J. Soil and Plant Interactions, Vol. 15, No. 2, Summer 2024, pp. 33-48. **Research Article**
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.13051

Improving Yield and Water Use Productivity of Green Squash Under Different Levels of Water and Nitrogen Fertilizer Application

A. Hasni[1] and D. Akbari Nodehi*

(Received: 20 November 2023; Accepted: 24 March 2024)

Abstract

In the low soil moisture conditions, which affect the absorption of nutrients (especially nitrogen), it is necessary to establish a balance between the nitrogen consumption and the soil water availability to plant. Therefore, determining the optimal level of fertilizer to achieve high plant performance is one of the important goals of the research. Green squash is cultivated in the Sari region and no research has been done about the effect of agricultural inputs on this plant. Therefore, in this research, the effect of drought stress and nitrogen fertilizer on the yield and water use productivity of green squash was studied in 2015 in Sari city. The experiment was in the form of split plots with complete randomized blocks design in three replications. The treatments included four irrigation levels of 25, 50, 75 and 100% of the required water as the main treatment and three levels of zero, 100 and 200 kg/ha of nitrogen fertilizer (urea). The measured traits included length, width and weight of single fruit, total plant weight, number of leaves, leaf fresh and dry weights, leaf area, total yield and water use productivity. The results showed that the highest yield, fresh and dry weights, width and number of leaves, total weight of the plant were related to the combination of 100% water requirement and 200 kg/ha of nitrogen. The highest single fruit weight and fruit width were observed in the treatment of 75% water requirement and 200 kg/ha of nitrogen. The highest water use productivity was related to the treatment with 25% water requirement and 200 kg/ha nitrogen. Considering that a 25% reduction in water consumption resulted in 12% reduction in yield and more than 30% increase in water use productivity, the 75% water requirement and 200 kg/ha nitrogen can be introduced as the best treatment in the water-limited conditions.

Keywords: Drought stress, Water use productivity, Nitrogen fertilizer, Green squash.

Background and Objective: In the water-limited conditions, the root uptake of soil nutrients, especially nitrogen, decreases. Therefore, it is necessary to establish a suitable balance between the soil water availability to plant and fertilizer application to avoid excessive nitrogen consumption. Allocating optimal amounts of irrigation and water to increase the efficiency of water and nitrogen consumption is important for farmers. The optimum use of irrigation water leads to maximum crop production, achieving maximum profit, reducing the amount of deep percolation of water, and better farm management in saline conditions (Mousavi et al., 2013). Although green squash is grown extensively in Mazandaran province, few researches

1- Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Qaemshahr, Qaemshahr, Iran.
* Corresponding author, Email: d.akbari@qaemiau.ac.ir

have been done regarding the optimization of water and nitrogen fertilizer application for this plant. Therefore, this research was conducted to study the effect of drought stress and nitrogen on some physiological characteristics, yield and water use productivity of green squash in Sari region.

Methods: The experiment was in the form of split plots with complete randomized blocks design in three replications. The treatments included four irrigation levels of 25, 50, 75 and 100% of the required water as the main treatment and three levels of zero, 100 and 200 kg/ha of nitrogen fertilizer (urea) as secondary treatment. Irrigation treatment was applied after observing the first fruit; all treatments were fully irrigated before. Nitrogen fertilizer was applied in three stages, one third at the beginning of the growing season, one third at the time of flowering and one third at the beginning of fruiting. Finally, plant traits and water use productivity were measured. The statistical analysis was done using MSTATC-C statistical software and the means were compared using Duncan's multi-range test at the 5% level of probability.

Results: The analysis of variance showed that the interaction effect of treatments on the growth and reproductive characteristics of green squash was significant. The vegetative traits such as number of leaves and leaf weight were the highest in the combination of 100% water requirement and 200 kg/ha of nitrogen fertilizer. Plant reproductive traits such as yield were also affected by water stress and fertilizer. The highest yield was obtained in the combination of 100% water requirement and 200 kg/ha of nitrogen fertilizer, and the lowest value was obtained in the combination of severe water stress and zero nitrogen fertilizer. The water use productivity increased with an increase in water stress and fertilizer use. The highest water use productivity (i.e., 21.52 kg/m^3) was observed in the combination of 200 kg/ha nitrogen and low irrigation treatment. The improvement of water use productivity by increasing the nitrogen consumption can be attributed to the increase in yield, because the water consumption was the same for all fertilizer levels. Increasing the nitrogen application, by enhancing the net photosynthesis, resulted in an increase in biomass (Raun and Johnson, 1999).

Conclusions: In the studied area, the interaction of drought stress and nitrogen fertilizer had a significant effect on all measured traits except for the number and area of leaves. The deficit of water and nitrogen decreased the yield by reducing the yield components. In the favorable irrigation conditions, the highest yield was obtained at the highest level of nitrogen fertilizer (i.e., 200 kg/ha). The highest productivity was obtained in the combinations of 25, 50 and 75% water requirement and maximum nitrogen use. According to the results of plant traits and water use productivity, the combination of 75% water requirement and maximum use of nitrogen fertilizer (i.e., 200 kg/ha) can be considered the best treatment in this experiment.

References:

1. Mousavi, S.G.R., Seghatoleslami, M.J., Ansarinia, E., Javadi, H., 2013. The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer on yield and water use effeciency of *Calendula officinalis* L. J. MediC. Arom. Plant. 28(3), 493–508. (In Persian with English abstract)
2. Raun, W.R., Johnson, G.V., 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91, 357–363.

روابط خاک و گیاه/ سال پانزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۳ / صفحات ۴۸-۳۳
https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.13051 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir
مقاله پژوهشی

ارتقای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کدو سبز تحت سطوح مختلف کاربرد آب و کود نیتروژنه

عباس حسنی[1] و داود اکبری نودهی[*]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۵)

چکیده

در شرایط کمبود رطوبت خاک که جذب عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) تحت تأثیر قرار می‌گیرد، لـزوم برقـراری تناسـب بـین نیتـروژن مصرفی و فراهمی رطوبت در خاک ضروری است. از این‌رو تعیین سطح بهینه کودی برای رسیدن به عملکرد زیاد گیاه یکی از اهداف مهم این پژوهش است. کدو سبز به‌صورت عمده در منطقه ساری کشت شده و تاکنون پژوهشی در مورد تأثیر نهاده‌های کشاورزی بر این گیـاه انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش تأثیر تنش خشکی و کود نیتروژنه بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کدو سبز، در سال زراعـی ۱۳۹۵ در شهرستان ساری بررسی شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجـرا درآمد. فاکتور اصلی با چهار سطح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و فاکتور فرعی با سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلـوگرم در هکتـار کود نیتروژنه (اوره) بود. صفات اندازه‌گیری‌شده شامل طول، عرض و وزن تک میوه، وزن کل بوته، تعداد برگ، وزن تـازه، وزن خشـک و سطح برگ، عملکرد کل محصول و بهره‌وری مصرف آب بودند. نتایج نشان داد بیش‌ترین عملکرد محصول، وزن تازه و خشـک، عـرض و تعداد برگ، و وزن کل بوته مربوط به تیمار با ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه بود. بیش‌ترین وزن تک میـوه و عرض میوه مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه است. بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به تیمار با ۷۵ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بوده است. با توجه به این‌که با کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب ۱۲ درصـد کاهش عملکرد و بیش از ۳۰ درصد افزایش بهره‌وری مصرف آب حاصل شد، می‌توان تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتـار کود نیتروژنه را به عنوان بهترین تیمار در شرایط محدویت آب معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، بهره‌وری مصرف آب، کود نیتروژنه، کدو سبز.

