



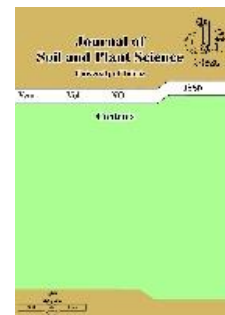
J Soil Plant Sci, 2025, 35(3): 19–38.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.69016.1020>

Journal of Soil and Plant Science

E-ISSN: 3092-6106

<https://sps.tabrizu.ac.ir>



Research Article

Effects of Irrigation Regimes and Nitrogen Levels on Morphophysiological Traits and Yield of Hybrid Maize in a Sandy Loam Soil

Moslem Toufighi¹, Asghar Rahimi², Seyed Ahmad Hosseini³, Morteza Eshraghi-Nejad⁴✉

1- Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Collage, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: moslemtoufighi1368@gmail.com

2-Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Collage, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: Rahimia@vru.ac.ir

3-Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Collage, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: a.hosseini@vru.ac.ir

4-Corresponding Author, Department of Agronomy and Horticultural Research, Research Center of Agriculture and Natural Resources of Southern Kerman, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Jiroft, Iran. E-mail: m.eshraghi@areeo.ac.ir

Received: September 6, 2025

Revised: October 4, 2025

Accepted: October 12, 2025

Published: October 21, 2025

Extended Abstract

Background and Objectives

Maize (*Zea mays* L.), belonging to the Poaceae family, is one of the four major cereal crops worldwide and plays a vital role in food security and livestock feed. In Iran, the cultivated area of maize exceeds 139,000 hectares, with a reported production of 962,000 tons. Optimal use of chemical inputs, such as nitrogen fertilizers, can increase corn yield by up to 60%. Maize is highly sensitive to nitrogen deficiency, which can reduce grain yield by up to 70%. Nitrogen directly affects the number of ears, kernel size, and protein content. The response of maize to nitrogen is influenced by factors such as cultivar, irrigation, and climatic conditions. Drought stress is one of the most significant yield-limiting factors in maize, disrupting physiological and morphological processes. Water stress leads to a reduction in photosynthesis, protein synthesis, and chlorophyll content. Plants activate mechanisms such as osmotic adjustment and accumulation of soluble sugars to cope with drought stress. Compared to some other crops, maize has a higher capacity for osmotic regulation and maintaining stomatal efficiency. The water requirement of maize depends on the irrigation method, soil type, and cultivar. Proper nitrogen management under water deficit conditions plays a key role in improving yield. This study investigates the effects of different nitrogen levels and irrigation regimes on the morpho-physiological traits of hybrid maize 703 to provide optimal strategies for sustainable agriculture in arid regions.

Materials and Methods

This research was conducted in 2019 at the Agricultural Research Center of Jiroft, located at 28.5464° N latitude, 57.8586° E longitude, and an altitude of 630 meters above sea level. The experiment was arranged as a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications. The two factors were irrigation at four levels of 90, 140, 190, and 240 mm evaporation from a Class A pan and nitrogen fertilizer at four levels of 200, 300, 400, and 500 kg urea per hectare. Hybrid maize 703 was sown on August 11, 2019, with row spacing of 75 cm and plant spacing of 20 cm. Nitrogen fertilizer was applied in two stages: at the four-leaf stage and at flowering, each with 50% of the total amount. Morphological traits (plant height, stem diameter), yield components (number of ears, thousand-kernel weight, grain yield), and physiological traits (chlorophyll a, b, and carotenoid contents) were measured. Data were analyzed using SAS software version 9.4, and means were compared using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results

Analysis of variance showed that ear length was affected only by irrigation stress, with a significant reduction as the stress increased from 90 to 240 mm evaporation. Ear diameter and cob weight were influenced by the interaction of irrigation and nitrogen, with the highest cob weight (70 g) observed in the 140 mm evaporation and 500 kg nitrogen

treatment, and the lowest (22 g) in the 140 mm and 300 kg nitrogen treatment. Yield components such as kernel weight per ear, number of kernels per row, and kernel diameter were also significantly affected by the irrigation $\times$ nitrogen interaction. The highest kernel weight was recorded at 140 mm with 500 kg nitrogen, and the greatest number of kernels per row (46.3) at 90 mm with 500 kg nitrogen. The number of kernel rows was influenced solely by nitrogen, with 400 and 500 kg levels resulting in a significant increase. Fresh ear weight was also affected by the interaction of the two factors, with the highest value (150 g) observed at 90 mm with 500 kg nitrogen. Regarding vegetative traits, plant height and stem diameter were significantly influenced by the irrigation $\times$ nitrogen interaction, with the tallest plants (190.6 cm) and thickest stems recorded in the 90 mm and 500 kg nitrogen treatment. Chlorophyll a and total chlorophyll content were significantly affected by the interaction of factors, with the highest values (18.3 and 18.72 mg per g fresh leaf weight, respectively) observed in the 90 mm and 500 kg nitrogen treatment. Chlorophyll b content was only affected by irrigation and decreased with increasing drought stress. Grain and biological yields were significantly affected by the interaction of factors, with the highest values obtained in the 90 mm and 500 kg nitrogen treatment. Harvest index was highest in the 140 mm and 500 kg nitrogen treatment. The 100-kernel weight was also influenced by the interaction of factors, with the highest value (25.36 g) observed in the 90 mm and 500 kg nitrogen treatment.

Conclusion

Overall, the application of 500 kg nitrogen per hectare combined with irrigation based on 90 mm evaporation from a Class A pan provided the best conditions for maize growth and yield. Based on these results, it is recommended to avoid water stress exceeding 140 mm evaporation for hybrid maize 703 planted in a sandy loam soil in the Jiroft region, Kerman province, and optimal nitrogen application can mitigate the adverse effects of water deficit. Also the findings indicate that under conditions of sufficient water supply, nitrogen fertilizer use can be reduced by about 50% without a significant decrease in yield. Such results are of great importance from an economic and environmental perspective.

Keywords: Biological yield, Chlorophyll content, Class A evaporation pan, Relative leaf water content, Urea.

Author Contributions

Conceptualization, M.T., A.R., S.A.H., and M.E.; methodology, M.T. and M.E.; field investigation, M.T. under the supervision of M.E.; data analysis, M.T. with guidance from A.R., S.A.H., and M.E.; writing—original draft preparation, M.T.; writing—review and editing, A.R., S.A.H., and M.E.; supervision, A.R.; project administration, A.R.; manuscript preparation and submission, M.E. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

This paper is part of an M.Sc. thesis conducted at the Faculty of Agriculture, Vali Asr University of Rafsanjan, Iran. The authors gratefully acknowledge the Research Center of Agriculture and Natural Resources of Southern Kerman, Jiroft, Iran, for providing field facilities and technical support.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Cite this article: Toufighi, M., Rahimi, A., Hosseini, S.A. & Eshraghi-Nejad, M. (2025). Effects of irrigation regimes and nitrogen levels on morphophysiological traits and yield of hybrid maize in a sandy loam soil. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(3), 19–38.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.69016.1020>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



Copyright © 2025 The Authors.
Publisher: The University of Tabriz





مقاله پژوهشی

تأثیر رژیم‌های آبیاری و سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ذرت هیبرید ۷۰۳ در یک خاک لوم شنی

مسلم توفیقی^۱، اصغر رحیمی^۲، سید احمد حسینی^۳، مرتضی اشراقی‌نژاد^۴ 

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: moslemtoufighi1368@gmail.com

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: Rahimia@vru.ac.ir

۳- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: a.hosseini@vru.ac.ir

۴- نویسنده مسئول، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران. رایانامه: m.eshraghi@areeo.ac.ir

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن بر ویژگی‌های رویشی و زایشی ذرت (*Zea mays* L.) هیبرید ۷۰۳ در شرایط کم‌آبیاری در یک خاک لوم شنی در منطقه جیرفت انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل دور آبیاری در ۴ سطح (معادل ۹۰، ۱۴۰، ۱۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک تبخیر کلاس A) به عنوان عامل اصلی و کود نیتروژن در ۴ سطح (۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم اوره بر هکتار) در دو تقسیم در مراحل چهار برگی و ظهور گل‌آذین‌نر، به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که ذرت تا سطح آبیاری معادل ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک، توانایی تحمل تنش خشکی را داشت اما افزایش شدت تنش خشکی، باعث کاهش معنادار صفات رویشی، عملکرد بیولوژیک و دانه شد. کاربرد سطوح بالاتر کود نیتروژن توانست تا حدودی از شدت کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت در شرایط تنش کم‌آبی بکاهد. مصرف ۵۰۰ کیلوگرم اوره بر هکتار در دور آبیاری ۹۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر، سبب بهبود صفاتی همچون غلظت کلروفیل کل، وزن دانه در بلال، تعداد دانه در هر ردیف، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و مقدار نسبی آب برگ گردید. تمامی صفات مورد بررسی در تیمارهای ۱۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر، صرف‌نظر از سطح کود نیتروژن، کاهش قابل‌توجهی یافتند. بر اساس این نتایج، توصیه می‌شود که برای ذرت هیبرید ۷۰۳ در یک خاک لوم شنی در شرایط اقلیمی گرم و خشک، از اعمال تنش کم‌آبی بیش از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک اجتناب شود و کاربرد بهینه نیتروژن می‌تواند به تعدیل اثرهای منفی کم‌آبیاری کمک کند. همچنین، در شرایط تأمین آب کافی، می‌توان مصرف کود نیتروژن را تا حدود ۵۰ درصد کاهش داد بدون آنکه کاهش معناداری در عملکرد مشاهده شود.

