Vol 13, No. 4, Winter 2024

University of Tehran Press

Journal of Water and Irrigation Management Online ISSN: 2382-9931

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

Investigating the Interaction of Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Levels on The Yield of Forage Corn in Khorramabad

Mobina Ahmadi Moradi[1] | Mehri Saeidinia[2]✉ | Ali Heidar Nasrolahi[3] | Majid Sharifipour[4]

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: mobinaa_ahmadi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: saeedinia.m@lu.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: nasrolahi.a@lu.ac.ir
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. E-mail: sharifipour.mAlu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 15 May 2023
Received in revised form
28 August 2023
Accepted 30 August 2023
Published online 17 January 2024

Keywords:
Deficit Irrigation
Forage Corn
Irrigation Water Productivity
Nitrogen Fertilizer

ABSTRACT

This research was conducted in order to investigate the interaction of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on the yield of Forage Corn in Khorramabad. The experiment was conducted as factorial in a randomized complete block design with three replications. The first factor consisted of four irrigation levels including I125 (125 Percent of water requirement), I100 (100 Percent of water requirement), I75 (75 Percent of water requirement), and I50 (50 Percent of water requirement) and the second factor consisted of three levels of nitrogen fertilizer including N400 (400 Kg/ha), N250 (250 Kg/ha), and N100 (100 Kg/ha). Based on the evaporation pan method, the total irrigation requirement for treatments I125, I100, I75 and I50 during the period were 761, 642, 524 and 406 mm, respectively, which were more than the amount of water requirement reported in the national water requirement document of plants.The result showed that the maximum amount of wet and dry matters, plant height, leaf area index which were 80 and 21.2 tons per hectare, 9595 mm^2 and 220 cm, respectively, were obtained in I125N400 treatment, which had a significant increase (5 Percent) compared to the control treatment (I100N250). The minimum amount of these traits which were 30 and 10.64 tons per hectare, 7096.133 mm2 and 100 cm, respectively, were obtained in I50N400 treatment, which had a significant decrease (5 Percent) compared to the control treatment (I100N250). It was found from the results of this research that at the levels of I_{125} and I_{100}, the values of wet matter and leaf area index were increased as the amount of nitrogen fertilizer increased. At irrigation levels of 75 Percent and 50 Percent of water requirement, increasing the amount of fertilizer did not cause significant changes in the measured traits. In this research, the maximum value of water productivity for wet and dry matters was obtained in $I_{100}N_{400}$ treatment with values of 10.9 and 2.91 kg/m3, respectively.

Cite this article: Ahmadi Moradi, M., Saeidinia, M., Nasrolahi, A. H., & Sharifipour, M. (2024). Investigating the Interaction of Different Irrigation and Nitrogen Fertilizer Levels on The Yield of Forage Corn in Khorramabad. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (4), 1019-1034. DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359093.1075

© The Author(s).
Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359093.1075

دوره سیزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

انتشارات دانشگاه تهران

مدیریت آب و آبیاری

شاپا الکترونیکی: ۹۹۳۱-۲۳۸۲

Homepage: https://jwim.ut.ac.ir/

ارزیابی برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در خرم‌آباد

مبینا احمدی مرادی[۱] | مهری سعیدی‌نیا[۲]✉ | علی حیدر نصرالهی[۳] | مجید شریفی‌پور[۴]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: mobinaa_ahmadi@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: saeedinia.m@lu.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: nasrolahi.a@lu.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: sharifipour.m@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۷

کلیدواژه‌ها:

بهره‌وری آب آبیاری

ذرت علوفه‌ای

کم‌آبیاری

کود نیتروژن

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در شهرستان خرم‌آباد انجام گرفت. طرح آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با احتساب اولین فاکتور شامل چهار سطح ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی (I_{125}، I_{100}، I_{75} و I_{50}) و دومین فاکتور شامل سه سطح کود نیتروژن ۱۰۰، ۲۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (N_{100}، N_{250} و N_{400}) در سه تکرار اجرا گردید. براساس روش تشت تبخیر، مجموع عمق آب آبیاری برای تیمارهای I_{125}، I_{100}، I_{75} و I_{50} در طول دوره به‌ترتیب ۷۶۱، ۶۴۲، ۵۲۴ و ۴۰۶ میلی‌متر برآورد گردید که بیش‌تر از میزان نیاز آبی گزارش‌شده در سند ملی نیاز آبی گیاهان می‌باشد. نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان عملکرد ماده تر و خشک، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه، در تیمار $I_{125}N_{400}$ ،به‌ترتیب با مقادیر ۸۰ و ۲۱/۲ تن در هکتار، ۹۵۹۵ میلی‌متر مربع و۲۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ($I_{100}N_{250}$) در سطح معنی‌داری پنج درصد، افزایش داشتند. کم‌ترین مقدار این صفات به‌ترتیب برابر ۳۰ و ۱۰/۶۴ تن در هکتار، ۷۰۹۶/۱۳۳ میلی‌مترمربع، ۱۰۰ سانتی‌متر در تیمار $I_{50}N_{400}$ به‌دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ($I_{100}N_{250}$) در سطح معنی‌داری ۵ درصد، کاهش را نشان دادند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، در سطوح آبیاری ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد، افزایش میزان کود مصرفی نسبت به تیمار شاهد، باعث افزایش معنی‌دار (سطح ۵ درصد) عملکرد تر و شاخص سطح برگ گردید. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش میزان کود باعث تغییرات معنی‌داری در صفات اندازه‌گیری نشدند. در این پژوهش، بیش‌ترین میزان بهره‌وری آب برای ماده تر و خشک در تیمار $I_{100}N_{400}$، به‌ترتیب ۱۰/۹ و ۲/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد.

استناد: احمدی مرادی، مبینا؛ سعیدی‌نیا، مهری؛ نصرالهی، علی حیدر و شریفی‌پور، مجید (۱۴۰۲). ارزیابی برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه‌ای در خرم‌آباد. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۴)، ۱۰۳۴-۱۰۱۹.

