University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

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

# The Effect of Cropping Pattern and Different Levels of Nitrogen on Morphological Characteristics, Photosynthetic Pigments and Nutritional Elements of Sunflower Seed (*Helianthus annuus* L.)

**Akbar Sherizadeh[1] | Jalal Jalilian[2]✉ | Raheleh Tahmasebi [3]**

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: j.jalilian@urmia.ac.ir
3. Department of Analytical Chemistry-Chromatography, Iranian Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Urmia, Iran.

## Article Info

**Article type:**
Research Article

**Article history:**
Received: June 17, 2023
Received in revised form: July 16, 2023
Accepted: July 19, 2023
Published online: December 22, 2023

**Keywords**:
Crop management,
fertilizer,
rectangular cultivation,
triangular cultivation,
urea.

## ABSTRACT

This experiment was conducted to investigate the effect of crop arrangement and different levels of nitrogen on the morphological characteristics, photosynthetic pigments, and nutrients of sunflower seeds, as a split plot experiment in a RCBD design with three replications in 2021. The main plots included five different patterns of spatial arrangement (square, normal rectangle, wide rectangle, triangular, and mixed cultivation systems). Different levels of nitrogen chemical fertilizer (urea) in three levels (application of 100, 75, and 50% of the plant's fertilizer requirement) were placed in sub-plots. The results showed that the maximum leaf width (40.3 cm), leaf area index (4.64), number of leaves (29.2), stem diameter (3.95 cm), and plant height (177.3 cm) were obtained from the treatment of triangular planting arrangement. In addition, the triangular planting arrangement and then the square planting arrangement had the highest content of chlorophylls and carotenoids compared to the other planting arrangements, and the lowest content of chlorophylls and carotenoids were observed in the wide rectangular planting arrangement. Moreover, the results showed that the maximum protein, nitrogen, phosphorus, and potassium of sunflower seeds were obtained in the triangular planting arrangement (17.15, 2.98, 0.54, and 1.73%, respectively), and no significant difference was observed in the triangular planting arrangement between different levels of nitrogen. Generally, the triangular crop arrangement by improving the growth characteristics of sunflower resulted in maximum grain yield and 50% reduction in urea consumption, because the yield of sunflower in the mentioned treatment did not show a significant difference with the application of 100% urea fertilizer; Therefore, the triangular cultivation arrangement is introduced as the best cultivation system for sunflower.

**Cite this article:** Sherizadeh, A., Jalilian, J., & Tahmasebi, R. (2023). The effect of cropping pattern and different levels of nitrogen on morphological characteristics, photosynthetic pigments and nutritional elements of sunflower seed (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(4), 155-164. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.360870.655012.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.360870.655012.

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

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

# تأثیر آرایش کشت و سطوح مختلف نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

اکبر شری‌زاده[۱]، جلال جلیلیان[۲]✉، راحله طهماسبی[۳]

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲- نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: j.jalilian@urmia.ac.ir

۳- گروه شیمی تجزیه-کروماتوگرافی، مرکز آموزشی، فرهنگی و پژوهشی دانشگاهی ایران (ACECR)، ارومیه، ایران.

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:** مقالهٔ پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۴/۲۸

**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

**کلیدواژه‌ها:**
اوره،
کشت مثلثی،
کشت مستطیلی،
کود،
مدیریت زراعی.

**چکیده**

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر آرایش کشت و سطوح مختلف نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی دانه آفتابگردان، به‌صورت کرت خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۰ انجام شد. الگوهای مختلف آرایش فضایی کشت در پنج سطح (کشت مربعی، کشت مستطیلی معمولی، کشت مستطیلی پهن، کشت مثلث متساوی‌الاضلاع، و کشت درهم) به‌عنوان کرت‌های اصلی و کاربرد سطوح مختلف نیتروژن به‌صورت کود شیمیایی اوره در سه سطح (کاربرد ۱۰۰،۷۵ و ۵۰ درصدی نیاز کودی گیاه) در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عرض برگ (۴۰/۳ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۴/۶۴)، تعداد برگ (۲۹/۲ عدد)، قطر ساقه (۳/۹۵ سانتی‌متر) و ارتفاع گیاه (۱۷۷/۳ سانتی‌متر) از تیمار آرایش کشت مثلثی به‌دست آمد. همچنین، آرایش کشت مثلثی و سپس آرایش کشت مربعی نسبت‌به بقیه آرایش‌های کشت، بالاترین میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید را داشتند و کمترین آن‌ها در آرایش کشت مستطیلی پهن مشاهده شد. به‌علاوه، نتایج نشان داد بیشترین میزان پروتئین، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه، به‌ترتیب با ۱۷/۱۵، ۲/۹۸، ۰/۵۴ و ۱/۷۳ درصد در آرایش کشت مثلثی به‌دست آمد و در آرایش کشت مثلثی بین سطوح مختلف نیتروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی بهبود صفات بررسی‌شده در آرایش کشت مثلثی منجر به حصول بیشینه عملکرد دانه شد که در کنار کاهش مصرف اوره تا ۵۰ درصد در این تیمار، عملکرد کاهش معنی‌داری با کاربرد ۱۰۰ درصدی کود اوره نشان نداد؛ لذا آرایش کشت مثلثی به‌عنوان برترین سیستم کشت آفتابگردان معرفی می‌شود.

**استناد:** شری‌زاده، ا.، جلیلیان، ج.، و طهماسبی، ر. (۱۴۰۲). تأثیر آرایش کشت و سطوح مختلف نیتروژن بر خصوصیات مورفولوژیک، رنگیزه‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۴)، ۱۵۵-۱۶۴.
DOI: 10.22059/ijfcs.2023.360870.655012

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

## ۱. مقدمه

دانه‌های روغنی پس از غلات مهم‌ترین منابع تأمین انرژی هستند. آفتابگردان با نام علمی *Helianthus annuus* (L.) یکی از باارزش‌ترین دانه‌های روغنی (Semsettin Tan & Kaya, 2019) است. آفتابگردان در صنعت برای تولید موم، صابون، لاک و رنگ، مورد استفاده قرار می‌گیرد و از لحاظ سودآوری، در رتبه چهارم بعد از سویا، کلزا و گلرنگ قرار دارد (Adeleke & Babalola, 2020; Soares *et al.*, 2021). باتوجه‌به نیاز روزافزون کشور به روغن خوراکی از طریق افزایش تولید محصولات دانه روغنی، لزوم دست‌یابی به ارقام با پتانسیل تولید عملکرد بالا اجتناب‌ناپذیر است.

