



Research Article

Vol. 23, No. 3, Fall 2025, p. 285-301

Evaluation of Water and Nitrogen Use Efficiency of Dryland Barley (*Hordeum vulgare*) Genotypes

V. Feiziasl ^{1*}

1- Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran

(*- Corresponding author's Email: v.feiziasl@areeo.ac.ir)

Received: 20 August 2024

Revised: 30 November 2024

Accepted: 03 December 2024

Available Online: 13 April 2025

How to cite this article:

Feiziasl, V. (2025). Evaluation of water and nitrogen use efficiency of dryland barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 23(3), 285-301. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89493.1348>

Introduction

Precipitation and nitrogen are the most abiotic factors that greatly impact the yield of barley (*Hordeum vulgare*) in arid and semi-arid regions. Because with water restrictions in dryland conditions, Iran's drylands have low organic matter and mineral nitrogen ($NO_3^- + NH_4^+$) for barley plant nutrition. Researchers believe, the production of dryland barley is often influenced by the three factors of planting date, soil available water and determining the exact nitrogen requirement of this crop. Therefore, many researchers have reported the existence of interaction effects between water (supplemental irrigation) and nitrogen in barley plants. Because nitrogen through the expansion of the plant's root system, it causes better absorption of nutrients and water and as a result increases water use efficiency. Therefore, the main purpose of this experiment was to evaluate the interaction effects of nitrogen and supplemental irrigation in the production of new barley lines, to increase yield and introduce them for cold areas.

Materials and Methods

The experiment was conducted in a split split-plot arrangement based on randomized complete block design (RCBD) with three replications and for two cropping years (2021-2023) in the Dryland Agricultural Research Institute (DARI). Factors included supplemental irrigation with two levels (50 mm in autumn and 50 mm in autumn + 30 mm in end of stem elongation stage (ZS77)) in main plot, nitrogen 5 levels (0, 30, 60, 90 and 120 kgN.ha⁻¹) in sub-plots and five rainfed barley genotypes (Artan, Ghaflan, ERBYT 8-(96-93), ERBYT 8-(95-92) and ERBYT 22-(93-90) in sub sub-plots. The barley genotypes were planted on a flat plot area by Hassia planter in 11-row plots with 15 m long and 2.2 m wide (20 cm row spacing). The sowing rate was 380 seeds per m² based on thousand kernel weight (TKW) of each genotype. Seeds were treated with the fungicide Penconazole. Planting took place between September 22 and 28. Measured plant traits included water use efficiency (WUE), agronomic nitrogen use efficiency (NUE), nitrogen partial factor productivity (PFP), biological yield, grain yield, yield components, and canopy temperature (CT). Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and regression models.

Results and Discussion

The results indicated that the effect of year was significant ($P \leq 0.01$) for both biological and grain yield, which was attributed to a 58 mm increase in early spring rainfall during the second year. An increase in early



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.89493.1348>

spring rainfall causes an increase in plant canopy and number of spikes per m² and a significant decrease in the canopy temperature by 7.5 °C. With the increase of each millimeter of rainfall, the nitrogen partial factor productivity (PFP) increased by 41 kg yield kg N⁻¹. A significant difference was observed between the two supplemental irrigation levels in most of the plant characteristics including biological and grain yield. This increase was due to a significant increase in the spikes.m². The effect of nitrogen on biological and grain yield was significant ($P \leq 0.01$). With the increase of nitrogen application rate, nitrogen use efficiency (NUE) and nitrogen partial factor productivity (PFP) decreased significantly. Nitrogen application reduced canopy temperature (CT) by 2 °C and NUE and PFP by 47 and 104 kg yield kg N⁻¹, respectively. Nitrogen application reduced the effects of water and heat stress in the grain filling stage and on average increased WUE by 48 and 56% for grain and biological yield, respectively. There was a significant difference ($P \leq 0.01$) between the barley genotypes in terms of biological, grain and straw yield. The highest biological yield of 8419 kg ha⁻¹ was obtained from Artan cultivar and the highest grain yield was obtained from Artan, Ghaflan number 3 genotypes with an average of 3635 kg ha⁻¹. These three genotypes had the highest partial factor productivity (PFP) with an average of 69.7 kg ha⁻¹. The average water use efficiency (rainfall + supplemental irrigation) for the production of biological and grain yield, these three genotypes was 22.3 and 9.9 kg ha⁻¹.mm⁻¹, respectively. WUE for the superior Artan genotype, 22.9 and 10 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectively. The interaction effect of supplemental irrigation and nitrogen on grain yield was significant ($P \leq 0.01$). The calculations showed that the contribution of nitrogen fertilizer in the production of barley grain yield 16.3% was more than soil nitrogen. Finally, two stages of supplemental irrigation (50 mm at planting time + 30 mm at end of steam elongation) with 30 kg ha⁻¹ nitrogen application was the best term.

Conclusion

The interaction effect of supplemental irrigation and nitrogen in the production of barley genotypes was obtained by improving plant health indices, reducing the canopy temperature and increasing the number of spikes per m². Supplying the nitrogen requirement of barley under supplemental irrigation conditions to reduce the effects of moisture and heat stress on the plant was proved in this research.

Keywords: Canopy temperature, Contribution of soil nitrogen in production, Piecewise (broken) regression, Yield, Yield components

ارزیابی کارایی استفاده از آب و نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum vulgare*) دیمولی فیضی اصل^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۳

چکیده

اثرات متقابل آب و نیتروژن در تولید جو (*Hordeum vulgare*) به اثبات رسیده است. برای ارزیابی این اثرات، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده با دو سطح آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در پاییز و ۵۰ میلی‌متر در بهار + ۳۰ میلی‌متر در اواخر ساقه رفتن)، پنج سطح نیتروژن (۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و پنج رقم و لاین پیشرفته جو دیم (آرتان، قافلان، ERBYT (۹۳-۹۰)، ۲۲-ERBYT (۹۲-۹۵) و ۸-ERBYT (۹۳-۹۶) در سه تکرار و به‌مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۲) اجرا شد. عملکرد، اجزای عملکرد، کارایی استفاده از نیتروژن (NUE) و آب (WUE) و سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید تعیین شد. نتایج نشان داد که در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، بیشترین عملکرد از مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به دست آمد که با تیمار N0 اختلاف معنی‌داری داشت، اما با سایر سطوح مصرف نیتروژن در یک کلاس آماری قرار گرفت. اثر متقابل آبیاری تکمیلی در نیتروژن بر عملکرد ۱/۷ برابر بیشتر از اثر آبیاری تکمیلی و نیتروژن بود. هر دو عامل از طریق افزایش تعداد سنبله در واحد سطح عملکرد را افزایش دادند. با مصرف نیتروژن، کارایی استفاده از نیتروژن و بهره‌وری جزئی نیتروژن (PFP) به‌صورت نمایی کاهش یافت و بیشترین آن‌ها برای عملکرد دانه به‌ترتیب ۴۷ و ۱۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم از تیمار N30 به دست آمد. مصرف نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار کارایی استفاده از آب برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۴۸ و ۵۶ درصد شد. سهم نیتروژن کودی در تولید عملکرد به‌طور میانگین ۱۶/۳ درصد بیشتر از سهم نیتروژن خاک بود. در مجموع، تیمار دو مرحله آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در پاییز + ۳۰ میلی‌متر در اواخر ساقه رفتن) با مصرف ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص برترین بود.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، دمای تاج‌پوشش، رگرسیون تکه‌ای، سهم نیتروژن خاک در تولید، عملکرد

مقدمه

به اینکه جو به تنش‌های خشکی و گرما تحمل بالایی دارد، لذا این ویژگی، جو را به‌عنوان یکی از محصولات سازگار و موفق برای مناطق نیمه‌خشک درآورده است. همچنین جو از جمله گیاهان غله‌ای است که تحمل خوبی در مقابل شوری دارد. این گونه گیاهی در واکنش‌های (pH) مختلف خاک از ۵ تا ۸/۳ رشد می‌کند و در سیستم‌های تناوبی به‌عنوان انبار یا ذخیره‌کننده عناصر غذایی برای گیاهان بعدی به شمار می‌آید (Valenzuela & Smith, 2002).

کمبود آب در غرب آسیا و شمال آفریقا، محدودیت اصلی تولید محصولات کشاورزی است، عملکرد پایین و متغیر بودن آن به‌دلیل بارندگی‌های فصلی ناکافی و نامنظم در این مناطق می‌باشد. معمولاً در این مناطق، کشاورزان به‌طور سنتی گندم (*Triticum aestivum* L.) را به‌صورت آبی و جو را به‌صورت دیم کشت می‌کنند، زیرا از گندم درآمد بیشتری کسب می‌کنند و معتقدند جو با شرایط دیم سازگاری بیشتری دارد. بنابراین با مرسوم شدن آبیاری در این مناطق، کشاورزان تمایل بیشتری به آبیاری گندم در مقایسه با جو دارند

اگرچه حدود ۸۵ درصد جو (*Hordeum vulgare* L.) دنیا صرف تغذیه دام می‌شود (Fischbeck, 2002)، اما در سال‌های اخیر، به‌دلیل داشتن بتاگلوکان (β -glucan) بیشتر آن نسبت به سایر غلات و علاقه به استفاده از آن در تغذیه انسان، افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است (Erkan, Celik, Bilgi, & Koksel, 2006). این ماده در پایین آوردن کلسترول، کنترل گلوکز و انسولین خون و نیز کاهش خطر ابتلا به سرطان مؤثر است (Mokhtari, Esfarjani, & Kargar Fard, 2014). جو در تیپ‌های مختلف خاک با بافت لومی تا سنگین به‌استثنای خاک‌های ماندابی به‌خوبی رشد می‌کند. با توجه

۱- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

(Email: v.feiziasl@areeo.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.89493.1348>

کرت‌های دو بار خردشده با دو سطح آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در پاییز در زمان کاشت (برای سبز شدن بذور) و ۵۰ میلی‌متر در پاییز در زمان کاشت + ۳۰ میلی‌متر در اواخر ساقه رفتن ZS77) در کرت اصلی (Feiziasl, 2022)، پنج سطح نیتروژن شامل ۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره در سطوح کرت فرعی و دو رقم و سه لاین پیشرفته جو دیم (آرتان، قافلان، ERBYT، ۹۰-۹۳-۲۲، ERBYT، ۹۲-۹۵-۸، ERBYT، ۹۳-۹۶-۸) در سطوح کرت فرعی فرعی در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۴۰۱ و ۱۴۰۲-۱۴۰۱) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه اجرا شد.

در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ میزان بارندگی ۳۰۲/۴ میلی‌متر بود که نسبت به بلندمدت ۶۵ میلی‌متر (۱۷/۷ درصد) کاهش داشت. پراکنش بارندگی در پاییز ۱۱۹ میلی‌متر (۳۰ درصد)، زمستان ۱۲۵/۴ میلی‌متر (۳۷ درصد) و بهار ۵۸ میلی‌متر (۳۳ درصد) بود. بارندگی‌های فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۱۶ و ۵ درصد نسبت به آمار بلندمدت افزایش داشت، اما بارندگی در فصل بهار ۵۷ درصد (۷۷ میلی‌متر) کاهش یافت (جدول ۱ و شکل ۱A). در سال زراعی ۱۴۰۱-۰۲ میزان بارندگی ۲۹۰/۷ میلی‌متر بود که نسبت به بلندمدت ۷۶/۸ میلی‌متر (۱۹/۵ درصد) کمتر بود. پراکنش بارندگی در پاییز ۶۹/۳ میلی‌متر (۲۳/۸ درصد)، زمستان ۱۰۷/۱ میلی‌متر (۳۶/۸ درصد) و بهار ۱۱۴/۱ میلی‌متر (۳۹/۳ درصد) بود. مطابق این نتایج، بارندگی‌های هر سه فصل پاییز، زمستان و بهار نسبت به آمار بلندمدت کاهش داشت، اما بارندگی فصل بهار ۵۷/۷ میلی‌متر (۱۰۲ درصد) نسبت به سال زراعی اول افزایش یافت (جدول ۱ شکل ۱B).

