Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Crop Breeding Vol. 18, Issue 1, 2026 p: 132-148 OPEN ACCESS

Research Paper

Morphophysiological Evaluation of Flooding Stress Tolerance in Brassica (*Brassica* spp.) Genotypes

Faezeh Noori[1], Hemmatollah Pirdashti[2], Yasser Yaghoubian[3], and Mehranoosh Emamian Tabarestani[4]

1- Ph.D. Student in Agrotechnology-Crop Ecology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Ph.D. in Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 02 June, 2025 Revised: 18 October, 2025 Accepted: 22 November, 2025

Extended Abstract

Background: Flooding is one of the most significant abiotic stresses and a major limiting factor for agricultural production worldwide, adversely affecting the growth, development, and final yield of crop plants. Since the *Brassica* genus, including rapeseed (*Brassica napus* L.), is one of the most important sources of vegetable oil globally, it is essential to identify tolerant genotypes to flooding stress. The development and enhancement of flooding-tolerant and stress-adapted rapeseed cultivars are important for a sustainable increase in oil production. Accordingly, the present study was conducted to evaluate the response of *Brassica* genotypes under flooding stress by examining morphophysiological traits.

Methods: This study was conducted as a factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications under greenhouse conditions during the 2022–2023 growing season. The experiment examined three durations of flooding stress (0, 8, and 16 days) across 20 genotypes of *Brassica* spp. Flooding stress was applied at the four-leaf stage (BBCH = 14). The measured various morphological and physiological traits were stem and root lengths, stem diameter (SD), the number of green and yellow leaves (NGL and NYL), leaves, stem and root fresh and dry weights (LFW, SFW, RFW, LDW, SDW, and RDW), leaf area (LA), chlorophyll content (Chl), relative water content (RWC), and electrolyte leakage (EL). Additionally, analysis of variance (ANOVA), cluster analysis, and biplot (GGE) analysis were performed to evaluate the relationships among the morphological and physiological traits and to determine the relative importance of these traits in contributing to the performance of the studied genotypes.

Results: Varying levels of flooding stress negatively affected the examined traits. Furthermore, different genotypes markedly varied under different flooding conditions. Cluster analysis categorized the genotypes into two clusters under control (non-flooded) and severe flooding conditions, and into three clusters under moderate flooding. Under non-flooded conditions, Group II, which included the genotypes Liberdona, Burgundy, and Barossa, demonstrated significantly better performance than Group I. Under moderate flooding, Group III, including Liberdona and Burgundy, exhibited the best performance. Under severe flooding, Group I, which comprised Burgundy and Liberdona, was identified as the superior group. Discriminant function analysis confirmed the accuracy of genotype grouping at all stress levels, achieving a 100% correct classification rate across all three levels. The Wilks' Lambda values were statistically significant for the first functions. Biplot analysis corroborated these findings, indicating that the Burgundy and Liberdona genotypes performed best across all three flooding levels and were closest to the ideal genotype. In contrast, the Topas and PGR genotypes consistently exhibited the weakest performance under all conditions. Mean comparisons of traits among groups in the control condition revealed significant differences in SD, LA, and DW. Under moderate flooding, the groups exhibited significant differences in LA, DW, and plant height (PH). In severe flooding conditions, SD, LA, and DW also contributed to significant differences among the groups. Correlation analysis revealed a significant positive correlation between LDW and SD, LA, and RDW. GGE biplot analysis under control conditions indicated that the first and second principal components explained 35.49% and 21.11% of the total variance, respectively, accounting for a cumulative total of 56.60% of the variation. Under moderate flooding, the two components explained 35.99% and 15.31% of the total variance, respectively, resulting in a cumulative total

Copyright ©2026. Noori et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

of 51.30%. Under severe flooding conditions, the first and second components accounted for 29.57% and 20.03% of the total variance, respectively, cumulatively explaining 49.78% of the total variation.

Conclusion: Based on the graphical GGE biplot analysis, LDW, RDW, and LA were identified as key morphophysiological indicators for selecting flooding-tolerant genotypes. Since both yield and stability traits are essential for identifying superior genotypes across various environments, Burgundy and Liberdona were classified as tolerant genotypes, while Topas and PGR were identified as sensitive genotypes. In general, the mentioned genotypes are recommended for further studies.

Keywords: *Brassica*, Cluster analysis, Flooding Stress, GGE biplot, Morphological and physiological traits

How to Cite This Article: Noori, F., Pirdashti, H., Yaghoubian, Y., & Emamian Tabarestani, M. (2026). Morphophysiological Evaluation of Flooding Stress Tolerance in Brassica (*Brassica* spp.) Genotypes. *J Crop Breed,* 18(1), 132-148. DOI: 10.61882/jcb.2026.1617

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی مورفوفیزیولوژیکی تحمل ژنوتیپ‌های جنس براسیکا (*Brassica* spp.) به تنش غرقابی

فایزه نوری[۱]، همت‌اله پیردشتی[۲]، یاسر یعقوبیان[۳] و مهرانوش امامیان طبرستانی[۴]

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی – اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
۳-استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
صفحه: ۱۳۲ تا ۱۴۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: تنش غرقاب یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی و عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی در سراسر جهان است که رشد، نمو و عملکرد نهایی گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به این‌که جنس براسیکا، از جمله کلزا، یکی از مهم‌ترین منابع روغن گیاهی در جهان به‌شمار می‌رود، شناخت ژنوتیپ‌های متحمل به تنش غرقاب یک ضرورت است. به‌همین دلیل، با توسعه و پیشرفت ارقام کلزای متحمل و سازگار به تنش می‌توان زمینه افزایش تولید پایدار این محصول را فراهم نمود. بنابر این، پژوهش حاضر با هدف بررسی واکنش ژنوتیپ‌های جنس براسیکا به تنش غرقاب با استفاده از ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک انجام شد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ با سه سطح تنش غرقاب (۰، ۸ و ۱۶ روز) و ۲۰ ژنوتیپ جنس براسیکا (*Brassica* spp.) اجرا شد. تنش غرقاب در مرحله چهار برگی (BBCH = 14) اعمال شد. در ادامه، ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک شامل صفات طول ساقه و ریشه، قطر ساقه، تعداد برگ سبز و زرد، وزن تر و وزن خشک برگ، ساقه و ریشه، سطح برگ، میزان کلروفیل، محتوای آب نسبی (RWC) و نشت الکترولیت اندازه‌گیری شدند. سپس، برای ارزیابی روابط موجود بین صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک و بررسی اهمیت نسبی صفات مؤثر بر عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، تجزیه واریانس، تجزیه خوشه‌ای و بای‌پلات انجام شد.

یافته‌ها: سطوح مختلف تنش غرقاب آثار منفی بر صفات مورد مطالعه داشتند. همچنین، میزان تغییرات ژنوتیپ‌های مختلف در شرایط متفاوت غرقابی برای بیشتر صفات یکسان نبود و ژنوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی در سه سطح تنش نشان دادند. تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را در شرایط شاهد بدون غرقاب و غرقاب شدید به دو گروه و در شرایط غرقاب متوسط به سه گروه تفکیک کرد. در سطح بدون غرقاب، گروه دوم شامل ژنوتیپ‌های لیبرادونا، بورگوندی و باروسا برتری قابل‌توجهی نسبت به گروه اول داشت. در غرقاب متوسط، گروه سوم شامل ژنوتیپ‌های لیبرادونا و بورگوندی بهترین عملکرد را از خود نشان دادند. در غرقاب شدید نیز گروه اول شامل ژنوتیپ‌های بورگوندی و لیبرادونا به‌عنوان بهترین ژنوتیپ‌ها شناسایی شدند. تحلیل تابع تشخیص در تمامی سطوح تنش نیز صحت گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها را تأیید کرد، به‌طوری‌که صحت دسته‌بندی در هر سه سطح تنش ۱۰۰ درصد بود و لامبدای ویلکس برای توابع اول در سطح معنی‌دار قابل‌توجهی قرار داشت. نتایج بای‌پلات نیز ضمن تأیید این داده‌ها، نشان داد که ژنوتیپ‌های بورگوندی و لیبرادونا در هر سه سطح تنش بهترین عملکرد را داشتند و در نزدیکی ژنوتیپ‌های ایده‌آل قرار گرفتند. در مقابل، ژنوتیپ‌های توپاس و پی‌جی‌ار در تمامی شرایط ضعیف‌ترین نتایج را نشان دادند. مقایسه میانگین صفات بین گروه‌های ایجادشده در سطح شاهد بدون غرقاب نشان داد که دو گروه از نظر صفات قطر ساقه، سطح برگ و وزن خشک اندام‌ها و در شرایط غرقاب متوسط، از نظر صفات سطح برگ، وزن خشک اندام‌ها و ارتفاع بوته با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشتند. در سطح تنش غرقاب شدید، صفات قطر ساقه، سطح برگ و وزن خشک اندام‌ها باعث تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها شدند. همچنین، وزن خشک برگ با صفات قطر ساقه، سطح برگ و وزن خشک ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. نتایج تجزیه GGE بای‌پلات در شرایط شاهد (بدون غرقاب) نشان داد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۳۵/۴۹ درصد و ۲۱/۱۱ درصد از کل واریانس موجود را تبیین کردند و مجموعاً ۵۶/۶ درصد از کل تغییرات را توضیح دادند. در شرایط تنش غرقاب، متوسط دو مؤلفه اصلی به ترتیب ۳۵/۹۹ درصد و ۱۵/۳۱ درصد از کل واریانس داده‌ها را توضیح دادند و در مجموع ۵۱/۳ درصد از تغییرات کل را پوشش می‌دهند. در شرایط غرقاب شدید نیزمؤلفه‌های اصلی به‌ترتیب ۲۹/۵۷ و ۲۰/۰۳ درصد از کل واریانس موجود را تبیین کردند و مجموعاً ۴۹/۷۸ درصد از کل تغییرات را توضیح می‌دهند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج تجزیه گرافیکی بای‌پلات، صفات وزن خشک برگ و ریشه و سطح برگ به‌عنوان نشانگرهای مورفوفیزیولوژیکی برای شناسایی لاین‌های متحمل به تنش غرقاب شناسایی شدند. با توجه به این که در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای محیط‌های مختلف علاوه بر عملکرد صفات، پایداری نیز حائز اهمیت است، ژنوتیپ‌های بورگوندی و لیبرادونا به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل و ژنوتیپ‌های توپاس و پی‌جی‌ار به‌عنوان ژنوتیپ‌های حساس برای پژوهش‌های تکمیلی معرفی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک، براسیکا، تنش غرقابی، تجزیه خوشه‌ای، GGE بای‌پلات

مقدمه

افزایش جمعیت جهانی و رشد تقاضا برای منابع غذایی، اهمیت تولید محصولات زراعی با بهره‌وری بالا و تأمین امنیت غذایی را دوچندان کرده است. امنیت غذایی به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در توسعه پایدار مطرح است و کشت گیاهان زراعی با ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی بالا، می‌تواند نقش مهمی در تحقق این هدف ایفا کند (Babaeian *et al.*, 2021). جنس براسیکا یکی از مهم‌ترین جنس‌های گیاهی در خانواده شب‌بویان (*Brassicaceae*) است که شامل گونه‌های متعددی مانند کلزا (*Brassica napus* L.)، کلم (*B. oleracea*)، خردل (*B. juncea*) و شلغم (*B. rapa*) می‌باشد. این گونه‌ها از منابع اصلی تأمین روغن خوراکی، پروتئین گیاهی و علوفه دام هستند (Zhang *et al.*, 2025). دراین میان، کلزا به‌عنوان سومین منبع بزرگ تولید روغن خوراکی در جهان شناخته می‌شود (FAO., 2025; Nath *et al.*, 2016). کشت این محصول به‌دلیل مزایای تغذیه‌ای و اقتصادی فراوان، در حال گسترش

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

است و سالانه بیش از ۶۰ میلیون تن دانه روغنی کلزا در سطح جهانی تولید می‌شود (FAO., 2025). در ایران، به‌ویژه در استان مازندران، کلزا به‌خاطر سازگاری بالا و امکان کشت دوم پس از برداشت برنج، نقش مهمی در افزایش درآمد شالی‌کاران و توسعه کشاورزی پایدار دارد (Ghasem Beigi *et al.*, 2020).

