



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۱ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۶۶۹-۶۸۲

DOI: 10.22059/jwim.2021.325577.889

مقاله پژوهشی:

بررسی تأثیر توأمان مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری ذرت در آبیاری قطره‌ای

محمد سعید جعفری^۱، حمیده نوری^{۲*}، حامد ابراهیمیان^۳، عبدالمجید لیاقت^۳، یاسمین سوهانی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴. دانش‌آموخته کارشناسی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۷/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۳/۲۴

چکیده

بهره‌وری آب ذرت به شدت تحت تأثیر عملکرد گیاه و میزان آب تأمین شده در طول فصل است، بنابراین برنامه‌ریزی آبیاری و کودآبیاری از اهمیت زیادی برای افزایش بهره‌وری آب برخوردارند. هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر هم‌زمان سطوح مختلف آب و نیتروژن بر مقدار زیست‌توده، عملکرد دانه ذرت، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری نیتروژن و یافتن بهترین میزان آبیاری و کودآبیاری نیتروژن برای تولید ذرت بود. کشت ذرت (سینگل کراس ۷۰۴)، در سال ۱۳۹۷ در قالب سه تیمار آبیاری (I₁، I₂ و I₃ به ترتیب برای تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر-تعرق گیاه) و چهار تیمار نیتروژن (N₁، N₂، N₃ و N₄ به ترتیب ۲۰۰، ۱۲۵ و ۵۰ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار تیمارهای آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت بود. حداکثر زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت، به ترتیب برابر با ۲۳/۰۲ تن در هکتار و ۱۲/۷۸ تن در هکتار برای تیمار آبیاری کامل با ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I₁N₁) به دست آمد. حداکثر بهره‌وری آب آبیاری برای زیست‌توده و عملکرد دانه به ترتیب برابر ۴/۹۳ و ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب برای تیمار I₂N₁ و حداقل آن‌ها به ترتیب برابر ۳/۳۷ و ۱/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب برای تیمار I₁N₄ به دست آمد.

کلیدواژه‌ها: آبیاری قطره‌ای، بهره‌وری، کم‌آبیاری، کودآبیاری.

Investigating the combined effect of different amounts of irrigation water and nitrogen fertilizer on maize yield and productivity in drip irrigation

Mohammad Saeed Jafari¹, Hamideh Noory^{2*}, Hamed Ebrahimiyan³, Abdol-Majid Liaghat³, Yasamin Sohani⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Associate professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

3. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

4. B.Sc. Graduated, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: June, 14, 2021

Accepted: October, 07, 2021

Abstract

Maize is one of the most important field crops in the world and Maize production with a cultivated area of about 350000 hectares and an average grain yield of 3.5 ton. ha⁻¹ is very important and common in Iran. The purpose of this study was to investigate the effect of different levels of water and nitrogen on maize biomass, grain yield, irrigation water productivity and nitrogen productivity and finding the best irrigation and nitrogen fertilizer practices for producing Maize. Maize (SC. 704) was planted in 2018 as three irrigation treatments (I₁, I₂ and I₃ to provide 100, 75 and 50 percent of crop evapotranspiration respectively) and four nitrogen treatments (N₁, N₂, N₃ and N₄ to provide 200, 125, 50 and zero kg of nitrogen per hectare in total, respectively) in a randomized complete block design with three replications. The results showed a significant effect of irrigation, nitrogen and their interaction effects on maize biomass and grain yield. Maximum maize biomass and grain yield were 23.02 ton. ha⁻¹ and 12.78 kg. ha⁻¹ for full irrigation treatment with 200 kg. ha⁻¹ nitrogen (I₁N₁) treatment, respectively. Maximum irrigation water productivity for maize biomass and grain yield were 4.93 and 2.7 kg. m⁻³ for I₂N₁ and minimum irrigation water productivity for maize biomass and grain yield were 3.37 and 1.77 kg. m⁻³ for I₁N₄ treatments, respectively.

Keywords: Deficit irrigation, Drip irrigation, Fertigation, Productivity.

مقدمه

ذرت یکی از گیاهان مزرعه‌ای مهم در سراسر جهان است. تولید ذرت با سطح زیرکشت حدود ۳۵۰۰۰۰ هکتار و متوسط عملکرد دانه ۳/۵ تن در هکتار در ایران بسیار مهم و رایج است (FAOSTAT, 2012). از نظر تولیدات جهانی، ذرت بعد از برنج و گندم مهم‌ترین غله مصرفی است (USDA, 2011). ذرت به سبب عملکرد بالا و خصوصیات کیفیتی مطلوب از اهمیت ویژه‌ای در تغذیه دام نیز برخوردار است (Roth et al., 1995).

آب مهم‌ترین عامل محدودکننده در کاهش تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در ۴۰ درصد از زمین‌های دنیا است که تحت شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک قرار دارند و آبیاری تنها راه حفظ تولید غذای پایدار در آن مناطق است (Cattivelli et al., 2008). از سوی دیگر، پدیده تغییرات آب‌وهوایی، سراسر دنیا را تحت تاثیر خود قرار داده و با افزایش تغییرات در چرخه آب، عدم اطمینان قابل توجهی در منابع آب در دسترس برای نواحی گوناگون در آینده ایجاد کرده است. هم‌چنین کشاورزی به دلیل وابستگی زیاد به آب‌وهوا بیش‌ترین آسیب‌پذیری را از تغییرات آن خواهد داشت. همه این عوامل اهمیت پرداختن به موضوع بهره‌وری آب را دو چندان کرده است (Sivakumar, 2021). منابع آبی محدود و هزینه پمپاژ آب عواملی است که کشاورزان را مجبور به کاهش آبیاری در مناطق نیمه‌خشک و خشک ایران می‌کند (Mansouri-Far et al., 2010).

در سال‌های اخیر آبیاری قطره‌ای به دلیل این‌که مقدار آب و کود استفاده‌شده برای گیاهان زراعی و نیروی کار را به شدت کاهش می‌دهد، به‌طور فزاینده‌ای توسعه یافته است (El-Hendawy et al., 2008). آبیاری قطره‌ای آب موردنیاز گیاه را به‌طور مستقیم در ناحیه ریشه تأمین می‌کند و می‌تواند آب و کود بیش‌تری در ناحیه ریشه نگه دارد که به جذب بیش‌تر آن‌ها و عملکرد بالاتر گیاه منجر می‌شود. علاوه بر آن،

رواناب سطحی و نفوذ عمقی را به حداقل می‌رساند که راندمان آبیاری و راندمان کاربرد کود را افزایش می‌دهد (Li et al., 2020). کودآبیاری قطره‌ای، تلفیق آبیاری قطره‌ای و تقسیم دفعات کاربرد کود نیتروژن، روشی مؤثر در بهینه‌سازی بهره‌وری آب، راندمان کاربرد نیتروژن و افزایش عملکرد ذرت است (Farneselli et al., 2015; Gheysari et al., 2015; Fan et al., 2016; Zhou et al., 2017).

ذرت دارای نیاز آبی بالا است (Karam et al., 2003). به‌گونه‌ای که Gheysari et al. (2009) تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای سینگل‌کراس ۷۰۴ در منطقه ورامین را طی سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ به ترتیب ۵۵۹ و ۶۴۷ میلی‌متر گزارش کردند. Zhang et al. (2017) مقدار مناسب آبیاری و کودآبیاری برای ذرت را به ترتیب ۷۰۰ مترمکعب در هکتار و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برآورد کردند. Zou et al. (2020) مجموع آبیاری تیمار آبیاری کامل را برای ذرت علوفه‌ای بهاره در مناطق نیمه‌خشک شمالی چین ۴۳۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر گزارش کردند. نتایج نشان داده است مقدار بهینه اقتصادی نیتروژن موردنیاز ذرت بسته به مشخصات خاک دارد و از نظر زمانی با اثرات متقابل عوامل محیطی تغییر می‌کند (Katsvario et al., 2003; Mamo et al., 2003). به‌طورکلی نیاز کودی ذرت بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است (Chen et al., 2011).