به منظور اطلاع از ویژگی‌های اولیه خاک و انجام توصیه‌های کودی، نمونه خاکی به روش مرکب از محل اجرای آزمایش تهیه و ویژگی‌های بافت خاک به روش هیدرومتری، کلسیم کربنات معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتر کردن با سود، کربن آلی به روش اکسایش تر (والکلی بلک)، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس قابل جذب تعیین شد (Ali Ehyaei, 1999). در سال اول و دوم زراعی، فسفر قابل جذب در خاک کمتر از حد بحرانی ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Feiziasl, Kasraei, Moghaddam, & Valizadeh, 2004) بود و برای جبران کمبود آن به ترتیب ۱۰۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل به صورت نواری همزمان با کاشت مصرف شد. مقادیر سایر عناصر غذایی مانند پتاسیم، آهن، منگنز، روی و مس در خاک بیش از حد بحرانی این عناصر به ترتیب ۲۵۰، ۵، ۱۱، ۰/۹ و ۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای جو دیم بود (جدول ۲)، لذا نیازی به مصرف کودهای حاوی این عناصر نبود (Pala, & Mosavi, 2009).

(Abourached, Yau, Nimah, & Bashour, 2008). از سوی دیگر، عملکرد جو به طور مستقیم تحت تأثیر تنش آبی در مراحل بحرانی رشد این گیاه قرار می‌گیرد. معمولاً این مراحل بحرانی برای گیاهان مختلف شناخته شده است (Singh & Kumar, 1981). اگرچه جو نسبت به سایر غلات به تنش رطوبتی متحمل تر است، ولی در دو مرحله ساقه رفتن و تشکیل دانه نسبت به کمبود آب به شدت حساس بوده و تنش رطوبتی در این مراحل منجر به کاهش شدید عملکرد آن می‌شود (Lauer & Partridge, 1990). تنش رطوبتی در شرایط دیم تنها به دلیل کمبود بارندگی و محدودیت آب رخ نمی‌دهد، بلکه عوامل دیگری مانند تنش گرمایی به ویژه پس از مرحله گل‌دهی باعث بر هم زدن تعادل جذب و مصرف آب و تشدید پدیده تنش آبی می‌شود (Aynehband, Asadi, & Rahnama, 2014). پس از آب، تأمین نیتروژن مورد نیاز، محدودیت اصلی رشد غلات در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. معمولاً خاک‌های مناطق ایران دارای مواد آلی و نیتروژن معدنی کم برای تغذیه گیاه هستند (Feiziasl, 2020). عملکرد جو دیم اغلب تحت تأثیر سه عامل تاریخ کاشت، آب قابل استفاده در خاک و تعیین نیاز دقیق نیتروژنی این محصول می‌باشد (McKenzie & Jackson, 2005). بر این اساس، پژوهشگران زیادی وجود اثرات متقابل بین آب (آبیاری تکمیلی) و نیتروژن را در گیاه جو گزارش کرده‌اند. آن‌ها معتقدند که نیتروژن با تقویت گسترش سیستم ریشه‌ای گیاه، جذب عناصر غذایی و آب و در نتیجه کارایی استفاده از آب را بهبود می‌بخشد. نیتروژن از طریق تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی و بهبود وضعیت فتوسنتزی گیاه، در کاهش تنش‌های محیطی از جمله تنش رطوبتی و گرمای آخر فصل بسیار مؤثر می‌باشد و اثرات مثبت آن با تأمین بهینه آب بیشتر مشهود است (Abourached et al., 2008; Agami, Alamri, Abd El-Mageed, Abousekken, & Hashem, 2018; Al-Menaie, Al-Ragam, Al-Shatti, Al-Hadidi, & Babu, 2024; Cossani, Slaferand, & Savin, 2012; Khan et al., 2023; Muurinen, Kleemola, & Peltonen-Sainio, 2007; Ru et al., 2022; Sadras & McDonald, 2012). لذا با توجه نقش اثرات متقابل نیتروژن و آبیاری تکمیلی در تولید گیاه جو و امکان افزایش عملکرد این محصول در مناطقی با امکان آبیاری تکمیلی و با مناطق پر باران، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات متقابل آب و نیتروژن به منظور امکان بهبود صفات مؤثر در عملکرد دانه و بیولوژیک و کارایی استفاده از آب و نیتروژن در ژنوتیپ‌های جو دیم اجرا شد.

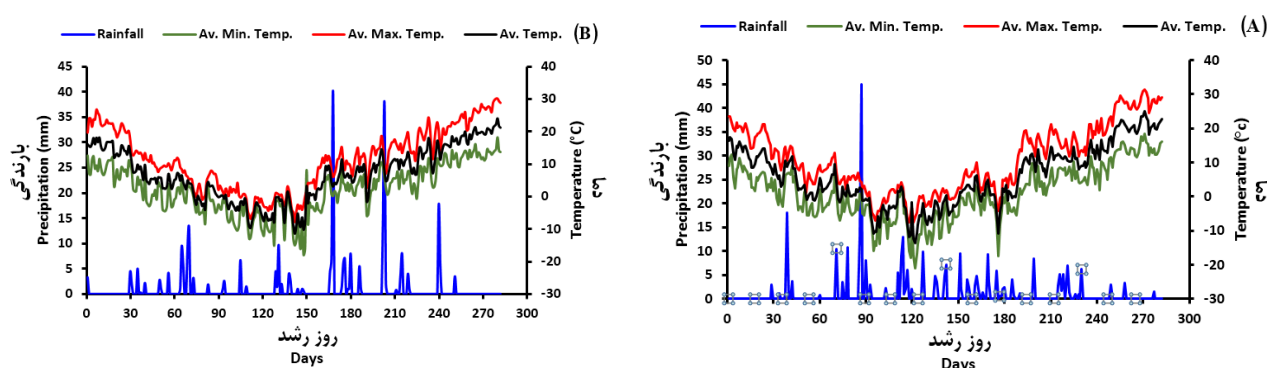
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه در سال‌های اجرای آزمایش و میانگین بلندمدت (۲۸ سال)

Table 1- Meteorological information for station of Dryland Agricultural Research Institute (DARI) in cropping seasons and long term (28 years)

سال Year	بارندگی Rainfall (mm)	میانگین حداقل دما Mean Min. temperature (°C)	میانگین حداکثر دما Mean Max. temperature (°C)	میانگین دما Mean temperature (°C)	تعداد روزهای زیر صفر Days of blow zero	رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%)	تبخیر و تعرق Evaporation (mm)
1400-01 (2021-22)	302.4	2.2	12.0	7.1	127	60.0	1100.0
1401-02 (2022-23)	290.7	3.2	12.7	7.9	113	60.0	1217.7
بلندمدت Long term	367.5	2.2	11.2	7.0	124	57.2	1082.0



شکل ۱- تغییرات بارندگی و دمای هوا در طول دوره رشد در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ (A) و ۱۴۰۱-۰۲ (B)

Figure 1- Variation of rainfall and air temperature in 2021-2022 (A) and 2022-2023 (B) cropping seasons

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق ۰ الی ۲۵ سانتی‌متری

Table 2- Soil physical and chemical properties of experiment location (0-25 cm)

سال Year	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اشباع خاک Saturation percentage	مواد خشتی شونده TNV (%)	کربن آلی Organic C	فسفر P (Available)	پتاسیم K (Available)	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu	بافت Texture
1400-01 2021-22	7.1	0.74	42	10.5	0.81	3.0	436	5.2	12.5	1.0	1.8	Silty loam
1401-02 2022-23	7.7	0.15	47	5.1	0.72	4.0	677	7.6	13.6	1.1	2.3	Clay loam

عملکرد دانه و بیولوژیک، کارایی استفاده از آب^۱ (WUE)، کارایی استفاده از نیتروژن^۲ (NUE)، بهره‌وری جزئی^۳ (PFP) نیتروژن (نسبت عملکرد دانه به میزان نیتروژن خالص مصرف‌شده از طریق کود اوره در هر هکتار)، سهم نیتروژن خاک در تولید عملکرد^۴ (CSN) و دمای

کاشت با بذركار هاسیای آزمایشی مجهز به سیستم جایگذاری کود دارای ۱۱ ردیف به فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر و با تراکم ۴۵۰ دانه در مترمربع در دهه اول مهر ماه انجام گرفت (Anonymous, 2022). مساحت هر کرت فرعی ۲۲ مترمربع بود. دو سوم تیمار نیتروژنی در پاییز همزمان با کاشت و به‌صورت جایگذاری و یک سوم به‌صورت سرک در اواخر اسفند مصرف شد. تیمارهای آبیاری به‌صورت بارانی انجام گرفت. صفات اجزای عملکرد،

1- Water use efficiency (WUE)

2- Nitrogen use efficiency (NUE)

3- Partial factor productivity (PFP)

4- Contribution of soil nitrogen in production (CSN)

تاج‌پوشش^۱ (CT) در مرحله پر شدن دانه در تیمارها اندازه‌گیری شد (Feiziasl, 2022). قبل از اجرای آزمایش و پس از برداشت محصول، نمونه خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر از هر کرت جهت تعیین میزان رطوبت خاک تهیه و کارایی استفاده از آب محاسبه گردید. در محاسبه این شاخص، مقدار آب زهکشی‌شده به لایه‌های پایین‌تر از ۱/۸ متر پروفیل صفر در نظر گرفته شد (Bian et al., 2016). پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، مابقی هر کرت به کمک موور (به‌صورت کف‌بر) برداشت و عملکرد بیولوژیک دانه تعیین شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به کمک نرم‌افزار GenStat14 انجام و شکل‌ها به کمک Excel ترسیم شدند.

نتایج و بحث

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، همگن بودن خطاها از طریق تجزیه واریانس ساده برای هر سال زراعی برای صفات عملکرد دانه و بیولوژیک از طریق آزمون Fmax هارتلی (Chukwudi, Idochi, & Sylvia, 2019) مورد تأیید قرار گرفت و پس از آن، داده‌ها به‌صورت مرکب تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین‌ها انجام شد (جدول ۳).