DOI: https://doi.org/10.22059/jwim.2023.359093.1075

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر بسیاری از کشورهای جهان با مشکل آب و رقابت شدید در مصرف منابع آبی در بخش صنعت، شهری–خانگی و کشاورزی مواجه شده‌اند. با توجه به این‌که کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرارگرفته است، مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی که مهم‌ترین مصرف‌کننده منابع آبی است، ضرورت دارد (Shahrokhnia, 2012). استفاده مطلوب و بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی، از دیدگاه‌های مختلف موردتوجه قرار گرفته است. علاوه بر کمبود آب، کمبود نیتروژن موردنیاز نیز می‌تواند یکی از عوامل مهم برای کاهش رشد و عملکرد محصولات باشد. میزان نیتروژن بر روی نحوه توزیع مواد فتوسنتزی بین اندام های رویشی و زایشی مؤثر می‌باشد. لذا مدیریت آبیاری با هدف افزایش بهره‌وری مصرف آب و کود نیتروژن، همواره موردتوجه بوده است (Kiani, 2011). کاهش عملکرد و کیفیت گیاه تحت تأثیر تنش آبی و یا کمبود نیتروژن در گزارش‌های زیادی ارائه شده است (Salvagiotti *et al*., 2009). مدیریت صحیح نیتروژن تحت مقدار آب کاربردی، نقش مهمی در افزایش بهره‌وری دارد (Amerian *et al*., 2021). کم‌آبیاری به‌عنوان یک راه‌کار مدیریتی در شرایط کمبود آب روشی مناسب برای تولید بهینه محصولات در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. هرچند شرایط کم‌آبیاری با کاهش محصول در واحد سطح همراه است، اما در صورت بالا بردن میزان کم‌آبیاری می‌توان سطح زیر کشت را گسترش داد (Sepaskhah *et al*., 2011). ذرت یکی از منابع غذایی مهم در جهان می‌باشد که همراه با برنج و گندم، حداقل ۳۰ درصد از نیاز غذایی بیش از۴/۵ میلیارد نفر از جمعیت کشورهای در حال توسعه را تأمین می‌کند. هم‌چنین، ذرت به‌دلیل کاربرد چندگانه آن برای خوراک انسان، تغذیه دام، مصارف دارویی و کارخانه‌های صنعتی موردتوجه قرار گرفته است (Shiferaw *et al*., 2011). از نظر سازگاری با شرایط آب‌وهوایی، ذرت یکی از گیاهان زراعی خانواده غلات است که سطح زیر کشت آن در اکثر نقاط جهان و ازجمله ایران، رو به افزایش است (Samadvand *et al*., 2013). در زمینه مطالعه اثر متقابل سطوح مختلف آب و کود نیتروژن برای گیاهان مختلف از جمله ذرت، پژوهش‌های گوناگونی توسط پژوهش‌گران انجام گرفته است. Pourebrahimi *et al*. (2016) به بررسی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر عملکرد و ویژگی‌های هیبریدهای مختلف ذرت در اصفهان و زابل پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد، با توجه به مقایسه میانگین‌ها، با افزایش سطوح نیتروژن از ۸۰ تا ۲۴۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، طول بلال، ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن هزاردانه، شاخص کلروفیل برگ، پروتئین دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت، درحالی‌که میزان کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت. Amiri (2017) به بررسی تأثیر دور آبیاری (دیم، شش روز و ۱۲ روز) و مقادیر کود نیتروژن (صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم بر هکتار) بر برخی از شاخص‌های رشد و عملکرد ذرت در منطقه لاهیجان پرداخت. نتایج نشان داد که عدم استفاده از آبیاری و کود نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار تجمع ماده خشک کل، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه گردید. نتایج نشان داد که مناسب ترین مدیریت آبیاری و کود نیتروژن در دور آبیاری ۱۲ روز و مصرف ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن می‌باشد. Tabatabaee *et al*. (2017) به بررسی اثر متقابل آب و نیتروژن بر عملکرد و کارآیی مصرف آب آبیاری ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای–نواری پرداختند. نتایج نشان داد روش آبیاری قطره‌ای–نواری از طریق افزایش راندمان آبیاری و کاهش تبخیر از سطح خاک سبب صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش میزان محصول تولیدی ذرت می‌شود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیوماس گیاهی برابر ۹۷۲/۲ کیلوگرم در مترمربع در تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) به‌دست آمد و بین تیمارها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت و تنها کاهش ۱۱/۰۱ درصدی نسبت به یکدیگر مشاهده گردید. Chachar *et al*. (2020) بر روی گیاه ذرت علوفه‌ای، Djaman *et al*. (2018) بر روی گیاه ذرت، Sampathkumar *et al*. (2013) بر روی گیاه‌های ذرت و کتان در هند، Gheysari *et al*. (2017) بر روی گیاه ذرت در مناطق خشک ایران، Fang *et al*. (2020) و Wang *et al*. (2019) بر روی ذرت در چین، Heidarpour *et al*. (2014) بر روی ذرت و چغندرقند و کنجد، مطالعات مختلفی در مورد اثرات تیمارهای مختلف آب و کود انجام داده‌اند و در نهایت نتایج مربوط به مدیریت‌های مختلف در

هر منطقه را ارئه کرده‌اند. بررسی مطالعات پژوهش‌گران مختلف در سراسر دنیا نشان می‌دهد که تا به حال مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری آب محصولات مختلف از جمله ذرت علوفه‌ای صورت گرفته است. ازآنجایی‌که واکنش این محصول‌ها به مدیریت‌های مختلف آبیاری و کودی در شرایط مختلف اقلیمی متفاوت است و با توجه به سطح زیر کشت بالای ذرت در استان لرستان که شامل ۲۴۳۳ هکتار می‌باشد (Agricultural statistics, 2018) بررسی مدیریت صحیح مصرف آب روی عملکرد ذرت در منطقه به‌منظور افزایش عملکرد و نیز بهبود بهره‌وری آب ضروری به‌نظر می‌رسد. لذا پژوهش حاضر به بررسی ارزیابی برهم‌کنش سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای پرداخته است.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه لرستان واقع در شهرستان خرم‌آباد با ارتفاع ۱۱۴۸ متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی طول ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی انجام شد. این منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است.

Table 1. Monthly average of meteorological parameters of the region during the growth period

Meteorological parameters	July	August	September	October
Maximum temperature (Celsius)	40.39	41.21	37.62	31.86
Minimum temperature (Celsius)	19.6	21.63	16.85	13.87
Rainfall (mm)	0	0	0	0.42
Maximum relative humidity (percentage)	37	33	31	47
Minimum relative humidity (percentage)	11	11	9	14
Wind speed (m/s)	5.42	5.94	5.71	86.36

برای تعیین خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی در ابتدای کار و قبل از کشت از نقاط مختلف مزرعه، با الگویی به شکل W، از اعماق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر نمونه‌های جداگانه‌ای به وزن تقریبی یک کیلوگرم جهت آنالیز جمع‌آوری گردید. آزمون خاک که شامل اندازه‌گیری عناصر پر مصرف (N، P و K) و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بود در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی، انجام و خصوصیات مختلف خاک مزرعه تحقیقاتی به‌دست آمد. نتایج آنالیز در جدول (۲) ارائه شده است.

Table 2. Physical and chemical properties of the soil

Soil depth	Soil texture	FC (volume %)	PWP (volume %)	ρ_b (gr/cm^3)	N% (ppm)	P% (ppm)	K% (ppm)	OC %	EC (ds/m)	PH
0-30	Loam - Clay	25.6	14.5	1.12	0.09	24	545	0.97	0.95	7.52
30-60	Loam - Clay	26	14.4	1.13	0.08	13	295	0.78	0.64	7.71

آب موردنیاز طرح آزمایشی، از چاه واقع در مزرعه دانشکده کشاورزی، تأمین گردید. آب پس از ذخیره در استخر از طریق سیستم لوله‌کشی به مزرعه تحقیقاتی ذرت انتقال پیدا می کرد، براساس آنالیز انجام‌شده، کیفیت آب در حد مطلوب بوده و هیچ‌گونه محدودیتی برای استفاده در این پژوهش نداشت. برخی از خصوصیات کیفی آن به‌صورت جدول (۳) می‌باشد.

Table 3. Qualitative characteristics of irrigation water used in the research field

SAR	Na^+ (meq/l)	Mg^{2+} (meq/l)	Ca^{2+} (meq/l)	TDS (meq/l)	EC (ds/m)	PH
0.73	1.28	1.6	4.6	397	0.6	7

در این پژوهش دور آبیاری به‌طور متوسط هفت روز (دور آبیاری رایج در منطقه) در نظر گرفته شد. برای تعیین عمق آبیاری نیز از تشت تبخیر کلاس A تعبیه‌شده در مزرعه استفاده شد (شکل ۱).