مقدمه

کدو سبز با نام علمـی *Cucurbita pepo*، از جملـه محصـولات کشاورزی با ارزش دارویی است که کمک شایانی بـه بازسـازی مـؤثر سـلول‌هـای مغـزی مـی‌کنـد (Grubben, 2004). آب از مهم‌ترین عوامل محیطی است کـه بـر رشـد و نمـو گیـاه تـأثیر بسزایی دارد. تنش خشکی علاوه بر اثر منفی بر عملکرد، باعـث

۱- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: d.akbari@qaemiau.ac.ir

بروز یا تشدید سایر تنش‌ها، به‌ویژه تنش کمبود عناصر غـذایی، برای گیاه می‌شود (Sajdi et al., 2010). در بین عناصر غـذایی، نیتروژن نقش بسیار مهمی در تولید گیاه بر عهده دارد و کمبـود آن یکی از عوامل محدودکننده تولید گیاهـان اسـت. در شـرایط کمبود آب خاک، جذب عناصر غذایی به‌ویـژه نیتـروژن کـاهش یافته و این امر باعث می‌شود کـه تناسـب مطلـوبی بـین میـزان فراهمی آب برای گیاه و مصرف کود برقرار گردد تا از مصـرف بی‌رویه نیتروژن که تأثیری بر عملکرد نـدارد، خـودداری گـردد (Khurana and Singh, 2000). اختصـاص مقـادیر بهینـه آب آبیـاری بـرای افـزایش کـارایی مصـرف آب و نیتـروژن، بـرای کشاورزان اهمیت دارد. از اهداف مصرف بهینه آب آبیاری، می-توان به تولید محصول و سود بیشینه، کـاهش فرونشـت عمقـی آب و مدیریت بهتر مزرعه در شرایط شوری اشاره کرد (Raun and Johnson, 1999).

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و کود نیتروژنه (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰درصد نیاز نیتروژن گیاه) بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کلـزا، آزمایشی انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد تمام صـفات مـورد بررسی تحت تأثیر آثار اصلی و برهمکنش تیمارهـای آزمایشـی قرار گرفتنـد. تیمـار ۱۰۰ درصـد نیـاز آبـی و ۷۵ درصـد نیـاز نیتروژن به‌عنوان تیمار برتر در راستای ارتقای بهره‌وری معرفـی شـد (Dolatparast et al., 2023). در پـژوهش دیگـری تـأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری در قالب سه تیمار کم‌آبـی (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و چهار سطح کود نیتروژنه (صـفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز کودی) بر محصول کدو سبز بررسی شد. نتایج نشان داد تیمار ۱۰۰ درصد نیـاز آبـی و ۱۰۰ درصـد نیـاز کود نیتروژنه بیش‌ترین عملکرد را داشت. تیمار ۸۰ درصد نیـاز آبی بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب گیاه با میزان ۵/۳۱ کیلوگرم بـر مترمکعـب را بـه خـود اختصـاص داده اسـت (Refai and Hassan, 2019).

در پژوهشی در مورد واریته‌های چای ترش گزارش شد کـه اگر مقادیر مصرفی نیتـروژن ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلـوگرم در هکتـار باشد، افزایش زیست‌توده متناسـب بـا نیتـروژن مصـرفی اسـت (Krishnamurthy and Hunsigi, 1998). هم‌چنین نتـایج نشـان داد که در شرایط کم‌آبیـاری بـا وجـود این‌کـه عملکـرد گوجـه فرنگـی در واحـد سـطح کـم مـی‌شـود، کـاهش در مقـدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب، نیـز موجـب کسب سود بیش‌تر خواهد شـد (Xu et al., 2009). در بررسـی اثـر سـطوح مختلـف کـود نیتروژنـه (صـفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر کدوی پوست کاغذی، مشخص شـد کـه بیش‌تـرین تعـداد میـوه، وزن تـازه میـوه، عملکـرد دانـه و وزن هزاردانه در اثـر کـاربرد ۲۰۰ کیلـوگرم نیتـروژن به‌دسـت آمـد (Gholipoori et al., 2006). این پژوهشگران بیان نمودند که در اثر مصرف بهینه کود نیتروژنه در زراعت کدوی پوست کاغذی، تعـداد میـوه در بوتـه، عملکـرد میـوه، عملکـرد بـذر و اجـزای عملکرد آن در نتیجه ایجاد تعادل بین رشـد رویشـی و زایشـی، افزایش یافت. به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای آبیاری بر عملکرد و بازده مصرف آب گوجه‌فرنگی آزمایشی توسط Golkar et al. (2017) انجام شد. تیمارهای آبیاری به میزان ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی در نظر گرفته شـد. نتـایج نشـان داد کـه عملکرد و کارایی مصرف آب بهینه در تیمـار ۱۰۰ درصـد نیـاز آبی حاصل شده و در تیمارهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبـی، عملکرد به‌ترتیب ۲۴، ۵۷ و ۷۴ درصد کـاهش یافـت. پـژوهش دیگری با سه تیمار کم‌آبیاری (صفر، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبـی) و چهـار سـطح کـود نیتروژنـه (صـفر، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلـوگرم در هکتـار) بـر روی محصـول بادمجـان انجـام شـد (Abdzad-Gohari et al., 2014). ایـن پژوهشـگران گـزارش کردند در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، فاکتورهای گیاهی کـاهش نداشت اما تیمارهای دیگر کم‌آبیـاری موجـب کـاهش میـانگین وزن و تعداد میوه و در نتیجه عملکرد بوته بادمجان و هم‌چنـین سفتی بافت میوه و کلروفیل شدند.

در شرایط کمبـود آب خـاک کـه جـذب عناصـر غـذایی و به‌ویژه نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لزوم برقراری تناسب میان نیتروژن مصـرفی و فراهمـی رطوبـت در خـاک ضـروری

است. استفاده بهینه از آب و کود نیتروژنه و اعمال مدیریت درست می‌تواند علاوه بر افزایش محصول از زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب جلوگیری نماید. از این‌رو تعیین سطح بهینه مقدار آب و کود برای رسیدن به عملکرد بهینه یکی از اهداف مهم این پژوهش است. گیاه کدو سبز به‌صورت گسترده در استان مازندران کشت می‌شود ولی پژوهش‌های اندکی درباره بهینه‌سازی مصرف آب و کود نیتروژنه در زراعت این گیاه در این استان انجام شده است. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژنه بر برخی از صفات فیزیولوژیک و عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گیاه کدو سبز در منطقه ساری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی آثار کم‌آبیاری و نیتروژن بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کدو، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵ در شهرستان ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه ۰۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه ۱۰ دقیقه شرقی با ارتفاع ۳۰ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل چهار سطح آبیاری ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز به‌عنوان تیمار اصلی و سه سطح صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه از منبع اوره به‌عنوان تیمار فرعی به اجرا در آمد. تیمارهای کودی بر پایه آزمون خاک و با توجه به میزان ماده آلی خاک و نیاز کودی کدوی سبز انتخاب شد. در جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نشان داده شده است.