واژه‌های کلیدی: اوره، تشتک تبخیر کلاس A، عملکرد بیولوژیک، غلظت کلروفیل، مقدار نسبی آب برگ.

استناد به این مقاله: توفیقی، م.، رحیمی، ا.، حسینی، س.ا. و اشراقی‌نژاد، م. (۱۴۰۴). تأثیر رژیم‌های آبیاری و سطوح نیتروژن بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ذرت هیبرید ۷۰۳ در یک خاک لوم شنی. نشریه دانش خاک و گیاه، ۳۵(۳)، ۱۹-۳۸.

<https://doi.org/10.22034/sps.2025.69016.1020>

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.)، از خانواده گرامینه (Poaceae)، به عنوان یکی از چهار غله اصلی جهان، نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی و خوراک دام ایفا می‌کند (Choukan & Mosavat, 2006). در ایران، ذرت با سطح زیر کشت بیش از ۱۳۹ هزار هکتار و تولید بیش از ۹۶۲ هزار تن، اهمیت ویژه‌ای دارد (Ministry of Agriculture Jihad, 2024). سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) بر این باور است که مصرف بهینه نهاده‌های شیمیایی می‌تواند عملکرد محصولات کشاورزی را بین ۲۳ تا ۶۰ درصد افزایش دهد و کودهای شیمیایی را به عنوان یکی از ارکان تأمین امنیت غذایی معرفی می‌کند (Alahdadi *et al.*, 2011). ذرت به میزان عناصر غذایی موجود در خاک، به‌ویژه نیتروژن، بسیار حساس است. نیتروژن به عنوان مهم‌ترین عنصر غذایی، در رشد و توسعه گیاه ذرت نقش کلیدی دارد (Atanasova, 2008; Morshedi *et al.*, 2023). کمبود نیتروژن می‌تواند رشد و عملکرد ذرت را به شدت محدود کرده و عملکرد دانه را تا ۷۰ درصد کاهش دهد. این عنصر بر صفاتی نظیر تعداد بلال، تعداد دانه در هر ردیف و اندازه دانه اثرگذار است. بنابراین، تأمین کافی آن، به‌ویژه در مراحل حساس رشد، اهمیت فراوانی دارد. پاسخ ذرت به کاربرد کود نیتروژن به عوامل متعددی از جمله رقم، مدیریت آبیاری، میزان و توزیع بارندگی و شرایط اقلیمی بستگی دارد (Katerji *et al.*, 2008). همچنین، تغییر در میزان نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی، بر عملکرد گیاه تأثیر قابل‌توجهی دارد (Ershadi *et al.*, 2009). استفاده بهینه از کودهای شیمیایی، علاوه بر بهبود تأمین عناصر غذایی و افزایش عملکرد، به کاهش مصرف کود و هزینه‌های تولید نیز منجر می‌شود (Hammad *et al.*, 2015).

یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد محصولات کشاورزی، تنش‌های محیطی، به‌ویژه خشکی است که تقریباً بر تمامی فرایندهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی، آناتومیکی، سلولی و مولکولی گیاه تأثیر می‌گذارد (Yin *et al.*, 1999; Siddique *et al.*, 2004). خشکی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، خسارت گسترده‌ای به محصولات کشاورزی وارد می‌کند. این تنش با کاهش سطح برگ، انسداد روزنه‌ها، کاهش تثبیت کربن دی‌اکسید، کاهش ساخت پروتئین و کلروفیل، سرعت فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Ali *et al.*, 2001; Jaleel *et al.*, 2007; Sairam & Saxena, 2000). تنظیم اسمزی یکی از پاسخ‌های فیزیولوژیک مهم گیاه به خشکی است. خشکی بیشتر از تقسیم یاخته‌ها، فرایند بزرگ شدن یاخته‌ها را محدود کرده و با اثر بر فتوسنتز، تنفس، انتقال مجدد مواد، جذب یون‌ها، ساخت کربوهیدرات‌ها و متابولیسم ترکیبات ذخیره‌ای، رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Jaleel *et al.*, 2007). کاهش تولید زیست‌توده تر و خشک در بسیاری از گیاهان زراعی در شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شده است (Farooq *et al.*, 2009). همچنین، تنش کم‌آبی با تضعیف رابطه منبع و مخزن^۱ و بسته به شدت و زمان وقوع، بر عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارد (Hajheidari *et al.*, 2005). مطالعات نشان داده‌اند که ذرت نسبت به برخی گیاهان دیگر توانایی تنظیم اسمزی بالاتری دارد، آب بیشتری جذب می‌کند و احتمالاً روزنه‌های خود را برای مدت طولانی‌تری باز نگه می‌دارد (Gupta *et al.*, 2001). غلظت کلروفیل برگ شاخصی مهم برای ارزیابی پتانسیل فتوسنتزی و سلامت عمومی گیاه است و کاهش معنادار آن در شرایط تنش کم‌آبی در گیاهان گزارش شده است (Tas and Tas, 2007). همچنین، همبستگی مثبت بین غلظت کلروفیل و عملکرد دانه در گیاهان در شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شده است (Zang & Komatsu, 2007).

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی به اندازه ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر سبب کاهش قابل‌توجه عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن صد دانه گیاه ذرت می‌شود، اما کاربرد ۱۸۴ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به اندازه قابل‌توجهی عملکرد بیولوژیک ذرت را افزایش می‌دهد (Rezaei Sookhtabandani *et al.*, 2009). نیاز آبی ذرت به عواملی چون روش آبیاری، نوع خاک، رقم (زودرس یا دیررس) و شرایط اقلیمی بستگی دارد. تغذیه بهینه و مدیریت صحیح کود نیتروژن، به‌ویژه در شرایط کم‌آبی، نقش مهمی در بهبود عملکرد ذرت دارد. با توجه به اهمیت ذرت در منطقه و محدودیت منابع آبی، شناخت دقیق اثر متقابل آبیاری و نیتروژن برای بهینه‌سازی تولید و افزایش بهره‌وری

^۱-Source-sink

آب ضروری است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و رژیم‌های آبیاری بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ذرت هیبرید ۷۰۳ در یک خاک لوم شنی در منطقه جیرفت انجام شد. این مطالعه می‌تواند به تدوین راهبردهای مدیریت پایدار در کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند.

مواد و روش‌ها

موقعیت و شرایط آزمایش

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان، واقع در منطقه جیرفت (با مختصات جغرافیایی ۲۸،۵۴۶۴ درجه عرض شمالی و ۵۷،۸۵۸۶ درجه طول شرقی، و ارتفاع ۶۳۰ متر از سطح دریا) انجام شد. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌گرمسیری خشک است.

طرح آزمایشی و تیمارها

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده^۲ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دور آبیاری در ۴ سطح (معادل ۹۰، ۱۴۰، ۱۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های بزرگ و کود نیتروژن در ۴ سطح (۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم اوره بر هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در کرت‌های کوچک بودند. کود اوره در دو قسمت در مراحل ۴ برگی و ظهور گل‌آذین نر استفاده شد. ابعاد هر کرت فرعی ۳ × ۵ متر مربع بود و ۴ خط کاشت را شامل می‌شد. آمار هواشناسی دوره رشد ذرت در محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی فصل رشد ذرت در منطقه مورد مطالعه.

