

Comparison of the effect of different methods and levels of irrigation and fertilization on the yield and morphophysiological characteristics of fodder maize

Zhaleh Zarei¹, Hassan Heidari^{2*}, Saeid Jalali-Honarmand³, Ali Bafkar⁴

1. Ph.D Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran (Email: heidari1383@gmail.com)
3. Associate Professor, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
4. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

Citation: Zarei, Z., Heidari, H., Honarmand, S.J., & Bafkar, A., (2023) Comparison of the effect of different methods and levels of irrigation and fertilization on the yield and morphophysiological characteristics of fodder maize. *Plant Productions*, 46(3), 411-426.

Abstract

Introduction

Improper management of irrigation and fertilizing methods cause large amounts of chemical fertilizers to be removed from the reach of plants and enter water sources through leaching.

Materials and Methods

The research was conducted in the Research Farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources of Razi University. The experiment was carried out in two crop years (2020-2021) and factorial in the randomized complete block design with three replicates. Experimental treatments included four levels of irrigation (wick irrigation, furrow irrigation with 50, 70, and 100% of the plant's water requirement) and two levels of nitrogen fertilizer (50 and 100% of the recommended fertilizer through urea). In the wick irrigation method, fertilizer was provided to the plant through tanks and in solution. While in the furrow irrigation method, fertilizer was used as topdressing. The amount of urea fertilizer required for each treatment was calculated based on the soil test. CROPWAT 8.0 program and Penman-Monteith method were used to calculate the volume of water consumption and potential evapotranspiration (ET_o). The studied traits included number of nodes, internode length, number of yellow leaves, number of green leaves, total number of leaves, plant height, ear height, stem diameter, leaf area, leaf area index, specific leaf weight, fresh fodder yield, dry fodder yield, water consumption, the relationship between water consumption and fresh fodder yield, and the relationship between water consumption and dry fodder yield. Data were compared using LSD test at the 5% probability level.

* **Corresponding Author:** Hassan Heidari
E-mail: heidari1383@gmail.com



Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the number of yellow leaves, ear height, leaf area index, leaf area, specific leaf weight, fresh forage yield, and dry forage yield were affected by year, fertilizer, and irrigation treatments. The interaction effect of fertilizer and irrigation on the total number of leaves, stem diameter, and plant height was significant. The mean comparison showed that wick irrigation with 100% fertilizer consumption had the highest stem diameter and plant height at the 5% probability level. In each year, there was a slight difference between the treatments in terms of dry fodder yield. In the first year, wick irrigation with 100% fertilizer had higher dry fodder yield compared to furrow irrigation with 50% water consumption and 50 or 100% fertilizer consumption and wick irrigation with 50% fertilizer consumption. In the second year, wick irrigation with 100% fertilizer consumption was superior to furrow irrigation with 70% water consumption and 100% fertilizer consumption and furrow irrigation with 50% water and 50% fertilizer consumption. In the first year, furrow irrigation with 100% water consumption and 100% fertilizer and wick irrigation with 100% fertilizer had more leaf area index than other treatments. The water consumption in the wick irrigation method was less than that of the furrow irrigation with 70% of the plant's water requirement. The reduction of water consumption in the wick method can be due to the reduction of the wet surface of the soil, which reduces evaporation, because this irrigation method spreads water on a limited surface.

Conclusion

In total, wick irrigation with 50% fertilizer consumption was recommended as the best treatment due to the saving in water (58%) and fertilizer. Although wick irrigation has a higher cost than furrow irrigation, but due to the dry climate of Iran and the high value of water, this irrigation method is useful.

Keywords:: Capillary irrigation, Fertigation, Forage yield, Leaf area, Toppdressing

مقایسه تاثیر روش‌ها و سطوح مختلف آبیاری و کوددهی بر عملکرد و ویژگی‌های مورفیز یولوژیک ذرت علوفه‌ای

ژاله زارعی^۱، حسن حیدری^{۲*}، سعید جلالی هنرمند^۳، علی بافکار^۴

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۲- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۳- دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
- ۴- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

چکیده

مدیریت نادرست آبیاری و شیوه‌های نامناسب کوددهی باعث می‌شود تا سالانه مقادیر زیادی از کودهای شیمیایی از طریق آب‌شویی از دسترس گیاهان خارج و وارد منابع آبی گردد. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به روش فاکتوریل با چهار سطح آبیاری (آبیاری فیتله‌ای، آبیاری جویچه‌ای ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آب گیاه) و دو سطح کود نیتروژن (۵۰ و ۱۰۰ درصد کود توصیه شده بصورت کود اوره) با سه تکرار در دانشگاه رازی کرمانشاه طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. در روش آبیاری فیتله‌ای کود از طریق مخزن‌ها و بصورت محلول در اختیار گیاه قرار گرفت. درحالیکه در روش آبیاری جویچه‌ای کود بصورت سرک در سطح خاک پخش شد. میزان کود اوره مورد نیاز برای هر تیمار براساس آزمون خاک محاسبه شد. برای محاسبه حجم آب مصرفی و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET₀) از برنامه CROPWAT 8.0 و روش پنمن-مانتیت استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد برگ زرد، ارتفاع بلال از سطح خاک، شاخص سطح برگ، وزن مخصوص برگ، عملکرد علوفه تازه و خشک تحت تاثیر اثر سال و تیمارهای آبیاری و کود قرار گرفتند. اثرات متقابل آبیاری و کود نیز بر تعداد کل برگ، قطر ساقه و ارتفاع گیاه معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که بیشترین قطر ساقه و ارتفاع گیاه در کود آبیاری فیتله‌ای با مصرف ۱۰۰ درصد کود و در سطح احتمال ۵ درصد بدست آمد. در هر سال تفاوت کمی بین تیمارها از نظر عملکرد علوفه خشک دیده شد. در سال اول آبیاری فیتله‌ای با کود ۱۰۰ درصد نسبت به آبیاری جویچه‌ای با مصرف ۵۰ درصد آب و مصرف ۵۰ یا ۱۰۰ درصد کود و آبیاری فیتله‌ای با مصرف ۵۰ درصد آب و مصرف ۷۰ درصد کود و آبیاری جویچه‌ای با مصرف ۵۰ درصد کود برتری داشت. همچنین بیشترین شاخص سطح برگ به تیمارهای آبیاری جویچه‌ای ۱۰۰ - کود ۱۰۰ و آبیاری فیتله‌ای - کود ۱۰۰ درصد در سال اول تعلق داشت. مصرف آب در روش آبیاری فیتله‌ای کم‌تر از آبیاری جویچه‌ای با ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. کاهش مصرف آب در روش فیتله‌ای می‌تواند باعث کاهش سطح خیس خاک باشد که باعث کاهش تبخیر می‌گردد، زیرا در این روش آبیاری، آب در سطح

* نویسنده مسئول: حسن حیدری

رایانامه: heidari1383@gmail.com

محدودی پخش می‌گردد. در مجموع، آبیاری فنیله‌ای با ۵۰ درصد مصرف کود بعلت صرفه‌جویی در مصرف آب (به مقدار ۵۸ درصد) و کود بعنوان تیمار برتر توصیه گردید. هرچند آبیاری فنیله‌ای هزینه بالاتری نسبت به آبیاری جویچه-ای دارد اما بعلت اقلیم خشک کشور و ارزش بالای آب، استفاده از این روش آبیاری مفید است.