در دهه‌های اخیر کم‌آبیاری با توجه به بهره‌وری آب در نواحی کم آب موردتوجه قرار گرفته است (Igbadun et al., 2008). کم‌آبیاری با مدیریت مناسب کوددهی و تراکم کشت بهینه از عوامل بسیار مهم در تولید ذرت در مناطق خشک است (Norwood, 2000). نیتروژن یکی از عوامل مهم محدودکننده عملکرد دانه ذرت است (Cassman, 1999 and Varinderpal-Singh et al., 2011). برخی پژوهش‌های گذشته نشان داد زیست‌توده ذرت با افزایش مقدار کود افزایش یافت (Fan et al., 2005).

مدیریت آب و آبیاری

آبیاری و نرخ نیتروژن هر دو اثر قابل توجهی بر رشد گیاه داشتند. Zou *et al.* (2020) در پژوهشی با بررسی اثر آبیاری و کودآبیاری بر ذرت نتیجه گرفتند زیست توده و عملکرد دانه با افزایش آبیاری و کودآبیاری افزایش یافتند، اما بهره‌وری آبیاری و کودآبیاری به ترتیب با افزایش آبیاری و کودآبیاری کاهش یافت. هم‌چنین اثر متقابل آبیاری و کودآبیاری معنی‌دار بود.

Moayeri *et al.* (2011) بهره‌وری آب ذرت در ایران را مقدار کم ۱/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. بررسی‌ها نشان داده است کم‌آبیاری بهره‌وری آب ذرت و سایر گیاهان را افزایش می‌دهد که علت آن کاهش کم‌تر عملکرد به نسبت کاهش آب مورد استفاده است (Payero *et al.*, 2009; Katerji & Mastroilli, 2009; Ko & Piccinni, 2009; Kapanigowda *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2010; Djaman & Irmak, 2012; Çarpıcı *et al.*, 2017).

کاربرد مؤثر و منطقی نیتروژن برای بهبود بهره‌وری ذرت ضروری است (Chen *et al.*, 2006; Zhao *et al.*, 2006; Lv *et al.*, 2011). پژوهش‌های زیادی نشان داده است که کاهش کاربرد نیتروژن می‌تواند راندمان کاربرد نیتروژن را افزایش دهد درحالی‌که مصرف اضافه آن به کاهش راندمان می‌انجامد (Wang *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2017).

برنامه‌ریزی آبیاری ذرت می‌تواند از طریق تبخیر-تعرق مرجع، رطوبت و پتانسیل آب خاک و تشت تبخیر صورت گیرد (Cavero *et al.*, 2008; Lv *et al.*, 2011). برای تولید پایدار ذرت همراه با توسعه کشاورزی ضروری است که اثر آبیاری و کودآبیاری روی عملکرد ذرت و بهره‌وری آب و نیتروژن بررسی شود و تیمارهای مناسب آبیاری و کودآبیاری مشخص شود (Li *et al.*, 2020). بنابراین استراتژی مناسب آبیاری و کودآبیاری نیتروژن می‌تواند با در نظر گرفتن عملکرد نهایی، بهره‌وری آب و کود و مسائل محیط زیستی اتخاذ شود.

تشکیل دانه و شاخص سطح برگ ذرت به شدت تحت تأثیر مدیریت آبیاری و کود نیتروژن است. با وجود پژوهش‌های بسیار صوت گرفته روی اثر آبیاری و کوددهی بر عملکرد گیاه در دهه‌های اخیر (Tiwari *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2011; Miyauchi *et al.*, 2012; He *et al.*, 2018) تیمار بهینه آبیاری و کوددهی متناسب با گیاه، خاک و اقلیم متفاوت است. مقدار آب آبیاری و کود نیتروژن به تنهایی می‌تواند تولید را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر آن اثر متقابل آب و نیتروژن قبلاً بررسی شده است (Pandey *et al.*, 2000; Shangguan *et al.*, 2000; Moser *et al.*, 2006). عملکرد ذرت تا زمانی که به سطح بهینه دست یابد، واکنش مثبتی نسبت به افزایش مقدار آب و نیتروژن مصرف شده دارد (Liu & Zhang, 2007; Gheysari *et al.*, 2009 a; Wang *et al.*, 2021). گزارش کردند در مقادیر بالای نیتروژن عملکرد با افزایش کم‌آبیاری بیش‌تر کاهش یافت. پژوهش Moser *et al.* (2006) نشان داد ذرت تحت شرایط تنش آبی مقادیر کم‌تری نیتروژن برای رسیدن به حداکثر عملکرد دانه به نسبت تیمارهای با آبیاری بالا نیاز داشت.

Gheysari *et al.* (2009) در بررسی اثر تیمارهای آبیاری و نیتروژن بر عملکرد ذرت علوفه در منطقه ورامین گزارش کردند زیست توده کل و زیست توده اجزای گیاه به عنوان تابعی از مقدار آبیاری و نیتروژن داده شده افزایش یافت، اما اثر متقابل کود و آبیاری معنی‌دار نشد. نتایج هم‌چنین نشان داد افزایش نیتروژن استراتژی خوبی برای جبران کاهش زیست توده ناشی از کم‌آبیاری نیست. Mansouri-Far *et al.* (2010) نتیجه گرفتند اثر آبیاری، نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب آبیاری معنی‌دار بود. Wang *et al.* (2017) نتیجه گرفتند بوته‌های ذرت در تیمار آبیاری کامل، نیتروژن به مراتب بیش‌تری نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری جذب کردند و

سالانه مقدار ۱۷۲/۳ میلی‌متر (۶۹/۷ درصد) در نیمه اول سال زراعی (پاییز و زمستان) و میزان ۶۹/۹ میلی‌متر (۲۸/۲ درصد) در سه‌ماهه سوم (بهار) و بقیه ۵/۲ میلی‌متر (۲/۱ درصد) نیز در فصل تابستان توزیع می‌شود که نشان‌گر ناچیزبودن بارندگی در فصل تابستان در این منطقه است.

خاک مزرعه آزمایشی برای بررسی در سه عمق و در قسمت‌های مختلف به‌گونه‌ای که معرف کل مزرعه آزمایشی و تغییرات خاک باشد نمونه‌برداری شد و بافت خاک از طریق مثلث بافت خاک USDA، رطوبت حد ظرفیت زراعی به‌کمک دستگاه صفحات فشاری، چگالی ظاهری به‌کمک نمونه خاک دست‌نخورده، شوری و اسیدیته عصاره اشباع خاک به کمک دستگاه AZ^۱، رطوبت اولیه خاک به‌روش وزنی و نیتروژن خاک در ابتدای فصل به‌کمک روش سمی‌میکرو کج‌لدال^۲ (Bremner & Keeney, 1965) تعیین شد (جدول ۱). با توجه به شرایط مزرعه و میزان رشد ریشه ذرت، حداکثر عمق نمونه‌برداری ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. ریشه ذرت اکثراً در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر گسترش می‌یابد و ۹۰ درصد آن در عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متر است (Nicoullaud et al., 1994). Li et al. (2020) گزارش کردند تغییرات رطوبت خاک بیان‌گر آن است که ناحیه فعال ریشه در آبیاری قطره‌ای بین عمق ۲۵ تا ۴۵ سانتی‌متر بود. هم‌چنین آب مورد استفاده جهت آبیاری دارای شوری ۰/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته ۷/۷۲ و مقدار نترات ۳/۷۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود.

