



The Effect of Different Irrigation Levels on Phenology, Grain Yield and Their Components and Some Physiological Traits of Different Corn (*Zea mays* L.) Hybrids under Climatic Conditions of Kermanshah

Parisa Karami¹ | Farzad Mondani² | Rozhin Ghobadi³

1. Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: parisa.karamiii97@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: f.mondani@razi.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: rozhin.ghobadi@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 20 November 2023
Received in revised form
7 December 2024
Accepted 9 January 2025
Published online 5 March 2025

Keywords:

Development stages
Grain yield
Water use efficiency
Yield components

ABSTRACT

Objective: Water deficit stress can be considered one of the most important abiotic stresses, and due to its great impact on the performance of various plants, a large part of agricultural planning is related to it. Therefore, the aims of this investigation were to evaluate effects of irrigation levels on some eco-physiological traits and grain yield of some current corn hybrids under Kermanshah regions.

Methods: A split plot experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in the research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources of the Razi University in 2018. The main factor was irrigation regimes (IR) which included supplying 130, 100, 70% water requirement (IR130%, IR100% and IR70% respectively), and the sub factor comprised maize hybrids (SC704, Simon and BC678). Regardless of the type of treatments, the irrigation was carried out immediately after seed sowing and preferably until the six-leaf development stage, and then the irrigation treatment started. The evaluated traits included development stages, yield and yield components, and water use efficiency. To analyze the data extracted from this study, first the normality test of the data was performed using the Kolmogorov-Smirnov method, then the normalization of non-normal data was performed using the Box-Cox method using the Minitab software (version 16). For variance analysis and comparison of means, the LSD test was used at the 5% level using the SAS software (version 9.4).

Results: Results showed in the IR70%, length of developmental stages decreased with the reduction of water content, but reaction of developmental stages was different among hybrids. The highest total dry weight (16.96 ton ha⁻¹) and grain yield (7.43 ton ha⁻¹) were observed in IR130%, with a decrease of 30 and 60% in the amount of irrigation water, total dry weight decreased by 18.0 and 28.1%, and grain yield decreased by 15.5 and 39.8%, respectively. Total dry weight of SC704 and Simon hybrids in response to irrigation levels was relatively similar and higher than the BC678 hybrid. However, grain yield of the Simon hybrid was higher than that of the other hybrids. The highest (0.83 g mm⁻¹) and lowest (0.66 g mm⁻¹) grain yield of water use efficiency was related to Simon and BC678 hybrids, respectively. Simon hybrid had higher grain yield and water use efficiency. Irrigation levels had no significant effect on water use efficiency.

Conclusion: Overall, the results showed that the Simon hybrid had higher grain yield and water use efficiency. The irrigation levels did not affect water use efficiency, indicating that the response of this trait to the irrigation levels was the same, which can be very important for the optimal use and saving of water consumption. Therefore, according to the results of this study, cultivation of Simon hybrid under optimal irrigation conditions for the climatic conditions of Kermanshah is recommended.

Cite this article: Karami, P., Mondani, F., & Ghobadi, R. (2025). The Effect of Different Irrigation Levels on Phenology, Grain Yield and Their Components and Some Physiological Traits of Different Corn (*Zea mays* L.) Hybrids under Climatic Conditions of Kermanshah. *Journal of Crops Improvement*, 27 (1), 1-18.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.368420.2866>





تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر فنولوژی، عملکرد دانه و اجزای آن و برخی خصوصیات فیزیولوژیک هیبریدهای مختلف ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط آب‌وهوایی کرمانشاه

پریرسا کرمی^۱ | فرزاد مندنی^۲ | روزین قبادی^۳

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: parisa.karamii97@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: f.mondani@razi.ac.ir
۳. استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: rozhin.ghobadi@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

هدف: تنش کم‌آبی را می‌توان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی دانست و به‌دلیل تأثیر فراوان آن بر عملکرد گیاهان مختلف، بخش زیادی از برنامه‌ریزی‌های کشاورزی به آن مربوط می‌شود. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثرات سطوح آبیاری بر برخی از صفات اکولوژیکی و عملکرد دانه برخی از هیبریدهای رایج ذرت در مناطق کرمانشاه بود.

روش پژوهش: برای تعیین اثر آبیاری بر ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک ذرت دانه‌ای آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی سطوح آبیاری (تامین ۱۳۰، ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی هیبریدهای ذرت (SC704, Simon, BC678) بودند. صفات مورد ارزیابی مراحل نمو، عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد در تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی طول مراحل نمو کاهش یافت، اما واکنش مراحل نمو در بین هیبریدها متفاوت بود. بیش‌ترین ماده خشک کل (۱۶/۹۶ تن در هکتار) و دانه (۷/۴۳ تن در هکتار) در تیمار ۱۳۰ درصد نیاز آبی مشاهده‌شده که با کاهش ۳۰ و ۷۰ درصد حجم آب تولید ماده خشک به‌ترتیب ۱۸/۰ و ۲۸/۱ درصد و تولید دانه به‌ترتیب ۱۵/۵ و ۳۹/۸ درصد کاهش یافت. ماده خشک کل تولیدشده توسط هیبریدهای SC704 و Simon در واکنش به سطوح آبیاری معنی‌داری نبود ولی بیش‌تر از هیبرید BC678 بود و عملکرد دانه هیبرید Simon بیش‌تر از هیبریدهای دیگر بود. بیش‌ترین و کم‌ترین کارایی مصرف آب عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به هیبرید Simon با میانگین ۰/۸۳ گرم بر میلی‌متر و هیبرید BC678 با میانگین ۰/۶۶ گرم بر میلی‌متر بود. هیبرید Simon از عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بالاتری برخوردار بود و سطوح آبیاری تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب نداشت.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج نشان داد که هیبرید Simon عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بالاتری داشت. سطوح آبیاری تأثیری بر راندمان مصرف آب نداشت که نشان می‌دهد پاسخ این صفت به سطوح آبیاری یکسان بوده که می‌تواند در استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب بسیار مهم باشد. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، کشت هیبرید Simon در شرایط آبیاری بهینه برای شرایط اقلیمی منطقه کرمانشاه توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها:

اجزای عملکرد

عملکرد دانه

کارایی مصرف آب

مراحل نمو

استناد: کرمی، پریرسا؛ مندنی، فرزاد و قبادی، روزین (۱۴۰۴). تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر فنولوژی، عملکرد دانه و اجزای آن و برخی خصوصیات فیزیولوژیک هیبریدهای مختلف ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط آب‌وهوایی کرمانشاه. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۱)، ۱-۱۸.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2025.368420.2866>

۱. مقدمه

غلات در میان گیاهان زراعی دارای بیشترین اهمیت و سطح زیر کشت بوده و تأمین‌کننده حدود ۷۰ درصد از غذای مردم کره زمین می‌باشد (امینی و همکاران، ۱۳۹۳). در بین گیاهان خانواده غلات ذرت یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در دنیا است، به طوری که بعد از گندم و برنج در رتبه سوم از نظر سطح زیر کشت قرار دارد. در بین غلات ذرت طول دوره رشد نسبتاً کوتاه (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶) و بیشترین پتانسیل تولید (موتوکومار^۱ و همکاران، ۲۰۰۵) را دارد. ذرت به طور گسترده برای خوراک حیوانات و مواد خام از جمله سوخت‌های زیستی استفاده می‌شود (الکساندراتوس^۲ و بروینسما^۳، ۲۰۱۲). نتایج پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که تقاضا برای ذرت تا سال ۲۰۵۰ دو برابر خواهد بود و نیاز به سرمایه‌گذاری در پژوهش و افزایش تولید در واحد سطح این گیاه به شدت ضروری می‌باشد (هیران^۴، ۲۰۱۴).

تنش کمبود رطوبت را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی نام برد که به دلیل تأثیر بسیار زیادی که بر عملکرد محصولات زراعی مختلف می‌گذارد بخش زیادی از برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در ارتباط با این موضوع است. برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و تعیین زمان و مقدار مناسب مصرف علاوه بر تأمین آب مورد نیاز گیاه منجر به جلوگیری از مصرف بی‌رویه آب، بروز تنش خشکی و کاهش عملکرد محصول می‌شود (کریمی و جلینی، ۱۴۰۰). از جمله صفات گیاهی مؤثر در برنامه‌ریزی میزان آب آبیاری در تولید محصولات زراعی، کارایی مصرف آب می‌باشد که نقش مهمی در تعیین عملکرد مطلوب گیاه متناسب با آب مصرف‌شده به‌ویژه در شرایط کمبود رطوبت ایفا می‌کند.

در ایران در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای حدود ۱۵۹ هزار هکتار با متوسط عملکرد حدود ۷۱۳۹ کیلوگرم در هکتار و تولید کل معادل ۱/۱۴ میلیون تن دانه بوده است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰). در بین استان‌های کشور استان کرمانشاه به دلیل شرایط آب‌وهوایی مطلوب از پتانسیل بالایی در تولید ذرت برخوردار می‌باشد، به طوری که سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای در این استان در سال زراعی ۴۰۲-۱۴۰۱، حدود ۲۸ هزار هکتار و میانگین عملکرد دانه ذرت نیز حدود ۸/۲۵ تن در هکتار گزارش شده است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰). استان کرمانشاه با ۱۴/۵ درصد از کل سطح برداشت ذرت دانه‌ای بعد از استان خوزستان، دارای بیشترین سطح برداشت ذرت دانه‌ای در کشور است. بنابراین با توجه به اهمیت تولید ذرت در استان کرمانشاه، این تحقیق با هدف ارزیابی نقش آب آبیاری بر نمو فنولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین کارایی مصرف آب برخی از رایج‌ترین ارقامی که توسط کشاورزان این استان مورد کشت و کار قرار می‌گیرد، انجام شد.