کلید واژه‌ها: آبیاری موئینگی، سطح برگ، عملکرد علوفه، کود سرک، کود آبیاری

مقدمه

گیاه قرار گیرد و تلفات کود را از طریق آبخوبی به آب‌های زیرزمینی کاهش دهد (Gardenas et al., 2005). آبیاری موئینگی به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های آبیاری در کشاورزی، جهت صرفه‌جویی در مصرف آب مورد توجه قرار گرفته است. این امر به دلیل راندمان بالای آن در روش تامین آب است که مزایای زیادی را به خصوص در مناطقی که دارای آب محدود هستند، به همراه دارد. این روش از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده می‌کند زیرا می‌تواند آب را مستقیماً به ناحیه ریشه برساند (Idham et al., 2018). آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) یک روش آبیاری است که با قرار دادن مستقیم آب در ناحیه ریشه و به‌حداقل رساندن تبخیر، قابلیت صرفه‌جویی در مصرف آب مواد غذایی را دارد (Morianou et al., 2023). در یک بررسی روی ذرت چهار سطح آبیاری (۱/۶، ۱/۸، ۱/۱۰ و ۱/۲) از تبخیر و تعرق محصول و دو دوره کود آبیاری (با استفاده از نرخ توصیه شده کود در ۶۰ و ۸۰ درصد زمان آبیاری) به روش آبیاری قطره‌ای مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش مقدار آب آبیاری و دوره مصرف کود باعث افزایش رشد رویشی و عملکرد شد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمار ۱/۲ و ۱/۶ تبخیر و تعرق به دست آمد. تیمار ۱/۸ تبخیر و تعرق محصول با مصرف کود در ۸۰ درصد زمان آبیاری بیش‌ترین بهره‌وری آب (۱/۶۳۱ کیلوگرم در متر مکعب) را به همراه داشت و ۲۷ درصد آب آبیاری را نسبت به تیمار شاهد صرفه‌جویی کرد (Ibrahim et al., 2016). در پژوهش دیگر اثرات کود آبیاری نیتروژن بر عملکرد و پارامترهای کیفیت مانند نیتروژن ذرت سیلویی به‌عنوان محصول دوم مورد بررسی دادند. تیمارهای آزمایشی شامل پنج نرخ مختلف (صفر، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن) از طریق سیستم کود آبیاری بود. نتایج آنها نشان داد که نرخ‌های فعلی نیتروژن اعمال شده از طریق

در بین غلات، ذرت (*Zea mays* L.) یکی از رایج‌ترین و پرکشت‌ترین محصولات است و توانایی زیادی در سازگاری با محیط‌های مختلف آب و هوایی و خاک دارد (Halli et al., 2021). به طوریکه به‌عنوان ملکه غلات به دلیل بهره‌وری بالاتر شناخته شده است. از آنجایی که ذرت گیاهی با نیاز آب و مواد غذایی بالایی است، مدیریت صحیح این منابع کلید رشد موفق ذرت است. این درحالی است که پتانسیل تولید ذرت تحت شرایط آبیاری به‌طور کامل محقق نشده است. این ممکن است به دلیل مدیریت نادرست منابع مانند مواد غذایی و آب باشد (Khanna et al., 2018). به طور کلی رشد و عملکرد ذرت به‌طور مستقیم وابسته به آب و نیتروژن است (Pazhoohideh et al., 2022). اثرات نیتروژن بر رشد گیاهان و نقش مهم آن‌ها در فعالیت گیاهی کاملاً شناخته شده است (Pourreza, 2017). کودهای شیمیایی در کشور ایران عمدتاً به روش پخش سطحی مصرف می‌شود. مصرف کودهای شیمیایی مطابق این روش، زمان کافی را برای انجام واکنش‌های هدر رفت فراهم نموده و سرانجام از قابلیت جذب آنها توسط ریشه گیاه می‌کاهد (Karimi et al., 2007). بنابراین بهبود عملکرد محصول می‌تواند تقاضای پیش‌بینی شده در کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه را به‌عنوان یک راه حل کلیدی و امیدوارکننده برآورده کند (Rahimi-Moghaddam and Eyni, 2022). توسعه فن‌آوری کود آبیاری یک تکنیک جدید برای تولید محصول با کارایی و عملکرد بالا است (Wang and Xing, 2017). کود آبیاری را می‌توان برای انواع نباتات زراعی، باغی و همچنین انواع سامانه‌های آبیاری از جمله تحت فشار و سطحی به کار برد (Asadi and Shahinroksar, 2019). کود آبیاری اجازه می‌دهد تا مواد مغذی به‌صورت کنترل شده در نزدیکی ریشه‌های

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی انجام شد. منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا واقع شده است. این آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی به روش فاکتوریل با چهار سطح آبیاری (آبیاری فیله‌ای (W)، آبیاری جویچه‌ای (F) با ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و دو سطح کود نیتروژن (N) (۵۰ و ۱۰۰ درصد کود توصیه شده بصورت کود اوره) اجرا شد. میزان کود اوره مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس آزمون خاک محاسبه شد (جدول ۲). روش کوددهی به دو روش کود آبیاری (داخل مخزن‌های آبیاری فیله‌ای) و کود سرک (بصورت نواری پای بوته‌ها در آبیاری جویچه‌ای) بود. در هر دو روش کوددهی، مقدار کود محاسبه شده به ترتیب ۳۰، ۴۵ و ۷۰ روز پس از ظهور گیاهچه استفاده شد. برای محاسبه حجم آب مصرفی و تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o) از برنامه CROPWAT 8.0 و روش پنمن-مانیت استفاده شد. پارامترهای اصلی ورودی این برنامه داده‌های هواشناسی، داده‌های محصول و داده‌های خاک هستند. داده‌های آب و هوا شامل: رطوبت نسبی، سرعت باد، بارندگی، حداکثر و حداقل دما و تابش خورشید یا ساعات آفتابی است. بدین منظور از داده‌های ایستگاه هواشناسی مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشکده کشاورزی دانشگاه رازی استفاده شد (جدول ۱). سپس با استفاده از ضریب گیاهی (K_c) برای ذرت در دوره‌های مختلف رشد، تبخیر و تعرق گیاه مطابق معادله (۱) بدست آمد:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

در این رابطه ET_c: تبخیر و تعرق روزانه گیاه (mm/day)، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day) و K_c: ضریب گیاهی روزانه ذرت با استفاده از دستورالعمل نشریه فائو ۵۶ تعیین شد که شامل مرحله ابتدایی (۰/۱۵)، مرحله توسعه (۰/۵۶)، مرحله میانی (۱/۱۵) و مرحله پایانی (۰/۳۵) بود.

سیستم کود آبیاری اثرات قابل توجهی بر عملکرد علوفه سبز و عملکرد ماده خشک داشت. اثر تیمارهای نیتروژن بر ارتفاع بوته، ارتفاع بلال، تعداد بلال و ضخامت ساقه معنی‌دار بود (Demir *et al.*, 2020). برگ‌ها مهم‌ترین اندام‌های فتوسنتزکننده برای گیاه هستند. افزایش شاخص سطح برگ سبب می‌شود گیاه میزان فتوسنتزی بیش‌تری را به سبب استفاده بیش‌تر از نور خورشید تولید کند (Farid *et al.*, 2018). گیاهان در طول روز تحت آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای، وضعیت آماس را حفظ می‌کنند. امکان باز شدن وسیع روزنه‌ها برای مدت طولانی‌تر وجود دارد که ممکن است منجر به تبادل زیاد گازها شود. به‌طور مشابه، برگ‌ها ممکن است کدر باقیمانده و سطح برگ بیش‌تری تولید کنند، بنابراین جذب نور خورشید و تشعشعات خورشیدی بیشتر تسهیل می‌شود (Fanish *et al.*, 2011). علاوه‌براین هنگامی که محتوای آب خاک مناسب باشد، افزایش مقدار کود می‌تواند به‌طور قابل توجهی باعث رشد گیاه، بهبود شاخص سطح برگ، به تاخیر انداختن پیری برگ، افزایش ذخیره تجمع عناصر غذایی ریشه، ساقه و برگ و افزایش تعداد دانه و بهبود دانه شود (Xiao *et al.*, 2021). ریزش زود رس برگ به دلیل کمبود نیتروژن که پتانسیل فتوسنتز گیاه را کاهش می‌دهد، می‌تواند از دلایل اصلی کاهش رشد رویشی در سطوح پایین نیتروژن باشد (Seghatoleslami *et al.*, 2012). گزارش شده است گیاهانی که با نیتروژن کوددهی شده‌اند، در مقایسه با گیاهانی که با کمبود نیتروژن در خاک مواجه هستند، برگ‌ها بشدت سبز رنگ هستند (Paschalidis *et al.*, 2015). گزارش شده است که وقتی رطوبت کافی در تمام مراحل رشد گیاهان مهیا باشد، در مقایسه با تیمارهای تنش آبی که در آن گیاهان تحت تنش قرار می‌گیرند، سلول‌های گیاه کشیده می‌شوند و به اندازه کامل خود می‌رسند (Laskari *et al.*, 2010; Song *et al.*, 2022). با توجه به تحقیقات قبلی، هدف کلی این مقاله، بررسی امکان حداکثر صرفه‌جویی در مصرف آب و کود با تعیین بهترین سطح و روش آبیاری و تعیین مناسب‌ترین سطح کوددهی جهت تولید مناسب‌ترین سطح عملکرد ذرت علوفه‌ای بود.