نیاز آبی گیاه طی فصل رشد بر اساس داده‌های تبخیر از تشت محاسبه شد (معادله ۱):

$$ET_c = K_p.E_{pan}.K_c \qquad (۱)$$

که در آن ET_c برابر تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر در روز)، E_{pan} برابر با تبخیر از تشت (میلی‌متر در روز)، K_p ضریب تشت و K_c ضریب گیاهی است.

مقادیر تبخیر از تشت از ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری به‌دست آمد. مقدار ضریب تشتک بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده در منطقه برای شهر ساری برابر ۰/۷ در نظر گرفته شد (Akbari-Nodehi, 2010). مقادیر ضریب گیاهی برای گیاه کدو سبز در مراحل اولیه، توسعه، میانی و پایانی رشد براساس نشریه FAO56 به‌ترتیب برابر ۰/۸، ۰/۹۵، ۰/۹۵ و ۰/۷۵ در نظر گرفته شد (Allen et al., 1998). مقدار آب آبیاری با فرض کارآیی آبیاری برابر ۸۰ درصد به تیمارها محاسبه شده و اعمال شد. با توجه به مقدار کم رسانایی الکتریکی محلول خاک (جدول ۱)، نیاز آبشویی در محاسبات لحاظ نشد. با توجه به بارندگی مناسب در فصل غیرزراعی منطقه، آبشویی نمک‌های خاک به‌صورت طبیعی انجام می‌شود.

مقدار آب آبیاری تیمارها به‌صورت شیاری در هر کرت آزمایشی و با استفاده از کنتور حجمی و بر مبنای رساندن رطوبت خاک در لایه توسعه ریشه به حد گنجایش مزرعه برای تیمار ۱۰۰ درصد تعیین شده و در تیمارهای دیگر بر اساس درصد نیاز آبی مقدار آب مورد نیاز اعمال شد. برای اعمال تیمارها، آبیاری در کرت‌هایی به ابعاد ۳/۵ ×۴ متری یک هفته پس از استقرار در زمین اصلی انجام شد. فاصله ردیف‌ها برابر ۱۰۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف برابر ۵۰ سانتی‌متر و حاشیه کرت‌ها برابر ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر گودال دو نشاء کشت شده و بلافاصله آبیاری انجام شد. پس از استقرار بوته‌ها، تنک‌کردن و خاک‌دهی پای آن‌ها اجرا شد. در طی فصل رشد، مراقبت‌های لازم شامل وجین علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و خاک‌دهی پای آن‌ها انجام پذیرفت. مقدار رطوبت خاک در ناحیه ریشه گیاه یک روز در میان و به‌صورت وزنی اندازه‌گیری شده و زمانی که ۶۵ درصد آب قابل استفاده خاک خارج شد، آبیاری برای تیمار ۱۰۰ درصد و به مقدار نیاز آبی انجام شد. تیمارهای دیگر (کم‌آبیاری) ۲۵، ۵۰، ۷۵ درصد مقدار آب مورد نیاز را دریافت کردند. میزان آب آبیاری با توجه به مساحت کرت (متر مربع) و نیاز آبی محاسبه‌شده از رابطه (۱) برآورد شده و در اختیار

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی (لایه صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physical and chemical characteristics of the studied soil (0 to 30 cm layer)

چگالی ظاهری Bulk density ($g\ cm^{-3}$)	رطوبت اشباع (درصد وزنی) Saturated water content (%w/w)	نقطه پژمردگی دائم (درصد وزنی) Permanent wilting point (%w/w)	گنجایش مزرعه (درصد وزنی) Field capacity (%w/w)	رسانایی الکتریکی عصاره اشباع Electrical conductivity of saturated extract (dS/m)	واکنش عصاره اشباع pH of saturated extract	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم قابل استفاده Available potassium ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر قابل قابل استفاده Available phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	بافت خاک Soil texture
1.31	38	17	30	0.76	7.76	0.134	1.21	321	11	Clay loam

گیاهان قرار گرفت. مقدار آب مورد نیاز در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی برابر ۲۶۰۰ مترمکعب در هکتار (۳/۶۴ متر مکعب در هر کرت) بوده است.

کدو سبز به تعداد ۲۸ بوته در هر تیمار در ۱۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۵ کشت شد. تیمارها پس از کشت تا حد گنجایش مزرعه (به اندازه ۶۰ میلی‌متر) تا پیش از ظهور اولین میوه آبیاری شدند. مقدار آب آبیاری (cm) بر اساس رابطه (۲) به هر یک از تیمارها اعمال شد (Huang et al., 2004):

$$d = \frac{(\theta_{fc} - \theta_w).Z.\rho_b}{2} \quad (۲)$$

که در آن، θ_{fc} رطوبت وزنی خاک در گنجایش مزرعه (g/g)، θ_w رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری (g/g)، Z میانگین عمق توسعه ریشه (cm) و ρ_b چگالی ظاهری خاک (g/cm^3) است.

بهره‌وری مصرف آب (P) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Huang et al., 2004):

$$P = \frac{Y}{ET_a} \quad (۳)$$

که در آن، Y عملکرد میوه کدو (کیلوگرم) و ET_a تبخیر و تعرق واقعی (متر مکعب آب) است. مقادیر ET_a برای هر یک از تیمارها با استفاده از معادله بیلان آب (رابطه ۴) به‌دست آمد:

$$ET_a = P + I + \Delta S - D_P \quad (۴)$$

که در آن، ΔS تغییرات ذخیره آب در ابتدا و انتهای فصل رشد (mm)، P بارندگی (mm)، I مقدار آب آبیاری (mm) و D_P آب زهکشی‌شده (mm) است. چون مقدار آب آبیاری تنها به‌اندازه افزایش رطوبت خاک تا گنجایش مزرعه مورد استفاده قرار گرفت، از این‌رو از مقدار آب زهکشی‌شده صرف‌نظر شد.

