Plant Production Technology/ Volume 26/ Issu 1/ Pages 111-125/ Spring and Summer 2026
https://doi.org/ 10.22084/ppt.2026.32607.2186

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Effect of Plant Density and Humic Acid Application on Morphophysiological Traits, Yield and Yield Components of Indehiscent Sesame (*Sesamum indicum* L.)

Moradi Telavat[1*], M. R. and Shoajei[2], A.

1. Associate Professor, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Khuzestan, Iran
2. Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran
*: Corresponding Author Email: moraditelavat@yahoo.com

Received: 2026/05/21 Accepted: 2026/09/26

Introduction
Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the important oilseed crops in warm and dry regions due to its high oil content, desirable fatty acid composition, and relative tolerance to drought stress. However, most sesame cultivars currently grown in Iran are dehiscent types, and seed shattering at maturity limits mechanical harvesting and causes considerable yield losses. Indehiscent sesame cultivars can reduce seed losses and provide better opportunities for mechanized harvesting and expansion of sesame cultivation. Achieving high yield in these cultivars requires appropriate management of agronomic factors, particularly plant density and nutrient management. Optimum plant density improves the efficient use of environmental resources and increases biomass production, while humic acid application can enhance root growth, nutrient uptake, and plant performance through improving soil properties. Considering that no comprehensive study has been conducted on the interaction between suitable plant density and optimum levels of organic fertilizer application for improving quantitative and qualitative yield of indehiscent sesame under the conditions of Khuzestan province, this study was carried out in 2021 in Behbahan, Khuzestan province, to evaluate the effects of plant density and humic acid application on growth characteristics, yield, and yield components of indehiscent sesame.

Materials and methods
This experiment was conducted during the 2021 growing season in Behbahan, Khuzestan province, Iran. The experiment was arranged as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications, in 2021. The experimental treatments consisted of four plant densities (30, 40, 50, and 60 plants m^{-2}) and four levels of humic acid application (0, 3, 6, and 9 L ha^{-1}). Morpho-physiological traits, yield components, seed yield, and oil yield were measured and statistically analyzed. The sesame cultivar used in this experiment was a non-shattering type named "Mohajer." This cultivar is single-stemmed and features an average yield of approximately 1 ton per hectare and a thousand-seed weight of about 3.5 grams, with a seed oil content ranging from 47% to 50%. Statistical analysis, including the assessment of residual normality, analysis of variance, and mean comparison, was performed using SAS v9.4 software. Mean comparisons were conducted using the LSD test at a 5% significance level. Graphs were plotted using Excel software.

Results and discussion
Statistical analysis results showed that the experimental factors investigated in this study had a significant effect on most morpho-physiological traits and the yield of the indehiscent sesame cultivar 'Mohajer'.The highest Grain yield (1252 kg ha^{-1}) was obtained at the planting density of 60 plants m^{-2}, whereas the lowest yield (763 kg ha^{-1}) was recorded at 30 plants m^{-2}. In addition, application of 6 L ha^{-1} humic acid resulted in the highest Grain yield (1194 kg ha^{-1}) and oil product (412.8 kg ha^{-1}). The interaction between planting density and humic acid level had a significant effect on capsule length and plant height. The greatest capsule length (2.4 cm) and plant height (143 cm) were observed in the combination of 60 plants m^{-2} and 6 L ha^{-1} humic acid, while the lowest capsule length (1.4 cm) and plant height (109 cm) were recorded under 30 plants m^{-2} and the control treatment (no humic acid application).

Conclusions
Sesame yield and yield components were influenced by planting density and humic acid application; a density of 60 plants per square meter combined with a foliar application of humic acid at a rate of 6 liters per hectare elicited a positive response from the plant. Increasing plant density and applying humic acid resulted in significant increases in grain yield, oil yield, and biological yield. Furthermore, the number of seeds per unit area, leaf area index, plant height, and capsule length also increased significantly in response to these treatments. Overall, the results indicated that optimizing plant density combined with humic acid application can play an effective role in improving quantitative and yield-related traits. The highest grain and oil yields were achieved at a density of 60 plants per square meter with a humic acid application rate of 6 liters per hectare. Therefore, the foliar application of humic acid and the selection of an appropriate planting density for shatter-resistant sesame can effectively increase grain production, biological yield, and oil yield. In summary, a density of 60 plants per square meter combined with an application rate of 6 liters per hectare is the best recommended treatment.

Keywords: Biomass, branching, leaf area index, oil content, seed shattering

Citations: Moradi Telavat, M. R. and Shoajei, A. (2026). Effect of Plant Density and Humic Acid Application on Morphophysiological Traits, Yield and Yield Components of Indehiscent Sesame (***Sesamum indicum*** L.). *Plant Production Technology*, 26(1), 111-125.
https://doi.org/ 10.22084/ppt.2026.32141.2182
© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Online ISSN: 2476-5651 **Print ISSN:** 2476-6321

فنآوری تولیدات گیاهی/ جلد بیست و ششم/ شمارهٔ اول/ صفحات ۱۱۱-۱۲۵/ بهار و تابستان ۱۴۰۵
https://doi.org/10.22084/ppt.2026.32607.2186

اثر تراکم کاشت و اسید هیومیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد ناشکوفا(*Sesamum indicum* L.)

Effects of Planting Density and Humic Acid on Morphophysiological Traits, Yield, and Yield Components of Indehiscent Sesame (*Sesamum indicum* L.)

محمدرضا مرادی تلاوت[1*] و افسانه شجاعی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۴
(مقاله پژوهشی)

چکیده

ارقام اصلاح شده به‌ویژه از نظر مقاومت به ریزش دانه در کنار مدیریت به‌زراعی صحیح یک گزینه موجود برای توسعه کشت کنجد در مناطق مختلف است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر چهار سطح تراکم کاشت (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در متر مربع) به‌عنوان عامل اول و چهار سطح محلول اسید هیومیک (شاهد(۰)، ۳، ۶ و ۹ لیتر در هکتار)، به عنوان عامل دوم، بر برخی از صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد در کنجد ناشکوفا، به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در بهبهان خوزستان اجرا شد. با افزایش تراکم تا ۶۰ بوته در متر مربع، صفاتی همچون ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، تعداد دانه در مترمربع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن افزایش یافت؛ در حالی که تعداد شاخه، تعداد کپسول در بوته، شاخص برداشت و درصد روغن کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه (۱۲۵۲ کیلوگرم در هکتار) از تراکم ۶۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد و کمترین عملکرد دانه (۷۶۳ کیلوگرم در هکتار) از تراکم ۳۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد همچنین بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۱۹۴ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۴۱۲/۸ کیلوگرم در هکتار) از کاربرد ۶ لیتر در هکتار به‌دست آمد که با سطح ۹ لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت. برهم‌کنش تراکم و نیز برای برخی صفات ازجمله طول کپسول و ارتفاع بوته معنی‌دار شد. به‌طورکلی نتایج نشان داد که تراکم ۶۰ بوته در مترمربع همراه با مصرف ۶ لیتر در هکتار از نظر افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن برتر بود.