ماه	میانگین درجه حرارت (°C)	کمینه درجه حرارت (°C)	بیشینه درجه حرارت (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	بارندگی (mm)	میانگین سرعت باد (m/s)
August	35.6	27.5	43.8	37.4	2.2	2.0
September	33.5	23.6	43.3	27.4	0.2	1.5
October	28.4	20.0	36.7	43.3	0.7	1.3
November	20.4	12.5	28.4	45	51.1	1.3
December	15.0	8.0	22.0	60.6	39.9	0.9
January	12.1	5.3	18.8	67.4	92.4	0.9

آماده‌سازی زمین و کاشت

در مردادماه ۱۳۹۸، عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاواهن قلمی (به‌صورت دو شخم عمود بر هم)، دیسک زنی برای خرد کردن کلوخه‌ها، و تسطیح نهایی زمین با ماله انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب آبیاری محل آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. تاریخ کاشت بذر ذرت هیبرید ۷۰۳ در ۲۰ مرداد ماه ۱۳۹۸ در عمق ۳ سانتی‌متری بود. فاصله بذرها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر بود.

²-Split plot

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش.

عمق خاک (cm)	pH	EC (dS/m)	N کل (%)	P قابل جذب (mg/kg)	K قابل جذب (mg/kg)	بافت خاک
0-30	7.9	1.8	0.03	6.2	180	Sandy loam
30-60	8.2	0.99	0.03	4.1	150	Sandy loam

ادامه جدول ۲- ویژگی‌های آب آبیاری مورد استفاده.

EC ($\mu\text{S/cm}$)	pH	SAR (meq/L) ^{0.5}	Na (meq/L)	Ca + Mg (meq/L)
978	7.6	3.79	4.57	2.9

مدیریت تغذیه گیاه و آبیاری

اجرای تیمار کوددهی نیتروژن در دو مرحله انجام شد: ۵۰ درصد کود نیتروژن در مرحله چهار برگی در تاریخ ۱۳ شهریور ماه ۱۳۹۸ و ۵۰ درصد باقی‌مانده در مرحله ظهور گل‌آذین در تاریخ ۱۱ آبان ماه ۱۳۹۸ به صورت سرک اعمال گردید. بر اساس آزمون خاک برای جبران کمبود فسفر و پتاسیم به ترتیب از منابع کودی سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر یک به مقدار ۲۹۰ و ۱۳۰ کیلوگرم بر هکتار استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز در یک نوبت و به صورت دستی در تاریخ ۲۵ شهریور ماه ۱۳۹۸ انجام شد. آبیاری به روش قطره‌ای تا زمان سبز شدن بذرها (چهار روز پس از کاشت) به صورت یکنواخت و هر دو روز یکبار انجام شد. تا پیش از مرحله چهار برگی، آبیاری به طور یکنواخت و در بازه‌های زمانی ۵ تا ۷ روز یکبار انجام شد. زمان شروع اعمال تنش کم‌آبی، پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله چهار تا شش برگی بود. تیمارهای آبیاری بر اساس چهار سطح تبخیر تجمعی از تشتک کلاس A اعمال شدند که شامل ۹۰، ۱۴۰، ۱۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر بودند. بنابراین، تیمار ۹۰ میلی‌متر دارای کوتاه‌ترین فاصله بین آبیاری‌ها و بیشترین تعداد نوبت آبیاری در طول فصل بود. در مقابل، تیمار ۲۴۰ میلی‌متر با طولانی‌ترین فاصله بین آبیاری‌ها، کمترین تعداد نوبت آبیاری را داشت. مقدار آب ورودی به هر کرت با کنتور اندازه‌گیری نشد، بلکه بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک کلاس A و ضرایب گیاهی (K_c) نیاز آبی (ET_c) محاسبه گردید. سپس با در نظر گرفتن مساحت کرت و دبی نوار تیپ‌ها، حجم آب مصرفی و مدت زمان آبیاری هر تیمار تعیین شد. میزان آب مصرفی در هر تیمار آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از سطح تشتک تبخیر کلاس A محاسبه شد (Allen *et al.*, 1989). تبخیر - تعرق پایه گیاه (ET_0) بر حسب میلی‌متر در روز با استفاده از رابطه زیر برآورد شد:

$$ET_0 = K_p \times E_{pan}$$

که در آن K_p ضریب تشتک (برابر ۰/۶۸ در آزمایش‌های مزرعه‌ای) و E_{pan} مقدار تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بر حسب میلی‌متر در روز است (Alizadeh, 2001). سپس میزان آب مصرفی گیاه (ET_c) بر اساس ضریب گیاهی (K_c) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

ضریب گیاهی (K_c) بر اساس مراحل رشد گیاه و مطابق دستورالعمل‌های آلن و همکاران (Allen *et al.*, 1989) تعیین شد.

اندازه‌گیری صفات

پس از رسیدن ذرت به مرحله پرشدن دانه و خشک شدن گیاهان، عملیات برداشت و نمونه‌برداری انجام شد. صفات رشد و مورفولوژیک: ارتفاع گیاه از سطح خاک تا ابتدای گل‌آذین در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری گردید. قطر ساقه در فاصله بین گره‌های سوم و چهارم، در همین مرحله و با کولیس اندازه‌گیری شد.

اجزای عملکرد: برای تعیین وزن هزار دانه، از هر کرت ۱۰ گیاه به صورت تصادفی برداشت و میانگین‌گیری شد. عملکرد نهایی دانه (بر اساس ۱۴ درصد رطوبت)، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از دو ردیف میانی هر کرت (با حذف ۰/۵ متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف) محاسبه گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. سایر صفات شامل تعداد بلال در هر گیاه، تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در هر ردیف، وزن کل بلال، وزن تر بلال و قطر دانه، روی ۱۰ گیاه تصادفی در هر کرت اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل، ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی با استفاده از نیتروژن مایع پودر شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به نمونه‌ها اضافه و مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه در سانتیفریوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. محلول رویی به بالن شیشه‌ای منتقل شد. میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر (برای کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها) توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از فرمول‌های استاندارد زیر محاسبه گردید (Arnon, 1949):

$$\text{Chla} = (12.7(\text{A663}) - 2.69(\text{A645}) \times V/W$$

$$\text{Chlb} = (22.9(\text{A645}) - 4.68(\text{A663}) \times V/W$$

$$\text{Chl. total} = (20.2(\text{A645}) + 8.02(\text{A663})) \times V/W$$

$$C(x+c) = (7.6(\text{A480}) - 1.49(\text{A510}) \times V/W$$

که در آن A، میزان جذب قرائت‌شده، V، حجم استون مصرف‌شده (میلی‌لیتر) و W، وزن نمونه (گرم) است. Chl a، Chl b و C(c+x) به ترتیب غلظت کلروفیل a، غلظت کلروفیل b و کاروتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ می‌باشد.

مقدار نسبی آب^۳ برگ (RWC) بر اساس روش Barrs & Weatherley (1962) اندازه‌گیری شد. برای این کار، از هر تیمار، برگ‌های میانی گیاه در ساعات اولیه صبح نمونه‌برداری و بلافاصله وزن تازه (FW) آن‌ها ثبت شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفتند تا به تورژسانس کامل برسند و پس از خشک کردن سطح برگ، وزن تورژسانس (TW) اندازه‌گیری گردید. در نهایت نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا وزن ثابت خشک و وزن خشک (DW) آن‌ها تعیین شد. مقدار RWC با رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\text{RWC (\%)} = ((\text{FW} - \text{DW}) / (\text{TW} - \text{DW})) \times 100$$

تحلیل آماری داده‌ها

تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌های صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۴ در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

طول بلال، قطر چوب بلال و وزن چوب بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که طول بلال تنها تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار گرفت (جدول ۳). همانطور که در شکل ۱ آورده شده است، افزایش شدت تنش کم‌آبی منجر به کاهش طول بلال ذرت گردید، به طوری که بیشترین و کمترین طول بلال به ترتیب در تیمارهای ۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر به دست آمد. قطر چوب بلال تحت تأثیر برهم‌کنش تنش کم‌آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳). همچنین، وزن چوب بلال تحت تأثیر تنش کم‌آبی، سطوح نیتروژن و برهم‌کنش این دو فاکتور قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین وزن چوب بلال (۷۰ گرم) از برهم‌کنش سطح تنش ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین وزن چوب بلال (۲۲)

^۳-Relative water content

^۴-Duncan's multiple range test

گرم) از برهم‌کنش تنش ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۴).

اجزای عملکرد دانه

نتایج نشان داد که آبیاری و کود نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها بر وزن دانه در بلال تأثیر معناداری داشتند (جدول ۳). بیشترین و کمترین وزن دانه در بلال به‌ترتیب از برهم‌کنش تنش کم‌آبی ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر با ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر با ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۴). تعداد دانه در هر ردیف بلال تحت تأثیر تنش کم‌آبی، سطوح نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در هر ردیف بلال (۴۶/۳ عدد) از برهم‌کنش سطح تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین تعداد دانه در هر ردیف (۲۳/۳ عدد) از برهم‌کنش تنش ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۴). تعداد ردیف دانه بلال تنها تحت تأثیر سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۳).

