

Studying the effect of irrigation and nitrogen levels on chlorophyll fluorescence characteristics and yield of maize cultivars

Mansor Halimi Sofi ^a, Hamidreza Mobasser ^{*b}, Ahmad Mehraban ^b, Hamidreza Ganjali ^b, Khaled Miri ^c

^a Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

^b Department of Agrotechnology, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

^c Balochistan Agricultural Research and Training Center, Agricultural Research and Extension Organization, Iranshahr, Iran

*Corresponding Author: mobasser@iau.ac.ir

Received: 15 July 2025

Accepted: 22 April 2026

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.534820.1504

How to cite this article:

Halimi Sofi, M., Mobasser, H., Mehraban, A., Ganjali, H. and Miri, K., 2026. Studying the effect of irrigation and nitrogen levels on chlorophyll fluorescence characteristics and yield of maize cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, 8(1), 95-115. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.534820.1504>

Abstract

Introduction: Drought and water deficit stress always threaten agriculture in hot and dry regions. Considering the progress of science and the existence of advanced devices such as a chlorophyll meter, and investigating the possibility of using the Fv/Fm ratio as a criterion to determine the irrigation time and the effect of drought and nitrogen stress on chlorophyll fluorescence between different varieties of corn, it can be studied and implemented. Conducting such tests in the Baluchistan region, as seen in Bahuklat, has achieved significant results that, to some extent, address the problems caused by water scarcity and drought tensions.

Materials and Methods: This research was conducted to evaluate the effect of water stress and different amounts of nitrogen fertilizer on the chlorophyll fluorescence index of corn cultivars in the 2020-2021 crop year using a factorial split-plot experiment in a randomized complete block design with four replications at Bahuklat research farm. Irrigation treatments at four levels including common irrigation based on region, interruption of irrigation at the flowering stage, the seed filling stage and the flowering and filling stage seed in the main plots and different amounts of nitrogen fertilizer at four levels including treatments of without nitrogen fertilizer, the use of 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ of nitrogen; and three corn varieties including of Koosha 201, Fajr 260 and Dehghan 400 were considered in the sub-plots.

Results and Discussion: The research findings indicated that the highest grain yield was achieved with the irrigation control treatment, utilizing 200 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilizer, resulting in a yield of 8530.6 kg ha⁻¹. Among the varieties studied, the Dehghan 400 cultivar had the highest grain yield of 6640.11 kg ha⁻¹ and was statistically grouped with the Fajr 260 cultivar. Furthermore, the maximum biological yield was associated with the irrigation control treatment under the nitrogen fertilizer rate of 200 kg ha⁻¹, yielding 20599 kg ha⁻¹. The highest harvest index, recorded at 47.3%, was obtained from the treatment that interruption of irrigation at the flowering stage, and it was also statistically similar to the treatment that interruption of irrigation at the grain filling stage, both using 200 kg ha⁻¹



of nitrogen fertilizer. In terms of chlorophyll fluorescence parameters, the highest Fv/Fm ratio of 0.443 was noted in the treatment that interruption of irrigation at both the flowering and grain filling stages. The treatment using 100 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilizer also showed a significant Fv/Fm ratio of 0.415. It can be said that in the irrigation control treatment, water supply continued according to local practices until the end of the vegetative, flowering, and grain filling stages. As a result, maximum vegetative growth and dry matter yield were observed in this treatment. Additionally, applying nitrogen fertilizer at a rate of 200 kg ha⁻¹ led to increased dry matter production and higher biological yields during the flowering and grain filling stages. The application of 200 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilizer enhanced vegetative growth, which in turn boosted photosynthesis, resulting in greater dry matter production and increased biological yield. It is likely that the higher dry weight of the vegetative organs in the Dehghan 400 cultivar is related to its efficient use of environmental factors and its ability to produce dry matter. This cultivar has successfully stored more carbohydrates and reserve substances.

Conclusion: To achieve optimal results in corn cultivation in the Bahuklat region, it is recommended to stop irrigation during the grain filling stage. This advice is based on findings that suggest using 200 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilizer and cultivating the Dehghan 400 cultivar will yield the best outcomes.

Keywords: Biological yield, Cultivar, Drought stress, Irrigation interruption, Fv/Fm ratio

بررسی اثر سطوح آبیاری و نیتروژن بر ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد ارقام ذرت

منصور حلیمی صوفی^۱، حمیدرضا مبصر^{۲*}، احمد مهربان^۲، حمیدرضا گنجعلی^۲، خالد میری^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه آگروتکنولوژی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

۲- گروه آگروتکنولوژی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

۳- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بلوچستان، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، ایرانشهر، ایران

* مسئول مکاتبه: mobasser@iau.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.534820.1504

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۴

چکیده

به منظور بررسی اثر سطوح آبیاری و نیتروژن بر ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل و عملکرد ارقام ذرت، تحقیقی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ با استفاده از آزمایش فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی باهوکلات بلوچستان به اجرا درآمد. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری براساس عرف منطقه، قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه در کرت‌های اصلی و مقادیر مختلف کود نیتروژن در چهار سطح شامل تیمار بدون مصرف کود، مصرف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ و سه رقم ذرت کوشا ۲۰۱، فجر ۲۶۰ و دهقان ۴۰۰ در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. براساس نتایج بالاترین مقدار عملکرد دانه (۸۵۳۰/۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۲۰۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) از تیمار شاهد آبیاری در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به دست آمد. در بین ارقام مورد بررسی نیز، بیشترین عملکرد دانه متعلق به رقم دهقان ۴۰۰ (۶۶۴۰/۱۱ کیلوگرم در هکتار) بود. در بررسی پارامترهای فلورسانس کلروفیل بیشترین نسبت Fv/Fm از تیمار قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه (۰/۴۴۳) و تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۰/۴۱۵) به دست آمد. براساس نتایج حاصله، به منظور دستیابی به نتایج مطلوب کشت ذرت در منطقه باهوکلات، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و کشت رقم دهقان ۴۰۰ پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: قطع آبیاری، تنش خشکی، رقم، عملکرد بیولوژیک، نسبت Fv/Fm

مقدمه

عملکرد آن به شدت تحت تأثیر میزان دسترسی به آب قرار دارد (Kresovic et al., 2016; Markovic et al., 2017). به طوری که نقش مدیریت آبیاری و راهبردهای کم‌آبیاری در بهبود کارایی مصرف آب این محصول در پژوهش‌های مختلف مورد تأکید قرار گرفته است (Trout and DeJonge, 2017). محدودیت‌های بیولوژیکی مربوط به فتوسنتز ناشی از کمبود آب، منجر به مهار رشد گیاه و در نهایت کاهش تولید محصول و عملکرد دانه می‌شوند (Jin et al., 2017). این محدودیت‌ها شامل کاهش محتوای کلروفیل، میزان جذب خالص (A_{net})، هدایت روزنه‌ای و کارایی فتوشیمیایی و دیگر فرآیندهای بیوشیمیایی مرتبط می‌باشد (Guanter et al., 2014). محققان همبستگی مثبت و بالای Fv/Fm و Fv را با عملکرد دانه گیاه ذرت تحت تنش خشکی گزارش دادند (Darvish-Balouchi et al., 2010). همچنین در پژوهشی، محققین طی بررسی

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است (Lgnaciuk and Mason-Dcroz, 2014). ذرت علاوه بر تغذیه انسان و دام، به عنوان یک ماده اولیه برای صنعت نشاسته، پروتئین، روغن و سوخت‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yerva et al., 2016). سطح زیر کشت ذرت در ایران در حدود ۱۳۹ هزار هکتار و متوسط عملکرد ذرت در هکتار حدود ۷۶۹۰ کیلوگرم است (Ahmadi et al., 2018).

کمبود آب یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها برای رشد، بهره‌وری و عملکرد دانه بسیاری از محصولات زراعی در جهان است (Hussain et al., 2018). در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله ایران، این عامل به عنوان اصلی‌ترین مانع در افزایش سطح زیرکشت، عملکرد و کارایی مصرف آب گیاهان زراعی شناخته می‌شود. ذرت از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که

ذرت نیاز بیشتری به کودهای نیتروژنی دارد (Kidist, 2013). حداکثر جذب نیتروژن توسط ذرت، در طول ماه قبل از ظهور گل تاجی و ابریشم‌دهی رخ می‌دهد. از آنجایی که کمبود نیتروژن در زمان ابریشم‌دهی ذرت موجب افت شدید عملکرد دانه می‌شود، وجود موازنه میان فراهمی نیتروژن در محلول خاک و میزان جذب گیاهی برای دستیابی به پتانسیل عملکرد در رقم‌های جدید ضروری می‌باشد (Andrade et al., 2000). در شرایط رشد بدون محدودیت، گیاه ذرت به دلیل مسیر فتوسنتزی چهارکربنه، تولید زیست‌توده بالاتری نسبت به غلات سه کربنه دارد که باعث افزایش کارایی مصرف نور و نیتروژن در این گیاه می‌شود (Jafarikouhinia et al., 2020).