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر کم‌آبیاری، کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر زیست‌توده، عملکرد دانه، بهره‌وری آب آبیاری و نیتروژن ذرت علوفه‌ای است. در نهایت بهترین تیمار آبیاری و کوددهی نیتروژن برای منطقه مورد بررسی قابل پیشنهاد است.

مواد و روش‌ها

کشت ذرت علوفه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در تابستان ۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران واقع در کرج انجام شد. این مزرعه از نظر موقعیت جغرافیایی دارای طول جغرافیایی ۵۹° ۵۰' شرقی، عرض جغرافیایی ۴۸° ۳۵' شمالی و ارتفاع ۱۳۳۷ متر از سطح دریا است. براساس آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی، شهرستان کرج دارای میانگین بارندگی سالانه ۲۴۷/۳ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. تیرماه با میانگین (حداکثرها) ۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین ماه و بهمن‌ماه با میانگین (حداقل‌ها) ۲/۹- درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه سال است. کرج با میانگین رطوبت نسبی ۵۳ درصد و تبخیر سالانه ۲۱۸۴ میلی‌متر، دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل است. سرعت متوسط باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمال‌غرب به جنوب‌شرق است. میانگین سالیانه جمع ساعت آفتابی ۲۸۹۹ ساعت به‌دست آمده است. بررسی آمار و اطلاعات ماهانه و فصلی بارندگی شهرستان کرج نشان می‌دهد که از مجموع بارندگی

Table 1. Characteristics of soil in the experimental field

Soil depth (cm)	Soil texture	F.C. (cm ³ /cm ³)	P.W.P (cm ³ /cm ³)	Bulk density (g/cm ³)	EC (dS/m)	pH	Initial soil moisture (cm ³ /cm ³)	Nitrate (ppm)
0-20	Clay Loam	0.309	0.135	1.4	2.6	7.4	0.108	78.05
20-40	Clay Loam	0.305	0.135	1.4	1.53	7.24	0.171	40.32
40-60	Clay Loam	0.296	0.137	1.45	1.5	7.2	0.167	31.43

بررسی تأثیر توأمان مقادیر مختلف آب آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری ذرت در آبیاری قطره‌ای

مانتیت با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه هواشناسی کرج (واقع در مزرعه تحقیقاتی) برآورد شد و به‌کمک روش ضریب گیاهی دوجزئی شرح داده‌شده در نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998)، میزان تبخیر-تعرق روزانه ذرت تعیین شد. داده‌های هواشناسی استفاده‌شده شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی و میانگین روزانه سرعت باد بود. با توجه به حساسیت شدید ذرت به کم‌آبی در روزهای ابتدایی رشد، کم‌آبیاری پس از استقرار کامل گیاه و شکل‌گیری کامل شش تا هشت برگ، ۲۵ روز پس از کاشت بذر آغاز شد. بنابراین آبیاری در تیمارهای با کم‌آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد (I_2 و I_3) از زمان کاشت بذر تا ۲۵ روز پس‌از آن مشابه تیمار I_1 انجام شد. آبیاری از طریق سامانه آبیاری قطره‌ای با نوارهای آبیاری پلاک‌دار با فاصله ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۲/۱ لیتر در ساعت انجام شد. سامانه کودآبیاری نیز شامل یک مخزن کود ۲۰۰ لیتری و پمپ تزریق کود به‌منظور تزریق یکنواخت کود به سامانه آبیاری بود. کود نیتروژن در نظر گرفته‌شده برای هر تیمار از نوع نیترات و به‌صورت کودآبیاری در دو نوبت، ۴۵ و ۷۰ روز پس از کاشت بذر، برای تیمارهای N_1 ، N_2 و N_3 انجام شد. تیمار N_4 نیز تیمار بدون کاربرد کود بود. برداشت ذرت ۱۲۰ روز پس از کاشت بذر با برداشت قسمت خارج از خاک گیاه ذرت (زیست‌توده) انجام شد. سپس به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا وزن خشک زیست‌توده اندازه‌گیری شود. در مرحله بعد دانه‌های ذرت جداسازی شد و عملکرد دانه تعیین شد.

آزمایش با سه سطح آبیاری (I_1 ، I_2 و I_3) به‌ترتیب برای تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر-تعرق گیاه (هر پنج‌روز یک‌بار) و چهار سطح نیتروژن (N_1 ، N_2 ، N_3 و N_4) به‌ترتیب برابر ۲۰۰، ۱۲۵، ۵۰ و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در سه تکرار صورت گرفت. سطوح نیتروژن (به فرم نیترات پتاسیم و نیترات کلسیم) براساس مقادیر توصیه‌شده در منابع علمی و نیتروژن اولیه خاک تعیین گردید (Chen et al., 2011; Li et al., 2020; Zou et al., 2020). طرح آزمایشی از نوع بلوک‌های کامل تصادفی در زمینی به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع اجرا شد (شکل ۱). هر تیمار با سه تکرار در مجموع به مساحت ۸۰ مترمربع (شامل چهار ردیف ذرت با فاصله ۷۵ سانتی‌متر از هم) بود که ردیف‌های کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و تنها دو ردیف وسط برای اندازه‌گیری استفاده شد. همه نوارهای آبیاری دارای شیر بودند و حجم آبیاری توسط کتور حجمی کنترل شد. برای مثال در یک رخداد آبیاری، در ابتدای آبیاری شیر همه تیمارها باز بود و با کامل شدن آبیاری تیمارهای آبیاری I_3 شیر نوارهای آبیاری مرتبط با این تیمارها بسته شد. به همین ترتیب تا کامل شدن آبیاری تیمار کامل ادامه یافت.

کشت ذرت در تاریخ ۱۱ تیرماه، به‌صورت کاشت بذر با ماشین‌آلات خطی کار با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم (فاصله روی ردیف)، کنار نوار آبیاری، صورت گرفت و در اولین آبیاری، رطوبت خاک تا عمق ۶۰ سانتی‌متر به رطوبت حد ظرفیت زراعی رسانده شد.

تبخیر-تعرق گیاه مرجع به کمک رابطه فائو-پنمن-

I_3N_4	I_3N_1	I_2N_1	I_1N_4	I_2N_3	I_1N_3	I_3N_3	I_2N_4	I_1N_2	I_2N_2	I_1N_1	I_3N_2
I_2N_3	I_1N_2	I_1N_1	I_2N_1	I_1N_4	I_3N_2	I_3N_4	I_2N_2	I_3N_1	I_1N_3	I_2N_4	I_3N_3
I_1N_3	I_3N_2	I_1N_4	I_3N_3	I_2N_4	I_2N_1	I_3N_1	I_1N_1	I_2N_2	I_3N_4	I_2N_3	I_1N_2

Figure 1. Schematic of statistical arrangement of treatments (thick lines are irrigation pipes)

تأثیر آبیاری بر عملکرد دانه و زیست توده ذرت

طبق نتایج جدول (۲)، به طور کلی در تیمارهای با نیتروژن مشابه با افزایش آبیاری، زیست توده و عملکرد دانه افزایش یافت و کم آبیاری باعث کاهش زیست توده و عملکرد دانه ذرت شد که با نتایج بسیاری از پژوهش‌ها مانند Mekonen (2011)، Rusere et al. (2012)، Djaman et al. (2013)، Paredes et al. (2014)، Zou et al. (2020)، Wang et al. (2021) و Zou et al. (2021) هم‌خوانی داشت. به طور متوسط با کاهش آبیاری از I₁ به I₂ و I₃ به ترتیب باعث کاهش ۵/۶ و ۳۱/۳ درصدی زیست توده و به ترتیب باعث کاهش ۹ و ۳۹/۱ درصدی عملکرد دانه شد که نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیش‌تر عملکرد دانه از کم آبیاری بود که با Mekonen (2011)، Rusere et al. (2012) و Paredes et al. (2014) هم‌خوانی داشت.