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در کشت موفق محصولات زراعی، مدیریت تغذیه کودی است که بر کیفیت و کمیت تولید اثر می‌گذارد (Tahmasebi *et al.*, 2011). استفاده از کود در مزارع عاملی برای افزایش تولید محصول زراعی و درآمد است. تغییر در ساختار خاک، آلودگی آب‌های زیرزمینی و سمیت عناصر سنگین برخی از مشکلات بخش کشاورزی هستند که در نتیجه استفاده بیش از حد کودهای شیمیایی حادث شده‌اند (Behrooz *et al.*, 2017). لذا ضرورت دارد اقدام‌های به‌زارعی در جهت کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی، بدون کاهش عملکرد گیاهان زراعی انجام شود. نیتروژن یکی از عناصر بسیار مهم است که در ساختار اسیدهای آمینه، پروتئین گیاهی، کلروفیل، نوکلئوتیدها و اسیدهای نوکلئیک نقش اساسی دارد. گیاهان سالم آفتابگردان با نیتروژن کافی، دارای برگ سبز تیره می‌باشند؛ ولی ازآنجایی‌که این عنصر در گیاه متحرک است در زمان کمبود، برگ‌های پیرتر و ساقه‌ها، علائم کمبود را نشان می‌دهند (NSAC, 2012).

از جمله روش‌های مدیریت زراعی مناسب در جهت تولید گیاهان زراعی، بکارگیری الگوهای فضایی مناسب می‌باشد. بالا بردن کارایی استفاده از نهاده‌ها و منابع محیطی موجود، هدف اصلی طراحی الگوی فضایی کشت است. نحوه قرارگیری گیاهان در کنار هم، تاج‌پوشش گیاه را در ارتباط با رهگیری انرژی تابشی و سایه‌اندازی علف‌های هرز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Saeed, 1994). باتوجه‌به اینکه الگوی توزیع گیاهان بر میزان جذب انرژی خورشید، انجام فرآیند فتوسنتز و تولید زیست‌توده تاثیرگذار می‌باشد؛ لذا الگوی فضایی کشت بر میزان نهاده‌های دریافتی گیاه مانند نیتروژن مؤثر می‌باشد (Saleem *et al*., 2007). یکی دیگر از مهم‌ترین عوامل مدیریتی که بر جذب مواد غذایی و رشد گیاه تأثیر می‌گذارد، فاصله خطوط کشت است (Ahmad Khan *et al*., 2020). ازآنجایی‌که هندسه کاشت، الگوی توزیع گیاهان را در یک مزرعه تعیین می‌کند، به‌طور مستقیم روی رهگیری و جذب انرژی خورشید و به‌طور غیر مستقیم بر کارایی مصرف آب نیز تأثیر می‌گذارد (Saleem *et al*., 2007). الگوی کشت مربعی، یک سیستم متداولی می‌باشد که اجرای آن بسیار آسان است، در این سیستم فاصله ردیف‌های کشت با فاصلهٔ روی ردیف‌ها برابر می‌باشد و هر چهار گیاه از هم تشکیل یک مربع می‌دهند. در سیستم کشت مستطیلی، فاصله بین ردیف‌ها با فاصله گیاهان روی ردیف یکسان نیستند. فضای بین ردیف‌ها در این سیستم بیش‌تر از سیستم مربعی می‌باشد. در سیستم کشت مثلثی گیاهان مانند سیستم مربعی کاشته می‌شوند؛ اما ردیف‌های دو، چهار، شش و سایر ردیف‌های زوج در اواسط ردیف‌های یک، سه، پنج و سایر ردیف‌های فرد کشت می‌شوند. این سیستم فضای بازتری برای گیاهان زراعی فراهم می‌کند. کشت درهم که گیاهان فاصله مشخصی از همدیگر ندارند به کشت نامنظم گیاهان زراعی معروف است، این نوع کشت بیشتر برای گیاهان علوفه‌ای که با تراکم بالاتر کشت می‌شوند، مناسب‌تر است (Ara *et al.*, 2021).

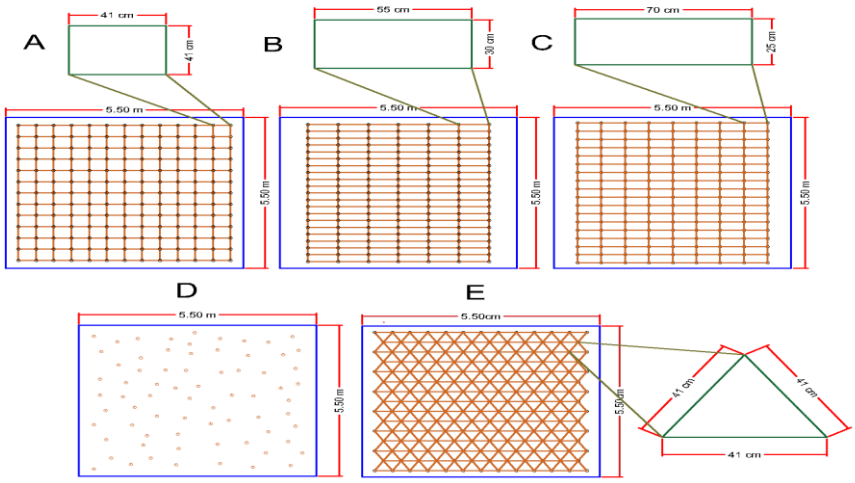
باتوجه‌به موارد بالا، این پژوهش با هدف بررسی واکنش مورفولوژیک آفتابگردان به مقادیر مختلف کود نیتروژن و کشت با آرایش‌های مختلف فضایی انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۰ در مزرعه زراعی شهر دیزج دیز شهرستان خوی استان آذربایجان غربی با مشخصات جغرافیایی ۳۸ درجه، ۲۵ دقیقه و ۲۳ ثانیه شمالی و ۴۵ درجه، ۰ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی با ارتفاع ۱۲۱۲ متر از سطح دریا اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل الگوهای مختلف فضایی کشت در پنج سطح کشت مربعی، کشت مستطیلی معمولی، کشت مستطیلی پهن، کشت مثلث متساوی‌الاضلاع و کشت درهم

