ISSN: 3041-9638[1]
https://jrpsm.asnrukh.ac.ir/

Open Access
Research Article

Distribution of Bioactive Compounds in Different Organs of Caper (*Capparis spinosa* L.) and Their Changes during Fruit Ripening in the Beyza Population, Fars Province

S. Mohtashami [1], A. Ghani [1] and H. Ehteshami[2]

[1]Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Jahrom University, Jahrom, Iran.
[2]Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Received: 30 Jun 2026 **Accepted: 11 Oct 2026** **Published: 11 Oct 2026**

Corresponding Author:
Saeideh Mohtashami

Email:
s.mohtashami@jahromu.ac.ir

Keywords:
Antioxidant activity; Fruit ripening; Medicinal plants; Phenolic compounds; Secondary metabolites.

Citation:
Mohtashami, S., Ghani, A., & Ehteshami, H. (2026). Distribution of Bioactive Compounds in Different Organs of Caper (*Capparis spinosa* L.) and Their Changes during Fruit Ripening in the Beyza Population, Fars Province. *Journal of Research in Plant Metabolites*, 3(4), 63-78.

Doi:10.22034/jrpsm.2026.594699.1130

Extended Abstract

Background and Objectives: Caper (*Capparis spinosa* L.) is one of the most important medicinal plants of arid and semi-arid regions and has attracted considerable attention in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries due to its wide range of bioactive compounds. Despite the importance of this species, information regarding the distribution of biochemical and phytochemical compounds among different plant organs and at various stages of fruit ripening remains limited in many natural habitats of Iran, including Beyza County. Therefore, the present study was conducted to compare the biochemical and phytochemical characteristics of leaves, flower buds, flowers, peduncles, and fruits at three developmental stages (unripe, semi-ripe, and fully ripe) in order to identify the most suitable plant organ for pharmaceutical and industrial applications.

Materials and Methods: Plant samples were collected from a natural population located in Beyza County, Fars Province, during the flowering and fruiting seasons. The experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with seven categories, including leaves, flower buds, fully opened flowers, peduncles, unripe fruits, semi-ripe fruits, and fully ripe fruits, with three replicates. After drying the samples and preparing 70% methanolic extracts, antioxidant activity was evaluated using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) free radical scavenging assay. Total phenolic content was determined using the Folin–Ciocalteu reagent, and the results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of dry weight (mg GAE g^{-1} DW). Total flavonoids as well as flavones and flavonols were determined by the aluminum chloride colorimetric method using quercetin as the standard. Total tannin content was measured using the vanillin–hydrochloric acid colorimetric assay, and the results were expressed as milligrams of catechin equivalents per gram of dry weight (mg CE g^{-1} DW). Total carbohydrate content was determined by the anthrone colorimetric method using glucose as the standard. After verification of the statistical assumptions, the data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and treatment means were compared using Tukey's test at the 1% probability level. Pearson's correlation analysis was performed to evaluate the relationships among the measured traits, while cluster analysis based on Euclidean distance and standardized data was used to determine the similarity among the investigated plant organs.

Results: Analysis of variance revealed significant differences among the investigated organs for all measured traits at the 1% probability level. The highest antioxidant activity (90.20%) was observed in flower buds, whereas leaves contained the highest total phenolic content (17.74 mg GAE g^{-1} DW), total flavonoid content (23.97 mg QE g^{-1} DW), and flavones and flavonols (5.95 mg QE g^{-1} DW). The highest tannin content was recorded in flowers (1.19 mg CE g^{-1} DW), leaves (1.15 mg CE g^{-1} DW), and fully ripe fruits (1.10 mg CE g^{-1} DW), with no significant differences among these organs. In contrast, fully ripe fruits exhibited the highest carbohydrate content (302.67 mg glucose g^{-1} DW). During fruit ripening, carbohydrate content increased progressively, whereas most phenolic compounds showed a decreasing trend. Correlation analysis revealed significant positive relationships between antioxidant activity and total flavonoids, flavones and flavonols, and total phenolic content. Likewise, total phenolic content showed a very strong positive correlation with total flavonoids, and total flavonoids were strongly correlated with flavones and flavonols. In contrast, carbohydrate content exhibited significant negative correlations with both total phenolic content and total flavonoids. Cluster analysis classified the investigated organs into distinct groups according to their biochemical and phytochemical characteristics and clearly separated vegetative and reproductive organs from fruits at different ripening stages.

Conclusion: The results of this study demonstrated that plant organ and developmental stage play decisive roles in the accumulation of primary and secondary metabolites in caper. Flowers, leaves, and flower buds, owing to their high contents of phenolic compounds, flavonoids, and antioxidant activity, represent the most suitable organs for the extraction of bioactive compounds and their utilization in pharmaceutical, food, and cosmetic industries. In contrast, fully ripe fruits were superior in terms of carbohydrate accumulation. These findings provide a valuable scientific basis for selecting the appropriate plant organ and optimum harvesting stage to maximize the utilization of this valuable medicinal species.

© 2025 The Author(s). Published by Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. 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.

شماره شاپا: ۹۶۳۸-۳۰۴۱

دسترسی رایگان

مقاله پژوهشی

توزیع ترکیبات زیست‌فعال در اندام‌های مختلف گیاه کَبَر (*Capparis spinosa* L.) و تغییرات آن‌ها در طی رسیدگی میوه در جمعیت شهرستان بیضا، استان فارس

سعیده محتشمی،[۱] عسکر غنی[۱] و حسین احتشامی[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران.

[۲] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۱۹

نویسنده مسئول:
سعیده محتشمی

ایمیل:
s.mohtashami@jahromu.ac.ir

واژه های کلیدی: ترکیبات فنلی، رسیدگی میوه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گیاهان دارویی، متابولیت‌های ثانویه.

نحوه استناد:
محتشمی، س.، غنی، ع.، احتشامی، ح. (۱۴۰۵). توزیع ترکیبات زیست‌فعال در اندام‌های مختلف گیاه کَبَر (*Capparis spinosa* L.) و تغییرات آن‌ها در طی رسیدگی میوه در جمعیت شهرستان بیضا، استان فارس. مجله پژوهش در متابولیت‌های گیاهی، دوره۴، شماره ۳، صفحات: ۶۳-۷۸.
Doi:10.22034/jrpsm.2026.594699.1130

چکیده

سابقه و هدف: کبر (*Capparis spinosa* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به دلیل دارا بودن طیف گسترده‌ای از ترکیبات زیست‌فعال، از جایگاه ویژه‌ای در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی-بهداشتی برخوردار است. با وجود اهمیت این گونه، اطلاعات مربوط به نحوه توزیع ترکیبات بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی در اندام‌های مختلف و مراحل گوناگون رسیدگی میوه در بسیاری از رویشگاه‌های ایران، از جمله شهرستان بیضا، محدود است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف مقایسه ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی برگ، غنچه، گل، دمگل و میوه در سه مرحله نارس، نیمه‌رسیده و کاملاً رسیده، به‌منظور شناسایی مناسب‌ترین اندام برای بهره‌برداری دارویی و صنعتی انجام شد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های گیاه کبر از یک جمعیت طبیعی واقع در شهرستان بیضا، استان فارس، طی فصل گلدهی و میوه‌دهی جمع‌آوری شدند. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هفت سطح شامل برگ، غنچه، گل کامل، دمگل، میوه نارس، میوه نیمه‌رسیده و میوه کاملاً رسیده و سه تکرار اجرا شد. پس از خشک‌کردن نمونه‌ها و تهیه عصاره متانولی ۷۰ در صد، ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها، با استفاده از آزمون مهار کردن رادیکال‌های آزاد با استفاده از DPPH انجام شد. میزان ترکیبات فنلی کل با استفاده از معرف فولین–سیوکالتئو انجام شد و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل گالیک اسید در هر گرم وزن خشک نمونه اندازه‌گیری شد. تعیین مقادیر فلاون‌ها و فلاونول‌ها و فلاونوئیدها بر اساس روش رنگ سنجی با استفاده از معرف کلرید آلومینیوم انجام شد و از کوئرستین به عنوان استاندارد استفاده گردید. تعیین محتوای تانن کل، با استفاده از روش رنگ‌سنجی مبتنی بر معرف وانیلین ــ اسیدکلریدریک انجام شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل کاتکین در هر گرم وزن خشک نمونه گزارش گردید. مقدار کربوهیدرات کل، بر اساس روش رنگ سنجی با استفاده از معرف آنترون و گلوکز خالص به عنوان استاندارد اندازه‌گیری شد. داده‌ها پس از بررسی پیش‌فرض‌های آماری با تجزیه واریانس مورد ارزیابی قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین، برای بررسی روابط بین صفات از ضریب همبستگی پیرسون و برای تعیین میزان شباهت اندام‌های مختلف از تجزیه خوشه‌ای بر اساس فاصله اقلیدسی و داده‌های استانداردشده استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین اندام‌های مختلف از نظر تمامی صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۹۰/۲۰ درصد) در غنچه مشاهده شد، در حالی که برگ دارای بیشترین میزان ترکیبات فنلی کل (۱۷/۷۴ میلی‌گرم معادل اسید گالیک در گرم وزن خشک)، فلاونوئید کل (۲۳/۹۷ میلی‌گرم معادل کوئرستین در گرم وزن خشک) و فلاون‌ها و فلاونول‌ها (۵/۹۵ میلی‌گرم معادل کوئرستین در گرم وزن خشک) بود. بیشترین مقدار تانن در گل (۱/۱۹ میلی‌گرم معادل کاتچین در گرم وزن خشک)، برگ (۱/۱۵ میلی‌گرم معادل کاتچین در گرم وزن خشک) و میوه کاملا رسیده (۱/۱۰ میلی‌گرم معادل کاتچین در گرم وزن خشک) به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. در مقابل، میوه کاملاً رسیده بیشترین مقدار کربوهیدرات (۳۰۲/۶۷ میلی‌گرم معادل گلوکز در گرم وزن خشک) را نشان داد و طی فرآیند رسیدگی، مقدار کربوهیدرات روندی افزایشی و اغلب ترکیبات فنلی روندی کاهشی داشتند. نتایج تحلیل همبستگی بیانگر وجود ارتباط مثبت و معنی‌دار بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فلاونوئید کل، فلاون‌ها و فلاونول‌ها و ترکیبات فنلی کل بود. همچنین، فنل کل با فلاونوئید کل و فلاونوئید کل با فلاون‌ها و فلاونول‌ها همبستگی مثبت و بسیار قوی داشتند، در حالی که کربوهیدرات با فنل کل و فلاونوئید کل همبستگی منفی و معنی‌داری نشان داد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز اندام‌های مورد بررسی را بر اساس شباهت ترکیبات بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی در گروه‌های مجزا طبقه‌بندی کرد و جدایی مشخص اندام‌های رویشی و زایشی از مراحل مختلف رسیدگی میوه را نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان داد که نوع اندام و مرحله رشد، نقش تعیین‌کننده‌ای در تجمع متابولیت‌های اولیه و ثانویه در گیاه کبر دارند. گل، برگ و غنچه به دلیل دارا بودن مقادیر بالای ترکیبات فنلی، فلاونوئیدی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مناسب‌ترین اندام‌ها برای استخراج ترکیبات زیست‌فعال و کاربرد در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی-بهداشتی هستند، در حالی که میوه کاملاً رسیده از نظر تجمع کربوهیدرات برتری دارد. این یافته‌ها می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای انتخاب اندام و زمان برداشت بهینه در بهره‌برداری از این گونه ارزشمند دارویی فراهم کند.