واژه‌های کلیدی: درصد روغن، ریزش دانه، زیست توده، شاخص سطح برگ، شاخه‌دهی

ارجاع به مقاله: مرادی تلاوت، م. ر.، شجاعی، ا. (۱۴۰۵). اثر تراکم کاشت و اسید هیومیک بر صفات مورفوفیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کنجد ناشکوفا(*Sesamum indicum* L.)، *مجله فنآوری تولیدات گیاهی*، ۲۶(۱)، ۷۵-۸۴.
https://doi.org/ 10.22084/ppt.2026.32607.2186/

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons License Attribution (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) به مجله اجازه می‌دهد مقاله‌ی چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

شاپا الکترونیکی:۲۴۷۶-۵۶۵۱ شاپا چاپی: ۲۴۷۶-۶۳۲۱

۱. دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، گروه زراعت و اصلاح نباتات
۲. دکتری تخصصی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
*: نویسنده مسئول Email: moraditelavat@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه دانه‌روغنی، در بین گیاهان زراعی، از اهمیت خاصی برخوردار هستند به‌طوری‌که پس از غلات، دومین منبع غذایی تامین انرژی روزانه انسان در سطح جهان را، تشکیل می‌دهند (Abodeh *et al.*, 2020; Samadi Gorji, 2013). در بین دانه‌های روغنی، کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از گیاهان بسیار قدیمی و جزء اولین گیاهان زراعی اهلی‌شده توسط بشر است که به‌دلیل داشتن میزان قابل‌توجهی ترکیبات ریز مغذی، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، اسیدهای آمینه ضروری و اسیدهای چرب غیراشباع به‌عنوان ملکه دانه‌های روغنی شناخته می‌شود (Moradi-Telavat and Siadat, 2012; Wei *et al.*, 2022). کنجد گیاهی یکساله و تابستانه است که بدلیل درصد بالای روغن دانه (۵۲-۴۲ درصد) و کیفیت مناسب نقش مهمی در سلامت انسان دارد (Mili *et al.*, 2021). بر اساس گزارش فائو سطح زیر کشت کنجد در جهان در سال ۲۰۲٤ میلادی حدود ۱۱۷۱۹۸٦٤ هکتار بوده که از این میزان ٦٦۸۱٦۵۷ تن محصول تولید شده است. همچنین، در همین سال، سطح زیر کشت این گیاه در ایران ٤۲۰۰۰ هکتار و با تولیدی معادل ۲۹۰۰۰ تن برآورد شده است (FAO, 2024). ارقامی که به‌طور معمول در کشور کشت می‌شود توده‌های بومی هستند که شکوفا بوده، برداشت مکانیزه آنها امکان‌پذیر نیست (Nosrati *et al.*, 2024). در سال‌های اخیر یک رقم کنجد ناشکوفا جهت کشت در استان گلستان و نواحی هم اقلیم معرفی شد که به‌دلیل عدم ریزش بذر، امکان برداشت مکانیزه آن وجود دارد. کشت این رقم ناشکوفا به دلیل سهولت برداشت و مکانیزه بودن آن از محبوبیت خاصی بین کارشناسان و زارعین برخوردار شده و انتظار می‌رود سطح کشت آن به‌طور گسترده‌ای افزایش یابد (Faraji *et al.*, 2018).

عملکرد هر محصول زراعی حاصل رقابت درون‌بوته‌ای و برون‌بوته‌ای برای دستیابی به عوامل محیطی رشد است، حداکثر عملکرد گیاه زمانی حاصل می‌شود که این رقابت به حداقل خود رسیده و گیاه بتواند از عوامل محیطی حداکثر استفاده را داشته باشد (Oloniruha *et al.*, 2021). تراکم‌های بیش از حد مطلوب، با افزایش رقابت درون‌گونه‌ای باعث کاهش عملکرد می‌شود و در تراکم‌های کمتر از حد مطلوب، از امکانات محیطی اعم از نور، فضا، آب و خاک به نحو مطلوب استفاده نشده که در نهایت، کاهش عملکرد را به‌دنبال دارد (Parwada *et al.*, 2020). نتایج یک مطالعه در منطقه سیستان نشان داده که بیشترین عملکرد دانه و روغن در ارقام چند شاخه و تک‌شاخه این گیاه به‌ترتیب در تراکم کاشت ۳۰ و ٤۰ بوته در مترمربع به‌دست آمده است (Fanaei *et al.*, 2020). نتایج مطالعات انجام شده نشان داد که افزایش تراکم بیش از حد مطلوب موجب کاهش تعداد شاخه در گیاه، کاهش تعداد کپسول در بوته و کاهش عملکرد دانه در بوته می‌شود؛ با این حال، به‌واسطه افزایش تعداد بوته در واحد سطح، عملکرد دانه در واحد سطح روند افزایشی خواهد داشت (Nadeem *et al.*, 2015; Tahir *et al.*, 2012).

تنظیم مناسب آرایش کاشت، به‌ویژه استفاده از فاصله ۳۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها، شرایط مطلوب‌تری برای رشد و توسعه گیاه کنجد فراهم کرده و در نتیجه موجب افزایش عملکرد دانه و بهبود اجزای عملکرد شده است. این نتایج بیانگر آن است که دستیابی به فاصله ردیف بهینه، از طریق ایجاد تعادل در رقابت بین گیاهان و بهره‌گیری بهتر از منابع محیطی، نقش مهمی در افزایش عملکرد کنجد ایفا می‌کند (Hassan and Leitch, 2016).

با افزایش نگرانی‌ها درباره پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، از جمله آلودگی منابع آب به نیترات، کاهش تنوع و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، تخریب ساختمان خاک و کاهش حاصلخیزی بلندمدت آن، در دهه‌های اخیر استفاده از کودها و ترکیبات آلی به‌ویژه اسیدهای آلی مورد توجه قرار گرفته است. این ترکیبات، حتی در مقادیر کم، به‌دلیل دارا بودن مواد شبه‌هورمونی، اسیدهای آمینه، ترکیبات هیومیکی و فولویکی و نیز توانایی بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، موجب افزایش جذب عناصر غذایی، تحریک رشد گیاه، بهبود عملکرد و ارتقای کیفیت محصولات کشاورزی می‌شوند (El-Sherbeny *et al.*, 2012). اسید هیومیک همراه با اسید فولیک دو ترکیب اصلی از مواد هیومیکی (هیومین) است که به‌طور طبیعی از تجزیه زیستی موجودات زنده و گیاهان تشکیل و تقریباً ۵۰ درصد منابع کربن کره زمین را به خود اختصاص می‌دهند (Miao *et al.*, 2018). امروزه استفاده از ترکیبات آلی مانند اسید هیومیک می‌تواند بسیاری از فرآیندهای مورفولوژیکی،

فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار داده و منجر به بهبود رشد گیاهان شود. همچنین کاربرد برای افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی مورد توجه قرار گرفته است، از سوی دیگر با قدرت بالای کلات‌کنندگی می‌تواند در بهبود فراهمی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی به‌ویژه در خاک‌های قلیایی و آهکی مؤثر باشد (Ahmadi-Nouraldinvand *et al*., 2019; Ozfidan-Konakci *et al*., 2018). از یک‌سو همانند یک مخزن عمل کرده و عناصر غذایی را جذب و در اختیار ریشه گیاهان قرار می‌دهد (Turan *et al*., 2011). محلول‌پاشی اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه و عملکرد روغن گلرنگ شد (Moradi *et al*., 2017). کاربرد اسید هیومیک سبب بهبود صفات رشدی، اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه گردید (Azizi and Safaei, 2017). محلول‌پاشی اسید هیومیک نیز باعث افزایش معنی‌داری در اجزای عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه‌سیاه گردید (Tadayyon *et al*., 2016). در مطالعه اثر تیمار اسید هیومیک بر عملکرد و کیفیت لوبیا چشم بلبلی مشاهده شد کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش ارتفاع ساقه، تعداد شاخه‌ها، سطح برگ، عملکرد و محتوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه این گیاه می‌شود (El-Henfy, 2010).