۲. پیشینه پژوهش

در مطالعات مشخص شده است که با کاهش آب قابل دسترس گیاه ذرت، عملکرد دانه به شدت کاهش می‌یابد ولی کارایی مصرف آب این گیاه افزایش می‌یابد (مجیدیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ توانگر و همکاران، ۱۳۹۹). از جمله عوامل مدیریت زراعی مؤثر بر توانایی استفاده گیاه از فاکتورهای محیطی تأثیرگذار بر فرایندهای مختلف تولید، انتخاب هیبرید مناسب در زمان کاشت می‌باشد، به گونه‌ای که کاشت هیبرید مناسب منجر به استفاده کارآمدتر گیاه از شرایط محیطی مطلوب رشد شده و از این طریق عملکرد و کارایی استفاده از نهاده‌های تولید بهبود می‌یابد. در آزمایش‌های مختلفی مشخص شده است که ارقام مختلف ذرت از نظر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر دارند (اسماعیلیان و همکاران، ۱۳۹۷؛ توانگر و همکاران، ۱۳۹۹).

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه اجرا شد. مختصات جغرافیایی محل آزمایش شامل عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا می‌باشد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی سه سطح آبیاری شامل بیش آبیاری (تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی، IR_{130%})، آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، IR_{100%}) و کم‌آبیاری (تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی، IR_{70%}) و عامل فرعی سه هیبرید ذرت (SC704, Simon, BC678) بود. هیبرید SC704، هیبرید سینگل کراس، دیررس، پایداری عملکرد خوب و نیمه‌حساس به بیماری سیاهک معمولی است. هیبرید Simon یک هیبرید سینگل کراس، متحمل به بیماری‌های برگ، نیمه‌دیررس، متحمل به خشکی انتهای فصل و منشأ آن اسپانیاست. هیبرید BC678 یک هیبرید سینگل کراس با بوته‌های قوی، مقاوم به خوابیدگی، نیمه‌دیررس و منشأ آن کرواسی است. برای آماده‌سازی بستر بذر به ترتیب شخم پاییزه و دیسک بهار انجام گردید. براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، سفر به میزان ۱۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سوپرفسفات‌تریپل و پتاسیم به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع کود سولفات پتاسیم به صورت پیش کاشت استفاده شدند. در پایان تسطیح زمین، آماده‌سازی جوی و پشته‌ها انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

| عمق (سانتی‌متر) | | |
|-----------------|--------|--|
| ۳۰-۶۰ | ۰-۳۰ | |
| ۲۷/۲۰ | ۲۴/۰۰ | رس (درصد) |
| ۳۸/۷۰ | ۳۹/۰۰ | سیلت (درصد) |
| ۳۴/۱۰ | ۳۷/۰۰ | شن (درصد) |
| ۷/۶۰ | ۷/۵۵ | pH |
| - | ۱۸/۵۰ | ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والان هیدروژن در هر ۱۰۰ گرم خاک) |
| - | ۰/۶۰ | املاح محلول (دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر) |
| ۱/۱۲ | ۱/۱۷ | کربن آلی (درصد) |
| ۰/۱۱ | ۰/۱۷ | نیترژن کل (درصد) |
| - | ۵/۲۰ | فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) |
| - | ۳۴۰/۰۰ | پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام) |
| ۲۲/۵۰ | ۲۰/۵۰ | آب خاک در نقطه پژمردگی دائم (درصد) |
| ۳۵/۵۰ | ۳۲/۵۰ | آب خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد) |
| ۴۹/۵۰ | ۴۹/۰۰ | محتوای آب خاک در نقطه اشباع (درصد) |
| ۰/۲۹ | ۰/۴۱ | هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت) |
| ۱/۴۵ | ۱/۴۲ | وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) |

هر کرت فرعی شامل شش خط کاشت به طول پنج متر بود. فاصله بوته روی ردیف ۱۷/۸ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های کاشت ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، به گونه‌ای که تراکم نهایی مزرعه ۷/۵ بوته در مترمربع بود. سه متر فاصله بین کرت‌های اصلی به عنوان حاشیه برای جلوگیری از نشست آب ناشی از تیمارهای آبیاری در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت برای بذور هیبریدهای مورد بررسی ۱۷ اردیبهشت ماه بود. بذرها در عمق ۵ سانتی‌متری خاک و توسط دست روی پشته کشت شدند. در زمان کاشت سه عدد بذر ضد عفونی شده با قارچ کش کاربوکسین تیرام دو در هزار در هر حفره قرار گرفت و سپس به منظور رسیدن به تراکم مطلوب در مرحله نموی چهار تا شش‌برگی اقدام به تنک کردن بوته‌ها شد. میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیترژن از منبع کود اوره براساس نتایج آزمون خاک و در سه نوبت (دو برگی، هفت برگی،

ظهور گل تاجی) مصرف شد. آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذر و بصورت مطلوب تا قبل از مرحله شش برگه، صرفنظر از نوع تیمارها انجام گرفت و سپس با شروع مرحله شش برگه تیمار آبیاری براساس سطوح مدنظر اعمال شد (جدول ۲).

جدول ۲. زمان و مقدار آب مصرفی برای سطوح مختلف آبیاری

| مقدار آب (مترمکعب در هکتار) | | | روز پس از کاشت | تاریخ |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------|---------|
| IR _{130%} | IR _{100%} | IR _{70%} | | |
| ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۱ | ۹۷/۲/۱۸ |
| ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۸ | ۹۷/۲/۲۵ |
| ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۱۵ | ۹۷/۳/۱ |
| ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۲۲ | ۹۷/۳/۸ |
| ۱۴۱ | ۱۰۸ | ۷۶ | ۲۹ | ۹۷/۳/۱۵ |
| ۲۳۸ | ۱۸۳ | ۱۲۸ | ۳۶ | ۹۷/۳/۲۲ |
| ۴۲۴ | ۳۲۶ | ۲۲۸ | ۴۳ | ۹۷/۳/۲۹ |
| ۶۳۹ | ۴۹۱ | ۳۴۴ | ۵۰ | ۹۷/۴/۵ |
| ۵۷۴ | ۴۴۱ | ۳۰۹ | ۵۷ | ۹۷/۴/۱۲ |
| ۸۱۱ | ۶۲۴ | ۴۳۷ | ۶۴ | ۹۷/۴/۱۹ |
| ۸۱۴ | ۶۲۶ | ۴۳۸ | ۷۱ | ۹۷/۴/۲۶ |
| ۸۲۷ | ۶۳۶ | ۴۴۵ | ۷۸ | ۹۷/۵/۲ |
| ۷۷۳ | ۵۹۴ | ۴۱۶ | ۸۵ | ۹۷/۵/۹ |
| ۷۸۶ | ۶۰۴ | ۴۲۳ | ۹۲ | ۹۷/۵/۱۶ |
| ۷۷۱ | ۵۹۳ | ۴۱۵ | ۹۹ | ۹۷/۵/۲۳ |
| ۷۵۸ | ۵۸۳ | ۴۰۸ | ۱۰۶ | ۹۷/۵/۳۰ |
| ۶۰۶ | ۴۶۶ | ۳۲۶ | ۱۱۳ | ۹۷/۶/۶ |
| ۴۸۳ | ۳۷۱ | ۲۶۰ | ۱۲۰ | ۹۷/۶/۱۳ |
| ۱۰۶۴۵ | ۸۶۴۶ | ۶۶۵۳ | مجموع آب مصرفی | |

نحوه اعمال تیمارهای آبیاری این گونه بود که قبل از هر بار آبیاری ابتدا از سایت ایستگاه هواشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (<http://www.fieldclimate.com>) میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_O) برحسب میلی‌متر در روز اخذ شد و پس از ضرب در مقادیر روزانه ضریب گیاهی (K_C) مقادیر دقیق نیاز آبی ذرت (ET_C) برحسب میلی‌متر در روز محاسبه شد (رابطه ۲). در این سایت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع براساس معادله پنمن-مونتیث فائو^۱ صورت می‌گیرد (رابطه ۱). در نهایت میزان آب (WC) برحسب میلی‌متر در مترمربع در روز براساس رابطه (۳) محاسبه و میزان آب لازم برای هر تیمار طی دوره‌های هفت روزه در اختیار محصول قرار گرفت.

$$ET_O = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + [890\gamma / (T + 273)](e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} U_2 \quad \text{رابطه ۱}$$

$$ET_C = ET_O \times K_C \quad \text{رابطه ۲}$$

$$WC = \frac{\sum ET_C \times A}{WUE} \quad \text{رابطه ۳}$$

در این روابط، R_n، تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی (برحسب مگاژول بر مترمربع در روز)، T، متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع دو متری از سطح زمین (برحسب سانتی‌گراد)، U₂، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (برحسب متر در ثانیه)، e_s-e_a، کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (برحسب کیلوپاسکال)، Δ، شیب منحنی فشار بخار اشباع نسبت به درجه حرارت در نقطه‌ای که درجه حرارت در آن T باشد (برحسب کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد)، γ، ضریب رطوبتی (برحسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، G، شار گرما به داخل خاک (برحسب مگاژول بر مترمربع

در روز)، WUE، کارایی مصرف آب (برحسب گرم ماده خشک به میلی‌متر آب مصرف‌شده) و A مساحت (برحسب مترمربع) است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶).