مقدمه

گیاهان دارویی به دلیل تولید طیف گسترده‌ای از متابولیت‌های ثانویه، یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی ترکیبات زیست‌فعال به شمار می‌روند و نقش اساسی در توسعه فرآورده‌های دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی دارند. در میان این ترکیبات، ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، فلاون‌ها، فلاونول‌ها و تانن‌ها به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا و همچنین خواص ضدالتهابی، ضدمیکروبی و محافظت‌کننده در برابر تنش اکسیداتیو، از مهم‌ترین گروه‌های متابولیت‌های ثانویه گیاهی محسوب می‌شوند (Isah, 2019; Zagoskina *et al*., 2023). این ترکیبات علاوه بر اهمیت تغذیه‌ای و دارویی برای انسان، در گیاهان نیز نقش مهمی در دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا، گیاه‌خواران و تنش‌های غیرزیستی نظیر خشکی، شوری، دمای نامناسب و تابش فرابنفش ایفا می‌کنند و در سازگاری گیاه با شرایط محیطی مشارکت دارند (Yang *et al*., 2018; Isah, 2019). همچنین، میزان سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله گونه گیاهی، ژنوتیپ، شرایط محیطی، مرحله رشد و نوع اندام قرار دارد؛ به‌گونه‌ای که اندام‌های مختلف یک گیاه می‌توانند از نظر مقدار و ترکیب این متابولیت‌ها تفاوت‌های قابل توجهی داشته باشند. ازاین‌رو، بررسی الگوی توزیع این ترکیبات در اندام‌های مختلف گیاهان دارویی، اطلاعات ارزشمندی برای انتخاب مناسب‌ترین اندام به‌منظور بهره‌برداری دارویی، غذایی و صنعتی فراهم می‌کند (Yang *et al*., 2018; Ma *et al*., 2024).

کبر (*Capparis spinosa* L.)، متعلق به تیره Capparaceae، یکی از گیاهان دارویی و خوراکی ارزشمند مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که پراکنش گسترده‌ای در حوزه مدیترانه، غرب آسیا و بخش‌های وسیعی از ایران دارد که در ایران با نام‌های مختلفی از جمله کبر، کور، لگجی، گلک و ... نیز شناخته می‌شود. این گونه به دلیل سازگاری بالا با شرایط کم‌آبی، دمای بالا و خاک‌های فقیر، به‌عنوان یکی از گیاهان مقاوم به تنش‌های محیطی شناخته می‌شود و نقش مهمی در حفاظت خاک، احیای اراضی تخریب‌شده و کشاورزی پایدار در مناطق خشک ایفا می‌کند (Sun *et al*., 2023; Mohtashami *et al*., 2026). اندام‌های مختلف این گیاه، از جمله غنچه، گل، برگ، میوه و ریشه، از دیرباز در طب سنتی برای درمان بیماری‌هایی نظیر دیابت، اختلالات کبدی، بیماری‌های التهابی، روماتیسم و برخی اختلالات گوارشی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مطالعات فیتوشیمیایی نیز نشان داده‌اند که *C. spinosa* منبع غنی ترکیبات زیست‌فعال از جمله فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک، گلوکوزینولات‌ها، آلکالوئیدها، ترپنوئیدها و پلی‌ساکاریدها است که بسیاری از فعالیت‌های زیستی این گیاه، از جمله خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضدمیکروبی، ضددیابتی و محافظت‌کننده از کبد، به حضور این ترکیبات نسبت داده می‌شود (Gull *et al*., 2015; Sun *et al*., 2023).

پژوهش‌های انجام‌شده بر *C. spinosa* نشان داده‌اند که مقدار و ترکیب متابولیت‌های ثانویه در اندام‌های مختلف این گیاه یکنواخت نیست و تحت تأثیر نوع اندام، مرحله تکوین و شرایط رویشگاه قرار می‌گیرد. در مطالعات مختلف، بیشترین توجه پژوهشگران به بررسی ترکیبات زیست‌فعال غنچه‌ها و میوه‌ها معطوف بوده است، زیرا این اندام‌ها علاوه بر مصرف خوراکی، ارزش اقتصادی و دارویی بالایی دارند. با این حال، برگ، گل و سایر اندام‌های هوایی نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها و سایر آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی هستند و در برخی موارد حتی فعالیت زیستی بالاتری نسبت به غنچه یا میوه نشان داده‌اند (Gull *et al*., 2015; Sun *et al*., 2023). همچنین، مطالعات متعددی نشان داده‌اند که در طی رشد و رسیدگی میوه، تغییرات قابل توجهی در مقدار متابولیت‌های اولیه و ثانویه رخ می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که تجمع ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ممکن است در مراحل مختلف رشد میوه افزایش یا کاهش یابد و این تغییرات با تحولات فیزیولوژیکی و متابولیکی فرآیند رسیدگی ارتباط داشته باشد (Aichi-Yousfi *et al*., 2016; Hazrati *et al*., 2025; Mohtashami *et al*., 2026). این یافته‌ها نشان می‌دهد که نوع اندام و مرحله رشد، از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت فیتوشیمیایی گیاه کبر هستند و می‌توانند بر ارزش دارویی و کاربردهای غذایی آن تأثیر قابل توجهی داشته باشند. با وجود مطالعات متعدد درباره ترکیبات فیتوشیمیایی و خواص زیستی *C. spinosa*، هنوز اطلاعات جامعی درباره الگوی توزیع این ترکیبات در اندام‌های مختلف و مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه در جمعیت‌های طبیعی این گونه وجود ندارد. افزون بر این، از آنجا که شرایط اکولوژیک هر رویشگاه می‌تواند بر سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه تأثیرگذار باشد، بررسی جمعیت‌های مختلف این گیاه برای شناسایی اندام‌های غنی از ترکیبات زیست‌فعال و ارزیابی ارزش دارویی آن‌ها ضروری است (Yang *et al*., 2018; Annaz *et al*., 2022). از نظر فنولوژیک، کبر چرخه رشد و زادآوری خود را عمدتاً در فصل گرم و خشک سپری می‌کند و گل‌دهی و میوه‌دهی آن طی ماه‌های تابستان رخ می‌دهد. در شرایط مدیترانه شرقی، آغاز رشد رویشی از اواخر بهار گزارش شده و دوره گل‌دهی از ژوئن تا اواسط اوت و دوره میوه‌دهی از اواخر ژوئیه تا اواسط سپتامبر ادامه می‌یابد (Christodoulou et al., 2022). در جمعیت مورد مطالعه در بیضا نیز، بر اساس مشاهدات میدانی، دوره گل‌دهی طولانی بود و غنچه‌های گل، گل‌های باز و میوه‌ها در مراحل مختلف رشد و رسیدگی طی بخشی از فصل رشد به‌طور هم‌زمان بر روی بوته‌ها مشاهده شدند. این ویژگی امکان بررسی هم‌زمان الگوی تغییرات

ترکیبات بیوشیمیایی در اندام‌های مختلف و مراحل مختلف رشد میوه را فراهم کرد. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه برخی پژوهش‌ها ترکیبات فیتوشیمیایی یا فعالیت آنتی‌اکسیدانی اندام‌های مختلف *C. spinosa* را بررسی کرده‌اند، بررسی هم‌زمان و مقایسه‌ای مجموعه‌ای از صفات بیوشیمیایی در چندین اندام گیاه و در مراحل مختلف رسیدگی میوه، به‌ویژه در یک جمعیت طبیعی مشخص، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، مشخص نیست که آیا الگوی تجمع این ترکیبات در اندام‌های مختلف در طول رسیدگی میوه از الگوی مشابهی پیروی می‌کند و کدام اندام‌ها از نظر ویژگی‌های بیوشیمیایی بیشترین شباهت را به یکدیگر دارند. افزون بر این، روابط متقابل میان صفات بیوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در این مجموعه از اندام‌ها و مراحل رشد به‌طور هم‌زمان به‌خوبی مشخص نشده است. بنابراین، شکاف دانشی موجود نه‌تنها به کمبود اطلاعات درباره مقدار ترکیبات، بلکه به نبود یک تصویر یکپارچه از الگوی توزیع، تغییرات رشدی و روابط متقابل این صفات در اندام‌های مختلف یک جمعیت طبیعی مربوط می‌شود.

بر این اساس، نوآوری پژوهش حاضر در ارزیابی هم‌زمان فنل کل، فلاونوئید کل، فلاون‌ها و فلاونول‌ها، تانن، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات کل در برگ، گل، غنچه، دمگل و میوه در سه مرحله رشد میوه شامل نارس، نیمه‌رسیده و کاملاً رسیده گیاه کبر در یک جمعیت طبیعی بیضا در استان فارس و در تبیین الگوی تغییرات و توزیع این صفات در یک چارچوب مقایسه‌ای واحد است. افزون بر این، به‌کارگیری تحلیل خوشه‌ای و همبستگی امکان شناسایی گروه‌های مشابه از نظر ویژگی‌های بیوشیمیایی و تعیین روابط بین صفات اندازه‌گیری‌شده را فراهم می‌کند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف پاسخ به این پرسش انجام شد که آیا الگوی ترکیبات بیوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اندام‌های مختلف *C. spinosa* در مراحل مختلف رسیدگی میوه متفاوت است، کدام اندام‌ها غنی‌تر از ترکیبات زیست‌فعال هستند و چه روابطی میان صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده وجود دارد؟ نتایج این پژوهش می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای انتخاب مناسب‌ترین اندام گیاه کبر به‌عنوان منبع ترکیبات زیست‌فعال و بهره‌برداری هدفمند از آن در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی-بهداشتی فراهم سازد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی: نمونه مربوط به اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa* L.) طی ماه‌های خرداد و تیر، از یک جمعیت طبیعی در منطقه بیضا، استان فارس (با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۰۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۶۲۹ متر از سطح دریا) جمع‌آوری شدند. انتخاب این بازه زمانی با توجه به هم‌زمانی حضور غنچه‌های گل، گل‌های باز و میوه‌ها در مراحل مختلف رشد و رسیدگی در بوته‌های مورد مطالعه انجام شد. این گونه دارای دوره گل‌دهی طولانی و نامحدود است، به‌طوری‌که از اوایل خرداد تا اواخر شهریور، غنچه‌های گل، گل‌های باز و میوه‌ها در مراحل مختلف رشد و رسیدگی به‌طور هم‌زمان بر روی یک بوته مشاهده می‌شوند. از این‌رو، امکان نمونه‌برداری از اندام‌های مختلف گیاه و مراحل مختلف رشد میوه در یک دوره زمانی فراهم بود. براساس داده‌های هواشناسی ده سال اخیر، متوسط بارندگی سالیانه آن ۶۳۷/۶۶ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۵/۷۷ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی ۳۷/۲۰ درصد و تبخیر کل سالیانه ۱۶۳۹/۷۱ میلی‌متر می‌باشد.

