

Evaluation of some sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars using multivariate statistical methods under drought stress

Younes Ghorishi Nasab¹, Ali Arminian^{1*}, Arash Fazeli¹, Amin Fathi²

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2. Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

*Corresponding Author Email: a.arminian@ilam.ac.ir

Abstract

Introduction: The increasing scarcity of water in many regions has intensified the need to identify crop genotypes that can sustain yield under limited irrigation. Sesame is an important oilseed crop in arid and semi-arid environments, where rainfall is irregular and water resources are constrained. Evaluating genetic variation in drought response among sesame cultivars can reveal candidates with stable performance under water stress, informing breeding strategies and crop management. This study aims to screen a diverse set of sesame cultivars for drought tolerance and to elucidate the relationships between vegetative vigor, yield components, and final grain yield under contrasting irrigation regimes.

Materials and Methods: This experiment was conducted at Darreh Shahr County, Ilam Province in 2021. A split-plot design in a randomized complete block framework with three replications was used. The main plots included two irrigation levels (drought stress and well-watered control), and within plots six sesame cultivars—Ultan, Darab 1, a native cultivar, Yellow White, Halil, and an American cultivar. Measurements included plant height, height of the first node, number of seeds per capsule, total dry weight, and grain yield (g/m²). Data analysis comprised ANOVA for main effects and interactions, correlation analysis among traits, principal component analysis (PCA) to summarize variation, and a cluster analysis to group cultivars.

Results: Drought stress significantly reduced plant height, the height of the first node, the number of seeds per capsule, and total dry weight, while grain yield differed among cultivars under drought; Ultan achieved the highest yield (~95 g/m²) and the native cultivar the lowest (~62 g/m²). The cultivar-by-stress interaction was significant for the number of seeds per capsule, with Ultan producing the highest count (~70) under non-stress conditions. Strong positive correlations were detected between the number of leaves and plant height ($r = 0.94$, $P \leq 0.01$) and between leaves and total dry weight ($r = 0.87$, $P \leq 0.05$). Grain yield showed relatively strong but non-significant correlations with node height ($r = 0.64$, $P > 0.05$), total dry weight ($r = 0.72$, $P > 0.05$), and the number of leaves per plant ($r = 0.73$, $P > 0.05$). PCA indicated that the first two components explained about 96.9% of the total variation. Cluster analysis revealed three distinct groups of cultivars under both stress and non-stress conditions: Group 1 consisted of native and American cultivars, Group 2 included Ultan, Yellow White, and Darab 1, and Group 3 included Halil, which showed relatively favorable yield.

Conclusion: There is substantial genetic variation in sesame responses to drought; certain cultivars such as Ultan, Yellow White, Darab 1, and Halil show potential for use in breeding and cropping programs in water-scarce regions.

Keywords: Clustering, Correlation, Performance, Principal components, Multivariate analysis

Received: 21-11-2025

Accepted: 30-12-2025

Citation: Ghoreishi Nasab, y., Arminian, A., Fazeli, A., & Fathi, A. (2025). Evaluation of some sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars using multivariate statistical methods under drought stress. *Plant Production and Genetics*, 6(2), 327-344. <https://doi.org/10.22034/plant.2025.144982.1182>

Copyrights:

Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



ارزیابی برخی از ارقام کنگد (*Sesamum indicum* L.) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره تحت تنش خشکی

یونس قریشی نسب^۱، علی آرمینیان^{۱*}، آرش فاضلی^۱، امین فتحی^۲

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲. واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: a.arminian@ilam.ac.ir

چکیده

مقدمه: در بسیاری از مناطق خشک، نیاز به شناسایی ژنوتیپ‌های گیاهی می باشد که بتوانند با آبیاری محدود، عملکرد را حفظ یا افزایش دهد. کنگد در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک که بارش نامنظم است و منابع آبی محدود می‌باشد، محصول روغنی مهمی است. ارزیابی تنوع ژنتیکی در پاسخ به خشکی در میان رقم‌های کنگد می‌تواند کاندیداهایی با عملکرد پایدار در تنش خشکی را نشان دهد و استراتژی‌های به‌نژادی و مدیریت زراعی را مشخص کند. این مطالعه به غربالگری رقم‌های کنگد برای تحمل خشکی می‌پردازد و روابط بین صفات رویشی، مؤلفه‌های عملکرد و عملکرد نهایی دانه را تحت رژیم‌های آبیاری روشن می‌سازد.

مواد و روش‌ها: با توجه به اهمیت شناسایی ارقام متحمل کنگد برای مناطق خشک و نیمه‌خشک، این پژوهش با هدف غربالگری رقم‌های مختلف کنگد تحت تنش خشکی در سال ۱۴۰۰ در شهرستان دره‌شهر استان ایلام اجرا گردید. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو سطح آبیاری تنش خشکی و بدون تنش (شاهد) به‌عنوان فاکتور اصلی و شش رقم کنگد شامل اولتان، داراب ۱، رقم بومی، یلوویت، هلیل و رقم آمریکایی به‌عنوان فاکتور فرعی بودند.

نتایج: نتایج نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، ارتفاع اولین گره، تعداد دانه در کپسول، وزن خشک کل و عملکرد دانه داشت. رقم اولتان بیشترین (۹۵ گرم در مترمربع) و رقم بومی کمترین (۶۲ گرم در مترمربع) عملکرد دانه را داشتند. اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر تعداد دانه در کپسول نیز معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بیشترین مقدار در رقم اولتان (۷۰ عدد) در شرایط بدون تنش مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بین تعداد برگ با ارتفاع بوته ($r=0.94$, $P\leq 0.01$) و وزن خشک کل ($r=0.87$, $P\leq 0.05$) بیشترین همبستگی‌های مثبت و قوی وجود داشت. همچنین عملکرد دانه با ارتفاع گره ($r=0.64$, $P>0.05$)، وزن خشک کل ($r=0.72$, $P>0.05$) و تعداد برگ در گیاه ($r=0.73$, $P>0.05$) دارای همبستگی نسبتاً قوی و مثبت ولی غیرمعنی دار داشت. در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (میانگین دو محیط شاهد و تنش)، دو مؤلفه اصلی اول، ۹۶/۹۰ درصد از تغییرات موجود را توجیه نموده و همچنین براساس نتایج خوشه‌بندی نیز رقم‌ها در شرایط تنش و بدون تنش، سه گروه متمایز شناسایی شد: گروه اول شامل ارقام محلی و آمریکایی (مهاجر)، گروه دوم شامل ارقام یلوویت، اولتان و داراب ۱، و گروه سوم نیز شامل رقم هلیل با عملکرد نسبتاً مطلوب بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که بین رقم‌های کنگد تفاوت‌های قابل‌توجهی در پاسخ به تنش خشکی وجود داشت. چنین ارقامی می‌توانند در برنامه‌های اصلاحی و زراعی مناطق کم‌آب مورد استفاده قرار گیرند.

کلید واژگان: تجزیه چندمتغیره، خوشه‌ای، عملکرد، مؤلفه‌های اصلی، همبستگی

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰

منبع: قریشی نسب، ی.، آرمینیان، ع.، فاضلی، آ. و فتحی، ا. (۱۴۰۴). ارزیابی برخی از ارقام کنگد (*Sesamum indicum* L.) با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره تحت تنش خشکی، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۶ (۲)، ۳۲۷-۳۴۴. <https://doi.org/10.22034/plant.2025.144982.1182>



مقدمه

با رشد روزافزون جمعیت جهانی، تقاضا برای مواد غذایی به ویژه دانه‌های روغنی نیز افزایش یافته است (Eyni *et al.*, 2023). دانه‌های روغنی پس از غلات به‌عنوان دومین منبع اصلی غذایی جهان شناخته می‌شوند و به‌دلیل داشتن اسیدهای چرب و پروتئین‌های با کیفیت، اهمیت ویژه‌ای دارند (Mathur *et al.*, 2023). در ایران نیز با افزایش جمعیت و تغییر سبک تغذیه مردم، مصرف روغن‌های گیاهی رو به رشد است. از سوی دیگر، وابستگی زیاد به واردات روغن خوراکی و ادامه این روند، ضرورت بررسی ظرفیت‌ها و برنامه‌ریزی‌های جامع برای توسعه کشت دانه‌های روغنی را بیش از پیش آشکار کرده است (Marashi *et al.*, 2023).

کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از دانه‌های روغنی یک ساله اصلی است که در آفریقا و آسیا کشت می‌شود. روغن دانه کنجد (SSO) از نظر اقتصادی و تغذیه انسانی در سراسر جهان مورد توجه زیادی بوده و به‌دلیل ترکیب آنتی‌اکسیدان‌های فیتوشیمیایی و میزان اسیدهای چرب غیراشباع، به‌عنوان منبع بیولوژیکی اسیدهای چرب ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Oboulbige *et al.*, 2023). این محققان بیان می‌دارند که این گیاه حاوی ترکیبات زیست فعال مانند لیگنان‌ها (سزامین، سزامول، سزامولین)، توکوفرول‌ها و فیتواسترول‌ها است. نسبت اسیدهای چرب اولئیک به لینولئیک در کنجد، این گیاه را برای سلامت انسان، با اهمیت می‌سازد. علاوه بر این، کنجاله به‌عنوان یک منبع پروتئینی ارزشمند در تغذیه دام مطرح است که حاوی حدود ۴۲ درصد پروتئین خام بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای کنجاله سویا در خوراک دام باشد (Omer *et al.*, 2019). ۴۴ هزار هکتار از اراضی خود را به کشت کنجد اختصاص داده است که میانگین عملکرد آن ۷۱۰ کیلوگرم در هکتار و تولید کل دانه کنجد به ۳۱ هزار تن رسیده است (FAO, 2023). این ظرفیت تولید با انتخاب ارقام باکیفیت و سازگار با شرایط آب و هوایی مختلف قابل افزایش است (Yol & Uzun, 2012). تنش‌های محیطی به ویژه تنش خشکی و کمبود ارقام اصلاح‌شده سازگار با اقلیم‌های متفاوت، موجب کاهش بهره‌وری در کشت کنجد در کشور شده است (Jahan *et al.*, 2022).