به‌منظور محاسبه ضریب گیاهی ذرت کاربرد آن در تبدیل تبخیر و تعرق گیاه مرجع به تبخیر و تعرق واقعی، بر مبنای روش پیشنهادی فائو، ابتدا منحنی تغییرات ضریب گیاهی طی دوره رشد گیاه رسم شد. این منحنی کمک می‌کند که در هر مرحله از رشد، ضریبی متناسب با همان مرحله اعمال گردد. در این روش دوره رشد ذرت به چهار مرحله ابتدایی (از زمان کاشت تا زمان پوشیدن ۱۰ درصد سطح زمین توسط گیاه)، مرحله رشد و توسعه (از پایان مرحله ابتدایی تا زمان پوشیدن ۷۰ تا ۸۰ درصد سطح زمین توسط گیاه)، مرحله میانی (از پایان مرحله رشد و توسعه تا زمان تشکیل دانه‌ها) و مرحله نهایی (از پایان مرحله میانی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک) تقسیم شد (بافکار و همکاران، ۱۳۹۶). در این بررسی طول مراحل ابتدایی، رشد و توسعه، میانی و نهایی به‌ترتیب ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۳۰ روز در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار AGWAT برای استخراج ضریب گیاهی استفاده شد (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶) و برای طول مراحل اولیه نمودی (مرحله ابتدایی رشد و مرحله رشد و توسعه)، میانی و نهایی به‌ترتیب ۰/۲، ۱/۲۵ و ۰/۶ لحاظ شد. آبیاری به‌روش جوی و پشته و میزان آب ورودی به هر کرت توسط کنتور محاسبه شد. با توجه به بسته‌بودن انتهای جوی‌ها، تلفات رواناب صفر و راندمان آبیاری ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. نیاز خالص آبیاری برای تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی از طریق جمع‌کردن مقادیر تبخیر و تعرق روزانه بین دو مرحله آبیاری مشخص شد و سپس نیاز آبیاری سایر تیمارها نیز به‌عنوان ضریبی از نیاز آبیاری تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه در اختیار گیاه قرار داده شد. در این مطالعه علت انتخاب تیمار بیش آبیاری، نداشتن اطمینان کافی به‌روش پنمن - مونتیث فائو در برآورد نیاز آبی ذرت در شهرستان کرمانشاه بود (قبادی و همکاران، ۱۳۹۶). در پایان نیز در مرحله نمودی رسیدگی فیزیولوژیک آبیاری در تمام کرت‌ها متوقف گردید.

صفات مورد ارزیابی شامل مراحل مختلف نمو فنولوژیک گیاه (ظهور گل تاجی، شروع گرده‌افشانی، ظهور ابریشم و رسیدگی فیزیولوژیک) بود که برای ثبت آن در طول فصل رشد، یادداشت‌برداری تاریخ وقوع هر مرحله برای هر یک از کرت‌ها انجام شد. تعداد روز سپری‌شده از کاشت (اولین آبیاری) تا تاریخ وقوع مرحله موردنظر (۵۰ درصد بوته‌ها وارد مرحله نمودی مدنظر شده باشند) شمارش شد. تعیین تاریخ وقوع رسیدگی فیزیولوژیک به این صورت انجام گرفت که از سه هفته پس از ظهور ابریشم، در هر کرت سه دانه از دانه‌های بخش میانی چهار بلال خارج شد و وضعیت پیدایش لایه سیاه مشخص گردید. پس از اطمینان از ایجاد لایه سیاه در ۹۰ درصد از بوته‌های هر کرت، تاریخ وقوع رسیدن فیزیولوژیک ثبت شد (قبادی و همکاران، ۱۳۹۶).

در زمان برداشت، بخش هوایی به‌همراه بلال بوته‌های دو مترمربع از دو خط میانی هر کرت که برای عملکرد نهایی در نظر گرفته شده بود، به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از توزین به‌عنوان وزن خشک کل (گرم در مترمربع) منظور شد. عملکرد دانه برحسب گرم در مترمربع نیز پس از جداکردن دانه‌ها از چوب بلال (براساس رطوبت ۱۴ درصد) ثبت شد. برای هر کرت تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال و وزن صدانه (برحسب گرم) براساس رطوبت ۱۴ درصد اندازه‌گیری شدند. شاخص برداشت (برحسب درصد) نیز با تقسیم عملکرد دانه به وزن خشک کل محاسبه شد. کارایی مصرف آب نیز برای وزن خشک کل و عملکرد دانه با استفاده از روابط (۴) و (۵) محاسبه شدند.

$$WUE_{TDW} = \frac{\text{Total Dry Weight}}{\text{Water Consumption}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$WUE_{GY} = \frac{\text{Grain Yield}}{\text{Water Consumption}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این روابط، Water Consumption، مقدار آب مصرف‌شده در طول دوره رشد (میلی‌متر)، WUE_{TDW} ، کارایی

مصرف آب برای وزن خشک کل (گرم بر میلی متر) و WUE_{GY}، کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه (گرم بر میلی متر) است (مولدن^۱، ۱۹۹۷). در پایان نیز برای تجزیه و تحلیل داده‌های مستخرج از این پژوهش ابتدا آزمون نرمال بودن داده‌ها به روش کولموگوروف اسمیرنوف^۲ صورت گرفت، سپس نرمال کردن داده‌های غیر نرمال به روش Box-Cox با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب^۳ (نسخه ۱۶) انجام شد. برای تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون LSD در سطح ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) استفاده شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. کاشت تا ظهور گل تاجی

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر آبیاری و هیبرید بر صفت تعداد روز از کاشت تا ظهور گل تاجی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با کاهش آب موردنیاز، ظهور گل آذین نر به تأخیر افتاد، به گونه‌ای که تیمارهای ۷۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب با ۷۳/۵ و ۷۱/۳ روز دارای بیش‌ترین مدت و تیمار ۱۳۰ درصد نیاز آبی با ۶۹/۳ روز دارای کم‌ترین مدت زمان از کاشت تا ظهور گل آذین نر بودند (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارقام SC704 و BC678 به ترتیب با ۷۲/۵ و ۷۰/۳ روز بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد روز از کاشت تا ۵۰ درصد ظهور گل تاجی را نشان دادند، درحالی‌که اختلاف بین ارقام Simon و BC678 از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). برهم‌کنش تیمارهای آبیاری و ارقام اثر معنی‌داری بر صفت کاشت تا ظهور گل تاجی نداشت.

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات مرتبط با نمو فنولوژیک ذرت (میانگین مربعات)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | تعداد روز از کاشت تا ظهور گل تاجی | تعداد روز از کاشت تا گرده‌افشانی | تعداد روز از کاشت تا ظهور ابریشم | مدت گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم | تعداد روز از کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک |
|---------------------|------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| تکرار | ۲ | ۳/۳۷۰ns | ۴/۷۰۴* | ۳/۰۰۰ns | ۱/۰۳۷ns | -/۲۵۹ns |
| آبیاری | ۲ | ۴۰/۱۴۸** | ۱۶/۹۲۶** | ۴۰/۱۱۱** | ۴/۹۲۶** | ۶۴/۰۳۷** |
| خطای a | ۴ | -/۶۴۸ | ۱/۱۶۷ | ۱/۶۸۵ | -/۱۴۸ | -/۸۱۵ns |
| هیبرید | ۲ | ۱۱/۱۴۸** | ۱۷/۳۷۰** | ۱۰/۱۱۱* | ۱/۱۴۸ns | ۱۰/۴۸۱** |
| آبیاری × هیبرید | ۴ | -/۲۵۹ns | -/۳۱۵ns | -/۳۸۹ns | -/۹۲۶ns | -/۷۰۴ns |
| خطای کل | ۱۲ | ۱/۲۲۲ | ۳/۳۱۵ | ۲/۹۴۴ | -/۳۳۳ | ۱/۴۰۷ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۱/۵۵ | ۱/۴۵ | ۱/۶۶ | ۱۶/۹ | -/۹۹ |

*، و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ درصد، معنی‌دار در سطح ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۴. اثر آبیاری و هیبرید بر صفات مرتبط با نمو فنولوژیک ذرت

| آبیاری | تعداد روز از کاشت تا ظهور گل تاجی | تعداد روز از کاشت تا گرده‌افشانی | تعداد روز از کاشت تا ظهور ابریشم | مدت گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم | تعداد روز از کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| IR _{130%} | ۶۹/۲۲c | ۷۳/۴۴b | ۷۶/۲۲b | ۲/۷۸b | ۱۳۱/۸۹a |
| IR _{100%} | ۷۱/۲۲b | ۷۴/۲۲ab | ۷۷/۴۴b | ۳/۲۲b | ۱۲۰/۲۲b |
| IR _{70%} | ۷۳/۴۴a | ۷۶/۱۱a | ۸۰/۳۳a | ۴/۲۲a | ۱۱۶/۶۷c |
| هیبرید | | | | | |
| SC704 | ۷۲/۴۴a | ۷۶/۰۰a | ۷۹/۰۰a | ۳/۰۰b | ۱۱۹/۳۳b |
| Simon | ۷۱/۲۲b | ۷۴/۵۵b | ۷۸/۱۱ab | ۳/۵۶ab | ۱۱۸/۶۷b |
| BC678 | ۷۰/۲۲b | ۷۳/۲۲c | ۷۶/۸۹b | ۳/۶۷a | ۱۲۰/۷۸a |

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. IR_{100%}، IR_{70%} و IR_{130%} به ترتیب تأمین ۱۰۰، ۷۰ و ۱۳۰ درصد نیاز آبی.