پس از بررسی رویشگاه‌های طبیعی منطقه، یک رویشگاه با تراکم مناسب بوته‌های کبر برای نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌برداری در اواخر خردادماه و اوایل تیرماه و در ساعات عصر انجام شد. در زمان برداشت، شرایط جوی منطقه غالباً آفتابی بود. تلاش شد نمونه‌برداری در ساعات مشابه روز انجام شود تا تغییرات روزانه احتمالی در ترکیبات فیتوشیمیایی تا حد امکان کاهش یابد. شناسایی گونه توسط آقای احمد حاتمی، متخصص رده‌بندی گیاهی، تأیید شد. نمونه‌های هرباریومی تهیه‌شده از گیاه مورد مطالعه نیز در هرباریوم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران با کد هر باریومی ۳۸۴۲ نگهداری شدند. برای نمونه‌برداری، ۱۵ بوته سالم، بالغ و دارای شرایط رویشی مشابه که در شعاع تقریبی ۱۰۰ متر از یکدیگر قرار داشتند، به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. سپس بوته‌ها به سه گروه پنج‌تایی تقسیم شدند و نمونه‌های برداشت شده از پنج بوته هر گروه با یکدیگر مخلوط شدند تا یک نمونه مرکب به‌عنوان یک تکرار زیستی تشکیل شود. در مجموع، برای هر اندام گیاهی سه تکرار زیستی در نظر گرفته شد. نمونه‌های برگ (Leaf)، گل (Flower)، غنچه (Flower bud)، دمگل (Pedicel) و میوه نارس (Immature fruit) به‌طور هم‌زمان از همان ۱۵ بوته در اواخر خردادماه برداشت شدند. میوه‌های نیمه‌رسیده (Semi-ripe fruit) و کاملاً رسیده (Ripe fruit) نیز از همان بوته‌ها و در دو نوبت نمونه‌برداری متوالی جمع‌آوری شدند؛ به‌طوری که برداشت دوم حدود ۱۰ روز پس از نمونه‌برداری اولیه و در اوایل تیرماه انجام شد تا میوه‌ها به مراحل پیشرفته‌تر رسیدگی رسیده باشند. بلافاصله پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، اندام‌های مختلف از یکدیگر تفکیک شدند. نمونه‌های برگ، گل و دمگل به‌مدت سه روز و نمونه‌های میوه به‌مدت هفت روز در شرایط کنترل‌شده و در دمای محیط (۲ ± ۳۰ درجه سانتی‌گراد) خشک شدند. این دمای ملایم با هدف کاهش تدریجی رطوبت نمونه‌ها و جلوگیری از قرار گرفتن آن‌ها در معرض دماهای بالاتر انتخاب شد. شواهد موجود

نشان می‌دهد که اثر دمای خشک‌کردن بر ترکیبات فیتوشیمیایی به نوع ترکیب و گونه گیاهی وابسته است و نمی‌توان یک دمای مشخص را به‌عنوان آستانه تخریب برای همه ترکیبات در نظر گرفت. در یک مرور جامع، دامنه‌های مناسب خشک‌کردن برای حفظ ترکیبات مختلف متفاوت گزارش شده و برای پلی‌فنول ها و فلاونوئید ها به‌ترتیب حدود ۵۵–۶۰ و ۶۰–۷۰ درجه سانتی‌گراد و برای ترکیبات فرّار حدود ۴۰–۵۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (ElGamal et al., 2023). همچنین، مطالعات تجربی نشان داده‌اند که دماهای ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌توانند برای خشک‌کردن گیاهان دارویی و حفظ ترکیبات زیست‌فعال مناسب باشند (Lee et al., 2025; Mohtashami et al., 2012). بنابراین، دمای ۲ ± ۳۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده در پژوهش حاضر، به‌عنوان یک شرایط خشک‌کردن ملایم، دمایی بالا برای تخریب حرارتی ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی محسوب نمی شود، هرچند اثر شرایط خشک‌کردن بر پایداری ترکیبات فیتوشیمیایی به‌طور کامل مستقل از زمان خشک‌کردن و سایر شرایط محیطی نیست. به‌منظور تسریع فرآیند خشک شدن و جلوگیری از رشد عوامل قارچی، میوه‌ها پیش از خشک کردن به‌صورت طولی به چهار قسمت تقسیم شدند. در پایان، نمونه‌های خشک‌شده در کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌دار و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام استخراج و اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی نگهداری شدند.

استخراج ترکیبات زیست‌فعال: به‌منظور انجام آزمون های بیوشیمیایی، نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن تا رسیدن به رطوبت نهایی حدود ۱۰ درصد آماده سازی شدند. سپس، نمونه‌های خشک با استفاده از آسیاب برقی به پودری یکنواخت تبدیل شدند. برای تهیه عصاره، مقدار ۵ گرم از پودر هر اندام گیاهی با ۵۰ میلی‌لیتر متانول ۷۰ درصد (w/v) مخلوط شد؛ به‌گونه‌ای که نسبت حلال به نمونه ۱۰ میلی‌لیتر بر گرم ($10 mL\ g^{-1}$) بود. مخلوط حاصل به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط و بر روی شیکر دورانی با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد تا استخراج ترکیبات زیست‌فعال به‌طور مؤثر انجام گیرد. پس از اتمام فرایند استخراج، نمونه‌ها به‌مدت ۱۵ دقیقه در سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و محلول رویی به‌عنوان عصاره خام جمع‌آوری شد. عصاره‌های حاصل تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Ghani *et al.*, 2022). برای هر یک از اندام‌های مورد مطالعه، سه عصاره مستقل متناظر با سه تکرار زیستی تهیه شد و تمامی ارزیابی‌های بیوشیمیایی شامل اندازه‌گیری فنل کل، فلاونوئید کل، فلاون‌ها و فلاونول‌ها، تانن، کربوهیدرات کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بر پایه همین عصاره‌های مستقل انجام گرفت.

اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل: مقدار فنل کل با استفاده از روش فولین-سیوکالتیو (Folin–Ciocalteu) و بر اساس روش Wojdyło و همکاران (2007) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین– سیوکالتیو ۵۰ درصد و دو میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گردید. پس از سه دقیقه، یک میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد به مخلوط افزوده شد و نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط و در شرایط تاریک نگهداری شدند. سپس جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار فنل کل بر اساس منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه و نتایج به صورت میلی‌گرم معادل اسید گالیک در هر گرم وزن خشک نمونه ($mg\ GAE\ g^{-1}$ DW) گزارش گردید.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی با روش DPPH: ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها بر اساس توانایی مهار رادیکال آزاد ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۵۰ میکرولیتر از عصاره هر نمونه به سه میلی‌لیتر محلول DPPHبا غلظت ۰/۰۰۴ درصد افزوده شد و مخلوط حاصل به مدت پنج ثانیه با استفاده از دستگاه ورتکس یکنواخت گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط و در شرایط تاریک نگهداری شدند. پس از پایان زمان واکنش، جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Ghani *et al.*, 2021). متانول به‌عنوان بلانک مورد استفاده قرار گرفت. درصد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

رابطه ۱: $$AOA\ (\%) = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

که در آن، A_0: جذب نوری محلول شاهد، **A1 :جذب** نوری نمونه است.

اندازه‌گیری فلاون‌ها و فلاونول‌ها: مقدار فلاون‌ها و فلاونول‌های کل بر اساس کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره با دو میلی‌لیتر متانول و ۱۰۰ میکرولیتر محلول کلرید آلومینیوم پنج درصد مخلوط شد و سپس حجم نهایی محلول با استفاده از آب مقطر به پنج میلی‌لیتر رسانده شد. پس از ۳۰ دقیقه انکوباسیون در دمای محیط، میزان جذب محلول در طول موج ۴۲۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید (Taghvaeefard *et al.*, 2021). غلظت فلاون‌ها و فلاونول‌ها بر اساس منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل کوئرستین در هر گرم وزن خشک نمونه ($mg\ QE\ g^{-1}$ DW) گزارش شد.

اندازه‌گیری فلاونوئید کل: مقدار فلاونوئید کل بر اساس تشکیل کمپلکس فلاونوئید–آلومینیوم و با استفاده از روش رنگ‌سنجی تعیین شد. در این آزمایش، کوئرستین (Sigma-Aldrich) به‌عنوان

استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۵۰ میکرولیتر محلول نیتریت سدیم پنج درصد مخلوط شد. پس از گذشت پنج دقیقه، ۳۰۰ میکرولیتر محلول کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به مخلوط افزوده شد و پس از شش دقیقه، چهار میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار به آن اضافه گردید. سپس حجم نهایی محلول با آب مقطر به ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Mohtashami *et al.*, 2021). مقدار فلاونوئید کل بر اساس منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل کوئرستین در هر گرم وزن خشک (mg QE g^{-1} DW) بیان شد.

اندازه‌گیری مقدار تانن کل: مقدار تانن کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی وانیلین-اسید هیدروکلریک و بر اساس روش Khojasteh Rad و همکاران (2021) اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ۲۵۰ میکرولیتر از عصاره با ۱/۵ میلی‌لیتر محلول وانیلین چهار درصد و ۷۵۰ میکرولیتر اسید هیدروکلریک مخلوط گردید. سپس مخلوط واکنش به مدت ۱۵ دقیقه در دمای محیط و در شرایط تاریک نگهداری شد. پس از پایان زمان واکنش، جذب نوری نمونه‌ها در طول موج ۵۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. مقدار تانن کل با استفاده از منحنی استاندارد کاتچین محاسبه و نتایج به‌صورت میلی‌گرم معادل کاتچین در هر گرم وزن خشک نمونه (mg CE g^{-1} DW) گزارش گردید.

اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول کل: مقدار کربوهیدرات‌های محلول بر اساس روش رنگ سنجی با استفاده از آنترون تعیین شد. بدین منظور، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره با سه میلی‌لیتر معرف آنترون ۰/۲ درصد مخلوط شد و سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده شدند. پس از پایان زمان واکنش، نمونه‌ها تا رسیدن به دمای محیط سرد شدند و جذب نوری آن‌ها در طول موج ۶۳۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید (Ghani *et al.*, 2022). برای تهیه منحنی استاندارد از گلوکز استفاده شد و مقدار کربوهیدرات‌های محلول بر حسب میلی‌گرم گلوکز در هر گرم وزن خشک نمونه (mg GE g^{-1} DW) بیان شد.