اثر سال

بین دو سال از لحاظ تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد بیولوژیک و دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، بهره‌وری جزئی نیتروژن (PFP)، بهره‌وری آب (WUE) برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک و سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه از سال دوم به دست آمد که به‌ترتیب ۶۳۵۰ و ۲۶۴۷ کیلوگرم در هکتار افزایش داشت. افزایش عملکرد دانه در سال دوم بیشتر به‌دلیل افزایش معنی‌دار (۱۳۱ درصد) جزء تعداد سنبله در واحد بود، زیرا افزایش دو جزء دیگر قادر به توجیه افزایش ۱۲۷ درصدی عملکرد دانه در سال دوم نبودند (جدول ۴). آمار هواشناسی نشان داد که اولاً میانگین دمای دو ماه فروردین و اردیبهشت به‌عنوان ماه‌های رشد سریع جو در سال دوم ۰/۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از سال اول (سال اول ۹/۳ و سال دوم ۹/۸ درجه سانتی‌گراد) بود. همچنین در سال دوم، تعداد روزهای یخبندان در این دو ماه کمتر از سال اول (سال اول ۱۰ روز و سال دوم ۴ روز) بود. ثانیاً اگرچه میزان بارندگی دو سال زراعی کمتر از چهار درصد (۱۲ میلی‌متر) اختلاف داشت، اما میزان بارندگی در فصل بهار در سال دوم ۵۷/۷ میلی‌متر (۱۰۲ درصد) بیشتر از سال

اول بود، لذا متوسط دمای بیشتر همراه با افزایش بارندگی در اوایل فصل بهار، دلیل اصلی افزایش معنی‌دار عملکرد در سال دوم می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۱). بنابراین علی‌رغم انجام آبیاری تکمیلی، اثر بارندگی در اوایل فصل بهار از طریق افزایش تعداد سنبله بارور نقش مؤثری در افزایش تولید جو داشت (جدول ۴). پژوهشگران، بارندگی اوایل فصل بهار را یکی از عوامل مؤثر در افزایش عملکرد جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مطرح نموده‌اند (Austin, Cantero-Martínez, Arrúe Ugarte, Playán Jubillar, & Cano-Marcellán, 1998; Högy, Poll, Marhan, Kandeler, & Fangmeier, 2012). به‌طوری‌که کاهش بارندگی در اوایل فصل بهار منجر به تشدید اثر تنش رطوبتی و کاهش عملکرد بیولوژیک و تشش آخر فصل منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (Ahmadi, Hosseinpour, & Soltani, 2014; Radaei Alamoli, Jahansooz, Bagher Hosseini, & Soufizadeh, 2020). همچنین در سال دوم بهره‌وری جزئی نیتروژن ۵۴ کیلوگرم بر کیلوگرم، کارایی استفاده از آب برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۷/۵ و ۱۸/۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و سهم نیتروژن خاک در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۳۹/۸ و ۸۲/۰ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0/01$) افزایش یافت. برخلاف صفات یادشده کارایی استفاده از نیتروژن در سال دوم حدود ۱۰ درصد کاهش یافت که این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۴). با توجه به این نتایج استنباط می‌شود که بارندگی در اوایل فصل بهار (فروردین و اردیبهشت) مصادف با فصل رشد سریع جو، عامل بسیار مهم در افزایش اندام‌های هوایی گیاه به‌عنوان منبع فتوسنتزی و افزایش عملکرد این محصول در سال دوم زراعی بوده است.

اثر آبیاری تکمیلی

بین دو سطح آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری در بیشتر صفات از جمله عملکرد بیولوژیک و دانه مشاهده شد (جدول ۳)، به‌طوری‌که آبیاری تکمیلی دو مرحله‌ای باعث افزایش ۲۵۷۸ و ۱۲۵۹ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک و دانه با میانگین ۴۱ درصد نسبت به آبیاری تک مرحله‌ای شد. اگرچه هر سه جزء عملکرد در آبیاری تکمیلی دو مرحله‌ای افزایش داشت، اما افزایش وزن هزاردانه ($P \leq 0/01$) و تعداد سنبله در واحد سطح ($P \leq 0/05$) معنی‌دار بود و بیشترین افزایش با ۹۷ درصد (وزن هزاردانه هشت درصد) مربوط به تعداد سنبله در واحد سطح بود. بنابراین افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک مرهون افزایش تعداد سنبله در واحد سطح بوده است. مقایسه اثر سال با اثر آبیاری تکمیلی در تولید عملکرد نشان داد که تفاوت عملکرد بین سال‌ها به‌طور میانگین ۲/۵ برابر تغییرات اثر آبیاری تکمیلی است و این نشانگر اثر بیشتر بارندگی اوایل بهار در سال دوم در مقایسه با آبیاری تکمیلی ۳۰ میلی‌متر دوم می‌باشد

1- Canopy temperature (CT)

چنانچه در این لایه نیتروژن معدنی کمتر از ۶۰ کیلوگرم در هکتار باشد، گیاه جو به مصرف کودهای نیتروژنی پاسخ مثبت نشان می‌دهد (Al-Menaie et al., 2024; Cammarano et al., 2021; Ismail & Withers, 1984). نتایج المناعی و همکاران (Al-Menaie et al., 2024) نشان داد که در شرایط آبیاری کامل، اولین سطح مصرف نیتروژن بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک را تولید نمود، اما در شرایط کم‌آبیاری (آبیاری ۷۵ درصد FC) نه تنها عملکرد دانه و بیولوژیک کمتری تولید شد، بلکه بیشترین عملکرد از سطح دوم مصرف نیتروژن به دست آمد. رابطه بین اجزای عملکرد و عملکرد دانه نشان داد که مصرف نیتروژن تعداد سنبله در واحد سطح را به‌طور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) افزایش داد (جدول ۳) و بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح در تیمار N30 ثبت شد (جدول ۴). با این تفاوت که این رابطه رگرسیونی از نوع خطی بود (شکل B۲) و باعث افزایش عملکرد دانه شد (جدول ۴). بررسی رابطه بین سه جزء عملکرد دانه با اجزای عملکرد از طریق رگرسیون گام‌به‌گام نیز نشان داد که از بین سه جزء عملکرد دانه، تنها جزء تعداد سنبله در واحد سطح توانست عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری ($\text{Grain yield} = 274.17 + 5.30 \times (\text{No. Spike})$) توضیح نماید. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز نشان می‌دهد که افزایش تعداد سنبله در واحد سطح با مصرف کودهای نیتروژنی در گندم و جو دیم در شرایط آبیاری تکمیلی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه در مناطق سرد شده است و این موضوع در مدیریت‌های موفق به‌زراعی مانند آبیاری تکمیلی و مصرف نیتروژن مد نظر قرار می‌گیرد (Feiziasl et al., 2009; Feiziasl, 2017).

مصرف نیتروژن، WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک و CSN در تولید عملکرد دانه را به‌صورت مثبت و معنی‌دار افزایش داد، اما PFP و NUE را به‌طور منفی و معنی‌دار کاهش داد. NUE مصرف نیتروژن از ۶۱/۸ به ۱۴/۲ و PFP از ۱۳۰/۱ به ۳۱/۷ کیلوگرم عملکرد دانه به‌ازای کیلوگرم مصرف نیتروژن کاهش یافت (جدول ۳ و جدول ۴). روابط بین نیتروژن مصرفی با PFP و NUE نشان داد که با مصرف نیتروژن هر دو شاخص به‌طور معنی‌داری و به‌صورت نمایی کاهش یافت. مطابق این نتایج، بین مقادیر N30 تا N60، کاهش NUE و PFP به‌طور میانگین به‌ترتیب ۱/۱ و ۲/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم، بین N60 تا N90 به‌ترتیب ۰/۳ و ۰/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم و بین N90 تا N120 به‌ترتیب ۰/۲ و ۰/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود (شکل ۳). سایرین نیز سیر نزولی کارایی مصرف نیتروژن را با مصرف نیتروژن در محدوده پژوهش حاضر برای جو دیم گزارش کرده‌اند (Muurinen et al., 2007; Nehe et al., 2020; Sylvester-Bradley & Kindred, 2009). دامنه PFP برای جو آبی در مشهد ۶۰-۲۷ کیلوگرم بر کیلوگرم بیان شده است (Fanoodi, Khazaei, & Kafi, 2017). دامنه NUE برای تولید دانه غلات

(جدول ۴). پژوهشگران زیادی همبستگی بالای میزان بارندگی به‌ویژه بارندگی فصل بهار را با عملکرد جو گزارش کرده‌اند و نقش بیشتر میزان بارندگی را در مقایسه با سایر عوامل به‌زراعی مورد تأکید قرار داده‌اند (Feiziasl et al., 2016; Feiziasl, Jafarzadeh, Sadeghzadeh, & Mousavi Shalmani, 2022; Matar, Jabbour, & El-Hajj, 1987).

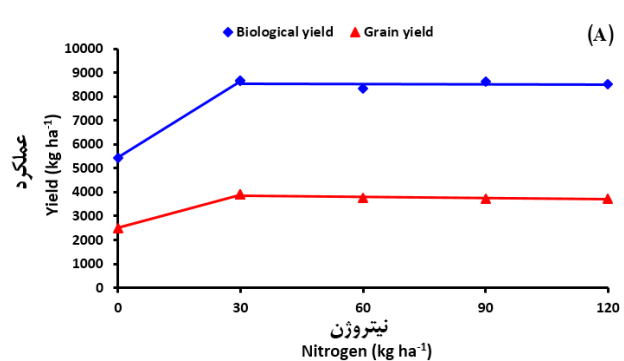
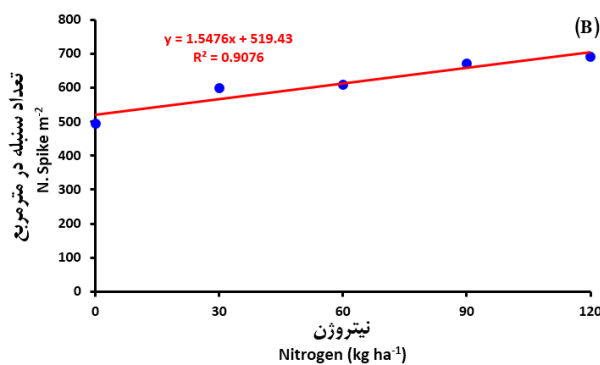
آبیاری ۸۰ میلی‌متر باعث افزایش معنی‌دار WUE، PFP، NUE برای تولید دانه و عملکرد بیولوژیک و CSN در تولید عملکرد دانه شد (جدول ۳). با افزایش یک میلی‌متر آبیاری تکمیلی در اواخر ساقه رفتن، NUE، PFP، WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک و CSN به‌طور میانگین به‌ترتیب ۰/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم، ۱ کیلوگرم بر کیلوگرم، ۰/۲ و ۰/۱۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و ۰/۱۹ کیلوگرم بر کیلوگرم افزایش یافت. بنابراین، انجام آبیاری تکمیلی مرحله دوم توانسته است که کارایی استفاده از کود اوره و بهره‌وری آب در تولید را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. این افزایش مرهون افزایش درصد پوشش گیاهی (از ۴۹ به ۷۵ درصد) و تا حدودی کاهش دمای تاج‌پوشش (از ۲۲/۹ به ۲۲/۴ درجه سانتی‌گراد) و ایجاد شرایط مناسب برای فتوسنتز گیاه بوده است. همچنین مقایسه اثر سال و آبیاری تکمیلی در WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک نشان داد که اثر سال به‌ترتیب ۲ و ۲/۵ برابر بیشتر از اثر آبیاری تکمیلی در مرحله دوم بوده است و این اهمیت بارندگی را در فصل بهار برای جو و افزایش WUE را نشان می‌دهد (جدول ۴). آب مورد نیاز برای تولید واحد بذر در گیاه جو به‌دلیل پایین بودن میزان تعرق آن کمتر از سایر غلات است (Ryan, Abdel Monem, & Amri, 2009). کارایی استفاده از آب برای این گیاه در شرایط مدیترانه‌ای ۱۴/۶ الی ۲۷/۸ کیلوگرم بر هکتار بر میلی‌متر گزارش شده است (Katerji, Mastrorilli, & Rana, 2008) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