با توجه به محدودیت تحقیقات درباره این گیاه در استان خوزستان و نیز اهمیت بررسی اثرات متقابل و تراکم کاشت، پژوهش حاضر با هدف تعیین نقش در تراکم‌های مختلف کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد کنجد ناشکوفا انجام شد. این بررسی می‌تواند به شناسایی تراکم بهینه و بهره‌گیری مناسب از نهاده‌های آلی کمک کرده و در نهایت گامی مؤثر در جهت تولید پایدار و بهبود کیفیت محصول کنجد باشد.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان ۱۴۰۰ در مزرعه کشاورز واقع در ۷ کیلومتری بهبهان با مختصات طول جغرافیایی ۴۲ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۸۸ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۳۱۲ متر اجرا شد. آب‌وهوای این منطقه گرم وخشک است و متوسط بارندگی سالیانه ۳۵۳/۶ میلی‌متر می‌باشد. برخی مشخصات خاک منطقه آزمایشی در طول فصل زراعی در (جدول ۱) نشان داده شده است.

Table 1: Physical and Chemical Properties of the Experimental Field Soil

Sampling depth (cm)	Soil Texture	Electrical Conductivity (dS m^{-1})	Organic Matter (%)	Total Nitrogen (%)	Phosphorus (mg kg^{-1})	Potassium (mg kg^{-1})	pH
0–30	Silty Clay Loam	3.2	0.62	0.054	9.43	238	7.7

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل چهارسطح تراکم (۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ بوته در مترمربع) و چهار سطح اسید هیومیک به میزان (صفر، ۳، ۶ و ۹ لیتر در هکتار) بر روی یک رقم کنجد ناشکوفا به نام مهاجر اجرا شد. بذور از شرکت کشت و صنعت شهید رجایی تهیه شد. ویژگی‌های رقم کنجد در (جدول ۲) ارائه شده است (Attar Roshan *et al*., 2024).

Table 2: Characteristics of sesame cultivar used in the experiment

Sesame cultivar	Dehiscence	Maturity	Growth type	Plant height	Number of branches	Grain Yield (ton.ha^{-1})	Thousand Seed Weight(gr)	Oil Percentage
Mohajer	Indehiscence	Medium	Indeterminate	Medium	Absent or few	1.08	3.5	47-49

کشت در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۳ متر در تاریخ ۲۵ تیرماه دستی و به‌صورت جوی پشته انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت کنجد ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت با توجه به تراکم موردنظر (۳۰،۴۰،۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر) تنظیم شد. محلول‌پاشی اسید هیومیک طی دو مرحله (اولین مرحله ۶ برگی و دومین مرحله زمان غنچه‌دهی) با استفاده از سمپاش دستی صورت گرفت. کودهای پایه موردنیاز فسفات و پتاسیم (با توجه به آزمون خاک) بین دیسک اول و دوم به‌طور یکنواخت پخش شد. در این آزمایش نیتروژن مصرفی به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره ۴۶ درصد بود. از این میزان، ۵۰ کیلوگرم در هکتار آن در مرحله ۸-۶ برگی پس از تنک کردن و ۵۰ کیلوگرم در هکتار دیگر پیش از آغاز مرحله زایشی، به‌صورت نواری در اختیار گیاه قرار گرفت. علف‌های هرز در دو مرحله در مرحله ۴ برگی و قبل از گل‌دهی به صورت دستی وجین شد.

جهت اندازه‌گیری عمق ریشه، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد. پس از برداشت، خاک اطراف هر بوته به‌آرامی و با استفاده از بیلچه تا انتهای ریشه اصلی کنار زده شد تا ریشه بدون آسیب خارج شود. سپس عمق نفوذ ریشه به‌صورت فاصله عمودی بین سطح خاک تا انتهای ریشه اصلی با استفاده از متر نواری اندازه‌گیری و بر حسب سانتی‌متر ثبت شد. مقدار نهایی هر کرت به‌صورت میانگین ۱۰ بوته گزارش گردید. جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، در مرحله گلدهی، از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد. سطح برگ‌های نمونه با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter اندازه‌گیری شد. سپس شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) از رابطه زیر محاسبه گردید.

LAI = مجموع سطح برگ‌های گیاه / سطح زمین اشغال‌شده توسط همان گیاه

برای اندازه‌گیری صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هرکرت برداشت شد. سپس این صفات به صورت میانگینی از ۱۰ بوته ثبت شدند. برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک دانه در اواخر مهرماه صورت گرفت. در زمان برداشت، بعد از حذف خطوط حاشیه و حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت تمام بوته‌های موجود در مساحت یک متر طولی از ردیف وسط هر کرت برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک استفاده شد. پس از جداسازی دانه‌های نمونه‌های برداشتی، عملکرد دانه محاسبه شد. شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. درصد روغن دانه به روش (Porim,1995) اندازه‌گیری گردید. عملکرد روغن نیز از رابطه (۱) محاسبه شد:

عملکرد روغن = عملکرد دانه × درصد روغن (۱)

آنالیز آماری شامل تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین صفات موردبررسی با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS v. 9.4 انجام شد. قبل از انجام تجزیه واریانس نرمال‌بودن باقی‌مانده‌ها توسط نرم‌افزار SAS و با استفاده از رویه proc univariate بررسی شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۴ تجزیه شدند. تجزیه واریانس (ANOVA) با آزمون F انجام شد و معنی‌داری اثرات در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد ($P\leq0.05$ و $P\leq0.01$) بررسی گردید. در صورت معنی‌دار شدن اثرات، مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تراکم و محلول‌پاشی در سطح یک درصد و برهمکنش تراکم و در سطح پنج درصد تاثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت (جدول۳). نتایج نشان داد در بین سطوح مختلف بیشترین ارتفاع بوته در سطح مصرف ۶ لیتر در هکتار اسید هیومیک و در تراکم ۶۰ بوته در متر مربع به‌دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین ارتفاع بوته از تراکم ۳۰ بوته در مترمربع و عدم‌مصرف اسید هیومیک به‌دست آمد (شکل۱). به‌طورکلی با افزایش سطوح محلول‌پاشی اسید هیومیک و تراکم ارتفاع گیاه افزایش یافت. به‌نظر می‌رسد افزایش ارتفاع گیاه با افزایش تراکم در واحد سطح به‌دلیل افزایش رقابت برای دریافت مواد غذایی و جذب نور و همچنین سایه اندازی گیاه باشد. پژوهشگران در پژوهشی روی گیاه سویا گزارش دادند با افزایش تراکم به‌دلیل رقابت زیاد گیاه برای جذب نور ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (Siadat *et al.*,

2013). به نظر می‌رسد علت افزایش ارتفاع بوته با مصرف اسید هیومیک این است که از طریق تأثیر هورمونی که بر متابولیسم سلول‌های گیاهی، قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی داشته، سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود. نتایج مطالعه روی تراکم و اسید هیومیک ذرت نشان داد که بالاترین ارتفـــاع گیاه از مصرف و تراکم کاشـــت بالا به‌دست آمد (Amiri, 2015).