آنالیز آماری: آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با هفت سطح شامل برگ، غنچه، گل کامل، دمگل، میوه نارس، میوه نیمه‌رسیده و میوه کاملاً رسیده و با سه تکرار زیستی برای هر تیمار اجرا شد. در این ساختار، برگ، غنچه، گل کامل و دمگل به‌عنوان چهار اندام مجزا و سه مرحله رسیدگی میوه (نارس، نیمه‌رسیده و کاملاً رسیده) به‌عنوان سه سطح دیگر در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار JMP نسخه ۸ انجام گرفت و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی (Tukey's HSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. به‌منظور بررسی ارتباط بین صفات بیو شیمیایی اندازه‌گیری شده، ضرایب همبستگی پیرسون محاسبه شدند. همچنین، به‌منظور ارزیابی میزان شباهت اندام‌های مختلف گیاه بر اساس صفات مورد بررسی، تجزیه خوشه‌ای (Cluster Analysis) با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۹ انجام شد. پیش از اجرای خوشه‌بندی، تمامی متغیرها به‌منظور حذف اثر اختلاف مقیاس اندازه‌گیری، استانداردسازی شدند. سپس ماتریس فاصله بر پایه فاصله اقلیدسی (Euclidean distance) محاسبه و دندروگرام با در نظر گرفتن وزن یکسان برای تمامی صفات ترسیم شد. پیش از انجام تجزیه واریانس نیز، مفروضات آماری شامل نرمال بودن توزیع داده‌ها و همگنی واریانس‌ها از طریق بررسی باقیمانده‌ها ارزیابی گردید و نتایج نشان داد که داده‌ها شرایط لازم برای به‌کارگیری آزمون‌های پارامتری را دارا هستند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نوع اندام گیاه اثر بسیار معنی‌داری ($P<0.01$) بر تمامی صفات بیوشیمیایی مورد بررسی شامل فنل کل، فلاونوئید کل، فلاون و فلاونول، تانن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات کل داشت (جدول ۱). در مقابل، اثر بلوک در هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود که بیانگر یکنواختی شرایط آزمایش و دقت مناسب اجرای آن است.

میزان ترکیبات فنلی کل: نتایج نشان داد که میزان فنل کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) تفاوت معنی‌داری داشت ($p<0.01$) (شکل ۱). بیشترین میزان فنل کل در برگ (۱۷/۷۴ میلی‌گرم اسید گالیک در گرم نمونه خشک) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندام‌ها بود. پس از آن، گل (۱۰/۳۶ میلی‌گرم) در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفت. غنچه (۸/۳۲ میلی‌گرم) و دمگل (۸/۱۲ میلی‌گرم) اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین، میوه نارس (۵/۱۰ میلی‌گرم) به‌طور معنی‌داری فنل کل بیشتری نسبت به میوه نیمه‌رسیده (۲/۸۹ میلی‌گرم) داشت، در حالی که میوه کاملاً رسیده (۳/۷۸ میلی‌گرم) از نظر آماری با میوه نیمه‌رسیده اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه، میزان فنل کل از ۵/۱۰ میلی‌گرم در میوه نارس به ۲/۸۹ میلی‌گرم در میوه نیمه‌رسیده کاهش یافت و سپس در میوه کاملاً رسیده به ۳/۷۸ میلی‌گرم افزایش پیدا کرد. با وجود این افزایش، مقدار فنل کل در میوه کاملاً رسیده از نظر آماری با میوه نیمه‌رسیده اختلاف معنی‌داری نداشت.

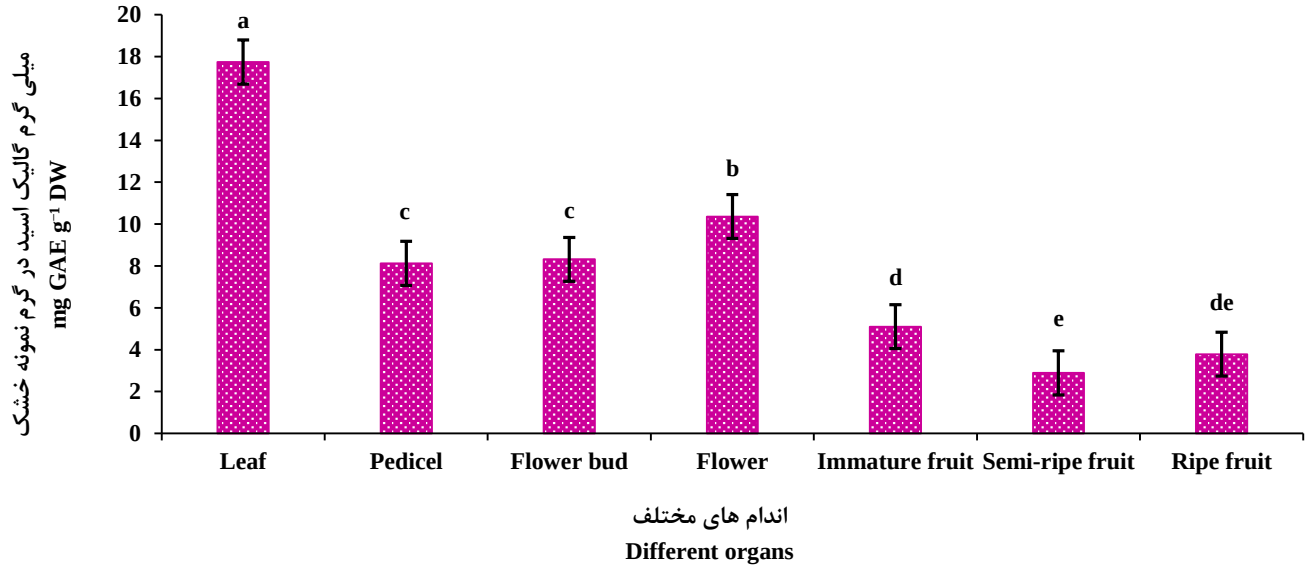
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات بیوشیمیایی در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس

Table 1- Analysis of variance (mean squares) of biochemical traits among different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	فنل کل Total phenol	فلاون‌ها و فلاونول‌ها Flavones and flavonols	فلاونوئید کل Total flavonoid	میزان تانن Tannin content	کربوهیدرات کل Total carbohydrate
تیمار Time	6	1643.06**	458.42**	15.99**	173.80**	0.59**	17977.23**
بلوک Block	2	2.76	0.22	0.09	0.47	0.001	57.72
خطا Error	12	7.81	0.49	0.03	0.26	0.006	52.3
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	4.41	8.74	8.83	4.27	10.36	4.44

*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری.

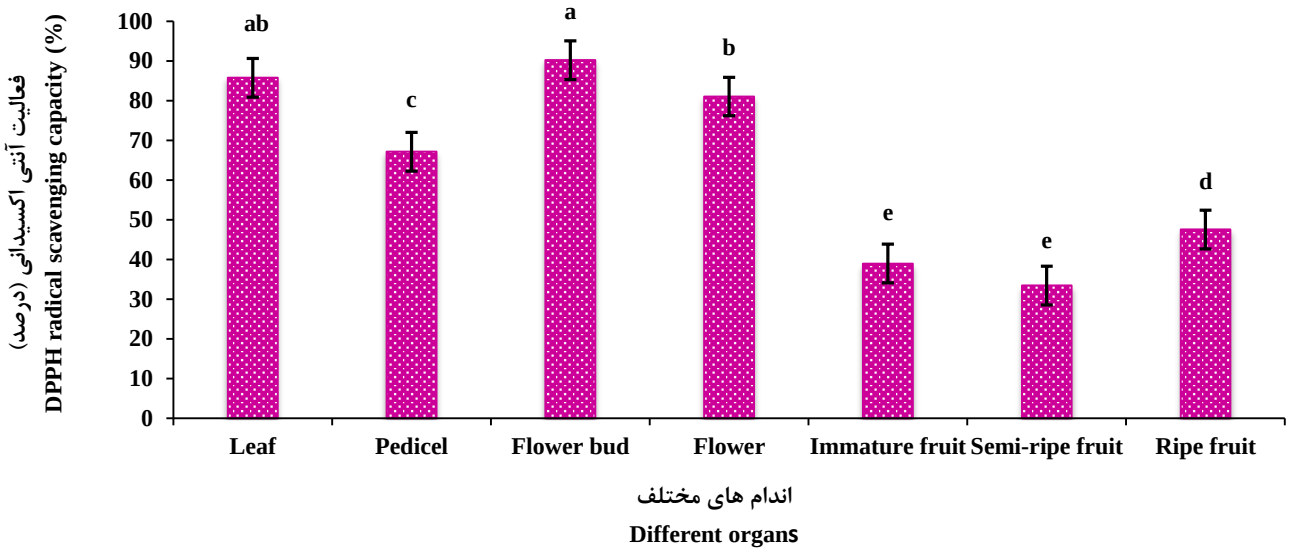
*, ** ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین ترکیبات فنلی کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Figure 1- Comparison of total phenolic compound among different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province. Bars with different letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test at the 5% probability level (P < 0.05).

میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی: نتایج نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) تفاوت معنی‌داری داشت (p<0.01) (شکل ۲). بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی در غنچه (۹۰/۲۰ درصد) مشاهده شد که از نظر آماری با برگ (۸۵/۷۵ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت، اما به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندام‌ها بود. گل با فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۸۱/۰۲ درصد در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفت و پس از غنچه و برگ، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. همچنین، دمگل با ۶۷/۱۲ درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی، به‌طور معنی‌داری کمتر از غنچه، برگ و گل و بیشتر از مراحل مختلف میوه بود. در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه نیز فعالیت آنتی‌اکسیدانی تغییرات معنی‌داری را نشان داد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی از ۳۸/۹۸ در صد در میوه نارس به ۳۳/۴۵ درصد در میوه نیمه‌رسیده کاهش یافت و سپس در میوه کاملاً رسیده به ۴۷/۵۵ درصد افزایش پیدا کرد. با این حال، بین میوه نارس و میوه نیمه‌رسیده اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد، در حالی که میوه کاملاً رسیده فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌طور معنی‌داری بیشتری نسبت به این دو مرحله داشت (شکل ۲).

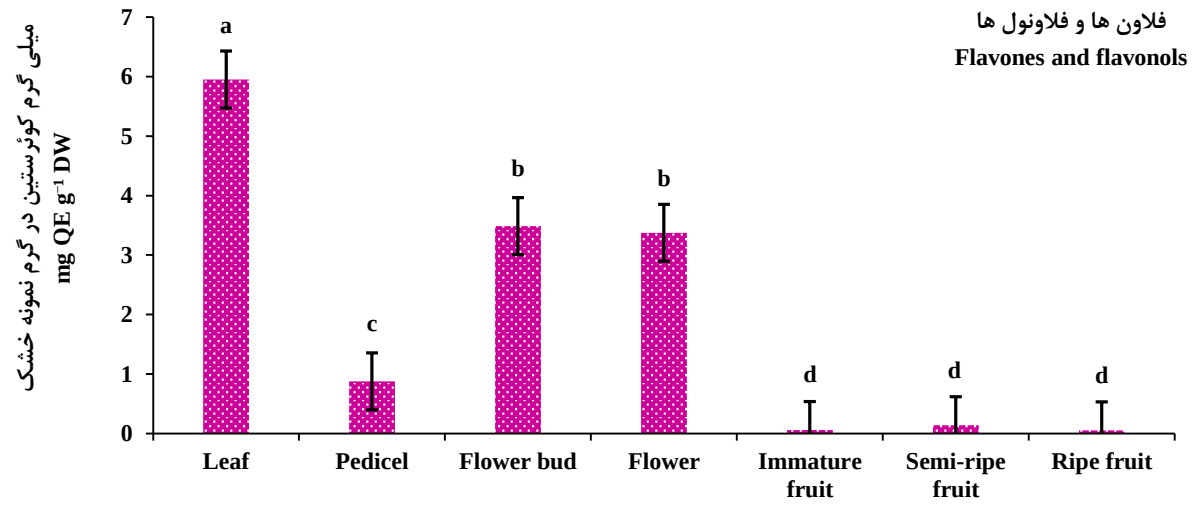


شکل ۲- مقایسه میانگین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (DPPH) در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Figure 2- Comparison of antioxidant activity (DPPH radical scavenging activity) among different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province. Bars with different letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test at the 5% probability level (P < 0.05).