همچنین مقدار گنجایش مزرعه خاک با آزمایش صحرایی به‌دست آمد؛ بدین صورت که پس از آبیاری اندازه‌گیری متوالی مقدار رطوبت خاک (هر ۶ ساعت) انجام شده و زمانی که مقادیر رطوبت اندازه‌گیری‌شده به مقدار تقریباً ثابتی رسید (خروج آب ثقلی)، مقدار رطوبت خاک به‌دست آمده به‌عنوان گنجایش مزرعه در نظر گرفته شد (Kiani, 2011). برای خاک این آزمایش ۴۸ ساعت اندازه‌گیری مقدار رطوبت انجام شد. اندازه‌گیری درصد رطوبت در نقطه پژمردگی دائم در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تحت مکش ماتریک ۱۵۰۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شده و به‌ترتیب برابر ۳۰ و ۱۷ درصد وزنی به‌دست آمد. مقدار چگالی ظاهری با برداشت خاک مزرعه به‌وسیله استوانه نمونه‌برداری به‌دست آمد.

کارایی آبیاری با اندازه‌گیری مقادیر حجم آب ورودی و خروجی از یک کرت در این طرح، ۸۰ درصد در نظر گرفته شد. پس از محاسبه مقدار آب مورد نیاز براساس رابطه (۱)، تیمارها براساس درصد نیاز آب دریافت نمودند. اعمال تیمار آبیاری پس از مشاهده اولین میوه اعمال شد. تا پیش از ظهور میوه، تمامی تیمارها در حد گنجایش مزرعه و به یک اندازه آبیاری شدند. کود نیتروژنه در سه مرحله، یعنی یک سوم ابتدای فصل رشد، یک سوم در زمان گل‌دهی و یک سوم در ابتدای میوه‌دهی به‌صورت دستی داده شد.

سطح برگ با دستگاه تعیین سطح برگ با دقت ۰/۱ (سانتی‌متر مربع) در هنگام اولین برداشت محصول، تعداد برگ در بوته با شمارش تعداد کل برگ‌ها، وزن تازه و خشک برگ با ترازوی دیجیتالی، و وزن شاخساره پس از قطع کردن از روی سطح خاک با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. طول و عرض میوه‌ها با متر و کولیس در یک بازه زمانی مشخص و ۱۵ روز پس از ظهور گل اندازه‌گیری شد. وزن تک میوه با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC-C و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج

براساس تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر تیمار آبیاری، کود نیتروژنه و برهمکنش آن‌ها بر ویژگی‌های رشدی کدو معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی از ویژگی‌های رویشی کدو سبز تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و کود نیتروژنه
Table 2. The results of variance analysis of some growth characteristics of green squash under the influence of drought stress and nitrogen fertilizer

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی (df)	وزن تازه شاخساره (بدون میوه) Weight of aerial parts (without fruit)	سطح برگ Leaf area	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تازه برگ Leaf fresh weight	تعداد برگ Number of leaves
تکرار (Replication)	2	0.037**	2734ns	22.1**	16.9**	2.58**
تنش خشکی (Drought stress)	3	6.88**	5066957**	200.5**	728.8**	66**
کود نیتروژنه (Nitrogen fertilizer)	2	1.79**	81875**	58.5**	121.2**	27**
تنش خشکی × کود نیتروژنه (Drought stress × Nitrogen fertilizer)	6	0.061*	1069ns	1.32**	2.8**	0.33ns
خطا (Error)	16	0.001	1280	0.059	0.067	0.167
CV (ضریب تغییرات)	-	2.1	4.3	1.68	1.91	1.4

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر تاثیر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.
ns, * and ** stand for non-significant and significant effects at the 5 and 1 percents probability levels, respectively.

تعداد برگ

نتایج تعداد برگ نشان داد که این صفت به طور معنی‌داری (سطح احتمال ۱ درصد) تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با کاهش نیاز آبی، تعداد برگ کدو سبز کاهش یافت (جدول ۳). افزایش تعداد برگ به‌واسطه افزایش میزان کود نیتروژنه مشاهده شد، به‌طوری‌که تعداد برگ در بوته از ۲۸/۲ در تیمار بدون کود به تعداد ۳۱/۲ در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه رسیده است (جدول ۴).

نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی، تعداد برگ کاهش یافت (جدول ۵)، اما در تیمارهایی که کود نیتروژنه دریافت کردند کاهش تعداد برگ کم‌تر بود؛ برای نمونه تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه با تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه در یک سطح آماری قرار داشتند.

وزن تازه و خشک برگ

تأثیر تنش خشکی، کود نیتروژنه و برهمکنش آن‌ها بر وزن تازه و خشک برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داد با افزایش تنش خشکی، وزن تازه و خشک برگ کاهش یافت. در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی، وزن تازه و خشک برگ در بوته نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۵۵ و ۵۶ گرم کاهش داشته است (جدول ۳). همچنین افزایش میزان کود نیتروژنه باعث افزایش وزن تازه و خشک برگ گردید (جدول ۴). بیش‌ترین مقادیر وزن تازه و خشک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به‌ترتیب برابر ۴۲/۲ و ۲۲/۴۰ گرم در بوته بود.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح تنش خشکی براساس نیاز آبی بر ویژگی‌های رویشی کدو سبز

Table 3. Means' comparison of the effect of drought stress based on water requirement on the growth characteristics of green squash

تعداد برگ (Number of leaves)	وزن تازه برگ (Leaf fresh weight)	وزن خشک برگ (Leaf dry weight)	سطح برگ (Leaf area)	وزن شاخساره (بدون میوه) Weight of aerial parts (without fruit)	نیاز آبی (Water requirement)
per plant	g/plant	g/plant	cm^2/plant	kg/plant	% (درصد)
32.6[a]	37.4[a]	19.4[a]	1174.0[a]	2.85[a]	100
31.3[b]	30.9[b]	16.9[b]	997.3[b]	2.34[b]	75
27.9[c]	22.9[c]	13.2[c]	766.6[c]	1.32[c]	50
26.9[d]	16.8[d]	8.6[d]	641.7[d]	0.96[d]	25

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های تأثیر کود نیتروژنه بر ویژگی‌های رویشی کدو سبز

Table 4. Means' comparison of the effect of nitrogen fertilizer effect on the growth characteristics of green squash

تعداد برگ (Number of leaves)	وزن تازه برگ (Leaf fresh weight)	وزن خشک برگ (Leaf dry weight)	سطح برگ Leaf (area)	وزن شاخساره (بدون میوه) Weight of aerial parts (without fruit)	کود نیتروژنه (Nitrogen fertilizer)
per plant	g/plant	g/plant	cm^2/plant	kg/plant	kg/ha
28.2[c]	24.1[c]	12.6[c]	642[c]	1.5[c]	0
29.7[b]	26.6[b]	14.1[b]	767[b]	1.8[c]	100
31.2[a]	30.4[a]	16.9[a]	997[a]	2.3[a]	200

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر برهمکنش تنش خشکی و کود نیتروژنه بر ویژگی‌های رویشی کدو سبز

Table 5. Means' comparison of the interaction effect of drought stress and nitrogen fertilizer on the growth characteristics of green squash