Table 3 : Analysis of variance of morphological traits affected by humic acid levels at different Plant densities

Source of variation	df	Mean Squares					
		Plant height	First branch height	Number of branches	Capsule length	Root depth	Leaf area index
Block (R)	2	5.9	15.2	0.44	0.02	10.2	1.20**
Plant density (D)	3	504.30**	51.40	2.00**	0.12**	1.60	18.20**
Humic acid (H)	3	965.4**	16.00	1.24*	0.39**	1.40	19.80**
D × H	9	65.4*	23.30	52.00	0.05*	12.50	3.00
Error	30	22.7	36.90	32.00	0.02	28.20	0.20
CV (%)	—	3.7	18.70	18.50	7.70	26.30	8.30

ns: Not significant* and : ** Significant at 5% and 1% probability levels, respectively

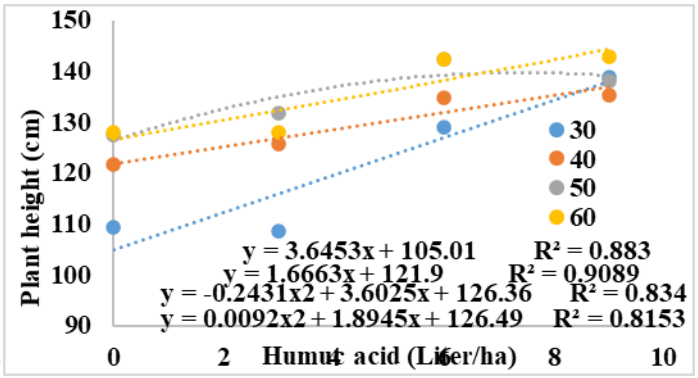


Fig. 1: Investigate the interaction ratio of density and foliar application of humic acid on plant height

۳-۲. تعداد شاخه در بوته

بررسی نتایج تجزیه واریانس بر روی صفت تعداد شاخه در بوته نشان داد که اثرات تراکم در سطح یک درصد و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش تراکم تعداد شاخه در بوته کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد شاخه مربوط به تراکم ۳۰ بوته در مترمربع (۳/۶۳) و کمترین مربوط به تراکم ۵۰ بوته در مترمربع (۲/۷۵) می‌باشد (جدول ٤). با افزایش تراکم‌های بالاتر از ۳۰ بوته در متر مربع تعداد شاخه کاهش یافت همچنین تراکم های بالاتر از ۳۰ بوته در متر مربع اختلاف معنی‌داری با هم نداشت. به‌نظر می‌رسد در تراکم‌های بالاتر به علت رقابت بین بوته‌های مجاور، گیاه ترجیح می‌دهد شاخه‌فرعی کمتری تولید نماید در تراکم‌های پایین نیز گیاه فضای بیشتری در اختیار دارد تعداد شاخه‌فرعی را افزایش می‌دهد (El-Shamy *et al.*, 2021). نتایج تحقیق حاضر هم راستا با تحقیق (Koocheki *et al.*, 2017) بود، که افزایش تعداد شاخه در تراکم‌های پایین را به‌علت فضای بیشتر در اختیار بوته دانستند. نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد تعداد شاخه‌فرعی در کنجد به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای قرار گرفت (جدول ٤). کاربرد ٦ لیتر در هکتار اسید هیومیک بیشترین تعداد و عدم‌کاربرد (شاهد) کمترین تعداد شاخه‌فرعی را تولید کرد. به‌نظر می‌رسد از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و اثرات هورمونی که بر متابولیسم سلول‌های گیاهی دارد باعث افزایش رشد و تعداد شاخه‌فرعی درگیاه می‌شود. پژوهشگران در پژوهشی روی گیاه شلغم روغنی گزارش دادند که محلول‌پاشی اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های‌فرعی در بوته شلغم روغنی می‌شود و این امر نقش ترکیبات هیومیکی در بهبود شاخه‌زایی را تأیید می‌کند(Rajpar *et al.*, 2011) .

Table 4: Comparison of mean number of branches per plant and leaf area index at flowering stage under different planting densities and humic acid levels

Planting density (plants m^{-2})	Number of branches per plant	Leaf area index
30	3.63a	3.29c
40	2.95b	4.20b
50	2.75b	5.76a
60	2.79b	5.82a
Humic acid (L ha^{-1})		
0	2.71b	3.46c
3	2.83b	3.87b
6	3.42a	5.85a
9	3.20ab	5.90a

Means with common letters within each column do not differ significantly

۳-۳. طول کپسول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تراکم و محلول پاشی در سطح یک درصد و اثرات متقابل در سطح پنج درصد بر روی صفت طول کپسول معنی‌دار شد (جدول ۳). میانگین اثر متقابل تراکم و اسید هیومیک نشان داد که بالاترین طول کپسول (۲/٤ سانتی‌متر) از تراکم ٦۰ بوته در مترمربع و مصرف ٦ لیتر در هکتار هیومیک اسید و کمترین طول کپسول (۱/٤سانتی‌متر) درتراکم ۳۰ بوته در مترمربع و عدم‌مصرف هیومیک اسید به‌دست آمد (شکل ۱). به نظر می‌رسد در تراکم بوته بالا به علت رقابت بین‌بوته‌ای تعداد کمتری شاخه فرعی روی بوته‌ها تولید می‌شود و چون تعداد کپسول تولیدی در شاخه‌فرعی کاهش می‌یابد بنابراین در نهایت تعداد کپسول در بوته کاهش و طول کپسول افزایش می‌یابد (Zewdie and Tehulie, 2019). همچنین هیومیک اسید با فراهم کردن جذب عناصر غذایی موردنیاز گیاه و افزایش ذخیره مواد غذایی سبب افزایش طول کپسول در بوته شده است(Kandil, 2015) .

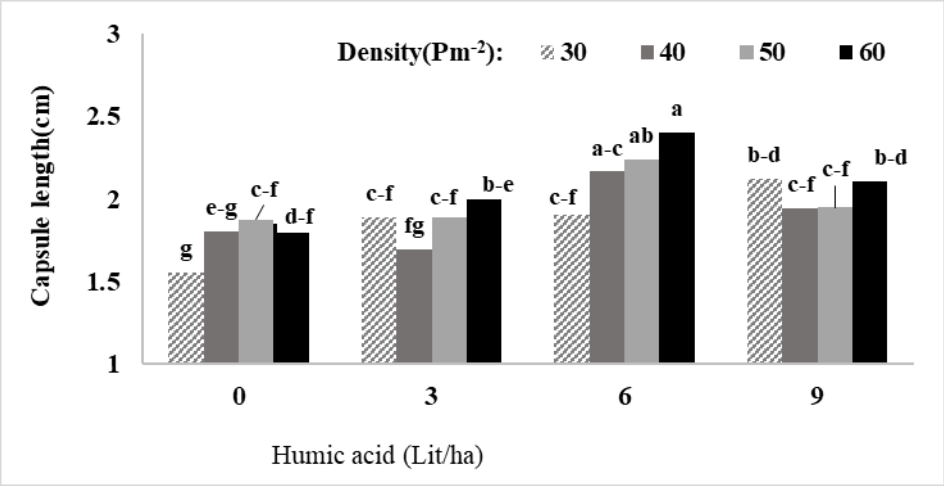


Fig. 2: Comparison of the Mean Capsule length as Affected by the Interaction of Plant Density and Humic Acid Levels

۳-٤. شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تراکم و محلول پاشی اسید هیومیک بر روی صفت شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش تراکم بوته در واحد سطح شاخص سطح برگ افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین شاخص سطح برگ با میانگین (۵/۸۲) از تراکم ٦۰ بوته در مترمربع و کمترین از ۳۰ بوته در متر مربع (۳/۲۹) به‌دست آمد و اختلاف معنی‌داری با تراکم ۵۰ بوته در مترمربع ندارد (جدول٤). به نظر می‌رسد در تراکم‌های بالاتر میزان افزایش