Table 1. Some meteorological parameters of the studied site during the maize growing season.

Year	Time	Temperature (°C)		Humidity (%)		Wind Speed (mph)	
		Max	Min	Max	Min	Max	Min
2020	May	33.5	3.7	75.0	20.0	16.1	0.45
	June	37.6	9.8	39.0	4.0	16.8	0.46
	July	42.7	13.1	31.0	6.0	15.9	0.06
	August	42.2	14.3	31.0	4.0	14.8	0.00
	September	37.8	11.5	29.0	4.0	15.7	0.00
2021	May	36.3	5.5	50.0	9.0	17.2	0.00
	June	42.3	9.8	31.0	3.0	18.2	0.00
	July	41.3	15.3	22.0	3.0	17.7	0.00
	August	42.6	15.8	28.0	5.0	19.06	0.00
	September	39.7	10.4	25.0	3.0	18.5	0.00

Table 2. Some physical and chemical characteristics of the soil of the experimental site (0-30 cm depth).

Year	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	Texture	Field Capacity (%)	Wilting point (%)	pH	EC (ds.m-1)	Total Nitrogen	OC (%)	OM (%)
2020	14.40	44.00	41.60	Silty-Clay	40.90	26.30	7.95	0.36	0.12	1.20	2.08
2021	19.40	37.20	43.40	Silty-Clay-Loam	39.40	23.80	7.36	0.82	0.21	2.11	3.63

یک سیستم بصورت ابداعی طراحی و اجرا شد. در سیستم آبیاری فنیله‌ای از دو مخزن آب (یکی برای کود ۱۰۰ و دیگری برای کود ۵۰ درصد)، فنیله‌های نخی، شلنگ جهت انتقال آب از مخزن به پای بوته و رابط استفاده شد. بدین منظور یک شلنگ اصلی از مخزن تا نزدیک پلات‌ها تعبیه شد، سپس از شلنگ اصلی چندین انشعاب برای هر بوته در نظر گرفته شد که فنیله‌ها در کنار هر بوته و داخل شلنگ‌های فرعی قرار داده شد. به منظور جلوگیری از هزینه‌های مضاعف، فنیله‌ها در محل ریشه نصب گردید. مخزن‌ها هر دو روز یکبار از آب پر شدند. در هر مرحله کوددهی به روش کود آبیاری، کود اوره به داخل مخزن‌ها اضافه شد و بطور کامل با آب داخل مخزن هم زده شد. در طول آزمایش تمامی مراحل داشت از جمله کنترل علف‌های هرز بصورت دستی انجام شد. پس از پایان آزمایش صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری قطر ساقه از کولیس استفاده شد. صفات دیگر نیز شامل تعداد برگ در بوته، تعداد گره در بوته و طول میانگره بود.

در اواخر فروردین ماه زمین مورد نظر شخم و بعداز دیسک زدن توسط فاروئر جوی و پشته ایجاد گردید. سپس تکرارها مشخص و کرت‌بندی انجام شد. فاصله بین بلوک‌ها و کرت‌های آزمایشی از یکدیگر ۲ متر و ابعاد هر کرت ۲/۵ در ۲ متر بود. در هر کرت ۵ ردیف به فاصله ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بعداز آماده‌سازی زمین، از قسمت‌های مختلف کرت‌ها بصورت تصادفی نمونه‌های خاک جمع‌آوری و جهت بررسی نیازهای غذایی و تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه منتقل و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۲). اواسط اردیبهشت ماه دانه‌های ذرت بصورت دستی در ردیف‌های با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف کشت گردید. از رقم ذرت سینگل کراس ۷۰۴ مغان مناسب با شرایط آب و هوایی منطقه استفاده شد. از ابتدای کاشت تا سبز شدن دانه‌ها، آبیاری بطور یکسان در تمام کرت‌ها انجام شد. پس از سبز شدن و ظهور گیاهچه تیمارهای آزمایشی اعمال شدند. برای این آزمایش سیستم آبیاری فنیله‌ای و آبیاری جویچه‌ای طراحی و اجرا گردید. جهت اجرای آبیاری جویچه‌ای، از روش جوی و پشته‌ای مرسوم در منطقه استفاده شد. مقدار آب اعمال شده در دور آبیاری به کمک کنتور اندازه‌گیری و ثبت شد. دور آبیاری براساس نیاز آبی هر هفت روز یکبار در نظر گرفته شد. برای اجرای آبیاری فنیله‌ای

ارتفاع بوته و بلال از سطح خاک

جهت اندازه‌گیری ارتفاع بلال از سطح خاک، فاصله بین سطح خاک و گره ایجاد بلال در نظر گرفته شد. اگر یک گیاه بیش از یک بلال داشت، ارتفاع در نظر گرفته شده یکی از بلال‌های فوقانی خواهد بود. ارتفاع بوته نیز بین سطح خاک و نوک تاسل در نظر گرفته شد (Abadassi et al., 2015).

سطح برگ

در مرحله گلدهی که سطح برگ در بالاترین مقدار می‌باشد، برگ‌ها از ساقه جدا و برای اندازه‌گیری طول و عرض برگ به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس با استفاده از معادله ۲ سطح برگ (LA) محاسبه شد (Fakoredet and Mock, 1980).

$$LA = 0.75 \times \text{طول برگ} \times \text{عرض برگ} = LA \quad (2)$$

که در این معادله، سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع در بوته و عرض برگ و طول برگ بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

شاخص سطح برگ

پس از محاسبه سطح برگ و سطح زمین اشغال شده توسط بوته، شاخص سطح برگ بر اساس معادله ۳ بدست آمد (Fakoredet and Mock, 1980).

$$LAI = LA/A \quad (3)$$

که LAI: شاخص سطح برگ، LA: سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته)، A: سطح زمین (سانتی‌متر مربع) می‌باشد.

وزن مخصوص برگ

پس از محاسبه وزن خشک و سطح برگ، بر اساس معادله زیر وزن مخصوص برگ محاسبه گردید (Fakoredet and Mock, 1980):

$$SLW = LDW/LA \quad (4)$$

که SLW: وزن مخصوص برگ (گرم بر سانتی‌متر مربع)، LDW: وزن خشک برگ (گرم در بوته)، LA: سطح برگ (سانتی‌متر مربع) می‌باشد.

عملکرد علوفه

در مرحله گلدهی که بوته‌ها در بالاترین میزان ماده خشک هستند، از هر کرت ۵ بوته به صورت تصادفی انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس برگ و ساقه‌ها از هم جدا و با استفاده از ترازوی دیجیتال وزن تازه اندازه‌گیری شد. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت داخل آون قرار داده شد تا به وزن خشک برسد. در پایان وزن خشک نیز اندازه‌گیری شد.

ارزیابی اقتصادی

جهت ارزیابی اقتصادی هر یک از سیستم‌های آبیاری، هزینه‌های ثابت و متغیر به تفکیک محاسبه و نتیجه نهایی آن در جدول ۹ ارائه شد. هزینه‌های ثابت از جمله بذر مصرفی، شخم، دیسک، فاروئر و علف‌کش برای هر دو سیستم برابر در نظر گرفته شد. اما هزینه‌های متغیر شامل نیروی کار، هزینه آب مصرفی و هزینه احداث و راه‌اندازی سیستم آبیاری فیتله‌ای به صورت جداگانه محاسبه شد.