اثر نیتروژن

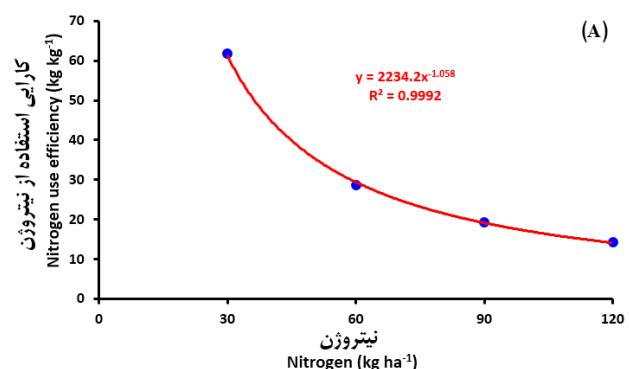
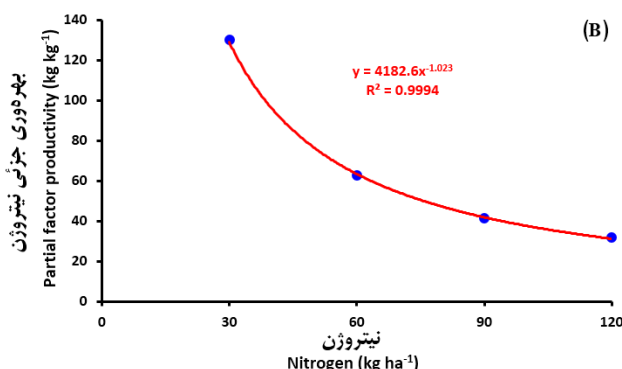
اثر نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک و دانه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳)، اما هر چهار سطح مصرف نیتروژن در یک کلاس آماری قرار گرفتند (جدول ۴). روابط رگرسیونی بین نیتروژن مصرفی با عملکرد بیولوژیک و دانه نشان داد که این روابط از نوع رگرسیون تکه‌ای (خط شکسته) و بیشترین افزایش عملکرد مربوط به تیمار N30 می‌باشد. مصرف هر کیلوگرم در هکتار نیتروژن تا سطح ۳۰ کیلوگرم در هکتار، به‌طور میانگین باعث افزایش ۱۰۷ و ۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب عملکرد بیولوژیک و دانه شد، اما مصرف بیش از آن روند تقریباً ثابتی داشت (شکل A۲). پژوهشگران معتقدند که پاسخ ارقام جو به مصرف نیتروژن به دو عامل آب قابل استفاده و نیتروژن معدنی در عمق ۶۰ سانتی‌متر اولیه خاک بستگی دارد.

۳۰، ۶۰ و ۹۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، اثر کود مصرفی (کودپذیری) در تولید عملکرد دانه به ترتیب ۶۲، ۲۹، ۱۹ و ۱۴ کیلوگرم بر کیلوگرم و اثر نیتروژن خاک به ترتیب ۷۸، ۴۰، ۲۶ و ۲۰ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. مطابق این نتایج، سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به طور میانگین به ترتیب ۳۲ و ۲۲ درصد بیشتر از نیتروژن مصرف شده از طریق کود (NUE) بود (جدول ۴ و شکل ۴). پژوهشگران علت این موضوع را مصرف زیاد کودهای نیتروژنی و اثر محدودکننده آن بر تنوع ریزجانداران و کارکرد ریشه گیاهان زراعی می دانند. وقتی نمی توان از مصرف مفرط نیتروژن اجتناب کرد باید ژنوتیپ هایی را یافت که قادر به جذب و انباشت غلظت بالای نیتروژن هستند و یا اینکه به واسطه برخی صفات NUE بالایی دارند (Barati, Ghadiri, Zand-Parsa, & Karimian, 2015; Koocheki, 2017).

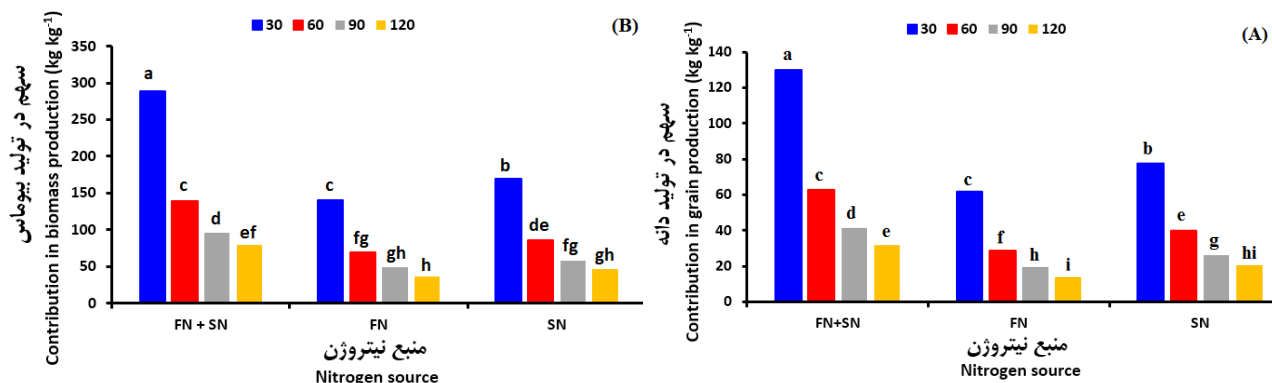
۸۰-۴۰ کیلوگرم بر کیلوگرم و برای PFP، ۳۰-۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Govindasamy et al., 2023; Raun & Johnson, 1999; Udvardi, Brodie, Riley, Kaeppler, & Lynch, 2015). المناعی و همکاران (Al-Menaie et al., 2024) با استفاده از نیتروژن-۱۵ بیشترین کارایی مصرف نیتروژن را در اثر متقابل آبیاری تکمیلی در نیتروژن، ۳۷/۶ درصد برای جو محاسبه نمودند. کوچکی (Koocheki, 2017) نتیجه مشابهی را در مورد کاهش بودن روابط بین نیتروژن مصرفی با PFP و NUE گزارش کرده اند، اما اعداد و ارقام آن ها در هر دو شاخص برای گندم کمتر از نتایج پژوهش حاضر برای گیاه جو می باشد. پژوهش ها نشان می دهد که ارقام جو با جذب بالای نیتروژن، عملکرد بالاتری تولید می کنند. سهم نیتروژن خاک در تولید عملکرد دانه ($\text{Grain yield} = 2102 \times \text{SN}^{(-0.971)}$; $R^2 = 0.998^{**}$) و عملکرد بیولوژیک ($\text{Biological yield} = 4141 \times \text{SN}^{(-0.941)}$; $R^2 = 0.999^{**}$) با افزایش مصرف نیتروژن به طور معنی دار ($P \leq 0.01$) کاهش یافت. در مقادیر



شکل ۲- رابطه بین میزان مصرف نیتروژن با عملکرد (A) و تعداد سنبله در واحد سطح (B)
Figure 2- Relationship between nitrogen rates with yield (A) and number of spike per m² (B)



شکل ۳- رابطه بین میزان نیتروژن مصرفی با کارایی زراعی استفاده از نیتروژن (A) و بهره‌وری جزئی نیتروژن (B)
Figure 3- Relationship between nitrogen with nitrogen use efficiency (NUE) (A), and partial factor productivity (PFP) (B)



شکل ۴- سهم نیتروژن از منابع کود مصرفی (FN) و خاک (SN) در تولید عملکرد دانه (A) و بیولوژیک (B)؛ (کلاس‌بندی براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

Figure 4- The contribution of nitrogen source from fertilizer (FN) and soil (SN) on grain (A) and biological yield (B); (Classification based on Duncan's Multiple Range Test at $P \leq 0.05$)

افزایش داد که این افزایش اندکی بیشتر از نتایج آن‌ها برای گندم دیم می‌باشد. مسئله مهم دیگر اینکه رابطه بین نیتروژن مصرفی با دمای تاج‌پوشش نشان داد که اولاً بیشترین کاهش دمای تاج‌پوشش در N30 به دست آمد. ثانیاً این رابطه از نوع رگرسیون تکه‌ای (خط شکسته) کاهشی است (شکل ۵A) که کاملاً عکس رابطه نیتروژن مصرفی با عملکرد بیولوژیک و دانه می‌باشد (شکل ۵B). مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد که کاهش CT در اثر مصرف نیتروژن منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شده است (شکل ۵A و شکل ۵B). CT در شرایط مختلف رطوبتی، به‌طور شدیدی تحت تأثیر تغییرات وضعیت نیتروژن و مدیریت این عنصر مهم قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که نیتروژن، همبستگی بین CT و عملکرد را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jia-Zhou, Li-Rong, Guo & Shuang, 2010; Meijer, 2004). اثرات متقابل نیتروژن و CT بستگی به شدت تنش رطوبتی حاکم دارد. در تنش رطوبتی پایین، مصرف نیتروژن منجر به افزایش تدریجی حجم ریشه و کاهش CT می‌شود، اما در تنش رطوبتی بالا، مصرف مقادیر زیاد نیتروژن منجر به افزایش تاج‌پوشش و تقاضای تعرق گیاه و در نتیجه تشدید تنش آبی (افزایش CT) می‌شود (Nielsen & Halvorson, 1991). مطابق نتایج به‌دست‌آمده برای CT در پژوهش حاضر، مصرف نیتروژن باعث کاهش CT گردید. بنابراین استنباط می‌شود که با مصرف نیتروژن به‌ویژه سطح اول مصرف آن، میزان تنش آبی وارد شده بر ژنوتیپ‌های جو کاهش یافته است.