سطح برگ به‌دلیل افزایش تعداد برگ نسبت به میزان سطح برگ در هر بوته بیشتر است در واقع با آنکه با افزایش تعداد بوته در متر مربع سطح برگ هر گیاه به‌علت رقابت شدید کاهش می‌یابد ولی به‌نحو مناسب‌تری می‌توانند سطح مزرعه را بپوشانند و کانوپی بسته‌ای را تشکیل دهند و در مجموع سطح برگ بیشتری تولید کنند و باعث افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. افزایش تراکم گیاهی موجب افزایش شاخص سطح برگ (LAI) و در نتیجه باعث افزایش سطح جذب‌کننده تابش فتوسنتزی در کانوپی می‌شود. در شرایطی که گیاهان به‌طور یکنواخت در مزرعه توزیع شده باشند، بهره‌برداری از منابع نوری کارآمدتر شده و رقابت درون‌گونه‌ای برای دریافت نور کاهش می‌یابد. این امر ضمن بهبود توزیع نور در کانوپی، موجب افزایش کارایی استفاده از تابش و در نهایت بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود (Parker, 2020; Mthembu *et al.*, 2023). همچنین بیشترین شاخص سطح برگ (۵/۹۰) از کاربرد ۹ لیتر در هکتار اسید هیومیک و کمترین از عدم‌مصرف اسیدهیومیک (۳/٤٦) بدست آمد و کاربردهای ۹ و ٦ لیتر در هکتار اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. گزارش شده است بیشترین میزان سطح سطح برگ گندم در محلول‌پاشی اسید هیومیک با غلظت ٤۰۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد که تفاوت معنی‌داری با غلظت ٦۰۰ میلی‌گرم در لیتر نداشت. افزایش شاخص سطح برگ می‌تواند بدلیل تاثیر مثبت هیومیک اسید بر متابولیسم گیاهی و ویژگی‌های رشد و نمو گیاه ، افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه محتوای نیتروژن، بهبود ساختار خاک و تقویت ریشه‌ها و نتیجه بهبود شاخص سطح برگ و افزایش سطح فتوسنتزی باشد (Mahmoodi Zoeek, *et al.*, 2015).

۳-۵. تعداد کپسول در بوته

بررسی نتایج تجزیه واریانس بر روی صفت تعداد کپسول نشان داد که اثرات تراکم و در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). بیشترین تعداد کپسول مربوط به تیمار تراکم ۳۰ بوته در مترمربع (۷۳/۲) و کمترین مربوط به تراکم ٦۰ بوته در مترمربع (۵۱/۳) می‌باشد (جدول ٦). با افزایش تراکم بوته در مترمربع تعداد کپسول در بوته کاهش پیدا کرد. به‌نظر می‌رسد علت کاهش تعداد کپسول در بوته با افزایش تراکم بوته کنجد از ۳۰ به ٦۰ بوته در مترمربع در اثر رقابت بین بوته‌ای و کاهش سهم هر گیاه در استفاده از نور، فضا، عناصر غذایی بوده است. کاهش نفوذ نور به درون کانوپی در تراکم‌های بالا سبب افزایش رشد رویشی می‌شود، بنابراین گره‌های پایین گیاه تعداد کمتری کپسول داشته و گاه بدون کپسول می‌باشند. از سوی دیگر در تراکم‌های کم گل‌های بیشتری تبدیل به کپسول شده و در نهایت تعداد کپسول باقی مانده در زمان برداشت نیز بیشتر می‌شود. پژوهشگران گزارش کردند تراکم کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته کنجد داشته و بیشترین تعداد کپسول را در تراکم کم بوته مشاهده کردند و علت آن را کاهش منابع در دسترس گیاه در تراکم‌های بالا دانستند (El Hanafi *et al.*, 2025). پژوهشگران گزارش کردند که تراکم کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته کنجد داشت، به‌طوری‌که کمترین تراکم کاشت بیشترین تعداد کپسول در هر بوته را تولید کرد. این افزایش به کاهش رقابت بین بوته‌ها برای نور، آب و عناصر غذایی در تراکم‌های پایین نسبت داده شد. از طرفی در تراکم بوته بالا به‌علت رقابت بین بوته‌ای تعداد کمتری شاخه فرعی روی بوته‌ها تولید می‌شود و چون تعداد کپسول تولیدی در شاخه فرعی کاهش می‌یابد؛ بنابراین در نهایت تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین تعداد کپسول در بوته در تیمار مصرف ۹ لیتر در هکتار محلول پاشی و به میزان ٦۹/۵ و کمترین در تیمار عدم مصرف و به میزان ۵۱/۱ بدست آمد (جدول٦) به نظر می‌رسد هیومیک اسید با فراهم کردن جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و افزایش ذخیره مواد غذایی در دانه سبب افزایش تعداد کپسول در بوته شده است زیرا بدیهی است زمانی که عناصر غذایی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، به‌دنبال آن فتوسنتز به‌خوبی انجام شده و تجمع مواد پرورده در مقاصد گیاه، به میزان کافی صورت خواهد گرفت. گزارش شده است که کاربرد هیومیک اسید تعداد خورجین در بوته کلزا را افزایش داده است (Aiyafar *et al.*, 2015).

Table 5: Analysis of variance for oil percentage, yield components, and seed, oil, and biological yield affected by humic acid levels at different plant densities

Source of Variation	df	Number of Pods per Plant	Number of Seeds per Pod	Number of Seeds per m²	Thousand Seed Weight	Seed Yield	Biological Yield	Harvest Index	Oil Percentage	Oil Yield
Block (R)	2	47.1	1.0	65232882	0.003	28601	1330555	2.1	41.1*	8542
Plant Density (D)	3	1135.5**	7.5**	819820142**	0.014	560358**	17850996**	50.4**	65.9**	32387**
Humic Acid (H)	3	1222.6**	24.9**	1325549362**	0.018	690322**	17571267**	2.3	20.1	63447**
D*H	9	2.6	3.3*	44035233	0.017	13719	395642	0.9	0.8	1058
Error	30	22.2	1.5	20682090	0.013	15968	185901	1.9	10.0	4032
CV (%)	–	7.9	7.7	11.0	4.6	12.9	9.0	7.4	9.0	18.8

* and ** indicate significance at 5% and 1% probability levels, respectively

Table 6: Comparison of the mean values of quantitative and qualitative traits of sesame under the effects of plant density levels and humic acid

Plant Density (plants m^{-2})	Number of Capsules per Plant	Number of Seeds per m²	Grain Yield (kg ha^{-1})	Biological Yield(kg ha^{-1})	Harvest Index(%)	Seed Oil Percentage(%)	Oil Yield (kg ha^{-1})
30	73.2a	33159c	763c	3277c	21.1a	37.6a	286c
40	60.1b	36946c	857c	4320b	19.5b	36.4a	311.6bc
50	54.1b	43313b	1044b	5731a	17.8c	33.8b	350.1b
60	51.3c	52055a	1252a	5823a	16.4d	32.5b	405.5a
Humic Acid (L ha^{-1})							
0	51.1b	31627b	760b	3616b	–	36.5a	274.3b
3	51.0b	33007b	784b	3870b	–	35.6ab	280b
6	67.2a	51586a	1194a	5811a	–	34.9ab	412.8a
9	69.5a	49253a	1180a	5852a	–	33.4b	390.2a

Means with the same letter in each column are not significantly different from each other