در تیمار کودآبیاری N₁ با کاهش آبیاری از I₁ به I₂ و I₃ به ترتیب باعث کاهش ۰/۸ و ۲۲/۵ درصدی زیست توده و کاهش ۲/۲ و ۲۸ درصدی عملکرد دانه شد. در تیمار کودآبیاری N₂ با کاهش آبیاری از I₁ به I₂ و I₃ به ترتیب باعث کاهش ۱۳/۴ و ۴۱ درصدی زیست توده و کاهش ۱۶/۶ و ۵۴ درصدی عملکرد دانه شد. در تیمار کودآبیاری N₃ با کاهش آبیاری از I₁ به I₂ و I₃ به ترتیب باعث کاهش ۱/۴ و ۳۰/۳ درصدی زیست توده و کاهش ۲/۲ و ۳۵ درصدی عملکرد دانه شد. در تیمار کودآبیاری N₄ با کاهش آبیاری از I₁ به I₂ و I₃ به ترتیب باعث کاهش ۶/۴ و ۳۱/۶ درصدی زیست توده و کاهش ۱۵/۲ و ۳۹ درصدی عملکرد دانه شد. مقایسه این نتایج نشان داد کاهش زیست توده و عملکرد دانه در تیمار کودآبیاری N₂ با کم آبیاری بسیار شدیدتر شد که می‌توان نتیجه گرفت در این مقدار از کود نیتروژن، تأثیر میزان آب در دسترس گیاه در جذب نیتروژن و افزایش عملکرد بسیار بیش‌تر بود.

بهره‌وری آب آبیاری^۳ از تقسیم وزن خشک زیست توده و عملکرد ذرت بر حجم آب آبیاری مورد استفاده در طول فصل رشد به دست آمد (Howell, Meng et al., 2012; Li et al., 2020). بهره‌وری فاکتور نسبی^۴ نیز مقیاسی کاربردی از بهره‌وری کود در تولید کشاورزی است. بهره‌وری فاکتور نسبی کود نیتروژن (به اختصار بهره‌وری نیتروژن) از تقسیم وزن زیست توده و عملکرد دانه ذرت بر کل نیتروژن داده شده در طول فصل رشد محاسبه شد (Dobermann, 2005; Li et al., 2020). تحلیل آماری نتایج به دست آمده و رسم نمودارها به ترتیب به کمک نرم افزار SPSS و Origin Pro انجام شد و میانگین عملکرد تیمارها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج و بحث

مجموع آبیاری انجام شده برای تیمارهای آبیاری I₁، I₂ و I₃ به ترتیب، ۵۶۵، ۴۶۳/۷ و ۳۶۰ میلی متر بود. به منظور بررسی اثر تیمارها، میانگین وزن زیست توده و عملکرد دانه در تیمارهای مختلف آبیاری و نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد با آزمون توکی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۲).

Table 2. Average biomass and grain yield in different irrigation and nitrogen treatments

Irrigation level	Nitrogen Level	Average biomass (ton/ha)	Average grain yield (ton/ha)
I ₁	N ₁	23.02 ^a	12.78 ^a
	N ₂	22.85 ^a	12.56 ^a
	N ₃	19.51 ^b	10.25 ^b
	N ₄	19.06 ^b	10 ^{bc}
I ₂	N ₁	22.84 ^a	12.5 ^a
	N ₂	19.79 ^b	10.47 ^b
	N ₃	19.23 ^b	10.03 ^{bc}
	N ₄	17.85 ^b	8.48 ^c
I ₃	N ₁	17.84 ^b	9.2 ^{bc}
	N ₂	13.05 ^c	5.78 ^d
	N ₃	13.59 ^c	6.66 ^d
	N ₄	13.04 ^c	6.1 ^d

Means within each column followed by the same letter are not statistically different at $\alpha = 0.05$ by tukey test.

مقایسه نتایج نشان داد کاهش نیتروژن اثر کاهشی بیش‌تری روی عملکرد دانه نسبت به زیست‌توده داشت که می‌تواند ناشی از نزدیک‌بودن کودآبیاری‌ها به گلدهی و تشکیل دانه باشد. از طرفی اثر کاهشی کم‌شدن نیتروژن داده‌شده بر مقدار زیست‌توده و عملکرد دانه با افزایش کم‌آبیاری به‌طورکلی افزایش یافت که می‌تواند ناشی از تنش آبی، کاهش رشد ریشه و کاهش جذب نیتروژن باشد. در نتایجی مشابه، *Hernández et al.* (2015) در بررسی اثر دو تیمار نیتروژن (بدون کود و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) و دو تیمار آبیاری (دیم و تحت آبیاری) گزارش کردند در تیمارهای بدون محدودیت آبی، نیتروژن اثر معنی‌دار مثبتی روی عملکرد دانه داشت. همچنین با دقت در نتایج، درصد کاهش زیست‌توده و عملکرد دانه ناشی از کاهش کودآبیاری در تیمار آبیاری I_1 و I_2 جز در مورد تیمار کودآبیاری N_1 ، بسیار نزدیک به هم بود.

طبق نتایج جدول (۲)، بین زیست‌توده و عملکرد دانه تیمار آبیاری کامل (I_1) با کودآبیاری ۲۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تیمار کم‌آبیاری ۲۵ درصد (I_2) با کودآبیاری ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، درحالی‌که مقایسه تیمار آبیاری ۲۵ درصد (I_2) با کودآبیاری ۲۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌دار نشان داد. می‌توان نتیجه گرفت افزایش نیتروژن از ۱۲۵ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در کم‌آبیاری ۲۵ درصد باعث جبران معنی‌دار کاهش عملکرد ناشی از کم‌آبیاری شد درحالی‌که در آبیاری کامل این افزایش کمکی به افزایش معنی‌دار زیست‌توده و عملکرد دانه نکرد. *Mansouri-Far et al.* (2010) نشان دادند افزایش نیتروژن، مقدار عملکرد را در کم‌آبیاری محدود در مرحله رشد رویشی افزایش داد، اما اثر مقادیر بالای نیتروژن وقتی کم‌آبیاری در مراحل حساس زایشی یا هر دو مرحله رویشی و زایشی اعمال شد کاهش یافت.

نتایج هم‌چنین نشان داد کاهش آبیاری به میزان ۲۵ درصد با نیتروژن مشابه تفاوت معنی‌داری در زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت ایجاد نکرد که با نتایج *Gheysari et al.* (2009)، *Abd El-Wahed & Ali* (2013)، *Djaman et al.* (2013)، *Yan et al.* (2020) و *Leghari et al.* (2021) هم‌خوانی داشت.

تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد دانه و زیست‌توده ذرت

نتایج نشان داد در تیمارهای با آبیاری مشابه به‌طورکلی با افزایش مقدار نیتروژن از تیمار بدون کود تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، زیست‌توده و عملکرد دانه افزایش یافت. نتایج *Zou et al.* (2020) نشان داد افزایش نیتروژن تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش زیست‌توده و تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش زیست‌توده ذرت شد و این کاهش با آبیاری در ارتباط بود. *Wang et al.* (2021) دریافتند افزایش سطح نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار باعث افزایش و از ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث کاهش عملکرد ذرت شد.