بر اساس اطلاعات ارائه شده از مرکز آمار ایران، در سال ۱۴۰۰ هر کیلوگرم علوفه ذرت ۶۸۶ تومان از کشاورز خریداری شده است. سپس قیمت بر اساس ارزش دلار محاسبه گردید. در نهایت درآمد ناخالص و خالص با استفاده از معادله‌های زیر بدست آمد.

$$GI = GY \times PK \quad (5)$$

$$NI = GI - TC \quad (6)$$

که GI درآمد ناخالص، GY مقدار محصول اصلی، PK قیمت هر کیلوگرم علوفه، NI درآمد خالص و TC کل هزینه‌ها.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver 9.0)، مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون LSD و ترسیم نمودارها با نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد گره و طول میانگره

تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال و اثر بلوک (سال) بر تعداد گره و اثر ساده آبیاری بر طول میانگره معنی‌دار شد ($p < 0.01$) (جدول ۳). با توجه به مقایسه میانگین اثر ساده آبیاری، آبیاری فیتله‌ای و جویچه‌ای ۱۰۰ درصد طول میانگره بیش‌تری نسبت به آبیاری جویچه‌ای ۵۰ و ۷۰ درصد داشتند (شکل ۱). تعداد گره یک صفت ژنتیکی است به همین دلیل تحت تاثیر شرایط محیطی قرار نمی‌گیرد. اما طول میانگره تحت تاثیر رشد سلول‌ها است، بنابراین حفظ رطوبت کافی در آبیاری فیتله‌ای و تامین آب در حد نیاز گیاه در آبیاری جویچه‌ای ۱۰۰ درصد باعث تورم سلول‌ها و در نتیجه رشد طولی ساقه شد.

تعداد برگ زرد، سبز و کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بین سال، کود و آبیاری بر تعداد برگ زرد ($p < 0.01$) و سبز ($p < 0.01$) و اثر

تعداد برگ یک صفت ژنتیکی است و کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد.

این ممکن است به دسترسی بهتر مواد غذایی تحت استفاده از کودهای محلول در آب نسبت داده شود که منجر به ویژگی رشد بهتر یا همتراز با سطوح کوددهی کم در خاک می‌شود (Bibe *et al.*, 2016). همبستگی بالایی بین غلظت نیتروژن برگ و محتوای کلروفیل برگ که رنگ سبز برگ را نشان می‌دهد، وجود دارد (Bhupenchandra *et al.*, 2021).

متقابل کود و آبیاری بر تعداد کل برگ ($p < 0.01$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین تعداد برگ زرد مربوط به تیمار $F_{70}N_{100}$ در سال اول و کم‌ترین تعداد برگ زرد مربوط به $F_{100}N_{50}$ (سال اول) و تمام تیمارهای سال دوم بجز $F_{50}N_{50}$ بود. از نظر تعداد برگ سبز مشاهده شد که تیمار $F_{70}N_{100}$ نسبت به بقیه تیمارها بجز WN_{50} تعداد برگ سبز کمتری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثر دو گانه کود و آبیاری نشان داد که بین تیمارها اختلاف کمی از نظر تعداد کل برگ وجود داشت ولی تیمار $F_{100}N_{100}$ نسبت به $F_{70}N_{50}$ و $F_{100}N_{50}$ تعداد کل برگ بیشتری داشت (شکل ۲).

Table 3. The combined variance analysis of the effect of fertilizer and irrigation on the morphological characteristics of maize over two years.

S.O.V	df	Number of nodes	Internode length	Number of yellow leaves	Number of green leaves	Total number of leaves	Stem diameter	Plant height	Ear height
Year (Y)	1	13.33**	1.03 ^{ns}	11.75***	1.88 ^{ns}	4.23**	29.25**	1678.38**	7163.85**
Block (year)	4	16.28**	25.17**	2.99***	0.56 ^{ns}	1.48*	4.77**	505.59**	480.72**
Nitrogen (N)	1	0.63 ^{ns}	8.11*	1.41*	0.08 ^{ns}	2.18*	4.30**	713.02**	2.43 ^{ns}
Irrigation (I)	3	0.15 ^{ns}	19.22**	1.87**	1.65 ^{ns}	0.04 ^{ns}	9.74**	1484.10**	408.40**
Y×N	1	0.63 ^{ns}	1.97 ^{ns}	0.37 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.85 ^{ns}	29.29 ^{ns}	182.91**
Y×I	3	0.79 ^{ns}	3.27 ^{ns}	3.57***	0.91 ^{ns}	0.99 ^{ns}	0.45 ^{ns}	302.93*	17.82 ^{ns}
N×I	3	0.5 ^{ns}	1.5 ^{ns}	1.84**	0.78 ^{ns}	1.15*	2.25*	238.48*	134.92**
Y×N×I	3	1.05 ^{ns}	3.86 ^{ns}	1.97***	4.63**	0.66 ^{ns}	0.17 ^{ns}	141.45 ^{ns}	104.13**
Error	28	3.12	1.84	0.19	0.70	0.36	0.55	71.15	22.25
CV (%)		11.97	8.97	19.25	7.10	4.23	8.95	4.43	5.29

ns, *, ** and ***: Non significant and significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability level, respectively.

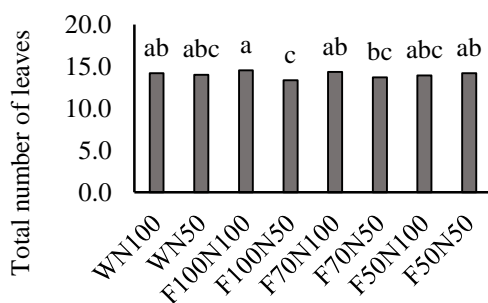


Figure 2. Mean comparison of the interaction of fertilizer and irrigation on maize total number of leaves. Means with at least one similar letter are not significantly different at a 5% probability level using LSD Test. W (wick irrigation), F_{100} (Furrow irrigation 100%), F_{70} (Furrow irrigation 70%), F_{50} (Furrow irrigation 50%). N_{100} (Nitrogen 100%), N_{50} (Nitrogen 50%).

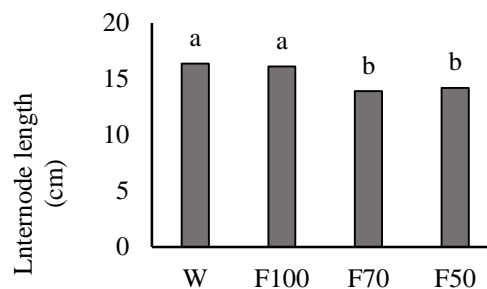


Figure 1. Mean comparison of the simple effect irrigation on internode length of maize. Means with at least one similar letter are not significantly different at a 5% probability level using LSD Test. W (wick irrigation), F_{100} (Furrow irrigation 100%), F_{70} (Furrow irrigation 70%), F_{50} (Furrow irrigation 50%).

برگ‌ها را به دنبال خواهد داشت (Yousefzadeh and Piryaei, 2022). بنابراین تنش کم آبی سرعت رشد را کاهش داده و در نتیجه، کاهش جذب در طول فصل رشد منجر به کاهش تجمع ماده خشک در مریستم بین کالری ساقه و در نتیجه کاهش قطر ساقه شده است (Moosavi, 2012). تحت شرایط رطوبتی مناسب (آبیاری فنیله‌ای) سطح برگ افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه نیتروژن جز اصلی کلروفیل برگ می‌باشد بنابراین فعالیت‌های فتوسنتزی بهبود یافته و این امر می‌تواند تاثیر مثبتی بر صفات مورفولوژیک گیاه داشته باشد.

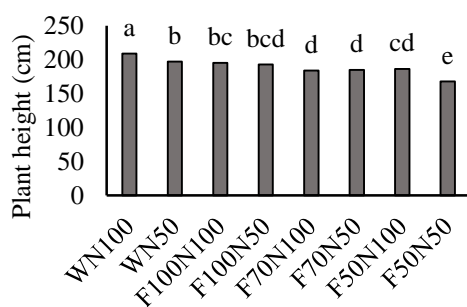


Figure 3. Mean comparison of the interaction effect of fertilizer and irrigation on plant height of maize. Means with at least one similar letter are not significantly different at a 5% probability level using LSD Test. W (wick irrigation), F₁₀₀ (Furrow irrigation 100%), F₇₀ (Furrow irrigation 70%), F₅₀ (Furrow irrigation 50%). N₁₀₀ (Nitrogen 100%), N₅₀ (Nitrogen 50%).