همچنین، استفاده از ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن سبب افزایش قابل‌توجه تعداد ردیف دانه ذرت شد (شکل ۴). قطر دانه بلال تحت تأثیر سطوح نیتروژن و برهم‌کنش تنش کم‌آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت، اما تنش کم‌آبی به تنهایی تأثیری بر قطر دانه بلال نداشت (جدول ۳). بیشترین قطر دانه بلال (۲/۵ میلی‌متر) از برهم‌کنش سطح تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین قطر دانه بلال (۱/۱۵ میلی‌متر) از برهم‌کنش تنش ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۴). وزن بلال (وزن تر بلال) تحت تأثیر تنش کم‌آبی، سطوح نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین وزن تر بلال (۱۵۰ گرم) از برهم‌کنش سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین وزن بلال (۷۱ گرم) نیز از سطح ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۴).

صفات رویشی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش کم‌آبی، سطوح نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها تأثیر معناداری بر ارتفاع گیاه داشتند (جدول ۵). بیشترین ارتفاع گیاه (۱۹۰/۶ سانتی‌متر) از برهم‌کنش سطح تنش ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین ارتفاع گیاه (۱۳۸/۸ سانتی‌متر) از برهم‌کنش تنش ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۶). قطر ساقه تحت تأثیر سطوح نیتروژن و برهم‌کنش تنش کم‌آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۵). همانطور که در جدول ۵ آورده شده است، بیشترین قطر ساقه از برهم‌کنش تنش کم‌آبی ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین قطر ساقه نیز در برهم‌کنش تنش کم‌آبی ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن مشاهده شد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی و مقدار نسبی آب برگ

غلظت کلروفیل a تحت تأثیر نیتروژن و برهم‌کنش تنش کم‌آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت؛ اما تنش کم‌آبی به تنهایی تأثیری بر غلظت کلروفیل a گیاهان ذرت نداشت (جدول ۵). بیشترین غلظت کلروفیل a (۱۸/۳ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) از برهم‌کنش سطح ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و سطح ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین غلظت کلروفیل a (۸/۲ میلی‌گرم در گرم وزن تازه برگ) نیز از سطح ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و سطح

۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۶). غلظت کلروفیل b تنها تحت تأثیر تنش کم آبی قرار گرفت (جدول ۵). نتایج همچنین، نشان دادند که شدت تنش کم آبی ۱۹۰ و ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر سبب کاهش قابل توجهی در غلظت کلروفیل b نسبت به ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر شد (شکل ۶). غلظت کلروفیل کل تحت تأثیر برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت؛ اما تنش کم آبی به تنهایی تأثیری بر غلظت کلروفیل کل گیاهان ذرت نداشت (جدول ۵). بیشترین غلظت کلروفیل کل (۱۸/۷۲ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) از برهم کنش سطح ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و سطح ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین غلظت کلروفیل کل (۱۳/۸ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) نیز از سطح ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و سطح ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۶).

غلظت کاروتنوئید تحت تأثیر برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت. شاخص کلروفیل گیاهان ذرت تحت تأثیر سطوح نیتروژن و برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین میزان شاخص کلروفیل در ذرت در شرایط تنش کم آبی ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد و کمترین میزان شاخص کلروفیل نیز در گیاهان تیمار شده با تنش کم آبی ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۶). مقدار نسبی آب برگ گیاهان ذرت تحت تأثیر تنش کم آبی، سطوح نیتروژن و برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین مقدار نسبی آب برگ گیاهان ذرت از برهم کنش سطح تنش ۹۰ و ۱۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین مقدار نسبی آب برگ گیاهان ذرت از برهم کنش تنش ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۶).

عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

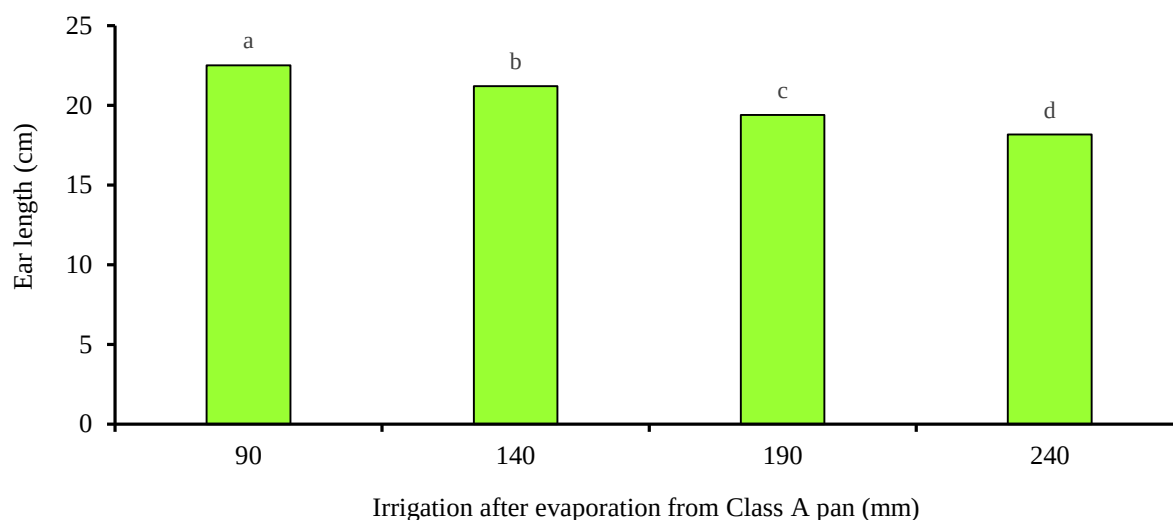
عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر اثر ساده تنش کم آبی و نیتروژن و همچنین، برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب از برهم کنش تنش کم آبی ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و برهم کنش تنش کم آبی ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۸). عملکرد بیولوژیک ذرت نیز تحت تأثیر اثر ساده تنش کم آبی و نیتروژن و برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب از برهم کنش تنش کم آبی ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و برهم کنش تنش کم آبی ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۸).

شاخص برداشت ذرت در این تحقیق تحت تأثیر اثر ساده تنش کم آبی و نیتروژن و برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت به ترتیب از برهم کنش تنش کم آبی ۱۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و برهم کنش تنش کم آبی ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۸). وزن صد دانه تحت تأثیر تنش کم آبی، سطوح نیتروژن و برهم کنش تنش کم آبی و سطوح نیتروژن قرار گرفت (جدول ۷). بیشترین وزن صد دانه ذرت (۲۵/۳۶ گرم) از برهم کنش سطح تنش ۹۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، و کمترین وزن صد دانه ذرت (۱۵/۴ گرم) از برهم کنش تنش ۲۴۰ میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به دست آمد (جدول ۸).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر آبیاری و نیتروژن بر خصوصیات رویشی ذرت.

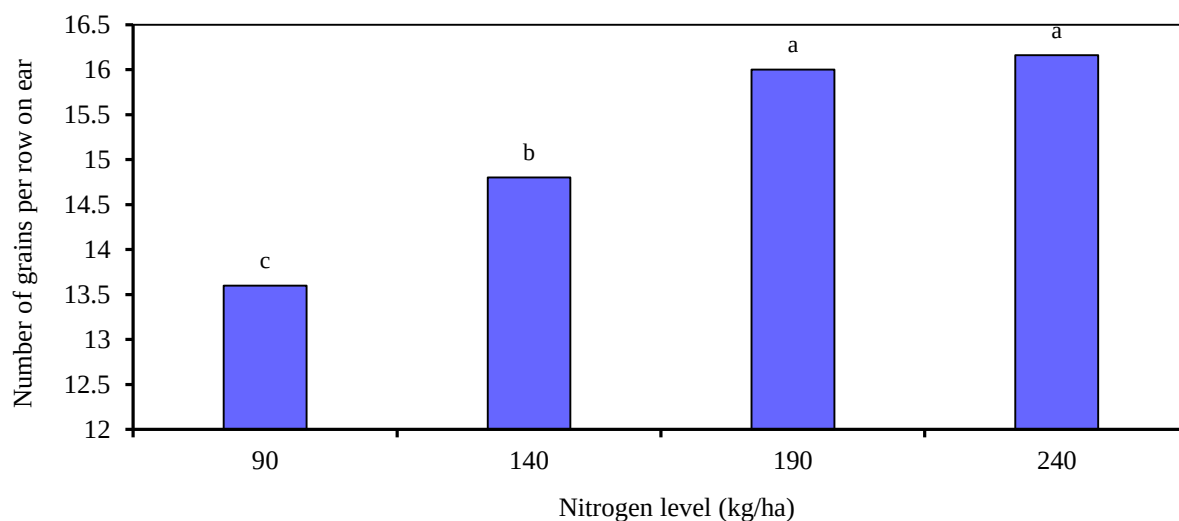
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		قطر چوب بلال	طول بلال	وزن چوب بلال	وزن دانه در بلال	تعداد دانه در هر ردیف	تعداد ردیف دانه	قطر دانه	وزن بلال
بلوک	2	12.5ns	10.02**	148.7**	414.7**	9.0**	0.3ns	3.9**	1259.9**
آبیاری	3	27.5ns	14.5**	196.2*	18749**	53.4**	1.5ns	1.8ns	15434.4**
خطا a	6	12.2	1.3	21.8	82.6	1.9	1.5	0.6	569.6
نیتروژن	3	6.3ns	0.46ns	1387.9**	23058.2**	481.1**	16.2**	75.0**	19899.5**
آبیاری×نیتروژن	9	12.8**	2.61ns	59.7**	1245.4**	10.8**	0.7ns	3.9*	8564.5**
خطا b	24	2.35	2.2	3.9	13.03	1.8	0.78	1.15	25.7
CV (%)		8.4	11.1	9.9	5.4	3.4	5.1	2.26	11.7