1. Molden
2. Kolmogorov-smirnov
3. Minitab

۲.۴. کاشت تا گرده‌افشانی

اثر آبیاری و هیبرید بر صفت تعداد روز از کاشت تا گرده‌افشانی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در بین سطوح آبیاری، دیرترین تاریخ گرده‌افشانی در تیمار تنش شدید (۷۶/۲ روز) و زودترین آن در تیمار تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی (۷۳/۵ روز) ثبت شد (جدول ۴). اما تفاوت بین تاریخ شروع گرده‌افشانی در تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۳۰ درصد نیاز آبی از لحاظ آماری غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین ارقام نشان داد که هیبرید SC704 با میانگین (۷۶ روز) بیش‌ترین و هیبرید BC678 با میانگین (۷۳/۳ روز) کم‌ترین مدت زمان از کاشت تا ۵۰ درصد گرده‌افشانی را به خود اختصاص دادند (جدول ۴).

۳.۴. کاشت تا ظهور ابریشم

تیمار آبیاری در سطح ۱ درصد و هیبرید در سطح پنج درصد بر تاریخ ظهور ابریشم معنی‌دار شد، اما برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش شدت کم‌آبی، ابریشم‌دهی به تأخیر افتاد. با تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی به‌طور میانگین ۷۶/۳ روز بعد از کاشت، ابریشم‌ها ظاهر شدند. ظهور ابریشم‌ها در تیمارهای تأمین ۱۰۰ درصد، ۷۰ درصد در مقایسه با تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب، ۱/۲ و ۴/۱ روز به تعویق افتاد (جدول ۴). طول دوره کاشت تا ظهور ابریشم‌دهی در ارقام BC678 و Simon حدود ۲ روز تأخیر داشت که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری باهم داشتند (جدول ۴).

۴.۴. گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم

فاصله زمانی بین شروع گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری (در سطح ۱ درصد) قرار گرفت، این در حالی بود که تفاوت در ارقام کشت‌شده و هم‌چنین برهم‌کنش سطوح آبیاری و هیبرید بر این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). کاهش مقدار آب مصرفی، فاصله بین گرده‌افشانی و ابریشم‌دهی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین طول فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم‌دهی در حدود ۲/۳۸ روز مربوط به تیمار تأمین نیاز آبی ۱۳۰ درصد و بیش‌ترین آن به‌ترتیب در حدود ۳/۲۲ روز و ۴/۲۲ روز مربوط به تیمار تأمین ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود (جدول ۴).

۵.۴. کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک

نتایج نشان داد که اثر تفاوت در میزان آب مصرفی و هیبریدهای مختلف بر زمان کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک این گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کمبود آب منجر به کاهش فاصله زمانی بین کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میزان زمان کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک مربوط به تیمار ۱۳۰ درصد تأمین نیاز آبی (۱۲۱/۹ روز) و کم‌ترین زمان کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک مربوط به تیمارهای به‌ترتیب ۷۰ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی (۱۱۶/۷، ۱۱۹/۴ روز) بود (جدول ۴). اختلاف بین ارقام SC704 و Simon از نظر صفت کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک چندان زیاد نبود، ولی نسبت به هیبرید SC678 این اختلاف بیش‌تر بود، به‌طوری‌که هیبرید SC678 با ۱۲۰/۸ روز دارای بیش‌ترین زمان کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک بود (جدول ۴).

۴.۶. تعداد ردیف دانه در بلال

نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تعداد ردیف دانه در بلال نشان داد که اثر آبیاری در سطح ۱ درصد بر این صفت معنی‌دار گردید (جدول ۵). با تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی بیش‌ترین تعداد ردیف دانه در بلال به میزان ۱۴/۹ ردیف و تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی کم‌ترین تعداد ردیف دانه در بلال را به میزان ۱۳ ردیف به خود اختصاص داد، اما اثر سطوح آبیاری ۱۰۰ و ۱۳۰ درصد نیاز آبی بر تعداد ردیف دانه در بلال غیر معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ۵. تجزیه واریانس عملکرد دانه و اجزای آن (میانگین مربعات)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | تعداد ردیف دانه در بلال | تعداد دانه در ردیف | تعداد دانه در بلال | وزن صدانه | عملکرد دانه | عملکرد وزن خشک کل | شاخص برداشت |
|---------------------|------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|
| تکرار | ۲ | ۰/۱۹۹ns | ۰/۲۹ns | ۱۷۶/۳۶ns | ۱۱/۴۵** | ۲۰۷۳/۷۰ns | ۶۱۲۹/۹۲ns | ۳۱/۵۱۸ns |
| آبیاری | ۲ | ۸/۱۶۱** | ۱۹۰۳۳۴/۷۵** | ۶۹۳۹۰/۳۲** | ۱۲/۱۰** | ۱۹۹۷۹۰/۹** | ۵۲۳۳۱۹/۸** | ۱۸۱/۲۶۱* |
| خطای a | ۴ | ۲/۲۰۸ | ۵/۱۷ | ۱۷۹۰/۷۶ | ۳/۲۷ | ۶۶۴۴/۸۴ | ۵۸۷۶۹/۷ | ۲۳/۸۶۷ |
| هیبرید | ۲ | ۰/۳۴۹ns | ۸/۹۹ns | ۲۴۸۵/۶۸ns | ۱۷/۹۷** | ۴۷۸۳۵/۱۷** | ۱۰۴۷۶۶/۳* | ۷۷/۰۶۳* |
| آبیاری × هیبرید | ۴ | ۱/۵۳۵ns | ۷/۱۰ns | ۷۷۶/۲۸ns | ۰/۶۶ns | ۳۳۵۲/۱۴ns | ۱۵۷۱۸/۱۶ns | ۲۱/۱۳۹ns |
| خطای کل | ۱۲ | ۰/۵۷۰ | ۴/۸۹ | ۱۰۲۶/۵۵ | ۱/۵۱ | ۳۸۸۸/۸۷ | ۱۹۲۲۴/۸۶ | ۱۸/۱۲۹ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۵/۴۰ | ۸/۵۸ | ۸/۸۴ | ۵/۳۳ | ۱۰/۲۸ | ۹/۶۶ | ۱۰/۱۲ |

ns، *، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیر معنی‌دار.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر آبیاری و هیبرید برای عملکرد دانه و اجزای آن

| آبیاری | تعداد ردیف دانه در بلال | تعداد دانه در ردیف | تعداد دانه در بلال | وزن صدانه (گرم) | عملکرد دانه (گرم در مترمربع) | عملکرد وزن خشک کل (گرم در مترمربع) | شاخص برداشت (درصد) |
|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| IR _{130%} | ۱۴/۸۶a | ۲۹/۸۲a | ۴۳۲/۸۷a | ۲۴/۳۸a | ۷۴۳/۴۳a | ۱۶۹۵/۹۷a | ۴۳/۹۹a |
| IR _{100%} | ۱۴/۱۱a | ۲۶/۷۴b | ۳۷۶/۱۳b | ۲۲/۳۷b | ۶۲۷/۹۷b | ۱۳۹۰/۱۴ab | ۴۵/۲۸a |
| IR _{70%} | ۱۲/۹۷b | ۲۰/۷۶c | ۲۶۸/۸۲c | ۲۲/۳۱b | ۴۴۷/۸۰c | ۱۲۲۰/۱۲b | ۲۶/۹۴b |
| هیبرید | | | | | | | |
| SC704 | ۱۳/۸۹a | ۲۶/۰۴a | ۳۶۳/۳۲a | ۲۱/۶۳b | ۵۸۷/۴۸b | ۱۴۸۲/۲۱a | ۳۹/۵۸b |
| Simon | ۱۴/۱۷a | ۲۶/۶۰a | ۳۶۸/۸۵a | ۲۴/۴۶a | ۶۸۶/۹۰a | ۱۵۱۲/۰۰a | ۴۵/۲۹a |
| BC678 | ۱۳/۸۷a | ۲۴/۴۷a | ۳۴۵/۶۴a | ۲۲/۰۸a | ۵۴۴/۸۲b | ۱۳۱۲/۰۲b | ۴۱/۳۴ab |

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. IR_{130%}، IR_{100%}، IR_{70%} به ترتیب تأمین ۱۳۰، ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی.

۴.۷. تعداد دانه در ردیف

اثر آبیاری در سطح یک درصد بر تعداد دانه در ردیف معنی‌دار بود (جدول ۵). با افزایش شدت کم‌آبی، تعداد دانه در ردیف کاهش یافت. به طوری که با تأمین ۱۳۰، ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی به طور متوسط ۲۹/۸، ۲۶/۷ و ۲۰/۸ دانه در ردیف تشکیل شد (جدول ۶).

۴.۸. تعداد دانه در بلال

تعداد دانه در بلال به طور معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری در سطح ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۵). مصرف آب کم‌تر، تعداد دانه در بلال را کاهش داد. با تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی به طور متوسط ۴۳۲/۹ دانه در بلال تشکیل شد. تعداد دانه در

بلال با تأمین ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با تأمین ۱۳۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۵۶/۷ و ۱۶۴ عدد کم تر بود (جدول ۶).