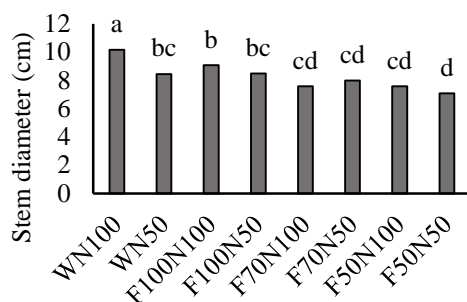


Figure 4. Mean comparison of the interaction effect of fertilizer and irrigation on stem diameter of maize. Means with at least one similar letter are not significantly different at a 5% probability level using LSD Test. W (wick irrigation), F₁₀₀ (Furrow irrigation 100%), F₇₀ (Furrow irrigation 70%), F₅₀ (Furrow irrigation 50%). N₁₀₀ (Nitrogen 100%), N₅₀ (Nitrogen 50%).

ارتفاع گیاه و بلال

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل کود و آبیاری بر ارتفاع گیاه ($p < 0.05$) و اثر متقابل سال، کود و آبیاری بر ارتفاع بلال ($p < 0.01$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع گیاه به ترتیب مربوط به WN_{100} و $F_{50}N_{50}$ بود (شکل ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سال، کود و آبیاری نشان که بیش‌ترین ارتفاع بلال مربوط به تیمارهای WN_{100} ، $F_{100}N_{50}$ و $F_{70}N_{50}$ در سال دوم و کم‌ترین ارتفاع بلال مربوط به تیمارهای $F_{50}N_{50}$ ، $F_{50}N_{100}$ و $F_{70}N_{50}$ در سال اول بود (جدول ۵).

در شرایط کمبود آب احتمالاً کاهش پتانسیل آبی در سلول‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش پتانسیل فشاری سلول‌ها گردد و از این‌رو طویل شدن سلول‌ها و به دنبال آن تقسیم سلولی که لازمه رشد طولی گیاه می‌باشد مختل می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2017). علاوه‌براین سطوح بالاتر نیتروژن با افزایش سرعت فتوسنتز باعث افزایش ارتفاع بوته خواهد شد (Aboelgoud *et al.*, 2021). افزایش ارتفاع بوته از طریق کودهای محلول در آب، ممکن است به دلیل ریزاقلمم مطلوب مواد مغذی کافی به شکل آسان باشد که تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اکسین‌ها و سی‌توکینین‌ها را تسریع کرده و در نتیجه عمل افزایش طول سلول و تقسیم سلولی که از طریق افزایش ارتفاع گیاه آشکار می‌شود، تحریک می‌کند (Fanish *et al.*, 2011). در آبیاری جویچه‌ای، آب به صورت دوره‌ای در دسترس است و این ممکن است بین فواصل آبیاری باعث تنش آبی گیاه شود. از این‌رو، کاهش ارتفاع گیاه به دلیل خشکی را می‌توان به اختلال در فتوسنتز نسبت داد (Heidari *et al.*, 2022).

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر متقابل کود و آبیاری بر قطر ساقه ($p < 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین قطر ساقه مربوط به تیمار WN_{100} و کم‌ترین قطر ساقه مربوط به تیمارهای $F_{50}N_{100}$ ، $F_{50}N_{50}$ بود (شکل ۴).

کمبود آب موجب کاهش تورژسانس سلولی می‌شود و در نهایت کاهش رشد و توسعه سلول به خصوص در ساقه و

وزن مخصوص برگ

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل سال، کود و آبیاری بر وزن مخصوص برگ ($p < 0.05$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین وزن مخصوص برگ مربوط به $F_{100}N_{50}$ در سال اول بود (جدول ۵). وزن مخصوص برگ، عبارتست از نسبت وزن خشک برگ به سطح برگ که نشان‌دهنده نازکی برگ است. بنابراین هرچی وزن مخصوص برگ بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که مواد فتوسنتزی بیشتری به تجمع در برگ اختصاص یافته است.

سطح برگ و شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر متقابل سال، کود و آبیاری بر سطح برگ و شاخص سطح برگ ($p < 0.05$) از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در سال اول، آبیاری جویچه‌ای ۱۰۰ درصد و کود ۱۰۰ درصد به همراه آبیاری فنیله‌ای و کود ۱۰۰ درصد بیش‌ترین سطح برگ و شاخص سطح برگ را داشت (جدول ۵). افزایش سطح برگ به روش آبیاری فنیله‌ای توسط محققان دیگر گزارش شده است (Chaturvedi *et al.*, 2021).

Table 4. The combined variance analysis of the effect of fertilizer and irrigation on the morphological characteristics of maize over two years.

S.O.V	df	Leaf area	Leaf area index	Leaf specific weight	Fresh forage yield	dry forage yield
Year (Y)	1	13539 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	6019.77 ^{***}	1169.59 ^{***}
Block (year)	4	36143 ^{**}	0.036 ^{**}	0.00052 ^{ns}	247.33 ^{***}	98.19 ^{***}
Nitrogen (N)	1	81189 ^{**}	0.080 ^{**}	0.00052 ^{ns}	475.90 ^{**}	60.07 [*]
Irrigation (I)	3	112015 ^{***}	0.110 ^{***}	0.00037 ^{ns}	771.44 ^{***}	86.80 ^{**}
Y×N	1	63068 ^{**}	0.064 ^{**}	0.00256 [*]	15.12 ^{ns}	2.75 ^{ns}
Y×I	3	27718 [*]	0.027 [*]	0.00003 ^{ns}	34.41 ^{ns}	11.21 ^{ns}
N×I	3	40233 ^{**}	0.039 ^{**}	0.00095 [*]	164.72 ^{**}	24.03 ^{ns}
Y×N×I	3	23439 [*]	0.023 [*]	0.00101 [*]	84.05 [*]	53.29 ^{**}
Error	28	6716	0.006	0.0031	27.14	0.98
CV (%)		14.51	14.53	20.69	9.16	9.84

ns, *, ** and ***: Non significant and significant at the 0.05, 0.01 and 0.001 probability level, respectively.

Table 5. Mean comparison of year, fertilizer and irrigation interaction effect on some morphophysiological characteristics of maize.