ژنوتیپ

بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی تفاوت معنی‌داری ($P \leq 0.01$) از لحاظ عملکرد بیولوژیک و دانه وجود داشت (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک به‌میزان ۸۴۱۹ کیلوگرم در هکتار از رقم آرتان به

مصرف نیتروژن، CT را تا دو درجه سانتی‌گراد (شکل ۵A)، NUE و PFP را به‌ترتیب ۴۸ و ۹۸/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم کاهش داد. درحالی‌که WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک را به‌ترتیب تا ۳/۷ و ۸/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر افزایش داد و بیشترین افزایش از تیمار N30 به دست آمد (جدول ۴). مقایسه نتایج نشان می‌دهد که دامنه NUE در سطوح مختلف آبیاری تکمیلی از ۲۳ تا ۳۸ کیلوگرم بر کیلوگرم و در سطوح مصرف نیتروژن ۱۴ تا ۶۲ کیلوگرم بر کیلوگرم می‌باشد. این دامنه برای WUE در سطوح آبیاری تکمیلی ۸ تا ۱۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و در سطوح مصرف نیتروژن ۷ تا ۱۱ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر می‌باشد. بنابراین اگرچه با مدیریت مصرف نیتروژن می‌توان هر دو NUE و WUE را بهبود بخشید، اما امکان تغییر و بهبود ویژگی NUE از طریق مصرف کود نیتروژنی بیشتر از WUE است (جدول ۴). پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند که مصرف نیتروژن توانسته است WUE را در گیاه جو بهبود بخشد. نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط تنش رطوبتی، زمانی که مکش در لایه‌های بالایی خاک بیش از ۱۵ بار می‌باشد، گیاه جو قادر به جذب آب از اعماق پایین‌تر از ۶۰ سانتی‌متری است. به همین دلیل، گیاه جو را برای کاشت در شرایط تنش آبی متوسط تا شدید و یا برای دیرکاشت به گندم ترجیح می‌دهند (Naghdyzadegan Jahromi, Razzaghi, & Zand-Parsa, 2023; Singh & Kumar, 1981; Acuña, Lisson, Johnson, & Dean, 2015). WUE را برای گندم دیم با مصرف بهینه نیتروژن ۴۲ درصد افزایش دادند و بیشترین مقدار این کارایی به‌میزان ۱۳/۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر رسید که در خصوص افزایش WUE با مصرف نیتروژن و همچنین مقدار افزایش تا حدودی با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. زیرا در پژوهش حاضر، مصرف نیتروژن به‌طور میانگین WUE را برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب ۴۸ و ۵۶ درصد

دست آمد. این رقم از لحاظ عملکرد بیولوژیک با رقم قافلان و شماره ۳ در کلاس مشابه قرار گرفتند، اما ژنوتیپ شماره ۵ با حداقل عملکرد در کلاس مستقلی قرار گرفت. مطابق این نتایج، بین ژنوتیپ‌ها حداکثر ۱۱۳۸ کیلوگرم در هکتار تفاوت وجود داشت که این مقدار حدود ۱۴ درصد میانگین عملکرد بیولوژیک ژنوتیپ‌ها است (جدول ۴). سه ژنوتیپ اول (آرتان، قافلان و شماره ۳) با میانگین ۳۶۳۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را تولید نمودند که با ژنوتیپ چهارم با اختلاف عملکرد ۱۵۱ کیلوگرم در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشتند. همانند عملکرد بیولوژیک، کمترین عملکرد دانه را ژنوتیپ شماره ۵ با ۳۲۲۰ کیلوگرم در هکتار تولید نمود که با ژنوتیپ شماره ۴ تفاوت معنی‌داری نداشت. مطابق این نتایج، بیشترین اختلاف عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها ۴۴۷ کیلوگرم در هکتار بین دو ژنوتیپ شماره ۳ و ۵ بود (جدول ۴). بررسی روابط بین اجزای عملکرد با عملکرد دانه نشان داد که اولاً بین اجزای عملکرد در سطوح ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. ثانیاً دلیل اصلی تفاوت اندک در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها به‌ویژه چهار ژنوتیپ اول (حداکثر ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار) عدم معنی‌داری اجزای عملکرد در سطوح ژنوتیپ‌ها می‌باشد (جدول ۴). به بیان دیگر، ژنوتیپ‌های معرفی‌شده برای این آزمایش، وضعیت و تیپ رشدی و اغلب صفات ریخت‌شناختی تقریباً مشابهی دارند.

PFP در بین ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد (جدول ۳). چهار ژنوتیپ برتر اول بیشترین PFP را با میانگین ۶۹ کیلوگرم بر کیلوگرم داشتند که در کلاس مشترک قرار گرفتند. کمترین PFP با ۵۹/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم به ژنوتیپ شماره ۵ اختصاص یافت که با ژنوتیپ‌های قبلی به‌طور میانگین ۹/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم اختلاف داشت و این اختلاف معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. بیشترین WUE (بارندگی + آبیاری تکمیلی) برای تولید دانه با ۱۰ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر به رقم آرتان و ژنوتیپ شماره ۳ اختصاص یافت که با قافلان و ژنوتیپ شماره ۴ تفاوت معنی‌داری نداشتند. مطابق این نتایج، میانگین WUE برای تولید دانه ۹/۶ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر و برای سه ژنوتیپ برتر اول ۹/۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بود. بیشترین WUE برای عملکرد بیولوژیک ۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر به رقم آرتان اختصاص یافت که با رقم قافلان و ژنوتیپ‌های شماره ۲ و ۳ اختلاف معنی‌داری نداشت، اما با دو ژنوتیپ شماره ۴ و ۵ اختلاف معنی‌داری نشان داد. بنابراین، سه ژنوتیپ برتر اول با میانگین ۲۲/۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر بیشترین WUE برای تولید عملکرد بیولوژیک را داشتند. از لحاظ سهم نیتروژن خاک (CSN) در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک، اگرچه سه ژنوتیپ اول وضعیت مطلوبی را داشتند، اما بیشترین مقدار به ژنوتیپ شماره ۳ به‌ترتیب با ۴۵/۳ و ۹۷/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم اختصاص یافت که به‌طور مستقل در گروه برتر قرار گرفت. در نتیجه، سه ژنوتیپ اول (آرتان، قافلان و شماره ۳) علاوه بر

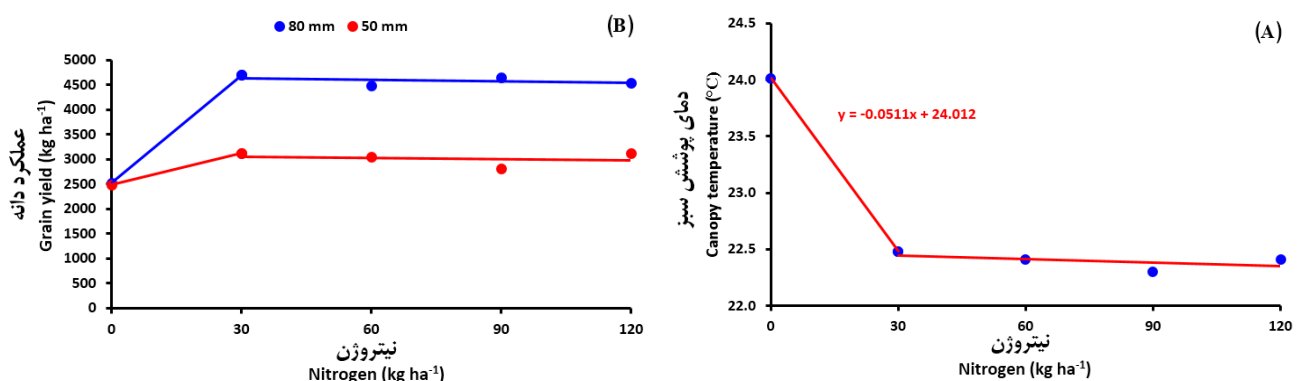
عملکرد دانه (۳۶۳۵ کیلوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۸۲۰۳ کیلوگرم در هکتار) بالا، بیشترین PFP (۷۰ کیلوگرم بر کیلوگرم)، WUE برای عملکرد بیولوژیک (۲۲/۳ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر) و CSN تولید عملکرد دانه (۴۲/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) و بیولوژیک (۹۲/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم) را داشتند و می‌توانند برای شرایط آبیاری تکمیلی قابل توصیه باشند، اما در بین آن‌ها، ژنوتیپ شماره ۳ به‌دلیل سهم نسبی بالای نیتروژن خاک در تولید، تا حدودی می‌تواند در اراضی کم‌بازده موفق‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها عمل نماید (جدول ۴). پژوهشگران دامنه WUE برای تولید دانه جو دیم را بین ۶ تا ۱۳ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر و برای عملکرد بیولوژیک ۳۰ تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار در میلی‌متر گزارش کرده‌اند (Cooper, Gregory, Keatinge, & Brown, 1987; Harries, Flower, Renton, & Anderson, 2022; Kemanian, Stöckle, & Huggins, 2005). اعداد گزارش‌شده WUE برای عملکرد دانه تاحدودی در محدوده نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌باشد، اما برای عملکرد بیولوژیک حدود دو برابر اعداد به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر می‌باشد. شاید این اختلاف به‌دلیل تفاوت در ژنوتیپ‌ها و یا شرایط خاکی و اقلیمی مناطق مورد آزمایش باشد.

اثرات متقابل عامل‌ها

اثر متقابل آبیاری در نیتروژن بر عملکرد دانه معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه به‌میزان ۴۶۹۰ کیلوگرم در هکتار از تیمار N30 با ۸۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی به دست آمد که با سایر سطوح مصرف نیتروژن در همان سطح آبیاری تکمیلی در کلاس برتر قرار گرفت. مصرف کود نیتروژنی با ۸۰ میلی‌متر آبیاری تکمیلی باعث افزایش به‌طور میانگین ۲۰۴۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد. در آبیاری تکمیلی ۵۰ میلی‌متر، مصرف مقادیر مختلف نیتروژن به‌طور میانگین ۵۰۸ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه را افزایش داد که این مقدار حدود یک چهارم افزایش عملکرد دانه در آبیاری تکمیلی ۸۰ میلی‌متر بود (جدول ۴). روابط عملکرد دانه با نیتروژن مصرفی در سطوح آبیاری تکمیلی نشان داد که این روابط از نوع رگرسیون تکه‌ای است و بیشترین افزایش عملکرد از N30 (معادل ۶۵ کیلوگرم اوره در هکتار) به دست آمد و با افزایش مصرف نیتروژن، تغییرات عملکرد دانه ناچیز بود. شیب بخش صعودی رگرسیون شکسته نشان داد که با افزایش هر کیلوگرم در هکتار نیتروژن (تا ۳۰ کیلوگرم در هکتار)، مقدار افزایش عملکرد دانه در آبیاری تکمیلی ۵۰ و ۸۰ میلی‌متر به‌ترتیب ۲۱ و ۷۲ کیلوگرم در هکتار بود و این اثر مثبت متقابل آبیاری تکمیلی و نیتروژن را با نقش بیشتر آبیاری تکمیلی در آن آشکار می‌سازد (شکل B۵). اثر اصلی آبیاری تکمیلی باعث افزایش ۱۲۹۵ کیلوگرم در هکتار و اثر اصلی نیتروژن در سطح اول مصرف منجر به افزایش ۱۲۷۴ کیلوگرم در هکتار شد، درحالی‌که در اثر

پاسخی مشاهده نمی‌شود، اما در این محدوده، کاهش مصرف نیتروژن از لحاظ اقتصادی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد (Garabet, Wood, & Ryan, 1998). پژوهشگران وجود اثرات متقابل آبیاری و نیتروژن را در گیاه جو گزارش کرده‌اند. آن‌ها با استفاده از این اثرات توانسته‌اند که NUE و عملکرد دانه را در جو در شرایط تنش آبی بهبود بخشند (Al-Menaie et al., 2024; Cossani et al., 2012).