عملکرد نهایی ذرت به عوامل متعددی از جمله نمو موفقیت‌آمیز گل‌ها، باروری آن‌ها، تکوین رویان و تجمع نشاسته و پروتئین در دانه بستگی دارد. هر کدام از این فرآیندها نیاز به عرضه مستمر مواد پرورده به واحدهای زایشی دارند. با این حال، تنش کم‌آبی با اختلال در روند جذب و انتقال عناصر غذایی، فتوسنتز گیاه و عرضه مواد پرورده را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش دوام و سطح برگ‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌شود (Lack, 2013).

منطقه باهوکلات با چالش‌های مختلفی از جمله تنش‌های رطوبتی و گرمایی در زمینه کشت اغلب گیاهان زراعی مواجه است که بر عملکرد محصول تأثیر می‌گذارند. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثرات تنش آبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و عملکردی ذرت برای تعیین زمان آبیاری این محصول در شرایط منطقه باهوکلات بلوچستان به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی میزان فلورسانس کلروفیل و مقایسه ارقام ذرت در سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن خاک طی سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی باهوکلات واقع در استان سیستان و بلوچستان با عرض جغرافیایی ۲۵ درجه و ۱۴ دقیقه و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۳ دقیقه اجرا گردید. ارتفاع محل آزمایش ۸۵ متر از سطح دریا بود.

قبل از شروع آزمایش چند نمونه به صورت تصادفی از

تأثیر محدودیت آبی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل ارقام مختلف جو بیان کردند که به دلیل افزایش فلورسانس کمینه و کاهش فلورسانس بیشینه، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II طی تنش کم‌آبی کاهش یافت (Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010).

یکی از راه‌های صحیح برای دستیابی عملکرد دانه بالا در ذرت در یک منطقه انتخاب صحیح ژنوتیپ‌های برتر نسبت به سایر هیبریدهای ذرت است (Ali et al., 2015). اصلاح ذرت از زمانی آغاز شد که انسان ارزش این گیاه را در تامین غذا، دام، فیبر و سوخت کشف کرد. سال‌ها این گیاه در طی مراحل انتخاب توسط کشاورزان از یک گیاه وحشی به یک گیاه اهلی تبدیل شده است (Hallauer et al., 2010). گیاه ذرت به دلیل برخورداری از سازگاری بالا در محدوده وسیعی از شرایط محیطی قابل کشت است (Eskandari and Ghanbari, 2011).

در صورت فراهم بودن رقم مناسب و رعایت اصول کشت قادر به تولید عملکرد بالا می‌باشد (Farnham, 2001). محققان گزارش نمودند از آنجا که با کاشت ارقام زودرس ذرت دانه‌ای نسبت به ارقام دیررس میزان آب کمتری مصرف می‌شود (از طریق کاهش تعداد دفعات آبیاری)، بایستی کشت ارقام دیررس کاهش یابد (Mohammadi and Rahmani, 2016). محققان نتیجه گرفتند که ارقام زودرس و میان‌رس ذرت دانه‌ای نسبت به ارقام دیررس سازگاری بهتری به کمبود آب (به‌ویژه در انتهای فصل رشد) دارند (Larson and Clegg, 1999). در یک مطالعه دیگر در شرایط تنش خشکی آخر فصل، ارقام زودرس و میان‌رس ذرت ممکن است از تبعات سوء تنش خشکی فرار کنند (Kaman et al., 2011). در پژوهش دیگری گزارش گردید، ارقامی که در شرایط تنش خشکی از محتوای نسبی آب بالاتری برخوردار بودند، به دلیل سرعت فتوسنتز بالاتر، عملکرد دانه بیشتری داشتند (Nazari-Nasi et al., 2012).

کاهش عناصر غذایی در خاک‌های زراعی دنیا به علت زراعت‌های متوالی و بی‌رویه، استفاده از کود را در مزرعه ضروری نموده است (Taheri Oshtrinani and Fathi, 2016).

در صورت وجود مقدار کافی نیتروژن در خاک، گیاهان زراعی دارای رشد رویشی، سطح برگ بیشتر و عملکرد مناسب خواهند بود (Zabet et al., 2014). در مقایسه با سایر غلات،

قسمت‌های مختلف مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. سپس یک نمونه مرکب انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج به‌دست آمده از تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک ایستگاه باهوکلالت

Table 1- Physical and chemical results of soil at Bahuklat station

بافت Texture	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
	(%)			(dS m ⁻¹)		(ppm)		
سیلتی لوم Silty loam	18	69	13	7.35	7.1	0.029	7.4	60

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری براساس عرف منطقه، قطع آبیاری در مرحله گلدهی، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه و قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه در کرت‌های اصلی و مقادیر مختلف کود نیتروژن در چهار سطح شامل تیمار بدون مصرف کود، مصرف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ و سه رقم ذرت کوشا ۲۰۱، فجر ۲۶۰ و دهقان ۴۰۰ در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. آبیاری براساس عرف منطقه پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر کلاس A صورت گرفت. ارقام مورد بررسی در این آزمایش شامل سه رقم ذرت دانه‌ای کوشا ۲۰۱ (KSC 201) هیبرید جدید زودرس، رقم فجر ۲۶۰ (KSC 260) هیبرید جدید زودرس و رقم دهقان (KSC 400) هیبرید جدید زودرس- متوسط‌طرس بودند که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان ایرانشهر تهیه شدند. به‌منظور آماده‌سازی زمین ابتدا زمین مورد نظر با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار تا عمق ۳۵ سانتی‌متری شخم زده شد. با استفاده از دیسک کلوخه‌ها خرد و پس از آن با لولر تسطیح و یکنواخت گردید. سپس با استفاده از نه‌رکن کانال‌های انتقال آب ایجاد و در نهایت کرت‌بندی زمین صورت پذیرفت. هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف کشت به طول سه متر و عرض ۲۱۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین ردیف‌ها ۷۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم کاشت شامل ۶۰ بوته در هر کرت با تعداد ۲۰ بوته روی ردیف بود. فاصله بین هر تکرار به‌همراه جوی آب یک‌ونیم متر در نظر گرفته شد. بعد از اتمام عملیات خاکورزی، بلافاصله آبیاری به‌صورت نشستی انجام شد. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد براساس تیمارهای مورد بررسی در جدول ۲ و میزان آب مصرفی برای ارقام در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- میزان آب آبیاری در تیمارهای مختلف

Table 2- Irrigation amount in different treatments

سطوح آبیاری Irrigation levels	تاریخ قطع آبیاری Interruption of irrigation date	تعداد آبیاری NO. irrigations (Per treatment)	میزان آب آبیاری Irrigation amount (m ³)
آبیاری براساس عرف منطقه Common irrigation based on region	بدون قطع آبیاری Without interruption of irrigation	27	8800
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Interruption of irrigation in the flowering stage	۲۰ خرداد تا ۱۰ تیر ۱۴۰۰ 10 June to 1 July 2021	20	6345
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Interruption of irrigation in the seed filling stage	۱۱ تیر تا ۲ شهریور ۱۴۰۰ 2 July to 24 August 2021	15	5670
قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه Interruption of irrigation in the flowering and filling stage Seeds	۲۰ خرداد تا ۲ شهریور ۱۴۰۰ 10 June to 24 August 2021	10	3150

جدول ۳- تاریخ قطع آبیاری برای ارقام

Table 3- Interruption of irrigation date for cultivars

سطوح آبیاری Irrigation levels	کوشا KSC 201	فجر KSC 260	دهقان KSC 400
آبیاری بر اساس عرف منطقه Common irrigation based on region	بدون قطع آبیاری Without interruption of irrigation	بدون قطع آبیاری Without interruption of irrigation	بدون قطع آبیاری Without interruption of irrigation
قطع آبیاری در مرحله گلدهی Interruption of irrigation in the flowering stage	۲۰ خرداد ۱۴۰۰ 10 June 2021	۲۰ خرداد ۱۴۰۰ 10 June 2021	۲۳ خرداد ۱۴۰۰ 13 June 2021
قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه Interruption of irrigation in the seed filling stage	۱۲ تیر ۱۴۰۰ 2 July 2021	۱۲ تیر ۱۴۰۰ 2 July 2021	۱۲ تیر ۱۴۰۰ 4 July 2021
قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه Interruption of irrigation in the flowering and filling stage Seeds	۲۰ خرداد ۱۴۰۰ 10 June 2021	۲۰ خرداد ۱۴۰۰ 10 June 2021	۲۳ خرداد ۱۴۰۰ 13 June 2021

شامل برگ، ساقه و بلال (زیست توده هوایی) ابتدا بذور از نمونه‌ها جدا و سپس به کمک دستگاه آن (در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) تا حصول وزن ثابت خشک شدند. در ادامه، به‌همراه بذور، توزین و بر مبنای کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند. با به‌دست آوردن عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در هکتار، شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک ضرب در ۱۰۰ محاسبه گردید.