Figure 1. A view of the evaporation pan installed in the field

برای تعیین عمق آب آبیاری با استفاده از تشت تبخیر ابتدا تبخیر–تعرق گیاه مرجع با توجه به مقدار تبخیر از تشت و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$ET_0 = K_p \times E_p$$ رابطه ۱)

که در آن، ET_0: تبخیر–تعرق مرجع برحسب میلی‌متر در روز، K_P: ضریب تشت تبخیر که ۰/۸ در نظر گرفته شد (Alizadeh, 2004) و E_P: میزان تبخیر از تشت تبخیر برحسب میلی‌متر در روز که روزانه با توجه به مقدار آب تبخیری از تشت و در ساعت هفت صبح قرائت می‌شد. پس از محاسبه تبخیر–تعرق مرجع از رابطه بالا و با استفاده از ضرایب گیاهی ذرت طبق نشریه ۵۶ فائو که در جدول (۴) ارائه شده تبخیر و تعرق گیاه ذرت از طریق رابطه (۲) محاسبه گردید.

$$ET_c = K_c \times ET_0$$ رابطه ۲)

که در این رابطه، ET_C: تبخیر–تعرق گیاه ذرت برحسب میلی‌متر در روز و K_C: ضریب گیاهی ذرت در مراحل مختلف رشد می‌باشد. Afrasiab *et al.* (2016)، با درنظرگرفتن ضریب ۰/۸ به‌عنوان ضریب تشت تبخیر، میزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای در منطقه اسلام آباد غرب را محاسبه کردند. Alizadeh and Abbasi (2017) برای کشت ذرت ذر منطقه کرج، ضریب تشت تبخیر را ۰/۶۷ در نظر گرفتند.

پس از محاسبه عمق خالص آبیاری که با توجه به نبود بارندگی معادل تبخیر– تعرق گیاه در نظر گرفته شد و با توجه به اعمال راندمان ۹۵ درصد آبیاری (برای درنظرگرفتن پرت ناگهانی آب در جویچه‌ها)، عمق ناخالص و در نهایت حجم آب آبیاری برای تیمارهای مختلف با استفاده از روابط (۳) و (۴) به‌دست آمد.

$$D_g = \frac{d_n}{E_a}$$ رابطه ۳)

$$V = dg \times A \times f$$ رابطه ۴)

با توجه به راندمان آبیاری (E_a) ۹۵ درصد و با درنظرگرفتن پنج درصد تلفات براساس رابطه (۳) محاسبه گردید. در نهایت حجم آب آبیاری براساس رابطه (۴) تعیین گردید که در این رابطه، dg: عمق ناخالص آبیاری (mm)، V: حجم آب آبیاری (lit)، A: سطح هر کرت (m^2) می‌باشد و f: ضریب مربوط به هر تیمار که به‌ترتیب برای تیمارهای I_{125}، I_{100}، I_{75} و I_{50} برابر ۱/۲۵، ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵۰ در نظر گرفته شد.

Table 4. Plant coefficients of the Maize in different stages of the growth

Growth stage	Initial stage	Middle stage	Final stage
K_C	0.35	1.2	0.68

در طول دوره رشد ۱۳ نوبت آبیاری انجام شد که آبیاری تا زمان چهار الی شش برگی‌شدن بوته‌ها برای تمام تیمارها ثابت و یکسان در نظر گرفته شد و پس از آن تیمارهای مختلف اعمال گردید. در مجموع در طول دوره رشد ذرت علوفه‌ای تعداد ۱۳ نوبت آبیاری صورت گرفت و تیمارهای آزمایشی حدود یک ماه پس از کاشت هم‌زمانی که بوته‌های ذرت چهار تا شش برگی شدند، اعمال گردیدند. مقادیر عمق آبیاری برای رژیم‌های مختلف آبیاری در شکل (۲) آورده شده و بر این اساس مجموع عمق آبیاری برای تیمارهای I_{125}، I_{100}، I_{75} و I_{50} در طول دوره به‌ترتیب ۷۶۱، ۶۴۲، ۵۲۴ و ۴۰۶ میلی‌متر برآورد گردید. Ahmadvand *et al.* (2021) در منطقه خرم‌آباد میزان نیاز خالص آبیاری را ۵۸۲ میلی‌متر، به‌دست آوردند. قابل ذکر است طبق سند ملی آب ایران، میزان نیاز خالص آبیاری برای ذرت علوفه‌ای ۴۸۵ میلی‌متر حساب شده است. به‌نظر می‌رسد علت تفاوت به تغییرات آب‌وهوایی ویا تفاوت در روش محاسبات باشد. Lalvand *et al.* (2011) گزارش کردند که میزان نیاز آبی در سند ملی تیاز آبی گیاهان، کم‌تر از نیاز واقعی گیاه برآورد شده است.

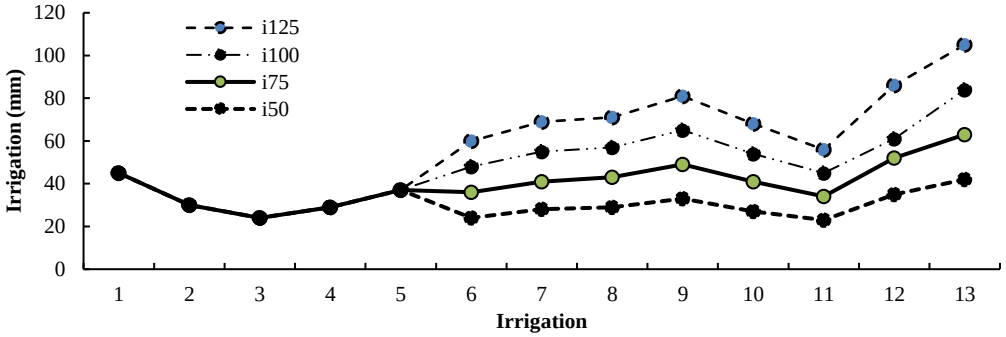

Figure 2. Irrigation values for different irrigation levels

میزان کود موردنیاز در هر دوره پس از اندازه‌گیری به خاک مزرعه اضافه شد. کوددهی قبل از آبیاری و قبل از گرم‌شدن هوا صورت گرفت، که کود داخل آب به‌صورت کامل حل شود. تیمارهای کود نیترات شامل تیمار کودی (N_1) که ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، تیمار کودی شاهد (N_2) که کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار کودی (N_3) که کاربرد ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار در مراحل مختلف رشد گیاه تزریق می‌شود. در جدول (۵) برنامه‌ریزی توزیع کود نیترات برای گیاه ذرت ارائه شده است.

Table 5. Water and fertilizer treatments applied in the research

Treatment	Nitrate fertilizer (kg ha^{-1})	1/25 ETc	ETc	0/75 ETc	0/5 ETc
N100	100	I125N100	I100N100	I75N100	I50N100
N250	250	I125N250	I100N250	I75N250	I50N250
N400	400	I125N400	I100N400	I75N400	I50N400

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار سطح آب و سه سطح کود بر روی ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در تاریخ ۱۵ تیرماه ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای مدیریت آبیاری شامل تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی (I_{125})، تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_{100})، تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی (I_{75}) و تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی (I_{50}) بودند. هر تیمار در سه تکرار به‌صورت تصادفی در بلوک‌های آزمایشی قرار گرفت. تیمارهای مدیریت کود شامل تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (N_{100})، تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (N_{250}) و تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار (N_{400}) در سه تکرار قرار گرفت و در مجموع ۳۶ کرت آزمایشی تهیه شد.