مدیریت منابع آب و انتخاب ارقام مقاوم به خشکی دو رکن

اساسی برای توسعه کشاورزی پایدار در مناطق خشک هستند (Nadeem *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2024; Hafeez *et al.*, 2023). تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و محدودیت منابع آبی، تأثیر قابل توجه و منفی بر اکوسیستم‌های کشاورزی جهانی دارد. در نتیجه، وقوع تنش‌های غیرزیستی یک چالش عمده برای تولید محصولات کشاورزی است (Fathi *et al.*, 2024a, b). یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌ها در کشاورزی، تنش خشکی است که به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد محصولات زراعی شناخته می‌شود (Fathi *et al.*, 2024c). تنش خشکی موجب کاهش رشد گیاه، کاهش فتوسنتز، کاهش تولید بیوماس، افزایش رادیکال‌های آزاد و در نهایت کاهش عملکرد دانه می‌شود (Mirzaei Heydari *et al.*, 2024; Fathi *et al.*, 2025). شناسایی ارقام متحمل به خشکی به‌عنوان راهکاری کم‌هزینه و پایدار، از اولویت‌های اساسی برنامه‌های اصلاح نباتات محسوب می‌شود.

گرینش ژنوتیپ‌ها توسط روش‌های آماری چندمتغیره همچون همبستگی و تجزیه علیت، رگرسیون چندمتغیره، تجزیه به عامل‌ها و تجزیه خوشه‌ای انجام می‌شود. به‌طور کلی مطالعات همبستگی و استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره این امکان را فراهم می‌سازد تا صفات مهم و تعیین‌کننده عملکرد و میزان سهم نسبی هریک بر عملکرد مشخص شود (Marashi *et al.*, 2023; Askari *et al.*, 2016). در تحقیقاتی نشان داده شده که عملکرد دانه، میزان زیست‌توده، شاخص برداشت و تعداد کپسول در بوته از مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد کنجد به‌شمار می‌روند (Ranjithkumar *et al.*, 2022). محققان در تحقیقی تنوع ژنتیکی و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف گندم را به کمک تجزیه‌های آماری چندمتغیره انجام داده و به اهمیت این روش‌های آماری در بررسی ارتباط صفات و گروه‌بندی ارقام گیاهان زراعی مثل گندم اشاره نمودند (Arminian *et al.*, 2013).

محققان با بررسی روابط صفات کمی در ۱۴ لاین برتر کنجد به‌همراه رقم اولتان و توده محلی بیرجند با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تحلیل خوشه‌ای نشان دادند که صفاتی مانند تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه و عملکرد کل بیشترین تأثیر را در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها داشته‌اند. براساس این صفات، توده محلی بیرجند به‌عنوان رقم مناسب برای کشت در منطقه بیرجند توصیه شد (Ramazani &

روش‌های چندمتغیره می‌تواند کارایی غربالگری و تفکیک ژنوتیپ‌های متحمل را نسبت به رویکردهای تک‌صفتی به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند چارچوبی علمی و کاربردی برای برنامه‌های اصلاح نباتات و مدیریت زراعی کنجد در مناطق کم‌آب فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه روستای جهادآباد شهرستان دره‌شهر استان ایلام انجام شد. محل اجرای طرح در طول جغرافیایی ۳۳ درجه و ۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۶۵۹ متر است. متوسط بارش سالانه منطقه بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد. به منظور بررسی تعیین ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش، پیش از کشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک با استفاده از اوگر از پنج نقطه زمین به‌صورت تصادفی نمونه برداری شد و سپس نمونه‌ها با هم مخلوط گردید. پس از غربال کردن نمونه مخلوط شده، مقدار ۲ کیلوگرم از آن به آزمایشگاه ارسال گردید. نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

(Mansouri, 2017) در مطالعه‌ای دیگر، ۶۵ ژنوتیپ کنجد از نظر صفات مورفولوژیکی و زراعی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌ها در بوته، تعداد کپسول در بوته، وزن دانه و عملکرد دانه با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به پنج گروه مختلف تقسیم شدند (Srikanth & Ghodke, 2022). با وجود انجام مطالعات متعدد در زمینه ارزیابی ژنوتیپ‌های کنجد، بخش عمده این پژوهش‌ها یا در شرایط بدون تنش اجرا شده‌اند یا فاقد مقایسه همزمان پاسخ ارقام در شرایط تنش و غیرتنش بوده‌اند؛ افزون بر این، در بسیاری از موارد از شاخص‌های تحمل به خشکی یا روش‌های آماری چندمتغیره به‌صورت جداگانه استفاده شده است. در نتیجه، ارزیابی یکپارچه ارقام رایج کنجد براساس عملکرد، شاخص‌های تحمل به خشکی و تحلیل‌های چندمتغیره در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران همچنان با کمبود مطالعات نظام‌مند مواجه است. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر غربالگری ارقام رایج کنجد تحت شرایط تنش خشکی و بدون تنش از طریق تلفیق شاخص‌های تحمل به خشکی با تحلیل همبستگی صفات مورفولوژیکی و عملکردی و به‌کارگیری روش‌های آماری چندمتغیره به‌منظور شناسایی دقیق‌تر ارقام متحمل و پرمحصول است. فرض بر این است که ارقام کنجد از نظر پاسخ به تنش خشکی تفاوت‌های معنی‌داری نشان می‌دهند و تلفیق شاخص‌های تحمل با

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

بافت-خاک	پتاسیم (mg/kg)	فسفر	نیترژن کل(%)	کربن آلی (%C.O)	هدایت الکتریکی (dS/m)	pH
لومی-رسی	۱۶۴	۱۴	۰/۱۴	۰/۲۶	۱/۹۲	۷/۶

شاهد) و رقم کنجد به‌عنوان فاکتور فرعی در ۶ سطح شامل ارقام اولتان، داراب ۱، رقم بومی دره شهر، یلوایت، هلیل و رقم آمریکایی (US یا مهاجر) در نظر گرفته شد (جدول ۲).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این طرح، تنش خشکی به‌عنوان فاکتور اصلی با دو سطح (تنش و

جدول ۲- مشخصات ارقام کنگد مورد استفاده در این تحقیق (Ghasemipناه et al., 2020)

ارقام	سال معرفی	منشأ	شاخه دهی	رنگ دانه	وزن هزاردانه
اولتان	۱۳۷۸	توده محلی مغان	چند شاخه	قهوه‌ای تیره	۲/۹-۳/۴
داراب ۱	۱۳۸۸	توده محلی داراب ۱	چند شاخه	قهوه‌ای روشن	۳/۰-۳/۴
یلوویت	۱۳۸۵	توده محلی پاکستان	چند شاخه	کرم روشن	۲/۷-۲/۹
هلیل	۱۳۹۲	توده محلی جیرفت و کهنوج	چند شاخه	قهوه‌ای	۳/۴
بومی دره شهر (معروف به ناشکوف)	۱۴۰۰ به ایلام	بومی دره شهر	چند شاخه	قهوه‌ای تیره (معروف به سیاه روغنی)	۲/۶
آمریکایی (معروف به مهاجر)	-	-	چند شاخه	شیری و قهوه‌ای روشن	-

در ابتدا زمین مورد نظر آبیاری شد و پس از گاورو شدن خاک، با استفاده از گاواهن شخم زده شد. سپس دو دیسک سبک به عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر کشیده شد. فاصله بین دو ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایشی به طول ۳ متر و عرض ۲/۵ متر شامل شش خط کاشت بود. ردیف‌های کناری و نیم متر از بالا و پایین هر کرت به‌عنوان حاشیه محسوب شدند. عملیات کاشت به‌صورت دستی و در تاریخ ۱۴۰۰/۳/۲۴ انجام شد. اولین آبیاری در روز کاشت انجام گرفت. براساس نتایج آزمایش خاک، کودهای مورد نیاز قبل از کاشت به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، فسفر و پتاسیم توصیه و مصرف شدند. نیتروژن در دو مرحله، پیش از کاشت و به‌صورت سرک، استفاده شد. اعمال تنش خشکی به‌صورت تنظیم دور آبیاری صورت گرفت. بطوری که در تیمار شاهد هر ۷ روز (عرف منطقه) و برای تنش خشکی نیز هر ۲ هفته یک بار آبیاری به‌صورت سطحی انجام گرفت.

همچنین مراقبت‌ها و عملیات زراعی همانند مبارزه با علف‌های هرز نیز بصورت دستی برای تیمار شاهد و تنش خشکی انجام و صفات زراعی ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، تعداد

برگ، ارتفاع اولین گره (سانتی‌متر) و تعداد کپسول در بوته در زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گرفت. در پایان فصل رشد، پس از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک پنج بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شده و صفات باقیمانده شامل وزن خشک بوته (گرم)، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه (گرم در بوته) اندازه‌گیری گردید.