پارامترهای اندازه‌گیری فلورسانس شامل فلورسانس کمینه (F_0)، فلورسانس بیشینه (F_m) و بیشینه پتانسیل کارایی کوانتومی فتوسیستم II ($F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$) بودند. میزان فلورسانس کلروفیل با استفاده از دستگاه فلورومتر (PAM 2500, Waiz, Germany) با توانایی اندازه‌گیری فلورسانس در دو مرحله، یک‌بار در مرحله رویشی (۱۰ برگی) و مرحله ظهور گل‌آذین‌نر از هر کرت آزمایشی، به‌طور تصادفی تعداد پنج برگ از سه بوته فلورسانس کلروفیل در بین ساعات ۱۱ تا ۱۳ اندازه‌گیری شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در یک محدوده دو ساعتی به‌منظور به حداقل رساندن اثر تغییرات روزانه در شدت جریان فتوسنتزی در طول نمونه‌برداری و کم کردن اثرات آن بر پارامتر مورد اندازه‌گیری صورت گرفت. سنجش وضعیت فلورسانس از محل میانه برگ و ما بین رگبرگ اصلی و لبه برگ اندازه‌گیری شد (ONeil et al., 2006).

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

عملیات کاشت در تاریخ دوم اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. به‌منظور کاشت بذرها، تعداد دو عدد بذر در عمق سه تا چهار سانتی‌متر با فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر کاشته شد و سپس آبیاری صورت گرفت. به‌منظور دستیابی به تراکم مطلوب، بوته‌های اضافی در هر نقطه کاشت در مرحله سه الی چهار برگی حذف گردید. کود نیتروژن از منبع اوره با توجه به تیمارهای آزمایش در دو مرحله به‌صورت یک دوم کود در مرحله شش تا هشت برگی و یک دوم باقی‌مانده قبل از گلدهی با آب آبیاری وارد خاک شد. مبارزه با علف‌های هرز غالب مزرعه شامل اوبارسلام و آفتاب‌پرست با استفاده از علف‌کش دو منظوره کروز (نیکوسولفورون چهار درصد SC) به‌مقدار دو لیتر ماده تجاری (معادل ۸۰ گرم ماده موثره) و مبارزه با زنجره‌های ناقل بیماری از حشره‌کش سوین به‌میزان سه لیتر در هکتار به‌صورت محلول‌پاشی به اندام‌های هوایی گیاه در طی کل دوره رویشی صورت گرفت.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و هنگامی که یک سوم پایینی بوته‌های ذرت زرد شدند و دانه‌های درون بلال حلت خمیری داشتند، عملیات برداشت از تاریخ ۱۶ تا ۲۱ مردادماه با توجه به رقم مورد استفاده از سطح زمین به‌صورت دستی صورت گرفت. خط دوم و پنجم کاشت به‌عنوان نمونه‌برداری و خط سوم و چهارم به‌عنوان برداشت نهایی و سایر خطوط به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند.

اندازه‌گیری قطر بلال با استفاده از ابزار متر دستی و بر حسب سانتی‌متر انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده آبیاری، کود نیتروژن و رقم در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری و کود نیتروژن نشان

داد که عملکرد دانه برای تیمار شاهد آبیاری، هنگام استفاده از ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، ۸۵۳۰/۶ کیلوگرم در هکتار بود و از نظر آماری مشابه تیمار شاهد آبیاری با استفاده از ۱۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود. این نشان‌دهنده افزایش ۴۳/۷۲٪ در مقایسه با عملکرد تیماری است که آبیاری در مرحله گلدهی بدون هیچ کود نیتروژنی متوقف شد، که ۴۸۰۱ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس آبیاری و نیتروژن بر صفات مورد مطالعه ارقام ذرت

Table 4- Variance analysis of irrigation and nitrogen on studied traits of corn varieties

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	قطر بلال	فلورسانس متغیر	Fv/Fm
S.O.V	df	Seed Yield	Biological Yield	Harvest index	Cob diameter	Fv	
تکرار	3	189842.0 ^{ns}	57175509.6 ^{**}	139.054 ^{**}	0.2513 ^{**}	40.580 ^{ns}	0.0047 ^{ns}
Replication							
آبیاری	3	108882458.9 ^{**}	43716585.7 ^{**}	2014.364 ^{**}	0.9844 ^{**}	381.087 ^{**}	0.0465 ^{**}
Irrigation							
خطای اصلی	9	50361.1	14134666	41.749	0.1722	63.902	0.0060
Main error							
نیتروژن	3	10623014.6 ^{**}	6713072.6 [*]	409.844 ^{**}	0.0798 [*]	11.644 ^{ns}	0.0066 [*]
Nitrogen							
آبیاری×نیتروژن	9	168437.2 [*]	10092715.9 ^{**}	31.276 ^{**}	0.0128 ^{ns}	28.338 ^{ns}	0.0033 ^{ns}
Irrigation×nitrogen							
رقم	2	697456.4 ^{**}	4919707.8 ^{ns}	55.256 ^{**}	0.0189 ^{ns}	14.323 ^{ns}	0.0044 ^{ns}
Cultivar							
آبیاری×رقم	6	101729.8 ^{ns}	5572013.2 [*]	12.650 ^{ns}	0.0088 ^{ns}	6.233 ^{ns}	0.0009 ^{ns}
Irrigation×cultivar							
نیتروژن×رقم	6	147153.9 ^{ns}	3540040.8 ^{ns}	17.246 [*]	0.0168 ^{ns}	28.879 ^{ns}	0.0030 ^{ns}
Nitrogen×cultivar							
آبیاری×نیتروژن×رقم	18	79054.6 ^{ns}	1973597.8 ^{ns}	11.635 ^{ns}	0.0329 ^{ns}	17.952 ^{ns}	0.0023 ^{ns}
Irrigation×Nitrogen×cultivar							
خطای فرعی	132	76243.0	2391370.2	7.335	0.0291	15.251	0.0024
Sub error							
ضریب تغییرات	-	4.20	8.78	7.23	4.29	12.93	12.21
C.V (%)							

^{ns}: غیر معنی‌دار؛ * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

^{ns}: not significant; * and **: significant at %5 and %1 probability levels, respectively

کمبود آب باعث تسریع پیری برگ و اثر نامطلوب بر فعالیت فتوسنتزی، رشد سلول، گسترش برگ و تعرق شده و در نتیجه موجب کاهش عملکرد گیاه می‌شود. یکی از دلایل احتمالی می‌تواند به دلیل کوتاه‌تر شدن مرحله رشد زایشی و وقوع تنش رطوبتی در زمان گلدهی مطرح باشد. سایر مطالعات بر ذرت تایید کرده‌اند که با افزایش آبیاری و نیتروژن، عملکرد دانه نیز به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Azizian and Sepaskhah,

2014). بهبود قابل توجه عملکرد ذرت در تیمارهای مصرف نیتروژن شیمیایی، به احتمال زیاد می‌تواند به دلیل فراهمی نیتروژن مورد نیاز گیاه باشد. در نتیجه تحقیقی بیان شد که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت و تیمار عدم مصرف کود کمترین تاثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت داشت (Ahmad et al., 2017).

جدول ۵- اثر متقابل آبیاری و نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت دانه‌ای

Table 5- Interaction effect of irrigation and nitrogen on biological yield, seed yield and harvest index of grain corn

تیمارهای آزمایشی Treatments	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)		عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha ⁻¹)		شاخص برداشت Harvest index (%)	
I ₁ N ₁	8251.8	b	16653.5	ef	46.35	ab
I ₁ N ₂	8435	ab	17358.1	de	47.3	a
I ₁ N ₃	8530.6	a	20599.0	a	44.57	b
I ₁ N ₄	8451.2	ab	18296.0	bcd	44.82	b
I ₂ N ₁	4801	e	16660.7	ef	27.39	i
I ₂ N ₂	5876.4	d	17371.9	de	32.91	fg
I ₂ N ₃	4966.9	e	18875.3	bc	34.43	ef
I ₂ N ₄	6951.3	c	18198.8	bcd	40.07	cd
I ₃ N ₁	4880.9	e	15596.6	f	30.31	h
I ₃ N ₂	5951.2	d	16454.6	ef	34.6	ef
I ₃ N ₃	5977.9	d	18644.4	bcd	31.72	gh
I ₃ N ₄	6989.7	c	17461.8	cde	42.15	c
I ₄ N ₁	4861.4	e	14061.3	g	34.33	ef
I ₄ N ₂	6091.1	d	17712.4	b-e	32.98	fg
I ₄ N ₃	6960.2	c	18683.1	bcd	39.46	d
I ₄ N ₄	7047.3	c	19126.4	b	35.71	e

میانگین‌های با حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری براساس عرف منطقه (I₁)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (I₂)، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (I₃)، قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I₄)؛ و تیمارهای کود نیتروژن در چهار سطح شامل تیمار بدون مصرف کود نیتروژن یا شاهد (N₁)، مصرف ۱۰۰ (N₂)، ۲۰۰ (N₃)، ۳۰۰ (N₄) کیلوگرم در هکتار نیتروژن.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the %5 level. Irrigation treatments at four levels including common irrigation based on region (I₁), interruption of irrigation in the flowering stage (I₂), interruption of irrigation in the seed filling stage (I₃), interruption of irrigation in the flowering and filling stage Seeds (I₄); and nitrogen fertilizer treatments at four levels, including treatment without nitrogen fertilizer or control (N₁), using 100 (N₂), 200 (N₃), 300 (N₄) kg ha⁻¹ of nitrogen.

