- 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)
- Mohammadi Behmadi, M. and Armin, M. (2017). Effect of Drought Stress on Yield and Yield Components of Different Maize Cultivars in Delayed Cultivation. *Journal of Applied Research in Plant Ecophysiology*. 4(1), 17-34. (In Farsi)
- Nielsen, R. L. (2002). Drought and heat stress effects on corn pollination. *Journal of Agry (Purdue)*. 196, 19-25.
- Pandey, R. K., Maranville, J. W. and Chetima, M. M. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth. *Journal of Agricultural Water Management*. 46, 15-27.
- Rezaverdinejad, V., Besharat, S., Abghari, H. and Ahmadi, H. (2011). Estimation of Maximum Allowable Deficit in Different Growth Stages of Fodder Mays Using Canopy-Air Temperature Difference. *Journal of Water and Soil*. 25(6), 1344-1352. (in Farsi)
- Saeidinia, M., Nasrolahi, A. H. and Sharifipoor, M. (2019). Investigating the Ability of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling and Estimating Corn Forage Yield. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(3), 555-565. (In Farsi)
- Seifi, A., Mirlatifi, S., Dehghanisanij, H. and Torabi, M. (2014). Determination of Crop Water Stress Index for Pistachio Trees under Subsurface Drip Irrigation Using Canopy-Air Temperature Difference. *Journal of Water and Irrigation Management*. 4(1), 123-136. (In Farsi)
- Trout, T. J. and Dejonge, K. C. (2017). Water productivity of maize in the US high plains. *Journal of Irrig Sci*. 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.