به‌عنوان کرت‌های اصلی و کاربرد سطوح مختلف نیتروژن به‌صورت کود شیمیایی اوره در سه سطح کاربرد ۱۰۰ درصدی نیاز کودی گیاه، کاربرد ۷۵ درصد نیاز کودی گیاه و کاربرد نصف نیاز کودی گیاه در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. به‌منظور تعیین مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری از خاک انجام شد و پس از انتقال به آزمایشگاه مورد سنجش قرار گرفت. آنالیز خاک مزرعه نشان داد که ماده آلی و کربن آلی آن به‌ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۵۱ درصد، میزان نیتروژن آن ۰/۰۵ درصد و مقدار پتاسیم و فسفر به‌ترتیب ۲۷۹ و ۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و بافت خاک لومی بود. کاربرد کود نیتروژن بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی بر اساس تیمارهای آزمایشی اعمال شد.

کشت بذرها در ۱۵ اردیبهشت‌ماه ۱۴۰۰ صورت گرفت. برای این منظور در فروردین‌ماه، عملیات شخم‌زنی مزرعه، دیسک و مسطح‌کردن زمین انجام شد. دو متر بین کرت‌های اصلی، یک متر بین کرت‌های فرعی فاصله در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل ۳۶ متر مربع بود. الگوهای فضایی کشت در شکل ۱ به صورت شماتیک نشان داده شده است. فواصل بین ردیف الگوهای فضایی کشت مربعی، کشت مستطیلی معمولی، کشت مستطیلی پهن و کشت مثلث متساوی‌الاضلاع به‌ترتیب ۴۱، ۵۵، ۷۰، ۴۱ سانتی‌متر و فواصل روی ردیف آنها، به‌ترتیب ۴۱، ۳۰، ۲۵ و ۴۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در الگوی کشت درهم، فواصل بین و روی ردیف به صورت متغیر بود. تیمارهای کودی به صورت سرک در سه مرحله (در مرحله سه برگی، مرحله ساقه‌دهی و قبل از گلدهی) اعمال شدند. در این پژوهش از رقم لوانته آفتابگردان استفاده شد. این رقم هیبریدی میان‌رس، با دوره رسیدگی ۱۲۵ روزه بوده که با شرایط مختلف محیطی و انواع خاک سازگاری دارد. کلیه اقدامات داشت از قبیل وجین علف‌های هرز، مبارزه با آفات و بیماری‌های احتمالی در صورت نیاز و آبیاری به صورت مکرر باتوجه‌به نیاز گیاه به روش مرسوم در منطقه انجام شد.




**شکل ۱.** مشخصات شماتیک الگوهای مختلف آرایش فضایی (A: مربعی، B: مستطیل معمولی، C: مستطیل پهن، D: درهم و E: مثلثی).

برای بررسی اثر تیمارهای مورد آزمایش، با حذف اثر حاشیه بعد از رسیدگی و پر شدن دانه، اقدام به نمونه‌برداری شد و صفات مورفولوژیک (طول و عرض برگ، شاخص سطح برگ، تعداد برگ، قطر ساقه و ارتفاع بوته)، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید)، پروتئین و عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) دانه و عملکرد بذر اندازه‌گیری شد.

### ۲-۱. رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای سنجش میزان کلروفیل و کارتنوئید، ۰/۲ گرم از برگ‌های تازه گیاه در هاون چینی که حاوی ۲۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد بود، سائیده شد و پس از صاف‌کردن با کاغذ صافی جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر UV –Visible مدل Cary 50 ساخت آلمان در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. از استون ۸۰ درصد به‌عنوان بلنک استفاده شد. غلظت رنگیزه‌ها با استفاده از روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ زیر محاسبه شد:

کلروفیل a = [ 12.7 (D663) - 2.69 (D645)] × V/1000W [۱]

کلروفیل b = [22.9 (D645) – 4.68 (D 663)] × V/1000W [۲]

کلروفیل کل = [20.2 (D645) + 8.02 (D663)] × V/1000W [۳]

غلظت کارتنوئید = ([1000W(D470) – 1/82 Chlorophyll a – 85/02 Chlorophyll b]/198) × V/1000W [۴]

V: حجم استون (میلی‌لیتر)، W: وزن تر برگ (گرم) و D: طول موج (نانومتر).

غلظت بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره گیاهی تعیین و سپس نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بافت محاسبه و ارائه شد (Arnon, 1974).

### ۲-۲. درصد نیتروژن و پروتئین دانه

برای اندازه‌گیری درصد نیتروژن دانه از روش کجلدال استفاده شد و نیتروژن دانه برای هر نمونه اندازه‌گیری شد و سپس به روش تیتراسیون، درصد نیتروژن با رابطه ۵ محاسبه شد (Helrich, 1990):

$$\text{درصد نیتروژن} = \frac{\text{عدد حاصل از تیتراسیون} \times 0.0014}{\text{وزن نمونه } (g)} \times 100 \qquad [۵]$$

بعد از به‌دست‌آوردن مقدار درصد نیتروژن، درصد پروتئین با رابطه ۶ محاسبه شد:

$$\text{درصد پروتئین} = \text{درصد نیتروژن} \times 6.25 \qquad [۶]$$

### ۲-۳. درصد پتاسیم و فسفر دانه

برای تعیین درصد پتاسیم و فسفر ابتدا نمونه‌ها به روش اکسیداسیون مرطوب هضم و سپس برای سنجش پتاسیم، ابتدا محلول‌های استاندارد تهیه و نمونه‌های شاهد و عصاره گیاهی رقیق شدند. سپس با استفاده از دستگاه فیلم فتومتر منحنی کالیبراسیون در طول موج ۷۶۶/۵ نانومتر تهیه و ترسیم شدند. نمونه‌ها (هضم‌شده به روش اکسیداسیون مرطوب) نیز در این طول موج اندازه‌گیری شدند (Emami, 1996). برای تعیین غلظت فسفر پنج میلی‌لیتر از نمونه‌های هضم‌شده به روش اکسیداسیون مرطوب را برداشته و داخل بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری ریخته و سپس پنج میلی‌لیتر معرف (مخلوط آمونیوم‌مولیبیدات، آمونیوم‌وانادات و اسیدنیتریک) را به آن اضافه کرده، با آب مقطر به حجم رسانیده شدند. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر دوشعاعی-ماوراء بنفش و مرئی (lambda 25-PerkinElmer-ساخت آمریکا) در طول موج ۴۷۰ نانومتر غلظت فسفر نمونه‌ها تعیین شد (Emami, 1996).