Year	Treatment	Number of green leaves (plant)	Number of yellow leaves (plant)	Ear height (cm)	Leaf area (cm ² plant)	Leaf area index	Leaf specific weight (g cm ²)	Fresh forage yield (ton ha ⁻¹)	dry forage yield (ton ha ⁻¹)
2020	WN ₁₀₀	12.41 ^a	2.50 ^{bcd}	84 ^{ef}	855 ^a	0.853 ^a	0.076 ^{bc}	64.80 ^b	28.05 ^{cde}
	WN ₅₀	10.75 ^{bc}	3.58 ^b	79 ^{efg}	599 ^{bc}	0.600 ^{bc}	0.088 ^b	46.57 ^{cde}	19.71 ^{fg}
	F ₁₀₀ N ₁₀₀	12.33 ^a	2.16 ^{cd}	80 ^{efg}	849 ^a	0.850 ^a	0.058 ^c	53.50 ^c	24.83 ^{def}
	F ₁₀₀ N ₅₀	12.16 ^{ab}	1.08 ^e	78 ^{fg}	489 ^{cd}	0.490 ^{cd}	0.130 ^a	46.24 ^{cde}	25.36 ^{def}
	F ₇₀ N ₁₀₀	9.58 ^c	4.91 ^a	76 ^{fgh}	469 ^{cd}	0.470 ^{cd}	0.095 ^b	40.45 ^{def}	23.19 ^{efg}
	F ₇₀ N ₅₀	12.08 ^{ab}	2.50 ^{bcd}	73 ^{gh}	529 ^{cd}	0.530 ^{cd}	0.084 ^{bc}	42.22 ^{de}	18.51 ^g
	F ₅₀ N ₁₀₀	11.50 ^{ab}	2.50 ^{bcd}	74 ^{gh}	460 ^{cd}	0.463 ^{cd}	0.074 ^{bc}	38.78 ^{ef}	19.87 ^{fg}
	F ₅₀ N ₅₀	11.75 ^{ab}	2.83 ^{bc}	67 ^h	398 ^d	0.397 ^d	0.085 ^{bc}	32.82 ^f	21.50 ^{fg}
2021	WN ₁₀₀	11.91 ^{ab}	1.58 ^{de}	114 ^a	695 ^b	0.693 ^b	0.088 ^b	77.58 ^a	36.53 ^a
	WN ₅₀	12.58 ^a	1.08 ^e	99 ^{bc}	575 ^{bc}	0.577 ^{bc}	0.083 ^{bc}	71.91 ^{ab}	34.16 ^{ab}
	F ₁₀₀ N ₁₀₀	12.50 ^a	2.08 ^{cde}	99 ^{bc}	515 ^{cd}	0.517 ^{cd}	0.093 ^b	72.41 ^{ab}	34.16 ^{ab}
	F ₁₀₀ N ₅₀	11.83 ^{ab}	1.66 ^{de}	110 ^a	552 ^{bc}	0.553 ^{bc}	0.085 ^{bc}	70.75 ^{ab}	35.33 ^{ab}
	F ₇₀ N ₁₀₀	12.50 ^a	1.66 ^{de}	95 ^{cd}	490 ^{cd}	0.490 ^{cd}	0.088 ^b	65.91 ^b	30.33 ^{bcd}
	F ₇₀ N ₅₀	11.25 ^{ab}	1.58 ^{de}	107 ^{ab}	557 ^{bc}	0.557 ^{bc}	0.083 ^{bc}	71.00 ^{ab}	33.66 ^{abc}
	F ₅₀ N ₁₀₀	11.75 ^{ab}	2.08 ^{cde}	89 ^{de}	510 ^{cd}	0.510 ^{cd}	0.085 ^{bc}	66.73 ^b	32.50 ^{abc}
	F ₅₀ N ₅₀	11.41 ^{ab}	2.41 ^{cd}	94 ^{cd}	486 ^{cd}	0.490 ^{cd}	0.071 ^{bc}	48.28 ^{cd}	23.33 ^{efg}

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at a 5% probability level using LSD Test. W (wick irrigation), F₁₀₀ (furrow irrigation 100%), F₇₀ (furrow irrigation 70%), F₅₀ (furrow irrigation 50%), N₁₀₀ (Nitrogen 100%), N₅₀ (Nitrogen 50%).

عملکرد علوفه خشک

تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سال، کود و آبیاری بر عملکرد علوفه خشک ($p < 0.01$) تاثیر معنی داری داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار-های $F_{70}N_{50}$ ، $F_{100}N_{50}$ ، $F_{100}N_{100}$ ، WN_{50} ، WN_{100} و $F_{50}N_{100}$ در سال دوم باعث افزایش عملکرد علوفه خشک نسبت به سایر تیمارها شد (جدول ۵). براساس نتایج بدست آمده افزایش رطوبت و میزان کود نیتروژن موجب بهبود صفات رشدی ذرت شد. این امر تاثیر پیشرونده آب خاک بر دسترسی نیتروژن و استعداد گیاه برای جذب آب و نیتروژن به طور همزمان را تایید می کند که منجر به موثرترین استفاده از آنها در زمانیکه هر دو در سطح کافی هستند، می شود (Ashraf et al., 2016). گزارش شده است که تنش آبی در طول رشد ذرت به طور قابل توجهی بر فرآیندهای رشد ذرت تاثیر می گذارد، که منجر به کاهش شدید ارتفاع بوته، سطح برگ، قطر ساقه و تجمع زیست توده می شود (Ge et al., 2012). هنگامیکه محتوای آب خاک مناسب باشد، افزایش مقدار کود می تواند به طور قابل توجهی باعث رشد گیاه، بهبود شاخص سطح برگ، به تاخیر انداختن پیری برگ، افزایش ذخیره و تجمع عناصر غذایی ریشه، ساقه و برگ شود (Xiao et al., 2021). مقدار بالای آب در آبیاری فیتله ای منجر به رطوبت بیشتر خاک در محیط ریشه می شود که این امر به نوبه خود باعث دسترسی بیش تر به مواد غذایی برای جذب توسط ریشه گیاه شد.

مصرف آب

مقدار مصرف آب در روش های مختلف آبیاری در هر دو سال آزمایش محاسبه شد (جدول ۶). مقدار مصرف آب روش آبیاری فیتله ای در هر دو سال کمتر از ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه در روش آبیاری جویچه ای بود. مصرف آب در سال اول کم تر از سال دوم بود. در سال اول، مصرف آب در آبیاری فیتله ای نزدیک به مصرف آب تیمار آبیاری جویچه ای با ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بود.

گزارش شده است که کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد اسیمیلاتی به سمت اندام های زایشی در اثر کمبود آب سبب کاهش عملکرد سرشاخه های گل دار می گردد (Osati et al., 2019). علاوه بر این افزایش نیتروژن نیز تاثیر قابل ملاحظه ای بر دوام سطح برگ دارد، به عبارت دیگر کمبود آب سبب تشدید اثر خشکی بر سطح برگ می شود (Emam et al., 2014).

عملکرد علوفه تازه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف کود و آبیاری بر عملکرد علوفه تازه ($p < 0.01$) از لحاظ آماری معنی دار بود (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین در سال دوم تیمارهای WN_{50} ، WN_{100} ، $F_{100}N_{100}$ ، $F_{100}N_{50}$ و $F_{70}N_{50}$ باعث افزایش علوفه تازه نسبت به سایر تیمارها شدند و کمترین مقدار علوفه تازه مربوط به تیمارهای $F_{50}N_{100}$ ، $F_{50}N_{50}$ و $F_{70}N_{100}$ در سال اول بود (جدول ۵). رشد بهتر ذرت در آبیاری زیرسطحی به رطوبت بهتر، هوادهی خاک و عدم تجربه تنش خشکی نسبت داده شده است. این در نهایت نشان دهنده فعالیت فیزیولوژیکی بهتر در گیاه و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته، میانگین تعداد برگ ها، سطح برگ در هر بوته و تولید زیست توده بهتر است (Bibe et al., 2016). همچنین در دسترس بودن بیش تر نیتروژن گیاهان و رطوبت مطلوب خاک باعث رشد و رویش محصول می شود (Ashraf et al., 2016). زیرا بر همکنش نیتروژن بهینه و میزان آب قابل دسترس برای رشد گیاه حیاتی است اما در شرایطی که گیاه در معرض تنش کمبود آب شدید قرار دارد کود نیتروژن باید کاهش یابد زیرا در این شرایط، تنش رطوبتی افزایش خواهد یافت و موجب کاهش بیشتر صفات رشدی و عملکرد دانه خواهد شد (Afshoon et al., 2021). با کنترل نفوذ و سطح خیس خاک، می توان از آبتشویی در آبیاری موئینگی جلوگیری کرد و گیاه می تواند جذب مواد مغذی را به حداکثر رساند تا محصول تازه با کیفیت خوب ارائه شود (Idham et al., 2018).

آبی گیاه با هم از نظر اقتصادی مقایسه شدند. آبیاری فته‌ای هزینه بیشتری برای راه‌اندازی نیاز دارد اما این هزینه سرمایه گذاری بلندمدت است (جدول ۷). آبیاری فته‌ای با مصرف ۱۰۰ درصد کود، عملکرد علوفه تازه و درآمد ناخالص بیشتری نسبت به آبیاری جویچه‌ای داشت و این موضوع توانست هزینه اولیه بالاتر اجرای این سیستم آبیاری را توجیه کند. بر اساس این نتایج آبیاری فته‌ای ۱۸ درصد درآمد خالص بیشتری نصیب کشاورز می‌کند. در مطالعات مشابه گزارش شده است که کوددهی محلول نسبت به آبیاری سطحی درآمد خالص بالاتری داشت (Shruthi et al., 2018; Sujatha et al., 2023).