عملکرد دانه تحت تاثیر رقم قرار گرفت. احتمالاً ارقام دهقان ۴۰۰ و فجر ۲۶۰ به علت پتانسیل بالاتر تعداد دانه در ردیف و تعداد دانه در بلال، بیشترین عملکرد دانه را از خود نشان داده و در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت بسیار زیادی به ترتیب به میزان ۲/۹۳٪ و ۲/۴۵٪ با رقم کوشا ۲۰۱ داشتند (جدول ۶).

جدول ۶- اثر رقم بر عملکرد دانه

Table 6- Effect of cultivar on seed yield

Table 6- Effect of cultivar on seed yield			
تیمارهای آزمایشی		عملکرد دانه	
Treatments		Seed yield (kg ha ⁻¹)	
V ₁		6444.99	b
V ₂		6606.90	a
V ₃		6640.11	a

میانگین‌های با حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. ارقام ذرت در سه سطح شامل رقم ذرت کوشا ۲۰۱ (V₁)، فجر ۲۶۰ (V₂) و دهقان ۴۰۰ (V₃).

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the %5 level. corn varieties in three levels, including Koosha 201 (V₁), Fajr 260 (V₂) and Dehghan 400 (V₃).

افزایش در میزان کلروفیل برگ و سطح سبزی گیاهی و ذخیره مواد فتوسنتزی باعث می‌گردد که پس از مرحله گرده‌افشانی مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه، طی فرآیند انتقال مجدد از ساقه به دانه‌های در حال پر شدن انتقال یابند و منجر به افزایش عملکرد دانه شوند. محققان در بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت در شرایط کشت تأخیری اظهار داشتند که رقم سینگل کراس ۷۰۴ بالاترین عملکرد دانه زمانی که خشکی در مرحله رویشی یا دانه‌بندی صورت گرفت را داشت. رقم Simon در مرحله دانه بستن بیشترین حساسیت را به تنش خشکی از نظر عملکرد اقتصادی داشت و کمترین عملکرد اقتصادی را تولید کرد (Moohamadi Behmadi and Armin, 2017). در مطالعه دیگری بر واکنش برخی هیبریدهای ذرت به تنش آبی بیان گردید که هیبریدهای KSC260، KSC704 و KSC647 از عملکرد مناسبی برخوردار بودند. این مطالعه نشان داد هیبریدهایی که دارای بیشترین عملکرد دانه در شرایط نرمال بوده‌اند، معمولاً در شرایط تنش نیز در مقایسه با سایر هیبریدها عملکرد بیشتری داشته‌اند (Rezaizad et al., 2018).

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده کود نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد و همچنین، اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آبیاری و رقم ذرت در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۲۰۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد آبیاری همراه با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که در مقایسه با تیمار قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه بدون مصرف کود نیتروژن (۱۴۰۶۱/۳ کیلوگرم در هکتار) ۳۱/۷٪ عملکرد بالاتری نشان داد (جدول ۵). احتمالاً در تیمار شاهد آبیاری، تامین آب آبیاری براساس عرف منطقه تا پایان مراحل رویشی، گلدهی و پر شدن دانه ادامه داشته است، بنابراین در این تیمار حداکثر رشد رویشی و عملکرد ماده خشک مشاهده گردید. همچنین مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار باعث افزایش رشد

رویشی و از این طریق سبب زیاد شدن فتوسنتز گردیده و به تولید ماده خشک بیشتر و افزایش عملکرد بیولوژیک منجر شده است. تنش خشکی سبب کاهش عملکرد زیست توده گیاهان می‌شود که علت آن را به کاهش جذب و مواد غذایی، کاهش هدایت روزنه‌ای نسبت داده و در نتیجه باعث کاهش قدرت فتوسنتزی می‌شود (Yang et al., 2016). نیتروژن با اثرگذاری بر فرآیندهای تقسیم سلولی و ساخت کلروفیل باعث افزایش رشد رویشی، ارتفاع و تعداد شاخه‌های جانبی و در نهایت، منجر به افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ در گیاه ذرت می‌گردد (Bahamin et al., 2019). یافته‌های تحقیق دیگری بر گیاه ذرت نشان داد که بالاترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد. همچنین پایین‌ترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم مصرف کود نیتروژن مشاهده شد (Heidari et al., 2023). نتایج یک تحقیق دیگر بر گیاه ذرت نشان داد که عوامل نیتروژن و رقم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشتند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کمبود نیتروژن به‌شدت شاخص سطح برگ را در رقم‌های ذرت کاهش داده و در نتیجه موجب کاهش شدید عملکرد بیولوژیک گردیده است (Madadzadeh and Amiri, 2023).

مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و رقم ذرت نشان داد که عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد آبیاری و رقم دهقان ۴۰۰ (۱۸۶۷۸/۳ کیلوگرم در هکتار) افزایش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که در این تیمار حداکثر عملکرد بیولوژیک با ۱۹/۷۴٪ افزایش نسبت به تیمار قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه و رقم دهقان ۴۰۰ (۱۴۹۸۹/۶ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار شاهد آبیاری و رقم دهقان، با مقدار آن در تیمارهای قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه برای هر سه رقم کوشا، فجر و دهقان در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۷). احتمالاً وزن خشک بیشتر اندام‌های هوایی در رقم دهقان ۴۰۰ می‌تواند به استفاده بهتر آن از عوامل محیطی و کارایی تولید ماده خشک مربوط باشد که توانسته است کربوهیدرات‌ها و مواد ذخیره‌ای بیشتر را در خود ذخیره نماید. ژنوتیپ‌های مختلف از نظر تجمع ماده خشک و

صفت مذکور غیرمعنی‌دار بود (Zaker Nejad et al., 2018). در تحقیق دیگری به‌منظور بررسی تغییرات عملکرد و بهره‌وری آب در ارقام مختلف ذرت دانه‌ای تحت مدیریت آبیاری با روش‌های آبیاری، گزارش گردید که با به‌کارگیری روش مناسب آبیاری در ارقام مناسب ذرت می‌توان میزان عملکرد گیاه را افزایش داد (Koochi Cheleh Kran et al., 2020).

تسهیم آن به اندام‌های گیاهی تفاوت‌های زیادی را نشان می‌دهند (Koutroubas et al., 2004). در تحقیقی به‌منظور مقایسه روش‌های مختلف آبیاری بر صفات زراعی و فیزیولوژیک ارقام ذرت در فصل‌های بهار و تابستان در شرایط آب‌وهوایی اهواز، گزارش گردید که اثر روش آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، اما اثر سال و برهم‌کنش تیمارها بر

جدول ۷- اثر متقابل آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیک ذرت دانه‌ای

Table 7- Interaction effects of irrigation and cultivar on biological yield of grain corn

تیمارهای آزمایشی Treatments	عملکرد بیولوژیک Biological Yield (kg ha ⁻¹)	
I ₁ V ₁	18178.5	ab
I ₁ V ₂	18389.9	a
I ₁ V ₃	18673.3	a
I ₂ V ₁	18216.5	ab
I ₂ V ₂	18184	ab
I ₂ V ₃	17847.1	abc
I ₃ V ₁	17598.9	abc
I ₃ V ₂	17750.2	abc
I ₃ V ₃	17726.1	abc
I ₄ V ₁	16650.2	c
I ₄ V ₂	17106.1	bc
I ₄ V ₃	14989.6	d

میانگین‌های با حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری بر اساس عرف منطقه (I₁)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (I₂)، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (I₃)، قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I₄)؛ و ارقام ذرت در سه سطح شامل رقم ذرت کوشا ۲۰۱ (V₁)، فجر ۲۶۰ (V₂) و دهقان ۴۰۰ (V₃).