مقدار زیست‌توده در تیمار I_1 با کاهش نیتروژن از N_1 به N_2 ، N_3 و N_4 به ترتیب ۰/۸، ۱۵/۳ و ۱۷/۲ درصد و عملکرد دانه به ترتیب ۱/۷، ۱۹/۸ و ۲۱/۸ درصد کاهش یافت. مقدار زیست‌توده در تیمار I_2 با کاهش نیتروژن از N_1 به N_2 ، N_3 و N_4 به ترتیب ۱۳/۳، ۱۵/۸ و ۲۱/۹ درصد و عملکرد دانه به ترتیب ۱۶/۲، ۱۹/۸ و ۳۲/۲ درصد کاهش یافت. هم‌چنین مقدار زیست‌توده در تیمار I_3 با کاهش نیتروژن از N_1 به N_2 ، N_3 و N_4 به ترتیب ۲۴/۳، ۲۷/۶ و ۲۳/۸ درصد و عملکرد دانه به ترتیب ۳۷/۲، ۲۷/۶ و ۳۳/۷ درصد کاهش یافت. در مقادیر بالای نیتروژن با افزایش کم‌آبیاری عملکرد به میزان کم‌تری کاهش یافت و با کاهش نیتروژن تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد شدت یافت. این نتایج با نتایج *Pandey et al.* (2000) در تضاد است.

اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و زیست توده ذرت

عملکرد ذرت تا زمانی که به سطح بهینه دست یابد، واکنش مثبتی نسبت به افزایش مقدار آب و نیتروژن مصرف شده دارد (Liu & Zhang, 2007; Gheysari *et al.*, 2009). نتایج تجزیه واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن در ذرت نشان داد سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی زیست توده و عملکرد دانه تأثیر معنی دار مثبت داشت و اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن داده شده نیز معنی دار بود (جدول ۳) که با نتایج Wang (2010) Mansouri-Far *et al.*، Yan (2020) Li *et al.*، Zou *et al.* (2017)، Zou *et al.* (2020) و *et al.* (2021) مطابقت دارد. Gheysari *et al.* (2009) نتیجه گرفتند سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن به تنهایی روی زیست توده و عملکرد دانه تأثیر معنی دار داشت، اما اثر متقابل کود و آبیاری معنی دار نشد. همچنین نتایج بررسی های Abd El- (2011) Wang *et al.*، Yazar *et al.* (1999)، Wahed and Ali (2013) Ibrahim *et al.* (2016)، Chilundo *et al.* (2017) و Zou *et al.* (2020) حداکثر زیست توده و عملکرد دانه، در تیمار آبیاری کامل محقق شد. در بررسی Ibrahim *et al.* (2016) و Zou *et al.* (2020) مقدار نیتروژن برای حداکثر شدن زیست توده و عملکرد دانه بین ۱۸۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار گزارش شد.

به طور کلی نتایج نشان داد تحت شرایط کم آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد افزایش نیتروژن به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش معنی دار زیست توده و عملکرد ذرت نسبت به سایر تیمارهای کودی شد. در تیمار آبیاری (I₂)، بین زیست توده تیمارهای کودآبیاری N₂، N₃ و N₄ تفاوت معنی دار مشاهده نشد، اما عملکرد دانه تولیدی تفاوت معنی دار داشت که نشان دهنده اثر کاهش نیتروژن داده شده بر شکل گیری و وزن دانه بود. می توان گفت باتوجه به احتمال پایین آبشویی در این تیمار، کم آبیاری باعث کاهش جذب نیتروژن شد و جز در تیمار N₁، جذب مؤثر نیتروژن صورت نگرفت. Ercoli *et al.* (2008) نشان دادند مقدار آبیاری جذب نیتروژن از خاک را تحت تأثیر قرار داد. در تیمار ۵۰ درصد کم آبیاری (I₃) اما بین زیست توده و عملکرد دانه سه تیمار کودآبیاری N₂، N₃ و N₄ تفاوت معنی داری وجود نداشت. بنابراین در کم آبیاری ۵۰ درصد می توان با مقدار بالای نیتروژن تأثیر کم آبیاری بر زیست توده و عملکرد دانه را کم کرد، اما مقادیر کم تر قادر به جبران نبودند. لازم به ذکر است در هر سه تیمار آبیاری بین تیمار با ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (N₃) و تیمار بدون کودآبیاری (N₄) تفاوت معنی دار نبود و کم ترین زیست توده متعلق به تیمار بدون کودآبیاری بود که با نتایج Zhou *et al.* (2017) مطابقت داشت.

Table 3. Analysis of variance for biomass and grain yield

Dependent Var.	Source	Sum of squares	df	Mean square	F	P
Biomass	Replication	3.679	2	1.84 ^{ns}	2.643	0.094
	Irrigation	298.835	2	149.418*	214.691	0.000
	Nitrogen	108.577	3	36.192*	52.003	0.000
	Irrigation × Nitrogen	17.058	6	2.843*	4.085	0.007
	Error	15.311	22	0.696		
	Totall	12778.155	36			
Grain yielded	Replication	0.741	2	0.371 ^{ns}	1.253	0.305
	Irrigation	130.986	2	65.493*	221.497	0.000
	Nitrogen	53.556	3	17.852*	60.376	0.000
	Irrigation × Nitrogen	12.557	6	2.093*	7.078	0.000
	Error	6.505	22	0.296		
	Totall	3500.14	36			

ns: Not significance at P level of 0.05

* Significance at P level of 0.05

نتایج نشان داد تیمار I₂ به‌طور متوسط بهره‌وری آب آبیاری بیش‌تری نسبت به تیمارهای I₁ و I₃ داشت (به‌ترتیب ۱۳/۰۶ و ۶/۳۲ درصد کاهش نسبت به I₂). بیش‌ترین بهره‌وری در مجموع متعلق به تیمار کم‌آبیاری ۲۵ درصد با ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار I₂N₁ بود (شکل ۲). (Ibrahim et al. 2016), (Çarpıcı et al. 2017) و Yan et al. (2020) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

به‌طورکلی افزایش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش بهره‌وری آب شد که با نتایج Zou et al. (2020) مطابقت داشت. Halvorson et al. (2006) گزارش کردند بهره‌وری آب با کاربرد نیتروژن افزایش یافت. بررسی‌های Zheng et al. (2019) نشان داد افزایش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش عملکرد ذرت و بهره‌وری آب شد، اما این افزایش در عملکرد به‌مراتب بیش‌تر از بهره‌وری آب بود.

نتایج نشان داد به‌طورکلی کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد، اما این افزایش برای کم‌آبیاری ۲۵ درصد بیش‌تر از کم‌آبیاری ۵۰ درصد بود که با نتایج Kresović et al. (2016), (Çarpıcı et al. 2017) و Zhang et al. (2017) مطابقت داشت. Zou et al. (2020) در نتایجی مشابه نشان دادند افزایش سطح آبیاری در تیمارهای مشابه کودآبیاری ابتدا باعث افزایش و سپس کاهش بهره‌وری آب شد.

نتایج نشان داد به‌طورکلی جز در مورد تیمار N₁ که باعث افزایش معنی‌دار زیست‌توده و عملکرد در کم‌آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد نسبت به سایر تیمارهای کودی با آبیاری مشابه شد، افزایش نیتروژن تأثیر معنی‌داری روی زیست‌توده و عملکرد دانه ایجاد نکرد. نتایج Gheysari et al. (2009) نشان داد تنش ناشی از کم‌آبیاری یا کاهش زیست‌توده ناشی از نیتروژن کم می‌تواند تا حدی با نیتروژن بیش‌تر و آبیاری بیش‌تر جبران شود، اما این به این معنی نیست که افزایش مصرف نیتروژن روشی مناسب برای جبران کاهش زیست‌توده تحت تنش آبی است. طبق نتایج این بخش می‌توان تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری و کودآبیاری ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار را برای منطقه موردبررسی پیشنهاد داد.