متقابل آبیاری تکمیلی در سطح اول مصرف نیتروژن، افزایش عملکرد دانه ۲۱۷۲ کیلوگرم در هکتار بود که این مقدار ۱/۷ برابر اثر آبیاری تکمیلی (۸۰ میلی‌متر نسبت به ۵۰ میلی‌متر) و همچنین اثر N30 نسبت به N0 بود (جدول ۴). پاسخ گیاه به مصرف نیتروژن تحت تأثیر شرایط محیطی به‌ویژه میزان آب قابل دسترس بستگی دارد. با وجود این، افزایش مصرف کود نیتروژنی، اغلب عملکرد در غلات را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تا حدی افزایش می‌دهد که فراتر از آن



شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین مقادیر نیتروژن با دمای تاج پوشش (A) و عملکرد دانه (B)

Figure 5- The regression relationship between nitrogen rate with canopy temperature (A) and grain yield (B)

اثر متقابل آبیاری در نیتروژن بر NUE، PFP و WUE برای تولید دانه در سطح احتمال یک درصد و بر CSN در تولید دانه و بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳)، به‌طوری‌که با افزایش میزان نیتروژن، NUE و PFP به‌صورت نمایی کاهش یافت و در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، تیمار N30 از لحاظ NUE (به‌ترتیب با ۴۶/۷ و ۷۲/۴ کیلوگرم بر کیلوگرم) و PFP (به‌ترتیب با ۱۰۳/۸ و ۱۵۶/۳ کیلوگرم بر کیلوگرم) در کلاس برتر قرار گرفتند، اما تفاوت معنی‌داری نداشتند و بیشترین این ویژگی‌ها به سطح دوم آبیاری اختصاص یافت (جدول ۴). در آبیاری تکمیلی ۵۰ میلی‌متر علی‌رغم کمتر بودن عملکرد دانه در سطوح مختلف نیتروژن، NUE با شیب بیشتری کاهش (NUE_{50mm} = 2235.3 × N^{-1.148}) یافت، اما میانگین مقدار کاهش در سه سطح مصرف نیتروژن در آبیاری تکمیلی ۵۰ میلی‌متر و ۰/۴۰ و ۰/۶۱ کیلوگرم در هکتار به‌ازای مصرف هر کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. وضعیت مشابهی برای PFP (PEP_{80mm} = 4453 × N^{-0.99}; PEP_{50mm} = 3619 × N^{-1.045}) نیز مشاهده شد. استنباط می‌شود که اولاً افزایش میزان آبیاری تکمیلی همراه با افزایش میزان مصرف نیتروژن منجر به کاهش بیشتر هر دو کارایی NUE و PFP شد و این در مقادیر پایین نیتروژن بیشتر مشهود بود. ثانیاً اثر آبیاری تکمیلی در افزایش NUE و PFP در

اثر متقابل آبیاری در نیتروژن از سه جزء عملکرد دانه بر وزن هزاردانه معنی‌دار (P ≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۳). بیشترین وزن هزاردانه با میانگین ۵۲/۴ گرم به آبیاری تکمیلی ۸۰ میلی‌متر در تمامی تیمارهای نیتروژن تعلق داشت و همه آن‌ها در کلاس برتر قرار گرفتند. در سطح آبیاری ۵۰ میلی‌متر، تفاوت معنی‌داری بین تیمار N0 با سطوح مختلف مصرف نیتروژن وجود داشت، به‌طوری‌که مصرف نیتروژن به‌طور میانگین ۲/۱ گرم وزن هزاردانه را کاهش داد، درحالی‌که در آبیاری ۸۰ میلی‌متر، مصرف نیتروژن به‌طور میانگین ۱/۲ گرم وزن هزاردانه را افزایش داد، اما این افزایش معنی‌دار نبود. بررسی ارتباط بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه نشان داد که رابطه منطقی بین آن‌ها وجود ندارد. بنابراین تغییرات عملکرد دانه در اثر متقابل آبیاری در نیتروژن نمی‌تواند ناشی از تغییرات وزن هزاردانه باشد (جدول ۴). اگر چه اثر متقابل آبیاری در نیتروژن بر جزء تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار نبود (جدول ۳)، اما افزایش ۳۰ درصدی آن (۱۵۰ سنبله در واحد سطح) در تیمارهای مصرف نیتروژن در مقایسه با تیمار N0 باعث افزایش عملکرد بیولوژیک و دانه شد (جدول ۴). این نتیجه با نتایج پژوهش‌های پیشین در خصوص افزایش تعداد سنبله در واحد سطح با مصرف کودهای نیتروژنی و به‌دنبال آن افزایش عملکرد گندم و جو در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی کاملاً مطابقت دارد (Feiziasl, 2017; Feiziasl, Jafarzadeh, & Roostaei, 2021).

بیولوژیک و WUE شد (جدول ۴). سایرین نیز اثرات متقابل آب و نیتروژن را در غلات به‌ویژه جو دیم گزارش کرده‌اند (Feiziasl, 2017; Ryan et al., 2009; Sadras & McDonald, 2012). تأمین نیتروژن نه تنها WUE را بهبود می‌بخشد، بلکه از سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه مانند سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز نیز پشتیبانی می‌کند که در کاهش تنش مرتبط با کم‌آبیاری نقش دارند (Agami et al., 2018). نیتروژن به‌عنوان یک عامل تنظیم‌کننده در جنبه‌های مختلف فیزیولوژی گیاه مانند گرمای کوتاه‌مدت، خشکسالی و تنش‌های ترکیبی شناخته می‌شود که شامل فرآیندهای فتوسنتز، عملکرد، متابولیسم نیتروژن، NUE و WUE می‌باشد (Ru et al., 2023; Khan et al., 2022).

با افزایش میزان مصرف نیتروژن در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، CSN برای عملکرد دانه و بیولوژیک کاهش یافت. این کاهش برای دانه در سطح اول آبیاری تکمیلی ۵۳ کیلوگرم بر کیلوگرم و در سطح دوم آبیاری تکمیلی ۶۳ کیلوگرم بر کیلوگرم بود که از لحاظ آماری معنی‌دار ($P \leq 0.01$) شد. برای تولید عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۱۱۲ و ۱۳۵ کیلوگرم بر کیلوگرم به دست آمد، اما این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳ و جدول ۴). مطابق این نتایج، رابطه بین سهم نیتروژن خاک با نیتروژن مصرفی از طریق کود (کودپذیری) نشان داد که سهم کود در تولید دانه ($CSN_G = 0.8392 \times NUE_G - 4.7528$)، $16/1$ درصد و در تولید عملکرد بیولوژیک ($CSN_B = 0.8349 \times NUE_B - 3.579$)، $16/5$ درصد بیشتر از سهم نیتروژن خاک بود. به بیان دیگر، سهم هر دو مصرف نیتروژن به‌صورت کود و نیتروژن خاک در تولید عملکرد دانه و بیولوژیک جو در شرایط آبیاری تکمیلی تا حدودی نزدیک به هم بوده با این وصف که نقش سهم نیتروژن کود، اندکی بیشتر از نیتروژن خاک بود.

نتیجه‌گیری

بارندگی اوایل فصل بهار یکی از عوامل بسیار مؤثر در تولید جو دیم به‌شمار می‌آید، به‌طوری‌که با تفاوت ناچیز میزان بارندگی بین دو سال اجرای آزمایش، با افزایش ۱۰۰ درصدی بارندگی دو ماه اول فصل بهار در سال دوم زراعی عملکرد دانه و بیولوژیک به‌طور میانگین ۱۲۷ درصد افزایش یافت. آبیاری تکمیلی مرحله دوم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک شد، اما این افزایش حدود ۴۴ درصد افزایش ناشی از اثر سال و افزایش بارندگی بهار بود.

سطوح پایین مصرف نیتروژن بیشتر از سطوح بالای آن مشاهده شد (جدول ۴). کارایی مصرف نیتروژن ارتباط تنگاتنگی با ویژگی‌های ریشه ارقام و ژنوتیپ‌های جو دارد، به‌نحوی‌که ویژگی‌هایی مانند طول، تراکم، شعاع و سطح ریشه و تعداد، طول و تراکم ریشه‌های مویی، میزان جذب نیتروژن را در جو تحت تأثیر قرار می‌دهند. به همین دلیل، به‌نژادگران جو تلاش برای تقویت صفات مرتبط با ریشه را به‌منظور بهبود کارایی مصرف نیتروژن ضروری می‌دانند (Anbessa, & Juskiw, 2012; Fiorani, & Schurr, 2013; Wang, Inukai, & Yamauchi, 2006). همچنین استنباط می‌شود که به‌جای استفاده توأم از هر دو ویژگی NUE و PFP می‌توان از یکی از آن‌ها استفاده نمود. به نظر می‌رسد که شاخص PFP به‌دلیل اینکه کارایی استفاده از نیتروژن کل خاک (نیتروژن خاک + نیتروژن کود) را در بر می‌گیرد، برای کشاورزان اهمیت بیشتری دارد و محدوده این ویژگی برای غلات ۴۰ تا ۸۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرفی بیان شده است (Congreves et al., 2021; Govindasamy et al., 2023; Raun & Johnson, 1999). تیمار N30 در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، شاخص PFP بسیار بیشتر از این دامنه می‌باشد. شاید دلیل آن به‌کارگیری ارقام و ژنوتیپ‌های اختصاصی جو دیم در پژوهش حاضر می‌باشد که در شرایط سخت بیشتر متکی به سیستم انتقال مجدد می‌باشند (Abourached et al., 2008; Muurinen et al., 2007).

با افزایش میزان نیتروژن مصرفی در هر دو سطح آبیاری تکمیلی، WUE برای تولید دانه و زیست‌توده افزایش یافت، اما در این میان برای تولید دانه معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۳). به بیان دیگر، کمترین میزان WUE برای تولید دانه در هر دو سطح آبیاری تکمیلی از تیمار N0 به دست آمد که در سطح دوم آبیاری تکمیلی با سایر سطوح مصرف نیتروژن تفاوت معنی‌داری داشت، اما در سطح اول آبیاری این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). بین CT و WUE برای تولید عملکرد دانه ($WUE_G = -2.0617 \times CT + 56.45$) و بیولوژیک ($WUE_B = -4.5615 \times CT + 124.98$) رابطه خطی کاهشی وجود داشت، به‌طوری‌که با افزایش یک درجه سانتی‌گراد به دمای تاج‌پوشش، WUE برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به‌ترتیب $2/1$ و $4/6$ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر میلی‌متر کاهش یافت. مطابق این رابطه، بیشترین CT با کمترین WUE برای تولید دانه در هر دو سطح آبیاری تکمیلی به‌ویژه در سطح اول، به تیمار N0 اختصاص یافت که مصرف نیتروژن WUE را برای تولید دانه و بیولوژیک افزایش داد (جدول ۴). علت این موضوع، افزایش تعداد سنبله در واحد سطح با کاهش دمای تاج‌پوشش ($No. Spike m^{-2} = -63.766 \times CT + 2058.1$) ناشی از آبیاری تکمیلی و مصرف بهینه نیتروژن است، به‌طوری‌که با کاهش هر سانتی‌گراد دمای تاج‌پوشش، تعداد ۶۴ سنبله در مترمربع افزایش یافت و این باعث افزایش عملکرد دانه و

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات مورد بررسی در تیمارهای آزمایشی

Table 3- Combined analysis of variance for measured traits in experimental treatments