۹.۴. وزن صددانه

اثر آبیاری و هیبرید بر وزن صددانه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مصرف آب بیش تر وزن دانه ها را افزایش داد. بیش ترین وزن صددانه از تیمار ۱۳۰ درصد نیاز آبی و کم ترین وزن صددانه از تیمار ۷۰ درصد نیاز آبی در مرحله پرشدن دانه به دست آمد. بیش ترین و کم ترین وزن صددانه به ترتیب در ارقام Simon و SC704 به دست آمد (جدول ۶).

۱۰.۴. عملکرد دانه

اثر آبیاری و هیبرید بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مصرف آب کم تر، تولید دانه در واحد سطح را به طور معنی داری کاهش داد، به گونه ای که در شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری عملکرد دانه ذرت به ترتیب حدود ۱۵/۵ و ۳۹/۸ درصد نسبت به شرایط بیش آبیاری کم تر بود (جدول ۶). علت کاهش عملکرد دانه در شرایط کم آبی، کاهش اجزای عملکرد یعنی تعداد دانه در بلال و وزن دانه بود (جدول ۶). در رابطه با ارقام مورد بررسی، هیبرید Simon با میانگین تولید ۶۸۷ گرم دانه در مترمربع نسبت به ارقام SC704 و BC678 برتری معنی دار داشت (جدول ۶).

۱۱.۴. عملکرد وزن خشک کل

اثر آبیاری در سطح یک درصد و هیبرید در سطح ۵ درصد بر عملکرد وزن خشک معنی دار بود (جدول ۵). عملکرد وزن خشک کل ارقام با میزان آب آبیاری ارتباط مستقیم داشت. به طوری که مصرف آب بیش تر میزان عملکرد وزن خشک کل ارقام ذرت را افزایش داد. عملکرد وزن خشک کل با تأمین ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۱۲۲۰، ۱۳۹۰ و ۱۶۹۶ گرم در مترمربع به دست آمد (جدول ۶). در رابطه با اثر هیبرید، عملکرد وزن خشک کل ارقام Simon و SC704 (به ترتیب ۱۴۸۲ و ۱۵۱۲ گرم در مترمربع) بدون اختلاف معنی دار با یکدیگر از عملکرد وزن خشک کل هیبرید BC678 (۱۳۱۲ گرم در مترمربع) برتر بود (جدول ۶).

۱۲.۴. شاخص برداشت

اثر آبیاری و هیبرید در سطح پنج درصد بر شاخص برداشت معنی دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که با کاهش مصرف آب شاخص برداشت ذرت کاهش یافت. همچنین بیش ترین و کم ترین شاخص برداشت به ترتیب مربوط به ارقام Simon و SC704 بود (جدول ۶).

۱۳.۴. کارایی مصرف آب

اثر هیبرید بر کارایی مصرف آب وزن خشک گیاه در سطح ۵ درصد معنی دار بود، اما اثر سطوح مختلف آبیاری و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ارقام مختلف بر این صفت غیر معنی دار بود (جدول ۷). بیش ترین میزان کارایی مصرف آب برای وزن خشک کل در هیبرید Simon و کم ترین آن در هیبرید BC678 مشاهده گردید (جدول ۸). براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس، نوع ارقام بر کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد نشان داد. اثر سطوح مختلف آبیاری و اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و ارقام مختلف بر این صفت معنی دار نبود (جدول ۷).

بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب براساس عملکرد دانه به ترتیب مربوط به هیبرید Simon با میانگین ۰/۸۳ گرم بر میلی متر و هیبرید BC678 با میانگین ۰/۶۶ گرم بر میلی متر به دست آمد (جدول ۸).

جدول ۷. تجزیه واریانس کارایی مصرف آب (میانگین مربعات)

| منابع تغییرات | درجه آزادی | کارایی مصرف آب برای وزن خشک کل | کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه |
|---------------------|------------|--------------------------------|---------------------------------|
| تکرار | ۲ | ۰/۰۱۰۳۲ns | ۰/۰۰۴۰۵ns |
| آبیاری | ۲ | ۰/۱۶۲۵۵ns | ۰/۰۰۷۷۱ns |
| خطای a | ۴ | ۰/۰۹۰۵۳ | ۰/۰۰۸۸۶ |
| هیبرید | ۲ | ۰/۱۴۰۵۳* | ۰/۰۰۶۸۵۱** |
| آبیاری × هیبرید | ۴ | ۰/۰۱۳۹۴ns | ۰/۰۰۲۶۴ns |
| خطای کل | ۱۲ | ۰/۰۳۵۴۳ | ۰/۰۰۷۴۷ |
| ضریب تغییرات (درصد) | - | ۱۰/۷۶ | ۱۱/۸۶ |

ns و ** و *** به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد و غیر معنی دار.

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر آبیاری و هیبرید برای کارایی مصرف آب

| آبیاری | کارایی مصرف آب برای وزن خشک کل (کیلوگرم بر مترمکعب) | کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|--------------------|---|--|
| IR _{130%} | ۱/۶۶۷a | ۰/۷۳۱a |
| IR _{100%} | ۱/۶۷۷a | ۰/۷۵۷a |
| IR _{70%} | ۱/۹۰۴a | ۰/۶۹۹a |
| هیبرید | | |
| SC704 | ۱/۸۰۴a | ۰/۷۰۴b |
| Simon | ۱/۸۳۷a | ۰/۸۲۶a |
| BC678 | ۱/۶۰۶b | ۰/۶۵۷b |

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند. IR_{130%}، IR_{100%} و IR_{70%} به ترتیب تأمین ۱۳۰، ۱۰۰ و ۷۰ درصد نیاز آبی.

۵. بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر آبیاری بر صفات فنولوژیک مورد مطالعه (کاشت تا ظهور گل تاجی، کاشت تا گرده افشانی، کاشت تا ظهور ابریشم، گرده افشانی تا ظهور ابریشم و کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک) معنی دار بود. اثر ارقام مختلف نیز بر تمامی صفات مذکور به جز فاصله زمانی بین شروع گرده افشانی تا ظهور ابریشم معنی دار بود. با کاهش آب مورد نیاز، ظهور گل آذین نر به تأخیر افتاد. تأخیر در ظهور گل تاجی در مواجهه با کاهش ۶ تا ۸۰ درصد ظرفیت زراعی توسط قبادی و همکاران (۱۳۹۶) نیز گزارش شده است. در پژوهش دیگر، علیزاده و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که در گیاهانی که تحت تنش رطوبت پایین قرار داشتند ظهور گل نر و ابریشم بلال حدود ۵ تا ۹ روز دیرتر اتفاق رخ داد. سپهری و همکاران (۱۳۸۱) نیز تأخیر ورود به فاز زایشی ذرت را در اثر کمبود آب نشان دادند. چوکان و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که تنش کمبود آب زنده ماندن دانه‌های گرده را تحت تأثیر خود قرار نداده و بیش تر منجر به کاهش تعداد دانه‌های گرده می‌گردد. نام بردگان اظهار داشتند که تحت چنین شرایطی گل‌های تاجی گیاه قادر به توزیع دانه‌های گرده نیستند. قبادی و همکاران (۱۳۹۶) نیز دریافتند که اعمال تنش کم‌آبی منجر به تعویق افتادن مرحله نمودی گرده افشانی و در هم‌چنین کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه شد.

تأخیر در ظهور ابریشم‌ها در شرایط کم‌آبی، به دلیل کافی نبودن آب مورد نیاز جهت تولید شدن سریع سلول‌های

رشته‌های ابریشم است (چوکان و همکاران، ۱۳۸۵). سپهری و همکاران (۱۳۸۱) تأخیر در ظهور ابریشم‌ها را در شرایط کم‌آبی شش تا هفت روز گزارش کردند. تأخیر در شروع گرده‌افشانی و ظهور ابریشم در اثر تنش کم‌آبی توسط چاد^۱ (۲۰۰۹) نیز گزارش شده است. ذرت جزو گیاهان پروتاندری محسوب می‌شود، به این مفهوم که آغاز آزادشدن دانه‌های گرده از گل‌های نر چند روز زودتر از آمادگی گل‌های ماده برای پذیرش دانه گرده اتفاق می‌افتد. وجود تنش‌های محیطی ممکن است سبب افزایش این فاصله زمانی شود که روی تلقیح گل‌ها و در نهایت روی تشکیل دانه در بلال و عملکرد دانه اثر منفی بر جای می‌گذارد (امام، ۱۳۸۳). ابریشم‌ها بعد از ظاهرشدن تنها تا هفت روز آمادگی دریافت دانه گرده را دارند (لاور^۲، ۲۰۰۶). افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم نیز توسط سوزا و همکاران^۳ (۲۰۱۳) گزارش شده است. در مطالعات دیگر نیز تأخیر در ظهور ابریشم به دلیل کمبود آب قبل از مرحله زایشی برای ارقام مختلف ذرت از یک تا هشت روز گزارش شده است (هرن^۴، ۲۰۱۴؛ ناسمیت^۵ و ریچی^۶، ۱۹۹۲).