I125N100	I100N250	I75N400	I50N100	I125N250	I100N400
I75N100	I50N250	I125N400	I100N100	I75N250	I50N400
I125N100	I100N250	I75N400	I50N100	I125N250	I100N400
I75N100	I50N250	I125N400	I100N100	I75N250	I50N400
I125N100	I100N250	I75N400	I50N100	I125N250	I100N400
I75N100	I50N250	I125N100400	I100N100	I75N250	I50N400

Figure 3. Schematic of the experimental design

هر کرت آزمایش به عرض سه متر مربع با پنج جویچه انتها بسته ایجاد شد. عملیات کاشت ذرت در تاریخ ۱۵ تیرماه به‌صورت دستی انجام شد. برای این منظور ابتدا به‌منظور عملیات تسطیح و ایجاد جویچه‌ها، عملیات شخم، دیسک و ماله‌کشی انجام و سپس کرت‌های آزمایشی ایجاد گردید. به‌منظور کنترل اثرات تیمارهای آزمایشی روی یکدیگر فاصله کرت‌های آزمایشی نیز ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. آبیاری مزرعه به روش آبیاری سطحی با سیستم لوله و کنتور انجام شد. در مجموع در طول دوره رشد تعداد ۱۳ آبیاری انجام شد. در این پژوهش دور آبیاری ثابت و به‌طور متوسط هفت روز (دور آبیاری رایج در منطقه) در نظر گرفته شد. در پایان دوره رشد و زمان برداشت محصول برخی از صفات ظاهری گیاه ذرت در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری از هر تیمار در مرحله‌ی رسیدگی کامل انجام شد. به این ترتیب که با حذف خطوط کاشت اطراف هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، از وسط کرت و از خطوط کاشت داخلی برداشت انجام شد.

در این پژوهش، برای ارزیابی اثر تیمارهای مختلف روی بهره‌وری آب شاخص‌های بهره‌وری آب به‌صورت زیر محاسبه گردید:

$$WP_I = Y/I \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در نهایت بهره‌وری آب (WP) برحسب کیلوگرم بر مترمکعب از تقسیم عملکرد (Y) برحسب کیلوگرم در هکتار بر حجم آبیاری (I) برحسب مترمکعب از هکتار برای هر تیمار محاسبه شد.

۳. نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن روی عملکرد ذرت علوفه‌ای (کیلوگرم) و اثرات متقابل آن‌ها، آنالیز تجزیه واریانس صورت گرفت (جدول ۶). نتایج نشان داد اثر متقابل سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ماده تر و خشک نیز در سطح یک درصد معنی‌دار شد. در این پژوهش، مقایسه میانگین عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

Table 6. Variance analysis of the irrigation and nitrogen fertilizer effects on the yield

Sources of changes	Average of squares		
	df	Wet yield	Biological yield
Irrigation	3	2204.1**	128.21**
Nitrogen fertilizer	2	550.3**	6.00**
Nitrogen fertilizer ×irrigation	6	128.2**	4.29**
Error	22	4.4	1.02
Coefficient of variation (%)	-	4.28	6.48

* و ** به‌ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.
ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

۳. ۱. عملکرد تر

اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ماده تر در شکل (۴) ارائه شده است. همان‌طورکه شکل (۴) نشان می‌دهد، بیش‌ترین مقدار عملکرد ماده تر برابر ۸۰ تن در هکتار به‌دست آمد که در سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۲۵ درصد آبیاری کامل مشاهده گردید. Kiani *et al.* (2016) و Tabatabaee *et al.* (2017) گزارش کردند که حداکثر عملکرد در تیمارهای آبیاری کامل و پر آبیاری مشاهده شده است. در این پژوهش، کم‌ترین عملکرد ماده تر در سطح کودی۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و سطح آبیاری ۵۰ درصد به مقدار ۳۰ تن در هکتار مشاهده شد. در سطوح آبیاری ۱۲۵ درصد آبیاری، عملکرد تر در سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار، یعنی تیمار I125N400 (۸۰ تن در هکتار) نسبت به سطح کودی ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، یعنی تیمار I125N250 (۵۹/۲ تن در هکتار) به میزان ۲۶ درصد و نسبت به تیمار $I_{125}N_{100}$ به میزان ۳۱/۹ درصد به‌صورت معنی‌داری (سطح ۵ درصد) افزایش یافته است. در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد آبیاری، نیز این شرایط برقرار است، به گونه‌ای که میزان عملکرد تر در تیمار $I_{100}N_{400}$ (۷۰ تن در هکتار) نسبت به تیمار $I_{100}N_{250}$ (۵۲/۸۵ تن در هکتار) و تیمار $I_{100}N_{100}$ (۵۲/۸۳ تن در هکتار) به میزان ۲۴/۵ درصد و به‌صورت معنی‌داری (سطح ۵ درصد) افزایش یافته است. این روند تغییرات با یافته‌های Ghobadian *et al.* (2013) همخوانی دارد. این پژوهش‌گران گزارش کردند که افزایش هم‌زمان آب و کود نیتروژن سبب افزایش عملکرد گیاه ذرت در منطقه کرمانشاه شده است.

در سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری نتایج متفاوتی مشاهده گردید. در سطح آبیاری ۷۵ درصد، تفاوت بین عملکرد در سطوح کودی ۴۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نشد. میزان عملکرد تر در سطح کودی ۴۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب به میزان ۲۲/۸ و ۱۷/۸ درصد به‌صورت معنی‌داری افزایش داشت. در سطح آبیاری ۵۰ درصد، تفاوت میزان عملکرد تر در سطوح کودی ۴۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود و مقادیر عملکرد تر در این سطوح کودی نسبت به سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب به میزان ۵ و ۳/۵ درصد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد که علت تفاوت نتایج به اثرات متقابل میزان آب آبیاری و میزان کود مصرفی دارد. در سطوح آبیاری بالا یعنی ۱۰۰ و ۱۲۵ که نیاز آبی گیاه فراهم شده است. افزایش کود باعث افزایش میزان عملکرد تر شده است. به گونه‌ای که عملکرد تر حتی در سطح آبیاری ۱۲۵ درصد و کود ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار ($I_{125}N_{400}$) به‌صورت معنی‌داری (سطح ۵ درصد) بیش‌تر از میزان عملکرد در همان سطح کودی و نیاز آبی ۱۰۰ ($I_{100}N_{400}$) درصد می‌باشد. به‌عبارت دیگر، با تأمین نیاز آبی گیاه می‌توان از محدودشدن جذب نیتروژن توسط گیاه جلوگیری کرد و در نتیجه آن عملکرد بیش‌تری داشت. اما در سطوح پایین آب آبیاری، نتایج متفاوتی به‌دست آمد. در تمام سطوح کودی، عملکرد تر در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمارهای ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، در سطح ۵ درصد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد در سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد، کود نیتروژن به دلایل احتمالی مانند عدم وجد رطوبت کافی، به‌صورت کامل در اختیار گیاه قرار نگرفته باشد و درنتیجه اثر مثبتی روی رشد گیاه نداشته باشد. علاوه بر این، در این حالت، وجود کود، خود ممکن است باعث افزایش میزان تنش نیز گردد.

در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش کود باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد تر نگردید، به گونه‌ای که در هر کدام از سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، تفاوت عملکرد تر در تیمارهای مختلف کودی معنی‌دار نگردید. هرچند که در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد تر در تیمار حاوی کود ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار نسبت به تیمار ۱۰۰ گیلوگرم بر هکتار ۵ درصد کاهش را نشان داد.

در پژوهش‌های انجام‌شده توسط پژوهش‌گرانی مانند Ghobadian *et al.* (2013) نتایج نشان داده است که افزایش کود نیتروژنی در شرایط تنش آبی، سبب کاهش عملکرد می‌گردد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. Sadroldini *et al.*

(2019) نیز در پژوهشی نتیجه گرفتند عملکرد تر تحت تأثیر تیمار مدیریت آبیاری می‌باشد و با افزایش تنش، میزان عملکرد تر نیز کاهش پیدا می‌کند.