تعداد برگ (Number of leaves)	وزن تازه برگ (Leaf fresh weight)	وزن خشک برگ (Leaf dry weight)	سطح برگ (Leaf area)	وزن شاخساره (بدون میوه) Weight of aerial parts (without fruit)	کود نیتروژنه (Nitrogen fertilizer)	نیاز آبی (Water requirements)
per plant	g/plant	g/plant	cm^2/plant	kg/plant	kg/ha	%
31.3[c]	33.3[c]	17.4[c]	1077[c]	2.35[c]	0	
32.7[b]	36.6[b]	18.3[b]	1171[b]	2.78[b]	100	100
33.7[a]	42.2[a]	22.4[a]	1276[a]	3.34[a]	200	
29.7[d]	28.7[e]	15.6[e]	933[d]	1.87[d]	0	
31.6[c]	30.4[d]	16.5[d]	985[d]	2.33[c]	100	75
32.6[b]	34.7[b]	18.7[b]	1074[c]	2.81[b]	200	
26.3[g]	20.7[h]	11.4[g]	668[gh]	1.06[g]	0	
27.7[f]	22.6[g]	12.7[f]	777[f]	1.27[f]	100	50
29.3[d]	25.6[f]	15.3[e]	855[e]	1.62[e]	200	
25.3[h]	13.7[k]	5.8[i]	581[i]	0.73[i]	0	
27.7[g]	16.7[j]	8.6[h]	632[hi]	0.88[h]	100	25
28.3[e]	20.2[i]	11.3[g]	713[fg]	1.12[f]	200	

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس مشاهدات نشان داد که تنش خشکی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ داشت (جدول ۱)، به‌طوری‌که سطح برگ در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد آن حدود ۴۵ درصد کاهش یافت (جدول ۳). در برخی پژوهش‌ها نیز کاهش سطح برگ گیاه در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (۶ و ۱۵). اثر سطوح کود نیتروژنه بر سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود (جدول ۱)، و کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر سطح برگ (۶۴۱/۹ و $cm^2/plant$ ۹۹۷/۳) به ترتیب در پایین‌ترین سطح کودی (بدون مصرف کود) و کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژنی مشاهده شد (جدول ۳).

وزن شاخساره

اثر برهمکنش آبیاری و کود نیتروژنه بر عملکرد بیولوژیک نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیش‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک (۳/۴۳ کیلوگرم در بوته) متعلق به تیمار آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد نیاز آبی) و بیش‌ترین میزان نیتروژن مصرفی بود و کم‌ترین میزان آن (۰/۷۳ کیلوگرم در بوته) در شرایط تنش شدید خشکی و پایین‌ترین سطح نیتروژن به‌دست آمد. در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش میزان کود نیتروژنه، عملکرد بیولوژیک افزایش یافت، اما در شرایط تنش ملایم و شدید رطوبتی (۷۵ و ۵۰ درصد) افزایش کاربرد کود نیتروژنه، میزان عملکرد بیولوژیک را افزایش داد (جدول ۵). البته زمانی که مقدار رطوبت کم بود (۲۵ درصد) افزایش کود نیتروژنه نتوانسته تأثیر زیادی در افزایش عملکرد بیولوژیک داشته باشد. به عبارتی کاربرد مقادیر مناسب کود نیتروژنه می-تواند مقابله با تنش آبی را در گیاه افزایش داد. نتایج پژوهش-هایی درباره کم‌آبیاری گیاه گوجه فرنگی نشان داد که اثر کم-آبیاری بر وزن خشک شاخساره گیاه گوجه فرنگی معنی‌دار بوده و افزایش تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک شاخساره گیاه گوجه فرنگی می‌شود (Dehghan et al., 2014).

ویژگی‌های زایشی کدو سبز

طول و عرض میوه

تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر اندازه میوه (طول و عرض) نداشته است. تأثیر مقدار کود نیتروژنه بر اندازه میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). با افزایش میزان کود اندازه طول و عرض میوه افزایش یافت، به‌طوری‌که طول میوه در تیمار بدون کود از ۱۱/۵ سانتی‌متر به ۱۵/۴۸ سانتی‌متر در تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۸). اثر برهمکنش تنش خشکی و کود نیتروژنه در سطح احتمال پنج درصد بر اندازه میوه تأثیرگذار بود (جدول ۶). بیش‌ترین اندازه طول و عرض میوه به‌ترتیب برابر ۱۶/۱ و ¼ سانتی‌متر در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به‌دست آمد (جدول ۹).

وزن تک میوه

تأثیر کود نیتروژنه و اثر برهمکنش تیمارها بر وزن تک میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). افزایش تنش خشکی باعث کاهش وزن میوه شد به‌طوری که کم‌ترین وزن میوه (۱۴۷/۹ گرم) در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد و با افزایش رطوبت خاک در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به مقدار ۱۶۳ گرم افزایش یافت (جدول ۷). کود نیتروژنه باعث افزایش معنی‌دار در وزن میوه‌ها شد (جدول ۶). البته این افزایش در میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه رخ نداد ولی با افزایش میزان کود به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش خشکی و کود نیتروژنه نشان داد بیش‌ترین وزن تک میوه در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه به‌دست آمد.

تعداد میوه در بوته

تأثیر تیمار تنش خشکی بر تعداد میوه در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بیش‌ترین تعداد میوه در

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری مصرف آب و ویژگی‌های زایشی کدو سبز تحت تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی و کود نیتروژنه

Table 6. The results of variance analysis of water use productivity and reproductive characteristics of green squash under the influence of drought stress and nitrogen fertilizer

طول میوه (Fruit length)	عرض میوه (Fruit width)	وزن میوه (Fruit weight)	تعداد میوه (Number of fruits)	عملکرد میوه (Fruit yield)	بهره‌وری مصرف آب (Water use productivity)	درجه آزادی (df)	منابع تغییرات (S.O.V)
3.4 ns	0.34 ns	114.5ns	0.083 ns	43138 ns	0.161 ns	2	تکرار (Replication)
1.2 ns	0.36 ns	472.6ns	38.7**	383090**	40.4**	3	تنش خشکی (Drought stress)
48.5**	12.2**	1193.3**	54.8**	5675577**	232**	2	کود نیتروژنه (Nitrogen fertilizer)
0.92*	0.36*	261.8**	1.7**	11534252**	4.6**	6	تنش خشکی × کود نیتروژنه (Drought stress × Nitrogen fertilizer)
3.4	0.13	62.6	0.19	1334374	0.22	16	خطا (error)
12.7	10.8	5.1	5	4.6	3.1	–	CV

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر تاثیر غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

Ns, * and ** stand for non-significant and significant effects at the 5 and 1 percents probability levels, respectively.