در این تحقیق، صفت عملکرد دانه به‌نوع صفت نهایی وابسته در رگرسیون گام‌به‌گام ($\alpha = 0.25$) در نظر گرفته شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.4 و Excel انجام گردید. به‌منظور تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و گروه‌بندی رقم‌های مورد بررسی، تجزیه خوشه‌ای مبتنی بر روش UPGMA (با معیار فاصله اقلیدسی) با یک میلیون مرتبه تکرار، استفاده قرار گرفت. برای آنالیز همبستگی صفات از محیط نرم‌افزاری R v. 4.4.1 (Cran-r. project) استفاده شد. تیمارها نیز با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه گردیدند.

همچنین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی نیز بعد از برداشت و تعیین عملکرد دانه در تیمار شاهد و خشکی برآورد گردید که به شرح زیر می‌باشند:

$$SSI \text{ (Stress susceptibility index)} = \frac{1 - \frac{Y_s}{Y_p}}{SI} \quad SI = 1 - \left[\frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \right]$$

$$TOL \text{ (Tolerance index)} = Y_p - Y_s$$

$$MP \text{ (Mean porocuctivity)} = \frac{Y_p + Y_s}{2}$$

$$GMP \text{ (Geometrical Mean productivity)} = \sqrt{Y_p \times Y_s}$$

$$STI \text{ (Stress tolerance index)} = \frac{Y_p \times Y_s}{(\bar{Y}_p)^2}$$

$$YI \text{ (Yield Index)} = \frac{Y_s}{Y_p} \quad HARM \text{ (Harmonized mean)} = \frac{2 \times Y_p \times Y_s}{Y_p + Y_s}$$

(Fischer & Maurer, 1978)

(Rosielle & Hamblin, 1981)

(Rosielle & Hamblin, 1981)

(Fernandez, 1993)

(Fernandez, 1993)

(Gavuzzi et al., 1997)

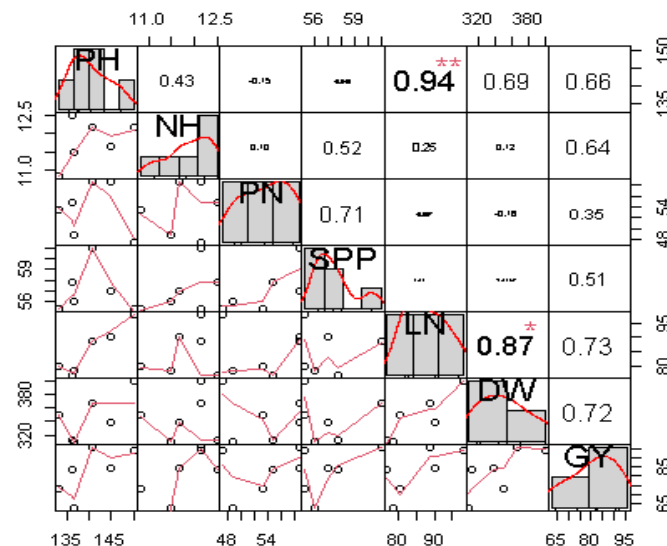
بوته و نیز بین تعداد برگ و وزن خشک کل ارتباط قوی و مثبت وجود داشت (شکل ۱). به طوری که با افزایش ارتفاع بوته، تعداد برگ بیشتر شده است. همچنین افزایش برگ در گیاه منجر به افزایش وزن خشک کل گردید. نتایج همبستگی عملکرد دانه با سایر صفات نشان داد بین عملکرد دانه با ارتفاع اولین گره، وزن خشک کل و تعداد برگ در گیاه همبستگی نسبتاً قوی و مثبتی وجود داشت. با افزایش تعداد برگ میزان عملکرد دانه افزایش یافته است. همچنین افزایش وزن خشک در گیاه منجر به افزایش عملکرد دانه شده است. به نظر می‌رسد افزایش تعداد برگ منجر به افزایش توان فتوسنتزی و ذخیره مواد آن در گیاه شده است که در این شرایط علاوه بر افزایش رشد و وزن گیاه منجر به افزایش عملکرد دانه گردیده است.

که در آن، Yp نشان دهنده عملکرد یک ژنوتیپ معین در محیط بدون تنش یا شاهد، Ys نشان دهنده عملکرد یک ژنوتیپ معین در محیط تنش خشکی، $\bar{Yp}$ میانگین عملکرد در محیط شاهد و $\bar{Ys}$ میانگین عملکرد همه ارقام در محیط تنش است.

نتایج و بحث

همبستگی بین صفات

ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از پلات حرارتی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پلات رنگ‌ها میزان ضرایب همبستگی را نشان می‌دهند. در این پلات رنگ قرمز نشان دهنده ارتباط قوی و مثبت بین دو صفت می‌باشد و رنگ آبی نشان دهنده ارتباط قوی و منفی بین دو صفت می‌باشد. بین تعداد برگ و ارتفاع



شکل ۱- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد بررسی

PH، ارتفاع گیاه؛ NH، تعداد گره؛ PN، تعداد غلاف؛ SPP، تعداد دانه در غلاف؛ LN، تعداد برگ؛ DW، وزن خشک گیاه؛ GY، عملکرد دانه

تجزیه رگرسیون گام به گام و تجزیه ضرایب مسیر

قبل از انجام تجزیه واریانس و مقایسات میانگین عوامل اصلی و متقابل، نتایج رگرسیون گام به گام (جلو رونده و بازگشتی) نشان داد که صفات تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول، وزن خشک بوته و تعداد برگ از موثرترین متغیرهای ورودی بودند ($R-sq=54.41\%$ ، جدول نمایش داده نشده است). همچنین نتایج تجزیه ضرایب مسیر یا علیت نیز نشان داد که صفات تعداد کپسول (با اثر مستقیم $0/491$)، وزن خشک بوته ($0/486$)، ارتفاع بوته ($0/478$)، تعداد برگ ($0/468$)، ارتفاع گره ($0/446$) و تعداد کپسول ($0/427$) همگی تاثیر مستقیم و مثبتی بر عملکرد دانه داشتند. (نتایج تجزیه مسیر نشان داده نشده است).

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

ارتفاع بوته

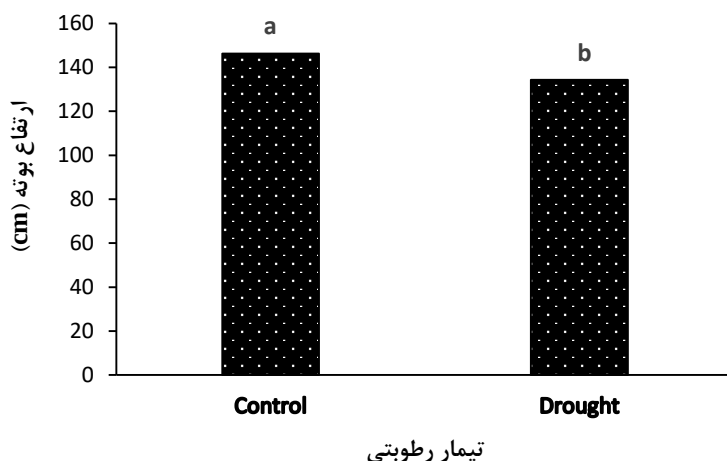
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح ۵ درصد بر ارتفاع بوته معنی دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار بدون تنش (شاهد) با میانگین ۱۴۶ سانتی متر به دست آمد، در حالی که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته به ۱۳۴ سانتی متر شد که معادل ۸/۲۲ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۲). به نظر می‌رسد تنش خشکی با کاهش میزان فتوسنتز موجب کاهش ارتفاع بوته کُنج‌ده شده است. کاهش در رشد طولی ساقه و اندام‌های هوایی معمولاً به دلیل کاهش تقسیم و توسعه سلولی، کمبود تورژسانس سلولی و کاهش سنتز هورمون‌هایی مانند جیبرلین‌ها در شرایط تنش اتفاق می‌افتد (Ghadirnezhad, Shiade et al., 2023). در شرایط تنش خشکی، محدودیت در جذب آب باعث کاهش فشار تورژسانس در سلول‌های می‌ستمی شده و رشد طولی را مختل می‌کند. همچنین، تنش خشکی منجر به افزایش غلظت اسید آبسزیک می‌شود که در تنظیم بسته شدن روزنه‌ها و محدود کردن تعرق نقش دارد اما به طور غیرمستقیم رشد را کاهش می‌دهد (Muhammad Aslam et al., 2022).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه کُنج‌ده

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	ارتفاع اولین گره	تعداد کپسول	تعداد دانه در کپسول	تعداد برگ	وزن خشک در بوته	عملکرد دانه در بوته
تکرار	۲	175^{ns}	$4/19^{ns}$	$178/58^{ns}$	$202/08^{ns}$	$218/69^{ns}$	14984^{ns}	731^*
تیمار رطوبتی	۱	1296^*	$78/03^*$	$66/69^{ns}$	$393/36^*$	$1792/11^{ns}$	$7/50250^*$	196426^{**}
خطای اصلی	۲	$56/33$	$2/03$	$82/69$	$17/53$	$112/69$	884	11
رقم	۵	$244/87^{ns}$	$2/16^{ns}$	$139/85^{ns}$	$27/85^{ns}$	$403/18^{ns}$	$6977/4^{ns}$	12957^{**}
تیمار رطوبتی × رقم	۵	$39/67^{ns}$	$2/03^{ns}$	$252/03^{ns}$	$86/69^*$	$508/31^{ns}$	$3990/7^{ns}$	245^{**}
خطای فرعی	۲۰	$136/23$	$1/21$	$149/71$	$25/87$	$214/23$	$4153/2$	2
خطای اصلی (%)	—	$5/35$	$12/06$	$16/97$	$7/33$	$12/42$	$8/58$	$4/03$
خطای فرعی (%)	—	$8/32$	$9/32$	$22/83$	$8/91$	$17/13$	$18/6$	$1/72$

*، ** و ^{ns}: به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و غیر معنی دار می‌باشد.