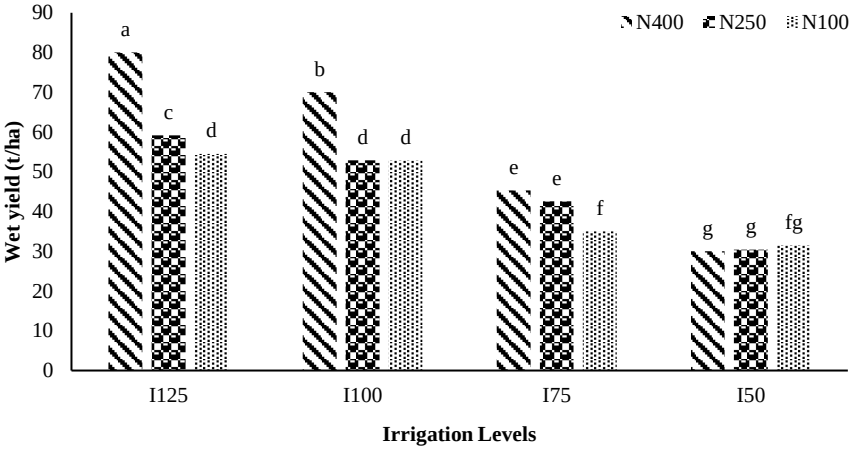

Figure 4. Effects of the irrigation and nitrogen fertilizer on the Wet yield (ton/ha)

۳. ۲. عملکرد خشک

اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد ماده خشک در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طورکه شکل (۵) نشان می‌دهد، روند تغییر اثرات کود و آبیاری بر میزان عملکرد خشک ذرت، تا حدودی مشابه عملکرد تر می‌باشد. در تمام سطوح کودی، عملکرد خشک در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمارهای ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، درسطح پنج درصد کاهش یافت.

همان‌طورکه در شکل (۵) نشان داده شده، در سطح آبیاری ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تفاوت عملکرد بین تیمار حاوی ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار کود با تیمار حاوی ۲۵۰ کیلوگرم کود، معنی‌دار نشد، اما تفاوت بین عملکرد خشک تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید.

در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش کود باعث افزایش معنی‌داری در عملکرد خشک نیز نگردید، به گونه‌ای که در هر کدام از سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، تفاوت عملکرد خشک در تیمارهای مختلف کودی معنی‌دار نگردید. هرچند که در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان عملکرد خشک در تیمار حاوی کود ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار نسبت به تیمار ۱۰۰ گیلوگرم بر هکتار حدود ۱۴ درصد کاهش را نشان داد. زیرا همان‌طورکه تشریح گردید، افزایش کود در صورت وجود آب کافی باعث افزایش عملکرد می‌شود، در غیر این‌صورت خود عاملی برای افزایش تنش می‌باشد. با این تفاسیر بیش‌ترین میزان عملکرد خشک در تیمار $I_{125}N_{400}$ (۲۱/۲ تن در هکتار) و کم‌ترین میزان عملکرد خشک در تیمار $I_{40}N_{400}$ (۱۰/۶۴ تن در هکتار) مشاهده گردید.

در پژوهش‌های مختلف، رابطه بین میزان عملکرد با آب مصرفی و مقدار نیتروژن به اشکال مختلف گزارش شده است. به‌عنوان مثال، Rajabi *et al.* (2007) این رابطه را خطی گزارش دادند. Heydarpour *et al.* (2014) بیان کردند که استفاده از سطح بهینه آب و کود نیتروژن موجب افزایش کارایی مصرف آب و بهره‌وری می‌گردد. Ramezani Moghadam *et al.* (2017) و Yaseen *et al.* (2014) در پژوهشی در مورد عملکرد گیاه ذرت گزارش دادند بیش‌ترین ماده خشک مشاهده‌شده مربوط به تیمار آبیاری کامل و بیش‌تر از از تیمار کم‌آبیاری بود. هم‌چنین مطالعه Azizian and

Sepaskhah (2014) نشان داد مقدار ماده خشک به‌طور معنی‌دار با افزایش مقدار آب آبیاری و کود نیتروژن افزایش می یابد که با پژوهش حاضر مطابقت دارد. Heydarpour *et al*. (2014) بیان کردند که عملکرد ماده خشک ذرت در اثر کمبود آب کاهش می‌یابد.

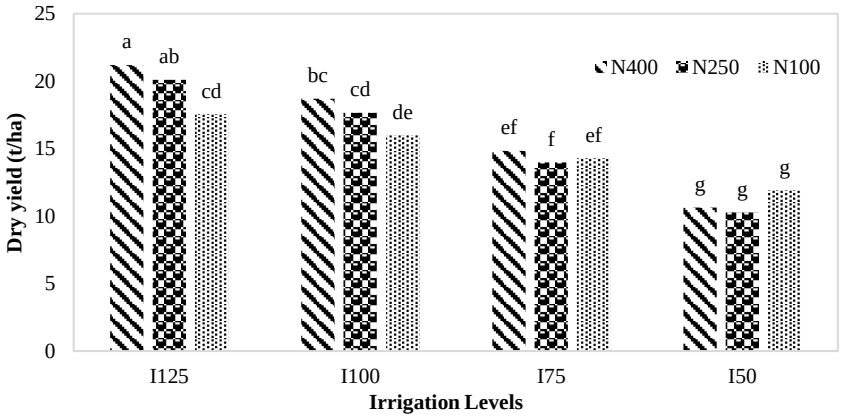

Figure 5. The effects of irrigation and nitrogen fertilizer on the biological yield (ton/ha)

در شرایط تنش کم‌آبی کاهش انتقال هورمون سیتوکینین از ریشه به شاخساره و افزایش مقدار آبسیزیک‌اسید در شاخساره باعث تغییر تعادل هورمونی، کاهش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نهایت کاهش زیست‌توده گیاه می‌شود (Farooq *et al*., 2009). علاوه بر این، کاهش عملکرد گیاه در شرایط تنش آبی می‌تواند ناشی از بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش ورود گاز کربنیک به داخل برگ‌ها، کاهش محتوای نسبی آب برگ و در نهایت کاهش فتوسنتز باشد. کاهش عملکرد علوفه ذرت و سورگوم در شرایط تنش خشکی در مطالعات سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (Heydarpour *et al*., 2014). با افزایش مصرف کود نیتروژن ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و ساقه افزایش یافته و همین موضوع باعث شده است تا عملکرد ماده خشک کل نیز افزایش یابد (Turgut *et al*., 2006). از سوی دیگر، همان‌طور که نتایج محققین نشان داده است، تأثیر کاربرد کودها به‌ویژه کود نیتروژن بر افزایش عملکرد علوفه وابستگی زیادی به آب قابل‌دسترس گیاه در خاک دارد، بیش‌ترین عملکرد در شرایط کودی یکسان، مربوط به تیمار آبیاری کامل و پر آبیاری بود.

۳. ۳. شاخص سطح برگ و ارتفاع

نتایج حاصل از تجزیه واریانس، سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن نشان داد اثر اصلی سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر صفات سطح برگ و ارتفاع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین اثر متقابل سطوح آبیاری و کود نیتروژن بر سطح برگ در سطح ۵ درصد و بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۷).