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های تأثیر کود نیتروژنه بر بهره‌وری مصرف آب و ویژگی‌های زایشی کدو سبز

Table 7. Means' comparison of the effects of nitrogen fertilizer on water use productivity and reproductive characteristics of green squash

بهره‌وری مصرف آب (Water use productivity)	عملکرد میوه (Fruit yield)	تعداد میوه (Number of fruits)	وزن میوه (Fruit weight)	عرض میوه (Fruit width)	طول میوه (Fruit length)	کود نیتروژنه (Nitrogen fertilizer)
kg/m^3	kg/ha	per plant	g	cm	cm	kg/ha
11.2^c	18280^c	6.6^c	148.9^b	2.2^b	11.5^b	0
15.3^b	24540^b	9.1^b	151.8^b	3.7^a	13.0^b	100
20.0^a	32010^a	10.8^a	167.4^a	4.2^a	15.5^a	200

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

بوته (برابر ۱۱/۱) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد که در گروه a قرار گرفت. افزایش شدت تنش باعث کاهش تعداد میوه در بوته شد و در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی به ۶/۴ عدد رسید که در گروه d قرار گرفت. کمبود بیش از حد آب می‌تواند تعداد میوه در بوته را به دلیل افزایش سقط گل کاهش دهد (Shishido et al., 1992). Gholipoori et al. (2006) در یک بررسی دو سال با در نظر گرفتن اثر سطوح مختلف کود نیتروژنی بر عملکرد و اجزای عملکرد کدوی تخم کاغذی گزارش کردند که بدون کاربرد نیتروژن، میانگین تعداد میوه در هر بوته کم‌تر از دو عدد بود، ولی با کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن میانگین تعداد میوه در هر بوته افزایش یافت.

تأثیر برهمکنش تنش خشکی و کود نیتروژنه نیز بر تعداد

جدول ۸. مقایسه میانگین‌های اثر برهمکنش تنش خشکی و کود نیتروژنه بر بهره‌وری مصرف آب و ویژگی‌های زایشی کدو سبز

Table 8. Means' comparison of the interaction effect of drought stress and nitrogen fertilizer on water use productivity and reproductive characteristics of green squash

بهره‌وری مصرف آب (Water use productivity)	عملکرد میوه (Fruit yield)	تعداد میوه (Number of fruits)	وزن میوه (Fruit weight)	عرض میوه (Fruit width)	طول میوه (Fruit length)	کود نیتروژنه (Nitrogen fertilizer)	نیاز آبی (Water requirements)
kg/m^3	kg/ha	per plant	g	cm	cm	kg/ha	%
9.1^{g}	23650^{e}	8d^{e}	168.9^{ab}	2.6d^{e}	12.5^{abc}	0	
12.1^{e}	31420^{c}	11.3^{b}	167.8^{ab}	3.8^{abc}	12.9^{abc}	100	100
15.9^{c}	41390^{a}	14.0^{a}	152.4^{c}	4.1^{ab}	16.1^{a}	200	
11.9^{ef}	21610^{fg}	8.3^{d}	147.6^{cd}	2^{ef}	10.7^{c}	0	
14.9^{d}	27170^{d}	9.7^{c}	157.3^{bc}	3.5^{c}	13.3^{abc}	100	75
20.9^{a}	36410^{b}	11.7^{b}	178.8^{a}	4.2^{a}	15.8^{a}	200	
21.5^{a}	16270^{i}	5.7^{f}	144.3^{cd}	1.5^{f}	11.0^{c}	0	
15.6^{cd}	20270^{gh}	8.0^{de}	144.8^{cd}	3.8^{abc}	12.7^{abc}	100	50
21.4^{a}	27840^{d}	10.0^{c}	154.7^{bc}	4^{abc}	15.3^{ab}	200	
11.1^{f}	11590^{j}	4.3^{g}	134.8^{d}	2.8^{d}	11.7^{bc}	0	
18.6^{b}	19290^{h}	7.3^{e}	152.9^{c}	3.6^{bc}	13.3^{abc}	100	25
21.5^{a}	22380^{ef}	7.7^{de}	168.6^{ab}	4.2^{a}	14.8^{ab}	200	

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

جدول ۹. مقایسه میانگین‌های تأثیر تنش خشکی بر بهره‌وری مصرف آب و ویژگی‌های زایشی کدو سبز

Table 9. Means' omparison of the effect of drought stress on water use productivity and reproductive characteristics of green squash

بهره‌وری مصرف آب (Water use productivity)	عملکرد میوه (Fruit yield)	تعداد میوه (Number of fruits)	وزن میوه (Fruit weight)	عرض میوه (Fruit width)	طول میوه (Fruit length)	نیاز آبی (Water requirements)
kg/m^3	kg/ha	per plant	g	cm	cm	%
12.4^{c}	32150^{a}	11.1^{a}	163^{a}	3.51^{a}	13.8^{a}	100
15.9^{b}	28400^{b}	9.9^{b}	161^{ab}	3.49^{a}	13.3^{a}	75
15.5^{ab}	21460^{c}	7.9^{c}	152^{b}	3.22^{a}	13.1^{a}	50
17.1^{a}	17760^{d}	6.4^{d}	148^{ab}	3.13^{a}	12.8^{a}	25

در هر ستون، اعداد دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌داری بر اساس روش آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر ندارند.

Means followed with at least one similar letter in each column are not significantly different (Duncan, $p < 0.05$).

میوه در بوته معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد میوه در بوته (برابر ۱۴) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه حاصل شد. افزایش تنش خشکی باعث کاهش تعداد میوه در بوته شد، اما با افزودن میزان کود تعداد میوه در تیمارهای تنش خشکی افزایش یافت. به‌طوری‌که در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بدون مصرف کود برابر ۸ عدد و در همان تیمار با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه به ۱۴ عدد رسید. در مقابل در تیمار با ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون مصرف کود نیتروژنه تعداد میوه در بوته برابر ۴/۳ عدد بوده که با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه به ۷/۷ عدد رسیده است (جدول ۹). به نظر می‌رسد که محدودیت آبیاری و نیتروژن در طول دوره رشد گیاه از راه اختلال در گرده‌افشانی و کوتاه‌کردن طول دوره رشد گیاه موجب کاهش تعداد میوه در بوته شده است (Shishido et al., 1992).

عملکرد میوه

تنش خشکی، کود نیتروژنه و اثر برهمکنش تنش خشکی و کود نیتروژنه بر عملکرد میوه کدوی سبز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین مقدار عملکرد میوه (به میزان ۳۲۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بود که نسبت به تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی حدود ۴۵ درصد افزایش داشته است (جدول ۹). با افزایش کود نیتروژنه از صفر به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد نیز از ۱۸۲۸۰ به ۳۲۰۱۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (جدول ۸). بیش‌ترین مقدار عملکرد کدو سبز (به میزان ۴۱۳۹۰ کیلوگرم در هکتار) به‌واسطه افزایش مقدار کود به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی حاصل شد. کم‌ترین عملکرد (به میزان ۱۱۵۹۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی و بدون مصرف کود نیتروژنه بود.

بهره‌وری مصرف آب

مقدار بهره‌وری مصرف آب با افزایش تنش خشکی و میزان مصرف کود افزایش داشته است (جداول ۷، ۸ و ۹). بیش‌ترین مقدار این شاخص (۲۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه حاصل شد.