پس از اطمینان از نرمال‌بودن داده‌ها، برای تجزیه واریانس از رویه GLM برنامه آماری[1] SAS و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و همچنین مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی به روش آزمون LSD[2] در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

## ۳. نتایج و بحث

### ۳-۱. خصوصیات مورفولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد طول برگ، عرض برگ، شاخص سطح برگ، تعداد برگ، قطر ساقه و ارتفاع بوته تحت اثر متقابل آرایش کشت و نیتروژن قرار گرفت (جدول ۱).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که آرایش کشت مثلثی و سپس آرایش کشت مربعی نسبت به بقیه آرایش‌های کشت، بالاترین میزان شاخص‌های رشدی اندام‌های هوایی را داشتند و کمترین آنها مربوط به آرایش کشت مستطیلی پهن بود (جدول ۲). نتایج مقایسه نشان داد که کمترین طول برگ (۲۲ سانتی‌متر) مربوط به آرایش کشت مستطیلی پهن به‌همراه ۷۵ درصد مصرف کود نیتروژن بود و بیشترین آن (۳۲/۷ سانتی‌متر) مربوط به آرایش کشت مثلثی و مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مشاهده شد (جدول ۲). در آرایش کشت مثلثی مقدار طول برگ نسبت به آرایش کشت مستطیلی پهن ۳۲ درصد افزایش داشت (جدول ۲). کمترین عرض برگ (۲۸/۹ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۳/۳۱)، تعداد برگ (۲۰/۵ عدد)، قطر ساقه (۲/۸۰ سانتی‌متر) و ارتفاع

1. Statistical Analysis System
2. Least Significant Difference

گیاه (۱۲۷ سانتی‌متر) مربوط به گیاهان در آرایش کشت مستطیلی پهن بود و بیشترین مربوط به گیاهان در آرایش کشت مثلثی به‌ترتیب عرض برگ (۴۰/۳ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۴/۶۴)، تعداد برگ (۲۹/۲ عدد)، قطر ساقه (۳/۹۵ سانتی‌متر) و ارتفاع گیاه (۱۷۷/۳ سانتی‌متر) بود (جدول ۲).

**جدول ۱.** تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک آفتابگردان تحت تأثیر کود نیتروژن و آرایش فضایی.

| S.O.V | d.f | Mean squares | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Leaf length | Leaf width | Leaf area index | Number of leaves | Stem diameter | Plant height |
| Block | 2 | $0.87^{ns}$ | $1.07^{ns}$ | $0.012^{ns}$ | $0.69^{ns}$ | $0.009^{ns}$ | $18.12^{ns}$ |
| Spatial arrangement (S) | 4 | $120^{**}$ | $175^{**}$ | $2.357^{**}$ | $95.91^{**}$ | $1.697^{**}$ | $3443^{**}$ |
| Main error | 8 | 0.53 | 0.59 | 0.009 | 0.49 | 0.006 | 12.69 |
| Fertilizer requirement (F) | 2 | $0.20^{ns}$ | $0.07^{ns}$ | $0.0004^{ns}$ | $5.09^{**}$ | $0.0002^{ns}$ | $0.54^{ns}$ |
| S×F | 8 | $1.28^{**}$ | $1.51^{*}$ | $0.018^{**}$ | $0.98^{*}$ | $0.013^{**}$ | $26.40^{**}$ |
| Error | 20 | 0.20 | 0.46 | 0.002 | 0.30 | 0.002 | 3.54 |
| C.V. (%) | - | 1.61 | 1.95 | 1.21 | 2.19 | 1.25 | 1.24 |

$^{ns}$، * و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داربودن در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

**جدول ۲.** مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) خصوصیات مورفولوژیک آفتابگردان تحت تأثیر کود نیتروژن و آرایش فضایی.

| Treatments | | Leaf length | Leaf width | Leaf area index | Number of leaves | Stem diameter | Height |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spatial arrangement | Fertilizer requirement (%) | (cm) | (cm) | | | (cm) | (cm) |
| Normal rectangle | 100 | 26.3±0.58ef | 33.0±0.00ef | 3.79±0.03fg | 23.67±0.058f | 3.22±0.02ef | 145±1fg |
| | 75 | 26.0±0.00f | 32.3±0.58f | 3.72±0.05gh | 23.22±0.58f | 3.17±0.04fg | 142±2gh |
| | 50 | 27.0±0.00de | 33.3±0.58d-f | 3.83±0.05ef | 24.67±0.58e | 3.25±0.04e | 146±2ef |
| Wide rectangle | 100 | 23.3±0.58g | 29.0±0.00g | 3.34±0.03i | 21.00±0.00g | 2.84±0.03h | 128±1i |
| | 75 | 23.0±0.00g | 28.7±0.58g | 3.29±0.05i | 20.00±0.00h | 2.80±0.04h | 126±2i |
| | 50 | 23.0±0.00g | 28.7±0.58g | 3.29±0.01i | 21.00±0.00g | 2.79±0.01h | 126±1i |
| Square | 100 | 30.7±0.58b | 38.0±0.00b | 3.37±0.02b | 28.00±0.00c | 3.71±0.01b | 167±1b |
| | 75 | 30.0±0.00bc | 37.3±0.58bc | 4.29±0.03b | 26.33±0.58d | 3.65±0.03b | 164±1b |
| | 50 | 29.3±0.58c | 36.3±0.58c | 4.20±0.05c | 26.67±0.58d | 3.57±0.04c | 161±2c |
| Triangular | 100 | 32.3±0.58a | 40.3±0.58a | 4.63±0.07a | 29.33±0.58ab | 3.94±0.06a | 177±3a |
| | 75 | 33.0±0.00a | 40.3±0.58a | 4.65±0.02a | 28.67±0.58bc | 3.95±0.02a | 178±1a |
| | 50 | 32.7±0.58a | 40.3±0.58a | 4.64±0.03a | 29.67±0.58a | 3.94±0.03a | 177±1a |
| Mixed | 100 | 25.7±0.58f | 32.3±0.58f | 3.70±0.06h | 23.67±0.58f | 3.15±0.05g | 142±2h |
| | 75 | 27.3±1.53d | 33.7±2.08de | 3.88±0.20de | 23.33±1.53f | 3.30±0.17de | 148d±8e |
| | 50 | 27.3±0.58d | 34.3±0.58d | 3.92±0.09d | 25.33±0.58e | 3.33±0.07d | 150±3d |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری را بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان نمی‌دهند.