کلزا به‌دلیل مصرف خوراکی روغن و استفاده از کنجاله آن در تغذیه دام و طیور در میان باارزش‌ترین محصولات زراعی و روغنی در جهان به‌ویژه در مناطق معتدل قرار می‌گیرد (Rabonatahiry *et al.*, 2021). امروزه، کاربرد رقم‌های جدید و اصلاح‌شده موجب شده است که کیفیت و کمیت روغن این گیاه برای مصرف خوراکی انسان افزایش قابل‌توجهی پیدا کند (Imantalab *et al*., 2024).

در بین تنش‌های غیرزیستی، غرقاب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است، زیرا بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی تأثیر مستقیم دارند (Gomathi *et al.*, 2015). این تنش معمولاً ناشی از عوامل متعددی از جمله بارش‌های سنگین، زهکشی نامناسب، نفوذپذیری پایین خاک و وقوع سیلاب است که منجر به کاهش اکسیژن خاک، اختلال در تبادلات گازی و کاهش جذب مواد مغذی می‌شود (Harirforoush *et al*., 2019; Rosouli *et al.*, 2011). مطالعات متعددی اثرات غرقاب بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی را بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهند که این تنش می‌تواند موجب کاهش عملکرد دانه، افت کیفیت روغن و اختلال در رشد مراحل اولیه گیاهچه‌ای کلزا گردد (Bange *et al.*, 2004). بررسی‌ها نشان داده‌اند که غرقاب از طریق تخریب اسیدهای چرب و اختلال در مسیرهای بیوسنتزی لیپیدها، کیفیت روغن کلزا را کاهش می‌دهد (Xu *et al*., 2015; Zhu *et al.*, 2023). همچنین، این تنش موجب زوال رنگدانه‌های فتوسنتزی، کاهش سطح کلروفیل و اختلال در متابولیسم نیتروژن شده، در نهایت منجر به کاهش عملکرد گیاه می‌شود (Rosouli *et al.*, 2011; Ren *et al.*, 2014). علاوه بر این، اعمال تنش غرقاب در مرحله رشدی ۴ تا ۶ برگی سبب آسیب به ساختار میتوکندری و کلروپلاست برگ و کاهش ارتفاع گیاه و اجزای عملکرد شده است (Hong *et al.*, 2024). علاوه بر کلزا، پژوهش‌ها در سایر گیاهان زراعی نیز نشان داده‌اند که غرقاب با کاهش جذب مواد مغذی، سطح برگ و فرآیندهای فتوسنتزی، رشد و تولید گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ahmadi Malek & Kashani Farhangian, 2010).

انتخاب ارقام مقاوم یکی از راه‌کارهای مؤثر برای کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی و بهبود عملکرد گیاهان زراعی در شرایط نامساعد به‌شمار می‌رود (Foroughi & Galeshi, 2007). مطالعات انجام‌شده روی کلزا نشان داده‌اند که شناسایی و استفاده از ژنوتیپ‌های مقاوم به غرقاب می‌تواند اثرات نامطلوب این تنش را کاهش و پایداری تولید را افزایش دهد (Moradbeigi *et al.*, 2019). مطالعات مشابه در سایر گیاهان زراعی نیز نشان داده‌اند که انتخاب ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی، به‌ویژه خشکی و غرقاب، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش عملکرد و کاهش خسارت‌های ناشی از شرایط تنش دارد (Mo'tamedi & Bani Saeedi, 2022; Nooryazdan, 2024).

باتوجه به اهمیت کلزا در تأمین روغن خوراکی و نقش غرقاب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موانع کشت کلزا در استان‌های شمالی کشور، به‌ویژه مازندران (SadrAbadi Haghighi, 2023)، بررسی اثرات تنش غرقاب بر عملکرد این گیاه ضروری است و شناسایی ارقام و ژنوتیپ‌های مقاوم به این تنش می‌تواند راه‌کاری عملی برای افزایش تولید و بهبود پایداری عملکرد باشد. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات تنش غرقاب بر سازوکارهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های مختلف جنس براسیکا جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به این شرایط انجام شد. نتایج این مطالعه می‌توانند مبنایی برای اصلاح برنامه‌های کشت و معرفی ارقام مقاوم‌تر به غرقاب، به‌ویژه در مناطق شمالی کشور، قرار گیرند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۲–۱۴۰۱ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و به‌صورت گلخانه‌ای با هدف ارزیابی تحمل ۲۰ ژنوتیپ مختلف جنس براسیکا (جدول ۱) نسبت به شرایط غرقابی در سه زمان صفر (بدون تنش)، ۸ و ۱۶ روز تنش (Kuai *et al.*, 2020) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌اجرا درآمد. بذر این ژنوتیپ‌ها از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی مازندران تهیه شد. ابتدا، خاک مورد استفاده در آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک زراعی برداشت و بعد از انجام آزمون خاک (جدول ۲) و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به نسبت دو به یک با ماسه مخلوط شد (Emamian Tabarestani *et al.*, 2020). خاک مخلوط‌شده به میزان دو کیلوگرم در گلدان‌های پلاستیکی توزین شد و سپس ده عدد بذر کلزا در هر گلدان کشت گردید. گلدان‌ها در محیط سرپوشیده و دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و آبیاری آن‌ها به‌صورت روزانه و متناسب با شرایط رطوبتی خاک تا سطح ظرفیت زراعی انجام شد. در مرحله چهار برگی (BBCH = 14)، گیاهچه‌ها تنک شدند و تعداد آن‌ها در هر گلدان به پنج بوته کاهش یافت. پس از آن، تیمار تنش غرقابی در سه سطح شاهد (بدون تنش)، ۸ (غرقاب متوسط) و ۱۶ روز (غرقاب شدید) اعمال شد. در تنش غرقاب، گلدان‌ها در سطل‌های بزرگ‌تر حاوی آب قرار داده شدند تا شرایط غرقابی شبیه‌سازی شود. در این شرایط، ساقه گیاه تا ارتفاع ۲ سانتی‌متر (Khadempir *et al.*, 2014) به زیر آب رفت. در نهایت، ۲۴ ساعت پس از اتمام تنش غرقابی صفات رویشی مانند تعداد برگ شمارش و ارتفاع بوته و طول ریشه با خط‌کش مدرج، قطر ساقه با کولیس دیجیتال، سطح برگ با استفاده از نرم افزار Digimizer، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم و حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج اندازه‌گیری گردیدند. همچنین، صفات فیزیولوژیک مانند محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، غلظت کلروفیل *a*، *b*، *a+b* و *a/b*، کاروتنوئید و عدد اسپد (SPAD-502-minolta, Japan) اندازه‌گیری شدند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

جدول ۱- برخی ویژگی‌های ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در آزمایش

Table 1. Some characteristics of the studied genotypes in the experiment

ردیف Row	نام انگلیسی English name	کد Code	نام علمی Scientific name	کشور تولیدکننده Origin	نام فارسی Persian name
1	Topas	ARCB185	*B. napus*	سوئد (Sweden)	توپاس
2	Libradonna	ARCB298	*B. napus*	آلمان (Germany)	لیبرادونا
3	Barossa	ARCB301	*B. napus*	استرالیا (Australia)	باروسا
4	Derby	ARCB302	*B. napus*	استرالیا (Australia)	دیربی
5	Ag-comet	ARCB303	*B. napus*	استرالیا (Australia)	آگ-کومت
6	Borgonde	ARCB328	*B. juncea*	کانادا (Canada)	بورگوندی
7	Heading	ARCB336	*B. juncea*	تایوان (Taiwan)	هیدینگ
8	Emerald	ARCB483	*B. napus*	هلند (Netherlands)	امرالد
9	R-33	ARCB509	*B. napus*	اوکراین (Ukraine)	آر۳۳
10	Okapi	ARCB758	*B. napus*	آلمان (Germany)	اکاپی
11	Pampa	ARCB831	*B. napus*	آرژانتین (Argentina)	پامپا
12	PGR17644	ARCB850	*B. rapa*	چین (China)	پی‌جی آر
13	Hyola50	ARCB874	*B. napus*	استرالیا (Australia)	هایولا۵۰
14	Hyola401	ARCB875	*B. napus*	استرالیا (Australia)	هایولا۴۰۱
15	Hyola420	ARCB876	*B. napus*	استرالیا (Australia)	هایولا۴۲۰
16	Zafar	ARCB880	*B. napus*	ایران (Iran)	ظفر
17	Delgan	ARCB881	*B. napus*	ایران (Iran)	دلگان
18	Zaman	ARCB897	*B. napus*	ایران (Iran)	زمان
19	Mahtab	ARCB898	*B. napus*	ایران (Iran)	مهتاب
20	RGS003	ARCB759	*B. napus*	کانادا (Canada)	آرجی اس

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 2. Some physical and chemical properties of the used soil

عمق نمونه‌برداری (cm) Sampling depth (cm)	درصد اشباع (SP %) Saturation percentage	هدایت الکتریکی (EC*10) Electrical conductivity	اسیدیته گل اشباع Saturated paste pH	درصد مواد خنثی‌شونده (CCE %) Calcium carbonate equivalent	درصد ماده آلی (OM %) Organic matter	کربن آلی (OC %) Organic carbon	فسفر قابل جذب (PPM) Available phosphorus	پتاسیم قابل جذب (PPM) Available potassium	ماسه Sand (%)	لای Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture
0-30	53	0.51	7.79	21	2.75	1.6	13.2	372	38	38	24	لومی Loam

محتوای نسبی آب برگ [1](RWC)

به‌منظور اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ، پس از اتمام شرایط غرقاب (BBCH = 17) از آخرین برگ توسعه‌یافته گیاه نمونه تهیه و بلافاصله وزن تر [2](fw) آن با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به لوله آزمایش حاوی آب مقطر منتقل و به‌مدت ۲۴ ساعت نگه‌داری شدند تا برگ‌ها آماس پیدا کنند. برای اندازه‌گیری وزن آماس [3](tw)، برگ‌ها از لوله آزمایش خارج شدند، رطوبت اضافی با دستمال کاغذی گرفته شد و نمونه‌ها وزن شدند. سپس، نمونه‌ها در آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند و سپس توزین نمونه‌های خشک [4](dw) انجام و محتوای رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Ritchie & Nguyen, 1990).

$$RWC = (fw - dw)/(tw - dw) \times 100$$ رابطه ۱)