تأثیر تیمارهای آبیاری و نیتروژن بر بهره‌وری آب و نیتروژن

مقادیر بهره‌وری آب آبیاری برای زیست‌توده بین ۴/۹۶ و ۳/۳۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌ترتیب برای تیمارهای I₃N₁ و I₁N₄ و برای عملکرد دانه بین ۲/۷ و ۱/۶۱ کیلوگرم بر مترمکعب به‌ترتیب برای تیمارهای I₂N₁ و I₃N₂ به‌دست آمد (جدول ۴). Zwart & Bastiaanssen (2004) بهره‌وری آب ذرت (مربوط به عملکرد دانه ذرت) را بین ۱/۱ تا ۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند.

Table 4. Irrigation and nitrogen productivity in different irrigation and nitrogen treatments

Irrigation	Nitrogen	Irrigation productivity (kg/m ³)		Nitrogen productivity (kg/kg)	
		Biomass	Grain yield	Biomass	Grain yield
I ₁	N ₁	4.07	2.26	115.12	63.9
	N ₂	4.04	2.22	182.79	100.51
	N ₃	3.45	1.81	390.13	204.93
	N ₄	3.37	1.77	-	-
I ₂	N ₁	4.93	2.7	114.2	62.52
	N ₂	4.27	2.26	158.36	83.79
	N ₃	4.15	2.16	384.52	200.53
	N ₄	3.85	1.83	-	-
I ₃	N ₁	4.96	2.56	89.2	46
	N ₂	3.75	1.61	108	46.26
	N ₃	3.78	1.85	271.84	133.29
	N ₄	3.62	1.69	-	-

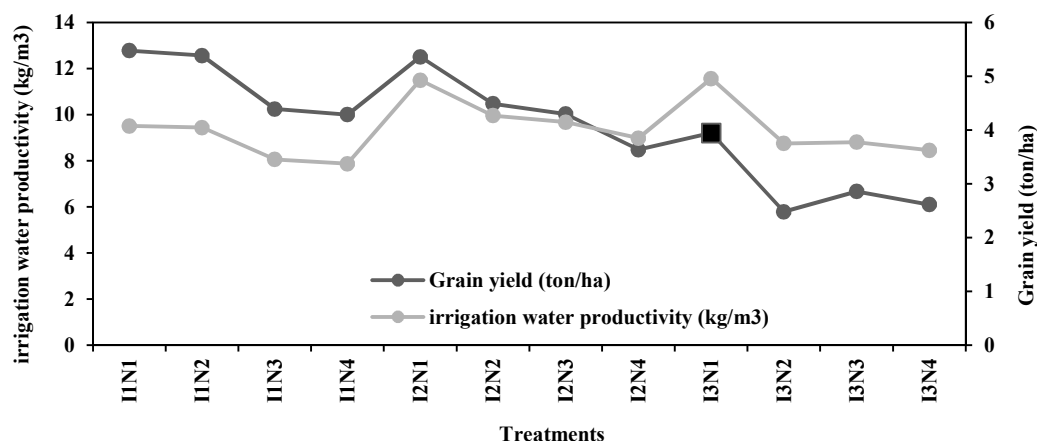


Figure 2. Comparison of irrigation water productivity and grain yield as affected by irrigation and fertilizer treatments

علوفه‌ای بود. به‌طورکلی، کم‌آبایی باعث کاهش زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت شد و نتایج نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیش‌تر عملکرد دانه از کم‌آبایی بود. نتایج هم‌چنین نشان داد کاهش آبیاری به میزان ۲۵ درصد با مقدار یکسان نیتروژن تفاوت معنی‌داری در زیست‌توده و عملکرد دانه ذرت ایجاد نکرد. هم‌چنین با افزایش نیتروژن داده‌شده از تیمار بدون کود تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، زیست‌توده و عملکرد دانه افزایش یافت. مقایسه نتایج نشان داد کاهش نیتروژن اثر کاهشی بیش‌تری روی عملکرد دانه نسبت به زیست‌توده داشت که می‌تواند ناشی از نزدیک‌بودن کودآبایی‌ها به گلدهی و تشکیل دانه باشد. نتایج تجزیه واریانس برای سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن در ذرت نشان داد سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن روی زیست‌توده و عملکرد دانه تأثیر معنی‌دار مثبت داشت و اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن داده‌شده نیز معنی‌دار بود. در مقادیر بالای نیتروژن با افزایش کم‌آبایی عملکرد به میزان کم‌تری کاهش یافت و با کاهش نیتروژن تأثیر کم‌آبایی بر عملکرد شدت یافت. از طرفی اثر کاهشی کم‌شدن نیتروژن داده‌شده بر زیست‌توده و عملکرد دانه با افزایش کم‌آبایی به‌طورکلی افزایش یافت که می‌تواند ناشی از تنش آبی، کاهش رشد ریشه و

بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای مشابه آبیاری با افزایش کودآبایی نیتروژن کاهش یافت. نتایج نشان داد کاهش کاربرد نیتروژن به افزایش بهره‌وری نیتروژن منجر شد که مشابه نتایج *Zhou et al.* (2016) و *Wang et al.* (2017) و *Zou et al.* (2020) بود. هم‌چنین در تیمارهای مشابه کودآبایی، افزایش سطح آبیاری باعث افزایش بهره‌وری نیتروژن شد که مشابه نتایج *Caviglia et al.* (2014)، *Jia et al.* (2014) و *Zou et al.* (2020) است. *Li et al.* (2020) در نتایجی مشابه گزارش کردند بهره‌وری نیتروژن ذرت به‌طورکلی با افزایش مقدار آبیاری افزایش یافت و برای آبیاری قطره‌ای حداکثر آن برابر ۶۲/۱ و ۵۲/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم برای دو سال پیاپی بود. هم‌چنین گرچه مقادیر پایین نیتروژن داده‌شده بهره‌وری نیتروژن را افزایش داد، اما سبب کاهش عملکرد دانه شد. بنابراین تنها مقادیر مناسب کود می‌تواند عملکرد محصول و بهره‌وری کود را تضمین کند.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر کم‌آبایی، کود نیتروژن و اثر متقابل آن‌ها بر زیست‌توده، عملکرد دانه، بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری نیتروژن در ذرت

- Brauman, K.A., Siebert, S., & Foley, J.A. (2013). Improvements in crop water productivity increase water sustainability and food security—a global analysis. *Environmental Research, Lett*, 8, 24030.
- Bremner, J.M., & Keeney, D.R. (1965). Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Analytica Chimica Acta*, 32, 485-495.
- Çarpıcı, E.B., Kuşçu, H., Karasu, A., & Öz, M. (2017). Effect of drip irrigation levels on dry matter yield and silage quality of maize (*Zea mays* L.). *Romanian agricultural research* 7.
- Cassman, K.G. (1999). Ecological intensification of cereal production systems, Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 5952-5959.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, E., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Mare, C., Tondelli, A., & Stanca, M. (2008). Drought tolerance improvement in crop plants, an integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105, 1-4.
- Cavero, J., Jiménez, L., Puig, M., Faci, J.M., & Martínez-Cob, A. (2008). Maize growth and yield under daytime and nighttime solid-set sprinkler irrigation. *Agronomy Journal*, 100, 1573-1579.
- Caviglia, O.P., Melchiori, R.J.M., & Sadras, V.O. (2014). Nitrogen utilization efficiency in maize as affected by hybrid and N rate in late-sown crops. *Field Crops Research*, 168, 27-37.
- Chen, X.P., Cui, Z.L., Vitousek, P.M., Cassman, K.G., Matson, P.A., Bai, J.S. *et al.* (2011). Integrated soil-crop system management for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 6399-6404.
- Chen, X.P., Zhang, F.S., Römhald, V., Horlacher, D., Schulz, R., & Böning-Zilkens, M. (2006). Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved N min method. *Nutr. Cycling Agroecosyst*, 74, 91-98.
- Chen, X.P., Zhang, F.S., Römhald, V., Horlacher, D., Schulz, R., Böning-Zilkens, M. *et al.* (2006). Synchronizing N supply from soil and fertilizer and N demand of winter wheat by an improved N min method. *Nutr. Cycling Agroecosyst*, 74, 91-98.
- Chilundo, M., Joel, A., Wesstrom, I., Brito, R., & Messing, I. (2017). Response of maize root growth to irrigation and nitrogen management strategies in semi-arid loamy sandy soil. *Field Crops Research*, 200, 143-162.