برگ‌ها اندام اصلی دریافت‌کننده نور و مهم‌ترین محل انجام فتوسنتز در گیاهان زراعی هستند؛ با افزایش سطح برگ میزان دریافت تشعشع هم افزایش می‌یابد. معمولاً قسمت اعظم رشد گونه‌های پربازده در ابتدای فصل رویش در جهت توسعه سطح برگ‌هاست که در نتیجه آن تشعشع خورشیدی با کارایی بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً این ویژگی باعث افزایش توان فتوسنتزی گیاه شده و عملکرد بیولوژیک و اقتصادی افزایش می‌یابد. توزیع یکنواخت بوته‌ها در ردیف‌های نزدیک‌تر کشت مثلثی سبب انتشار بهتر نور به داخل پوشش گیاهی شده و جذب خالص نور را افزایش می‌دهد. از این رو اثر اصلی فاصله کشت بر محصول، به‌طور عمده به علت تفاوت در چگونگی توزیع انرژی تشعشعی خورشید بوده و افزایش جذب تشعشع منجر به بالا رفتن عملکرد می‌شود. فواصل مناسب بین ردیف‌های کشت و بین بوته‌ها روی ردیف، از عوامل تعیین فضای رشد قابل استفاده برای هر بوته و در نتیجه مقدار عملکرد به شمار می‌رود. عملکرد ماده خشک نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تابش خورشید در طول فصل رویشی است، در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که به‌طور یکنواخت توزیع شده و سطح زمین را کاملاً بپوشاند. این هدف با تغییر تراکم بوته‌ها و توزیع مناسب آن‌ها روی سطح زمین میسر است، بنابراین یکی از مهمترین وظایف مدیریت مزرعه انتخاب تراکم و آرایش مناسب کشت برای جذب حداکثر تابش خورشیدی است. نحوه توزیع و تراکم بوته‌ها در

مزرعه بر جذب و بهره‌وری گیاه از عوامل محیطی تاثیر گذاشته و از طریق تغییر در شاخص‌های رشد، بر عملکرد دانه در واحد سطح تاثیر می‌گذارد. نتایج تحقیقی روی گلرنگ نشان داد که با کاهش فاصله ردیف کشت، پوشش گیاهی زودتر بسته شده و مزرعه زودتر به حداکثر شاخص سطح برگ برای جذب کامل تابش خورشیدی می‌رسد، اما به تدریج و با ادامه رشد بعد از مرحله گلدهی، اختلاف بین فاصله‌های ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر کم شد تا آنجایی که بعد از اتمام گلدهی دیگر اختلاف زیادی بین تیمارها وجود نداشت (Azari & Khajehpour, 2005).

## ۳-۲. رنگیزه‌های فتوسنتزی

برهمکنش آرایش فضایی کشت و سطوح مختلف نیتروژن تأثیر معناداری روی کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳)؛ به‌طوری‌که بیشترین کلروفیل a در تیمار آرایش کشت مثلثی و ۱۰۰ درصد نیتروژن و کمترین مقدار آن در آرایش کشت مستطیل پهن مشاهده شد (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که آرایش کشت مثلثی و سپس آرایش کشت مربعی نسبت به بقیه آرایش‌های کشت، بالاترین میزان محتوای کلروفیل‌ها و کاروتنوئید را داشتند و کمترین آنها مربوط به آرایش کشت مستطیلی پهن بود (جدول ۴). کمترین محتوای کلروفیل a (۱/۰۲ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، محتوای کلروفیل b (۰/۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، محتوای کلروفیل کل (۱/۵۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و محتوای کاروتنوئید کل (۸۳/۶۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) مربوط به گیاهان در آرایش کشت مستطیلی پهن بود و بیشترین مربوط به گیاهان در آرایش کشت مثلثی با محتوی کلروفیل a (۱/۴۳ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، محتوای کلروفیل b (۰/۷۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ)، محتوای کلروفیل کل (۲/۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) و محتوای کاروتنوئید کل (۱۱۸/۰۸ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) بود (جدول ۴).

**جدول ۳.** تجزیه واریانس رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ آفتابگردان تحت تأثیر کود نیتروژن و آرایش فضایی کشت.

| S.O.V | d.f | Mean squares | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Chlorophyll a | Chlorophyll b | Total chlorophyll | Carotenoid |
| Block | 2 | $0.002^{ns}$ | $0.0003^{ns}$ | $0.003^{ns}$ | $7.99^{ns}$ |
| Spatial arrangement (S) | 4 | $0.224^{**}$ | $0.060^{**}$ | $0.517^{**}$ | $1517^{**}$ |
| Main error | 8 | 0.001 | 0.0002 | 0.002 | 5.59 |
| Fertilizer requirement (F) | 2 | $0.00002^{ns}$ | $0.00003^{ns}$ | $0.00009^{ns}$ | $0.24^{ns}$ |
| S×F | 8 | $0.002^{**}$ | $0.0004^{**}$ | $0.004^{**}$ | $11.65^{**}$ |
| Error | 20 | 0.0002 | 0.00006 | 0.00005 | 1.56 |
| C.V. (%) | - | 1.23 | 1.25 | 1.14 | 1.24 |