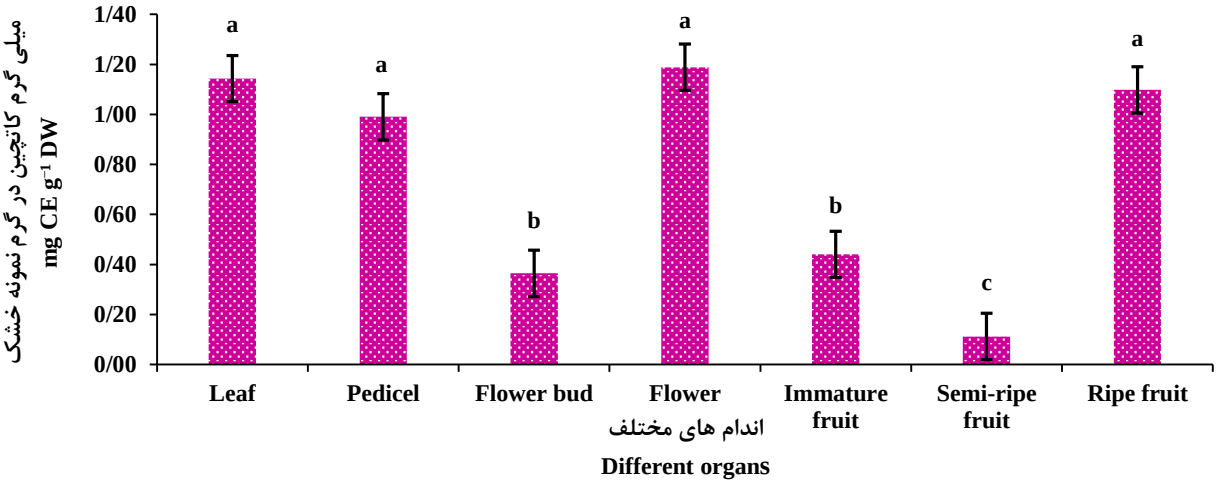
میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها و فلاونوئیدهای کل: نتایج نشان داد که میزان فلاون ها و فلاونول ها در اندام های مختلف گیاه کبر (*Capparis spinosa*) تفاوت معنی‌داری داشت ($p<0.01$) (شکل ۳). بیشترین میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها در برگ (۵/۹۵ میلی‌گرم کوئرستین در گرم نمونه خشک) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندام‌ها بود. غنچه (۳/۴۸ میلی‌گرم) و گل (۳/۳۷ میلی‌گرم) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و پس از برگ، بیشترین مقادیر این ترکیبات را به خود اختصاص دادند. دمگل نیز با مقدار ۰/۸۸ میلی‌گرم در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفت و به‌طور معنی‌داری کمتر از برگ، غنچه و گل بود. در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه، میزان فلاون‌ها و فلاونول‌ها در میوه نارس (۰/۰۶ میلی‌گرم)، میوه نیمه‌رسیده (۰/۱۴ میلی‌گرم) و میوه کاملاً رسیده (۰/۰۵ میلی‌گرم) در پایین‌ترین سطح قرار داشت و بین این سه مرحله اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). نتایج نشان داد که میزان فلاونوئید کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر تفاوت معنی‌داری داشت ($p<0.01$) (شکل ۳). بیشترین میزان فلاونوئید کل در برگ (۲۳/۹۷ میلی‌گرم کوئرستین در گرم نمونه خشک) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندام‌ها بود. غنچه (۱۶/۲۸ میلی‌گرم) و گل (۱۶/۲۸ میلی‌گرم) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و پس از برگ، بیشترین مقادیر فلاونوئید کل را به خود اختصاص دادند. دمگل نیز با مقدار ۱۱/۹۲ میلی‌گرم در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفت و به‌طور معنی‌داری کمتر از برگ، غنچه و گل و بیشتر از مراحل مختلف رشد میوه بود. در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه، میزان فلاونوئید کل از ۵/۷۳ میلی‌گرم در میوه نارس به ۵/۰۹ میلی‌گرم در میوه نیمه‌رسیده کاهش یافت، اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. با ادامه روند رسیدگی، مقدار فلاونوئید کل در میوه کاملاً رسیده به ۳/۳۳ میلی‌گرم کاهش یافت که به‌طور معنی‌داری کمتر از میوه نارس و نیمه‌رسیده بود (شکل ۳).

میزان تانن‌ها: نتایج نشان داد که میزان تانن در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) تفاوت معنی‌داری داشت ($p<0.01$) (شکل ۴). بیشترین میزان تانن در گل (۱/۱۹ میلی‌گرم کاتچین در گرم نمونه خشک) مشاهده شد، اما از نظر آماری با برگ (۱/۱۵ میلی‌گرم)، میوه کاملاً رسیده (۱/۱۰ میلی‌گرم) و دمگل (۰/۹۹ میلی‌گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت و این چهار اندام در یک گروه آماری قرار گرفتند. غنچه (۰/۳۶ میلی‌گرم) و میوه نارس (۰/۴۴ میلی‌گرم) نیز اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفتند. کمترین میزان تانن در میوه نیمه‌رسیده (۰/۱۱ میلی‌گرم) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر اندام‌ها بود (شکل ۴) در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه، میزان تانن از ۰/۴۴ میلی‌گرم در میوه نارس به ۰/۱۱ میلی‌گرم در میوه نیمه‌رسیده کاهش یافت و سپس در میوه کاملاً رسیده به ۱/۱۰ میلی‌گرم افزایش پیدا کرد. از نظر آماری، میزان تانن در میوه نارس و میوه نیمه‌رسیده با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشت و میوه کاملاً رسیده نیز به‌طور معنی‌داری تانن بیشتری نسبت به دو مرحله دیگر رشد میوه نشان داد.



شکل ۳- مقایسه میانگین فلاون‌ها و فلاونول‌ها و فلاونوئید کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

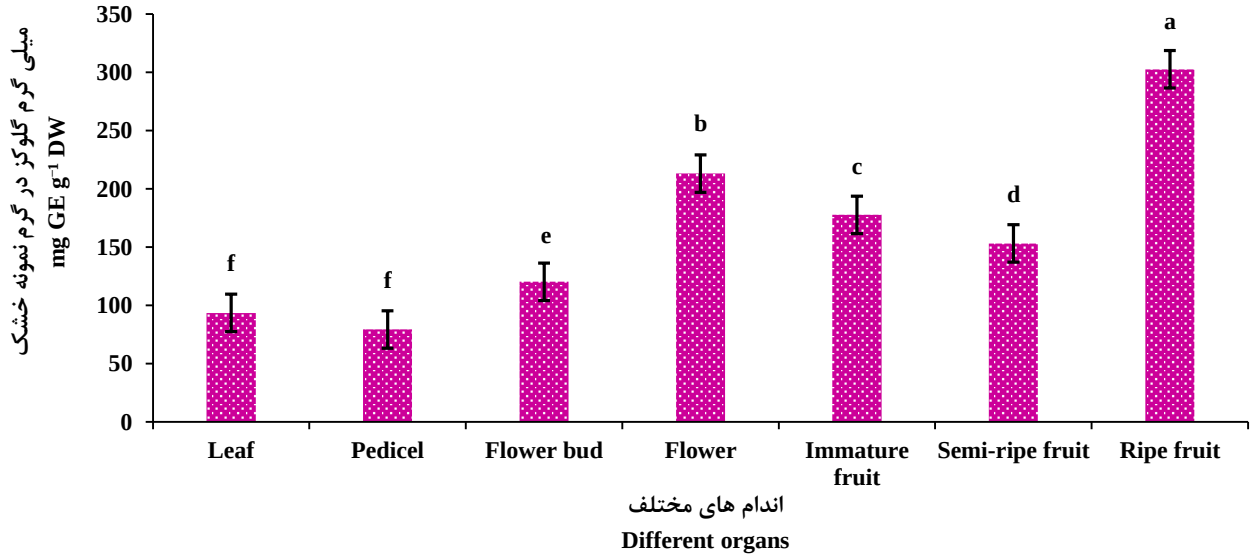
Figure 3- Comparison of flavones and flavonols and total flavonoid content among different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province. Bars with different letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test at the 5% probability level (P < 0.05).



شکل ۴- مقایسه میانگین تانن کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Figure 4- Comparison of total tanin content among different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province. Bars with different letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test at the 5% probability level (P < 0.05).

میزان کربوهیدرات کل: نتایج نشان داد که میزان کربوهیدرات کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) تفاوت معنی‌داری داشت ($p<0.01$) (شکل ۵). بیشترین میزان کربوهیدرات کل در میوه کاملاً رسیده (۳۰۲/۶۷ میلی‌گرم گلوکز در گرم نمونه خشک) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر اندام‌ها بود. پس از آن، گل (۲۱۳/۲۰ میلی‌گرم)، میوه نارس (۱۷۷/۷۳ میلی‌گرم)، میوه نیمه‌رسیده (۱۵۳/۲۰ میلی‌گرم) و غنچه (۱۲۰/۳۳ میلی‌گرم) به‌ترتیب در گروه‌های آماری جداگانه‌ای قرار گرفتند. کمترین میزان کربوهیدرات کل در برگ (۹۳/۶۰ میلی‌گرم) و دمگل (۷۹/۴۷ میلی‌گرم) مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۵). در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه، میزان کربوهیدرات کل از ۱۷۷/۳۳ میلی‌گرم در میوه نارس به ۱۵۳/۲۰ میلی‌گرم در میوه نیمه‌رسیده کاهش یافت و سپس در میوه کاملاً رسیده به ۳۰۲/۶۷ میلی‌گرم افزایش چشمگیری پیدا کرد. هر یک از مراحل رشد و رسیدگی میوه از نظر میزان کربوهیدرات کل در گروه آماری جداگانه‌ای قرار گرفتند و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند.



شکل ۵- مقایسه میانگین کربوهیدرات‌های محلول کل در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس. ستون‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

Figure 5- Comparison of total carbohydrate content among different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province. Bars with different letters indicate significant differences according to Tukey's HSD test at the 5% probability level (P < 0.05).

همبستگی بین صفات فیتو شیمیایی: نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده در اندام‌های مختلف گیاه کبر در جدول ۲ ارائه شده است. فعالیت آنتی‌اکسیدانی همبستگی مثبت و معنی‌داری با فنل کل ($p < 0.01$)، فلاون‌ها و فلاونول‌ها ($p < 0.01$) و فلاونوئید کل ($p < 0.01$) نشان داد.