کاهش جذب نیتروژن باشد. نتایج نشان داد. کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد اما این افزایش برای کم‌آبیاری ۲۵ درصد بیش‌تر از کم‌آبیاری ۵۰ درصد بود. در مجموع افزایش نیتروژن داده‌شده باعث افزایش بهره‌وری آب شد. بیش‌ترین بهره‌وری متعلق به تیمار کم‌آبیاری ۲۵ درصد با ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (I_2N_1) بود. بهره‌وری نیتروژن در تیمارهای مشابه آبیاری با افزایش کودآبیاری نیتروژن کاهش یافت. نتایج نشان داد کاهش کاربرد نیتروژن به افزایش بهره‌وری نیتروژن منجر شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان تیمار ۲۵ درصد کم‌آبیاری و کودآبیاری ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار را برای محصول ذرت علوفه‌ای در مزرعه مورد مطالعه پیشنهاد داد.

پی‌نوشت‌ها

- 86502 AZ Water Quality Professional Benchtop Meter (pH/ORP/mV)
- Semi micro-Kjeldahl
- Irrigation water productivity
- Partial factor productivity (PFP)

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Abd El-Wahed, M.H., & Ali, E.A. (2013). Effects of irrigation system, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. *Agricultural Water Management*, 120(31), 64-71.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy*.
- Mekonen, A. (2011). Deficit irrigation practices as alternative means of improving water use efficiencies in irrigated agriculture. Case study of maize crop at Arba Minch, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 6(2), 226-235.

15. Djaman, K., & Irmak, S. (2012). Soil water extraction patterns and crop, irrigation, and evapotranspiration water use efficiency of maize under full and limited irrigation and rainfed settings. *Trans. American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55(4), 223-1238.
16. Djaman, K., Irmak, S., Rathje, W.R., Martin, D.L., & Eisenhauer, D.E. (2013). Maize evapotranspiration, yield production function, biomass, grain yield, harvest index, and yield response factors under full and limited irrigation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 56, 273-293.
17. Dobermann, A. (2005). Nitrogen use efficiency-state of the art. Paper presented at, *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*, Frankfurt Germany, 28-30 June, 2005.
18. El-Hendawy, S.E., Hokam, E.M., & Schmidhalter, U. (2008). Drip irrigation frequency, the effects and their interaction with nitrogen fertilization on sandy soil water distribution, maize yield and water use efficiency under Egyptian conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 180-192.
19. Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., & Arduini, I. (2008). Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy*, 28, 138-147.
20. Fan, J., Zhang, F., Wu, L., Yan, S. & Xiang, Y. (2016). Field evaluation of fertigation uniformity in drip irrigation system with pressure differential tank. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 32(12), 96-101.
21. Fan, T.L., Stewart, B.A., Yong, W., & Luo, J.J. (2005). Long-term fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106, 313-329.
22. Farneselli, M., Benincasa, P., Tosti, G., Simonne, E., Guiducci, M., & Tei, F. (2015). High fertigation frequency improves nitrogen uptake and crop performance in processing tomato grown with high nitrogen and water supply. *Agricultural Water Management*, 154, 52-58.
23. Gheysari, M., Loesch, H.W., Sadeghij, S.H., Mirlatifi, S.M., Zareian, M.J., & Hoogenboom, G. (2015). Water-yield relations and water use efficiency of maize under nitrogen fertigation for semiarid environments, experiment and synthesis. *Advances in Agronomy*, 130, 175-229.
24. Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Bannayan, M., Homae, M., & Hoogenboom, C. (2009). Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural Water Management*, 96, 809-821.
25. Halvorson, A.D., Mosier, A.R., Reule, C.A., & Bausch, W.C. (2006). Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agronomy Journal*, 98, 63-71.
26. He, H., Wang, Z., Guo, L., Zheng, X., Zhang, J., Li, W., & Fan, B. (2018). Distribution characteristics of residual film over a cotton field under long-term film mulching and drip irrigation in an oasis agroecosystem. *Soil & Tillage Research*, 180, 194-203.
27. Hernández, M., Echarte, L., Della Maggiora, A., Cambareri, M., Barbieri, P., & Cerrudo, D. (2015). Maize water use efficiency and evapotranspiration response to N supply under contrasting soil water availability. *Field Crops Research*, 178, 8-15.
28. Howell, T.A. (2001). Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agronomy Journal*, 93(2), 281-289.
29. Ibrahim, M.M., El-Baroudy, A.A., & Taha, A.M. (2016). Irrigation and fertigation scheduling under drip irrigation for maize crop in sandy soil. *International Agrophysics*, 30, 47-55.
30. Igbadun, H.E., Salim, B.A., Tarimo, A.K.P.R., & Mahoo, H.F. (2008). Effects of deficit irrigation scheduling on yields and soil water balance of irrigated maize. *Irrigation Science*, 27, 11-23.
31. Jia, X.C., Shao, L.J., Liu, P., Zhao, B.Q., Gu, L.M., Dong, S.T., Bing, S.H., Zhang, J.W., & Zhao, B. (2014). Effect of different nitrogen and irrigation treatments on yield and nitrate leaching of summer maize (*Zea mays* L.) under lysimeter conditions. *Agricultural Water Management*, 137, 92-103.
32. Kapanigowda, M., Stewart, B.A., Howell, T.A., Kadasrivenkata, H., & Baumhardt, R.L. (2010). Growing maize in clumps as a strategy for marginal climatic conditions. *Field Crops Research*, 118(2), 115-125.
33. Karam, F., Breidy, J., Stephan, C., & Rouphael, J. (2003). Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management*, 63, 125-137.
34. Katerji, N., & Mastroianni, M. (2009). The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops, Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *European Journal of Agronomy*, 30(2), 95-100.