۳-٦. تعداد دانه در متر مربع

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم و محلول‌پاشی اسید هیویک بر تعداد دانه در مترمربع در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ٥). بیشترین تعداد دانه در مترمربع با میانگین ٥٢٠٥٥ عدد از تراکم‌های ٦٠ بوته در مترمربع و کمترین تعداد دانه در مترمربع از تراکم با میانگین ٣٣١٥٩ عدد از تراکم ٣٠ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ٦). با افزایش تراکم، تعداد کپسول در بوته کاهش می‌یابد، و طول کپسول افزایش می‌یابد و تعداد دانه بیشتری تولید می‌شود و در مجموع با افزایش تعداد دانه در مترمربع این کاهش جبران می‌گردد (El-Naim *et al*., 2010). با توجه به اینکه تعداد دانه در کپسول یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد در کنجد محسوب می‌شود، مطالعات نشان داده‌اند که افزایش طول کپسول معمولاً با افزایش تعداد دانه در کپسول همراه است؛ از این‌رو، طول کپسول به‌عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر در انتخاب ژنوتیپ‌های پرمحصول موردتوجه قرار می‌گیرد (Kante *et al*., 2022). بیشترین تعداد دانه در مترمربع با میانگین ٥١٥٨٦ عدد از کاربرد ٦ لیتر در هکتار محلول پاشی اسید هیومیک حاصل شد و کمترین تعداد ٣١٦٢ از عدم مصرف اسید هیومیک به‌دست آمد. اسید هیومیک با افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو سبب بهبود فعالیت فتوسنتزی گیاه و در نتیجه اثر سوء افزایش تراکم بوته بر تعداد دانه در خورجین را کاهش می‌دهد (Saruhan, 2011).

۳-۷. عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تراکم و محلول‌پاشی اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد بر روی صفت عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ٥). بیشترین عملکرد دانه با میانگین ١٢٥٢ کیلوگرم در هکتار از تراکم ٦٠ بوته در متر مربع به‌دست آمد و کمترین عملکرد دانه با میانگین ٧٦٣ کیلوگرم در هکتار از تراکم ٣٠ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ٦). افزایش عملکرد دانه در تراکم‌های بالاتر عمدتاً به‌دلیل افزایش تعداد گیاهان در واحد سطح است که علی‌رغم کاهش احتمالی عملکرد تک‌بوته، موجب افزایش تولید تجمعی در سطح مزرعه می‌شود. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تراکم‌های بالاتر باعث بهبود ساختار پوشش گیاهی، افزایش شاخص سطح برگ (LAI) و افزایش جذب تابش فتوسنتزی فعال (IPAR) می‌شوند که در نهایت به افزایش تجمع بیوماس و عملکرد دانه منجر می‌گردد (Zhao *et al*., 2019). براساس مقایسه میانگین‌های این صفت، بیشترین میزان عملکرد دانه (١١٩٤کیلوگرم در هکتار) با اعمال تیمار محلول‌پاشی ٦ لیتر در هکتار مشاهده شد که با کاربرد ٩ لیتر در هکتار (١١٨٠ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد دانه به میزان (٧٦٠ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم‌مصرف اسیدهیومیک مشاهده شد. کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش غلظت ترکیباتی مانند بتا-کاروتن، فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و اسید آسکوربیک در گیاه می‌شود که نقش مهمی در تنظیم فازهای رویشی و زایشی، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی و در نهایت افزایش عملکرد گیاه دارند (Khodadadi *et al*., 2020). تحقیقات انجام شده روی گیاه گوار نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از کاربرد شش لیتر در هکتار اسید هیومیک حاصل شد (Ahmadi *et al*., 2017).

۳-۸. عملکرد بیولوژیک

نتایج آزمایش در ارزیابی عملکرد بیولوژیک نشان داد که اثر اصلی دو فاکتور تراکم و اسید هیومیک بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ٥). بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار تراکم ٦٠ بوته در مترمربع (٥٨٢٣ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مربوط به تراکم ٣٠ بوته در مترمربع (٣٢٧٧ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد (جدول٦). با افزایش تراکم بوته، عملکرد بیولوژیک افزایش یافت، در تراکم‌های بالاتر به‌دلیل افزایش ارتفاع بوته و تعداد بوته بیشتر در واحد سطح، مقدار ماده خشک کل افزایش یافت. در این خصوص برخی از پژوهشگران اظهار داشتند با افزایش تراکم بوته، تجمع ماده خشک و عملکرد بیولوژیک هر بوته به دلیل افزایش رقابت برای منابع رشد کاهش می‌یابد، اما به‌واسطه افزایش تعداد گیاهان در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در هکتار افزایش پیدا می‌کند (Ramesh *et al*., 2021). براساس مقایسه میانگین‌های این صفت، بیشترین عملکرد بیولوژیگ با میانگین٥٨٥٢ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ٩ لیتر در هکتار محلول پاشی اسید هیومیک حاصل شد و کمترین ٣٦١٦

کیلوگرم در هکتار از عدم‌مصرف اسیدهیومیک به‌دست آمد. پژوهشگران گزارش کرده‌اند که کاربرد اسیدهیومیک با بهبود جذب و کارایی مصرف نیتروژن، سبب افزایش رشد رویشی، ارتفاع بوته، تولید ماده خشک و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه می‌شود (Mora *et al*., 2010).

۳-۹. شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم بر شاخص برداشت در کنجد معنی‌دار است (جدول ۵). با افزایش تراکم از ۳۰ به ۶۰ بوته در مترمربع، شاخص برداشت کاهش یافت و بیشترین و کمترین میزان شاخص برداشت به‌ترتیب در تراکم‌های ۳۰ و ۶۰ بوته در مترمربع با میانگین ۲۱/۱ و ۱۶/۴درصد به‌دست آمد (جدول ۶). شاخص برداشت بالاتر در تراکم‌های کمتر بوته احتمالاً ناشی از رقابت کمتر بین گیاهان برای منابع رشد، به‌ویژه نور، آب و مواد مغذی است. در تراکم‌های پایین‌تر، هر گیاه فضای بیشتری برای گسترش تاج، جذب نور و انجام فتوسنتز دارد که منجر به افزایش کارایی تبدیل بیوماس به دانه می‌شود برعکس، در کشت با تراکم بالاتر رقابت درون گونه‌ای برای جذب تشعشع فعال فتوسنتزی بیشتر می‌شود و آسمیلات‌های کمتری به اندام‌های زایشی انتقال یافته است و در نتیجه عملکرد دانه و به‌دنبال آن شاخص برداشت کاهش می‌یابد. همچنین در تراکم ۶۰ بوته در متر مربع توازن بین رشد رویشی و زایشی به نفع افزایش رشد رویشی شده و در نتیجه کاهش شاخص برداشت را در پی‌داشته است. نتایج این تحقیق با یافته‌های (Rezvani Moghaddam *et al*., 2005) مبنی بر کاهش شاخص برداشت کنجد در تراکم‌های بالاتر از ۴۰ بوته در مترمربع مطابقت دارد.

۳-۱۰. درصد روغن

براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تراکم کاشت در سطح احتمال یک درصد بر صفت درصد روغن معنی‌دار گردید (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین درصد روغن از تراکم ۳۰ بوته در مترمربع (۳۷/۶ درصد) و کمترین از تراکم ۶۰ بوته در مترمربع (۳۲/۵ درصد) به‌دست آمد، همچنین بین تراکم ۳۰ و ۴۰ بوته در مترمربع اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۶). کاهش تعداد بوته در واحد سطح به رشد بهتر گیاه و دسترس بودن مواد مغذی کود و آب کمک کرد این عامل موجب افزایش تجمع مواد مغذی در دانه به‌عنوان بحثی از عملکرد اقتصادی و روغن دانه گردید. این نتیجه با یافته های(Hosseini Valiki *et al*.,2015) در کنجد و (Shahri *et al*., 2013) در گلرنگ مطابقت دارد.