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزارانه TKW	تعداد سنبه در متر مربع No. spike m ⁻²	تعداد دانه در سنبه No. spike ⁻¹	نیترژن مصرف (دانه) NUE _G	نیترژن جزئی (دانه) PPG	نیترژن آب (دانه) WUE _G	کارایی مصرف آب (زیست‌توده) WUE ₀	کارایی خاک در تولید دانه CSNG	سهم نیترژن خاک در تولید دانه CSNB	سهم نیترژن خاک در زیست‌توده
سال (V) Year	1	302400000**	160ns	17557908**	88.9*	2669ns	132644**	4210.9**	24529.3**	118666**	504371**	
سال تکثیر Replication	4	19120000	23	12575	7.8	2357	889	38.5	154.1	1032	6653	
آبیاری (I) Irrigation	1	498300000**	4613**	707940*	16.6ns	37145*	55361**	521.6**	2051.3*	2387*	16813ns	
سال-آبیاری Y×I	1	6565000ns	146*	8147ns	167.2ns	3018ns	621ns	35.5ns	159.1ns	40ns	424ns	
خطای A Error A	4	22570000	8	60995	23.2	3302	586ns	7.4	179.5	236	8796	
نیترژن (N) Nitrogen	4	114800000**	11ns	356248**	10.2ns	16270**	118973**	137.3**	836.3**	39943**	186306**	
سال×نیترژن Y×N	4	60720000**	63**	394311**	1.5ns	2304ns	3789*	46.3*	458.8**	7993**	35529**	
آبیاری×نیترژن I×N	4	29350000ns	7468511**	70065ns	7.5ns	4844*	4661**	51.6**	180.6ns	346*	1989*	
نیترژن×آبیاری N×I	4	657500ns	202109ns	12465ns	1.4ns	2038ns	48ns	2.3ns	5.5ns	276*	1060ns	
خطای B Error B	32	11410000	9	69766	6.5	1344	821	12.3	88.1	74	539	
ژنوتیپ (G) Genotype	4	11940000**	4ns	27679ns	7.3ns	874ns	1025**	15.3**	83.5*	449**	1469*	
سال×ژنوتیپ Y×G	4	4535000ns	5ns	15711ns	16.6**	525ns	348ns	6.4ns	34.2ns	368**	3137**	
آبیاری×ژنوتیپ I×G	4	27880000ns	11ns	15853ns	0.1ns	2141**	546*	5.9ns	19.3ns	635**	3744**	
نیترژن×ژنوتیپ N×G	16	3559000ns	4ns	9107ns	4.3ns	424ns	364*	4.0ns	27.6ns	70ns	342ns	
سال×آبیاری×ژنوتیپ Y×I×G	4	1076000ns	5ns	22091ns	3.0ns	1139*	332ns	0.5ns	10.0ns	198ns	1508*	
نیترژن×آبیاری×ژنوتیپ N×I×G	16	3663000ns	3ns	14488ns	5.9ns	435ns	339*	4.3ns	27.6ns	53ns	410ns	
آبیاری×نیترژن×ژنوتیپ I×N×G	16	3063000ns	3ns	5470ns	5.1ns	791*	524**	4.5ns	23.2ns	106ns	439ns	
سال×آبیاری×نیترژن×ژنوتیپ Y×I×N×G	16	3017000ns	7ns	7651ns	4.2ns	562ns	209ns	3.9ns	23.3ns	19ns	148ns	
خطای C Error C	160	2731000	5	12884	4.3	360	185	4.3	19.9	95ns	569ns	
CV (%)		20.9	4.8	18.5	11.4	74.3	20.5	21.5	20.7	23.9	26.6	

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively

* Means those followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% of probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

WUE_G: Water use efficiency (for grain yield); NUE_G: Nitrogen use efficiency (for grain yield); PPG (Partial factor productivity) (for grain yield); CSNG: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield); CSNB: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield); WUE₀: Water use efficiency (for biological yield); NUE₀: Nitrogen use efficiency (for grain yield)

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در سطوح تیمارهای آزمایشی

Table 4- Mean comparison of measured traits in experimental treatments

تیمار Treatment	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	وزن هزارانه TKW (g)	تعداد سنبله در شتر مربع No. spike.m ⁻²	تعداد دانه در سنبله No. grains.spike ⁻¹	(kg kg ⁻¹)			(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)			سهام نیتروژن خاک در تولید دانه CSN _g	سهام نیتروژن خاک در زیست دانه CSN _h
						WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)	WUE _g (دانه)	WUE _h (دانه)	WUE _h (دانه)	WUE _h (دانه)		
سال Year													
2021- 2022- 2023	4736b*	2198b	47.8a	370b	17.5a	33.8a	46.2b	5.9b	12.5b	21.0b	48.7b		
LSD5%	1402	714	1.5	36.0	0.9	15.6	9.6	1.99	3.98	10.3	26.2		
آبیاری Irrigation													
50	6622b	2892b	44.6b	564b	17.9a	22.8b	52.7b	8.3b	18.9b	38.1b	82.2a		
80	9200a	4151a	52.4a	661a	18.4a	38.1a	82.3a	10.9a	24.2a	43.7a	97.1a		
LSD5%	1523	305	0.9	79.2	1.8	18.4	7.8	0.87	4.3	4.9	30.1		
نیتروژن Nitrogen													
0	5447b	2502b	49.2a	493b	17.7a	61.8a	130.1a	6.9b	14.9b	77.5a	169.4a		
30	8651a	3903a	48.6a	600a	17.9a	60.0a	102.6a	10.6a	23.5a	39.7b	85.8b		
60	8322a	3758a	48.5a	609a	18.5a	28.6b	62.6b	10.2a	22.7a	26.2c	57.6c		
90	8616a	3723a	48.2a	670a	18.3a	19.4b	41.4c	10.1a	23.5aa	20.0d	45.8d		
120	8518a	3720a	48.1a	690a	18.7a	14.2b	31.7c	10.2a	23.2a	3.2	8.8		
LSD5%	1256	463	1.1	98.2	1.0	13.9	10.8	1.50	3.49	3.2	8.8		
ژنوتیپ Genotype													
Arrian	8419a	3634a	48.7a	598a	17.7a	32.7a	69.7a	10.0a	22.9a	40.7b	87.7b		
Ghaflan	8020ab	3602a	48.7a	644a	18.3a	31.0a	69.1a	9.8a	21.8ab	40.9b	91.9ab		
G3	8172ab	3667a	48.1a	626a	18.8a	30.6a	70.0a	10.0a	22.3ab	45.3a	97.1a		
G4	7662bc	3483ab	48.7a	600a	18.1a	38.0a	67.4a	9.5ab	20.9bc	39.4b	84.6b		
G5	7281c	3220b	48.5a	594a	18.1a	27.7a	59.8b	8.8b	19.9c	38.1b	86.9b		
LSD5%	596	270	0.8	40.9	0.7	6.9	4.9	0.74	1.61	3.5	8.6		
آبیاری Irrigation (50 mm)													
0	5332a	2485b	46.9b	454a	17.7a	46.7b	103.8b	7.2bc	15.1a	71.1b	153.3b		
30	6956a	3115b	45.0c	507a	17.3a	20.1cd	50.7d	8.9b	19.8a	38.0cd	80.1cd		
60	6977a	3040b	44.2c	609a	18.8a	10.9de	31.2e	8.7bc	20.0a	24.6e	53.8e		
90	6690a	2804b	43.6c	623a	17.8a	10.9de	25.1ef	8.0bc	19.2a	18.5e	41.5e		
120	7155a	3013b	43.4c	626a	18.1a	10.4de	25.1ef	8.6bc	20.5a	14.6a	185.4a		
0	5562a	2519b	51.5a	533a	17.7a	72.4a	156.3a	6.6c	14.6a	27.1a	91.5c		
30	10345a	4690a	52.2a	692a	18.4a	34.2bc	74.6c	12.3a	25.4a	27.8a	61.5de		
60	9668a	4476a	52.8a	609a	18.2a	24.6cd	51.6d	11.8a	25.4a	27.8a	61.5de		
90	10542a	4642a	52.8a	717a	18.6a	17.0de	39.7de	12.2a	25.9a	21.5e	50.2e		
120	9880a	4428a	52.8a	755a	19.2a	17.0de	39.7de	11.8a	25.9a	21.5e	50.2e		
LSD5%	1968	625	1.5	136.8	1.8	22.6	14.7	1.76	5.50	38.1	82.2		

* در ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون چند دامنه‌ای تاکسون در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means with similar letters in each column are not significantly different at P<0.05 based on Duncan's Multiple Range Test.

WUE_g: Water use efficiency (for grain yield)؛ NUSE_g: Nitrogen use efficiency (for grain yield)؛ PFPg (Partial factor productivity (for grain yield)؛ CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield)؛ CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield)؛ WUE_h: Water use efficiency (for biological yield)؛ CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield)؛

CSN_g: Contribution of soil nitrogen efficiency (for grain yield)؛ CSN_h: Contribution of soil nitrogen efficiency (for biological yield)؛ WUE_g: Water use efficiency (for grain yield)؛ WUE_h: Water use efficiency (for biological yield)؛

افزایش تعداد سنبله در واحد سطح مقدور شد و در نهایت نیاز به مصرف بهینه کود نیتروژنی در سطوح مختلف آبیاری تکمیلی از ملزومات اساسی کاهش اثرات تنش رطوبتی و گرمایی بر گیاه به اثبات رسید.

سیاسگزاری

این مقاله مستخرج از پروژه شماره ۷۴۴-۰۰۰۶-۱۵-۱۵-۲ مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم می‌باشد. صمیمانه از مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم و بخش تحقیقات مدیریت منابع در تأمین هزینه‌ها و امکانات مورد نیاز برای اجرای این پروژه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

ارقام آرتان و قافلان و ژنوتیپ شماره ۳ شرایط مطلوبی در پاسخ به هر دو عامل آبیاری تکمیلی و نیتروژن داشتند و توانستند بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک را تولید نمایند. میانگین کودپذیری ارقام برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک به ترتیب ۳۱ و ۷۵ کیلوگرم عملکرد به ازای یک کیلوگرم نیتروژن مصرفی بود. میانگین کارایی مصرف آب برای تولید عملکرد دانه و بیولوژیک برای ارقام به ترتیب ۱۰ و ۲۳ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب (آبیاری تکمیلی + بارندگی) به دست آمد. سهم نیتروژن مصرف‌شده از طریق کود در تولید ارقام و لاین‌های مورد ارزیابی بیشتر از سهم نیتروژن خاک بود و این سهم در شرایط دو مرتبه آبیاری نسبت به یک مرتبه آبیاری ۴۶ درصد افزایش داشت. اثر متقابل آبیاری تکمیلی و نیتروژن در تولید جو از طریق بهبود وضعیت رشد گیاه، کاهش دمای تاج‌پوشش و