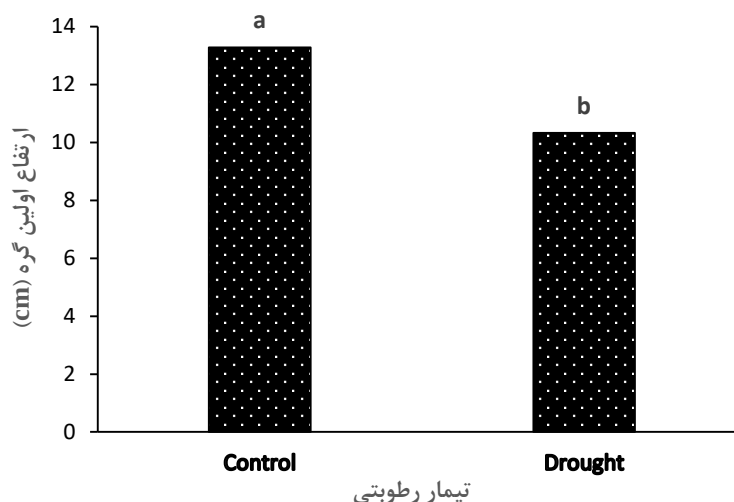


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی در ارتفاع بوته کنجد

ارتفاع گره‌های کنجد تاثیر منفی گذاشته که می‌تواند به دلیل تاثیر تنش خشکی بر کاهش جذب آب در گیاه باشد. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد (Fang *et al.*, 2024). یک ویژگی مهم مرتبط با خشکی طول ساقه است که با افزایش تنش خشکی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین در نتیجه جریان ناکافی آب بین آوند چوبی و سلول‌های مجاور تحت شرایط محدود کننده آب، رشد طول سلول مختل می‌شود (Zamani *et al.*, 2023).

ارتفاع اولین گره

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح ۵ درصد بر ارتفاع اولین گره معنی‌دار بود، اما اثر تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع اولین گره در تیمار شاهد با میانگین ۱۳ سانتی‌متر به دست آمد، در حالی که در شرایط تنش خشکی، این ارتفاع به ۱۰ سانتی‌متر کاهش یافت که ۲۳/۰۸ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی در ارتفاع اولین گره کنجد

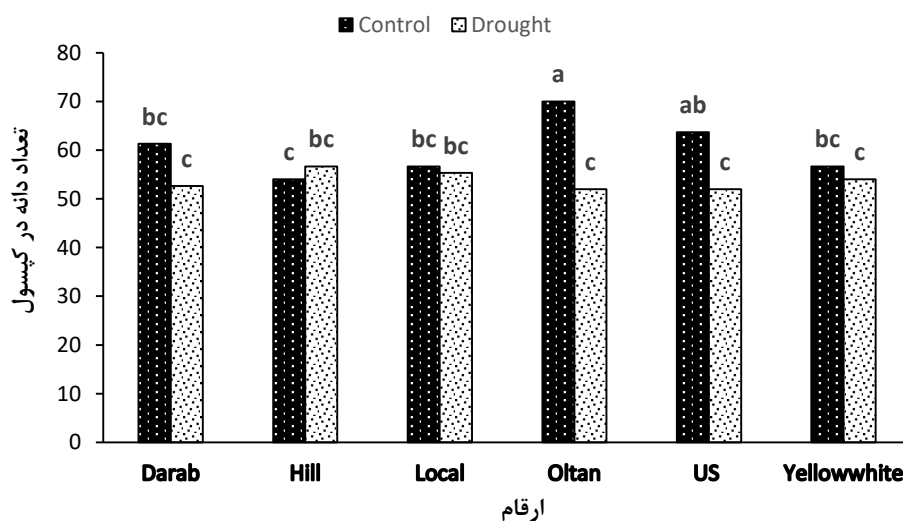
متقابل سطوح رطوبتی در رقم در سطح ۵ درصد در تعداد دانه در کپسول معنی‌دار بود (جدول ۳). برای این صفت تنها اثر متقابل معنی‌دار مشاهده گردید. در مجموع، درجایی که اثر متقابل معنی‌دار است، آزمون اثرات اصلی اعتبار لازم

تعداد دانه در کپسول

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی تیمار رطوبتی (شاهد و تنش خشکی) بر تعداد دانه در کپسول کنجد در این تحقیق معنی‌دار بود. همچنین اثر تنش خشکی و اثر

است. کاهش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول در شرایط تنش خشکی معمولاً ناشی از اختلال در فرایند گرده‌افشانی، لقاح و توسعه دانه‌ها است (Farooq *et al.*, 2017). در این پژوهش، رقم اولتان در شرایط بدون تنش بیشترین تعداد دانه را تولید کرده است که می‌تواند نشان‌دهنده ظرفیت ژنتیکی بالای این رقم در تشکیل دانه باشد. اما در شرایط خشکی، همه ارقام کاهش نشان دادند که این موضوع نشان‌دهنده حساسیت فیزیولوژیکی نسبت به محدودیت آب است. تنش خشکی با کاهش فتوسنتز، اختلال در تنظیم هورمونی (مانند کاهش جیبرلین‌ها و افزایش ABA) و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی، تعداد دانه را کاهش می‌دهد (Wahab *et al.*, 2022). برخی ارقام مانند داراب ۱ و آمریکایی در شرایط خشکی افت بیشتری نسبت به سایرین داشتند، که نشان می‌دهد این ارقام نسبت به خشکی حساس‌ترند. در مقابل، رقم‌هایی مثل محلی یا اولتان پایداری نسبی بیشتری نشان دادند.

را ندارد و باید تفسیر اثر متقابل را بیشتر مورد توجه قرار داد. در این مورد، اثر متقابل نشان می‌دهد که ارقام کنگد به سطوح رطوبتی (شاهد و تنش خشکی) واکنش‌های متفاوتی نشان داده‌اند. به‌طوری که به‌عنوان مثال رقم اولتان، در تیمار شاهد بیشترین و در تنش خشکی کمترین تعداد دانه در کپسول را داشت. ولی رقم هلیل در دو شرایط، عملکرد یکسانی داشت. براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، تیمار بدون تنش همراه با رقم اولتان بیشترین تعداد دانه در کپسول (۷۰ عدد) را داشت، در حالی که در شرایط تنش خشکی و رقم آمریکایی، به میزان ۵۲ عدد کاهش یافت که معادل ۲۵/۷۱ درصد کاهش نسبت به شرایط بدون تنش بدست آمد (شکل ۴). تنش خشکی بر اجزای عملکرد گیاه کنگد تأثیر منفی می‌گذارد. به نظر محققان عملکرد اساساً ترکیب پیچیده‌ای از فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف است که می‌تواند تحت تأثیر منفی تنش خشکی قرار گیرد (Fathi *et al.*, 2024d). تعداد دانه در کپسول یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های عملکرد در گیاهان دانه‌ای مانند سویا

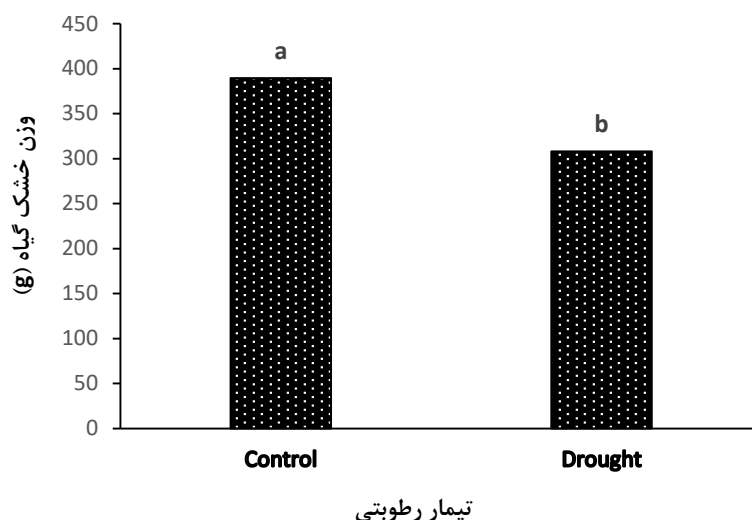


شکل ۴- اثر متقابل تنش خشکی و رقم بر تعداد دانه در کپسول کنگد

آمد، در حالی که کمترین مقدار آن در شرایط تنش خشکی و به میزان ۳۰۸ گرم مشاهده شد، که بیانگر کاهش ۲۰/۸۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۵). تلفات عملکرد ناشی از خشکسالی می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند کاهش فتوسنتز، اختلال در جذب عناصر یا کاهش رشد گیاه باشد که در نهایت وزن خشک گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Farooq *et al.*, 2017).