همچنین، بین فنل کل و فلاونوئید کل همبستگی مثبت و بسیار قوی ($p < 0.01$) و بین فلاونوئید کل و فلاون ها و فلاونول ها نیز بالاترین ضریب همبستگی مشاهده شد ($p < 0.01$). از سوی دیگر، کربوهیدرات کل با فنل کل ($p < 0.05$) و فلاونوئید کل ($p < 0.01$) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت، در حالی که ارتباط آن با فعالیت آنتی‌اکسیدانی، تانن و فلاون‌ها و فلاونول‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. تانن نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با فنل کل ($p < 0.01$) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ($p < 0.05$) نشان داد، اما با سایر صفات رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای: نتایج آنالیز خوشه‌ای بر اساس روش وارد و فاصله اقلیدسی نشان داد که اندام‌های مختلف گیاه کبر بر اساس ویژگی‌های بیوشیمیایی مورد بررسی در دو خوشه اصلی طبقه‌بندی شدند (شکل ۶). خوشه نخست شامل برگ، دمگل، غنچه و گل بود، در حالی که سه مرحله رشد میوه شامل میوه نارس، میوه نیمه‌رسیده و میوه کاملاً رسیده در خوشه دوم قرار گرفتند. در خوشه نخست، دمگل و غنچه بیشترین شباهت را با یکدیگر داشتند و ابتدا در یک زیرخوشه قرار گرفتند، سپس گل به این زیرخوشه ملحق شد و برگ با فاصله بیشتری در همان خوشه جای گرفت. در خوشه دوم نیز میوه نارس و میوه نیمه‌رسیده بیشترین شباهت را نشان دادند و میوه کاملاً رسیده با فاصله بیشتری به این زیرخوشه متصل شد (شکل ۶).

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات بیوشیمیایی اندازه‌گیری‌شده در اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس.

Table 2- Pearson's correlation coefficients among the measured biochemical traits in different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province.

	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	فنل کل Total phenol	کربوهیدرات کل Total carbohydrate	میزان تانن Tannin content	فلاون‌ها و فلاونول‌ها Flavones and flavonols
Total phenol	0.778**				
Total carbohydrate	-0.398	-0.492*			
Tannin content	0.452*	0.553**	0.203ns		
Flavones and Flavonols	0.865**	0.93**	-0.422ns	0.395ns	
Total Flavonoide	0.904**	0.937**	-0.577**	0.392ns	0.967**

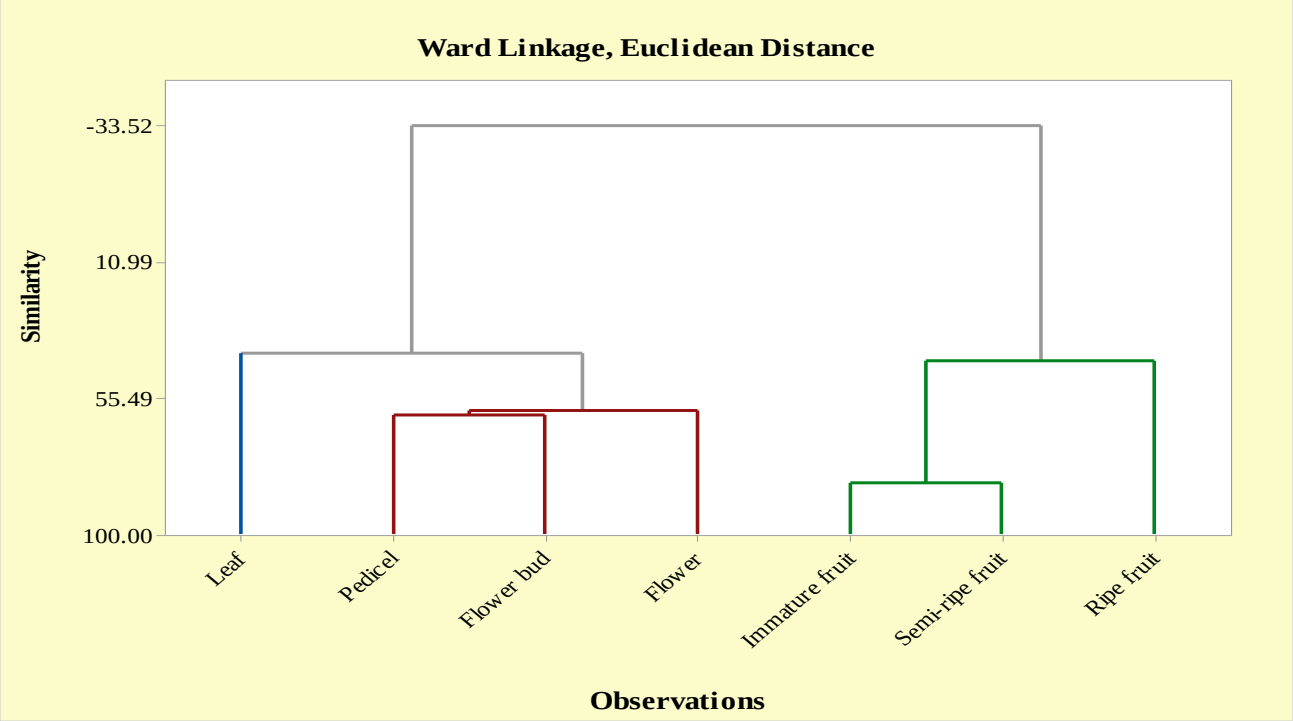
*، ** و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** ns: Significant at 5% and 1% probability level and no significant, respectively.

نتایج این پژوهش نشـــان داد که اندام‌های مختلف گیاه کبر از نظر تجمع ترکیبات بیوشـــیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکســـیدانی تفاوت‌های معنی‌داری با یکدیگر دارند که بیانگر اختصـــاصـــی بودن الگوی متابولیســـم در اندام‌های مختلف این گونه اســـت. بیشـــترین مقادیر ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، فلاون‌ها و فلاونول‌ها، تانن و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عمدتاً در برگ، گل و غنچه مشاهده شد، در حالی که با پیشـــرفت فرآیند رســـیدگی میوه، مقدار کربوهیدرات به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این الگوی تغییرات نشـــان می‌دهد که در طی رشد و نمو گیاه، اولویت متابولیکی از سنتز و تجمع متابولیت‌های ثانویه با نقش‌های دفاعی و آنتی‌اکســـیدانی به ســـمت انباشـــت متابولیت‌های اولیه، به‌ویژه کربوهیدرات‌ها، تغییر می‌کند. چنین تغییراتی با نیازهای فیزیولوژیک گیاه در مراحل مختلف رشـــد و نیز نقش اختصـــاصـــی هر اندام در فتوســـنتز، تولیدمثل، دفاع در برابر تنش‌های محیطی و تأمین انرژی برای رشـــد و رســـیدگی میوه همخوانی دارد (Taiz *et al*., 2018; Yang *et al*., 2018). غلظت بالاتر ترکیبات فنلی در برگ، گل و غنچه نسبت به سایر اندام‌ها را می‌توان به فعالیت بیشـــتر مســـیر بیوســـنتزی فنیل‌پروپانوئید در این اندام‌ها نســـبت داد. ترکیبات فنلی از مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند که در پاسخ به تنش‌های محیطی و همچنین در فرایندهای رشـــد و نمو، حفاظت در برابر تابش فرابنفش، دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا و علف‌خواران و تنظیم تعادل اکسید و آنتی‌اکسیدان نقش اساســـی ایفا می‌کنند (Dai & Mumper, 2010; Cheynier *et al*., 2013). از آنجا که برگ‌ها محل اصلی فتوسنتز و بیشترین مواجهه با تابش خورشید هستند و گل‌ها نیز برای حفظ ساختارهای تولیدمثلی و افزایش موفقیت گرده‌افشـــانی به ســـامانه‌های دفاع آنتی‌اکســـیدانی کارآمد نیاز دارند، تجمع بیشـــتر ترکیبات فنلی در این اندام‌ها امری قابل انتظار است. در مقابل، کاهش نسبی فنل کل در طی رسیدگی میوه احتمالاً ناشـــی از تغییر در اولویت‌های متابولیکی گیاه، کاهش فعالیت مسیر فنیل‌پروپانوئید و اختصاص بیشتر منابع کربنی به رشد و رســـیدگی میوه اســـت. این روند در بســـیاری از گونه‌های گیاهان دارویی و میوه‌ای نیز گزارش شـــده اســـت و نشـــان می‌دهد که با پیشـــرفت نمو میوه، ســـهم متابولیت‌های ثانویه کاهش یافته و متابولیت‌های اولیه نقش پررنگ‌تری پیدا می‌کنند (Yang *et al*., 2018). همچنین، نتایج این پژوهش با گزارش‌های منتشر شده برای *C. spinosa* مطابقت دارد که بیان می‌کنند میزان ترکیبات فنلی به‌شدت به نوع اندام و مرحله رشدی وابسته است و اندام‌های رویشی و گل‌ها معمولاً از نظر ترکیبات فنلی غنی‌تر از میوه‌های رســـیده هســـتنـــد (Aichi-Yousfi *et al*., 2016; Ghani *et al*., 2021; Taghvaeefard *et al*., 2021). الگوی تغییرات فلاونوئیـــد کـــل و فلاون‌ها و فلاونول‌ها نیز تا حد زیادی مشـــابه ترکیبات فنلی بود؛ به‌طوری‌که بیشـــترین مقادیر این ترکیبات در برگ و ســـپس غنچه و گل مشاهده شد و با پیشرفت رسیدگی میوه روندی کاهشی نشان داد. فلاونوئیدها یکی از مهم‌ترین گروه‌های متابولیت‌های ثانویه هستند که علاوه بر مشارکت در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن، در محافظت از بافت‌های گیاهی در برابر تابش فرابنفش، تنظیم رشد، دفاع در برابر عوامل بیماری‌زا و جذب گرده‌افشـــان‌ها نقش دارند (Agati *et al*., 2012; Brunetti *et al*., 2013). تجمع بیشـــتر این ترکیبات در گل‌ها را می‌توان به نقش آن‌ها در حفاظت از اندام‌های زایشی و همچنین مشارکت در رنگ‌زایی و جذب گرده‌افشان‌ها نسبت داد، در حالی که در برگ‌ها، قرار گرفتن در معرض شدت بالای نور و تنش‌های محیطی، سـنتز فلاونوئیدها را از طریق فعال شـدن مسـیر فنیل‌پروپانوئید تحریک می‌کند. کاهش تدریجی فلاونوئیدها و فلاون‌ها و فلاونول‌ها در طی رســـیدگی میوه نیز احتمالاً ناشـــی از کاهش نیاز به ترکیبات دفاعی و هدایت منابع کربنی به سمت رشد، انباشت مواد ذخیره‌ای و تکامل بافت میوه است. این نتایج با مطالعات انجام‌شـده روی گونه‌های مختلف جنس *Capparis* و سـایر گیاهان دارویی مطابقت دارد که نشـــان داده‌اند اندام‌های رویشـــی و گل‌ها معمولاً دارای غلظت بیشـتری از فلاونوئیدها نسـبت به میوه‌های بالغ هستند (Inocencio *et al*., 2000; Aichi-Yousfi *et al*., 2016).