۳-۱۱. عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس مربوط به صفت عملکرد روغن نشان داد که اثرات اصلی تراکم بوته و اسید هیومیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۵). بیشترین عملکرد روغن (۴۰۵/۵ کیلوگرم درهکتار) از تراکم ۶۰ بوته در مترمربع و کمترین عملکرد روغن (۲۸۶/۲کیلوگرم در هکتار) از تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بدست آمد (جدول ۶). با توجه به اینکه عملکرد روغن، از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد روغن بدست می‌آید، متناسب با افزایش عملکرد دانه و کاهش درصد روغن دانه با افزایش تراکم بوته، می‌توان بیان کرد که این مهم مربوط به عملکرد دانه می‌باشد که **تأثیر** مستقیمی بر عملکرد روغن دارد و با افزایش تراکم بوته عملکرد روغن در واحد سطح افزایش یافت. همچنین با توجه به اینکه تیمارهای مورد بررسی بیشترین تأثیر را در عملکرد دانه داشته اند لذا نقش عملکرد دانه در افزایش عملکرد روغن اهمیت بیشتری دارد. گزارش شده است که عملکرد دانه و درصد روغن در عملکرد روغن نقش دارند، یکی از فاکتورهای مؤثر در عملکرد روغن، عملکرد دانه می‌باشد(Karimi and Tadin, 2018). نتایج تجزیه واریانس در این آزمایش نشان داد محلول‌پاشی اسیدهیومیک باعث افزایش معنی‌دار عملکرد روغن در سطح احتمال یک درصد گردید (جدول۵). بر اساس مقایسه میانگین‌های این صفت، بیشترین میزان عملکرد روغن (۴۱۲/۸ کیلوگرم در هکتار) با اعمال تیمار محلول‌پاشی ۶ لیتر در هکتار اسیدهیومیک مشاهده شد که با کاربرد ۹ لیتر در هکتار (۳۹۰/۲ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت و کمترین عملکرد روغن در تیمار عدم مصرف (شاهد) (۲۷۴/۳ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد (جدول ۶). عملکرد روغن نیز مانند عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با محلول‌پاشی و با تغییر در سطح مصرف آن افزایش معنی‌داری نشان داد.

٤. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد کنجد مقاوم به ریزش تحت تاثیر تراکم و مصرف هیومیک اسید قرار گرفت و افزایش تراکم ٦٠ بوته در مترمربع همراه با محلول‌پاشی اسید هیومیک به میزان ٦ لیتر در هکتار واکنش مثبتی را در گیاه ایجاد کرد. افزایش تراکم بوته و مصرف اسید هیومیک منجر به افزایش معنی‌دار در عملکرد دانه، عملکرد روغن و عملکرد بیولوژیک شد. همچنین، تعداد دانه در واحد سطح، شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته و طول کپسول نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر این تیمارها افزایش یافت. در مجموع، نتایج نشان داد که بهینه‌سازی تراکم بوته همراه با کاربرد اسید هیومیک می‌تواند نقش مؤثری در بهبود صفات کمی و عملکردی داشته باشد. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن نیز در تراکم ٦٠ بوته در مترمربع و مصرف ٦ لیتر در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد. بنابراین، کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی و انتخاب تراکم مناسب کاشت کنجد مقاوم به ریزش، به‌طور مؤثری می‌تواند تولید دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد روغن را افزایش دهد. به‌طورکلی تراکم ٦٠ بوته در مترمربع همراه با مصرف ٦ لیتر در هکتار بهترین تیمار قابل توصیه می‌باشد.

٥. سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که از انجام این تحقیق حمایت کردند سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Abodeh, H., Moradi-Telavat, M. R., Moshattati, A. and Mousavi, S. H. (2019). The response of morphology, yield and yield components of spring safflower genotypes to different sowing dates. *Journal of Crop Production and Processing*, 9(4), 215-227, (In Persian). https://doi.org/10.47176/jcpp.9.4.22255.

Ahmadi, S., Hatamzadeh, A., Biglueii, M. H. and Sahraroo, A. (2017). Effect of humic acid on some morphological traits of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Karaj region. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 11(1), 287–295, (In Persian).

Ahmadi-Nouraldinvand. F., Moradi-Telavat. M. R, Siadat, S. A. and Moshatati, A. (2019). The reaction of vegetative and reproductive growth of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) to humic acid application with irrigation water in different planting densities. Iranian Journal of Pulses Research, 10 (2), 104-118, (In Persian). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.69397.

Aiyafar, S., Poudineh, H. M. and Forouzandeh, M. (2015). Effect of humic acid on qualitative and quantitative characteristics and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. *International Journal of Science*, 4, 89–102, (In Persian).

Amiri, M. (2015). Effect of humic acid potassium and seaweed extract (KCLP) on growth and yield of corn (*Zea mays* L. var. saccharata). MSc Thesis, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Iran.

Attar Roshan, M., Rahman, A., Maskerbashi, M., Siahpoosh, M. R. and Harrison, M. T. (2024). Effect of sowing date and irrigation interval on morphological traits and seed yield of new of indehiscent sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 148–169, (In Persian).

Azizi, M. and Safaei, Z. (2017). Effect of foliar application of humic acid and nano fertilizer (Pharmks) on morphological traits, yield, essential oil content and yield of black cumin (*Nigella sativa L.*). *Journal of Horticulture Science*, 30(3), 671–680, (In Persian).

El-Hefny, E. M. (2010). Effect of saline irrigation water and humic acid application on growth and productivity of two cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(12), 6154–6168.

El-Naim, A. M., El-Day, E. M. and Ahmed, A. A. (2010). Effect of Plant Density on the Performance of Some Sesame (*Sesamum indicum* L) Cultivars under Rain fed. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(4), 498–504.

El Hanafi, L., Ben Khadda, Z., Rais, S., Slimani, C., Squalli, W. and Greche, H. (2025). Effect of different plant densities on growth, yield and nutritional quality of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Morocco. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*.6(1), 48-53.

El-Shamy, M. A., El-Mansoury, M. A. and El-Bialy, M. A. (2021). Effect of sowing dates, plant density of sesame and intercropping on yield and yield components of cotton and sesame. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42(1), 179–190. https://doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2021.155572.

El-Sherbeny, S. E., Hendawy, S. F., Youssef, A. A., Naguib, N. Y. and Hussein, M. S. (2012). Response of turnip (*Brassica rapa*) plants to mineral or organic fertilizers. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(2), 628–634.

Fanaei, H., Naroi Rad, M., and Kashtegar Khajehdad, M. (2020). Evaluation of seed production and oil content in sesame cultivars under row spacing and plant density. *Journal of Plant Production Research*, 27(3), 163–177, (In

Persian). https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16692.2528

FAO. 2024. Faostat. Online Available on: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Faraji, A., Haghighi, A. A., Bagheri, M. and Feyzbakhsh, M. T. (2018). Report on production of unripe sesame in Golestan province. Golestan *Agricultural and Natural Resources Research and Education Center*, (In Persian).

Hassan, M. M. and Leitch, A. R. (2016). Influence of planting geometry on growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18(4), 789–798, (In Persian).

Hosseini Valiki, S. R., Ghanbari, S., Golmohammadzadeh, S., and Riahi Kiasari, K. (2015). Effect of Different Plant Density on Growth and Yield of Three Cultivars of Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Biological Forum – An International Journal*, 7(1), 1524–1528, (In Persian).

Kandil, E. (2015). Impact of sowing method and humic acid on sesame production: effects on yield, yield components and nutrient uptake. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 20(3), 460–471. https://doi.org/10.21608/jalexu.2015.161556.