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنادار، معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر طول بلال ذرت.

تفاوت میانگین‌هایی که در هر صفت دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نمی‌باشند.



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر تعداد دانه در ردیف بلال ذرت.

تفاوت میانگین‌هایی که در هر صفت دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نمی‌باشند.

جدول ۴- اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر خصوصیات اجزای عملکرد ذرت.

وزن بلال (g)	قطر دانه (mm)	تعداد دانه در هر ردیف	وزن دانه در بلال (g)	وزن چوب بلال (g)	قطر چوب بلال (cm)	نیتروژن (kg/ha)	آبیاری پس از (میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)
135ab	2.18ab	43.2ab	268c	51c	29ab	200	90
140a	2.21ab	44.8a	270c	50c	29ab	300	
150a	3.36ab	45.1a	284c	54c	30ab	400	
121b	2.5a	46.3a	290bc	58b	38a	500	
125b	2.01b	43.1ab	192e	30f	27c	200	140
134ab	2.08b	43.2ab	254c	34f	29ab	300	
135ab	2.16ab	44.2a	294bc	56bc	29ab	400	
74d	2.25a	45.8a	358a	70a	37a	500	
76d	1.45de	29.9bc	166g	28g	22d	200	190
87c	1.65d	31.1bc	158g	22h	24d	300	
90b	1.75d	34.1b	210e	60b	30ab	400	
71e	1.85c	35.6b	346b	66b	30ab	500	
74d	1.15e	26.3d	182f	28g	16e	200	240
81c	1.23de	28.4c	160f	32f	17e	300	
85c	1.62d	33.2b	262d	42eg	26c	400	
131ab	1.75c	34.2b	300b	48d	28c	500	

تفاوت میانگین‌هایی که در هر صفت دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نمی‌باشند.

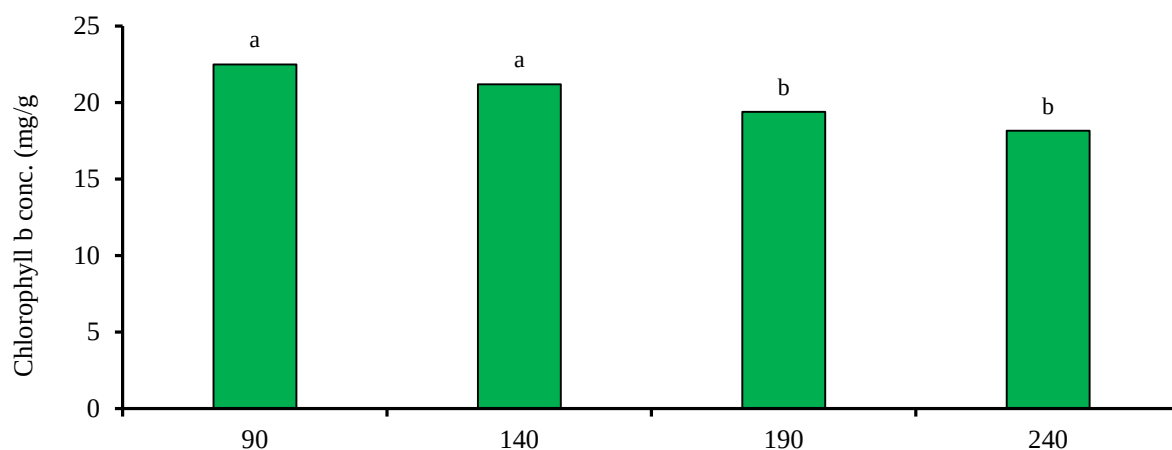
جدول ۵- تجزیه واریانس اثر آبیاری و نیتروژن بر خصوصیات رویشی ذرت.

منابع تغییر	درجه آزادی	Mean Square (MS) میانگین مربعات							کارتنویید
		ارتفاع بوته	قطر ساقه	شاخص کلروفیل	مقدار نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	
بلوک	2	165.2**	9.8	14.9	19.4	21.11	2.78**	39.9**	6.25
آبیاری	3	1694.8**	1.9ns	29.7ns	3413**	12.32ns	6.16*	34.8*	3.4ns
خطا a	6	19.6	4.9	13.01	23.5	12.09	0.46	4.24	13.8
نیتروژن	3	5402.7**	40.5**	361.8**	630**	7.57*	3.10ns	12.1**	1.21ns
آبیاری×نیتروژن	9	110.9*	14.8**	17.2**	71.3*	6.10*	3.40ns	6.14**	ns ^{۴/۴۲}
خطا b	24	10.4	4.24	3.30	5.7	2.05	1.33	0.52	12.9
CV (%)		4.92	17.57	5.46	10.4	19.93	26.69	13.8	11.32

جدول ۶- اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر خصوصیات اجزای عملکرد ذرت.

آبیاری پس از (میلی متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)	نیتروژن (kg ha ⁻¹)	ارتفاع بوته (cm)	قطر ساقه (mm)	شاخص کلروفیل	مقدار نسبی آب برگ (%)	کلروفیل a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹) ^{۱)}
90	200	173.5ab	48.8ab	64.5ab	67b	13.1a	17.95a
	300	175.6a	49.6a	64.4ab	68b	13.7a	17.78a
	400	187.7a	50a	67.5a	71a	13.4a	18.45a
	500	190.6a	50.13a	68.9a	72a	13.8a	18.72a
140	200	169.9ab	46.6b	62.4b	69b	11.5b	16.4b
	300	174.6a	47.6b	62.5b	70.5a	11.78b	16.8b
	400	185.5a	48.8ab	63.1ab	71.5a	12.35ab	17.25ab
	500	189.6a	49.5a	64.2ab	72a	12.89ab	17.75a
190	200	140.2c	31dc	48.5d	47d	10.6d	14.2d
	300	145.4c	31.8d	48.8d	48d	10.8c	14.8c
	400	154.5b	33.2d	52.4c	53c	11.4c	15.82c
	500	160.5b	34.2d	55.4c	55c	11.6c	15.92b
240	200	134.8d	26.6c	41.2g	42d	8.2e	13.8e
	300	142.4c	27.7c	44.5f	43d	8.8e	14.2e
	400	160.5b	31.1d	46.4e	45c	10.8c	15.32c
	500	164.5b	33.6d	48.8d	48d	11.2c	15.51b

تفاوت میانگین‌هایی که در هر صفت دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نمی‌باشند.



Irrigation after evaporation from Class A pan (mm)

شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر غلظت کلروفیل b ذرت.

تفاوت میانگین‌هایی که در هر صفت دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نمی‌باشند.

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر تنش کم‌آبی و نیتروژن بر خصوصیات رویشی ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن صد دانه
بلوک	2	1758430**	6368247**	234.1**	14.3ns
آبیاری	3	37332095**	15831689**	285.3**	542.5**
خطا a	6	300209	597455	17.6	60.3
نیتروژن	3	26934518**	60049867**	2368/4**	548.4**
آبیاری×نیتروژن	9	379214*	109670*	34.9**	395.7**
خطا b	24	527.6	1094	36.53	3.41
ضریب تغییرات (%)		9.39	6.51	10.3	9.87

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های خصوصیات اجزای عملکرد ذرت برای اثر متقابل آبیاری و نیتروژن.