وزن خشک بوته

باتوجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل سطح رطوبتی (آبیاری) و رقم، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی در سطح ۵ درصد بر وزن خشک هر بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین وزن خشک هر بوته در تیمار شاهد به میزان ۳۸۹ گرم به‌دست



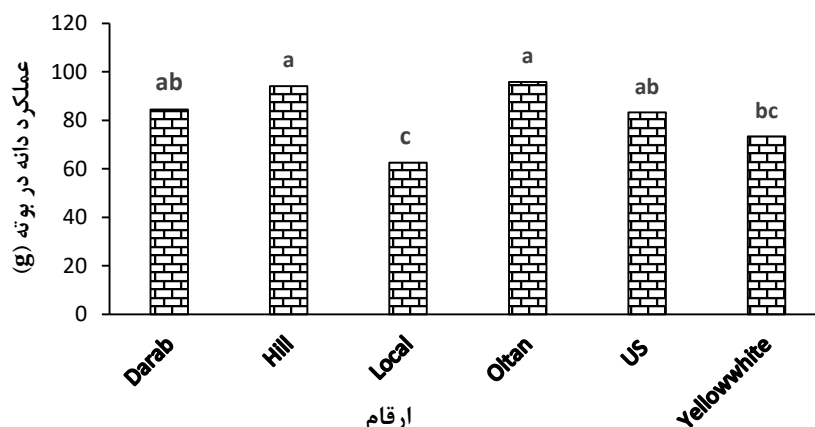
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر وزن خشک بوته کنجد

عملکرد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم در سطح آماری یک درصد بر عملکرد دانه هر بوته معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در رقم اولتان با میانگین ۹۵ گرم به‌دست آمد، در حالی که رقم محلی کمترین عملکرد را با میانگین ۶۲ گرم داشت که نشان‌دهنده کاهشی معادل ۳۴/۷۴ درصد نسبت به رقم اولتان بود (شکل ۶). به نظر می‌رسد اولتان رقمی مناسب برای منطقه (در این تحقیق) بوده که توانسته بهتر از رقم محلی، عملکرد بالایی را تولید کند. باید خاطر نشان کرد که رقم اولتان در این تحقیق از بین صفات بررسی شده بجز صفت وزن خشک بوته (رتبه دوم) و ارتفاع بوته (رتبه ۴ در شاهد) ولی رتبه اول (بیشترین ارتفاع ۱۳۷ سانتی‌متر تحت تنش خشکی، هرچند غیرمعنی‌دار) از نظر بقیه صفات رتبه اول و بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد که علاوه بر عملکرد بالا می‌تواند از نظر اجزای عملکرد نیز قابل توجه بوده و برای مصارف دیگر مورد توجه قرار گیرد. اثر متقابل معنی‌دار رقم و سطوح رطوبتی مبین واکنش‌های مختلف ارقام به سطوح رطوبتی و تنوع بین آنها بود.

در این رابطه Esmaeili (2024) با ارزیابی برخی از ارقام کنجد تحت تنش خشکی و تأثیر عنصر بور گزارش نمودند

که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار صفات زراعی و عملکردی کنجد گردید، به‌طوری که تنش شدید ۵۰ درصد ذخیره رطوبت در مقایسه با شرایط بدون تنش به ترتیب وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک را به ترتیب ۱۹/۹۱، ۲۶/۲۳ درصد نسبت به شرایط شاهد کاهش داد. همچنین Mourad و همکاران (2025) در یک تحقیق از شش ژنوتیپ کنجد برای اندازه‌گیری تنوع در بسیاری از متغیرها در محیط‌های آبیاری شده و تنش خشکی انتهایی استفاده کردند. آنها در تحقیق خود بیان نمودند که تجزیه واریانس تفاوت‌های معنی‌داری را در ژنوتیپ‌ها و نسبت‌های تخلیه آب و همچنین اثرات متقابل آنها برای اکثر متغیرهای رشد نشان داد. لاین ۱۳ (H. 102) نیز در شرایط عادی بیشترین تعداد کپسول در هر بوته (۲۳۹/۳۳) را داشت. لاین ۳۱ (H. 68) حداکثر عملکرد در هر بوته (۳۳،۴۵ گرم) و بالاترین وزن هزار دانه (۳/۹ گرم) را در شرایط عادی تولید کرد. با توجه به شرایط محیطی گیاهان پاسخ‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. روش‌های اصلاح نباتات را می‌توان برای پرورش سریع‌تر محصولات مقاوم به خشکی و تسهیل مدیریت خشکسالی برای این محصولات استفاده کرد، زیرا به شناسایی ترکیب‌های متنوع والدین کمک می‌کند و کارایی انتخاب را افزایش می‌دهد (Zamani et al., 2023; Fahad et al., 2017).

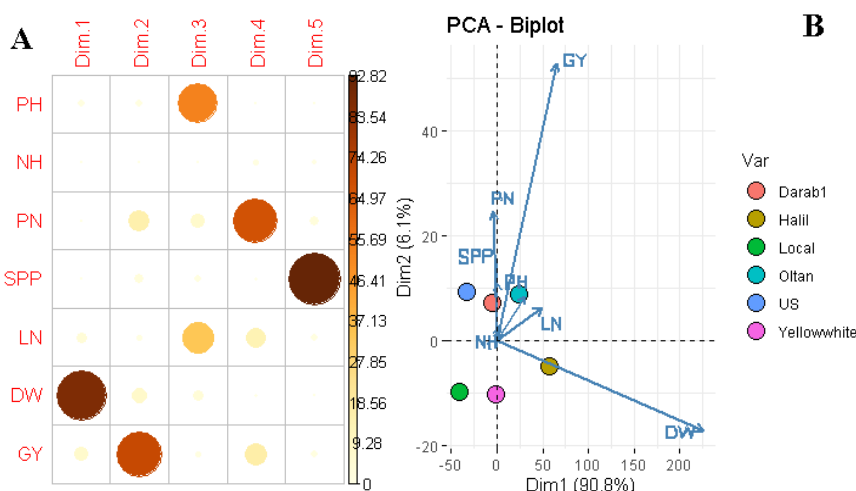


شکل ۶- مقایسه میانگین اثر رقم بر عملکرد دانه در بوته کنجد

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

مؤثرترین صفات بودند. همچنین دو مؤلفه اصلی اول، ۹۶/۹۰ درصد از تغییرات موجود را توجیه نموده که براساس آن، سهم هر صفت یا متغیر در هر مؤلفه و نیز بای‌پلات مربوطه ترسیم گردید (شکل AY و BY).

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات ارزیابی شده در دو شرایط (میانگین صفات با توجه به معنی‌دار نبودن اثر تنش خشکی) نشان داد که عملکرد دانه و وزن خشک بوته



شکل ۷- (A) ترسیم سهم (درصد) هر صفت بر هر مؤلفه اصلی، (B) بای‌پلات دو مؤلفه اصلی اول در آزمون PCA PH، ارتفاع گیاه؛ NH، تعداد گره؛ PN، تعداد غلاف؛ SPP، تعداد دانه در غلاف؛ LN، تعداد برگ؛ DW، وزن خشک گیاه؛ GY، عملکرد دانه

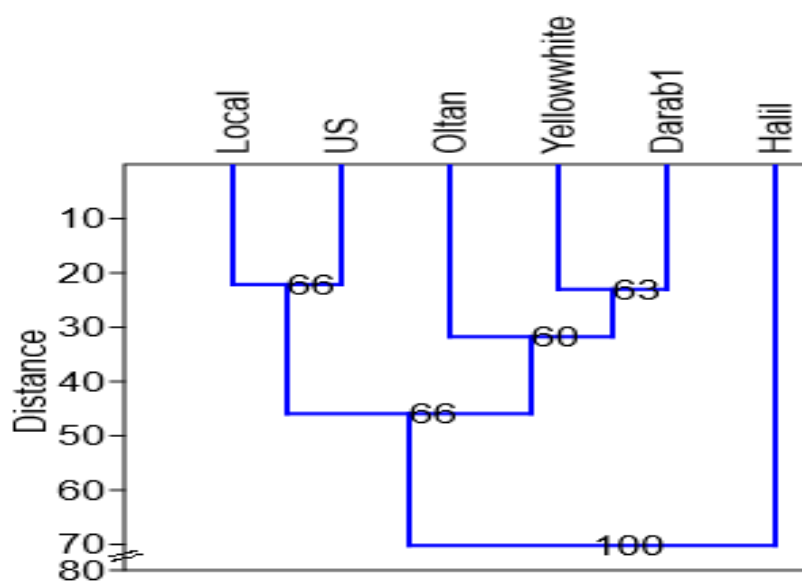
تجزیه خوشه‌ای

خوشه‌بندی رقم‌های کنجد بر مبنای عملکرد در مجموع شرایط تنش و بدون تنش با استفاده از تجزیه کلاستر در شکل ۸ نشان داده شده است. هدف از تجزیه خوشه‌ای شناسایی لاین‌هایی بود که دارای بیشترین فاصله ژنتیکی با یکدیگر از نظر صفات ارزیابی شده بودند. در فاصله حدود ۴۰ رقم‌ها به ۳ گروه تقسیم شدند. گروه اول شامل ارقام محلی و آمریکایی بود. گروه دوم شامل اولتان، یلووایت و

همانطور که در شکل مربوطه (YA) دیده می‌شود، صفت وزن خشک بوته بیشترین سهم و تأثیر را در مؤلفه اصلی اول، صفت عملکرد دانه بیشترین تأثیر و سهم را در مؤلفه دوم، و صفات ارتفاع بوته و تعداد برگ بیشترین سهم را در مؤلفه سوم داشتند. بای‌پلات ترسیم شده (شکل YB) نیز پراکنش ارقام را در فضایی که در آن صفات بررسی شده نیز وجود دارند، نشان می‌دهد.