در این آزمایش بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب (برابر ۲۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب) با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در تیمارهای کم‌آبیاری مشاهده شد (جدول ۸). بهبود بهره‌وری مصرف آب با افزایش نیتروژن مصرفی را می‌توان به افزایش عملکرد نسبت داد، زیرا آب مصرفی برای تمام سطوح کودی یکسان بود. افزایش مقدار نیتروژن مصرفی، با افزایش شدت فتوسنتز خالص، افزایش وزن زیست‌توده را به دنبال داشته است (Taheri-Asghari et al., 2009). در شرایط پژوهش حاضر اگرچه افزایش نیتروژن مصرفی، احتمالاً افزایش تعرق را به همراه داشته است، اما به دلیل تولید عملکرد بیش‌تر در نهایت بهره‌وری مصرف آب بیش‌تر شده است. اثر برهمکنش سطوح آبیاری و نیتروژن بر بهره‌وری مصرف آب در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب و عملکرد تحت تأثیر سطوح متفاوت آبیاری و نیتروژن نیز مشابه بود. در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش مقدار کود نیتروژنه بهره‌وری مصرف آب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما بیش‌ترین بهره‌وری مصرف آب (برابر ۲۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط تنش رطوبتی شدید با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه بود (جدول ۸). Mousavi et al. (2013) گزارش کردند که اثر برهمکنش سطوح آبیاری و کود نیتروژنه بر بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود و در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش مقدار کود نیتروژنه بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت. اما در شرایط تنش رطوبتی (ملایم و شدید)، کاربرد کود نیتروژنه تا حد نیاز گیاه بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد، اما افزایش بیش‌تر کود نیتروژنه شاخص مزبور را کاهش داد.

بحث

امروزه کاربرد مقادیر مناسب کودهای شیمیایی از اهمیت زیادی برخوردار است و انتخاب ترکیب مناسب تیمار آبیاری و کود نیتروژنه می‌تواند شرایط مناسب را برای بهبود عملکرد فراهم آورد. نتایج این پژوهش نشان داد که در منطقه اکولوژیک مورد آزمایش، تنش خشکی و مصرف کود نیتروژنه بر تعداد برگ معنی‌دار شد اما اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). به نظر می‌رسد تنش خشکی بر تشکیل سلول‌های اولیه برگ و تمایز آن‌ها تأثیر گذاشته و سبب کاهش تعداد برگ شده است (Lobato et al., 2008). ریزش و کاهش تعداد برگ در شرایط تنش خشکی یک سازش مورفولوژیک و عاملی برای انتشار مجدد مواد غذایی در گیاه است (Munne-Bosch and Alegre, 2004).

تأثیر تنش خشکی، کود نیتروژنه و اثر برهمکنش آن‌ها بر وزن تازه و خشک برگ در سطح احتمال معنی‌دار بود (جدول

۲). چرا که گیاه در هنگام مواجهه با تنش، سطح برگ خود را کاهش می‌دهد که سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد. با کاهش مواد فتوسنتزی وزن خشک برگ و ساقه کاهش می‌یابد (Taheri-Asghari et al., 2009). افزایش وزن تازه و خشک گیاه به دنبال افزایش کاربرد کود نیتروژن‌دار توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Mehr-Afarin et al., 2018).

تنش خشکی بر اندازه و سطح برگ نیز تأثیر داشت. در تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی، سطح برگ حدود ۴۵ درصد نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کاهش یافت. کاهش سطح برگ در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش محتوای نسبی آب و متعاقباً کوچک‌شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مریستمی و در نتیجه کندشدن رشد برگ است (Lobato et al., 2008).

تیمارهای تنش خشکی و کود بر ابعاد میوه نیز تأثیرگذار بودند (جدول ۶). با افزایش تنش خشکی و کاهش مصرف کود نیتروژنه، ابعاد میوه کوچک شده است (جدول ۸). معمولاً ریشه‌های گیاهان مواد غذایی و آب را از لایه‌های بالایی خاک در شرایطی که تنش آبی نباشد، جذب می‌کنند. از طرفی ممکن است به دلیل نبود رطوبت کافی در ناحیه رشد ریشه، فرآیندهای فیزیولوژیک مختلف از جمله جذب مواد غذایی، رشد گیاه، فتوسنتز و تجمع ماده خشک گیاهی کاهش یابد و این منعکس‌کننده کاهش کم‌تر صفات زایشی در اثر تنش کم‌آبی است (Simsek and Comlekcioglu, 2011).

افزایش تنش خشکی و کاهش مصرف کود نیتروژنه باعث کاهش شدید وزن میوه کدو شده است (جدول ۹). با افزایش مقدار آب مصرفی و کود نیتروژنه وزن میوه افزایش معنی‌داری داشته است. بیش‌ترین وزن میوه‌ها در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی و مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژنه مشاهده شد. کاهش وزن میوه‌ها می‌تواند به دلیل کاهش رشد گیاه و فتوسنتز همراه با پیری برگ‌ها در شرایط تنش باشد. هم‌چنین تنش کم‌آبی با کاهش جذب نیتروژن و استفاده آن توسط گیاه، مانع بزرگ‌شدن سلول‌ها شده و سطح برگ و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Reddy et al., 2004).

تعداد میوه در بوته کدو سبز نیز تحت تأثیر تنش خشکی و مصرف کود نیتروژنه قرار گرفت (جدول ۶) به‌طوری‌که با افزایش تنش خشکی و کاهش مصرف کود نیتروژنه کاهش یافت (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد که محدودیت آبیاری و نیتروژن در طول دوره رشد گیاه از راه اختلال در گرده‌افشانی و کوتاه‌کردن طول دوره رشد گیاه موجب کاهش تعداد میوه در بوته می‌شود (Shishido et al., 1992; Al-Omran et al., 2005). Gholipoori et al. (2006) در یک بررسی دو ساله اثر سطوح مختلف کود نیتروژنه بر عملکرد و اجزای عملکرد کدوی تخم کاغذی گزارش کردند که بدون کاربرد نیتروژن، میانگین تعداد میوه در هر بوته کم‌تر از دو عدد بود، ولی با کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژنه میانگین تعداد میوه در هر بوته افزایش یافت.

بیش‌ترین مقدار عملکرد کدو سبز مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بوده که نسبت به تیمار ۲۵ درصد نیاز آبی حدود ۴۵ درصد افزایش عملکرد داشته است (جدول ۹). هم‌چنین با افزایش کود نیتروژنه عملکرد نیز افزایش یافته است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر عملکرد کدو سبز به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی مشاهده شد. این یافته احتمالاً ناشی از اختلال در فرآیند جذب نیتروژن توسط گیاه در شرایط تنش رطوبتی شدید است (Mousavi et al., 2013). بنابراین در شرایط کمبود آب در خاک که جذب عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) تحت تأثیر قرار می‌گیرد، لزوم برقراری تناسب بین نیتروژن مصرفی و فراهمی رطوبت در خاک ضروری است (Reddy et al., 2004; Nissanka et al., 1997).