وزن صد دانه (g)	شاخص برداشت (%)	عملکرد بیولوژیک (kg/ha)	عملکرد دانه (kg/ha)	نیتروژن (kg/ha)	آبیاری پس از (میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر)
23.2ab	43.9b	28450bc	12500bc	200	90
23.6ab	44.9b	28670bc	12879bc	300	
24.4a	44.02a	299800bc	13250ab	400	
25.36a	44.28a	30256a	13400a	500	
23.15ab	41.8ab	27500c	11700c	200	140
23.25ab	42.1ab	27654c	11850c	300	
24.4a	44.6a	28500bc	12890bc	400	
25.15a	45.7a	28956b	13250ab	500	
18.6c	36.2c	25300f	9150f	200	190
18.7c	37.1c	25500e	9300e	300	
21.19b	38.5b	26100e	9950e	400	
22.16b	38.9b	26200c	10200c	500	
15.4e	36.4c	22850f	9100f	200	240
16.5d	36.6c	23200e	9250f	300	
20.08b	38.3b	25400e	9854e	400	
21.18b	38.9b	26100d	10150d	500	

تفاوت میانگین‌هایی که در هر صفت دارای حداقل یک حرف لاتین مشابه هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نمی‌باشند.

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش کم‌آبی اثر بارزی بر رشد رویشی و عملکرد دانه ذرت داشت، به‌طوری‌که با افزایش فاصله آبیاری از ۹۰ به ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر، صفاتی چون ارتفاع گیاه، قطر ساقه، مقدار نسبی آب برگ، کلروفیل b و کلروفیل کل به‌طور معناداری کاهش یافت. این کاهش را می‌توان ناشی از افت پتانسیل آب خاک، محدودیت در جذب آب و عناصر غذایی و همچنین، بسته شدن روزنه‌ها دانست که در نهایت منجر به کاهش نرخ فتوسنتز خالص و کاهش تولید ماده خشک شد. کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌ویژه کلروفیل‌ها در تیمارهای تنش بالا نشان داد که کمبود آب علاوه بر کاهش سطح برگ، فرایند بیوشیمیایی فتوسنتز را نیز مختل می‌سازد. کاهش سنتز کلروفیل یکی از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب است. مشابه این یافته‌ها در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده است که بیان می‌دارند تنش کم‌آبی موجب تخریب سریع‌تر رنگیزه‌ها و کاهش توان فتوسنتزی گیاه می‌شود (Earl & Davis, 2003; Lack et al., 2008). حلیمیان و همکاران (Halimian et al., 2020) دریافتند که تنش کم‌آبی به اندازه ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A سبب کاهش قابل‌توجه در عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص کلروفیل گیاه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ شد. کاهش ماده خشک اندام‌های هوایی، مقدار نسبی آب برگ و شاخص کلروفیل برگ‌های سیب زمینی بر اثر اعمال تنش خشکی به‌وسیله Motalebifard et al. (2014) گزارش شده است. کاهش ماده خشک کلزا بر اثر اعمال تنش خشکی به‌وسیله Ghaderpoor et al. (2025) گزارش شده است. کاهش ارتفاع و ماده خشک گیاه یونجه بر اثر اعمال تنش کم‌آبی به‌وسیله Mahmoudi et al. (2015) و Markarian et al. (2016) مشاهده شده است.

از سوی دیگر، نتایج نشان داد که مصرف نیتروژن اثر مثبت معناداری بر بسیاری از صفات رشدی، فیزیولوژیک و عملکردی داشت. افزایش نیتروژن تا ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار باعث افزایش ارتفاع گیاه، قطر ساقه، شاخص کلروفیل و مقدار نسبی آب برگ ذرت شد. دلیل این یافته آن است که نیتروژن جزء اصلی پروتئین‌ها و کلروفیل بوده و

نقش مستقیمی در افزایش ظرفیت فتوسنتزی دارد. علاوه بر این، نیتروژن کافی سبب توسعه بهتر ریشه‌ها و افزایش توانایی گیاه در جذب آب از لایه‌های عمیق‌تر خاک می‌گردد. در تیمارهای نیتروژن بالا، حتی تحت شرایط تنش ملایم کم‌آبی (۱۴۰ میلی‌متر)، عملکرد دانه و بیولوژیک به‌طور محسوسی بهبود یافت که نشان می‌دهد کود نیتروژن توانسته بخشی از اثرهای منفی کمبود آب را جبران کند. این موضوع با یافته‌های پژوهشگران پیشین همخوانی دارد که گزارش کردند مصرف نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی موجب بهبود صفات رشدی و عملکردی ذرت می‌شود (Majidian & Ghadiri 2002; Alizadeh et al. 2007). Ahmadinejad et al. (2013) گزارش کردند که مصرف ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، شاخص کلروفیل برگ‌ها و کارایی مصرف آب گندم را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. (Ghaderpoor et al. 2025) گزارش کردند که مصرف کود اوره باعث افزایش معنادار ماده خشک بخش هوایی کلزا در شرایط تنش کم‌آبی شد. با این حال، مقدار کود نیتروژن مورد نیاز در شرایط کم‌آبی کمتر از شرایط رطوبت مطلوب بود. بهبود رشد و تولید محصول رقم‌های مختلف گندم با مصرف کود اوره به‌وسیله Shafighi et al. (2025) گزارش شده است. (Mirzaei Varoei et al. 2024) مشاهده کردند که با مصرف کود اوره، ارتفاع، سطح برگ، ماده خشک ریشه و بخش هوایی و شاخص کلروفیل برگ‌ها به‌طور معنادار نسبت به شاهد افزایش یافت.

مشخص شده است که تنش کم‌آبی سبب کاهش شاخص برداشت ذرت شد و همچنین، استفاده از ۱۸۴ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار این شاخص را افزایش داد (Rezaei Sookhtabandani et al., 2009). در تحقیق حاضر نیز مشخص شد که افزایش تنش کم‌آبی سبب کاهش شاخص برداشت گیاه ذرت شد و از طرفی استفاده از ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن سبب افزایش شاخص برداشت آن گردید. کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه است که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تقسیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود. دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را می‌توان حساسیت بیشتر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی دانست (Yari et al., 2024).

حداکثر عملکرد دانه ذرت نیازمند آبیاری مناسب، مصرف کافی کود و تأمین نیاز حرارتی بالا می‌باشد. تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ‌ها و اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، عرضه مواد پرورده را کاهش داده و موجب تغییر در اجزای عملکرد و کاهش عملکرد دانه می‌شود (Behroozi et al., 2016). علاوه بر تنش کمبود آب، کمبود نیتروژن نیز می‌تواند فشار مضاعفی بر رشد و عملکرد گیاه وارد آورد، به طوری که مدیریت نامناسب آبیاری و نیتروژن از اصلی‌ترین عوامل کاهش عملکرد ذرت محسوب می‌شوند (Nouri Azhar & Ehsanzadeh, 2007). کمبود آب در مرحله گلدهی و گرده‌افشانی باعث کاهش شدید عملکرد از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیمی دانه‌گرده و در نهایت کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود. در تحقیق حاضر نیز افزایش تنش کم‌آبی سبب کاهش قابل‌توجهی در عملکرد دانه ذرت گردید. کاهش وزن دانه در تنش کم‌آبی بعد از گرده‌افشانی بیشتر به دلیل کاهش دوره پر شدن دانه می‌باشد. پژوهشگران دریافته‌اند که تنش کم‌آبی سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (وزن نهایی بلال، وزن چوب بلال و تعداد دانه در ردیف بلال) شد، ولی کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی این پارامترها را افزایش داد (Majidian and Ghadiri, 2002). همچنین، مشخص شده است که تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد و نمو ذرت سبب کاهش خصوصیات رویشی و عملکردی ذرت گردید، ولی کاربرد ۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی سبب بهبود شرایط رشدی و عملکردی ذرت در شرایط تنش کم‌آبی گردید (Alizadeh et al., 2007). تنش کم‌آبی، به دلیل کاهش طول بلال و به تبع آن کاهش تعداد دانه در بلال، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. کمبود آب مانع از آن می‌شود که وزن زیستی کل گیاه به حداکثر خود برسد. این کاهش می‌تواند به دلیل اثر منفی تنش کم‌آبی بر فتوسنتز باشد. اثر مثبت آبیاری در افزایش عملکرد بیولوژیک توسط پژوهشگران دیگر نیز عنوان شده است (Nejad et al., 2010). گزارش‌ها نشان داد که با افزایش سطح نیتروژن مصرفی از ۱۴۰ به ۲۲۰ کیلوگرم بر هکتار، وزن کل گیاه

ذرت حدود ۶۰۳ گرم در مترمربع افزایش یافت (Namakka *et al.*, 2008). کاهش وزن کل گیاه در مقادیر کم مصرف نیتروژن توسط پژوهشگران نیز گزارش شده است (Lenka *et al.*, 2009). مشخص شده است که کاهش عملکرد دانه در ذرت در شرایط تنش کم آبی، بیشتر در ارتباط با کاهش تعداد دانه نسبت به وزن دانه‌ها بود (Calvino *et al.*, 2003). گزارش‌ها نشان داد که تنش کم آبی موجب کاهش اجزای بلال از جمله تعداد دانه می‌گردد (Rezaei Sookhtabandani *et al.*, 2009).