حفظ بالاتر محتوای نسبی آب برگ، فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، و تجمع بیشتر اسمولیت‌هایی مانند پرولاین و قندهای محلول از آسیب اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). در حالی که ژنوتیپ‌های حساس دچار افزایش پراکسیداسیون لیپیدی و کاهش کارایی فتوسنتزی می‌شوند (Hasanuzzaman et al., 2013). در نتیجه، تلاقی ژنوتیپ‌های محلی یا آمریکایی با رقم هلیل می‌تواند ضمن ایجاد تنوع ژنتیکی بالا، نسل‌های جدیدی را با ترکیب مطلوب صفات عملکردی و تحمل به خشکی فراهم آورد.

داراب ۱ و گروه سوم شامل رقم هلیل بود که از نظر عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش در حد بالایی قرار داشت. با توجه به فاصله ژنتیکی ارقام، بنظر می‌توان برای مطالعات ژنتیکی از دو رگ‌گیری بین این رقم‌ها استفاده نمود. تحلیل خوشه‌ای به دلیل نمایش فاصله‌های ژنتیکی و شباهت‌های عملکردی بین رقم‌ها، ابزاری کارآمد برای شناسایی والدین مناسب در برنامه‌های به‌نژادی محسوب می‌شود، به‌ویژه هنگامی که هدف، تولید نتایجی با بیشترین تنوع ژنتیکی در نسل‌های بعدی باشد (Mohammadi & Prasanna, 2003). از نظر فیزیولوژیکی، ژنوتیپ‌های متحمل معمولاً با



شکل ۸- دندروگرام گروه‌بندی رقم‌های کنجد براساس روش UPGMA با یک میلیون تکرار

می‌شود، در حالی که دو رقم هلیل و اولتان در هر دو شرایط عملکرد بالایی نشان داده و به‌عنوان رقم‌های پایدار و پرمحصول شناخته می‌شوند. این یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین در کنجد و سایر گیاهان روغنی همخوانی دارد که گزارش کرده‌اند ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در شرایط بدون تنش معمولاً در صورت داشتن سازوکارهای فیزیولوژیک مؤثر، توان حفظ عملکرد نسبی بالاتری در شرایط تنش نیز دارند (Farooq et al., 2009). مکانیسم‌هایی مانند حفظ محتوای نسبی آب برگ، کارایی مصرف آب بالا، فعالیت بیشتر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و تجمع اسمولیت‌ها می‌توانند باعث کاهش اثرات منفی خشکی و حفظ فتوسنتز فعال در گیاه شوند (Fathi et al., 2025). در مطالعه‌ای مشابه روی ژنوتیپ‌های کنجد، ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی نه‌تنها عملکرد بالاتری تحت

شاخص‌های تحمل به تنش

عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش

نتایج عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش برای ارقام مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. براساس داده‌ها، بالاترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش مربوط به رقم هلیل (۱۰۸ گرم، رتبه ۱) و پس از آن رقم اولتان (۱۰۶ گرم، رتبه ۲) بود. کمترین عملکرد در این شرایط به رقم محلی (۶۵ گرم، رتبه ۶) تعلق داشت. در شرایط تنش خشکی، بیشترین عملکرد در رقم اولتان (۸۵ گرم، رتبه ۱) و سپس هلیل (۸۰ گرم، رتبه ۲) مشاهده شد، در حالی که رقم محلی با ۶۰ گرم (رتبه ۶) کمترین عملکرد را به خود اختصاص داد. این نتایج نشان می‌دهد که رقم محلی در هر دو شرایط تنش و بدون تنش کمترین عملکرد را داشته و از نظر تولید دانه، رقمی ضعیف و حساس به خشکی محسوب

تنش داشتند بلکه شاخص‌های پایداری عملکرد مانند GMP, HM و STI نیز در آن‌ها بالاتر بود (Golestani & Pakniyat, 2007).

میانگین بهره‌وری (MP) و میانگین هندسی: (GMP)

نتایج مقایسه بین ارقام از نظر میانگین و میانگین هندسی بهره‌وری در جدول ۴ نشان داده شده است. در بین ارقام، رقم اولتان (رتبه ۱) بالاترین میانگین و میانگین هندسی را به خود اختصاص داده است. رقم هلیل نیز رتبه دوم را از این نظر داشت. کمترین میانگین و میانگین هندسی را رقم محلی (رتبه ۶) داشت. ارقام داراب ۱ و آمریکایی به ترتیب رتبه‌های سوم و چهارم را داشتند. شاخص MP گزینش را بسوی انتخاب رقم مناسب در هر دو شرایط تنش و بدون تنش سوق می‌دهد. در این مطالعه، ارقام اولتان و هلیل متحمل‌ترین و رقم محلی حساسترین رقم به تنش بودند. شاخص MP به دلیل استفاده از میانگین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش، ارقامی را ترجیح می‌دهد که توانایی تولید در هر دو وضعیت را داشته باشند. این شاخص معمولاً ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کند که هم پتانسیل عملکرد بالایی در شرایط مطلوب و هم پایداری نسبی در شرایط تنش دارند. GMP نیز به دلیل استفاده از میانگین هندسی، اهمیت بیشتری به عملکرد تحت تنش می‌دهد و ژنوتیپ‌هایی را شناسایی می‌کند که افت عملکرد کمتری در شرایط تنش دارند (Saed-Moucheshi et al., 2022). در مطالعه حاضر، هر دو شاخص MP و GMP نتایج مشابهی ارائه دادند و رقم‌های اولتان و هلیل را به عنوان متحمل‌ترین ارقام و رقم محلی را به عنوان حساس‌ترین رقم به تنش خشکی معرفی کردند.

شاخص تحمل (TOL)

رتبه بندی ارقام از نظر شاخص تحمل در جدول ۴ نشان داده شده است. در بین ارقام، رقم آمریکایی (رتبه ۱) بالاترین شاخص تحمل را به خود اختصاص داده است. رقم هلیل نیز رتبه دوم را از این نظر داشت. کمترین شاخص تحمل را رقم محلی (رتبه ۶) داشت. ارقام اولتان و یلووایت به ترتیب رتبه‌های سوم و چهارم را داشتند. نتایج نشان داد که شاخص‌های TOL و SSI تاثیر زیادی در تمایز ارقام نداشتند. این دو شاخص قدرت تشخیص یکسانی دارند و ژنوتیپ‌های متحمل ولی با عملکرد پایین را انتخاب می‌کنند. بهتر است از این شاخص‌ها در حذف ارقام حساس و نه گزینش ارقام متحمل به تنش استفاده شود. محققان

میانگین هارمونیک (HM)

بالاترین میانگین هارمونیک در رقم اولتان (رتبه ۱) و سپس رقم هلیل (رتبه ۲) بدست آمد. این دو رقم عملکرد بالایی را در هر دو شرایط تنش و بدون تنش نشان دادند و کاهش عملکرد آن‌ها تحت تنش خشکی نسبتاً کم بود. کمترین آن در رقم محلی (رتبه ۶) مشاهده شد این موضوع بیانگر حساسیت بالای این رقم به تنش خشکی است. ارقام داراب ۱ و آمریکایی به ترتیب رتبه‌های سوم و چهارم را به خود اختصاص دادند. شاخص میانگین هارمونیک به دلیل ماهیت فرمول محاسبه خود، وزن بیشتری به عملکرد در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش می‌دهد. به همین دلیل، این شاخص ابزار مناسبی برای شناسایی ارقامی است که عملکرد نسبتاً پایداری در محیط‌های مستعد تنش دارند، زیرا ژنوتیپ‌هایی که عملکرد بسیار پایینی در شرایط تنش دارند، حتی در صورت عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش، مقدار میانگین هارمونیک پایینی خواهند داشت. در این مطالعه، نتایج میانگین هارمونیک با شاخص‌های MP و GMP همخوانی داشت و ارقام اولتان و هلیل را به عنوان متحمل‌ترین و رقم محلی را به عنوان حساس‌ترین رقم به تنش خشکی شناسایی کرد.

حساسیت به تنش (SSI)

در بین ارقام، رقم آمریکایی (رتبه ۱) بالاترین حساسیت به تنش را به خود اختصاص داده است. رقم هلیل نیز رتبه دوم را از این نظر داشت. کمترین حساسیت به تنش را رقم محلی (رتبه ۶) داشت. ارقام یلووایت و اولتان به ترتیب رتبه‌های سوم و چهارم را داشتند. یکی از اشکالات در شاخص SSI این است که این شاخص نسبت عملکرد در شرایط دارای تنش خشکی و بدون تنش خشکی یا کنترل را برای هر ژنوتیپ در مقایسه با همین نسبت برای کل ژنوتیپ‌های موجود در آزمایش اندازه گیری می‌کند. بنابراین، دو ژنوتیپ با عملکرد زیاد و کم می‌توانند مقدار SSI یکسانی داشته باشند. چون، اختلاف عملکرد بین شرایط دارای تنش خشکی و فاقد تنش خشکی برای هر ژنوتیپ می‌تواند یکسان باشد. همچنین، انتخاب براساس SSI منجر به