Kante, S., Wadikar, P. B., Sargar, P. R. and Patil, S. S. (2022). Correlation analysis for seed yield and related attributes in sesame genotypes. *International Journal of Plant and Environment*, 8(1), 87–90. https://doi.org/10.18811/ijpen.v8i01.11.

Karimi, F. and Tadayyon, A. (2018). Effect of humic acid spraying on yield and morphological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress. *Applied Research in Field Crops*, 31(1), 19–38, (In Persian). https://doi.org/10.22092/aj.2018.105538.1057.

Khodadadi, S., Chegini, M. A., Soltani, A. and Norouzi, H. A. (2020). Influence of foliar-applied humic acid and some key growth regulators on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under drought stress: antioxidant defense system, photosynthetic characteristics and sugar yield. *Sugar Tech*, 22, 120–132. https://doi.org/10.1007/s12355-020-00839-6.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Nourbakhsh, F. and Nehbandani, A. (2017). Effect of planting pattern and density on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1), 31–45, (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i1.33089.

Mahmoodi Zoeek, R., Nasri, M. and Oveysi, M. (2015). Effect of humic acid spraying on wheat yield under drought stress. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 12(2), 119–131, (In Persian).

Miao, Z.-H., Li, K., Liu, P.-Y., Li, Z., Yang, H., Zhao, Q., Chang, M., Yang, Q., Zhen, L. and Xu, C.-Y. (2018). Natural humic-acid-based phototheranostic agent. *Advanced Healthcare Materials, 7*(7), 1701202. https://doi.org/10.1002/adhm.201701202

Mili, A., Das, S., Nandakumar, K. and Lobo, R. (2021). A comprehensive review on (*Sesamum indicum* L.) Botanical, ethnopharmacological, phytochemical, and pharmacological aspects. *Journal of Ethnopharmacology*, 281, 114503. https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114503.

Mora, V., Bacaicoa, E., Zamarreño, A. M., Aguirre, E., Garnica, M., Fuentes, M. and García-Mina, J. M. (2010). Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes associated with the root-to-shoot distribution of cytokinins, polyamines and mineral nutrients. *Journal of Plant Physiology, 167*(8), 633–642. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.11.018.

Moradi, P., Pasari, B. and Fayyaz, F. (2017). The effects of fulvic acid application on seed and oil yield of safflower cultivars. *Journal of Central European Agriculture*, 18(3), 9684–597. https://doi:org/10.5513/JCEA01/18.3.1933.

Moradi-Telavat, M. R. and Siadat, S. A. (2012). Introduction and Production of Oilseed Crops. Introduction and Production of Oilseed Plants. Tehran: Education and Extention of Agriculture Press. (In Persian)

Mthembu, N., Lottering, R. and Kotze, H. (2023). Romano Lottering, and Heyns Kotze. "Forest, Crop and Grassland Leaf Area Index Estimation Using Remote Sensing: A Review of Current Research Methods, Sensors, Estimation Models and Accomplishments. *Applied Sciences*, 13(6), 4005. https://doi.org/10.3390/app13064005

Nadeem, A., Kashani, S., Ahmed, N., Buriro, M., Saeed, Z., Mohammad, F. and Ahmed, S. (2015). Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under the influence of planting geometry and irrigation regimes. *American Journal of Plant Sciences, 6*(7), 980–986. https://doi.org/10.4236/ajps.2015.67104.

Nosrati, M., Moradi-Telavat, M. R., Moshattati, A. and Gholamhoseini, M. 2024. Evaluation of different genotypes of sesame in terms of stress sensitivity and tolerance indices in water deficit condition. *Journal of Crop Production and Processing*, 14(1), 17-30. https://doi.org/10.47176/jcpp.14.1.22257.

Oloniruha, J. A., Ogundare, S. K. and Olajide, K. (2021). Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum*) as influenced plant population desity and organo-mineral fertilizer rates. *Agro–Science*, 20(1), 15–21. https://doi.org/10.4314/as.v20i1.3.

Ozfidan Konakci, C., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M. and Kucukoduk, M. (2018). The humic acid-induced changes in the water status, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155, 66–75. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.071.

Parwada, C., Mandumbu, R., Tibugari, H., Badze, D. and Mhungu, S. (2020). Effect of soil fertility amendment, planting density and growing season on Chenopodium quinoa Willd (Quinoa) in Zimbabwe. *Cogent Food and*

Agriculture, 6(1), 1-16. https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1792668.

Parker, G. G. (2020). Leaf area index (LAI) is both a determinant and a consequence of important processes in vegetation canopies. Forest Ecology and Management, 477, 118496. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118496

Porim. (1995). Porim Test Methods. Palm Oil Research Institute of Malaysia, 33–101.

Rajpar, I., Bhatti, M. B., Ul Hassan, Z., Shah, A. N. and Tunio, S. D. (2011). Humic acid improves growth yield and oil content of Brassica campestris L. Journal of Agriculture, *Agricultural Engineering and Veterinary Science*, 27(2),125–133.

Ramesh, K., Suresh, G., Qureshi, A. A., Ratnakumar, P. and Yadav, P. (2021). Plant density and nitrogen interaction on productivity of summer sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Oilseeds Research*, 38(1), 100-105. https://doi.org/10.56739/jor.v38i1.137013

Rezvani Moghaddam, P., Noroozpoor, G., Nabati, J. and Mohamad Abadi, A. A. (2005). Effects of different irrigation intervals and plant density on morphological characteristics, grain and oil yields of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 3(1), 57–68, (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v3i1.1292.

Samadi Gorji, M. (2013). Importance and improvement of Camelina. Internal Newsletter of Oilseeds Cultivation Development Company, Issue 28.

Saruhan, V., Kusvuran, A. and Babat, S. (2011). The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Scientific Research and Essays*, 6(3), 663–669. https://doi.org/10.5897/SRE10.1153.

Shahri, A., Ganjali, H. R. and Fanayi, H. R. (2013). Effect of drought stress on quantitative and qualitative yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) (Goldasht cultivar) in different planting densities. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 6(19), 1342–1346.

Siadat, S. A., Modhej, A. and Esfahani, M. (2013). *Cereals. Mashhad University Jihad Press*.

Tadayyon, A., and Beheshti, S. (2016). Effect of foliar applications of humic acid, iron and zinc on some characteristics of niger (*Guizotia abyssinica* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*. 38(2), 283–295, (In Persian).

Tahir, M., Saeed, U., Ali, A., Hassan, I., Naeem, M. and Ibrahim, M. (2012). Optimizing sowing date and row spacing for sesame variety TH-6. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 10(1), 1–4.

Turan, M. A., Asik, B. B., Katkat, A. V. and Celik, H. (2011). The effects of soil-applied humic substances on the dry weight and mineral nutrient uptake of maize plants under soil-salinity conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 171–177. https://doi.org/10.15835/nbha3915812.

Wei, P., Zhao, F., Wang, Z., Wang, Q., Chai, X., Hou, G. and Meng, Q. (2022). Sesame (*Sesamum indicum* L.): A comprehensive review of nutritional value, phytochemical composition, health benefits, development of food, and industrial applications. *Nutrients*, 14(19), 4079. https://doi.org/10.3390/nu14194079

Zewdie, T. and Tehulie, N. S. (2019). Review on plant density and nitrogen fertilization on sesame. *International Journal of Research in Agronomy*, 2(1), 42–47. https://doi.org/10.33545/2618060X.2019.v2.i1a.66

Zhao, D., Wang, X., Li, Y., Chen, H., Liu, J., Zhang, Q. and Wang, L. (2019). Effects of plant density on canopy structure and grain yield in oilseed crops. *Field Crops Research*, 232, 11–19. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.003