نتیجه‌گیری

در کل نتایج پژوهش حاضر نشان داد کمبود آب و نیتروژن با کاهش اجزای عملکرد موجب کاهش عملکرد می‌شوند. در شرایط آبیاری مطلوب (کامل)، بیش‌ترین عملکرد در سطح بالاتر کود نیتروژنه (با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) حاصل شد. در شرایط تنش آبی نیز، افزایش کاربرد کود

نیتروژنه، عملکرد دانه را افزایش داد. بیش‌ترین بهره‌وری مربوط به تیمار ۲۵ درصد آبیاری با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بود. بهبود بهره‌وری مصرف آب با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی را می‌توان به افزایش عملکرد نسبت داد، چراکه برای تمام سطوح کود، مقدار آب مصرفی یکسان بود و افزایش مصرف کود نیتروژنه موجب عملکرد بیش‌تر شده که در نتیجه مقدار بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده است. در شرایط این آزمایش، با در نظر گرفتن دو معیار عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب، هر چند تیمار آبیاری کامل با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص داد، ترکیب کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن با ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی بیش‌ترین بهره‌وری را داشته‌اند. با توجه به نتایج می‌توان تیمار آبیاری بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه را بهترین تیمار در شرایط محدویت آب معرفی کرد.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از زحمات جناب آقای دکتر فضل شیردل شهمیری (ریاست محترم وقت دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر) به دلیل استفاده از نظرات ایشان در زمینه اولویت انتخاب نوع گیاه سپاسگزاری می‌نمایند. ضمناً در انجام این پژوهش، حمایت مالی خاصی از مؤسسات عمومی، صنعتی و غیرانتفاعی دریافت نشده است.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Abdzad-Gohari, A., Amiri, A., Alizadeh, A., 2014. Estimation of production function and efficiency of water consumption in eggplant plant under drip irrigation and nitrogen fertilizer conditions. J. Soil Water Resour. Prot. 5(1), 41–54.
2. Akbari-Nodehi, d., 2010. Estimating the coefficient of evaporation pan in order to calculate evaporation-transpiration (case study: Sari synoptic station). J. Res. Agric. Sci. 2(7), 74–65 .
3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrig. Drain. Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 125–162.
4. Al-Omran, A.M., Sheta, A.S., Falatah, A.M., Al-Harbi, A.R., 2005. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbita pepo*) yield and water-use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. Agric. Water Manag. 73(1), 43–55.
5. Dehghan, H., Alizadeh, A., Esmaili, K., Nemati, S.H., 2014. Root growth, yield and yield components of tomato under drought stress. J. Water Res. Agric. 29(2), 169–179.
6. Dolatparast, B., Hosseinpanahi, F., Siosemardeh, A., Mansori, H., 2023. Evaluation of the effect of different irrigation and nitrogen fertilizer levels on growth indices and grain yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in Drip Irrigation Method. J. Crops. Improve. 25 (1), 33–49.
7. Gholipoori, A., Javanshir, A., RahimZadeh-Khoie, F., Mohammdi, A., Biat, H., 2006. The effect of different nitrogen level and prnuning of head on yield and yield component of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). J. Agri. Sci. 13(2), 32–41.
8. Golkar, F., Farhamand, A., Fardad, H., 2017. Investigating the effect of irrigation water on yield and efficiency of water consumption in tomatoes. J. Water Eng. 1(1), 13–20.
9. Grubben, G., 2004. Plants resources of tropical Africa 2. Vegetables. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands, pp. 60–109.
10. Huang, M., Calich, J., Zhong, L., 2004. Water-yield relationships and optimal water management for winter wheat in the loes plateau of china. Irri. Sci. 23, 47–54.
11. Khurana, E., Singh, J.H., 2000. Influence of seed size on seedling growth of *Albizia procera* under different soil water levels. Ann. Bot. 86, 1185–1192.
12. Kiani, A.R., 2011. Irrigation Basics and Methods, First ed. Agricultural Science of Iran, Tehran.

13. Krishnamurthy, N., Hunsigi, G., 1998. Influence of plant density and nitrogen levels on mesta: growth components, dry matter and biomass yields. J. Agric. Sci. 26(3), 239–243.
14. Lobato, A.K.S., Oliveira Neto, C.F., Santos Filho, B.G., Costa, R.C.I., Cruz, F.J.R., Neves, H.K.B., Lopes, M.J.S., 2008. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. Sambaiba) plants under water deficit. Aus. J. Crop Sci. 2, 25–32.
15. Mehr-Afarin, A., Nakhdi-Badi, H., Purhadi, M., Hadavi, A., Qavami, N., Kodkhoda, Z., 2018. Phytochemical and agronomic response of peppermint to the application of biofertilizers and urea. J. Med. Plants. 4(40), 118–107.
16. Mousavi, S.G.R., Seghatoleslami, M.J., Ansarinia, E., Javadi, H., 2013. The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer on yield and water use effeciency of *Calendula officinalis* L. J. MediC. Arom. Plant. 28(3), 493–508. (In Persian with English abstract)
17. Munne-Bosch, S., Alegre, L., 2004. Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. Plant Bio. 31, 203–216.
18. Nissanka, S.P., Dixon, M.A., Tollennar, M., 1997. Canopy gas exchange response to moisture stress in old and new maize hybrid. Crop Sci. 37, 172–181.
19. Raun, W.R., Johnson, G.V., 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91, 357–363.
20. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J. Plant Physiol. 161(11), 1189–1202.
21. Refai, E.F.S.1., Hassan, A.M.A., 2019. Management of irrigation and nitrogen fertilization for squash grown at different plantation seasons under Assiut governorate conditions. J. Agric. Res. 8(1), 356–370.
22. Sajdi, N.A., Ardakani, M.R., Sahdi, A., Bahrami, A., 2010. Absorption of some nutrients under the influence of mycorrhiza, different levels of zinc and drought stress in maize. J. Agric. Res. 8(5), 791–784.
23. Shishido, Y., Yahashi, T., Seyama, N., Imada, S., 1992. Effects of leaf position and water management on translocation and distribution of ^{14}C assimilates in fruiting muskmelons. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 60, 897–903.
24. Simsek, M., Comlekcioglu, N., 2011. Effects of different irrigation regimes and nitrogen levels on yield and quality of melon (*Cucumis melo* L.). Afri. J. Bio. 10(49), 10009–10018.
25. Taheri-Asghari, M., Daneshian, J., Aliabadi Farahani, M.H., 2019. The effect of low water stress on a number of traits in the medicinal plant chicory, under different plant densities. J. Agri. Sci. 1(1), 12–14.
26. Xu, H.L., Qin, F.F., Du, F.L., Xu, Q.C., Wang, R., Shah, R.P., Zhao, A.H., Li, F.M., 2009. Applications of xerophytophysiology in plant production – Partial root drying improve tomato crops. J. Food. Agric. Environ. 7(3-4), 981–988.