تنش کمبود رطوبت جذب عناصر غذایی موردنیاز گیاه توسط ریشه و انتقال آن‌ها به اندام‌های هوایی را به‌علت محدود شدن میزان تعرق کاهش می‌دهد. همچنین این موضوع باعث مختل شدن نفوذپذیری غشای سلول‌های ریشه شده که در نهایت منجر به کاهش قدرت جذب ریشه می‌شود (زید^۷ و سمری^۸، ۲۰۰۱). از طرفی دیگر افزایش طول دوره نموی پرشدن دانه در نتیجه گل‌دهی زودتر و تشکیل دیرتر لایه سیاه است. در شرایط مطلوب رشد گیاه به‌علت افزایش طول دوره ظهور ابریشم تا رسیدن فیزیولوژیک زمان بیش‌تری برای تجمع ماده خشک دانه به‌دست می‌آورد. همچنین با افزایش شدت تنش کمبود رطوبت، درجه حرارت گیاه و به‌دنبال آن میزان تنفس کانوپی بالا می‌رود که این موضوع باعث کاهش طول دوره رشد، کاهش تجمع ماده خشک و در نهایت افت عملکرد دانه می‌گردد (امام، ۱۳۸۳).

علاوه بر صفات فنولوژیک، تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری بر اجزای عملکرد (تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در بلال و وزن صدانه) و عملکرد دانه داشتند. تیمارهای هیبرید نیز اثر معنی‌داری بر وزن صدانه و عملکرد دانه داشتند. با افزایش شدت کم‌آبی تعداد ردیف‌های کم‌تری تشکیل شد. کاهش تعداد ردیف دانه در بلال همراه با افزایش تنش کم‌آبی حاکی از آن است که مقادیر مختلف آبیاری دریافت مواد فتوسنتزی توسط مقاصد فیزیولوژیک را تحت تأثیر قرار داده است. تعداد ردیف دانه در بلال قبل از سایر اجزای عملکرد تعیین می‌شود. افزایش تعداد ردیف دانه در بلال با افزایش آب نشان می‌دهد که مصرف آب کافی در زمان تعیین تعداد ردیف، رقابت بین مخزن‌های فیزیولوژیک را برای دریافت مواد فتوسنتزی کاهش داده است. در آزمایش دستبندان‌نژاد^۹ و همکاران (۲۰۱۰) و قبادی و همکاران (۱۳۹۵) نیز آبیاری تعداد ردیف دانه در بلال را افزایش داد. کم‌آبی در زمان تعیین طول بلال (دو هفته قبل از ظهور گل‌تاجی) بر پتانسیل تعداد دانه‌های ردیف تأثیر منفی دارد. کم‌آبی در مراحل بعد از طریق اختلال در گرده‌افشانی و افزایش احتمال سقط تخمک‌های بارور شده، تعداد دانه را کاهش می‌دهد. کاهش تعداد دانه در ردیف در اثر کم‌آبی توسط نخجوانی مقدم و همکاران (۱۳۹۰) و مجدم و همکاران (۱۳۸۷) گزارش شده است.

تعداد دانه در بلال حاصل دو جزء کوچک‌تر عملکرد یعنی تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف است. از جمله دلایل

1. Chad
2. Lauer
3. Souza
4. Hearn
5. NeSmith
6. Ritchie
7. Zeid
8. Semary
9. Dastbandan Nejad

گزارش شده توسط پژوهشگران دیگر برای کاهش تعداد دانه در شرایط تنش کمبود آب را می‌توان به مواردی نظیر کاهش توانایی پخش دانه کرده، برخورد مراحل تعیین‌کننده تعداد دانه با کم‌آبی، تأخیر در وقوع گرده‌افشانی و ظهور ابریشم، کم‌شدن قدرت پذیرش ابریشم‌ها برای دانه کرده، افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم، کاهش توان رشد لوله کرده در خامه و جلوگیری از رشد و توسعه دانه بعد از گرده‌افشانی اشاره کرد (اشنایدر^۱ و همکاران، ۲۰۰۲؛ گوکمن^۲ و همکاران، ۲۰۰۱؛ سوزا^۳ و همکاران، ۲۰۱۳؛ جی^۴ و همکاران، ۲۰۱۲). تنش کمبود رطوبت در مرحله نمو فنولوژیک گل‌دهی بالاترین اثر را بر تعداد دانه در بلال دارد، به‌گونه‌ای که تعداد دانه در بلال در این مرحله در مقایسه با تیمار شاهد ۱۷/۸ درصد پایین‌تر بود. از جمله عوامل مؤثر بر وزن دانه سرعت و مدت پرشدن دانه است. در مرحله پرشدن دانه‌ها کمبود رطوبت از طریق اختلال در فتوسنتز، کاهش انتقال مجدد و دوام سطح برگ و همچنین کوتاه‌تر کردن طول دوره پرشدن دانه منجر به شکل‌گیری دانه‌هایی با وزن کم‌تر می‌شود. پژوهشگران دیگر نیز کاهش طول دوره پرشدن دانه و در نهایت کاهش وزن دانه ذرت را به‌علت کمبود آب گزارش کرده‌اند (قبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ سوزا و همکاران^۵، ۲۰۱۳).

عملکرد دانه ذرت وابسته به تشکیل موفقیت‌آمیز و باروری گل‌ها، میزان نشاسته و پروتئین دانه می‌باشد که رخ‌دادن این فرایندها، نیاز به عرضه مداوم ترکیبات فتوسنتزی به سمت اندام‌های ذخیره‌ای گیاه دارد. اثرات منفی تنش کمبود آبی بر تقسیم سلول (جی^۶ و همکاران، ۲۰۱۲)، کاهش سرعت ظهور برگ (جورج و همکاران^۷، ۲۰۱۳)، پیری زودرس به‌دلیل انتقال آب از برگ‌های پیر به برگ‌های جوان‌تر (وارن^۸ و همکاران، ۲۰۱۱)، جذب نور کم‌تر به‌دلیل از بین رفتن برگ‌ها (جی^۹ و همکاران، ۲۰۱۲)، افزایش فاصله گرده‌افشانی تا ظهور ابریشم (سوزا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳)، کاهش توانایی پخش دانه‌های کرده، کم‌شدن قدرت پذیرش ابریشم‌ها برای دانه کرده (جی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۲)، کم‌شدن قدرت رشد لوله کرده در خامه (اشنایدر^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۲)، سقط تخمک‌های تلقیح‌شده به‌دلیل کاهش سطح نشاسته تخمدان و کاهش قدرت مخزن (سو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۰)، کاهش ذخیره مواد فتوسنتزی در بافت ساقه، کاهش انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده به دانه و کوتاه‌شدن طول دوره پرشدن دانه (جی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۲) دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه در شرایط کمبود آب هستند. تولید دانه کم‌تر در هیبرید BC678 به‌دلیل کوتاه‌تر بودن طول دوره نموی و در نتیجه کوتاه‌تر شدن طول دوره فتوسنتز است که در نهایت منجر به توانایی کم‌تر این هیبرید در بهره‌برداری از منابع محیطی شده است.

عملکرد وزن خشک کل و شاخص برداشت تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و هیبرید قرار گرفتند. به‌نظر می‌رسد افزایش عملکرد وزن خشک کل در شرایط آبیاری مطلوب به‌طور عمده ناشی از بهبود شرایط رشد گیاه باشد. اثر مثبت آبیاری بر تجمع ماده خشک ذرت توسط جلیلیان و همکاران (۱۳۸۳) نیز گزارش شده است. تغییرات شاخص برداشت نشان می‌دهد که تغییر وزن خشک کل اندام‌های هوایی گیاه و عملکرد دانه در واکنش به تغییرات محیط اطراف گیاه لزوماً به یک نسبت نیست. در

1. Schneider
2. Gokmen
3. Souza
4. Ge
5. Souza
6. Ge
7. George
8. Warren
9. Ge
10. Souza
11. Ge
12. Schneider
13. Su
14. Ge