References

1. Abourached, C. G., Yau, S. K., Nimah, M. N., & Bashour, I. I. (2008). Deficit irrigation and split N fertilization on wheat and barley yields in a semi-arid Mediterranean area. *The Open Agriculture Journal*, 2, 28-34. <https://doi.org/10.2174/1874331500802010028>
2. Acuña, T. B., Lisson, S., Johnson, P., & Dean, G. (2015). Yield and water-use efficiency of wheat in a highrainfall environment. *Crop and Pasture Science*, 66(5), 419-429. <https://doi.org/10.1071/CP14308>
3. Agami, R. A., Alamri, S. A. M., Abd El-Mageed, T. A., Abousekken, M. S. M., & Hashem, M. (2018). Role of exogenous nitrogen supply in alleviating the deficit irrigation stress in wheat plants. *Agricultural Water Management*, 210, 261-270. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.034>
4. Ahmadi, A., Hosseinpour, T., & Soltani, M. (2014). The effect of plant density on yield and its components in three rain fed barley cultivars. *Applied Field Crops Research*, 27(102), 131-140. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/aj.2014.100939>
5. Ali Ehyaei, M. (1999). Study of soil chemical analysis. Technical Soil and Water Research Institute, 893. (in Persian).
6. Al-Menaie, H., Al-Ragam, O., Al-Shatti, A., Al-Hadidi, M. A., & Babu, M. A. (2024). Optimizing nitrogen fertilization for barley crop at full and deficit irrigation in the arid region. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(3), 517-524. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-823>
7. Anbessa, Y., & Juskiw, P. (2012). Review: Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 617625. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-207>
8. Anonymous. (2022). *Technical guidelines for dryland barley cultivation in different regions of Iran*. Dryland Agricultural Research Institute (DARI). pp. 36.
9. Austin, R. B., Cantero-Martínez, C., Arrúe Ugarte, J. L., Playán Jubillar, E., & Cano-Marcellán, P. (1998). Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *European Journal of Agronomy*, 8(3-4), 239-248. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(97\)00063-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(97)00063-4)
10. Ayneband, A., Asadi, S., & Rahnama, A. (2014). Nitrogen use efficiency assessment under Intra- and inter-specific competitions stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 4(2), 9-21.
11. Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., & Karimian, N. (2015). Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid Mediterranean climate. *Agronomy and Soil Science*, 61, 15-32. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.921286>
12. Bian, C., Ma, C., Liu, X., Gao, C., Liu, Q., Yan, Z., Ren, Y., & Li, Q. (2016). Responses of winter wheat yield and water use efficiency to irrigation frequency and planting pattern. *PLoS ONE* 11(5), e0154673. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108572>
13. Cammarano, D., Ronga, D., Francia, E., Akar, T., Al-Yassin, A., Benbelkacem, A., Grando, S., Romagosa, I., Stanca, A. M., & Pecchioni, N. (2021). Genetic and management effects on barley yield and phenology in the Mediterranean Basin. *Frontiers in Plant Science*, 12, 655406. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.655406>
14. Chukwudi, O., Idochi, O., & Sylvia, I. O. (2019). Effect of sample sizes on the empirical power of some tests of homogeneity of variances. *International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT)*, 65(6), 119-134. <https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V65I6P518>
15. Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, 12, 637108.

- <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108>
16. Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Keatinge, J. D. H., & Brown, S. C. (1987). Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northern Syria 2. Soil Water Dynamics and Crop Water Use. *Field Crops Research*, 16, 67-84. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(87\)90054-2](https://doi.org/10.1016/0378-4290(87)90054-2)
 17. Cossani, C. M., Slaferand, G. A., & Savin, R. (2012). Nitrogen and water use efficiencies of wheat and barley under a Mediterranean environment in Catalonia. *Field Crops Research*, 128, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.001>
 18. Erkan, H., Celik, S., Bilgi, B., & Koxsel, H. (2006). A new approach for the utilization of barley in food products: Barley tarhana. *Food Chemistry*, 97, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.018>
 19. Fanoodi, F., Khazaei, H. R., Kafi, M., & Goldani, M. (2017). Effect of nitrogen application rate on nitrogen use efficiency in barley cultivars in Mashhad and Damghan conditions. *Applied Field Crops Research*, 30(3), 1-13. <https://doi.org/10.22092/aj.2018.110384.1176>
 20. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Pala, M., & Mosavi, S. B. (2009). Determination of micronutrient critical Levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum*. L.) in Northwest of Iran. *International Journal of Soil Science*, 4(1), 14-19. <https://doi.org/10.3923/ijss.2009.14.26>
 21. Feiziasl, V. (2017). Evaluation of dryland barley (*Hordeum vulgare*) genotypes response to the nitrogen rates and application times. *Water and Soil*, 31(2), 490-508. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.v31i2.53350>
 22. Feiziasl, V. (2020). Evaluation of soil fertility status in Northwest of Iran drylands by Nutrient Index Value (NIV). *Water and Soil*, 34(4), 897-919. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.v34i4.84165>
 23. Feiziasl, V. (2022). Assessment of water status and its critical stages in dryland barley genotypes (*Hordeum vulgare*) using Crop Water Stress Index (CWSI). *Water and Soil*, 36(2), 197-213. (in Persian) <https://doi.org/10.22067/jsw.2022.75527.1146>
 24. Feiziasl, V., Fotovat, A., Astaraei, A., Lakzian, A., Mousavi Shalmani, M., & Khorasani, A. (2016). Calibration of soil available nitrogen and water content with grain yield of dry land wheat. *Water and Soil*, 30(5), 1556-1573. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.36954>
 25. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., & Roostaei, M. (2021). Response of dryland winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to nitrogen application under supplemental irrigation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 19(4), 391-406. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.71401.1066>
 26. Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., & Valizadeh, G. R. (2004). Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 11, 23-33. (in Persian). <https://www.magiran.com/p222906>
 27. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Sadeghzadeh, B., & Mousavi Shalmani, M. A. (2022). Water deficit index to evaluate water stress status and drought tolerance of rainfed barley genotypes in cold semi-arid area of Iran. *Agricultural Water Management*, 262(107), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107395>
 28. Fiorani, F., & Schurr, U. (2013). Future scenarios for plant phenotyping. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 267–291. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120137>
 29. Fischbeck, G. (2002). *Contribution of barley to agriculture: A brief overview*. In: G. A. Slafer, et al. eds. Barley Science: Recent Advances from Molecular Biology to Agronomy of Yield and Quality, Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc., pp. 1-14.
 30. Garabet, S., Wood, M., & Ryan, J. (1998). Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean-type climate: I. Growth, water-use and nitrogen accumulation. *Field Crops Research*, 57, 309-18. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00075-6)
 31. Govindasamy, P., Muthusamy, S. K., Bagavathiannan, M., Mowrer, J., Jagannadham, P. T. K., Maity, A., Halli, H. M. G. K. S., Vadivel, R. T. K. D., Raj R., Pooniya, V., Babu, S., Rathore, S. S. L. M., & Tiwari, G. (2023). Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1121073. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1121073>
 32. Harries, M., Flower, K. C., Renton, M., & Anderson, G. (2022). Water use efficiency in Western Australian cropping systems. *Crop and Pasture Science*, 73(10), 1097–1117. <https://doi.org/10.1071/CP21745>
 33. Högy, P., Poll, C., Marhan, S., Kandeler, E., & Fangmeier, A. (2012). Impacts of temperature increase and change in precipitation pattern on crop yield and yield quality of barley. *Food Chemistry*, 136(3-4), 470-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.056>
 34. Ismail, S. B., & Withers, N. J. (1984). The effect of nitrogen management and paddock history on barley growth and yield. *Proceedings Agronomy Society New Zealand*, 14, 23–30.
 35. Jia-Zhou, C., Li-Rong, L., Guo L., & Shuang, W. (2010). Effects of nitrogen fertilization on crop water stress index of summer maize in red soil. *Journal Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 16(5), 1114-1119. <https://doi.org/10.11674/zwf.2010.0511>
 36. Katerji, N., Mastrorilli, M., & Rana, G. (2008). Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28, 493–507.

- <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.12.003>
37. Kemanian, A. R., Stöckle, C. O., & Huggins, D. R. (2005). Transpiration-use efficiency of barley. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.01.003>
38. Khan, M. I. R., Nazir, F., Maheshwari, C., Chopra, P., Chhillar, H., & Sreenivasulu, N. (2023). Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *Plant Genome*, 16, e20362. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>
39. Koocheki, A. (2017). Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran. *Journal of Agroecology*, 9(2), 360-378. <https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.29287>
40. Lauer, J. G., & Partridge, J. R. (1990). Planting date and nitrogen rate effects on spring malting barley. *Agronomy Journal*, 82, 1083- 1088. <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200060011x>
41. Matar, A. E., Jabbour, E., & El-Hajj, K. (1987). Prediction of barley response to fertilizers by means of soil nitrogen and phosphorus tests. In Proceedings of Workshop, Soil Test Calibration in West Asia and North Africa, 12-23. A. E. Matar, P. N. Soltanpour, and A. Chouinard, eds. Ankara, Turkey, 1-6 Sept. 1987. ICARDA, Aleppo, Syria.
42. McKenzie, R. M., & Jackson, G. (2005). Barley production in semiarid regions—making the malting grade. *Better Crops*, 89(4), 10-12.
43. Meijer, A. D. (2004). *Characterizing a crop water stress index for predicting yield in corn*. A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science. Crop Science. pp. 141.
44. Mokhtari, F., Esfarjani, F., & Kargar Fard, M. (2014). The effect of combined aerobic exercise and barley β -glucan on lipid profile and glucose blood of women with diabet type two. *Iranian Journal of Diabetes and Metabolism*, 13(4), 340-351. (in Persian). <http://ijld.tums.ac.ir/article-1-5218-en.html>
45. Muurinen, S., Kleemola, J., & Peltonen-Sainio, P. (2007). Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 99, 441-9. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0107>
46. Naghdizadegan Jahromi, M., Razzaghi, F., & Zand-Parsa, S. (2023). Strategies to increase barley production and water use efficiency by combining deficit irrigation and nitrogen fertilizer. *Irrigation Science*, 41, 261-275.
47. Nehe, A. S., Misra, S., Murchie, E. H., Chinnathambi, K., Singh, Tyagi, B., & Foulkes, M. J. (2020). Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and protein concentration in Indian wheat cultivars. *Field Crops Research*, 251, 107778. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107778>
48. Nielsen, D. C., & Halvorson, A. D. (1991). Nitrogen fertility influence on wheat stress and yield of winter wheat. *Agronomy Journal*, 83, 1065-1070. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300060025x>
49. Radaei Alamoli, Z., Jahansooz, M. R., Bagher Hosseini, S. M., & Soufizadeh, S. (2020). Evaluation the growth characteristics, yield and yield components of wheat and barley under water and nitrogen stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(2), 87-104. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.264529.654518>
50. Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 91, 357363. <https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100030001x>
51. Ru, C., Hu, X., Chen, D., Song, T., Wang, W., Lv, M., & Hansen, N. C. (2022). Nitrogen modulates the effects of short-term heat, drought and combined stresses after anthesis on photosynthesis, nitrogen metabolism, yield, and water and nitrogen use efficiency of wheat. *Water*, 14(9), 1407. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10650-0>
52. Ryan, J., Abdel Monem, M., & Amri, A. (2009). Nitrogen fertilizer response of some barley varieties in semi-arid conditions in Morocco. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11, 227-236. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-8971-en.html>
53. Sadras, V. O., & McDonald, G. (2012). *Water use efficiency of grain crops in Australia: principles, benchmarks and management*. Canberra: Grains Research and Development Corporation. 27 pp.
54. Singh, K. P., & Kumar, V. (1981). Water use and water-use efficiency of wheat and barley in relation to seeding dates, levels of irrigation and nitrogen fertilization, *Agricultural Water Management, Elsevier*, 3(4), 305-316. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(81\)90014-7](https://doi.org/10.1016/0378-3774(81)90014-7)
55. Sylvester-Bradley, R., & Kindred, D. R. (2009). Analyzing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency, *Journal of Experimental Botany*, 60, 1939 -1951. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp116>
56. Udvardi, M., Brodie, E. L., Riley, W., Kaeppler, S., & Lynch, J. (2015). Impacts of agricultural nitrogen on the environment and strategies to reduce these impacts. *Procedia Environmental Science*, 29, 303. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.275>
57. Valenzuela, H., & Smith, J. (2002). *Green manure crops: Barley*. Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa, Honolulu. pp. 3.
58. Wang, H., Inukai, Y., & Yamauchi, A. (2006). Root development and nutrient uptake. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25, 279-301. <https://doi.org/10.1080/07352680600709917>