فعالیت آنتی‌اکســـیدانی اندام‌های مختلف کبر در این پژوهش تا حد زیادی از الگوی تغییرات ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی پیروی کرد؛ به‌طوری‌که برگ، غنچه و گل که دارای مقادیر بالاتری از فنل کل و فلاونوئیدها بودند، بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را نیز نشان دادند، در حالی که میوه‌های نیمه‌رسـیده از کمترین فعالیت آنتی‌اکسـیدانی برخوردار بودند. نتایج تحلیل همبستگی نیز این الگو را به‌خوبی تأیید کرد، به‌گونه‌ای که فعالیت آنتی‌اکسـیدانی با فلاونوئید کل، فلاون‌ها و فلاونول‌ها و فنل کل همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری داشت. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرات ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اندام‌های مختلف *C. spinosa* عمدتاً تحت تأثیر تغییرات غلظت ترکیبات فنلی، به‌ویژه فلاونوئیدها، قرار دارد. ترکیبات فنلی با انتقال اتم هیدروژن یا الکترون، خنثی‌ســـازی گونه‌های فعال اکســـیژن (ROS) و مهار واکنش‌های زنجیره‌ای اکسیداسیون، از مهم‌ترین آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در گیاهان محسوب می‌شوند (Apak *et al*., 2016). همچنین، کاهش نســـبی فعالیت آنتی‌اکســـیدانی طی فرآیند رســـیدگی میوه از میوه نارس به نیمه رســـیده احتمالاً ناشـــی از کاهش ســـنتز و تجمع ترکیبات فنلی و تغییر مســـیر متابولیســـم کربن به ســـمت تولید و انباشت متابولیت‌های اولیه، به‌ویژه کربوهیدرات‌ها، است. این تفسیر با همبســـتگی منفی معنی‌دار مشـــاهده‌شـــده بین کربوهیدرات و فنل کل و همچنین فلاونوئید کل نیز همخوانی دارد. نتایج مطالعات انجام‌شده روی گونه‌های مختلف جنس *Capparis* نیز نشان داده‌اند

که اندام های غنی از ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی معمولاً فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری دارند و این ترکیبات مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در این جنس محسوب می شوند (Aichi-Yousfi *et al*., 2016; Hazrati *et al*., 2025). بنابراین، بر اساس نتایج این پژوهش، غنچه، برگ و گل را می‌توان مناسب‌ترین اندام ها برای استخراج ترکیبات آنتی‌اکسیدانی با ارزش جهت کاربردهای دارویی، غذایی و صنایع فرآورده‌های طبیعی معرفی کرد.



شکل ۶- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای اندام‌های مختلف گیاه کبر (*C. spinosa*) در جمعیت بیضا، استان فارس، بر اساس صفات بیوشیمیایی با استفاده از فاصله اقلیدسی و روش وارد (Ward's method).

Figure 6- Dendrogram of cluster analysis for different organs of *C. spinosa* from the Beyza population, Fars Province, Iran, based on biochemical traits using Euclidean distance and Ward's method.

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان تانن در اندام‌های مختلف کبر به‌طور معنی‌داری متفاوت بود؛ به‌طوری که گل، برگ و میوه کاملاً رسیده بیشترین مقدار تانن را داشتند، در حالی که کمترین مقدار در میوه نیمه‌رسیده مشاهده شد. برخلاف فنل کل و فلاونوئیدها که طی فرآیند رسیدگی میوه روندی کاهشی نشان دادند، مقدار تانن پس از کاهش در مراحل اولیه رشد میوه، در مرحله رسیدگی کامل مجدداً افزایش یافت. این الگو نشان می‌دهد که تجمع تانن‌ها در *C. spinosa* احتمالاً تحت تأثیر مسیرهای تنظیمی متفاوتی نسبت به سایر ترکیبات فنلی قرار دارد و ممکن است با تغییرات متابولیکی ویژه مرحله نهایی رسیدگی مرتبط باشد. تانن‌ها از مهم‌ترین پلی‌فنول‌های گیاهی هستند که علاوه بر نقش آنتی‌اکسیدانی، در دفاع شیمیایی گیاه علیه گیاه‌خواران، عوامل بیماری‌زا و تنش های محیطی نیز مشارکت دارند و میزان تجمع آن‌ها بسته به نوع اندام، مرحله رشد و شرایط محیطی می‌تواند تغییر قابل‌توجهی داشته باشد (Barbehenn & Constabel, 2011). در این مطالعه، همبستگی مثبت و معنی‌دار تانن با فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز نشان داد که اگرچه تانن‌ها در ایجاد ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اندام‌های مختلف نقش دارند، اما سهم آن‌ها احتمالاً کمتر از سایر ترکیبات فنلی، به‌ویژه فلاونوئیدها است. گزارش‌های پیشین نیز نشان داده‌اند که مقدار و ترکیب تانن‌ها در گونه‌های مختلف جنس *Capparis* و حتی بین اندام‌های مختلف یک گیاه، تغییرات قابل‌توجهی دارد که این موضوع به تفاوت در مسیرهای بیوسنتزی، مرحله نمو و شرایط اکولوژیک نسبت داده شده است (Aichi-Yousfi *et al*., 2016; Mohtashami *et al*., 2026). بنابراین، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که گل و برگ، علاوه بر غنی بودن از سایر ترکیبات فنلی، از منابع مناسب تانن نیز محسوب می‌شوند، در حالی که افزایش مجدد تانن در میوه کاملاً رسیده بیانگر تغییر الگوی متابولیسم فنلی در مراحل پایانی نمو میوه است.

الگوی مشاهده‌شده در جمعیت بیضا، از نظر توزیع ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بین اندام‌های مختلف، با روند کلی مشاهده‌شده در جمعیت جهرم نیز همخوانی داشت و نشان می‌دهد که این ویژگی احتمالاً از الگوی فیزیولوژیکی گونه نا شی می شود، نه صرفاً شرایط یک رویشگاه (Mohtashami *et al*., 2026).

نتایج این پژوهش نشان داد که میزان کربوهیدرات کل در اندام‌های مختلف کبر تفاوت معنی‌داری دا شت و بی‌شترین میزان کربوهیدرات کل در میوه کاملاً رسیده و کمترین مقادیر در برگ و دمگل مشاهده شد. همچنین، در طی روند رسیدگی میوه، مقدار کربوهیدرات از مرحله نارس تا رسیدگی کامل افزایش یافت. این روند با فرآیند طبیعی رسیدگی میوه مطابقت دارد، زیرا در این مرحله، فتوسنتز برگ ها و انتقال مواد فتوسنتزی به میوه موجب تجمع قندهای محلول و سایر کربوهیدرات‌ها در بافت میوه می‌شود (Taiz *et al.*, 2018). از سوی دیگر، نتایج همبستگی نشان داد که کربوهیدرات با فنل کل و فلاونوئید کل همبستگی منفی و معنی‌داری دارد، در حالی که ارتباط آن با فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز منفی، اما از نظر آماری غیرمعنی‌دار بود. این روابط آماری نشان‌دهنده ارتباط بین تغییرات این صفات هستند و به‌تنهایی نمی‌توانند وجود یک رابطه علت و معلولی یا تغییر مستقیم در مسیرهای متابولیکی را اثبات کنند. همزمانی افزایش کربوهیدرات و کاهش برخی ترکیبات فنلی در مراحل مختلف رشد و رسیدگی میوه می‌تواند با تغییرات وابسته به مرحله رشد در تخصیص و مصرف کربن همراه باشد. بر اساس مفهوم تخصیص کربن، توزیع کربن تثبیت شده میان رشد، ذخیره سازی و تولید متابولیت های ثانویه می‌تواند با مرحله رشد و نیازهای متابولیکی گیاه تغییر کند (Stamp, 2003; Taiz *et al.*, 2018). با این حال، در مطالعه حاضر اندازه‌گیری مستقیم شار کربن، فعالیت آنزیم‌های مسیرهای بیوسنتزی یا بیان ژن‌های مرتبط با متابولیسم فنلی انجام نشد؛ بنابراین، نمی‌توان بر اساس داده‌های موجود نتیجه گرفت که افزایش کربوهیدرات مستقیماً موجب کاهش سنتز ترکیبات فنلی شده یا اینکه کربن به‌طور مستقیم از مسیر متابولیسم ثانویه به سمت ذخیره‌سازی کربوهیدرات هدایت شده است. بنابراین، افزایش کربوهیدرات در میوه‌های رسیده، همراه با تغییرات مشاهده‌شده در ترکیبات فنلی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، می‌تواند بیانگر تغییرات همزمان و وابسته به مرحله رشد در متابولیسم میوه باشد، اما این الگو باید به‌عنوان یک ارتباط احتمالی و نه یک رابطه علت و معلولی تفسیر شود. همچنین، همبستگی منفی مشاهده‌شده بین کربوهیدرات کل و برخی ترکیبات فنلی، صرفاً نشان‌دهنده آن است که افزایش یکی از این صفات در مجموعه نمونه‌های مورد بررسی با کاهش دیگری همراه بوده است و برای تعیین مکانیسم زیربنایی این رابطه، مطالعات تکمیلی شامل بررسی مسیرهای بیوسنتزی، فعالیت آنزیم‌های مرتبط و تغییرات بیان ژن مورد نیاز است. از این رو، نتایج همبستگی حاضر می‌توانند به‌عنوان شواهدی برای وجود یک الگوی همراهی بین صفات مورد بررسی در جمعیت مطالعه‌شده در نظر گرفته شوند، اما برای اثبات نقش مستقیم کربوهیدرات‌ها یا ترکیبات فنلی در تنظیم یکدیگر، شواهد تجربی بیشتری مورد نیاز است.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که اندام‌های مختلف *C. spinosa* از نظر ترکیب بیوشیمیایی و فیتوشیمیایی دارای تفاوت‌های قابل توجهی هستند و الگوی تجمع متابولیت‌ها به‌شدت وابسته به نوع اندام و مرحله نمو میوه است. برگ، گل و غنچه به‌عنوان غنی‌ترین اندام ها از نظر ترکیبات فنلی، فلاونوئید ها، فلاون ها و فلاونول‌ها و همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی شناخته شدند، در حالی که میوه کاملاً رسیده بیشترین میزان کربوهیدرات و یکی از بالاترین مقادیر تانن را دارا بود. علاوه بر این، نتایج همبستگی پیرسون نشان داد که ظرفیت آنتی‌اکسیدانی همبستگی مثبت و قوی با فنل کل، فلاونوئید کل و فلاون‌ها و فلاونول‌ها داشت. این روابط نشان‌دهنده همراهی آماری بین افزایش میزان این ترکیبات و افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در اندام‌های مورد بررسی است و می‌تواند بیانگر مشارکت احتمالی ترکیبات فنلی در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی باشد؛ با این حال، بر اساس نتایج همبستگی نمی‌توان وجود رابطه علت و معلولی یا نقش مستقیم و غالب این ترکیبات در ایجاد فعالیت آنتی‌اکسیدانی را اثبات کرد. برای تعیین سهم واقعی هر یک از این ترکیبات در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، شناسایی و اندازه‌گیری اختصاصی ترکیبات منفرد و انجام مطالعات تکمیلی مورد نیاز است. از سوی دیگر، همبستگی منفی کربوهیدرات با فنل کل و فلاونوئید کل نشان‌دهنده همراهی معکوس این صفات در مجموعه نمونه‌های مورد بررسی بود و می‌تواند با تغییرات وابسته به مرحله رشد در تخصیص و تجمع کربن همراه باشد، اما به‌تنهایی تغییر جهت متابولیسم کربن از تولید متابولیت‌های ثانویه به سمت تجمع مواد ذخیره‌ای را اثبات نمی‌کند. چنین الگوهایی در مطالعات فیزیولوژی و فیتوشیمیایی گیاهان دارویی گزارش شده‌اند و نشان می‌دهند که مرحله برداشت و نوع اندام گیاهی می‌توانند از عوامل مهم مؤثر بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی مواد خام گیاهی باشند (Yang *et al.*, 2018; Isah, 2019). با این حال، تبیین مکانیسم‌های زیربنایی این روابط نیازمند مطالعات مستقیم‌تر، از جمله بررسی ترکیبات اختصاصی، مسیرهای بیوسنتزی و فعالیت آنزیم‌های مرتبط است. بنابراین، انتخاب اندام مناسب و زمان بهینه برداشت می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به بیشترین مقدار ترکیبات زیست‌فعال و افزایش ارزش دارویی و صنعتی این گونه داشته باشد. با وجود آنکه نتایج این پژوهش اطلاعات ارزشمندی درباره تغییرات شاخص‌های عمومی فیتوشیمیایی در جمعیت‌های مختلف *C. spinosa* فراهم کرد، در این مطالعه شناسایی و اندازه‌گیری کمی ترکیبات اختصاصی و شاخص جنس *Capparis*، از جمله گلوکوزینولات ها و سایر متابولیت‌های ثانویه تخصصی، انجام نشد. ازاین‌رو، تفاوت‌های