در مطالعه‌ای توسط مجیدیان و همکاران (Majidian *et al.*, 2008) مشاهده شد که با افزایش سطوح نیتروژن تفاوت معناداری در قطر ساقه پدید نیامد. همچنین، نتایج آزمایش مجدم و مدحج (Mojadam & Madhaj, 2012) نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن از صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار، قطر ساقه به طور غیر معناداری افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز توسط سپهری و همکاران (Sepehri *et al.*, 2007) گزارش شده است. کیهانی و مدحج (Keyhani and Modhaj, 2014) گزارش دادند که افزایش میزان نیتروژن باعث افزایش میانگین عملکرد دانه ذرت می‌گردد. این افزایش عملکرد دانه در تیمارهای مصرف نیتروژن به دلیل افزایش تعداد دانه در ردیف و وزن صد دانه بود. پژوهشگران در بررسی‌های خود نتیجه گرفتند که تنش کم آبی ملایم و شدید عملکرد دانه ذرت را به ترتیب ۶۳ و ۸۵ درصد کاهش می‌دهد (Debaeke and Aboudrare, 2004). مجیدیان و غدیری (Majidian & Ghadiri, 2002) نشان دادند که با آبیاری در سطح معادل ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه، عملکرد دانه ذرت به ترتیب ۶۳ و ۴۱ درصد کاهش یافت. پژوهشگران گزارش کردند که تنش کم آبی موجب کاهش ارتفاع گیاه، اجزای بلال، عملکرد دانه و وزن تر کل گیاه گردید (Rabani and Emam, 2011). پژوهشگران در نتایج تحقیقات خود چنین گزارش کردند که هر چه تنش کم آبی صورت گرفته توسط کم آبیاری بیشتر باشد، ارتفاع گیاه نیز کاهش پیدا می‌کند (Cakir, 2004).

به نظر می‌رسد که مصرف کودهای نیتروژن به‌ویژه اوره، با تأمین نیتروژن به شکل آمونیومی و نیتراتی، سبب افزایش سرعت رشد رویشی و در نتیجه افزایش نیاز گیاه به آب می‌شود. در شرایطی که آب کافی فراهم نباشد، این امر می‌تواند منجر به بروز محدودیت رشد یا حتی سمیت ناشی از تجمع آمونیوم گردد. با این حال، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در تمامی سطوح تنش کم آبی، افزایش میزان نیتروژن توانست عملکرد را نسبت به سطوح پایین‌تر نیتروژن بهبود بخشد. این موضوع بیانگر آن است که تأمین کافی نیتروژن تا حدی قادر است اثرهای منفی کم آبی را جبران نماید. به عبارت دیگر، افزایش نیتروژن احتمالاً از طریق بهبود شاخص سطح برگ، افزایش فتوسنتز خالص، ارتقای رشد ریشه و کارایی جذب آب، و نیز بهبود کارایی مصرف آب، توانسته است کاهش عملکرد ناشی از تنش کم آبی را تعدیل نماید. از سوی دیگر، شدت تنش‌های اعمال شده در این پژوهش به‌گونه‌ای نبود که سازوکارهای اساسی رشد و تولید گیاه به‌طور کامل مختل گردد، بنابراین گیاه توانسته است با بهره‌گیری از نیتروژن اضافی بخشی از افت عملکرد ناشی از محدودیت آب را جبران کند. مقایسه عملکرد دانه نشان داد که در تیمارهای بدون تنش یا تنش ملایم (۹۰ و ۱۴۰ میلی‌متر)، افزایش نیتروژن از ۲۰۰ به ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار منجر به افزایش قابل توجه عملکرد شد. در این شرایط، افزایش تعداد دانه در هر ردیف، تعداد ردیف‌های دانه، وزن صد دانه و در نهایت شاخص برداشت مشاهده گردید. به بیان دیگر، نیتروژن در شرایطی که آب کافی در اختیار گیاه باشد، توانست ظرفیت بالقوه ذرت را فعال کرده و به حداکثر عملکرد نزدیک شود، اما در سطوح تنش شدید (۱۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر)، حتی مقادیر بالای نیتروژن نیز نتوانستند افت شدید عملکرد را جبران کنند. این یافته نشان می‌دهد که در شرایط تنش شدید خشکی، آب عامل محدودکننده اصلی است و کود نیتروژن نمی‌تواند جایگزین آن شود. از نظر فیزیولوژیک، یکی از دلایل افزایش عملکرد در تیمارهای دارای نیتروژن بالا، افزایش فتوسنتز خالص بود. نیتروژن کافی با افزایش سطح برگ و شاخص کلروفیل، سبب شد گیاه بتواند حتی در شرایط محدودیت آب، کربن بیشتری تثبیت کرده و ماده خشک بیشتری تولید نماید. این موضوع در نتایج عملکرد بیولوژیک نیز کاملاً مشهود بود. همچنین، افزایش نیتروژن موجب افزایش شاخص برداشت

شد؛ زیرا نسبت بیشتری از ماده خشک تولیدی به اندام اقتصادی (دانه) تخصیص داده شد. این موضوع اهمیت نیتروژن را در بهبود تخصیص کربوهیدرات‌ها و افزایش بهره‌وری نهایی محصول نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش معنادار صفات رویشی و فیزیولوژیک ذرت شامل ارتفاع بوته، مقدار نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید و در نهایت عملکرد دانه و بیولوژیک را کاهش داد. شدت کاهش عملکرد در تیمارهای ۱۹۰ و ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگ تبخیر بارزتر بود و بیانگر حساسیت مراحل زایشی ذرت به کم‌آبیاری است. در مقابل، مصرف نیتروژن به‌ویژه در سطوح بالا (۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر هکتار) توانست بخشی از آثار منفی کم‌آبی را جبران کند. افزایش نیتروژن از طریق بهبود رشد رویشی، افزایش سطح برگ و بهبود کارایی فتوسنتزی، سبب افزایش تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد دانه شد. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط تنش ملایم خشکی، مصرف بیشتر اوره می‌تواند افت عملکرد ناشی از کمبود آب را تعدیل نماید. افزایش بیش از حد نیتروژن در شرایط تنش شدید خشکی (۲۴۰ میلی‌متر) نتوانست کاهش عملکرد را جبران کند که نشان می‌دهد در چنین شرایطی محدودیت آب عامل غالب است. همچنین، یافته‌ها حاکی از آن است که در شرایط تأمین آب کافی، می‌توان مصرف کود نیتروژن را تا حدود ۵۰ درصد کاهش داد بدون آنکه کاهش معناداری در عملکرد مشاهده شود. چنین نتایجی از منظر اقتصادی و زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارند؛ زیرا علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، از اتلاف کود و آلودگی منابع آب و خاک نیز جلوگیری خواهد شد. بنابراین، برهم‌کنش آب و نیتروژن نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری عملکرد ذرت دارد.

منابع مورد استفاده

References

- Abbasi, A., Lotfi, R., & Golkari, S. (2022). Effect of crop rotation and crop residues on grain yield and activity of some antioxidant enzymes of different dryland wheat cultivars under conservation agriculture. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 11(1), 1-23. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22092/idaaj.2022.342530.298>
- Ahmadinejad R., Najafi N., Aliasgharzad N., & Oustan S. (2013). Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat. *Journal of Water and Soil Science*, 23(2), 177-197. (In Persian with English abstract)
- Alahdadi, I., Pirdashti, H. A., & Rigi, K. (2011). Effect of nitrogen levels and planting density on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 7(1), 17-29. (In Persian with English Abstract)
- Alizadeh, A. (2001). *Principles of applied hydrology* (4th ed.). Ferdowsi University of Mashhad Press. (In Persian with English Abstract)
- Alizadeh, A., Pirdashti, H. A., Rigi, K., & Kavooosi, R. (2007). Effect of nitrogen levels and planting density on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 3(2), 1-13. (In Persian with English Abstract)
- Ali, Q., Ashraf, M., & Ashraf, M. Y. (2001). Influence of water stress on growth and some physiological attributes of three maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 38(3-4), 169-174.
- Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., & Burman, R. D. (1989). Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81(4), 650-662. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100040019x>
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Atanasova, S. (2008). Response of maize hybrids to nitrogen fertilization. *Journal of Central European Agriculture*, 9(3), 437-442.