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the %5 level. Irrigation treatments at four levels including common irrigation based on region (I₁), interruption of irrigation in the flowering stage (I₂), interruption of irrigation in the seed filling stage (I₃), interruption of irrigation in the flowering and filling stage Seeds (I₄); and corn varieties in three levels, including Koosha 201 (V₁), Fajr 260 (V₂) and Dehghan 400 (V₃).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده آبیاری، کود نیتروژن و رقم در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل کود نیتروژن و رقم در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل، در تیمار شاهد آبیاری در شرایط مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن بیشترین شاخص برداشت با ۴۷/۳ درصد و کمترین شاخص برداشت نیز در تیمار

قطع آبیاری در مرحله گلدهی در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن در هکتار با ۲۷/۳۹ درصد حاصل شد (جدول ۵). همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل کود نیتروژن و رقم نشان داد که بیشترین شاخص برداشت در شرایط عدم مصرف کود نیتروژن مربوط به رقم دهقان ۴۰۰ (۴۶/۰۹ درصد) بود و با دو رقم کوشا و فجر در یک گروه آماری قرار گرفت. شاخص برداشت با ۳۶/۳۲ درصد کاهش نسبت به بالاترین مقدار آن، در شرایط مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار از رقم کوشا ۲۰۱ (۲۹/۳۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۸). احتمالاً تأثیر آبیاری و

مصرف کود نیتروژن بر عملکرد دانه بیشتر از عملکرد بیولوژیک بوده و افزایش نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، باعث افزایش شاخص برداشت شده است. با توجه به شرایط نامطلوب به‌دنبال قطع آبیاری، فرصت کافی برای رشد رویشی گیاه وجود ندارد و در نتیجه گیاه به‌منظور حفظ بقای خود مواد فتوسنتزی بیشتری را به عملکرد و اجزای عملکرد دانه اختصاص داده است، و بنابراین در این شرایط شاخص برداشت افزایش می‌یابد. در تحقیقی بیان گردید، اگرچه اثر کود شیمیایی نیتروژن بر خصوصیات عملکردی گیاه ذرت در شرایط آبیاری کامل بزرگتر بود، اما در شرایط کمبود آب نیز باعث افزایش عملکرد و شاخص برداشت در ذرت شد (Liang et al., 2020). یکی از دلایل

کاهش رشد گیاه ذرت در تنش خشکی، کاهش حلالیت و جذب نیتروژن بوده و افزایش نیتروژن در خاک در شرایط تنش خشکی، تا حدودی بهبود رشد گیاه را به‌دنبال دارد (Li et al., 2020). این نتایج با دیگر بررسی‌ها مبنی بر کاهش عملکرد در شرایط تنش، بیش از آستانه تحمل گیاه به‌دلیل اختلال رشد در مرحله زایشی و عدم انتقال و تخصیص کربوهیدرات‌ها و قندها به دانه مطابقت دارد (Durand et al., 2016). در همین راستا محققان دیگری گزارش کردند که تأثیر تنش آبی بر تمامی صفات مطالعه شده معنی‌دار بود. اثر ژنوتیپ نیز بر صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار گردید (Anda et al., 2019).

جدول ۸- اثر متقابل نیتروژن و رقم بر شاخص برداشت ذرت دانه‌ای

Table 8- Interaction effects of nitrogen and cultivar on harvest index of grain corn

تیمارهای آزمایشی Treatments	شاخص برداشت Harvest index (%)	
N ₁ V ₁	45.46	a
N ₁ V ₂	45.73	a
N ₁ V ₃	46.09	a
N ₂ V ₁	38.40	b
N ₂ V ₂	38.97	b
N ₂ V ₃	39.82	b
N ₃ V ₁	33.59	c
N ₃ V ₂	33.90	c
N ₃ V ₃	34.54	c
N ₄ V ₁	29.35	d
N ₄ V ₂	29.98	d
N ₄ V ₃	33.49	c

میانگین‌های با حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای کود نیتروژن در چهار سطح شامل تیمار بدون مصرف کود نیتروژن یا شاهد (N₁)، مصرف ۱۰۰ (N₂)، ۲۰۰ (N₃)، ۳۰۰ (N₄) کیلوگرم در هکتار نیتروژن؛ و ارقام ذرت در سه سطح شامل رقم ذرت کوشا ۲۰۱ (V₁)، فجر ۲۶۰ (V₂) و دهقان ۴۰۰ (V₃).

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the %5 level. Nitrogen fertilizer treatments at four levels, including treatment without nitrogen fertilizer or control (N₁), using 100 (N₂), 200 (N₃), 300 (N₄) kg ha⁻¹ of nitrogen; and corn varieties in three levels, including Koosha 201 (V₁), Fajr 260 (V₂) and Dehghan 400 (V₃).

افزایش شاخص برداشت در شرایط مصرف کود نیتروژن احتمالاً به‌دلیل قابل دسترس بودن نیتروژن بوده است که سبب افزایش میزان قدرت رشد رویشی گیاه و انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های سبز گیاه به سمت دانه‌ها در دوره رشد زایشی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت شده است.

محققان در مطالعه دیگری بیان کردند که مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر عناصر غذایی، پروتئین دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت. کمترین و بیشترین نیتروژن دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به شاهد و کود

شیمیایی بود (Mohammadi et al., 2019).

احتمالا رقم دهقان ۴۰۰ توانسته است از طریق استفاده بهینه از عوامل محیطی و انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های سبز گیاه به سمت دانه‌ها نسبت به ارقام دیگر موفق‌تر عمل کرده و شاخص برداشت بالاتری تولید نماید. در یک تحقیق دیگر نتایج نشان داد که کود شیمیایی نیتروژن تاثیر معنی‌دار بر تعداد ردیف دانه در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و درصد پروتئین داشت. نتایج کلی نشان داد که مصرف نیتروژن شیمیایی در افزایش عملکرد کمی و کیفی ذرت تاثیر دارد و بیشترین تاثیر

در شرایط مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن حاصل شد (Marashi and Shamoradi, 2020).

قطر بلال

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثر ساده آبیاری و اثر ساده کود نیتروژن بر قطر بلال به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین، قطر بلال در تیمار شاهد آبیاری (۴/۱۶ سانتی‌متر)، ۶/۵٪ بیشتر از مقدار آن در تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (۳/۸۹ سانتی‌متر) بود (جدول ۹).

جدول ۹- اثر سطوح آبیاری بر صفات مورد مطالعه ذرت دانه‌ای

Table 9- Effect of irrigation levels on studied traits of corn varieties

تیمارهای آزمایشی	قطر بلال	فلورسانس متغیر	Fv/Fm
Treatments	Cob diameter (Cm)	Fv	
I ₁	4.16	a	0.369
I ₂	3.83	ab	0.388
I ₃	3.89	c	0.401
I ₄	3.99	bc	0.443

میانگین‌های با حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل آبیاری براساس عرف منطقه (I₁)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی (I₂)، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه (I₃)، قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه (I₄).

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the %5 level. Irrigation treatments at four levels including common irrigation based on region (I₁), interruption of irrigation in the flowering stage (I₂), interruption of irrigation in the seed filling stage (I₃), interruption of irrigation in the flowering and filling stage Seeds (I₄).

همچنین قطر بلال پر وسط در تیمار مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۴/۰۲ سانتی‌متر)، ۲/۲۳٪ بیشتر از تیمار مربوط به عدم مصرف کود نیتروژن در هکتار (۳/۹۳ سانتی‌متر) بود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- اثر مصرف کود نیتروژن بر قطر بلال و نسبت Fv/Fm

Table 10- Effect of nitrogen on cob diameter and Fv/Fm ratio

تیمارهای آزمایشی	قطر بلال	Fv/Fm
Treatments	Cob diameter (Cm)	
N ₁	3.93	0.404
N ₂	3.94	0.415
N ₃	3.98	0.392
N ₄	4.02	0.390

میانگین‌های با حروف مشترک، براساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. تیمارهای کود نیتروژن در چهار سطح شامل تیمار بدون مصرف کود نیتروژن یا شاهد (N₁)، مصرف ۱۰۰ (N₂)، ۲۰۰ (N₃)، ۳۰۰ (N₄) کیلوگرم در هکتار نیتروژن.

Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the %5 level. Nitrogen fertilizer treatments at four levels, including treatment without nitrogen fertilizer or control (N₁), using 100 (N₂), 200 (N₃), 300 (N₄) kg ha⁻¹ of nitrogen.

قطر بلال تحت تاثیر ارقام ذرت قرار نگرفت. احتمالاً عدم تفاوت معنی‌دار قطر بلال به دلیل تشابه ژنتیکی ارقام با یکدیگر

تأثیر تنش آب بر رشد و عملکرد گیاه حائز اهمیت است (Barbara et al., 2014).

فلورسانس متغیر Fv

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده آبیاری بر فلورسانس متغیر Fv در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین فلورسانس متغیر Fv (۳۳/۴۹) مربوط به تیمار شاهد آبیاری و کمترین فلورسانس متغیر Fv (۲۷/۲۲) مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود (جدول ۹). مطالعات نشان داده‌اند که کلروفیل a انرژی دریافتی از فوتون نوری را به مرکز واکنشی انتقال داده و این فعل و انفعالات سبب راه افتادن زنجیر انتقال الکترونی در کلروپلاست می‌گردد (Ahmad and Sharma, 2010). در شرایط تنش‌های محیطی به دلیل مسدود شدن مسیر انتقال الکترونی، زنجیره متوقف می‌شود. در چنین شرایطی، یکی از راه‌حل‌هایی که کلروفیل a برانگیخته برای برگشت به حالت پایدار در پیش می‌گیرد، فلورسانس است. میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط عادی حدود ۰/۳ تا ۰/۳۳ درصد کل انرژی دریافتی است که این میزان در شرایط تنش افزایش می‌یابد (Maksimov et al., 2015). هنگامی که تنش اولیه آبیاری تحمیل می‌شود، افزایش در Fv و Fm، افزایش Fv را باعث می‌شود، که احتمالاً منعکس‌کننده انطباق محافظت نوری برگ گیاه در PSII می‌باشد (Schwarz et al., 2014).