نشت الکترولیت

برای اندازه‌گیری نشت الکترولیت، پس از اتمام شرایط غرقاب (BBCH = 17)، نمونه برگی در لوله‌های آزمایش حاوی ده میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفتند و پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه ECمتر (CON 410) اندازه‌گیری شد (EC_1[5]). برای محاسبه میزان کل نشت الکترولیت‌ها بر اثر مرگ سلول، لوله‌های آزمایش به مدت ۲۰ دقیقه در دستگاه بن‌ماری با دمای ۹۰ درجه قرار گرفتند و پس از سرد شدن آب، دوباره هدایت الکتریکی نمونه‌ها ثبت شد (EC_2). سپس، درصد نشت الکترولیت‌ها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Lutts *et al*., 1995).

$$\text{نشت الکترولیت (درصد)} = EC_1 / EC_2 \times 100$$ رابطه ۲)

عدد کلروفیل‌متر (اسپد)

عدد کلروفیل‌متر، مقدار تقریبی محتوای کلروفیل برگ (SPAD Value یا Chlorophyll Content Index - CCI) یا همان سبزینگی برگ را نشان می‌دهد. این عدد پس از اتمام شرایط غرقاب (BBCH = 17) با اندازه‌گیری از چهار نقطه آخرین برگ توسعه‌یافته قرائت و میانگین آن‌ها به‌عنوان عدد کلروفیل‌متر در محاسبه استفاده شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای اندازه‌گیری غلظت کلروفیل، پس از اتمام شرایط غرقاب (BBCH = 17)، شش عدد پانچ از آخرین برگ توسعه‌یافته گیاه برداشته، در ۸ میلی‌لیتر متانول غوطه‌ور شدند و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس، میزان نور جذبی محلول در طول موج‌های ۶۶۵/۲، ۶۵۲/۴ و ۴۷۰ نانومتر به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Analytic jena- SPEKOL 1300) قرائت و ثبت شد. در نهایت، مقادیر کلروفیل a (Chl_a)، b (Chl_b)، کلروفیل کل (Chl_{a+b})، نسبت کلروفیل a/b $(Chl_{a/b})$ و کاروتنوئید

[1] Relative Water Content
[2] Fresh Weight
[3] Turgid Weight
[4] Dry Weight
[5] Electrical Conductivity

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

به‌ترتیب با استفاده از روابط ۳ تا ۷ محاسبه شدند (Lichtenthaler & Buschmann, 2001).

رابطه۳) $chl_a\ (\mu g/ml) = 16.72\ A_{665.2} - 9.16\ A_{652.4}$

رابطه ۴) $chl_b\ (\mu g/ml) = 34.09\ A_{652.4} - 15.28\ A_{665.2}$

رابطه ۵) $chl_{a+b}\ (\mu g/(ml)) = chl_a + chl_b$

رابطه ۶) $chla_{/b}\ (\mu g/(ml)) = chl_a/chl_b$

رابطه ۷) $Carotenoid\ (\mu g/ml) = ((1000\ A_{470} - 1.63\ Chl_a - 104.96\ Chl_b\ ))/221$

تحلیل آماری

آنالیز واریانس داده‌ها و تجزیه خوشه‌ای به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴)، SPSS (نسخه ۲۲) و PAST (نسخه ۳/۵) انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های کلزا با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی بر پایه فاصله اقلیدسی (Euclidean Distance) و روش وارد (Ward's Method) انجام شد. دندروگرام به‌دست‌آمده گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها را بر اساس شباهت‌های فیزیولوژیکی و زراعی آن‌ها در شرایط تنش غرقاب مشخص کرد.

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های کلزا در شرایط مختلف غرقاب، از تحلیل GGE بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار GenStat (نسخه ۱۴) استفاده شد. در این تحلیل، اثرات ژنوتیپ (G) و برهم‌کنش ژنوتیپ × محیط (GE) بر عملکرد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بررسی شدند.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی نشان دادند که اثر ساده ژنوتیپ و غرقاب بر تعداد برگ، ارتفاع بوته، قطر ساقه، سطح برگ، طول و حجم ریشه، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه، کلروفیل a و b، کاروتنوئید، عدد اسپد، محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. افزون بر این، برهم‌کنش ژنوتیپ و غرقاب بر همه صفات مذکور به‌جز طول ریشه معنی‌دار بود. این نتایج وجود تنوع ژنتیکی قابل‌توجه بین ژنوتیپ‌ها و واکنش‌های متفاوت آن‌ها به تنش غرقاب را نشان می‌دهند (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ژنوتیپ و تنش غرقاب بر صفات مورفوفیزیولوژیکی در ژنوتیپ‌های مختلف براسیکا

Table 3. The analysis of variance (mean squares) for the effects of genotypes and flooding stress on morpho-physiological traits in different *Brassica* genotypes

منابع تغییرات (S.O.V)						
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	خطا Error	ژنوتیپ × غرقاب Genotype × Flooding	غرقاب Flooding	ژنوتیپ Genotype	بلوک Block	
	298	38	2	19	2	درجه آزادی (df)
10.34	0.284	1.031**	11.511**	3.073**	1.011*	تعداد برگ (Leaf number)
4.24	1.312	6.158**	92.536**	1068.133**	5.036*	ارتفاع بوته (Plant height)
7.33	0.039	0.087**	1.471**	0.995**	0.027ns	قطر ساقه (Stem diameter)
9.15	13.603	169.591**	6288.294**	4227.026**	100.122**	سطح برگ (Leaf area)
5.470	0.513	0.716ns	39.219**	16.843**	1.970*	طول ریشه (Root length)
13.69	0.114	0.232**	1.931**	0.339**	0.775**	حجم ریشه (Root volume)
13.49	0.0001	0.0003**	0.007**	0.008**	0.0001ns	وزن خشک برگ (Leaf dry weight)
12.17	0.00007	0.0003**	0.0008**	0.006**	0.0001ns	وزن خشک ساقه (Stem dry weight)
13.33	0.0008	0.001*	0.154**	0.104**	0.002ns	وزن خشک ریشه (Root dry weight)
13.48	0.188	0.375**	4.462**	4.466**	0.207ns	کلروفیل a (Chlorophyll a)
15.74	0.037	0.543**	1.980**	1.229**	0.391**	کلروفیل b (Chlorophyll b)
20.21	0.024	0.155**	0.237**	0.381**	0.145**	کاروتنوئید (Carotenoid)
6.94	5.991	15.309**	259.399**	140.990**	0.342ns	عدد اسپد (SPAD value)
7.67	37.113	258.422**	263.141**	518.311**	153.164*	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content
10.40	18.949	119.779**	2696.094**	652.193**	343.860**	نشت الکترولیت (Electrolyte leakage)

ns، * و ** به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

غربالگری و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مختلف جنس براسیکا بر اساس تحمل آن‌ها به شرایط غرقاب

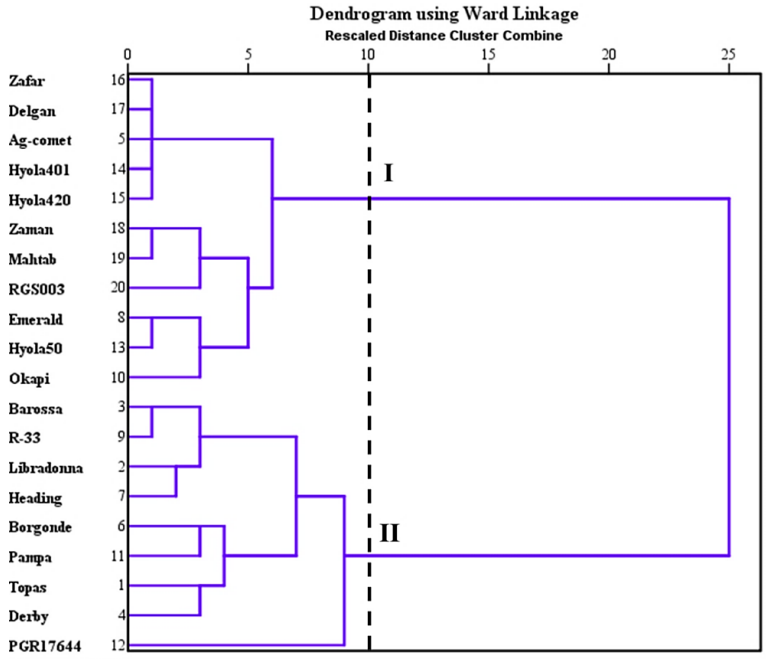
در این مرحله، میزان تحمل ۲۰ ژنوتیپ جنس براسیکا نسبت به تنش غرقاب مورد بررسی قرار گرفت. ژنوتیپ‌ها در هر سطح تنش بر اساس صفات مورد بررسی در آزمایش به‌وسیله تجزیه خوشه‌ای گروه‌بندی شدند. روش گروه‌بندی واریانس مینیمم وارد به‌دلیل ارائه دندروگرام مناسب جهت برش و نیز مشخص نمودن گروه‌بندی مطلوب در همه سطوح مورد استفاده قرار گرفت.

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در سطح شاهد (بدون غرقاب)

نتایج تجزیه خوشه‌ای در شرایط بدون تنش (با ضریب کوفنتیک ۰/۷۹) ژنوتیپ‌ها را به دو گروه تقسیم کرد. لامبدای ویلکس برای تابع اول معنی‌دار (۰/۰۰۲) (جدول ۴) و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود. گروه‌های حاصل به‌ترتیب شامل ۱۱ و ۹ ژنوتیپ بودند. گروه اول (I) شامل ژنوتیپ‌های ظفر، دلگان، آگ-کومت، هایولا۴۰۱، هایولا۴۲۰، زمان، مهتاب، آرجی‌اس، امرالد، هایولا۵۰ و اکاپی و گروه دوم (II) شامل ژنوتیپ‌های باروسا، آر۳۳، لیبرادونا، هیدینگ، بورگوندی، پامپا، توپاس، دیربی، پی‌جی‌ار بودند (شکل ۱).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جنس براسیکا در شرایط بدون غرقاب به روش گروه‌بندی حداقل واریانس وارد (ضریب کوفنتیک = ۰/۷۹)

Figure 1. The dendrogram obtained from the clusters of *Brassica* genotypes under non-flooded conditions using Ward's minimum variance method (cophenetic coefficient = 0.79).

جدول ۴- آزمون تابع تشخیص برای ژنوتیپ‌های جنس براسیکا در شرایط بدون غرقاب با استفاده از لامبدای ویلکس

Table 4. The discriminant function test for *Brassica* genotypes under non-flooded conditions using Wilks' lambda.