Table 6. Water consumption of furrow and wick irrigation systems ($m^3 ha^{-1}$).

Year	100% Furrow	70% Furrow	50% Furrow	Wick
2020	3474	2424	1737	1879
2021	3612	2528	1806	2222

رابطه بین آب مصرفی و عملکرد علوفه تازه و خشک

نتایج تجزیه رگرسیون بین مقدار آب مصرفی و عملکرد علوفه تازه ($R^2=0.22$) و خشک ($R^2=0.21$) در آبیاری جویچه‌ای با تابع درجه یک رابطه مثبت نشان داد (شکل ۵). رابطه خطی بین مقدار آب مصرفی و عملکرد علوفه تازه و خشک نشان داد که با افزایش آب آبیاری، عملکرد علوفه افزایش یافت. در پژوهش‌های مشابه رابطه خطی و مثبت عملکرد با مقدار آب مصرفی گزارش شده است (Shrief and Abd El-Mohsen, 2014; Zhang et al., 2021). شکل ۶ مصرف آب و عملکرد علوفه خشک ذرت تحت تیمارهای مختلف آبیاری و کودی را نشان می‌دهد. براساس این شکل می‌توان گفت آبیاری فته‌ای با وجود مصرف کم آب، عملکرد علوفه خشک بالایی تولید کرده است.

ارزیابی اقتصادی

در جدول ۷ آبیاری فته‌ای با مصرف ۱۰۰ درصد کود در سال دوم با آبیاری فته‌ای که تقریباً همان اندازه آب مصرف کرده است یعنی آبیاری سطحی با ۷۰ درصد نیاز

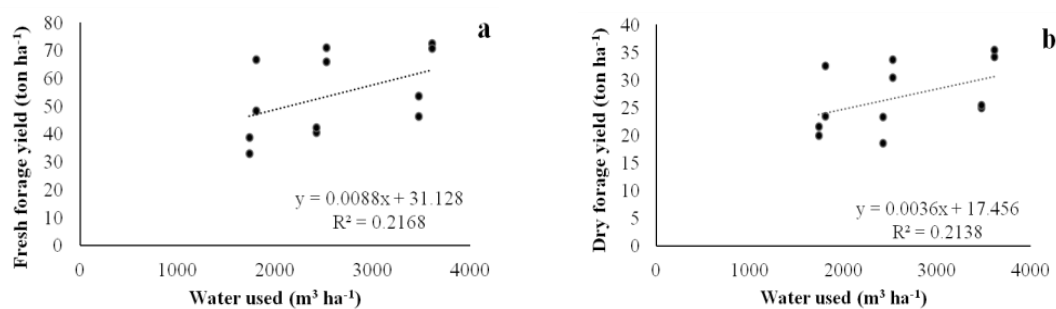


Figure 5. The relationship between water used and fresh forage yield (a) and, dry forage yield (b) under furrow irrigation in maize.

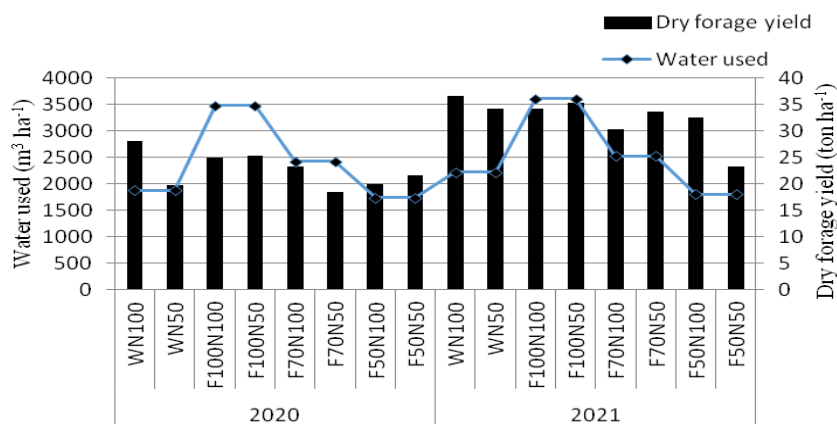


Figure 6. Water used and yield of dry forage in maize under different fertilizer and irrigation treatments. W (wick irrigation), F₁₀₀ (furrow irrigation 100%), F₇₀ (furrow irrigation 70%), F₅₀ (furrow irrigation 50%), N₁₀₀ (Nitrogen100%), N₅₀ (Nitrogen 50%).

Table 7. Economic evaluation of wick irrigation and surface irrigation in maize in 2021

Irrigation system	¹ Fixed costs (\$ ha ⁻¹)	Variable costs (\$ ha ⁻¹)	Fresh forage yield (kg ha ⁻¹)	Maize price (\$ kg ⁻¹)	Gross income (\$ ha ⁻¹)	Net income (\$ ha ⁻¹)
Wick irrigation	185.4	³ 160.5	77580	0.0343	2660.99	2315.09
² Surface irrigation	185.4	120.9	65910	0.0343	2260.71	1954.41

¹Fixed costs and variable costs were taken from Iran Statistics Center (2021). ²Surface irrigation with the 70% plant water requirement. ³The cost of wick irrigation was considered for 5 years.

مصرف آب آبیاری فنیله‌ای بعثت کاهش سطح تبخیر ناشی از کاهش سطح خیس خاک است. آبیاری فنیله‌ای ۱۸ درصد درآمد خالص بیشتری نسبت به آبیاری جویچه‌ای با مقدار مصرف آب مشابه داشت. در مجموع، آبیاری فنیله‌ای با ۵۰ درصد مصرف کود بعثت صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۵۸ درصد و کود بعنوان تیمار برتر توصیه می‌شود. آبیاری فنیله‌ای هزینه بیشتری نسبت به آبیاری جویچه‌ای دارد ولی بعثت صرفه‌جویی در مصرف آب مناسب اقلیم کشور است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مصرف آب در آبیاری جویچه‌ای، طول میانگره، ارتفاع بوته، قطر ساقه، وزن علوفه تازه و خشک ذرت بهبود یافت. برای غلبه بر کمبود آب آبیاری، ضروریست که از منابع آبی موجود با دقت بیشتر استفاده شود. در این راستا، علاوه بر بهبود شرایط رطوبتی گیاه، باید از مصرف بیش از حد کود اوره خودداری شود و سیستم‌های آبیاری براساس نیاز آبی و غذایی گیاه طراحی شوند. مصرف آب در روش آبیاری فنیله‌ای کمتر از آبیاری جویچه‌ای با ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه بود. کاهش