نسبت Fv/Fm

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده آبیاری در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده کود نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد بر نسبت Fv/Fm معنی‌دار بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین، نسبت Fv/Fm در تیمار قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه (۰/۴۴۳) با ۶/۳۲٪ افزایش، بیشتر از مقدار آن در تیمار شاهد آبیاری (۰/۳۶۹) بود (جدول ۹). همچنین نسبت Fv/Fm در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۰/۴۱۵)، ۶/۰۲٪ بیشتر از تیمار مربوط به مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۰/۳۹۰) بود (جدول ۱۰). در صورت کاهش میزان مصرف آب، استفاده از کود شیمیایی نیتروژن به دلیل افزایش

بوده است. تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان محسوب می‌گردد و زمانی رخ می‌دهد که سرعت تعرق بیش از سرعت جذب آب می‌باشد. در واقع، با کاهش مقدار آب در خاک و عدم جایگزینی آن، میزان جذب آب از هدر رفت آن کمتر بوده و پتانسیل آب در گیاه کاهش می‌یابد (Shiri and Bahrampour, 2015). دلیل کاهش قطر بلال در تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه، عدم وقوع حداکثر پتانسیل رشدی بلال‌ها به علت تأخیر و کاهش انتقال مواد پرورده جهت رشد بلال می‌باشد. نتایج تحقیقات انجام شده بر ذرت نشان داده که افزایش فواصل آبیاری به لحاظ اثر منفی بر تلقیح و پر شدن دانه‌ها موجب افزایش میزان کچلی بلال می‌گردد. بروز ناهنجاری‌هایی چون افزایش فاصله زمانی گرده‌افشانی و ظهور ابریشم‌ها، عدم پذیرش دانه‌های گرده توسط ابریشم‌ها به لحاظ محتوای رطوبت کم آنها و عدم تکامل ابریشم‌ها دلایل اصلی عدم لقاح و پر نشدن دانه‌ها و افزایش میزان کچلی انتهایی بلال در شرایط تنش خشکی می‌باشند (Ribaut et al., 2009). یافته‌های مطالعه دیگری نشان داد که با افزایش تنش آبی تعداد دانه در هر بلال کاهش یافت (Ghobadi et al., 2015). همچنین در گزارش دیگری کاهش معنی‌دار تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در بلال ذرت با افزایش دور آبیاری از ۱۰ به ۲۰ روز تایید شده است (Amini et al., 2014).

به نظر می‌رسد در شرایط تیمار شاهد آبیاری و مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به دلیل افزایش دسترسی نیتروژن کارایی جذب نیتروژن افزایش یافته و در نتیجه باعث بهبود قطر بلال شده است، به طوری که بین سطوح آبیاری و سطوح کود نیتروژن اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. مصرف کود نیتروژن می‌تواند تأثیری جبرانی و مکمل را در پاسخ به کم‌آبیاری ایفا کند. می‌توان گفت کاهش آبیاری فتوسنتز گیاه را مختل می‌کند که در نهایت بر فرایندهای رشد و فیزیولوژیک ذرت اثر می‌گذارد. با کاهش مقدار آب، میزان تجمع مواد فتوسنتزی کاهش می‌یابد که در ادامه سبب کاهش ماده خشک تولیدی می‌شود، در این حالت بیشترین تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارد (Jamali et al., 2015). محققان دیگر گزارش کردند که علاوه بر شدت و طول دوره تنش خشکی، مرحله‌ای از رشد ذرت که در آن تنش واقع می‌شود نیز در میزان

تنش، طول مدت یا هر دوی آن‌ها وابسته است (Xu et al., 2010). در پژوهش دیگری محققان گزارش کردند که ارتباط مثبت و معناداری بین SPAD و Fv/Fm وجود دارد که نشان‌دهنده پتانسیل فتوسنتز در برگ‌ها و نماینده‌ای برای محتوای کلروفیل برگ، به‌ویژه در شرایط تنش‌هایی مانند تنش خشکی می‌باشد (Singh et al., 2017). یافته‌های تحقیق دیگری نشان داد که کارایی مصرف نور گیاه ذرت، تحت تاثیر تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن قرار گرفت. بالاترین میزان جذب تشعشع در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به‌دست آمد و کمترین میزان جذب تشعشع در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و عدم مصرف کود نیتروژن مشاهده شد (Heidari et al., 2023).

عوامل مختلفی مانند آب و نیتروژن، به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل کاهش عملکرد، میزان جذب و کارایی مصرف نور در گیاهان را به‌شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Patane and Cosentino, 2013; Deihimfard et al., 2015). نیتروژن باعث سرعت گسترش سطح برگ گیاه و افزایش میزان جذب نور در گیاهان می‌گردد و همچنین به‌عنوان ترکیب اصلی رنگدانه‌های کلروفیل، سرعت فتوسنتز را در ذرت به حداکثر می‌رساند (Earl and Davis, 2003; Zahoor et al., 2010). رابطه بین غلظت نیتروژن برگ و سرعت فتوسنتز گیاه ذرت، در مطالعه مشابه بیان شده است (Jafarikouhinia et al., 2020). نیتروژن با تاثیر مستقیم بر شاخص سطح برگ و کارایی فتوسنتزی در گیاهان، بر تولید ماده خشک اثر می‌گذارد (Taftah and Sepaskhah, 2012). کمبود نیتروژن باعث کاهش جذب و کارایی نور، کاهش رشد زایشی و در نهایت کاهش عملکرد گیاه می‌گردد (Massignam et al., 2012; Shahrokhnia and Sepaskhah, 2016). از طرف دیگر، مصرف زیاد نیتروژن باعث کاهش کارایی زراعی آن شده و همچنین تأثیر نامطلوبی بر محیط زیست مانند اسیدی شدن خاک، آلودگی محیط زیست و کاهش فعالیت میکروبی خاک خواهد داشت (Chen et al., 2015; Zhu, 2016). کاهش مصرف کود نیتروژن و بهبود کارایی استفاده از نیتروژن، برای تولید پایدار ذرت ضروری است (Srivastava et al., 2018).

نتیجه‌گیری کلی

دسترسی گیاه به نیتروژن، میزان کارایی مصرف نور را در گیاه ذرت افزایش داد، اما اثر مثبت نیتروژن بر کارایی مصرف نور در شرایط آبیاری مطلوب، بزرگتر بود و در شرایط کم‌آبیاری، کاهش یافت (Heidari et al., 2023). نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر، کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی را نشان می‌دهد (Dayan and Zaccaro, 2012). در اثر تابش فوتون‌های نوری همه ناقل‌های الکترون به فرم احیا درآمده و مراکز واکنشی بسته می‌شوند. در این زمان کلروفیل a انرژی دریافتی از فوتون‌های نوری را به مرکز واکنشی انتقال داده و از حالت برانگیخته به حالت پایدار باز می‌گردد، لذا تعداد کلروفیل a برانگیخته شده در طی این فرآیند نشان‌دهنده فلورسانس حداکثر می‌باشد (Mehta et al., 2010).

در حالت کلی فلورسانس کلروفیل a یک شاخص فیزیولوژیک معتبر برای مشخص نمودن تغییرات القاء شده در دستگاه فتوسنتزی می‌باشد (Mehta et al., 2010). در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی، فتوسیستم II نسبت به فتوسیستم I به تنش‌های محیطی حساس‌تر می‌باشد (Maksimov et al., 2015). یکی از دلایل این امر، وجود کمپلکس تجزیه‌کننده آب در فتوسیستم II و اختلال در کارایی فتوسنتز مرتبط با فتوسیستم II است؛ به‌طوری‌که بروز تنش، فعالیت فتوسیستم II را به‌میزان زیادی کاهش می‌دهد و اختلال در انتقال الکترون زنجیره کینونی موجود در فتوسیستم II، عملکرد کوانتومی را کاهش می‌دهد (Baghbani et al., 2019). همچنین پروتئین‌های D₁ و D₂ فتوسیستم II در شرایط تنش آسیب می‌بینند. این پروتئین‌ها از اجزای اصلی این فتوسیستم بوده و تخریب آن‌ها بازدارندگی نوری را در پی دارد (Maksimov et al., 2015). از این رو، ثابت شده است که فتوسیستم II نقش مهمی در دستگاه فتوسنتزی گیاهان عالی ایفا می‌کند (Mishra et al., 2014).

تنش خشکی می‌تواند منجر به کاهش Fv/Fm شود و رشد برگ و ذخیره و انتقال کربوهیدرات به دانه را محدود کند (Mi et al., 2017). درحالی‌که نتایج نشان می‌دهد که آبیاری مجدد پس از آبیاری بافت‌ها ممکن است فعالیت‌های مختلف متابولیک را در گیاهان ذرت به حالت اولیه خود بازگرداند. این موضوع به‌شدت به وضعیت تاریخی تنش خشکی مانند شدت

مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۰/۴۱۵) به‌دست آمد. براساس نتایج حاصله، به‌منظور دستیابی به نتایج مطلوب کشت ذرت در منطقه باهوکلالت، قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و کشت رقم دهقان ۴۰۰ پیشنهاد می‌شود.