آزمون توابع Test of Function (s)	لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Significant
تابع اول 1	0.032	36.126	15	0.002

مقایسه میانگین بین گروهی صفات مورفوفیزیولوژیک در شرایط بدون غرقاب

مقایسه میانگین صفات بین گروه‌های ایجادشده در سطح بدون غرقاب نشان داد که دو گروه از نظر صفات تعداد برگ، ارتفاع بوته، طول ریشه، حجم ریشه، کلروفیل *b*، محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت تفاوت معنی‌داری نداشتند، اما از نظر سایر صفات مانند قطر ساقه، سطح برگ و وزن خشک اندام‌ها این تفاوت‌ها معنی‌دار بودند. بر اساس یافته‌ها، قطر ساقه، سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه، محتوای کلروفیل *a*، میزان کاروتنوئید و عدد اسپد در گروه دوم نسبت به گروه اول به‌ترتیب حدود ۱۰، ۴۶، ۲۶، ۳۰، ۳۸، ۱۰، ۲۸، و ۳ درصد بیشتر بود (جدول ۵). بنابر این، گروه دوم در بیشتر صفات مورد مطالعه بهتر هستند و می‌توان آن را به‌عنوان گروه برتر در شرایط بدون غرقاب در نظر گرفت. این تفاوت‌ها بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل‌توجه میان ژنوتیپ‌های موردبررسی در شرایط بدون تنش هستند. چنین تفاوت‌هایی می‌تواند بازتابی از تفاوت در ظرفیت ذاتی رشد، کارایی فتوسنتزی و صفات ساختاری باشد که در به‌نژادی ژنوتیپ‌های براسیکا مورد توجه قرار می‌گیرند. یافته‌های پژوهش‌های پیشین نیز مؤید این نتیجه هستند. به‌عنوان نمونه، قنبری و همکاران (Ghanbari *et al.*, 2019) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های جنس براسیکا در شرایط بهینه، از نظر صفاتی همچون سطح برگ، شاخص سطح برگ و وزن خشک کل، دارای اختلاف معنی‌داری بودند که می‌تواند در ارزیابی توان تولید و پتانسیل عملکرد آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2016) به تفاوت‌های قابل توجهی در رشد رویشی و شاخص‌های فیزیولوژیکی از جمله میزان کلروفیل، وزن خشک ریشه و ظرفیت فتوسنتزی بین ژنوتیپ‌های مختلف جنس *براسیکا* در شرایط بدون تنش اشاره کردند. هم‌راستا با این یافته‌ها، مطالعه فرجی (Faraji *et al.*, 2015) نیز نشان داد که افزایش سطح برگ در گیاه کلزا، ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

جدول ۵- مقایسه میانگین بین‌گروهی صفات مورفولوژیک و رویشی ژنوتیپ‌های مختلف براسیکا در شرایط بدون غرقاب

Table 5. Mean comparisons between groups for morphological and vegetative traits of different *Brassica* genotypes under non-flooded conditions

صفات مورفولوژیک و رویشی Morphological and Vegetative Traits									
وزن خشک (میلی‌گرم در بوته) Dry weight (mg per plant)			حجم ریشه Root volume	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد برگ (واحد در بوته) Leaf number (per plant)	گروه‌ها Groups
ریشه Root	ساقه Stem	برگ Leaf							
220^{b}	60^{b}	76^{b}	2.659	13.515	38.405^{b}	2.675^{b}	27.576	5.485	I
304^{a}	78^{a}	96^{a}	2.546	13.907	56.162^{a}	2.952^{a}	28.389	5.519	II
**	**	**	ns	ns	**	**	ns	ns	معنی‌داری (Sig.)

صفات فیزیولوژیک Physiological Traits						
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (درصد) %	عدد اسپد SPAD value	کاروتنوئید (میکروگرم در میلی‌لیتر) Carotenoid (µg/mL)	کلروفیل (میکروگرم در میلی‌لیتر) Chlorophyll (µg/mL)		گروه‌ها Groups
				b	*a*	
34.674	82.499	36.029^{b}	0.734^{b}	1.459	3.505^{b}	I
41.295	85.06	37.431^{a}	0.939^{a}	1.28	3.862^{a}	II
ns	ns	*	*	ns	*	معنی‌داری (Sig.)

ns، * و ** به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

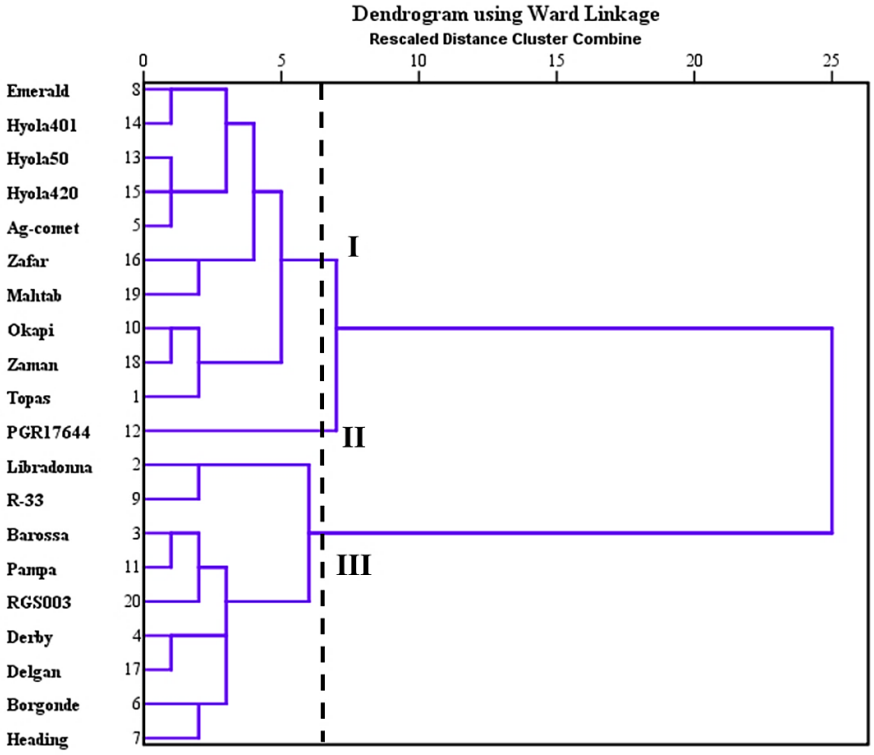
ns, * and ** Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

The same letter(s) in each column indicate non-significant differences according to the LSD test at 5% of probability.

گروه‌بندی ارقام کلزا در تنش غرقاب متوسط

نتایج تجزیه خوشه‌ای در سطح غرقاب هشت روز (با ضریب کوفنتیک ۰/۶۹) ژنوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم کردند. لامبدای ویلکس برای تابع اول بر اساس تجزیه تابع تشخیص بسیار معنی‌دار (۰/۰۰) و برای تابع دوم معنی‌دار (۰/۰۱۱) (جدول ۶) و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بود. گروه‌های حاصل به‌ترتیب شامل ۱۰، ۱ و ۹ ژنوتیپ بودند. گروه اول (I) شامل ژنوتیپ‌های امرالد، هایولا۴۰۱، هایولا۵۰، هایولا۴۲۰، آگ- کومت، ظفر، مهتاب، اکاپی، زمان، توپاس گروه دوم (II) شامل ژنوتیپ پی‌جی‌ار و گروه (III) شامل ژنوتیپ‌های لیبرادونا، آر۳۳، باروسا، پامپا، آرجی‌اس، دربی، دلگان، بورگوندی و هیدینگ بودند (شکل ۲).



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ارقام مختلف کلزا در شرایط تنش غرقاب متوسط به روش گروه‌بندی حداقل واریانس وارد (ضریب کوفنتیک ۰/۶۹)

Figure 2. The dendrogram obtained from the clusters of *Brassica* genotypes under moderate flooding using Ward's minimum variance method (cophenetic coefficient = 0.69).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

جدول ۶- آزمون تابع تشخیص برای ژنوتیپ‌های جنس براسیکا در شرایط غرقاب متوسط با استفاده از لامبدای ویلکس
Table 6. The discriminant function test for *Brassica* genotypes under moderate flooding using Wilks' lambda

آزمون توابع Test of Function(s)	لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Significant
تابع اول از درون تابع دوم 1 through 2	0.000	80.991	30	0.000
تابع دوم 2	0.055	28.963	14	0.011

مقایسه میانگین بین‌گروهی صفات مورفوفیزیولوژیک در شرایط غرقاب متوسط

مقایسه میانگین صفات بین سه گروه ایجادشده در تنش غرقاب متوسط نشان داد که گروه‌ها از نظر تعداد برگ، قطر ساقه، طول و حجم ریشه و میزان کاروتنوئید تفاوت معنی‌داری نداشتند. از نظر سایر صفات این تفاوت‌ها معنی‌دار بودند. در صفات سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه، گروه سوم به‌ترتیب حدود ۲/۰۳، ۱/۴۵، ۱/۴۳ و ۱/۸۶ برابر از گروه اول و حدود ۱/۸۱، ۱/۵۵، ۱/۳۶ و ۲/۱۳ برابر از گروه دوم بیشتر بود. از نظر صفت ارتفاع بوته گروه دوم حدود دو برابر نسبت به گروه اول و سوم ارتفاع بیشتری داشت. صفات فیزیولوژیک کلروفیل a، عدد اسپد و محتوای نسبی آب به‌ترتیب در حدود ۲/۳، ۱/۲ و ۱/۷ برابر از گروه اول و در حدود ۵۶، ۱۲ و ۲۷ درصد از گروه دوم بیشتر بود. در مقایسه، کلروفیل b در گروه اول و سوم حدود ۷۲ و ۶۴ درصد نسبت به گروه دوم بیشتر بود. نشت الکترولیت نیز در گروه دوم حدود ۴۶ و ۴۴ درصد نسبت به گروه اول و سوم بیشتر بود (جدول ۷).

گروه سوم به‌طور کلی در صفات رویشی مانند سطح برگ، وزن خشک برگ، ساقه و ریشه برتری داشت. این برتری می‌تواند به‌معنی تحمل بهتر به شرایط غرقاب متوسط باشد. از نظر صفات فیزیولوژیک نیز گروه سوم به‌ویژه در کلروفیل a و محتوای نسبی آب برگ، وضعیت بهتری داشت. این نتیجه نشان‌دهنده بهبود فتوسنتز و مقاومت بهتر به تنش در ژنوتیپ‌های این گروه است. در همین راستا، تحقیقات نشان داده‌اند که ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک مانند سطح برگ، محتوای کلروفیل a و محتوای نسبی آب برگ می‌توانند نقش مهمی را در بهبود مقاومت گیاهان به شرایط غرقاب ایفا کنند. به‌ویژه، این صفات به گیاهان کمک می‌کنند تا در شرایط تنش، فتوسنتز را بهینه‌سازی کنند و مقاومت بیشتری را در برابر کمبود اکسیژن و تنش‌های محیطی نشان دهند (Sharma *et al.*, 2021). این یافته‌ها نشان می‌دهند که افزایش سطح برگ و کلروفیل ظرفیت جذب نور و تثبیت کربن را در شرایط تنش آبی یا غرقابی حفظ می‌کند (Gómez & Franco, 2017). همچنین، ژنوتیپ‌های مقاوم به غرقاب معمولاً با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و حفظ تعادل آب برگ، پایداری غشاء سلولی را تقویت می‌کنند و نشت الکترولیت را کاهش می‌دهند (Manghwar et al., 2024).