مذکور، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار پراکندگی سه‌بعدی لاین‌ها براساس عملکرد دو محیط و شاخص MP نشان داد که لاین‌های ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۱۰، ۷ و رقم شاهد، مقاومت بیشتری به خشکی داشتند. در این رابطه، Mourad و همکاران (2025) طی تحقیقی که شرح آن قبلاً به میان آمد، با ارزیابی ۶ رقم کنگد تحت تنش خشکی، گزارش نمودند که ژنوتیپ H. 68 کنگد دارای بیشترین شاخص‌های MP (۶۵۰/۳۵)، GMP (۶۴۹/۳۲) و YI (۱/۱۶) و پس از آن ژنوتیپ H. 102 بود. ژنوتیپ 3 Shandaweell کمترین شاخص‌های SSI (۳۶/۹۲) و YOL (۰/۵۵) را داشتند. لاین ۲۶ (H132) نیز بالاترین میانگین مقادیر YSI را نشان داد. برتری برخی ارقام کنگد در شاخص‌های تحمل به خشکی را می‌توان به توانایی آن‌ها در حفظ پایداری عملکرد و زیست‌توده تحت شرایط محدودیت آب نسبت داد. ارقامی که مقادیر بالاتری از شاخص‌هایی مانند STI، MP و GMP نشان دادند، کاهش کمتری در عملکرد دانه و وزن خشک در شرایط تنش تجربه کردند که این موضوع بیانگر کارایی بالاتر آن‌ها در تداوم رشد و تخصیص ماده خشک در شرایط تنش خشکی است. از سوی دیگر، مقادیر پایین‌تر شاخص‌هایی مانند TOL در این ارقام نشان‌دهنده حساسیت کمتر آن‌ها به کاهش رطوبت خاک و ثبات نسبی عملکرد در مقایسه با شرایط شاهد است. چنین پاسخ‌هایی در صفات عملکردی، به‌عنوان پیامد نهایی فرآیندهای فیزیولوژیکی، می‌تواند منعکس‌کننده مکانیسم‌هایی مانند حفظ رشد رویشی، کارایی بهتر استفاده از منابع و کاهش افت فتوسنتز مؤثر تحت تنش خشکی باشد. بنابراین، شاخص‌های تحمل به خشکی در این مطالعه نه تنها ابزاری برای رتبه‌بندی ارقام، بلکه شاخصی غیرمستقیم از ظرفیت فیزیولوژیکی آن‌ها برای سازگاری با شرایط کم‌آبی محسوب می‌شوند.

گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و باعث کاهش پتانسیل عملکرد دانه در محیط‌های مطلوب و بدون تنش می‌شود (Ayed et al., 2021).

شاخص تحمل تنش (STI)

در این شاخص هر چه میزان عدد بدست آمده بیشتر باشد تحمل به تنش در آن تیمار بیشتر است. در بین ارقام، رقم اولتان (رتبه ۱) بالاترین شاخص تحمل به تنش را به خود اختصاص داده است. رقم هلیل نیز رتبه دوم را از این نظر داشت. کمترین شاخص به تحمل به تنش را رقم محلی (رتبه ۶) داشت. ارقام داراب ۱ و آمریکایی به ترتیب رتبه‌های سوم و چهارم را داشتند. شاخص STI قادر به شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالقوه بالا در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش خشکی می‌باشد و مقادیر بالای آن بیانگر ثبات عملکرد بیشتر ژنوتیپ در شرایط تنش است. در این مطالعه ارقام اولتان و هلیل دارای مقادیر بالا می‌باشد که نشان دهنده ثبات عملکرد آنها در شرایط تنش می‌باشد.

شاخص عملکرد (YI)

مقایسه شاخص عملکرد ارقام در جدول ۴ نشان داده شده است. در بین ارقام، رقم اولتان (رتبه ۱) بالاترین شاخص عملکرد را به خود اختصاص داده است. رقم هلیل نیز رتبه دوم را از این نظر داشت. کمترین شاخص عملکرد را رقم محلی (رتبه ۶) داشت. ارقام داراب ۱ و یلووایت به ترتیب رتبه های سوم و چهارم را داشتند.

در این رابطه، محققان (Fereidooni et al., 2023)، در یک آزمایش به ارزیابی تحمل به تنش خشکی لاین‌های گیاه روغنی کاملینا با استفاده از شاخص‌های تحمل همانند MP، GMP، TOL، YSI و ... پرداخته و پرمعملکردترین لاین‌ها و مناطق جغرافیایی مورد ارزیابی را معرفی نمودند. در تحقیق

جدول ۴- شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام کنگد

ارقام	عملکرد بدون تنش	رتبه	عملکرد با تنش	رتبه	میانگین محصول دهی	رتبه	میانگین هندسی محصول دهی	رتبه	شاخص تحمل	رتبه
داراب ۱	۹۲/۳۳	۴	۷۶/۶۷	۳	۸۴/۵	۳	۸۴/۱۴	۳	۱۵/۶۷	۵
هلیل	۱۰۸/۳۳	۱	۸۰	۲	۹۴/۱۷	۲	۹۳/۰۹	۲	۲۸/۳۳	۲
محلی	۶۵	۶	۶۰	۶	۶۲/۵	۶	۶۲/۴۵	۶	۵	۶
اولتان	۱۰۶/۶۷	۲	۸۵	۱	۹۵/۸۳	۱	۹۵/۲۲	۱	۲۱/۶۷	۳
آمریکایی	۱۰۳/۳۳	۳	۶۳/۳۳	۵	۸۳/۳۳	۴	۸۰/۹	۴	۴۰	۱
یلووایت	۸۱/۶۷	۵	۶۵	۴	۷۳/۳۳	۵	۷۲/۸۶	۵	۱۶/۶۷	۴

ادامه جدول ۴

ارقام	عملکرد بدون تنش	رتبه	عملکرد با تنش	رتبه	میانگین هارمونیک	رتبه	حساسیت به تنش	رتبه	شاخص تحمل تنش	رتبه	شاخص پایداری عملکرد
داراب ۱	۹۲/۳۳	۴	۷۶/۶۷	۳	۸۳/۷۷	۳	۱/۷۴۱۴	۵	۰/۸۲	۳	۱/۰۷
هلیل	۱۰۸/۳۳	۱	۸۰	۲	۹۲/۰۴	۲	۱۴/۱	۲	۱	۲	۱/۱۲
محلی	۶۵	۶	۶۰	۶	۶۲/۴	۶	۰/۳۴	۶	۰/۴۵	۶	۰/۸۴
اولتان	۱۰۶/۶۷	۲	۸۵	۱	۹۴/۶۱	۱	۰/۸۹	۴	۱/۰۵	۱	۱/۱۹
آمریکایی	۱۰۳/۳۳	۳	۶۳/۳۳	۵	۷۸/۵۳	۴	۱/۶۹	۱	۰/۷۶	۴	۰/۸۸
یلووایت	۸۱/۶۷	۵	۶۵	۴	۷۲/۳۹	۵	۰/۸۹	۳	۰/۶۲	۵	۰/۹۱

نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق با هدف بررسی اثر سطوح رطوبتی (شاهد و تنش خشکی) بر عملکرد و برخی از ویژگی‌های مهم ارقامی از کنگد زراعی انجام شد. نتایج نشان داد اثر اصلی تنش خشکی بر ارتفاع بوته، ارتفاع گره، تعداد دانه در کپسول و وزن خشک کل معنی دار بوده و تنش خشکی باعث کاهش این ویژگی‌ها شد که می‌توان برای این صفات، رقم متحمل به تنش معرفی نمود. چون که اجزای عملکرد یا صفات وابسته به آن نیز باید در برنامه‌های به‌نژادی مدنظر قرار گیرند. ارزیابی عملکرد دانه ارقام به تفاوت‌های قابل توجه ذاتی این ارقام برمی‌گردد که حائز اهمیت است. بیشترین عملکرد دانه در رقم Otlan و کمترین آن در رقم محلی مشاهده شد که نشان می‌دهد که لازم است از پتانسیل ارقام غیربومی نیز در مناطق مختلف کشور استفاده چه به‌صورت تلاقی و با جایگزینی ارقام با احتیاط زیاد استفاده نمود. اثر متقابل رقم و سطوح رطوبتی (شامل تنش خشکی) نیز بر تعداد دانه در کپسول نشان داد که بیشترین تعداد دانه در

رقم Otlan در شرایط بدون تنش مشاهده شده است. در بین شاخص‌های تحمل به خشکی، شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI بهترین شاخص از نظر ارزیابی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در کنگد بودند. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که بین رقم‌های کنگد که رایج‌ترین ارقام موجود شناخته شدند، تفاوت ژنتیکی قابل‌توجهی در پاسخ به تنش خشکی وجود داشت که می‌توان از قابلیت‌های متنوع آنها در برنامه‌های اصلاحی و زراعی مناطق کم‌آب مورد استفاده قرار گیرد مشروط به اینکه ارقام بیشتری نیز مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه ایلام به‌دلیل حمایت‌های مالی و معنوی این تحقیق، سپاسگزاری نمایند.