- Barrs, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15(3), 413-428.
- Behroozi, M., Emam, Y., & Pirasteh Anosheh, H. (2016). Effect of leaf defoliation on yield and yield components of wheat cultivars under drought tension conditions. *Crop Physiology Journal*, 8(30), 39-52. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1395.8.30.3.5>
- Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005>
- Calvino, P. A., Echarte, L., & Andrade, F. H. (2003). Grain weight and number response to nitrogen supply in maize. *Agronomy Journal*, 95(3), 643-650.
- Choukan, R., & Mosavat, A. (2006). *Maize cultivation*. Tehran University Press. (In Persian with English Abstract)
- Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 433-446. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.07.006>
- Earl, H. J., & Davis, R. F. (2003). Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy journal*, 95(3), 688-696. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.6880>
- Ershadi, S., Pirdashti, H., & Alizadeh, A. (2009). The effect of water deficit and nitrogen levels on some physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.) in Gorgan region. *Journal of Crop Physiology*, 1(1), 1-14. (In Persian with English Abstract)
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra S.M.A. (2009) Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Ghaderpoor, A., Reyhanitabar, A., Najafi, N. Zarehaghi, D. & Salimi Trazoj, S. (2025). Effects of biochar and nitrogen on rapeseed dry matter and macronutrients uptake under water deficit conditions in a pot culture. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(2), 43-71. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22034/sps.2025.67401.1010>
- Gupta, S., Prasad, R., & Singh, J. (2001). Drought tolerance mechanisms in maize. *Indian Journal of Plant Physiology*, 6(4), 329-335.
- Hajheidari, M., Ehsanzadeh, P., & Madahj, A. (2005). Yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under different irrigation regimes and nitrogen levels. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 36(3), 677-688. (In Persian with English Abstract)
- Halimian, F., Zare, M., & Amiri, R. (2020). Effect of drought stress and nitrogen fertilizer on physiological characteristics and yield of maize (*Zea mays* L.) single cross 704. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(37), 1-14. (In Persian with English Abstract)
- Hammad, H. M., Naseer, S., Ahmad, M., & Shahid, S. (2015). Effect of nitrogen rates on yield and yield components of maize hybrids under limited irrigation. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52(1), 101-106.
- Jaleel, C. A., Gopi, R., & Perumal, R. (2007). Drought stress resistance in plants: A review. *Journal of Environmental Biology*, 28(4), 603-608.
- Katerji, N., van Hoorn, J. W., & Hamdy, A. (2008). Water use efficiency of maize under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 95(6), 755-764.
- Keyhani, A., & Modhaj, A. (2014). Effect of nitrogen fertilizer on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 10(1), 1-15. (In Persian with English Abstract)
- Lack, P., Barta, L., & Galantai, S. (2008). Photosynthetic pigment changes in maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Acta Agronomica Hungarica*, 56(1), 21-30.
- Lenka, K., Mishra, M., & Das, S. (2009). Effect of nitrogen and phosphorus on growth and yield of maize. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(4), 312-320.
- Mahmoudi S., Najafi N., & Reyhanitabar A. (2015). Effects of soil moisture and sewage sludge compost on leaf chlorophyll index and some growth traits of alfalfa in greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 5(20), 207-220. (In Persian with English abstract) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1393.5.4.16.4>

- Majidian, M., & Ghadiri, H. (2002). Effect of different irrigation intervals and nitrogen levels on yield and yield components of maize. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9(3), 1-12. (In Persian with English Abstract)
- Majidian, M., Kamyab, F., & Ghadiri, H. (2008). Effect of irrigation regimes and nitrogen levels on yield and yield components of maize. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 4(2), 1-10. (In Persian with English Abstract)
- Markarian, S., Najafi, N., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2016). Interactive effects of *Ensifer meliloti* (*Sinorhizobium meliloti*) and phosphorus on some growth characteristics of alfalfa under soil water deficit conditions. *Journal of Soil Biology*, 3(2), 163–178. (in Persian with English abstract) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23452536.1394.3.2.7.9>
- Ministry of Agriculture Jihad. (2024). *Agricultural Statistics Yearbook, Volume 1: Field Crops (Crop Year 1401-1402)*. Tehran: Deputy for Planning and Economic Affairs, Information and Communication Technology Center.
- Mirzaei Varoei M., Oustan S., Reyhanitabar A., & Najafi N. (2024). Effect of application of nitrogen-enriched humic acid (NHA) on morphological and physiological characteristics of maize (Single cross 704). *Journal of Water and Soil Science*, 34(1), 91–111. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22034/ws.2021.49033.2501>
- Mojadam, M., & Madhaj, A. (2012). Effect of nitrogen fertilizer on growth, yield and yield components of maize under different irrigation regimes. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(1), 1-12. (In Persian with English Abstract)
- Morshedi, E., Gharineh, M. H., Koochakzadeh, A., & Bakhshandeh, A. (2023). Effect of plant growth-promoting bacteria and chemical fertilizer on yield and malt production efficiency in different barley cultivars under rainfed conditions. *Rainfed Agriculture of Iran*, 11(2), 235–254. (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22059/jci.2022.333633.2638>
- Motalebifard R., Najafi N., Oustan S., Nyshabouri M.R., & Valizadeh M. (2014). Effects of soil moisture, phosphorus and zinc levels on the growth attributes of potato in greenhouse conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(1), 75–86. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22059/ijswr.2014.51173>
- Namakka, S. A., Hassan, F. A., & Bako, J. A. (2008). Growth and yield of maize (*Zea mays* L.) as influenced by nitrogen fertilizer rates. *Journal of Sustainable Agriculture*, 31(4), 11-20.
- Nejad, S. A., Komeili, M., & Tavassoli, A. (2010). Effect of drought stress on growth and physiological traits of maize. *Journal of Crop Physiology*, 2(1), 1-14. (In Persian with English Abstract)
- Nouri Azhar, J., & Ehsanzadeh, P. (2007). Combined effects of drought and nitrogen on maize (*Zea mays* L.) yield components. *Journal of Plant Nutrition*, 30(7), 1087-1099.
- Rabani, J., & Emam, Y. (2011). Effect of drought stress on physiological traits and yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Iranian Journal of Crop Science*, 12(1), 1-15. (In Persian with English Abstract)
- Rezaei Sookhtabandani, M., Amini Dehaghi, M., & Bagheri, H. (2009). Effect of drought stress and nitrogen levels on physiological traits and yield of maize. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 5(1), 1-15. (In Persian with English Abstract)
- Sairam, R. K., & Saxena, D. C. (2000). Oxidative stress and antioxidant system in wheat genotypes differing in drought tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184(1), 55-60. <https://doi:10.1046/j.1439-037x.2000.00358.x>
- Sepehri, A., Mojadam, M., & Madhaj, A. (2007). Effect of nitrogen fertilizer on growth and yield of maize. *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 3(2), 1-10. (In Persian with English Abstract)
- Shafighi, R., Pourmohammad, A. & Aslani, I. (2025). Agronomic and yield responses of some dryland wheat cultivars to chemical fertilizers of urea and triple superphosphate in Hashtrud region. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(1), 67–84 . (In Persian with English Abstract) <https://doi.org/10.22034/sps.2025.66779.1005>
- Siddique, M. R. B., Hamid, A., & Islam, M. S. (1999). Drought stress effects on growth and yield of two wheat genotypes. *Bangladesh Journal of Botany*, 28(2), 183-189.
- Tas, B., & Tas, S. (2007). Drought stress effects on chlorophyll content in maize (*Zea mays* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(3), 199-204.

- Yari, A., Abbasi, N., & Hajinia, S. (2024). Evaluation of morpho-physiological traits, yield, and grain quality of three camelina ecotypes under water deficit conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 55(2), 89–104. (In Persian with English Abstract)
<http://doi.org/10.22059/ijfcs.2023.361897.655017>
- Yin, C., Duan, B., Wang, X., & Li, C. (2004). Morphological and physiological responses of two contrasting poplar species to drought stress and exogenous abscisic acid application. *Plant Science*, 167(5), 1091-1097. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.06.005>
- Zang, X. , & Komatsu, S. (2007). A proteomics approach for identifying osmotic-stress-related proteins in rice. *Phytochemistry*, 68(4), 426–437 <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.11.005>