جدول ۷- مقایسه میانگین بین‌گروهی صفات مورفولوژیک و رویشی ژنوتیپ‌های مختلف براسیکا در شرایط غرقاب متوسط
Table7. Mean comparisons between groups for morphological and vegetative traits of different *Brassica* genotypes under moderate flooding

صفات مورفولوژیک و رویشی
Morphological and Vegetative Traits

گروه‌ها Groups	تعداد برگ (واحد در بوته) Leaf number (per plant)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	حجم ریشه Root volume	وزن خشک (میلی‌گرم در بوته) Dry weight (mg per plant)		
							برگ Leaf	ساقه Stem	ریشه Root
I	4.933	26.45^{b}	2.566	28.715^{b}	12.467	2.425	62^{b}	55^{b}	160^{b}
II	5.333	51.667^{a}	2.59	32.105^{b}	13	2.583	58^{b}	58^{b}	143^{c}
III	5.185	24.593^{b}	2.888	58.306^{a}	13.741	2.454	90^{a}	79^{a}	299^{a}
معنی‌داری Significance	ns	**	ns	**	ns	ns	**	*	**

صفات فیزیولوژیک
Physiological Traits

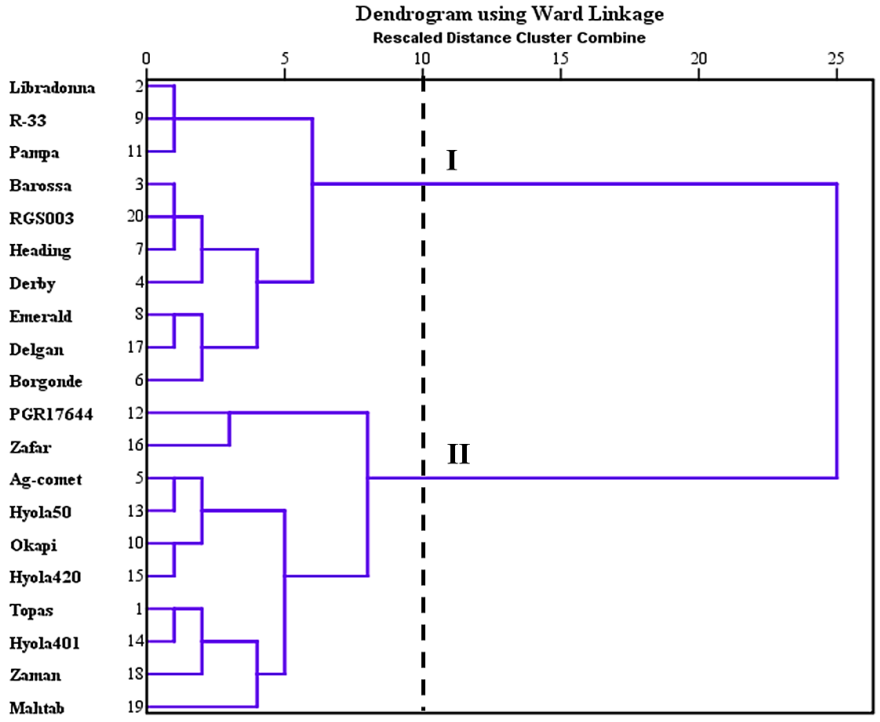
گروه‌ها Groups	کلروفیل (میکروگرم در میلی‌لیتر) Chlorophyll (µg/mL)		کاروتنوئید (میکروگرم در میلی‌لیتر) Carotenoid (µg/mL)	عدد اسپد SPAD value	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
	a	*b*			(درصد) %	
I	3.338^{a}	1.258^{a}	0.696	35.233^{b}	78.069^{a}	39.65^{b}
II	2.419^{b}	0.73^{b}	0.6	32.50^{c}	65.91^{b}	58.193^{a}
III	3.785^{a}	1.201^{a}	0.834	36.011^{a}	84.053^{a}	40.241^{b}
معنی‌داری Significance	**	**	ns	**	*	**

ns، * و ** به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.
ns, * and ** Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.
در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.
The same letter(s) in each column indicate non-significant differences according to the LSD test at 5% of probability.

گروه‌بندی ارقام کلزا در تنش غرقاب شدید

نتایج تجزیه خوشه‌ای در سطح غرقاب ۱۶ روز (با ضریب کوفنتیک = ۰/۷۵) ژنوتیپ‌ها را به دو گروه تفکیک کردند. لامبدای ویلکس برای تابع اول بسیار معنی‌دار (۰/۰۰۶) (جدول۸) و صحت گروه‌بندی ۱۰۰ درصد بودند. دو گروه حاصل هر کدام شامل ۱۰ رقم بودند. در گروه اول (I) ژنوتیپ‌های لیبرادونا، آر۳۳، پامپا، باروسا، آرجی‌اس، هیدینگ، دربی، امرالد، دلگان، بورگوندی و در گروه دوم (II) ژنوتیپ‌های پی‌جی‌آر، ظفر، آگ-کامت، هایولا۵۰، اکاپی، هایولا۴۲۰، توپاس، ظفر، توپاس، هایولا۴۰۱، زمان، مهتاب قرار گرفتند (شکل ۳).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها درتنش غرقاب شدید به‌روش گروه‌بندی حداقل واریانس وارد (ضریب کوفنتیک = ۰/۷۵)

Figure 3. The dendrogram obtained from the clusters of *Brassica* genotypes under severe flooding using Ward's minimum variance method (cophenetic coefficient = 0.75).

جدول ۸- آزمون تابع تشخیص برای ژنوتیپ‌های جنس براسیکا در شرایط غرقاب شدید با استفاده از لامبدای ویلکس

Table 8. The discriminant function test for *Brassica* genotypes under severe flooding using Wilks' lambda

آزمون توابع Test of Function(s)	لامبدای ویلکس Wilks' Lambda	کای اسکوئر Chi-square	درجه آزادی df	معنی‌داری Significant
تابع اول 1	0.05	32.02	15	0.006

مقایسه میانگین بین گروهی صفات مورفوفیزیولوژیک جنس براسیکا کلزا در تنش غرقاب شدید

مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیک بین دو گروه در تنش غرقاب شدید نشان داد که ژنوتیپ‌ها از نظر صفات تعداد برگ، طول و حجم ریشه، عدد اسپد و نشت الکترولیت تفاوت معنی‌داری نداشتند. در مقایسه، در سایر صفات این تفاوت معنی‌دار بود. قطر ساقه، سطح برگ، و وزن خشک برگ، ساقه و ریشه در گروه اول به‌ترتیب ۱/۱۱، ۲/۷، ۱/۶، ۱/۳۳ و ۱/۹۵ برابر بیشتر از گروه دوم بودند، در حالی‌که ارتفاع بوته در گروه دوم حدود ۲۱ درصد از گروه اول بیشتر بود. در صفات فیزیولوژیک نیز کلروفیل *a*، کاروتنوئید و محتوای نسبی آب برگ در گروه اول در حدود ۹، ۱۴ و ۱۲ درصد بیشتر از گروه دوم بود (جدول ۹).

با توجه به این نتایج، به‌نظر می‌رسد که گروه اول در برخی صفات مورفولوژیک (مانند وزن خشک برگ، ساقه و ریشه) و فیزیولوژیک (مانند کلروفیل *a* و کاروتنوئید)، عملکرد بهتری نشان داد. این نتایج نشان‌دهنده تحمل بیشتر در برابر تنش غرقاب شدید هستند. تحقیقات نشان داده‌اند که بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی و تعادل عناصر غذایی از راه‌کارهای مؤثر در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Sajid *et al.*, 2020).

از طرف دیگر، گروه دوم ارتفاع بوته بالاتری دارد و این تفاوت ممکن است به‌دلیل راهبردهای مختلف رشد در این گروه باشد. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2014) نشان دادند که وزن خشک گیاه تابعی از میزان تشعشع جذب شده در طول دوره رشد بود. از طرفی، میزان تشعشع جذب شده به‌وسیله گیاه بستگی کامل به شاخص سطح برگ و رشد تاج پوشش گیاه دارد. هرچه سطح برگ گیاه بیشتر باشد میزان وزن خشک بالاتر و مقاومت گیاه به شرایط تنش بیشتر می‌شود.

همچنین تحقیقات نشان داده‌اند که محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان یکی از معیارهای اندازه‌گیری واکنش گیاه به شرایط تنش است. محتوای نسبی آب برگ به‌طور مستقیم بیان‌کننده وضعیت آبی در گیاهان است (Anjum *et al.*, 2011). ناطقی و همکاران (Nateghi *et al.*, 2019) نیز بیان کردند که ارقام با کلروفیل *a* بیشتر توانایی تولید مواد پرورده بیشتری را دارند که در نهایت، منجر به افزایش مقاومت در شرایط تنش و افزایش عملکرد دانه می‌شود. مرادبیگی (Moradbeigi 2020) نیز نشان داد که مناسب‌ترین و مقاوم‌ترین رقم مورد بررسی درشرایط مختلف آبیاری و تاریخ کاشت میزان محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل *a* بیشتری داشت.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

جدول ۹- مقایسه میانگین بین گروهی صفات مورفولوژیک و رویشی ژنوتیپ‌های مختلف براسیکا در شرایط غرقاب شدید

Table 9. Mean comparisons between groups for morphological and vegetative traits of different *Brassica* genotypes under severe flooding

صفات مورفولوژیک و رویشی Morphological and Vegetative Traits									
وزن خشک (میلی‌گرم در بوته) Dry weight (mg per plant)			حجم ریشه Root volume	طول ریشه (سانتی‌متر) Root length (cm)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	قطر ساقه (میلی‌متر) Stem diameter (mm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد برگ (واحد در بوته) Leaf number (per plant)	گروه‌ها Groups
ریشه Root	ساقه Stem	برگ Leaf							
249[a]	72[a]	85[a]	2.375	13	47.138[a]	2.728[a]	23.667[b]	4.967	I
123[b]	54[b]	53[b]	2.342	12.1	17.456[b]	2.431[b]	28.733[a]	4.833	II
**	**	**	ns	ns	**	**	**	ns	معنی‌داری (Sig.)

صفات فیزیولوژیک Physiological Traits						
نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative leaf water content (درصد) %	عدد اسپد SPAD value	کاروتنوئید (میکروگرم در میلی‌لیتر) Carotenoid (µg/mL)	کلروفیل (میکروگرم در میلی‌لیتر) Chlorophyll (µg/mL)		گروه‌ها Groups
				b	*a*	
45.494	78.762[a]	33.997	0.793[a]	1.046	3.435[a]	I
48.466	69.99[b]	33.47	0.696[b]	1.208	3.126[b]	II
ns	**	ns	*	ns	*	معنی‌داری (Sig.)

ns، * و ** به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** Non-significant, Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

در هر ستون، میانگین‌های دارای حرف یا حروف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

The same letter(s) in each column indicate non-significant differences according to the LSD test at 5% of probability.

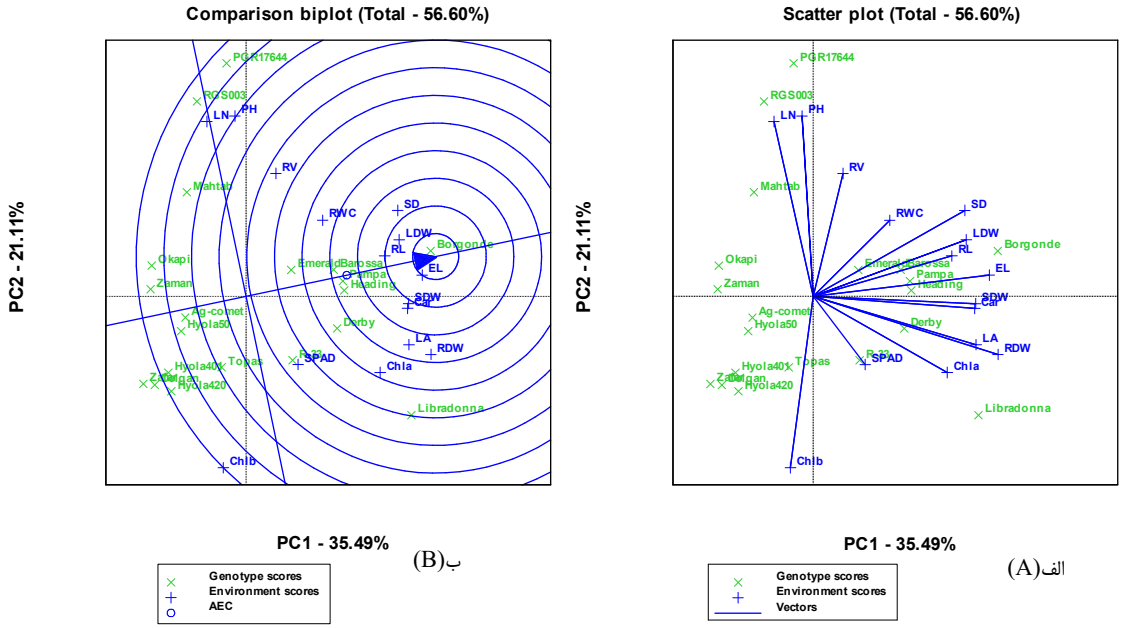
تجزیه GGE بای‌پلات به‌منظور رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها و شناسایی میزان پایداری ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش غرقاب و بررسی تأثیر صفات در گزینش ژنوتیپ ایده‌آل و متحمل به تنش صورت گرفت. نتایج تجزیه در شرایط شاهد (صفر روز غرقاب) نشان دادند که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۳۵/۴۹ درصد و ۲۱/۱۱ درصد از کل واریانس موجود را تبیین کردند و مجموعاً ۵۶/۶ درصد از کل تغییرات را توضیح می‌دهند. این مقدار بیانگر آن است که این دو مؤلفه اصلی سهم قابل توجهی در تجزیه‌وتحلیل و تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک دارند (شکل ۴- الف).