Table 7. Variance analysis of the irrigation and nitrogen fertilizer effects on leaf area and height of the Maize

Sources of changes	Average of squares		
	df	Leaf surface	Height
Irrigation	3	8765213**	16207**
Nitrogen fertilizer	2	344229**	741**
Irrigation × Nitrogen fertilizer	6	197940*	486**
Error	22	60063	89
Coefficient of variation (%)	-	3.08	5.7

* و ** به‌ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

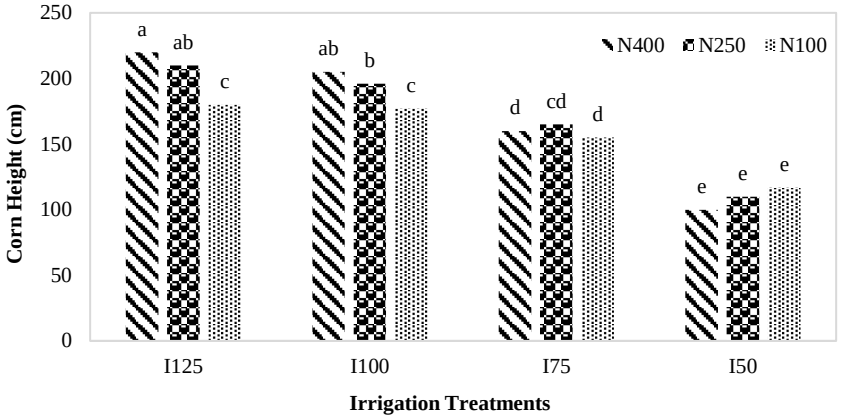

Figure 6. The effects of irrigation and nitrogen fertilizer on the Maize height (cm)

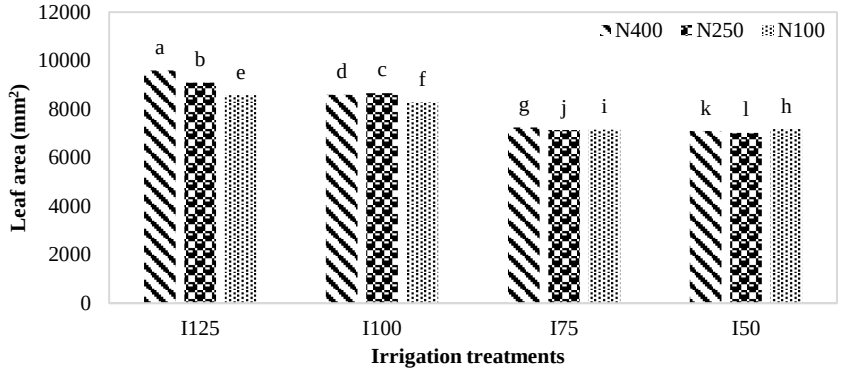

Figure 7. The effects of irrigation and nitrogen fertilizer on the leaf area (mm^2)

همان‌طورکه شکل‌های (۶) و (۷) نشان می‌دهد، تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد با سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین میزان ارتفاع (۲۲۰ سانتی‌متر) گردید و کم‌ترین میزان ارتفاع به‌ترتیب برابر ۱۰۰ سانتی‌متر در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. مشابه نتایج مربوط به صفات بررسی‌شده قبل، در این حالت نیز با افزایش تنش آبی، میزان ارتفاع گیاه به‌صورت کلی کاهش پیدا کرد. در تمام سطوح کودی، میزان ارتفاع در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، نسبت به تیمارهای ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، درسطح معنی‌داری ۵ درصد کاهش یافت. در سطوح آبیاری ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، تفاوت بین میزان ارتفاع ذرت در تیمارهای ۴۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم بر هکتار معنی‌دار نشد ولی مقادیر ارتفاع در هر دوی این تیمارها به‌صورت معنی‌داری در سطح ۵ درصد، بیش‌تر از تیمارحاوی کود ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار گردید. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، افزایش کود باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع ذرت نگردید، به‌عبارت دیگر، در هرکدام از سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، تفاوت ارتفاع ذرت در تیمارهای مختلف کودی معنی‌دار نگردید. هرچند که در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی، میزان ارتفاع در تیمار حاوی کود ۴۰۰ کیلوگرم بر هکتار نسبت به تیمار ۱۰۰ گیلوگرم بر هکتار حدود ۱۷ درصد کاهش را نشان داد.

تفاوت بین میزان شاخص سطح برگ، در تمام تیمارهای آبیاری، در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. به‌نظر می‌رسد شاخص سطح برگ، یکی از حساس‌ترین پارامترهایی است که نسبت به تنش آب و کود، تغییرات محسوسی را نشان می‌دهد. تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد با سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیش‌ترین میزان سطح برگ (۹۵۹۵

میلی‌مترمربع) گردید و کم‌ترین میزان سطح برگ برابر ۷۰۹۶/۱۳۳ میلی‌متر مربع در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی و سطح کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید.

با افزایش تنش، کاهش شدیدی در طول و عرض برگ و به موجب آن کاهش سطح برگ و در نتیجه وزن برگ ایجاد می‌شود، زیرا سطح تعرق‌کنندگی گیاه کم شده و ماده تولیدی کاهش یافته و فتوسنتز گیاه کم می‌شود. کاهش آب منجر به کاهش جذب عناصر و از این طریق نیز رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد. کاهش سطح برگ، کاهش جذب نور خورشید و به‌دنبال آن سطح فتوسنتزی گیاه کاهش و در نهایت منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می‌شود (Shao *et al*., 2008). مطالعات متعددی در زمینه تأثیر مثبت نیتروژن بر شاخص سطح برگ وجود دارد که با نتایج این پژوهش مبنی بر افزایش شاخص سطح برگ با مصرف کود نیتروژن مطابقت دارد. مقدار نیتروژن مصرفی می‌تواند از طریق افزایش چرخه‌های تقسیم سلولی و یا افزایش جریان مواد به سلول‌های نواحی رشدی باعث تولید و گسترش سطح برگ شود (Evans, 1989). نتایج بررسی اثر تنش خشکی روی مؤلفه‌های رشد نشان داد که تنش آبی از طریق کندی رشد، کاهش توسعه و دوام سطح برگ و کاهش منابع ذخیره و تولید مواد فتوسنتزی، سبب کاهش ارتفاع می‌گردد (Sharief and Keshta, 2006). افزایش میزان نیتروژن و کاربرد آن در دفعات بیش‌تر باعث طولانی‌شدن دوره رشد رویشی ذرت شده که می‌تواند تشکیل آسمیالت، اختصاص آن به ساقه و در نهایت ارتفاع گیاه را به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار دهد (Amanullah *et al*., 2009).

۳. ۴. میزان بهره‌وری آب آبیاری

بهره‌وری آب آبیاری از شاخص‌های مهمی است که در انتخاب روش مدیریت آبیاری به‌کار برده می‌شود. به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن روی بهره‌وری آب آبیاری (نسبت عملکرد به میزان آب مصرفی) برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، تجزیه واریانس آن‌ها صورت گرفت. نتایج جدول (۸) نتایج نشان داد که اثرات متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و کودی بر روی بهره‌وری آب آبیاری برای ماده تر در سطح یک درصد و برای ماده خشک در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید. قابل ذکر است که اثرات آبیاری و نیتروژن به‌تنهایی بر بهره‌وری آبیاری برای ماده خشک معنی‌دار نبود. یافته‌های Tabatabaee *et al*. (2017) نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری در میزان بهره‌وری آب آبیاری در بین سطوح مختلف آبیاری، وجود ندارد.

Table 8. Variance analysis of the irrigation and nitrogen fertilizer effects on the water productivity

Sources of changes	df	Average of squares	
		Water productivity (Wet matter)	Water productivity (Dry matter)
Irrigation	3	4.48^{**}	0.048^{ns}
Nitrogen fertilizer	2	11.92^{**}	0.098^{ns}
Irrigation× Nitrogen fertilizer	6	2.67^{**}	0.124^{*}
Error	22	0.15	0.04
Coefficient of variation (%)	-	4.7	7.2

* و ** به‌ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.

ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

مقایسه میانگین مقادیر بهره‌وری آب مربوط به ماده خشک و تر در سطوح مختلف آبیاری و کودی در شکل‌های (۸) و (۹) ارائه شده است. بیش‌ترین میزان بهره‌وری آب ماده تر در تیمار $I_{100}N_{400}$ رخ داد که با مقدار بهره‌وری آب ماده تر در تیمار $I_{120}N_{400}$ تفاوت معنی‌داری ندارد اما با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارند. کم‌ترین میزان

بهره‌وری آب مربوط به ماده تر در تیمار $I_{75}N_{100}$ مشاهده گردید که در سطح معنی‌داری پنج درصد با سایر تیمارها متفاوت بود. Tabatabaee *et al.* (2017) نیز نشان دادند که کم‌ترین میزان بهره‌وری آب در تنش متوسط رخ داد.

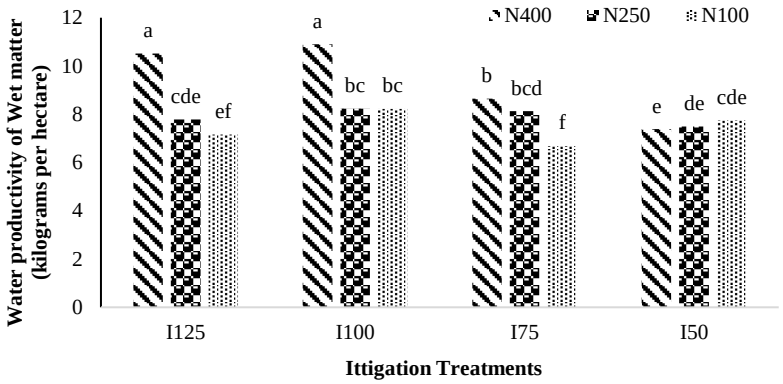

Figure 8. The effects of irrigation and nitrogen fertilizer on water productivity of Wet matter (Kg/ha)

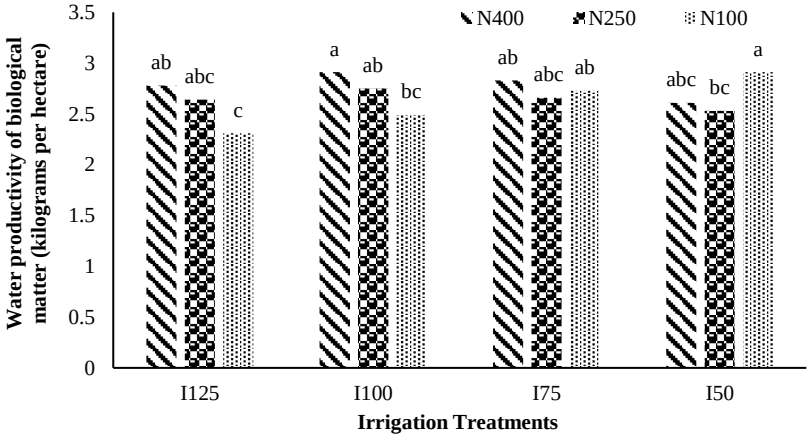

Figure 9. The effects of irrigation and nitrogen fertilizer on water productivity of biological matter (Kg/ha)

همان‌طورکه شکل (۹) نشان می‌دهد، بیش‌ترین میزان بهره‌وری آب ماده خشک در تیمار $I_{100}N_{400}$ به میزان ۲/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین میزان بهره‌وری در تیمار $I_{125}N_{100}$ به میزان ۲/۳۱ کیلوگرم رخ داد. البته قابل ذکر است که برای این صفت، تفاوت بین اکثر تیمارها معنی‌دار نیست. بهره‌وری آب به عوامل مختلفی مانند الگوی کاشت، شرایط اقلیمی، تکنولوژی آبیاری، مدیریت آبیاری در مزرعه، خاک و حاصلخیزی آن، نهاده‌های کشاورزی شامل کارگری، کود، ادوات کشاورزی و غیره بستگی دارد. بنابراین، عوامل زیادی در بهبود بهره‌وری آب تأثیر گذار می‌باشد. نتایج پژوهش‌گران در مورد تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب متفاوت می‌باشد به‌طوری که برخی افزایش آن را در شرایط کم‌آبیاری گزارش نموده‌اند (Karimi *et al.*, 2009) و برخی اظهار داشته‌اند که بیش‌ترین بهره‌وری آب در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد و با کاهش مقدار آب مصرفی از بهره‌وری آب نیز کاسته شد (Amiri, 2018). در چین بیش‌ترین بهره‌وری آب با کاربرد نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار به‌همراه کود آلی (۳۰ تن کود خوکی) به‌دست آمد (Zhang *et al.*, 2017). Majidian *et al.* (2008) گزارش کردند که مصرف نیتروژن باعث عمیق‌ترشدن سیستم ریشه‌ای می‌شود و سبب افزایش بهره‌وری آب می‌گردد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات متقابل سطوح مختلف آب آبیاری و نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری ذرت در خرم‌آباد، موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری و کوددهی میزان عملکرد تر، عملکرد خشک، شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه و بهره‌وری را به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهند. با افزایش تنش آبی، میزان صفات اندازه‌گیری‌شده به‌صورت کلی کاهش پیدا کرد. اثرات افزایش کود، بیش‌تر در تیمارهای آبیاری کامل و پرآبیاری مشاهده گردید. درحالی‌که در تیمارهای با تنش بیش‌تر مثل سطح آبی ۷۵ و ۵۰ درصد، اثرات افزایش کود کم‌تر و حتی در سطح آبی ۵۰ درصد، اثر افزایش کود باعث کاهش صفات اندازه‌گیری‌شده گردید. با توجه به این‌که اثرات مختلف آب آبیاری و کود تحت تأثیر شرایط مختلف از جمله شرایط محیطی می‌باشد، لذا بررسی واکنش گیاهان مختلف در برابر مدیریت‌های مختلف مزرعه ضروری می‌باشد و اطلاعات جمع‌آوری‌شده به‌عنوان یک بانک اطلاعاتی برای هر منطقه، در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی کاربرد دارد. لذا توصیه می‌گردد مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری برای سایر گیاهان مهم منطقه موردمطالعه نیز بررسی گردد تا در شرایط کمبود آب بهترین مدیریت آبیاری به‌منظور افزایش بهره‌وری آب انجام شود.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

Afrasiab, P., Delbari, M., & Jafari, H. (2016). Effect of different levels of irrigation, planting density, Planting pattern in drip irrigation on yield, yield components and water use efficiency of corn. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *47*(4), 731-741. (In Persian)

Agricultural statistics. (2018). Crops, water and soil, tools. Publications of the Ministry of Jihad and Agriculture, Vice President of Planning and Economy, Bureau of Statistics and Information Technology. (In Persian)

Ahmadvand, M., Sharifipour, M., & Nasrollahi, A. (2021). Effect of Regulated Deficit Irrigation and Alternate Furrow Irrigation on Water Productivity of Forage Maize in Khorramabad Climatic. *Irrigation Sciences and Engineering*, *44*(3), 129-143. (In Persian)

Alizadeh, A. (2004). Soil Water- Plant Relationship. Iran, Imam Reza press. (In Persian)

Ali Zadeh, H. A., & Abbasi, F. (2017). Assessment of AquaCrop Model for Simulating Yield Response of Corn to Water and Fertility Stresses. *Irrigation Sciences and Engineering*, *40*(2), 119-134.

Amanullah, H., Marwat, K. B., Shah, P., Maula, N., & Arifullah, S. (2009). Nitrogen levels and its time of application influence leaf area, height and biomass of maize planted at low and high density. *Pak. J. Bot*, *41*(2), 761-768.