References

- Abadassi, J. (2015). Maize agronomic traits needed in tropical zone. *International Journal of Science, Environment*, 4(2), 371-392. [In Persian]
- Aboelgoud, Sh. A., Mosaad, I. S. M., & Awad, H. A. (2021). Effect of water irrigation amounts and nitrogen fertilizer levels on teosinte productivity and optimal economic n-rates under salinity stress. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 26(01), 1057-1076.
- Afshoon, E., Moghadam, H., Jahansooz, M. R., & Oveisi, M. (2021). Effect of tillage, irrigation and nitrogen fertilizer on crop yield of forage maize (*Zea mays* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14 (3), 691-702.
- Asadi, M. E., & Shahinrokhsar, P. (2019). Impacts of fertigation via sprinkler and furrow irrigation systems on yield and yield components of sweet corn. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(13), 21-33. [In Persian]
- Ashraf, U., Salim, M. N., Sher, A., Sabir, S. R., Khan, A., Pan, Sh., & Tang, X. (2016). Maize growth, yield formation and water-nitrogen usage in response to varied irrigation and nitrogen supply under semi-arid climate. *Turk Journal Field Crops*, 21(1), 88-96.
- Bhupenchandra, I., Athokpam, H.S., Singh, N.B., Singh, L.N., Devi, S.H., Chongtham, S. K., Singh, L.K., Sinyorita, S., Devi, E.L., Bhagowati, S., Bora, S.S., Kumar, A., Devi, C.P., & Olivia, L.C. (2021). Leaf color chart (LCC): An instant tool for assessing nitrogen content in plant: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(4), 1100-1104.
- Bibe, S. M., Jadhav, K. T., & Gite, R. V. (2016). Studies on growth and yield of post kharif maize as influenced by irrigation and fertigation management. *Journal of Agriculture Research and Technology*, 41(3), 396-402.
- Chaturvedi, A. K., Surendran, U., Chandran, K. M., & Dhanya, T. (2021). Exploring growth, physiological status, yield and water use efficiency of vegetables grown under wick method of irrigation. *Plant Physiology Reports*, 26(1), 64-73.
- Demir, Z., Keçeci, M., & Erol Tunç, A. (2020). Effects of nitrogen fertigation on yield, quality components, water use efficiency and nitrogen use efficiency of silage maize (*Zea mays* L.) as the second crop. *Journal of Plant Nutrition*, 44(3), 373-394.
- Emam, Y., Maghsoudi, K., & Moghimi, N. (2014). Effect of water stress and nitrogen levels on yield of forage sorghum. *Journal of Crop Production and Processing*, 3(10), 145-155. [In Persian]
- Fakoredet, M. A. B., & Mock, J. J. (1980). Growth analysis of maize variety hybrids obtained from two recurrent selection programmes for grain yield. *New Phytology*, 85, 393-408.
- Fanish, S. A., Muthukrishnan, P., & Santhi, P. (2011). Effect of drip fertigation on field crops - a review. *Agricultural Reviews*, 32(1), 14-25.
- Farid, N., Siadat, S. A., Ghalamboran, M. R., & Moradi Telavat, M. R. (2018). Response of yield and physiology of sweet corn to coated urea fertilizer under different levels of irrigation. *Cereal Research A Quarterly Journal*, 7(4), 551-562. [In Persian]
- Gardenas, A. I., Hopmans, J. W., Hanson, B. R., & Simunek, J. (2005). Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management*, 74(3), 219-242.
- Ge, T., Sui, F., Bai, L., Tong, Ch., & Sun, N. (2012). Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34, 1043-1053.
- Halli, H. M., Angadi, S., Kumar, A., Govindasamy, P., Madar, R., Baskar, D. Ch., Elansary, V. H. O., Tamam, N., Abdelbacki, A. M. M., & Abdelmohsen, Sh. A. M. (2021). Assessment of planting method and deficit irrigation impacts on physio-morphology, grain yield and water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) on vertisols of semi-arid tropics. *Plants*, 10, 1-18.
- Heidari, H., Zarei, Z., & Mohammadi, K. (2022). Improving water use efficiency and biomass in maize, foxtail millet and bitter vetch by wick irrigation. *Water SA*, 48(3), 264-270.

- 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(1), 47-55.
- Idham, A. R. M. K., Shukri, Z. A. M., Izran, I. M. H., & Azimi, M. M. S. (2018). Analysis of fibrous interface capillary irrigation system using HYDRUS 2D/3D for high water saving agriculture. MSAE Conference, Serdang, Selangor D.E, 127-134.
- Karimi, A., Mazardalan, M., Homaeia, M., Liaghat, A.M., & Raissi., F. (2007). Fertilizer use efficiency for sunflower with fertigation system. *Journal of Crop Production and Processing*, 11(40), 65-77. [In Persian]
- Khanna, R., Sheshadri, T., & Chandra, S. (2018). Effect of drip fertigation on productivity and economics of maize (*Zea mays* L.) in eastern dry zone of Karnataka, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(5), 821-825.
- Laskari, M., Menexes, G., Kalfas, I., Gatzolis, I., & Dordas, C. (2022). Water stress effects on the morphological, physiological characteristics of maize (*Zea mays* L.), and on environmental cost. *Agronomy*, 12(10), 1-17.
- Li, H., Mei, X., Wang, J., Huang, F., Hao, W., & Li, B. (2021). Drip fertigation significantly increased crop yield, water productivity and nitrogen use efficiency with respect to traditional irrigation and fertilization practices: A meta-analysis in China. *Agricultural Water Management*, 244, 106534.
- Mohammadi, A., Moosavi, S. Gh. R., & Seghatoleslami, M. J. (2017). Effect of irrigation interval and N fertilizer application on morphological traits, yield and yield components of millet (*Panicum miliaceum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), 225-235. [In Persian]
- Moosavi, S. Gh. (2012). The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize. *Pakistan Journal of Botany*, 44(4), 1351-1355.
- Morianou, G., Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2023). A review of HYDRUS 2D/3D applications for simulations of water dynamics, root uptake and solute transport in tree crops under drip irrigation. *Water*, 15(4), 1-23.
- Osati, F., Mir Mahmoodi, T., Paseban Eslam, B., Yazdan Seta, S., & Monirifar, H. (2019). Effect of irrigation levels and spraying of chemical fertilizers on some physiological traits and grain yield in castor (*Ricinus communis* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 747-762. [In Persian]
- Paschalidis, X., Ioannou, Z., Mouroutoglou, X., Koriki, A., Kavvadias, V., Baruchas, P., Chouliaras, I., & Sotiropoulos, S. (2015). Effect of fertilization and irrigation on plant mass accumulation and maize production (*Zea mays*). *International Journal of Waste Resources*. 5(1), 1-5.
- Pazhoohideh, S. K., Egdernezhad, A., & Abbasi, F. (2022). Corn irrigation scheduling and determination of water and nitrogen fertilizer production functions using the calibrated aquacrop model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(16), 357-370. [In Persian]
- Pourreza, J. (2017). Evaluating the wheat (*Triticum aestivum*) yield loss caused by wild oat (*Avena fatua*) interference at nitrogen different levels. *Plant Productions*, 40(3), 41-53. [In Persian]
- Rahimi-Moghaddam, S., & Eyni-Nargeseh, H. (2022). Identification of different drought patterns of dryland wheat in the northwest of Iran by APSIM model. *Plant Productions*, 45(3), 435-446. [In Persian]
- Seghatoleslami, M. J., Bradaran, R., Ansarinia, E., & Mousavi, S. Gh. (2012). Effect of irrigation and nitrogen level on yield, yield components and some morphological traits of sunflower. *Pakistan Journal of Botany*, 44(5), 1551-1555.
- Shrief, S. A., & Abd El-Mohsen, A. A. (2014). Effect of different irrigation regimes on grain and protein yields and water use efficiency of barley. *Scientia Agriculturae*, 8(3): 140-147.
- Shruthi, M. K., Sheshadri, T., & Yogananda, S. B. (2018). Performance of hybrid maize as influenced by fertigation management practices. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(3), 1601-1608.
- Song, Y., Birch, C. J., & Hanan, J. (2010). Maize canopy production under contrasted water regimes. *Annals of Applied Biology*, 157(1), 111-123.

- Sujatha, H. T., Angadi, S. S., Yenagi B. S., & Meena, R. P., (2023). Effect of drip irrigation regimes on growth, yield and economics of maize (*Zea mays*) genotypes. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 93(2), 163-168.
- Wang, X., & Xing, Y. (2017). Effects of irrigation and nitrogen on maize growth and yield components. *Global Changes and Natural Disaster Management: Geo-information Technologies*, 63-74.
- Xiao, Ch., Zou, H., Fan, J., Zhang, F., Li, Y., Sun, Sh., & Pulatov, A. (2021). Optimizing irrigation amount and fertilization rate of drip-fertigated spring maize in northwest China based on multi-level fuzzy comprehensive evaluation model. *Agricultural Water Management*, 257, 1-13.
- Yousefzadeh, S., & Piryaee, M. (2022). Influence of foliar application of organic fertilizer "BOMBARDIER" on morphological and phytochemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(1), 219-233. [In Persian]
- Zhang, T., Zou, Y., Kisekka, I., Biswas, & A., Cai, H. (2021). Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity and economic benefits in an arid irrigation area. *Agricultural Water Management*, 243, 1-11.