منابع

- Arminian, A., Houshmand, S., & Shiran, B. (2013). Investigating genetic diversity and classification of diverse wheat genotypes using multivariate analysis methods. *EJCP: Electronic Journal of Crop Production*, 5(4), 105-120. (In Persian).
- Askari, A., Zabet, M., Ghaderi, M. G., Samadzadeh, A., R., & Shorvazdi, A. (2016). Choose the most important traits affecting on yield of some sesame genotypes (*Sesamum indicum* L.) in normal and stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 8(18), 78-87. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.8.18.78>
- Ayed, S., Othmani, A., Bouhaouel, I., & Teixeira da Silva, J. A. (2021). Multi-environment screening of durum wheat genotypes for drought tolerance in changing climatic events. *Agronomy*, 11(5), 875. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050875>
- Chen, W., Wang, L., & Guo, C. (2024). Synergistic regulation of water-saving cultivation and dryland farming and its sustainable development pathways. *Geographical Research Bulletin*, 3, 416- 437. https://doi.org/10.50908/grb.3.0_416
- Esmaili, A. (2024). The effect of boron element on quantitative and agrophysiological traits of sesame plant under drought stress conditions. Master's thesis, Ilam University, 96 p. (In Persian).
- Eyni, H., Mirzaei Heydari, M., & Fathi, A. (2023). Investigation of the application of urea fertilizer, mycorrhiza, and foliar application of humic acid on quantitative and qualitative properties of canola. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), 405-420. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.333487.1209>
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., & Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*, 8, 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- Fang, S., Yang, H., Tao, Y., Shi, J., & Wang, M. (2024). Sesame (*Sesamum indicum* L.) growth properties and yield attributes are associated with potassium level in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 47(9), 1364- 1377. <https://doi.org/10.1080/01904167.2024.2308194>
- FAO. (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>.
- Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(2), 81-102. <https://doi.org/10.1111/jac.12169>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N. S. M. A., Fujita, D. B. S. M. A., & Basra, S. M. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Fathi, A., Maleki, A., & Naseri, R. (2024d). A review of the effects of drought stress on plants and some effective strategies in crop management. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 19(1), 121-145. <https://doi.org/10.71890/iper.2023.984356>
- Fathi, A., Shiade, S. R. G., Ait-El-Mokhtar, M., & Rajput, V. D. (2024a). Crop Photosynthesis under Climate Change. In *Handbook of Photosynthesis* (4th ed.). Taylor & Francis, Boca Raton, USA. pp 826. <https://doi.org/10.1201/b22922>
- Fathi, A., Shiade, S. R. G., Ali, B., & Zeidali, E. (2024b). Plant Growth, Development, and Photosynthesis in Cereals under Salt Stress. In *Handbook of Photosynthesis* (4th ed.). Taylor & Francis, Boca Raton, USA. pp 826. <https://doi.org/10.1201/b22922>
- Fathi, A., Shiade, S. R. G., Kianersi, F., Altaf, M. A., Amiri, E., & Nabati, E. (2024c). Photosynthesis in Cereals under Drought Stress. In *Handbook of Photosynthesis* (4th ed.). Taylor & Francis, Boca Raton, USA. pp 826. <https://doi.org/10.1201/b22922>
- Fathi, A., Shiade, S. R. G., Saleem, A., Shohani, F., Fazeli, A., Riaz, A., ... & Rahimi, M. (2025). Reactive Oxygen Species (ROS) and Antioxidant Systems in Enhancing Plant Resilience Against Abiotic Stress. *International Journal of Agronomy*, 2025(1), 8834883. <https://doi.org/10.1155/ioa/8834883>
- Fereidooni, L., Tahmasebi, Z., Kahrizi, D., Safari, H., & Arminian, A. (2023). Evaluation of Drought Resistance of Camelina (*Camelina sativa* L.) Doubled Haploid Lines in the Climate Conditions of Kermanshah Province. *Agrotechniques in Industrial Crops*. 4(3), 134-146. (In Persian) <https://doi.org/10.22126/ATIC.2023.9570.1111>
- Fernandez, G. C. J. (1993). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Adaptation of food crops to temperature and water stress: proceedings of an international symposium, Taipei, Taiwan, 13-18 August 1992.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5), 897-912. <https://doi.org/10.1071/AR9780897>
- Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R. G. Campaline, G. L. Ricciardi., & B. Borghi, (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77, 523-531. <https://doi:10.4141/P96-130>.

- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E., & Pessarakli, M. (2023). Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches-A review. *Journal of plant Nutrition*, 46(9), 2198- 2230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Rahimi, R., Zand-Silakhoor, A., Fathi, A., Fazeli, A., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2024). Enhancing seed germination under abiotic stress: Exploring the potential of nano-fertilization. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(3), 5319-5341. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01910-x>
- Ghasemipanah, M., Aminian, R., Gholamhoseini, M., & Habibzadeh, F. (2020). Sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars response to full and low irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(3), 151-163. (In Persian) <https://doi.org/.22059/ijfcs.2019.250447.654439>
- Golestani, M., & Pakniyat, H. (2007). Evaluation of drought tolerance indices in sesame lines. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 11, 141–150 .(In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.22518517.1386.11.41.12.9>
- Hafeez, A., Ali, B., Javed, M. A., Saleem, A., Fatima, M., Fathi, A., & Soudy, F. A. (2023). Plant breeding for harmony between sustainable agriculture, the environment, and global food security: an era of genomics-assisted breeding. *Planta*, 258(5), 97. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04252-7>
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(5), 9643- 9684. <https://doi.org/10.3390/ijms14059643>
- Jahan, M., & Nassiri-Mahallati, M. (2022). Modeling the response of sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and development to climate change under deficit irrigation in a semi-arid region. *PLoS Climate*, 1(6), e0000003. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000003>
- Karimizadeh, R., Sofalion, O., & Mohammaddoust Chamanabad, H. (2020). Evaluation of stress tolerance in durum wheat lines based on stress tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 185-198. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.185>
- Marashi, S. H., Seifi, A., Nabati, J., Hasanfard, A., & Yousefi, A. (2023). Evaluation of genetic diversity and classification of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in Mashhad condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(1), 197-212. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2022.347511.654933>
- Mathur, R. K., Sujatha, M., Bera, S. K., Rai, P. K., Babu, B. K., Suresh, K., & Singh, V. V. (2023). Oilseeds and Oil Palm. Trajectory of 75 years of Indian Agriculture after Independence. Trajectory of 75 years of Indian Agriculture after Independence. *Springer*, pp.231-264 .https://doi.org/10.1007/978-981-19-7997-2_10
- Mirzaei Heydari, M., Fathi, A., & Atashpikar, R. (2024). The effect of chemical and biofertilizer on the nutrient concentration of root, shoot and seed of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(3), 539- 554. (In Persian) <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.334186.1212>
- Mohammadi, S. A., & Prasanna, B. M. (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. *Crop science*, 43(4), 1235- 1248.
- Mourad, K., Othman, Y. I. M., & Kandeel, D. M. (2025). Assessing the drought tolerance of some sesame genotypes using agro-morphological, physiological, and drought tolerance indices. *BMC Plant Biol*, 25, 352. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06235-0>
- Muhammad Aslam, M., Waseem, M., Jakada, B. H., Okal, E. J., Lei, Z., Saqib, H. S. A., & Zhang, Q. (2022). Mechanisms of abscisic acid-mediated drought stress responses in plants. *International journal of molecular sciences*, 23(3), 1084. <https://doi.org/10.3390/ijms23031084>
- Nadeem, F., Rehman, A., Ullah, A., Farooq, M., & Siddique, K. H. (2024). Managing drought in semi-arid Regions through improved varieties and choice of species. *Managing Soil Drought*. Lal, R. (Ed.). CRC Press: Boca Raton, FL, USA. <https://doi.org/10.1201/b23132>
- Oboulbiga, E. B., Douamba, Z., Compaoré-Séréomé, D., Semporé, J. N., Dabo, R., Semde, Z., ... & Dicko, M. H. (2023). Physicochemical, potential nutritional, antioxidant and health properties of sesame seed oil: a review. *Frontiers in nutrition*, 10, 1127926. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1127926>
- Omer, H. A., Ahmed, S. M., Abdel-Magid, S. S., Bakry, B. A., El-Karamany, M. F., & El-Sabaawy, E. H. (2019). Nutritional impact of partial or complete replacement of soybean meal by sesame (*Sesamum indicum*) meal in lamb's rations. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 98. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0140-8>
- Ramazani, S. H. R., & Mansouri, S. (2017). Relationships of quantitative traits in advanced lines of sesame. *Journal of Crop Breeding*, 9, 58-66. (In Persian) <https://doi.org/10.29252/jcb.9.23.58>
- Ranjithkumar, G., Bisen, R., & Kumar, K. (2022). Genetic variability studies for yield and its attributing traits in dark brown sesame (*Sesamum indicum*). *International Journal of Plant and Soil Science*, 34(8), 43-49. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i830897>
- Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21(6), 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>

- Saed-Moucheshi, A., Pessarakli, M., Mozafari, A. A., Sohrabi, F., Moradi, M., & Marvasti, F. B. (2022). Screening barley varieties tolerant to drought stress based on tolerance indices. *Journal of Plant Nutrition*, 45(5), 739-750. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1963773>
- Sofi, P. A., Rehman, K., Ara, A., & Gull, M. 2018. Stress tolerance indices based on yield, phenology, and biomass partitioning: a review. *Agricultural Reviews*, 39(4), 292- 299. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1822>
- Srikanth, K., & Ghodke, M. K. (2022). Genetic diversity studies in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *The Pharma Innovation Journal*, 1(3), 1486-1491.
- Wahab, A., Abdi, G., Saleem, M. H., Ali, B., Ullah, S., Shah, W., & Marc, R. A. (2022). Plants' physio-biochemical and phyto-hormonal responses to alleviate the adverse effects of drought stress: A comprehensive review. *Plants*, 11(13), 1620. <https://doi.org/10.3390/plants11131620>
- Yol, E., & Uzun, B. (2012). Geographical patterns of sesame accessions grown under Mediterranean environmental conditions, and establishment of a core collection. *Crop science*, 52(5), 2206-2214. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.07.0355>
- Zamani, Z., Zeidali, E., Alizadeh, H. A., & Fathi, A. (2023). Effect of drought stress and nitrogen chemical fertilizer on root properties and yield in three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd). *Crop Science Research in Arid Regions*, 5(2), 487-500. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/csrar.2023.353966.1261>