در تجزیه بای‌پلات در سطح شاهد، صفات حجم ریشه، محتوای نسبی آب، قطر ساقه، وزن خشک برگ، نشت الکترولیت و طول ریشه به‌عنوان صفاتی با بالاترین بار عاملی در مؤلفه‌های اصلی اول و دوم شناسایی شدند. از میان این صفات، قطر ساقه و وزن خشک برگ بیشترین تأثیر را در تمایز ژنوتیپ‌ها داشتند و به‌طور معنی‌داری در تفکیک آن‌ها نقش ایفا کردند. نمودار بای‌پلات مقایسه‌ای (شکل ۴- ب) یک تجزیه‌وتحلیل گرافیکی است که در آن داده‌های چندبعدی در دو بعد اصلی به نمایش درمی‌آیند تا مقایسه‌های بصری انجام شوند. در این نمودار، دو مؤلفه اصلی که بیشترین واریانس را توجیه می‌کنند به‌عنوان محورها در نظر گرفته شدند. ژنوتیپ ایده‌آل، ژنوتیپی است که هم پایداری بالا و هم میانگین داده‌های صفات بالا دارد و در مرکز دوایر متحدالمرکز نمودار بای‌پلات قرار می‌گیرد (Yan & Kang, 2002). در این نمودار، هر ژنوتیپی که کمترین فاصله را با ژنوتیپ ایده‌آل داشته باشد، به‌عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی می‌شود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه‌وتحلیل نمودار بای‌پلات در شرایط شاهد (بدون غرقاب)، چهار ژنوتیپ بورگوندی، امرالد، پامپا وهیدینگ بهترین پاسخ را در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها نشان دادند. این ژنوتیپ‌ها از نظر ترکیب بهینه‌ای از داده‌های صفات وزن خشک اندام‌ها و قطر ساقه و پایداری مناسب در شرایط بدون تنش، در نزدیکی ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشتند. به‌طور خاص، این ژنوتیپ‌ها کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل داشتند و از نظر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها، بهتر بودند. این ویژگی‌ها بیانگر توانایی ذاتی این ژنوتیپ‌ها در بهره‌وری فتوسنتزی و تجمع زیست‌توده در شرایط عادی است که با یافته‌های پژوهشی قبلی هم‌راستا است (Silva-Pérez *et al.*, 2020). همچنین، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ژنوتیپ‌های پرمحصول در شرایط بدون تنش معمولاً دارای ساقه‌های قطورتر و ظرفیت ریشه‌ای توسعه‌یافته‌تری هستند که توان تأمین بهتر آب و مواد غذایی را فراهم می‌کند. علاوه‌براین، شاخص‌های مورفولوژیک پایدار مانند حجم ریشه و وزن خشک اندام‌های هوایی در کنار هم می‌توانند به‌عنوان نشانگرهای انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا مورد استفاده قرار گیرند (Zia *et al.*, 2020). در مقابل، ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شامل هایولا ۴۰، هایولا ۴۲۰، توپاس و ظفر بودند که در مقایسه با این ارقام، فاصله بیشتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشتند و در نمودار بای‌پلات در نواحی دورتر از مرکز دوایر متحدالمرکز قرار گرفتند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]



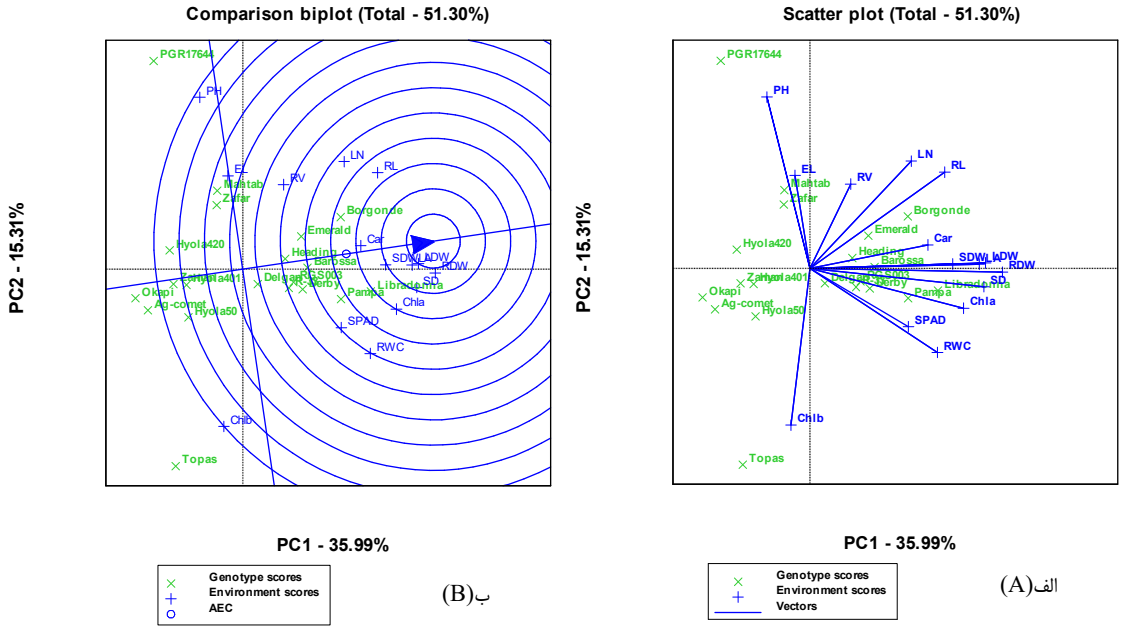
شکل ۴- نمودار بای‌پلات سطح بدون تنش غرقاب (الف-ب). صفات شامل EL: نشت الکترولیت، RWC: محتوای نسبی آب، SD: قطر ساقه، PH: ارتفاع بوته، LN: تعداد برگ، LDW: وزن خشک برگ، RDW: وزن خشک ریشه SDW: وزن خشک ساقه، RL: طول ریشه، RV: حجم ریشه، LA: سطح برگ، SPAD: عدد کلروفیل‌متر، Chl*a*: کلروفیل *a*، Chl*b*: کلروفیل *b*، Car: کاروتنوئید

Figure 4. The non-flooded conditions biplot (A-B). Traits include EL: Electrolyte Leakage, RWC: Relative Water Content, SD: Stem Diameter, PH: Plant Height, LN: Leaf Number, LDW: Leaf Dry Weight, RDW: Root Dry Weight, SDW: Stem Dry Weight, RL: Root Length, RV: Root Volume, LA: Leaf Area, SPAD: Chlorophyll Meter Reading, Chl*a*: Chlorophyll *a*, Chl*b*: Chlorophyll *b*, Car: Carotenoid.

نتایج تحلیل GGE بای‌پلات در شرایط تنش غرقاب (هشت روز) نشان دادند که دو مؤلفه اصلی به‌ترتیب ۳۵/۹۹ درصد و ۱۵/۳۱ درصد از کل واریانس داده‌ها را توضیح دادند و در مجموع ۵۱/۳ درصد از تغییرات کل را پوشش می‌دهند (شکل ۵- الف). این میزان از توضیح واریانس نشان‌دهنده اهمیت بالای این دو مؤلفه در تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورفوفیزیولوژیک است. صفات تأثیرگذار در این سطح از تنش شامل وزن خشک ساقه، برگ و ریشه، قطر ساقه، کاروتنوئید، طول ریشه، تعداد برگ و حجم ریشه بودند. از این میان، سه صفت اول یعنی وزن خشک ساقه، برگ و ریشه به‌طور برجسته‌ای در تمایز ژنوتیپ‌ها نقش داشتند و تأثیر بیشتری در تفکیک آن‌ها در نمودار بای‌پلات ایفا کردند (شکل ۵- ب).

در تحلیل نمودار بای‌پلات مقایسه‌ای برای شرایط تنش غرقاب متوسط، چهار ژنوتیپ لیبرادونا، بورگوندی، پامپا و هیدینگ در مقایسه با دیگر ارقام، بهتر بودند. این ژنوتیپ‌ها از لحاظ ترکیب بهینه‌ای از صفات وزن خشک اندام‌ها و پایداری در شرایط غرقاب، در نزدیکی ژنوتیپ ایده‌آل قرار داشتند. به‌ویژه، این ارقام کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل داشتند و از نظر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها، عملکرد بهتری از خود نشان دادند و به‌دلیل مقادیر بالای وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پایداری مناسب در شرایط تنش، به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر شناخته شدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که ژنوتیپ‌های مقاوم به غرقاب معمولاً با حفظ تولید ماده خشک، رشد ریشه و ساقه و تنظیم مناسب تعادل هورمونی، آسیب ناشی از کمبود اکسیژن را کاهش می‌دهند (Olorunwa *et al*., 2023). علاوه بر این، مشخص شده است که افزایش وزن خشک ساقه و برگ در شرایط غرقاب با توسعه سیستم ریشه‌ای همراه است که نقش مهمی را در فراهمی اکسیژن و جذب بهتر آب و مواد غذایی ایفا می‌کند (Ghazi *et al*., 2022). بنابر این، ژنوتیپ‌هایی که در بای‌پلات کمترین فاصله را از ژنوتیپ ایده‌آل دارند، علاوه‌بر عملکرد بالاتر، از سازوکارهای فیزیولوژیکی مؤثرتر برای مقابله با تنش غرقاب بهره‌مند هستند که می‌تواند به‌عنوان شاخص انتخاب در برنامه‌های اصلاحی مدنظر قرار گیرد. ازسوی دیگر، ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شامل توپاس، پی‌جی‌ار، اکاپی و اگ-کومت بودند. این ژنوتیپ‌ها فاصله زیادی از ژنوتیپ ایده‌آل داشتند و در نمودار بای‌پلات در نواحی دورتر از مرکز دوایر متحدالمرکز قرار گرفتند که نشان‌دهنده داده‌های صفات پایین‌تر و پایداری ضعیف‌تر این ژنوتیپ‌ها در شرایط غرقاب است.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