$^{ns}$ و $^{**}$ به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داربودن در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

**جدول ٤.** مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ آفتابگردان تحت تأثیر کود نیتروژن و آرایش فضایی کشت.

| Treatments | | Chlorophyll a | Chlorophyll b | Total chlorophyll | Carotenoid |
|---|---|---|---|---|---|
| Spatial arrangement | Fertilizer requirement (%) | (mg $g^{-1}FW^{-1}$) | (mg $g^{-1}FW^{-1}$) | (mg $g^{-1}FW^{-1}$) | (mg $g^{-1}FW^{-1}$) |
| Normal rectangle | 100 | 1.17±0.01gh | 0.60±0.01ef | 1.77±0.02gh | 96.23±0.83ef |
| | 75 | 1.14±0.02h | 0.60±0.01fg | 1.74±0.02h | 94.55±1.10fg |
| | 50 | 1.18±.02fg | 0.61±0.01e | 1.79±0.02fg | 97.19±1.25e |
| Wide rectangle | 100 | 1.03±0.01i | 0.53±0.01h | 1.56±0.02i | 84.70±0.75h |
| | 75 | 1.01±0.02i | 0.53±0.01h | 1.54±0.03i | 83.61±1.31h |
| | 50 | 1.01±0.00i | 0.53±0.01h | 1.54±0.01i | 83.39±0.38h |
| Square | 100 | 1.35±0.01b | 0.70±0.00b | 2.05±0.01b | 110.90±0.43b |
| | 75 | 1.32±0.01c | 0.69±0.01b | 2.01±0.02c | 108.89±0.76b |
| | 50 | 1.29±0.02d | 0.67±0.01c | 1.96±0.02d | 106.64±1.30c |
| Triangular | 100 | 1.43±0.02a | 0.74±0.01a | 2.17±0.03a | 117.52±1.74a |
| | 75 | 1.43±0.01a | 0.74±0.01a | 2.18±0.01a | 118.08±0.48a |
| | 50 | 1.43±0.01a | 0.74±0.01a | 2.17±0.02a | 117.80±0.84a |
| Mixed | 100 | 1.14±0.02h | 0.59±0.01g | 1.73±0.03h | 93.93±1.58g |
| | 75 | 1.19±0.06ef | 0.62±0.03de | 1.82±0.09ef | 98.46±5.14de |
| | 50 | 1.21±0.03e | 0.63±0.01d | 1.83±0.04e | 99.47±2.18d |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری را بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان نمی‌دهند.

هر چه سیستم کشت به حالت متوازن‌تر نزدیک شد ردیف‌های با فاصله کمتر و افزایش فاصله بوته‌ها روی ردیف سبب استفاده مؤثرتر از منابع محیطی شد و در یک تراکم خاصی که آرایش بوته‌ها را از شکل مستطیل به شکل مربع درمی‌آورد، باعث استفاده بیشتر از منابع موجود با به حداقل رسیدن رقابت برون‌بوته‌ای و درون‌بوته‌ای شد و در نتیجه گیاهان دارای سطح و طول برگ بیشتری هستند محتوای کلروفیل کل افزایش می‌یابد. میزان کلروفیل و میزان نیتروژن در گیاهان ارتباط نزدیکی با هم دارند. نیتروژن باعث افزایش سطح برگ می‌شود و کلروپلاست‌ها در سطح برگ پراکنش پیدا کرده‌اند و رنگدانه‌های کلروفیلی مهمترین رنگدانه‌های دخیل در فرآیند فتوسنتز هستند که میزان آن با مقدار نیتروژن در دسترس گیاه ارتباط مستقیم دارد، از این رو، کمبود نیتروژن میزان کلروفیل را کاهش می‌دهد. در مطالعه دیگری گزارش شده است که مصرف نیتروژن موجب بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی شده، به‌طوری‌که میزان غلظت کلروفیل a و b با مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد.

## ۳-۳. پروتئین، عناصر غذایی و عملکرد دانه

پروتئین، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه آفتابگردان تحت تأثیر برهمکنش آرایش کشت و نیتروژن قرار گرفت (جدول ۵).

**جدول ۵.** تجزیه واریانس پروتئین و عناصر غذایی دانه آفتابگردان تحت تأثیر کود نیتروژن و آرایش فضایی کشت.

| S.O.V | d.f | Mean squares | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Protein | N | P | K | Grain yield |
| Block | 2 | 0.17ns | 0.005ns | 0.0002ns | 0.002ns | 31195ns |
| Spatial arrangement (S) | 4 | 32.13** | 0.974** | 0.03** | 0.320** | 5925802** |
| Main error | 8 | 0.12 | 0.004 | 0.0001 | 0.001 | 21849 |
| Fertilizer requirement (F) | 2 | 0.005ns | 0.0001ns | 0.000002ns | 0.00004ns | 932ns |
| S×F | 8 | 0.25** | 0.007** | 0.0003** | 0.0026** | 45465** |
| Error | 20 | 0.03 | 0.001 | 0.00005 | 0.0003 | 6093 |
| C.V. (%) | - | 0.18 | 1.24 | 1.60 | 1.24 | 1.24 |

ns و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داربودن در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

در آرایش کشت مثلثی بین سطوح مختلف نیتروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کمترین پروتئین دانه (۱۲/۲۱ درصد)، نیتروژن دانه (۲/۱۲ درصد)، فسفر دانه (۰/۳۸۶ درصد) و پتاسیم دانه (۱/۲۳ درصد) مربوط به گیاهان در آرایش کشت مستطیلی پهن بود و بیشترین میزان پروتئین، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه به‌ترتیب ۱۷/۱۵، ۲/۹۸، ۰/۵۴ و ۱/۷۳ درصد بود که مربوط به گیاهان در آرایش کشت مثلثی بود (جدول ۶).