Amerian, M., Hashemi Garmdareh, S. E., & Karami, A. (2021). Effect of Deficit Drip Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Single Cross Corn 704. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(3), 247-258.

Amiri, A. (2017). Investigating the effect of irrigation frequency and nitrogen fertilizer amounts on some growth and yield indicators of corn. *scientific-research journal of plant ecophysiology*, 10(34), 59-71. (In Persian)

Amiri, e., (2018). 'Investigation of irrigation interval and nitrogen rates on some growth indices and yield of corn', *Journal of Plant Ecophysiology*, 10(34), 59-71. (In Persian)

Azizian, A., & Sepaskhah, A. R. (2014). Maize response to different water, salinity and nitrogen levels: agronomic behavior. *International Journal of Plant Production*, *8*(1), 107-130.

Chachar, A. N., Mirjat, M. U., Soothar, R. K., Shaikh, I. A., Mirjat, M. H., & Dahri, S. A. (2020). Effects of irrigation frequencies on soil salinity and crop water productivity of fodder maize. *Acta Ecologica Sinica*, *40*(4), 277-282.

Djaman, K., O'neill, M., Owen, C. K., Smeal, D., Koudahe, K., West, M., ... & Irmak, S. (2018). Crop evapotranspiration, irrigation water requirement and water productivity of maize from meteorological data under semiarid climate. *Water*, *10*(4), 405.

Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. *Oecologia*, *78*(1), 9-19.

Fang, H., Gu, X., Jiang, T., Yang, J., Li, Y., Huang, P., ... & Yang, J. (2020). An optimized model for simulating grain-filling of maize and regulating nitrogen application rates under different film mulching and nitrogen fertilizer regimes on the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research*, *199*, 104546.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Sustainable agriculture*, 153-188.

Gheysari, M., Sadeghi, S. H., Loescher, H. W., Amiri, S., Zareian, M. J., Majidi, M. M., ... & Payero, J. O. (2017). Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural Water Management*, *182*, 126-138.

Ghobadi, R., Shirkhani, A., & Jalilian, A. (2015). Investigating the effects of drought stress and nitrogen fertilizer on the yield and water use efficiency and nitrogen of corn plants (Sc 704). *Journal of agriculture*, 106, 79-87. (In Persian)

Heydaripour, R., Mahallati, M. N., Koocheki, A., & Abadi, A. Z. F. (2014). The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 406.

Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C. X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologies*, *331*(3), 215-225.

Karimi, M., Esfahani, M., Biglouei, M. H., Rabiei, B., & Kafi, G. A. (2009). Effect of deficit irrigation treatments on morphological traits and growth indices of corn forage in the Rasht Climate. (In Persian)

Kiani, M. (2011). Calibration and evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower plant at different levels of applied water and nitrogen fertilizer. Master's thesis in irrigation and drainage, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. (In Persian)

Kiani, M., Gheysari, M., Mostafazadeh-Fard, B., Majidi, M. M., Karchani, K., & Hoogenboom, G. (2016). Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region. *Agricultural water management*, *171*, 162-172.

Lalvand, P., Nasrolahi, A. H., Khorramian, M., & Saeidinia, M. (2020). Evaluation of CWSI for Three of Corn Cultivars under Drip Irrigation Regimes (The Lands of Khuzestan Northern). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, *9*(4), 57-70. (In Persian)

Majidian, M., Qalvand, A., KamgarHaghighi, A. A., & Karimian, N. (2008). The effect of drought stress, chemical nitrogen fertilizer and organic fertilizer on chlorophyll meter reading, grain yield and yield components of Single Cross 704 corn grains. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 10(3), 303-330. (In Persian)

Pourebrahimi, M., Siroosmehr, A., Eshghizadeh, H., Asgharipoor, M., & Khomri, A. (2016). The effect of different levels of nitrogen fertilizer on the yield and agronomic characteristics of different corn hybrids (*Zea mays* L.). *Production and processing of agricultural and garden products*, (3)8, 37-49. (In Persian)

Rajabi, A. B. A. Z. A. R., Griffiths, H., & Ober, E. S. (2007). Relationship of carbon stable isotopes with water use efficiency in sugar beet under well-watered and drought conditions. *Journal of Sugar Beet*, *23*(1), 12-1.

Ramezanimoghaddam, G., Houshmand, A., Naseri, A., Mesgarbash, M., & Azizimobser, G. (2017). The effect of different amounts of irrigation and nitrogen fertilizer with the presence of underground water on spring corn yield. *Water and soil knowledge*, 27 (1), 229-251. (In Persian)

Rodrigues, M. A., Pereira, A., Cabanas, J. E., Dias, L., Pires, J., & Arrobas, M. (2006). Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *European journal of agronomy*, *25*(4), 328-335.

Sadraddini, A., Parandin, M., & Nazemi, A. H. (2019). Effects of Deficit Irrigation on Yield and Yield Components and Determination of Water Productivity of Zea Maize in Islamabad-Gharb Area. *Journal of Water Research in Agriculture*, *33*(2), 189-204. (In Persian)

Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*, *113*(2), 170-177.

Samdvand, S., Tajbakhsh, M., Anvari, K., & Ahmadali, J. (2013). The effect of drip irrigation systems in

one and two row cultivation on the yield and water use efficiency of grain corn. *Agricultural and natural resources sciences and techniques, water and soil sciences*, 18 (4), 113-120. (In Persian)

Sampathkumar, T., Pandian, B. J., Rangaswamy, M. V., Manickasundaram, P., & Jeyakumar, P. (2013). Influence of deficit irrigation on growth, yield and yield parameters of cotton–maize cropping sequence. *Agricultural Water Management*, *130*, 90-102.

Sepaskhah, A., Tavakoli, S., & Mousavi, F. (2011). The principles and application of deficit irrigation. *publications of the National Irrigation and Drainage Committee of Iran*. (In Persian)

Shahrokhnia, M. (2012). Investigating the effect of using irrigation planning tools on the yield and water consumption of corn in two soil textures. *Irrigation and drainage of Iran*, sixth year, (4), 331-341. (In Persian)

Sharief, A. E., & Keshta, M.M. (2006). Influence of sowing date and plant density on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.) under salt affected soils in Egypt's. *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)*, 3(1), 65-78.

Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food security*, *3*, 307-327.

Tabatabai, M. S., Qaysari, M., AbediKopaei, J., & Amiri, Z. (2017). The mutual effect of water and nitrogen on the yield and water use efficiency of irrigation water of fodder corn under drip-strip irrigation management. *Journal of Irrigation and Drainage of Iran*, 12(6), 1529-1539. (In Persian)

Turgut, I., Duman, A., Wietgrefe, G. W., & Acikgoz, E. (2006). Effect of seeding rate and nitrogen fertilization on proso millet under dryland and irrigated conditions. *Journal of plant nutrition*, *29*(12), 2119-2129.

Wang, Y., Zhang, X., Chen, J., Chen, A., Wang, L., Guo, X., ... & Gao, Q. (2019). Reducing basal nitrogen rate to improve maize seedling growth, water and nitrogen use efficiencies under drought stress by optimizing root morphology and distribution. *Agricultural Water Management*, *212*, 328-337.

Yaseen, R., Shafi, J., Ahmad, W., Rana, M. S., Salim, M., & Qaisrani, S. A. (2014). Effect of deficit irrigation and mulch on soil physical properties, growth and yield of maize. *Environ. Ecol. Res*, *2*(3), 122-137.

Zhang, H., Yu, X., Jin, Z., Zheng, W., Zhai, B., & Li, Z. (2017). Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of soil science and plant nutrition*, *17*(2), 461-474.