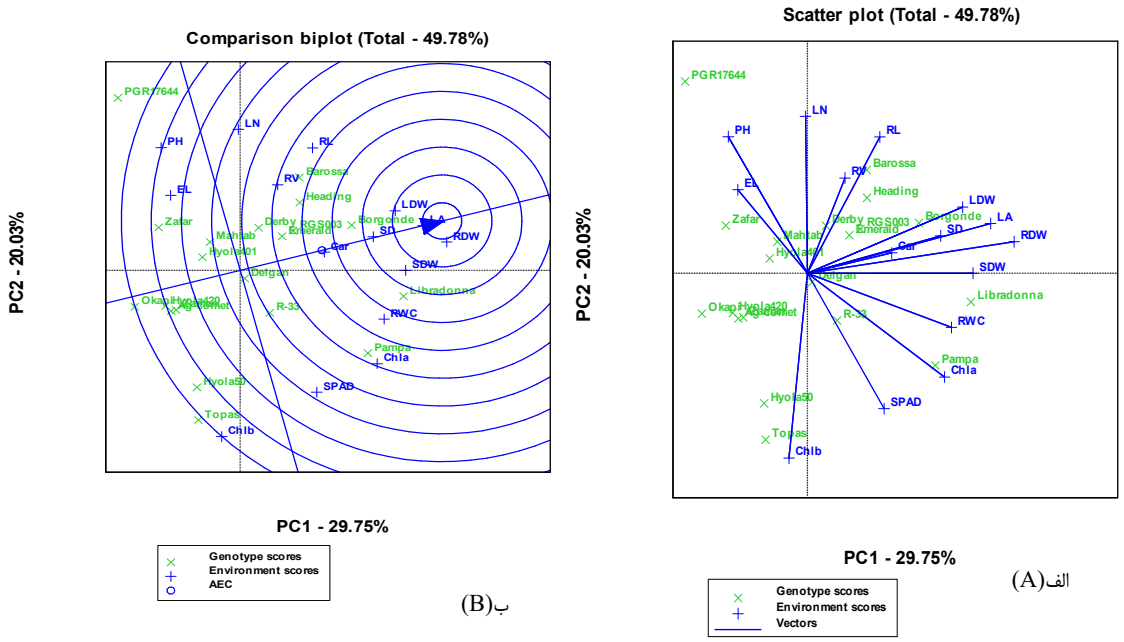


شکل ۵- نمودار بای‌پلات تنش غرقاب متوسط(الف-ب). صفات شامل EL: نشت الکترولیت، RWC: محتوای نسبی آب، SD: قطر ساقه، PH: ارتفاع بوته، LN: تعداد برگ، LDW: وزن خشک برگ، RDW: وزن خشک ریشه، SDW: وزن خشک ساقه، RL: طول ریشه، RV: حجم ریشه، LA: سطح برگ، SPAD: عدد کلروفیل‌متر، Chl*a*: کلروفیل a، Chl*b*: کلروفیل b، Car: کاروتنوئید

Figure 5. The moderate flooding stress biplot (A-B). Traits include EL: Electrolyte Leakage, RWC: Relative Water Content, SD: Stem Diameter, PH: Plant Height, LN: Leaf Number, LDW: Leaf Dry Weight, RDW: Root Dry Weight, SDW: Stem Dry Weight, RL: Root Length, RV: Root Volume, LA: Leaf Area, SPAD: Chlorophyll Meter Reading, Chl*a*: Chlorophyll a, Chl*b*: Chlorophyll b, Car: Carotenoid.

نتایج تجزیه GGE بای‌پلات در شرایط غرقاب شدید (۱۶ روز) نشان دادند که مؤلفه‌های اصلی به‌ترتیب ۲۹/۵۷ و ۲۰/۰۳ درصد از کل واریانس موجود را تبیین کردند و مجموعاً ۴۹/۷۸ درصد از کل تغییرات را توضیح می‌دهند (شکل ۶- الف). این مقدار نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه این دو مؤلفه در تجزیه‌وتحلیل و تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک است. در تجزیه بای‌پلات سطح غرقاب ۱۶ روز، صفات تأثیرگذار شامل وزن خشک (ساقه، ریشه و برگ)، سطح برگ، قطر ساقه، طول و حجم ریشه بودند. در این میان، سه صفت اول یعنی وزن خشک ریشه، سطح برگ و وزن خشک برگ بیشترین تأثیر را در تمایز ژنوتیپ‌ها داشتند و به‌طور معنی‌داری در تفکیک آن‌ها نقش ایفا کردند. (شکل ۶- ب). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه‌وتحلیل نمودار بای‌پلات مقایسه‌ای در شرایط غرقاب شدید، ژنوتیپ‌های بورگوندی و لیبرادونا از لحاظ صفات مذکور بهترین عملکرد را نشان دادند. این یافته‌ها اهمیت توانایی حفظ زیست‌توده و استمرار عملکرد فتوسنتزی در مواجهه با تنش طولانی‌مدت غرقاب را نشان می‌دهند (Pan *et al.*, 2021). نتایج پژوهش‌ها بیان می‌کنند که مقاومت به غرقاب شدید با توسعه حجم ریشه و حفظ ساختار سطح برگ مرتبط است که منجر به بهبود تبادل گازی و کاهش هیپوکسی می‌شود (Zhang *et al.*, 2023). در مقابل، ضعیف‌ترین ژنوتیپ‌ها شامل توپاس و پی‌جی‌ار بودند که در مقایسه با این دو ژنوتیپ، فاصله بیشتری از ژنوتیپ ایده‌آل داشتند و در نمودار بای‌پلات در نواحی دورتر از مرکز دوایر متحدالمرکز قرار گرفتند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]



شکل ۶- نمودار بای‌پلات تنش غرقاب شدید (الف-ب). صفات شامل EL: نشت الکترولیت، RWC: محتوای نسبی آب، SD: قطر ساقه، PH: ارتفاع بوته، LN: تعداد برگ، LDW: وزن خشک برگ، RDW: وزن خشک ریشه، SDW: وزن خشک ساقه، RL: طول ریشه، RV: حجم ریشه، LA: سطح برگ، SPAD: عدد کلروفیل‌متر، Chl*a*: کلروفیل a، Chl*b*: کلروفیل b، Car: کاروتنوئید

Figure 6. The severe flooding stress biplot (A-B). Traits include EL: Electrolyte Leakage, RWC: Relative Water Content, SD: Stem Diameter, PH: Plant Height, LN: Leaf Number, LDW: Leaf Dry Weight, SDW: Stem Dry Weight, RDW: Root Dry Weight, RL: Root Length, RV: Root Volume, LA: Leaf Area, SPAD: Chlorophyll Meter Reading, Chl*a*: Chlorophyll *a*, Chl*b*: Chlorophyll *b*, Car: Carotenoid.

برای بررسی ارتباط بین صفات مختلف گیاه کلزا و وزن خشک برگ تحت سطوح مختلف غرقاب، ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. نتایج همبستگی نشان می‌دهند که برخی صفات ساختاری نقش مهمی در مقاومت گیاه به تنش غرقاب دارند. درمیان صفات مورد بررسی، قطر ساقه، وزن خشک ساقه، سطح برگ و وزن خشک ریشه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن خشک برگ بودند. در سطح تنش غرقاب متوسط، بیشترین همبستگی مربوط به قطر ساقه، وزن خشک ریشه و ساقه به‌ترتیب با ($r=۰/۷۲^{**}$)، ($r=۰/۷۱^{**}$) و ($r=۰/۶۵^{**}$) مشاهده شد. همچنین در شرایط غرقاب شدید، وزن خشک ریشه ($r=۰/۷۳^{**}$) و سطح برگ ($r=۰/۵۸^{**}$) بیشترین ضریب همبستگی را با وزن خشک نشان دادند. بر اساس نتایج، صفات ساختاری نظیر قطر ساقه، سطح برگ و وزن خشک ریشه می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های مؤثر در مقاومت به غرقاب مورد استفاده قرار گیرند. در مقابل، صفاتی نظیر ارتفاع بوته، کلروفیل *b* و نشت الکترولیت فاقد همبستگی معنی‌داری با وزن خشک برگ بودند و در برخی موارد، به‌ویژه تحت شرایط غرقاب متوسط و شدید، همبستگی منفی نیز از خود نشان دادند (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- همبستگی بین وزن خشک برگ با برخی صفات مورفوفیزیولوژیک کلزا در سطوح مختلف غرقاب (n = 20)

Table 10. Correlation coefficients between leaf dry weight and some morphophysiological traits of canola under different flooding levels (n = 20)

غرقاب شدید Severe flooding	غرقاب متوسط Moderate flooding	بدون غرقاب No Flooding	متغیر Parameter
0.51*	0.72**	0.59**	قطر ساقه (Stem diameter)
0.27	0.49*	0.43	طول ریشه (Root length)
0.23	0.20	0.29	حجم ریشه (Root volume)
0.16	-0.12	0.11	ارتفاع بوته (Plant height)
-0.03	0.38*	0.19	تعداد برگ (Leaf number)
0.55*	0.65**	0.55*	وزن خشک ساقه (Stem dry weight)
0.73**	0.71**	0.53*	وزن خشک ریشه (Root dry weight)
0.58**	0.50*	0.44	سطح برگ (Leaf area)
-0.14	0.36*	0.12	عدد اسپد (SPAD reading)
0.11	0.48*	0.28	کلروفیل a (Chlorophyll *a*)
-0.26	-0.02	-0.14	کلروفیل b (Chlorophyll *b*)
0.21	0.46*	0.55*	کاروتنوئید (Carotenoid)
0.30	0.40*	0.31	محتوای نسبی آب (Relative water content)
-0.15	-0.05	0.52*	نشت الکترولیت (Electrolyte leakage)

ns، * و ** به‌ترتیب، غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, * and ** Non-significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]
[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

نتیجه‌گیری کلی

درمجموع، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تنش غرقاب تأثیر منفی برصفات اندازه‌گیری شده در ژنوتیپ‌های مختلف جنس براسیکا داشت. تنش غرقاب موجب افزایش میزان نشت الکترولیت، کاهش محتوای نسبی آب، میزان کلروفیل و وزن خشک اندام‌ها گردید. همچنین، تنوع قابل‌ملاحظه‌ای بین گونه‌های جنس براسیکا از نظر صفات مورفوفیزیولوژیک و تحمل به تنش غرقاب وجود دارد که می‌توان از ژنوتیپ‌های برتر در اصلاح نباتات به‌منظور افزایش تحمل ارقام کلزا استفاده کرد. بررسی روابط بین صفات مورفوفیزیولوژیکی امکان شناسایی بهترین ژنوتیپ‌ها را بر اساس این داده‌ها فراهم ساخت. با توجه به نتایج تجزیه گرافیکی بای‌پلات، سه صفت وزن خشک برگ، سطح برگ و وزن خشک ریشه به‌عنوان نشانگرهای مورفوفیزیولوژیکی برای شناسایی لاین‌های متحمل به تنش غرقاب شناسایی شدند. با توجه به این که در انتخاب ژنوتیپ‌های برتر برای محیط‌های مختلف علاوه‌بر عملکرد صفات، پایداری نیز حائز اهمیت است، ژنوتیپ‌های بورگوندی از گونه *B. junce* و لیبرادونا از گونه *B. napus* به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش غرقاب و ژنوتیپ‌های توپاس از گونه *B. napus* و پی‌جی‌ار از گونه *B. rapa* به‌عنوان ژنوتیپ حساس برای مطالعات و پژوهش‌های تکمیلی پیشنهاد می‌شوند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی مازندران انجام شده است که به‌این‌وسیله قدردانی می‌گردد.