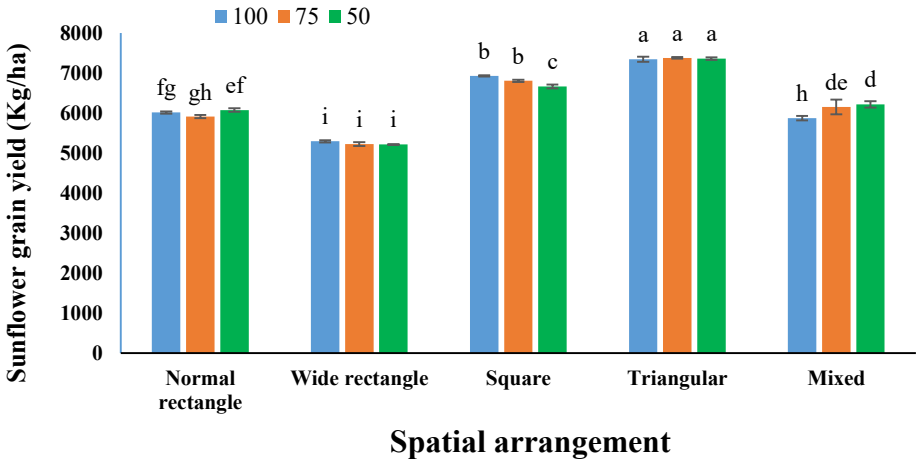
**جدول ٦.** مقایسه میانگین (± خطای استاندارد) پروتئین و عناصر غذایی دانه آفتابگردان تحت تأثیر کود نیتروژن و آرایش فضایی کشت.

| Treatments | | Protein | N | P | K |
|---|---|---|---|---|---|
| Spatial arrangement | Fertilizer requirement (%) | (%) | (%) | (%) | (%) |
| Normal rectangle | 100 | 14.01±0.12fg | 2.43±0.02fg | 0.44±0.000ef | 1.41±0.01ef |
| | 75 | 13.76±0.16gh | 2.39±0.03gh | 0.43±0.007f | 1.38±0.02fg |
| | 50 | 14.15±0.18ef | 2.46±0.03ef | 0.44±0.006ef | 1.42±0.02de |
| Wide rectangle | 100 | 12.33±0.11i | 2.14±0.02i | 0.39±0.00g | 1.24±0.01h |
| | 75 | 12.17±0.19i | 2.11±0.04i | 0.38±0.006g | 1.22±0.02h |
| | 50 | 12.14±0.05i | 2.11±0.01i | 0.38±0.000g | 1.22±0.01h |
| Square | 100 | 16.14±0.06b | 2.80±0.01b | 0.51±0.006b | 1.62±0.01b |
| | 75 | 15.85±0.11b | 2.75±0.02bc | 0.50±0.006b | 1.59±0.01b |
| | 50 | 15.52±0.19c | 2.70±0.03c | 0.48±0.006c | 1.55±0.02c |
| Triangular | 100 | 17.11±0.25a | 2.97±0.04a | 0.54±0.012a | 1.71±0.03a |
| | 75 | 17.19±0.07a | 2.99±0.01a | 0.54±0.000a | 1.72±0.01a |
| | 50 | 17.15±0.12a | 2.98±0.02a | 0.54±0.006a | 1.72±0.02a |
| Mixed | 100 | 13.78±0.23h | 2.38±0.04h | 0.43±0.010f | 1.37±0.03g |
| | 75 | 14.34±0.75de | 2.34±0.13de | 0.45±0.026de | 1.44±0.07de |
| | 50 | 14.48±0.32d | 2.51±0.06d | 0.46±0.012d | 1.45±0.03d |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری را بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان نمی‌دهند.

در آرایش کشت مثلثی برگ‌ها به‌دلیل دریافت تشعشع بیشتر، حداکثر رشد را داشته باشد و با مصرف کود گیاهان حاصله قوی‌تر خواهند شد و قدرت جذب عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم، نیتروژن بیشتری خواهند داشت. کود شیمیایی اوره در هنگام پر شدن دانه منبع تامین کننده نیتروژن برای ساخت پروتئین دانه است. وجود نیتروژن آزاد بیشتر در بافت گیاه و انتقال آن در مرحله زایشی به دانه پس از کاربرد کود اوره سبب شده که به تولید دانه‌هایی با درصد نیتروژن بالاتر منجر شود. در حقیقت با افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن درصد پروتئین دانه آفتابگردان افزایش می‌یابد. فاصله خطوط کشت یکی از مهم‌ترین پارامترهای مدیریتی می‌باشد که روی جذب مواد غذایی و نهایت روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Ahmad Khan *et al.*, 2020).

برهمکنش عوامل مورد بررسی تأثیر معناداری در سطح احتمال یک درصد روی عملکرد دانه نشان داد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عملکرد دانه در تیمارهای کشت مثلثی در هر سه سطح کاربردی نیتروژن نسبت‌به سایر تیمارها بیشتر بود (شکل ۲). در آرایش کشت مثلثی نسبت‌به آرایش کشت مستطیلی پهن عملکرد دانه ۲۹ درصد افزایش داشت (شکل ۲).




**شکل ۲.** برهمکنش آرایش‌های مختلف فضایی کشت و سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد دانه آفتابگردان. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری را بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان نمی‌دهند.

با مطالعه اثر آرایش‌های کشت بر عملکرد زراعی نخود گزارش شد که آرایش کشت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد (Biabani, 2009) داشت. به‌علاوه نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین عملکرد دانه در کشت مربعی نسبت‌به کشت مستطیلی بیشتر بود که نتایج این پژوهش با نتایج مذکور مطابقت دارد که حداکثر استفاده گیاهان از منابع و وقوع دیرتر رقابت در نتیجه استفاده از فضای مناسب در تمام دوران رشد، دلیل این امر اعلام شد (Biabani, 2009). در تحقیق دیگری در مورد اثر فواصل بین و روی ردیف بر عملکرد گلرنگ مشاهده شد که اثر فاصله بوته روی ردیف بر تعداد دانه در بوته منفی بوده؛ ولی تعداد دانه در طبق، تحت تأثیر فواصل بوته روی ردیف‌های کشت قرار نگرفت (Pourhadian, & Khajehpour, 2010). با افزایش فاصله خطوط کشت، تعداد طبق در بوته و تعداد دانه در طبق افزایش می‌یابد (Sajedi *et al.*, 2011). افزایش عملکرد آفتابگردان در پاسخ به ردیف‌های باریک ارتباط نزدیکی با بهبود رهگیری نور در دوره حساس (گلدهی) برای پرشدن دانه دارد (Andrade *et al.*, 2002). فضای بین ردیف‌ها در مطالعه‌ای روی سویا نشان داد که تأثیر قابل توجهی روی عملکرد آن دارد (Flajšman *et al.*, 2019)؛ به‌طوری‌که در ردیف‌های باریک‌تر عملکرد دانه نسبت‌به ردیف‌های پهن بیشتر بود (Kocjan Ačko & Trdan, 2008). کاهش فاصله بین ردیف در تراکم برابر گیاه، باعث کاهش رقابت درون‌گونه‌ای گیاه زراعی در دریافت تشعشع خورشیدی و تولید زیست‌توده می‌شود (Andrade *et al.*, 2002).

## ۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین مقادیر صفات مورفولوژیک از تیمار آرایش کشت مثلثی به‌دست آمد. همچنین، آرایش کشت مثلثی و سپس آرایش کشت مربعی نسبت‌به بقیه آرایش‌های کشت، بالاترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی را داشتند. به‌علاوه،

نتایج نشان داد بیشترین پروتئین، نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه، به‌ترتیب با ۱۷/۱۵، ۲/۹۸، ۰/۵۴ و ۱/۷۳ درصد در آرایش کشت مثلثی حاصل شد و در آرایش کشت مثلثی بین سطوح مختلف نیتروژن تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین عملکرد دانه در سیستم کشت مثلثی بیش‌تر از سایر سیستم‌های مورد بررسی بود (۷۳۶۳ کیلوگرم در هکتار)؛ به‌طوری‌که با کاهش مصرف نیتروژن تا ۵۰ درصد در این سیستم کشت، کاهش معنی‌داری در عملکرد نسبت‌به کاربرد ۱۰۰ درصدی کود نیتروژن مشاهده نشد. بنابراین آرایش کشت مثلثی همراه با کاربرد ۵۰ درصد نیاز کودی نیتروژن در کشت آفتابگردان توصیه می‌شود.

## ۵. منابع


Adeleke, B.S., & Babalola, O.O. (2020). Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: Nutritional and health benefits. *Food Science & Nutrition, 8*(9), 4666–4684.

Ahmad Khan, B., Ali, A., Ather Nadeem, M., Elahi, A., Adnan, M., Nohsin Amin, M., Fraz Ali, M., Waqas, M., Aziz, A., Hasif Sohail, M., Wahab, A., Abdullah Khan, T., Yousaf, H., & Shozib Javed, M. (2020). Impact of planting date and row spacing on growth, yield and quality of soybean: A review. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES), 17*(2), 121-129.

Andrade, F.H., Calvino, P., Cirilo, A., & Barbieri, P. (2002). Yield responses to narrows rows depend on increased radiation interception. *Agronomy Journal, 94*, 975–980.

Ara, M., Barbeito, I., Elfving, B., Johansson, U., & Nilsson, U. (2021). Varying rectangular spacing yields, no difference in forest growth and external wood quality in coniferous forest plantations. *Forest Ecology and Management, 489*, 119040.

Arnon, I. (1974). Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal, 84*, 547-551.

Azari, A., & Khajehpour, M.R. (2005). Effect of planting pattern on development, growth, yield components and seed and petal yield of safflower in summer planting, local variety of Isfahan, Koseh. *JWSS-Isfahan University of Technology*, *9*(3), 131-142.

Behrooz, E., Rahmanian, M., Heidarpour, O., & Shahriari, M.H. (2017). Effect of vermicompost and spent mushroom compost on the nutrient and essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Essential Oil Bearding Plants, 20*(5), 1283-1292.

Biabani, A. (2009). Agronomic performance of intercropped wheat cultivars. *Asian Journal of Plant Sciences, 8*(1), 78-81.

Emami, A. (1996). *Methods of Plant Analysis* (Vol. I). Publication No. 982, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian).

Flajšman, M., Šantavec, I., Kolmanič, A., & Kocjan Ačko, D. (2019). Bacterial seed inoculation and row spacing affect the nutritional composition and agronomic performance of soybean. *International Journal of Plant Production, 13*, 183−192.

Helrich, K. (1990). Association of official analytical chemists. Journal of AOAC, *Incorporated*, *15*(1), 673.

Kocjan Ačko, D., & Trdan, S. (2008). Influence of row spacing on the yield of ten cultivars of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Acta Agriculturae Slovenica, 93*, 43−50.

NSAC. (2012). *Sunflower fertility.* from www.canadasunflower.com/wp-content/uploads/2012/11/Fertility.pdf

Pourhadian, H., & Khajehpour, M.R. (2010). Effect of row spacing and planting density on some agronomic characteristics of safflower cv. Kooseh a local variety from Isfahan in summer planting. *Iranian Journal of Crop Science*, *11*(4), 381-392. (In Persian).

Saeed, M. (1994). *Crop water requirements and irrigation systems. E. Bashir and R. Bantel, eds. Crop production.* National Book Foundation, Islamabad, Pakistan, 48-83.

Sajedi, N.A., Ardakani, M.R., Madani, H., Naderi, A., & Miransari, M. (2011). The effects of selenium and other micronutrients on the antioxidant activities and yield of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants, 17*(3), 215-222.

Saleem, M.F., Ma, B.L., Malik, M.A., Cheema, M.A., & Wahid, M.A. (2007). Yield and quality response of autumn-planted sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing dates and planting patterns. *Canadian Journal of Plant Science*, 101-109.

Semsettin Tan, A., & Kaya, Y. (2019). Sunflower (*Helianthus annuus* L.) genetic resources, production and researches in Turkey. *EDP Science, 26*, 21.

Soares, E., Hamid, A., & Mangkoedihardjo, S. (2021). Phytoremediation of zinc polluted soil using sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Phytology, 13*, 9-12.

Tahmasebi, D., Zarghami, R., Azghandi, A.V., & Chaichi, M. (2011). Effects of nanosilver and nitroxin biofertilizer on yield and yield components of potato minitubers. *International Journal of Agriculture and Biology, 13*, 986–990.