همچنین صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت تاثیر رقم قرار گرفتند. احتمالاً وزن خشک بیشتر اندام‌های هوایی در رقم دهقان ۴۰۰ می‌تواند به استفاده بهتر آن از عوامل محیطی و کارایی تولید ماده خشک مربوط باشد که توانسته است کربوهیدرات‌ها و مواد ذخیره‌ای بیشتر را در خود ذخیره نماید. احتمالاً رقم دهقان ۴۰۰ توانسته در انتقال مواد فتوسنتزی از اندام‌های سبز گیاه به سمت دانه‌ها نسبت به ارقام دیگر موفق‌تر عمل کرده و عملکرد دانه و شاخص برداشت بالاتری تولید نماید.

یافته‌های آزمایش حاضر نشان داد که بالاترین مقدار عملکرد دانه از تیمار شاهد آبیاری در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۸۵۳۰/۶ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. در بین ارقام مورد بررسی نیز، بیشترین عملکرد دانه متعلق به رقم دهقان ۴۰۰ (۶۶۴۰/۱۱ کیلوگرم در هکتار) بود و با رقم فجر ۲۶۰ در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین حداکثر عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار شاهد آبیاری در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۲۰۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) بود. بیشترین شاخص برداشت از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن (۴۷/۳ درصد) حاصل شد و با تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در یک گروه آماری قرار گرفت. در بررسی پارامترهای فلورسانس کلروفیل بیشترین نسبت Fv/Fm از تیمار قطع آبیاری در هر دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه (۰/۴۴۳) و تیمار

References

- Ahmad, P. and Sharma, M., 2010. Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO_3 stress. *International Journal of Plant Production*, 4, pp.79-86. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.685>
- Ahmad, R., Dawar, K.H., Iqbal, J. and Wahab, S., 2017. Effect of sulfur on nitrogen use efficiency and yield of maize crop. *Journal of Environmental Biology*, 10(11), pp.85-90. <https://www.researchgate.net/publication/379332981>
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Abd-Shah, H., Kazimian, A. and Rafiei, M., 2018. Agricultural statistics of crop years 2016-17. Volume one: Crop production. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Planning and Economics Affairs, Information and Communication Technology Center, Tehran, Iran [In Persian]. <https://www.gisoom.com/book/11660786/1/>
- Ali, F., Kanwal, N., Ahsan, M., Ali, Q., Bibi, I. and Niazi, N.K., 2015. Multivariate analysis of grain yield and its attributing traits in different maize hybrids grown under heat and drought stress. *Scientifica*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/563869>
- Amini, E., Mehrabi, A., Hatami, A. and Fasihi, K., 2014. Evaluation of yield, yield components and water content of four grain corn hybrids in different levels irrigation. *Cereal Research*, 4(4), pp.333-344. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.22520163.1393.4.4.6.6>
- Anda, A., Simon, B., Soós, G., Teixeira da Silva, J.A. and Kucserka, T., 2019. Crop -water relation and production of two soybean varieties under different water supplies. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, pp.1515-1528. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2660-9>

- Andrade, F.H., Otegui, M.E. and Vega, C., 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agronomy Journal*, 92, pp.92-97. <https://doi.org/10.1007/s100870050011>
- Azizian, A. and Sepaskhah, A.R., 2014. Maize response to different water, salinity and nitrogen levels: agronomic behavior. *International Journal of Plant Production*, 8(1), pp. 107-130. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2014.1375>
- Baghbani, F., Lotfi, R., Moharramnejad, S., Bandehagh, A., Roostaei, M., Rastogi, A. and Kalaji, H.M., 2019. Impact of *Fusarium verticillioides* on chlorophyll fluorescence parameters of two maize lines. *European Journal of Plant Pathology*, 153(2), pp.337-346. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-01659-x>
- Bahamin, S., Koochek, A., Nassiri Mahallati, M. and Beheshti, A., 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(1), pp.123-139. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1152.1235>
- Barbara, E.K., Nora, L.E. and Edith, S., 2014. Compartment specific response of antioxidants to drought stress in arabidopsis. *Plant Science*, 227, pp.133-144. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.08.002>
- Chen, Y., Xiao, Ch., Wu, D., Xia, T., Chen, Q., Chen, F., Yuan, L. and Mi, G., 2015. Effects of nitrogen application rate on grain yield and grain nitrogen concentration in two maize hybrids with contrasting nitrogen remobilization efficiency. *European Journal of Agronomy*, 62, pp.79-89. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.008>
- Darvish-Balouchi, M., Paknezhad, F., Kashani, A., Ardakani, M.R. and Darvish-Balouchi, M., 2010. Effect of Drought Stress and some Microelements on Fluorescence chlorophyll parameters, chlorophyll content, RWC, EC, and grain yield in corn (SC704). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(3), pp.531-543. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20084811.1389.41.3.11.4>
- Dayan, F.E. and Zaccaro, M.L.M., 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 102, pp.189-197. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.01.005>
- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A.R., 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research*, 184, pp.28-38. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.002>
- Durand, M., Porcheron, B., Hennion, N., Maurousset, L., Lemoine, R. and Pourtau, N., 2016. Water deficit enhances C export to the roots in *Arabidopsis thaliana* plants with contribution of sucrose transporters in both shoot and roots. *Plant Physiology*, 170(3), pp.45-53. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01926>
- Earl, H. G. and Davis, R. F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*, 95, pp.688-696. <http://doi.org/10.2134/agronj2003.0688>
- Eskandari, H. and Ghanbari, A., 2011. Evaluation of competition and complementary of maize-cowpea intercropping for nutrient consumption. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 21(2), pp.67-75. [In Persian].

- Farnham, D. E., 2001. Row spacing, plant density, and Hybrid effects on corn grain yield and moisture. *Agronomy Journal*, 93, pp.1049-1053. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.9351049x>
- Ghobadi, R., Shirkhani, A. and Jalilian, A., 2015. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) cv. SC. 704. *Applied Field Crops Research*, 28(106), pp.79-87. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2015.105726>
- Guanter, L., Zhang, Y., Jung, M., Joiner, J., Voigt, M., Berry, J. A., Frankenberg, C., Huete, A.R., Zarco-Tejada, P., Lee, J.E., Moran, M.S., Ponce-Campos, G., Beer, C., Camps- Valls, G., Buchmann, N., Gianelle, D., Klumpp, K., Cescatti, A., Baker, J.M. and Griffis, T.J., 2014. Global and time-resolved monitoring of crop photosynthesis with chlorophyll fluorescence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111, pp.1327-1333. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320008111>
- Hallauer, A.R., Carena, M.J. and Miranda Filho, J.B., 2010. Testers and combining ability. In Quantitative genetics in maize breeding. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0766-0_8
- Heidari, N., Alizadeh, Y. and Alizadeh, H. A., 2023. Combined effect of irrigation regimes and nitrogen levels on yield, radiation and nitrogen use efficiencies in maize. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(2), pp.85-103. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.50174.2822>
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M. and Nawaz, A., 2018. Drought stress in sunflower: physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201, pp.152-166. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.028>
- Jafarikouhinia, N., Kazemeini, S. A. and Sinclair, T. R., 2020. Sweet corn nitrogen accumulation, leaf photosynthesis rate, and radiation use efficiency under variable nitrogen fertility and irrigation. *Field Crops Research*, 257, 107913. <http://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107913>
- Jamali, S. and Sajjadi, F. and Sharifan, H., 2015. Determining the effects of different amounts of nitrogen fertilizer on some physiological properties of beetroot under different humidity conditions. *The second national congress of irrigation and drainage of Iran, Isfahan*, <https://civilica.com/doc/555262/>
- Jin, Z., Zhuang, Q., Wang, J., Archontoulis, S. V., Zobel, Z. and Kotamarthi, V. R., 2017. The combined and separate impacts of climate extremes on the current and future US rainfed maize and soybean production under elevated CO₂. *Global Change Biology*, 23, pp.2687-2704. <https://doi.org/10.1111/gcb.13617>
- Kaman, H., Kirda, C. and Sesveren, S., 2011. Genotypic differences of maize in grain yield response to deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 98(5), pp. 801-807. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.12.003>
- Kidist, K., 2013. Growth, productivity and nitrogen use efficiency of maize (*Zea mays* L.) as influenced by rate and time of nitrogen fertilizer application in Haramaya District, Eastern Ethiopia. M.Sc. Thesis, Haramaya University, Haromaya. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=78371>
- Koohi Chellehkaran, N., Dehghanisanij, H., Naghavi, H. and Kanani, E., 2020. Investigating Changes in Yield and Water Productivity in Different Maize Hybrids (KSC 704 and KSC 410) Under Irrigation Management Using Strip Drip and furrow Irrigation Methods. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(5), pp.1639-1649. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20087942.1399.14.5.12.3>

- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K. and Doitsinis, A., 2004. Cultivar and seasonal effects on the contribution of pre-anthesis assimilation to safflower yield. *Field Crops Research*, 90, pp.263-274. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.03.009>
- Kresovic, B., Tapanarova, A., Tomić, Z., Ljubomir Zivotic, L. and Gaji, B., 2016. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*, 169, pp.34-43. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.023>
- Lack, Sh., 2013. Evaluation of physiological traits effective on seed yield of corn in different irrigation, nitrogen and plant density levels. *Crop Physiology Journal*, 5(19), pp.17-33. <https://doi.org/20.1001.1.2008403.1392.5.19.7.6>
- Larson, E.J. and Clegg, M.D., 1999. Using corn maturity to maintain grain yield in the presence of late-season drought. *Journal of Production Agriculture*, 12(3), pp. 400-405. <https://doi.org/10.2134/jpa1999.0400>
- Lgnaciuk, A. and Mason-Dcroz, D., 2014. Modeling Adaptation to climate change in Agriculture. OECD Food. Agriculture and Fisheries paper. OECD Publishing. <http://doi.org/10.1787/5jxrcllnbxq-en>
- Li, G.H., Zhao, B., Dong, S.T., Zhang, J.W., Liu, P. and Lu, W.P., 2020. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. *Agricultural Water Management*, 227, 105834. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105834>
- Liang, Q.D., Tian, H.T. and Xue, S., 2020. Effects of nitrogen application rates and irrigation regimes on grain yield and water use efficiency of maize under alternate partial root zone irrigation. *Journal of Integrative Agriculture*, 19, pp.2792-2806. [http://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63205-1](http://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63205-1)
- Madadizadeh, M. and Amiri, S. R., 2023. Evaluation of growth, development and yield of maize cultivars for sustainable nitrogen management. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 32(4), pp.143-164. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/saps.2022.47202.2717>
- Maksimov, E., Klementiev, K., Shirshin, E., Tsoraev, G., Elanskaya, I. and Paschenko, V., 2015. Features of temporal behavior of fluorescence recovery in *Synechocystis* sp. PCC6803. *Photosynthesis Research*, 125, pp.167-178. <https://doi.org/10.1007/s11120-015-0124-y>
- Mamnoei, E. and Seyed Sharifi, R., 2010. Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescence indices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperature and yield. *Journal of Plant Biology*, 5, pp.51-62. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.20088264.1389.2.5.6.1>
- Marashi, S. K. and Shamoradi, F., 2020. Effect of biological and chemical nitrogen sources on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). *Applied Field Crops Research*, 32(04), pp.76-90. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2019.121414.1279>
- Markovic, M., JOSipovic, M., Sostaric, J., Jambrovic, A. and Brkic, A., 2017. Response of maize (*Zea mays* L.) grain yield and yield components to irrigation and nitrogen fertilization. *Journal of Central European Agriculture*, 18(1), pp.55-72. <http://doi.org/10.5513/jcea01/18.1.1867>

- Massignam, A.M., Chapman, S.C., Hammer, G.L. and Fukai, S., 2012. Effects of nitrogen supply on canopy development of maize and sunflower. *Crop and Pasture Science*, 62, pp.1045-1055. <http://doi.org/10.1071/cp11165>
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S., 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48, pp.16-20. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.10.006>
- Mi, N., Cai, F., Zhang, Y.S., Ji, R.P., Yu, W.Y., Zhang, S.J. and Fang, Y., 2017. Effects of continuous drought during different growth stages on maize and its quantitative relationship with yield loss. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28, pp.1563-1570. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201705.025>
- Mishra, A., Heyer, A.G. and Mishra, K.B., 2014. Chlorophyll fluorescence emission can screen cold tolerance of cold acclimated Arabidopsis thaliana accessions. *Plant Methods*, 10, pp.38-45. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-38>
- Mohammadi, D. and Rahmani, R., 2016. Identifying socio-economic factors affecting the adoption of early and mid-season maize cultivars after wheat in Fars Province. *Journal of Agricultural Economics Research*, 8(29), pp.51-70. [In Persian] <https://ensani.ir/file/download/article/20160903152007-10006-209.pdf>
- Mohammadi, E., Asghari, H.R., Gholami, A. and Khorramdel, S., 2019. Effect of nutrient management on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) influenced by different tillage systems. *Journal of Agroecology*, 11(1), pp.295-307. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.65869>
- Moohamadi Behmadi, M. and Armin, M., 2017. Effect of drought stress on yield and yield components of different corn cultivars in delayed planting conditions. *Applied Research of Plant Ecophysiology*, 4(1), pp.17-34. [In Persian]. <http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-243-fa.html>
- Nazari-Nasi, H., Jabbari, F., Azimi, M.R. and Norouzian, M., 2012. Effect of drought stress on cell membrane stability, photosynthesis rate, relative water content and grain yield of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 43(3), pp.491-499. [In Persian]. <http://doi.org/10.22059/ijfcs.2012.29045>
- ONeil, P.M., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S., 2006. Use of chlorophyll fluorescence assessment to differentiate com hybrids response to variable water conditions. *Crop Science*, 46, pp.681-687 <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0170>
- Patane, C. and Cosentino, S.L., 2013. Yield, water use and radiation use efficiencies of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under reduced water and nitrogen soil availability in a semi-arid Mediterranean area. *European Journal of Agronomy*, 46, pp.53-62. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2012>
- Rezaizad, A., Taimori, B. and Mehrabi, A.M., 2018. Response of some maize hybrids to water stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(2), pp.301-312. [In Persian]. <http://doi.org/10.22077/escs.2017.511.1101>

- Ribaut, J.M., Betran, J., Monneveux, P. and Setter, T., 2009. Drought tolerance in maize. In: Bennetzen, J.L., Hake, S.C. (Eds.), *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer, New York, pp.11-34. http://doi.org/10.1007/978-0-387-79418-1_16
- Schwarz, N., Armbruster, U., Iven, T., Brückle, L., Melzer, M., Feussner, I. and Jahns, P., 2014. Tissue-specific accumulation and regulation of zeaxanthin epoxidase in Arabidopsis reflect the multiple functions of the enzyme in plastids. *Plant and Cell Physiology*, 56, pp.346-357. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu167>
- Shahrokhnia, M.H. and Sepaskhah, A.R., 2016. Effects of Irrigation Strategies, Planting Methods and Nitrogen fertilization on yield, water and nitrogen efficiencies of safflower. *Agricultural Water Management*, 172, pp.18-30. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.010>
- Shiri, M.R. and Bahrampour, T., 2015. Genotype×environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Research*, 5(1), pp.83-94. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.22520163.1394.5.1.6.7>
- Singh, S.K., Reddy, V.R., Fleisher, D.H. and Timlin, D.J., 2017. Relationship between photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence in soybean under varying phosphorus nutrition at ambient and elevated CO₂. *Photosynthetica*, 55, pp.421-433. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0657-0>
- Srivastava, R.K., Panda, R.K., Chakraborty, A. and Halder, D., 2018. Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 221, pp.339-349. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.019>
- Tafteh, A. and Sepaskhah, A.R., 2012. Application of HYDRUS-1D model for simulating water and nitrate leaching from continuous and alternate furrow irrigated rapeseed and maize fields. *Agricultural Water Management*, 113, pp.19-29. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.011>
- Taheri Oshttrinani, F. and Fathi, A., 2016. The impacts of mycorrhiza and phosphorus along with the use of salicylic acid on maize seed yield. *Journal of Crop Ecophysiology*, 10(3), pp.657-668. [In Persian]. <https://sanad.iau.ir/en/article/956840>
- Trout, T.J. and DeJonge, K.C., 2017. Water productivity of maize in the US high plains. *Irrigation Science*, 35, pp.251-266. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0540-1>
- Xu, Z.Z., Zhou, G.S. and Shimizu, H., 2010. Plant responses to drought and rewatering. *Plant Signaling & Behavior*, 5, pp.649-654. <https://doi.org/10.4161/psb.5.6.11398>
- Yang, A., Akhtar, S.S., Amjad, M., Iqbal, S. and Jacobsen, S.E., 2016. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(6), pp.445-453. <https://doi.org/10.1111/jac.12167>
- Yerva, S.R., Sekhar, T.C., Allam, C.R. and Krishnan, V., 2016. Combining ability studies in maize (*Zea mays* L.) for yield and its attributing traits using Griffing's diallel approach. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 7(4), pp.1046-1055. <http://doi.org/10.5958/0975-928x.2016.00143.5>

- Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreishi, S., Sadeghi, H., Moosavi, S. G., 2015. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7(2), pp.187-194. <https://doi.org/10.22077/escs.2015.175>
- Zahoor, A., Riaz, M., Ahmad, S., Ali, H., Khan, M.B., Javed, K., Anjum, M.A., Ziaulhaq, M. and Khan, M.A., 2010. Ontogeny growth and radiation use efficiency of *Helianthus annuus* L., as affected by hybrids, nitrogenous regimes and planting geometry under irrigated arid conditions. *Pakistan journal of Botany*, 42, pp.3197-3207.
- Zaker Nejad, S., Naderi, A., Hashemi Dezfuli, A.H., Lak, Sh. and Alavi Fazel, M., 2018. Comparison of different irrigation methods on agronomic and physiological traits of maize (*Zea mays* L.) cultivars in spring and summer in Ahvaz weather conditions. *Journal of Crop Physiology*, 9(36), pp.137-156. [In Persian]. <http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-945-en.html>
- Zhu, S., 2016. Nitrogen fertilizer rate affects root exudation, the rhizosphere microbiome and nitrogen-use-efficiency of maize. *Applied Soil Ecology*, 107, pp.324-333. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.07.009>