References

Ahmadi Malek, A., & Kashani Farhangian, M. (2010). Effects of waterlogging stress on morphological parameters of pepper plants. *Journal of Plant Physiology*, *167*(3), 201–2089. [In Persian]

Ahmadi, B., Shirani Rad, A. H., & Khorgami, A. (2014). The effect of plant population densities and cultivars on forage yield, qualitative traits, and growth indices in canola forage (*Brassica napus* L.). *European Journal of Zoological Research*, 3, 62-70.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research, 6*(9), 2026-2032. https://doi.org/10.5897/AJAR10.027

Babaeian, M., Kheirkhah, M., Ghorbanzadeh, M., & Jafarian, M. (2021). Environmental hazards and energy flow in rapeseed agroecosystem: Case study: North Khorasan. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 31*(4), 325-339. https://doi.org/20.1001.1.24764310.1400.31.4.21.5 [In Persian].

Bange, M. P., Milroy, S. P., & Thongbai, P. (2004). Growth and yield of cotton in response to waterlogging. *Journal of Field Crops Research*, 88, 129–142. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.12.002

Emamian Tabarestani, M., Pirdashti, H. A., Tajik Ganbari, M. A., & Sadeghzadeh, F. (2019). Quantification of the effect of symbiosis with *Piriformospora indica* and *Trichoderma longibrachiatum* on some growth and physiological traits of canola under lead stress. *Journal of Field Crop Production*, *12*(3), 139-156. [in Persian]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1398.12.3.9.1

Faraji, A. (2015). Leaf area development in canola (*Brassica napus L.*) and its relation with seed yield under rainfed and supplemental irrigation conditions. *Yasouj University Journal of Agricultural Sciences*, *1*(2), 13-25. [In Persian]

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *Rapeseed - Production (tonnes)*. FAO. Retrieved March 23, 2025, from https://ourworldindata.org/agricultural-production

Foroughi, L., & Galeshi, S. A. (2007). Evaluation of morphological and physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under waterlogging stress conditions and their relationship with grain yield. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *15*(3), 831-846. https://doi.org/10.22077/escs.2022.3084.1792

Ghanbari, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Zand, E. (2019). Evaluation of morphological and physiological traits of canola cultivars under non-stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing, 8*(2), 115–130. https://doi.org/10.22067/jcpp.v8i2.77086 [In Persian].

Ghasem Beigi, T., Majidian, P., Rameh, V. A., Gharami, M., & Masoudi, B. (2020). The management of sulfur application on some morphological traits and yield of the promising line L17 of rapeseed. *Journal of Crop Plant Improvement*, *12*(36), 205-215 http://dx.doi.org/10.52547/jcb.12.36.205 [In Persian]

Ghazi, R., Nejad Sadeghi, L., Mahdi Khanlu, K., & Nabati Ahmadi, D. (2022). Evaluation of three commercial sugarcane varieties for tolerance to waterlogging stress at early growth stages in greenhouse conditions. *Journal of Crop Breeding (Eslahe Giyahan)*, *14*(42), 197–210. https://doi.org/10.52547/jcb.14.42.197. [In Persian]

Gomathi, R., Gururaja Rao, P. N., Chandran, K., & Selvi, A. (2015). Adaptive responses of sugarcane to waterlogging stress: An overview. *Sugar Tech*, *17*(4), 325–338. http://dx.doi.org/10.1007/s12355-014-0319-0

Gómez, J. D., & Franco, J. A. (2017). Photosystem II fluorescence and growth in cabbage plants (*Brassica oleracea* var. Capitata) grown under waterlogging stress. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica,* 20(2), 321–328. https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.390

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

Harirforoush, M., Besharati, H., & Pirdashti, H. (2019). Effect of potassium nitrate and putrescine on some growth characteristics of rapeseed under waterlogging stress. *Journal of Iranian Society for Plant Physiology, 9*(4), 2923–2932.

Hong, B., Zhou, B., Zhao, D., Liao, L., Chang, T., Wu, X., Wu, J., Yao, M., Chen, H., Mao, J., Guan, C., & Guan, M. (2024). Yield, cell structure and physiological and biochemical characteristics of rapeseed under waterlogging stress. *BMC Plant Biology, 24*, Article 941. https://doi.org/10.1186/s12870-024-04175-5

Imantalab, A., Hazrati, S., & Pasban Islam, B. (2024). Evaluation of morphological and physiological traits in some promising rapeseed genotypes under saline soils. *Journal of Crop Breeding*, 14, 118–135. https://doi.org/10.22092/cbj.2024.364910.1087. [In Persian]

Khadempir, M., Galeshi, S. A., Soltani, E., Qadari Far, F., & Mazlumi, M. (2014). The effect of temperature and waterlogging on growth and physiological activities of canola seedlings. *Scientific Journal of Agricultural Plant Physiology*, *6*(22), 69-88 https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008403.1393.6.22.5.7 [In Persian]

Kuai, J. X., Xie, Y., Li, Z., Wang, B., & Zhou, G. (2020). Leaf characteristics at recovery stage affect seed oil and protein content under the interactive effects of nitrogen and waterlogging in rapeseed. *Agriculture Journal*, *10*(6), 207. https://doi.org/10.3390/agriculture10060207

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry,* 1(1), F4.3.1-F4.3.8. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany, 46*(12), 1843–1852. https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843

Manghwar, H., Hussain, A., Alam, I., Khoso, M. A., Ali, Q., & Liu, F. (2024). Waterlogging stress in plants: Unraveling the mechanisms and impacts on growth, development, and productivity. *Environmental and Experimental Botany, 212*, 105824. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105824

Moradbeigi, L. (2020). Investigating the effect of sowing date, irrigation, and autumn varieties of canola on yield and oil-related traits under drought stress conditions (Ph.D. dissertation). Shahrood University of Technology, Agricultural Engineering [In Persian]

Moradbeigi, L., Gholami, A., Shirani-Rad, A. H., Abbasdokht, H., & Asghari, H. R. (2019). Effect of drought stress and delayed cultivation on grain yield, oil yield, and fatty acids composition in canola. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *23*(2), 135–151 [In Persian]

Mo'tamedi, M., & Bani Saeedi, A. (2022). Evaluation of yield, some physiological characteristics, and drought tolerance of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) in Khuzestan province. *Plant Production Science*, *12*(1), 153–171. https://doi.org/10.2./jpps.2023.702374 [In Persian]

Nateghi, P., Hosseinzadeh, A., & MirAhmadi, M. (2019). The effect of sowing date on ecophysiological traits of new canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology*, *11*(1), 261-276.

Nath, U. K., Kim, H. T., Khatun, K., Park, J. I., Kang, K. K., & Nou, I. S. (2016). Modification of fatty acid profiles of rapeseed (*Brassica napus L.*) oil for using as food, industrial feedstock, and biodiesel. *Plant Breeding and Biotechnology*, *4*(2), 123-134. https://doi.org/10.9787/PBB.2016.4.2.123

Nooryazdan, H. (2024). Evaluation of grain yield of some wheat cultivars using drought tolerance indices. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, *3*(2), 325–345. https://doi.org/10.22126/cbb.2024.11052.1081 [In Persian]

Olorunwa, O. J., Adhikari, B., Brazel, S., Bheemanahalli, R., Barickman, T. C., & Reddy, K. R. (2023). Waterlogging stress reduces cowpea (*Vigna unguiculata* L.) genotypes growth, seed yield, and quality at different growth stages: Implications for developing tolerant cultivars under field conditions. *Agricultural Water Management*, 290, 108336. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108336

Pan, J., Sharif, R., Xu, X., & Chen, X. (2021). Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. *Frontiers in Plant Science, 11*, 627331. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331

Raboanatahiry, N., Li, H., Yu, L., & Li, M. (2021). Rapeseed (*Brassica napus*): Processing, utilization, and genetic improvement. *Agronomy*, *11*(9), 1776. https://doi.org/10.3390/agronomy11091776

Ren, B., Zhang, J., Li, X., Fan, X., Dong, S., Liu, P., & Zhao, B. (2014). Effects of waterlogging on the yield and growth of summer maize under field conditions. *Canadian Journal of Plant Science, 94*(1), 23–31. https://doi.org/10.4141/cjps2013-175

Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Holaday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*(1), 105-111. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x

Rosouli, F., Galashi, S. A., Pirdashti, H. A., & Zinli, A. (2011). The effect of waterlogging stress on root and shoot growth in canola (*Brassica napus L.*). *First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Agriculture*, 6 pp [In Persian]

SadrAbadi Haghighi, R. (2023). The effect of different levels of bentonite sulfur on the yield and yield components of canola. *Iranian Agricultural Research*, *10*(4), 781-788 https://doi.org/10.22067/gsc.v10i4.20389 [In Persian]

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]

Sajid, H., Mustafa, A., Niamat, B., Ahmad, Z., Yaseen, M., Kamran, M., Rafique, M., Ahmar, S., & Chen, J. T. (2020). Alleviation of salinity-induced oxidative stress, improvement in growth, physiology, and mineral nutrition of canola (*Brassica napus* L.) through calcium-fortified composted animal manure. *Sustainability*, *12*(1), 1-17. https://doi.org/10.3390/su12010017

Sharma, S., Sharma, J., Soni, V., Kalaji, H. M., & Elsheery, N. I. (2021). Waterlogging tolerance: A review on regulative morpho-physiological homeostasis of crop plants. *Journal of Water and Land Development*, *49*(IV-VI), 16–28. https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137092

Silva-Pérez, V., De Faveri, J., Molero, G., Deery, D. M., Condon, A. G., Reynolds, M. P., Evans, J. R., & Furbank, R. T. (2020). Genetic variation for photosynthetic capacity and efficiency in spring wheat. *Journal of Experimental Botany*, *71*(7), 2299–2311. https://doi.org/10.1093/jxb/erz439

Xu, M., Ma, H., Zeng, L., Cheng, Y., Lu, G., Xu, J., Zhang, X., & Zou, X. (2015). The effect of waterlogging on yield and seed quality at the early flowering stage in *Brassica napus* L. *Field Crops Research, 180,* 238-245. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.06.007

Yan, W., & Kang, M. S. (2002). GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. *CRC Press*.

Zhang, H., Irving, L. J., McGill, C., Matthew, C., Zhou, D., & Kemp, P. (2016). The effects of salinity and osmotic stress on Brassica napus physiology and yield. *Plant and Soil, 407*(1–2), 285–301. https://doi.org/10.1007/s11104-016-2939-3

Zhang, X., Jia, Q., Jia, X., Li, J., Sun, X., Min, L., Liu, Z., Ma, W., & Zhao, J. (2025). Brassica vegetables—an undervalued nutritional goldmine. *Horticulture Research, 12*(2), uhae302. https://doi.org/10.1093/hr/uhae302

Zhang, Y., Chen, X., Geng, S., & Zhang, X. (2023). A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. *Environmental and Experimental Botany*, *201*, Article 105074. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105074

Zhu, B., Yu, J., & Shi, H. (2023). Effects of waterlogging stress on rapeseed yield, oil content, fatty acid composition, and transcriptome differences. *Plant Growth Regulation*, *101,* 769–779. http://dx.doi.org/10.1007/s10725-023-01055-4

Zia, R., Nawaz, M. S., Siddique, M. J., Hakim, S., & Imran, A. (2020). Plant survival under drought stress: Implications, adaptive responses, and integrated rhizosphere management strategy for stress mitigation. *Microbiological Research*, *239,* 126626. https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126626

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.61882/jcb.2026.1617]