این بررسی تأثیر منفی تنش کمبود رطوبت بر عملکرد دانه در مقایسه با وزن خشک کل بیش‌تر بود که این موضوع منجر به افت بیش‌تر شاخص برداشت شد. اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی، تولید دانه کم‌تر، تسریع پیری و کاهش طول دوره پرشدن دانه و در نتیجه کاهش وزن دانه در اثر کم‌آبی از دلایل این موضوع هستند. پژوهش‌گران دیگر نیز کاهش شاخص برداشت در اثر کم‌آبی را گزارش کردند (قبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ دستبندان نژاد و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج این بررسی هم‌چنین نشان داد که کارایی مصرف آب وزن خشک کل و کارایی مصرف آب عملکرد دانه تنها تحت تأثیر تیمارهای هیبرید قرار داشت. کارایی مصرف آب از ویژگی‌های بسیار مهم فیزیولوژیک گیاه در خصوص توانایی در مقابله با تنش کمبود رطوبت است. معنی‌دارنشدن اثر تیمار آبیاری بر وزن زیست‌توده گیاه نشانگر این است که با افزایش سطح آبیاری، وزن خشک گیاه با یک نسبت برابر افزایش یافته است. با وجود معنی‌دارنشدن اثر آب بر این صفت، با مصرف آب بیش‌تر کارایی مصرف آب برای صفت وزن خشک کاهش یافت. دلیل این موضوع احتمالاً هدررفت آب از طریق فرایندهای تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیش‌تر است (با افزایش آب ورودی از طریق آبیاری، آب اضافی در اثر نیروی ثقل وارد اعماق خاک شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود). به علاوه به‌نظر می‌رسد در شرایط بیش آبیاری به‌دلیل افزایش رشد رویشی، تولید سطح برگ بیش‌تر و باز بودن بیش‌تر روزنه‌ها، تلفات آب از طریق تعرق افزایش و کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که کم‌ترین کارایی مصرف آب به‌ترتیب با میانگین ۱/۶۶ و ۱/۶۷ گرم بر میلی‌متر به تیمارهای ۱۳۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بیش‌ترین آن در سطح آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی (۱/۹ گرم بر میلی‌متر) به‌دست آمد. اختلاف تأمین ۱۰۰ و ۱۳۰ درصد نیاز آبی معنی‌دار نبود، اما از نظر صرفه‌جویی در مصرف آب دارای اهمیت می‌باشد. اگرچه تنش کم‌آبی هم فتوسنتز و هم هدایت روزنه‌ای را کاهش می‌دهد، اما ممکن است کارایی مصرف آب افزایش یابد. چون بسته‌شدن روزنه‌ها سرعت تعرق را بیش‌تر از ورود دی‌اکسیدکربن کاهش می‌دهد (تایز و زایگر، ۱۳۸۸). در آزمایش مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) با مصرف آب بیش‌تر، کارایی مصرف آب کاهش یافت. به‌طوری‌که بیش‌ترین کارایی مصرف آب در شرایط تنش شدید کم‌آبی به مقدار ۱/۱۸ کیلوگرم در مترمکعب به‌دست آمد. آن‌ها دلیل این موضوع را هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیش‌تر در شرایط آبیاری کامل عنوان کردند. تأثیر معنی‌دار نوع ارقام بر کارایی مصرف آب عملکرد دانه نشان‌دهنده پتانسیل متفاوت عملکرد هیبریدها در بهره‌برداری از آب و عدم تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری بر این صفت بیان‌گر واکنش کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه نسبت به سطوح مختلف آبیاری یکسان بود، که این امر در استفاده بهینه و صرفه‌جویی در آب مصرفی می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. بنابراین براساس نتایج این پژوهش استفاده از رژیم آبیاری مطلوب می‌تواند در صرفه‌جویی مصرف آب نقش چشم‌گیری داشته باشد. به‌نظر می‌رسد علت بالاتر بودن عملکرد دانه هیبرید Simon را بتوان به بالا بودن تعداد ردیف در بلال و وزن صدانه نسبت داد. مختاری و همکاران (۱۳۹۲) نشان دادند که ذرت گیاهی چهار کربنه است و با داشتن پتانسیل بالای تولید ماده خشک و با کارایی مصرف آب به میزان ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در پژوهشی دیگر، کریمی و همکاران (۱۳۸۸) نیز دریافتند که با وجود کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای عملکرد ذرت در شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با تیمار آبیاری اما بهره‌وری آب در شرایط تیمار کم‌آبیاری به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. مجیدیان و همکاران (۱۳۸۷) نیز نتیجه گرفتند که آبیاری معادل نیاز آبی گیاه دارای بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب بود و اختلاف معنی‌داری با بقیه سطوح آبیاری داشت.

۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد که میزان آب مصرفی تأثیر بسزائی بر ویژگی‌های بوم‌شناختی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده هیبریدهای ذرت مورد بررسی داشت. با وجود واکنش متفاوت مراحل نمو ارقام مختلف به تیمارهای آبیاری، با این وجود کاهش میزان آب قابل دسترس گیاه منجر به کاهش طول دوره کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک گیاه شد که این موضوع از طریق کاهش طول دوره فتوسنتز منجر به کاهش عملکرد دانه شد. اجزای عملکرد ارقام مورد بررسی با کاهش میزان آب آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، با این وجود در بین اجزای تعیین‌کننده عملکرد دانه، بیش‌ترین تأثیر را صفت تعداد دانه در بلال از خود نشان داد. بیش‌ترین عملکرد وزن خشک کل و عملکرد دانه در تیمار بیش آبیاری و کم‌ترین آن‌ها در تیمار آبیاری معادل ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه مشاهده شد. همچنین در بین ارقام مورد بررسی هیبرید Simon با وجود این‌که از طول دوره نمو کوتاه‌تری نسبت به هیبرید SC704 برخوردار بود، اما از عملکرد وزن خشک کل و عملکرد دانه بیش‌تری برخوردار بود. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که کارایی مصرف آب ذرت با کاهش میزان آب آبیاری افزایش یافت، هرچند این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. کارایی مصرف آب در بین ارقام مختلف متفاوت بود، به‌گونه‌ای که بیش‌ترین کارایی مصرف آب متعلق به هیبرید Simon و کم‌ترین آن متعلق به هیبرید BC678 بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد هیبرید Simon از عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بالاتری برخوردار بود. سطوح آبیاری تأثیری بر کارایی مصرف آب نداشت که نشان می‌دهد واکنش این صفت نسبت به سطوح آبیاری یکسان بوده، که این امر در استفاده بهینه و صرفه‌جویی در آب مصرفی می‌تواند بسیار دارای اهمیت باشد. بنابراین با توجه به نتایج این بررسی کشت هیبرید دانه‌ای Simon در شرایط آبیاری مطلوب برای شرایط آب‌وهوایی کرمانشاه پیشنهاد می‌شود.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. تشکر و قدردانی

از حمایت‌های پرسنل محترم مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی تشکر و قدردانی می‌گردد.

۹. منابع

- احمدی، منصور؛ مندنی، فرزاد؛ خرمی وفا، محمود؛ محمدی، غلامرضا و شیرخانی، علی (۱۳۹۶). اثر نیتروژن بر کارایی مصرف تشعشع و شاخص‌های رشد ارقام مختلف ذرت (*Zea mays L.*) تحت شرایط کرمانشاه. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۵(۴)، ۸۸۵-۹۰۰.
- اسماعیلیان، یاسر؛ رمودی، محمود و گلوی، محمد (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رشد، عملکرد، نیتروژن دانه و کارایی مصرف آب ارقام ذرت دانه‌ای با استفاده از مدل CERES-Maize. *نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*، ۸(۴)، ۱۱۷-۱۳۵.
- امام، یحیی (۱۳۸۳). *زراعت غلات*. شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز.
- امینی، اخلاص؛ مهرابی، علی‌اشرف؛ حاتمی، علی و فصیحی، خلیل (۱۳۹۳). ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد آب چهار هیبرید ذرت دانه‌ای در سطوح مختلف آبیاری. *تحقیقات غلات*، ۴(۴)، ۳۳۳-۳۴۴.
- بافکار، علیجان؛ قمرنیا، هوشنگ و طاهری تیزر، عبدالله (۱۳۹۶). *اصول آبیاری عمومی*. کرمانشاه: انتشارات دانشگاه رازی.

- تایز، لینکلن و زایگر، ادواردو (۱۳۸۸). فیزیولوژی گیاهی. ترجمه کافی، محمد؛ زند، اسکندر؛ کامکار، بهنام؛ عباسی، فروغ؛ مهدوی دامغانی، عبدالمجید و شریفی، حمیدرضا. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد مشهد.
- توانگر، محمد؛ عشقی‌زاده، حمیدرضا و قیصری، مهدی (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد و کارایی مصرف آب هیبریدهای دیررس ذرت در شرایط متفاوت آبیاری و تقسیط کود نیتروژن. *نشریه علوم آب و خاک*، ۲۴(۲)، ۲۳۵-۲۴۹.
- جلیلیان، علی؛ قبادی، روزین؛ شیرخانی، علی و فرنیاء، امین (۱۳۸۳). بررسی اثرات نیتروژن و تنش خشکی بر اجزای عملکرد، عملکرد و کیفیت دانه ذرت سینگل کراس ۷۰۴. *نشریه پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۱۰۲(۲۷)، ۱۵۱-۱۶۰.
- چوکان، رجب؛ طاهرخانی، توفیق؛ قنادها، محمدرضا و خدارحمی، منوچهر (۱۳۸۵). ارزیابی تحمل به خشکی در لاین‌های ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی. *مجله علوم زراعی ایران*، ۱۸(۱)، ۷۹-۸۹.
- سپهری، علی؛ مدرس ثانوی، سیدعلی‌محمد؛ یمینی، یداله و قره یاضی، بهزاد (۱۳۸۱). تأثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت. *مجله علوم زراعی ایران*، ۴(۳)، ۱۸۴-۲۰۱.
- علیزاده، امید؛ مجیدی، اسلام و نورمحمدی، قربان (۱۳۸۷). تأثیر تنش خشکی و میزان نیتروژن خاک بر جذب عناصر غذایی در ذرت رقم ۷۰۴. *پژوهش در علوم کشاورزی*، ۴(۱)، ۵۱-۵۹.
- علیزاده، امین و کمالی، غلامعلی (۱۳۸۶). نیاز آبی گیاهان در ایران. مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا مشهد.
- قبادی، روزین؛ قبادی، مختار؛ مندنی، فرزاد؛ جلالی هنرمند، سعید و فرهادی بانسوله، بهمن (۱۳۹۶). اثر برهم‌کنش آبیاری و نیتروژن بر خصوصیات فنولوژیک و شاخص‌های رشد در ذرت دانه‌ای. *فرآیند و کارکرد گیاهی*، ۶(۲۱)، ۳۴۹-۳۶۸.
- قبادی، روزین؛ مندنی، فرزاد و شیرخانی، علی (۱۳۹۵). تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر جذب تشعشع، کارایی مصرف نور و وزن خشک سه رقم ذرت. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۹(۱)، ۱۳۶-۱۴۶.
- کریمی، مجتبی؛ اصفهانی، مسعود؛ بیگلوتی، محمدحسن؛ ربیعی، بابک و کافی قاسمی، علی (۱۳۸۸). تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری بر صفات مورفولوژیک و شاخص‌های رشد ذرت علوفه‌ای در شرایط آب‌وهوایی رشت. *مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی*، ۲(۲)، ۹۱-۱۱۰.
- کریمی، محمد و جلیبی، محمد (۱۴۰۰). مدیریت آبیاری و مصرف بهینه آب در زراعت ذرت. *مدیریت آب در کشاورزی*، ۸(۲)، ۷۹-۸۸.
- مجدم، مانی؛ نادری، احمد؛ نورمحمدی، قربان؛ سیادت، سیدعطاله؛ آینه‌بند، امیر و موسوی، سیدهاشم (۱۳۸۷). بررسی تأثیر تنش کمبود آب، مقادیر مختلف و شیوه توزیع نیتروژن بر عملکرد دانه و بازده نیتروژن ذرت دانه‌ای. *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳۹(۱)، ۹۷-۱۰۶.
- مجیدیان، مجید؛ قلاوند، امیر؛ کریمیان، نجفعلی و کامگار حقیقی، علی اکبر (۱۳۸۷). تأثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژن، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد، اجزای عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴. *نشریه علوم آب و خاک*، ۱۲(۴۵)، ۴۱۷-۴۳۲.
- مختاری، ویدا؛ کوچکی، علیرضا؛ نصیری‌محلاتی، مهدی و جهان، محسن (۱۳۹۲). مقایسه کارایی مصرف آب بین چند گونه زراعی و دارویی. *پژوهش‌های زراعی ایران*، ۱۱(۳)، ۴۰۱-۴۰۷.
- نخجوانی مقدم، محمدمهدی؛ نجفی، ابراهیم؛ صدقائین، سیدحسین و فرهادی، الهام (۱۳۹۰). اثر سطوح مختلف آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد و اجزا عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۳۰۲. *مجله به‌زرعی نهال و بذر*، ۲(۱)، ۷۳-۹۰.
- وزارت جهاد کشاورزی ایران. (۱۴۰۰). سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه. www.maj.ir.