35. Katsvario, T.W., Cox, W.J., Van Es, H.M., & Glos, M. (2003). Spatial yield response of two corn hybrids at two nitrogen levels. *Agronomy Journal*, 95, 1012-1022.
36. Ko, J., & Piccinni, G. (2009). Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. *Agricultural Water Management*, 96(5), 799-808.
37. Kresović, B., Tapanarova, A., Tomić, Z., Životić, L., Vujović, D., Sredojević, Z., & Gajić, B. (2016). Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*, 169, 34-43.
38. Leghari, S.J., Hu, K., Wei, Y., Wang, T., Bhutto, T.A., & Buriro, M. (2021). Modelling water consumption, N fates and maize yield under different water-saving management practices in China and Pakistan. *Agricultural Water Management*, 255, 107033.
39. Li, C., Xiong, Y., Cui, Z., Huang, Q., Xu, X., Han, W., & Huang, G. (2020). Effect of irrigation and fertilization regimes on grain yield, water and nitrogen productivity of mulching cultivated maize (*Zea mays* L.) in the Hetao Irrigation District of China. *Agricultural Water Management*, 232, 106065.
40. Liu, S., Mo, X., Lin, Z., Xu, Y., Ji, J., Wen, G., & Richey, J. (2010). Crop yield responses to climate change in the Huang-Huai-Hai plain of China. *Agricultural Water Management*, 97(8), 1195-1209.
41. Liu, W.Z., & Zhang, X.C. (2007). Optimizing water and fertilizer input using an elasticity index, a case study with maize in the loess plateau of China. *Field Crops Research*, 100, 302-310.
42. Lv, P., Zhang, J.W., Liu, W., Yang, J.S., Su, K., Liu, P. *et al.* (2011). Effects of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of summer maize with super-high yield conditions. *Plant Nutrition and Soil Science*, 17, 852-860.
43. Mamo, M., Malzer, G.L., Mulla, D.J., Huggins, D.R., & Strock, J. (2003). Spatial and temporal variation in economically optimum nitrogen rate for corn. *Agronomy Journal*, 95, 958-964.
44. Mansouri-Far C., Ali, M.S., Sanavy, M., & Saberali, S.F. (2010). Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 12-22.
45. Meng, Q.F., Sun, Q.P., Chen, X.P., Cui, Z.L., Yue, S.C., Ma, W.Q. *et al.* (2012). Alternative cropping systems for sustainable water and nitrogen use in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146, 93-102.
46. Miyachi, Y., Isoda, A., Li, Z.Y., & Wang, P.W. (2012). Soybean cultivation on desert sand using drip irrigation with mulch. *Plant Production Science*, 15, 310-316.
47. Moayeri M., Siadat H., Pazira E., Abbasi F., Kaveh F., & Oweis T.Y. (2011). Assessment of maize water productivity in southern parts of the Karkheh river basin, Iran. *World Applied Sciences Journal*, 13(7), 1586-1594.
48. Moser, S., Feil, B., Jampatong, S., & Stamp, P. (2006). Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural Water Management*, 81, 41-58.
49. Nicoullaud, B., King, D., & Tardieu, F. (1994). Vertical distribution of maize roots in relation to permanent soil characteristics. *Plant Soil*, 159, 245-254.
50. Norwood, C.A. (2000). Water use and yield of limited-irrigated and dryland corn. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 365-370.
51. Pandey, R.K., Maranville, J.W., & Admou, A. (2000). Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agricultural Water Management*, 46, 1-13.
52. Paredes, P., de Melo-Abreu, J.P., Alves, I., & Pereira, L.S. (2014). Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. *Agricultural Water Management*, 144, 81-97.
53. Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D., & Petersen, J.L. (2009). Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agricultural Water Management*, 96, 1387-1397.
54. Roth, G.D., Undersander, M.A., Ford, S., Harrison, J., & Hunt, C. (1995). Corn silage production, management, and feeding. *American Society of Agronomy*, Madison, WI., NCR574.
55. Rusere, F., Soropa, G., Svubure, O., Gwatibaya, S., Oyo, D., Ndeketya, A., & Mavima, G.A. (2012). Effects of deficit irrigation on winter silage maize production in Zimbabwe. *International Research Journal of Plant Science*, 3(9), 188-192.
56. Shangguan, Z.P., Shao, M.A., & Dyckmans, J. (2000). Nitrogen nutrition and water stress effects on leaf photosynthetic gas exchange and water use efficiency in winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 44, 141-149.

57. Sheaffer, C.C., Halgerson, J.L., & Jung, H.G. (2006). Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192, 278-283.
58. Sivakumar, M.V.K. (2021). Climate change and water productivity. *Water Productivity Journal (WPJ)*, 1(3), 1-12.
59. Tiwari, K.N., Singh, A., & Mal, P.K. (2003). Effect of drip irrigation on yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) under mulch and non-mulch conditions. *Agricultural Water Management*, 58, 19-28.
60. USDA. (2011). Grain, World markets and trade. Foreign Agriculture Service, Circular Series FG 09-11. Foreign Agricultural Service, United States Department of Agriculture.
61. Varinderpal-Singh, Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, Thind, H.S., Kumar, A., & Vashistha, M. (2011). Calibrating the leaf colour chart for need based fertilizer nitrogen management in different maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Field Crops Research*, 120, 276-282.
62. Wang, F.X., Wu, X.X., Shock, C.C., Chu, L.Y., Gu, X.X., & Xue, X. (2011). Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield and quality under plastic mulch in arid Northwestern China. *Field Crops Research*, 122, 78-84.
63. Wang, Y., Janz, B., Engedal, T., & Neergaard, A.D. (2017). Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize. *Agricultural Water Management*, 179, 271-276.
64. Wang, Y., Kang, S., Li, F., & Zhang, X. (2021). Modified water-nitrogen productivity function based on response of water sensitive index to nitrogen for hybrid maize under drip fertigation. *Agricultural Water Management*, 245, 106566.
65. Wang, Z., Zhang, W., Beebout, S.S., Hao, Z., Liu, L., Yang, J., & Zhang, J. (2016). Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. *Field Crops Research*, 193, 54-69.
66. Yan, F., Zhang, F., Fan, X., Fan, J., Wang, Y., Zou, H., Wang, H., & Li, G. (2021). Determining irrigation amount and fertilization rate to simultaneously optimize grain yield, grain nitrogen accumulation and economic benefit of drip-fertigated spring maize in northwest China. *Agricultural Water Management*, 243, 106440.
67. Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Paw U, K.T., Zheng, J., Qiang, S., Guo, J., Zou, H., Xiang, Y., & Wu, L. (2020). A sustainable strategy of managing irrigation based on water productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121279.
68. Yazar, A., Howell, T.A., Dusek, D.A., & Copeland, K.S. (1999). Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. *Irrigation Science*, 18, 171-180.
69. Zhang, G.Q., Liu, C.W., Xiao, C.H., Xie, R.Z., Ming, B., Hou, P., Liu, G.Z., Xu, W.J., Shen, D.P., Wang, K.R., & Li, S.K. (2017). Optimizing water use efficiency and economic return of super high yield spring maize under drip irrigation and plastic mulching in arid areas of China. *Field Crops Research*, 211, 137-146.
70. Zhao, R.F., Chen, X.P., Zhang, F.S., Zhang, H.L., Schroder, J., & Römheld, V. (2006). Fertilization and nitrogen balance in a wheatmaize rotation system in North China. *Agronomy Journal*, 98, 938-945.
71. Zheng, H., Ying, H., Yin, Y., Wang, Y., He, G., Bian, Q., Cui, Z., & Yang, Q. (2019). Irrigation leads to greater maize yield at higher water productivity and lower environmental costs, a global meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 273, 62-69.
72. Zhou, B., Sun, X., Ding, Z., Ma, W., & Zhao, M. (2017). Multisplit Nitrogen Application via Drip Irrigation Improves Maize Grain Yield and Nitrogen Use Efficiency. *Crop Science*, 57, 1687-1703.
73. Zou, H., Fan, J., Zhang, F., Xiang, Y., Wu, L., & Yan, S. (2020). Optimization of drip irrigation and fertilization regimes for high grain yield, crop water productivity and economic benefits of spring maize in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 230, 105986.
74. Zou, Y., Saddique, Q., Ali, A., Xu, J., Khan, M.I., Qing, M., Azmat, M., Cai, H., & Siddique, K.H.M. (2021). Deficit irrigation improves maize yield and water use efficiency in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 243, 106483.
75. Zwart, S.J., & Bastiaanssen, W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69, 115-133.