References

- Ahmadi, M., Mondani, F., Khoramivafa, M., Mohammadi, Gh., & Shirkhani, A. (2018). The effect of nitrogen on radiation use efficiency and growth indices of maize hybrids (*Zea mays* L.) under Kermanshah condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(4), 885-900. (In Persian).

- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working Paper. Rome: FAO.
- Alizadeh, A., & Kamali, G. (2008). Water requirement of plants in Iran. Mashhad: Publications of Imam Reza University. (In Persian).
- Alizadeh, O., Majidi, E., Nadian, H., Nurmohammadi, Gh., & Amerian, M.R. (2008). Investigation of the effects of drought stress and different amounts of nitrogen on corn phenology and growth. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(5), 116-128. (In Persian).
- Amini, E., Mehrabi, A.A., Hatami A., & Fasihi, K. (2014). Evaluation of yield, yield components and water content of four grain corn hybrids in different levels irrigation. *Cereal Research*, 4(4), 333-344. (In Persian).
- Bafkar, A., Qamarnia, H., & Taheritizro, A. (2006). Principles of general irrigation. Kermanshah: Razi University Press. (In Persian).
- Chad, L. (2009). Drought impact on corn yields. Plant and Soil Sciences. UK university of Kenucky. College of Agriculture.
- Choukan, R., Taherkhani, T., Ghanadha, M.R., & Khodarahmi, M. (2006). Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 8(1), 79-89. (In Persian).
- Dastbandan Nejad, S., Nejad, T.S., & Lack, S. (2010). Study effect drought stress and different levels potassium fertilizer on K accumulation in corn. *Nature and Science*, 8(5), 23-27.
- Emam, Y. (2004). Cereal production. Shiraz: Shiraz University Press. (In Persian).
- Esmailian, Y., Ramroudi, M., & Galavi M. (2019). Simulation of growth, yield, grain nitrogen and water use efficiency of maize hybrids by CERES-Maize Model. *Journal of Crop Production and Processing*, 8(4), 117-135. (In Persian).
- Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, C., & Sun, N. (2012). Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 1043-1053.
- George, M.J., Teixeira, E.L., Herreman, T.F., & Brown, H.E. (2013). Understanding nitrogen and water stress mechanisms on maize crops. *Agronomy New Zealand*, 43, 27-32.
- Ghobadi, R., Ghobadi, M., Mondani, F., Jalali Honarmand, S., & Farhadi Bansooleh, B. (2017). Effect of irrigation and nitrogen interactions on phenologic characteristics and growth indices of seed corn. *Journal of Plant Process and Function*, 6(3), 349-368. (In Persian).
- Ghobadi, R., Mondani, F., & Shirkhany, A. (2016). Effect of different levels irrigation on radiation absorption, radiation use efficiency and total dry weight of three maize cultivars. *Applied Field Crops Research*, 29(1), 136-146. (In Persian).
- Gokmen, S., Sencar, O., & Sakin, M.A. (2001). Response of popcorn (*Zea mays everta*) to nitrogen rates and plant densities. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 25(1), 15-23.
- Hearn, S. (2014). 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security, Bangkok, Thailand.
- Jalilian, A., Ghobadi, R., Shirkhani, A., & Farnia, A. (2014). Effects of nitrogen and drought stress on yield components, yield and seed quality of corn (S.C. 704). *Applied Field Crops Research*, 27(102), 151-160. (In Persian).
- Karimi, M., & Jolaini, M. (2022). Irrigation management and optimal water consumption in corn cultivation. *Journal of Water Management in Agriculture*, 8(2), 79-88. (In Persian).
- Karimi, M., Esfahani, M., Biglouei, M.H., Rabiei, B., & Kafi Ghasemi, A. (2009). Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht climate. *Electronic Journal of Crop Production*, 2(2), 91-109. (In Persian).
- Lauer, J. (2006). Concerns about drought as corn pollination begins. *Field Crops Research*, 28: 42.
- Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., & Kamgar Haghighi, A.A. (2008). Effect of drought stress, nitrogen and manure fertilizer on yield, yield component and water use efficiency of SC 704 corn. *Journal of Water and Soil Science*, 12(45), 417-432. (In Persian).
- Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran (MJA). 2022. Agricultural Jihad Organization of Kermanshah Province. www.maj.ir.
- Mojdam, M., Naderi, A., Nurmohammadi, Gh., Siadat, A.A., Ainheband A., & Mousavi, H. (2008). Investigating the effect of water deficit stress, different amounts and methods of nitrogen distribution on seed yield and nitrogen efficiency of grain corn. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 39(1), 97-106. (In Persian).

- Mokhtari, V., Koocheki, A.R., Nassiri Mahalati, M., & Jahan, M. (2013). Comparison of water use efficiency between some crops and medicinal species. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3), 401-407. (In Persian).
- Molden, D. (1997). Accounting for water use and productivity. SWIM paper 1. International irrigational Irrigation Management Institute. Colombo, Sri Lanka.
- Muthukumar, V.B., Velayudham, K., & Thavaprakash, N. (2005). Growth and yield of baby corn (*Zea mays* L.) as Influenced by plant growth regulators and different time of nitrogen application. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1(4), 303-307.
- Nakhjavani Moghaddam, M.M., Najafi, I., Sadreghaen, S.H., & Farhadi, E. (2011). Effect of different levels of irrigation and plant density on grain yield and yield component and water use efficiency in grain maize CV. KSC 302. *Seed and Plant Production Journal*, 27-2(1), 73-90. (In Persian).
- NeSmith, D.S., & Ritchie, J.T. (1992). Short- and long-term response of corn to a preanthesis soil water deficit. *Agronomy Journal*, 84, 107-113.
- Schneider, O.K., Camp, K.H., & Schmid, J.E. (2002). Physiological and agronomic traits of cytoplasmic male sterility in maize (*Zea mays* L.) and its molecular discrimination. Doctoral dissertation, ETH Zurich, 14777.
- Sepelri, A., Modares Sanavi, S.A.M., Gharahyazi, B., & Yamini, Y. (2002). Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize (*Zea Mays* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4(3), 184-201. (In Persian).
- Souza, T.C., Castro, E.M., Magalhaes, P.C., Lino, L.D.O., Alves, E.T., & Albuquerque, P.E.P. (2013). Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. *Acta Physiology Plant*, 35, 3201-3211.
- Su, T., Yang, P.X., & Liu, X.G. (2010). Retrieval of regional soil water changes based on remote sensing biomass products. *Transactions from the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(5), 52-58.
- Taiz, L., & Zeiger, A. (2010). Plant physiology. Translated by Kafi, M., Zand, A., Kamkar, B., Abbasi, F., Mahdavi Damghani, M., & Sharifi, H.R. Mashhad: Mashhad Academic Press. (In Persian).
- Tavangar, M., Eshghizadeh, H.R., & Gheysari, M. (2020). Evaluation of late maturing corn hybrids for yield and water use efficiency under different irrigation regimes and split-application of nitrogen fertilizer. *Journal of Water and Soil Science*, 24(2), 235-249. (In Persian).
- Warren, J.M., Norby, R.J., & Wullschleger, S.D. (2011). Elevated CO₂ enhances leaf senescence during extreme drought in a temperate forest. *Tree Physiology*, 31(2), 117-130.
- Zeid, I.M., & Semary, N.A. (2001). Response of two differentially drought tolerant varieties of maize to drought stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4(7), 779-784.