مشـــاهده‌شـــده در میزان ترکیبات فنلی کل، فلاونوئیدها، تانن‌ها و کربوهیدرات‌ها نمی‌تواند به‌طور کامل بیانگر تنوع موجود در الگوی فیتوشیمیایی اختصاصی جمعیت‌های *C. spinosa* باشد. در مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود ارزیابی شاخص‌های عمومی فیتوشیمیایی با شـناسـایی و اندازه‌گیری کیفی و کمی ترکیبات شـاخص این جنس، به‌ویژه گلوکوزینولات‌ها و سایر متابولیت‌های ثانویه مهم، با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی و طیف سنجی منا سب تکمیل شود. چنین رویکردی می‌تواند درک جامع‌تری از تنوع فیتوشیمیایی جمعیت‌های *C. spinosa* و ارتباط آن با ویژگی‌های زیسـتی و بالقوه دارویی این گیاه فراهم کند.

همچنین یکی از محدودیت های پژوهش حاضـر آن اسـت که نمونه‌برداری تنها از یک جمعیت طبیعی *C. spinosa* در شـهرسـتان بیضـا انجام شـد. از آنجا که عوامل محیطی و شـرایط رویشـگاهی، از جمله دما، شدت نور، وضعیت رطوبتی و ویژگی‌های خاک، می‌توانند بر سـنتز و تجمع متابولیت های ثانویه و در نتیجه بر ویژگی های فیتو شیمیایی گیاهان تأثیرگذار باشند، نتایج حاصل از یک جمعیت لزوماً نمی‌تواند بیانگر الگوی فیتوشـیمیایی کل گونه باشـد. بنابراین، یافته‌های این پژوهش باید در چارچوب شـرایط رویشـگاهی جمعیت مورد مطالعه تفسـیر شـوند و در تعمیم آن‌ها به سـایر جمعیت‌ها و مناطق جغرافیایی احتیاط شـود. مطالعات آینده با نمونه‌برداری از جمعیت‌های متعدد در رویشگاه‌ها و شرایط اقلیمی متفاوت می‌توانند به تفکیک اثرات محیطی و جمعیتی و دسـتیابی به الگوی جامع‌تری از تنوع فیتوشیمیایی *C. spinosa* کمک کنند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشـان داد که اندام‌های مختلف گیاه کبر از نظر ترکیبات بیوشـیمیایی و فیتوشـیمیایی دارای تفاوت‌های معنی‌داری هستند و نوع اندام و مرحله رشد میوه نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تجمع متابولیت های اولیه و ثانویه ایفا می‌کنند. برگ، گل و غنچه به‌عنوان غنی‌ترین اندام‌ها از نظر فنل کل، فلاونوئید کل، فلاون‌ها و فلاونول‌ها، تانن و فعالیت آنتی‌اکسیدانی شناخته شدند، در حالی که میوه کاملاً رسیده بیشترین مقدار کربوهیدرات را دارا بود. همچنین، نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مثبت و قوی با ترکیبات فنلی، به‌ویژه فلاونوئیدها، دارد، در حالی که کربوهیدرات با فنل کل و فلاونوئید کل همبسـتگی منفی معنی‌داری نشـان داد. این روابط همبسـتگی بیانگر همراهی آماری بین صـفات مورد بررسی هستند و به‌تنهایی نمی‌توانند وجود رابطه علت و معلولی یا تغییر مسـتقیم مسـیرهای متابولیکی را اثبات کنند. این پژوهش یک ارزیابی مقایسـه‌ای از مقایسـه ویژگی های بیوشـیمیایی و فیتوشـیمیایی اندام های مختلف *C. spinosa* در جمعیت طبیعی شهرستان بیضا، استان فارس ارائه می‌دهد و اطلاعات ارزشمندی درباره الگوی توزیع متابولیت های زیسـت‌فعال در این گونه فراهم می‌کند. بر اساس شاخص‌های فیتوشیمیایی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی اندازه‌گیری‌شـده در این مطالعه، برگ، گل و غنچه از پتانسـیل بیشتری برای تأمین ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی برخوردار بودند و از این منظر می‌توانند به‌عنوان اندام‌های مورد توجه برای مطالعات کاربردی آینده مطرح شـوند. با این حال، این یافته به‌تنهایی برای معرفی این اندام‌ها به‌عنوان مناسـب‌ترین منابع دارویی یا صـنعتی کافی نیسـت و ارزیابی های تکمیلی شـیمیایی، فارماکولوژیک، سمیت شناسی و زیستی برای تأیید قابلیت کاربردی آن‌ها ضروری اسـت. همچنین، میوه های کاملاً رسـیده به دلیل محتوای بالاتر کربوهیدرات، بر اسـاس شـاخص اندازه‌گیری‌شـده در پژوهش حاضـر می‌توانند از منظر ترکیبات کربوهیدراتی برای مطالعات کاربردی غذایی مورد توجه قرار گیرند؛ هرگونه توصیه کاربردی قطعی نیازمند ارزیابی‌های بیشـتر اسـت. از آنجا که پژوهش حاضـر تنها بر یک جمعیت طبیعی *C. spinosa* در شهرستان بیضا انجام شد، نتایج باید در چارچوب شـرایط اکولوژیک این جمعیت تفسـیر شـوند و تعمیم آن‌ها به سایر جمعیت‌ها و رویشگاه‌های این گونه با احتیاط صورت گیرد. شرایط محیطی و رویشگاهی می‌توانند بر تجمع متابولیت‌های گیاهی اثرگذار باشـند؛ ازاین‌رو، بررسـی جمعیت های متعدد در رویشـگاه‌ها و شـرایط اقلیمی متفاوت برای تعیین پایداری الگوهای مشاهده شده ضروری است. در مطالعات آینده، پیشنهاد می شود مقایسه جمعیت‌های مختلف با آنالیزهای دقیق متابولومیکس، بررسی ترکیبات اختصاصی و شاخص جنس *Capparis*، بررسی بیان ژن‌های مرتبط با مسـیرهای بیوسـنتزی و ارزیابی فعالیت‌های زیسـتی و فارماکولوژیک عصـاره‌ها ترکیب شـود تا امکان شـناسـایی دقیق‌تر جمعیت‌ها و اندام‌های دارای ارزش بالقوه برای بهره‌برداری دارویی و صنعتی فراهم شود.

سپاسگزاری

نویسـندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت محترم آموزشـی و پژوهشی دانشگاه جهرم جهت تامین برخی از هزینه‌های این پژوهش قدردانی به عمل آورند.

منابع

Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S., & Tattini, M. (2012). Flavonoids as antioxidants in plants: Location and functional significance. *Plant Science*, 196: 67–76. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.07.014

Aichi-Yousfi, H., Meddeb, E., Rouissi, W., Hamrouni, L., Rouz, S., Rejeb, M. N., & Ghrabi-Gammar, Z. (2016). Phenolic composition and antioxidant activity of aqueous and ethanolic leaf extracts of six Tunisian species of genus *Capparis* (Capparaceae). *Industrial Crops and Products,* 92: 218–226. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.051

Annaz, H., Sane, Y., Bitchagno, G. T. M., Ben Bakrim, W., Drissi, B., El Bouhssini, M., & Sobeh, M. (2022). Caper (Capparis spinosa L.): An updated review on its phytochemistry, nutritional value, traditional uses, and therapeutic potential. *Frontiers in Pharmacology*, 13: 878749. https://doi.org/10.3389/fphar.2022.878749

Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(5): 997–1027. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739

Barbehenn, R. V., & Constabel, C. P. (2011). Tannins in plant–herbivore interactions. *Phytochemistry*, *72*(13): 1551–1565. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.040

Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Fini, A., Pollastri, S., & Tattini, M. (2013). Flavonoids as antioxidants and developmental regulators: Relative significance in plants and humans. *International Journal of Molecular Sciences, 14*(2): 3540–3555. https://doi.org/10.3390/ijms14023540

Cheynier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, *72*: 1–20. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.009

Christodoulou, S., Chimona, C., & Rhizopoulou, S. (2022). Comparison of pericarp functional traits in *Capparis spinosa* from coastal and inland Mediterranean habitats. *Plants,* 11(22): 3085. https://doi.org/10.3390/plants11223085

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, *15*(10): 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313

ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G. (2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: A comprehensive overview. *Agronomy*, 13(6): 1580. https://doi.org/10.3390/agronomy13061580

Ghani, A., Amini, S., Mohtashami, S., &Neamati, S.H. (2022). Physicochemical and biochemical variations of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) populations: A comparison of Iranian and imported types. *Industrial Crops and Products*, 183: 114898. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114898

Ghani, A., Mohtashami, S., & Jamalian, S. (2021). Peel essential oil content and constituent variations and antioxidant activity of grapefruit (*Citrus* × *paradisi* var. *red blush*) during color change stages. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(6), 4917–4928. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01051-0

Gull, T., Anwar, F., Sultana, B., Alcayde, M. A. C., & Nouman, W. (2015). *Capparis species: A potential source of bioactives and high-value components: A review*. Industrial Crops and Products, 67: 81–96. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.059

Hazrati, S., Mousavi, Z., Mollaei, S., Angourani, H. R., Nicola, S. (2025). Effect of Phenological Variation on the Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of Different Organs of *Capparis spinosa* L. *Horticulturae*, *11*(6): 702. https://doi.org/10.3390/horticulturae11060702

Inocencio, C., Rivera, D., Alcaraz, F., & Tomás-Barberán, F. A. (2000). Flavonoid content of commercial capers (*Capparis spinosa, C. sicula* and *C. orientalis*) produced in mediterranean countries. *European Food Research and Technology*, *28*(1): 43–53. https://doi.org/10.1016/S0305-1978(99)00037-1

Isah, T. (2019). Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological Research*, *52*(1): 39. https://doi.org/10.1186/s40659-019-0246-3

Khojasteh Rad, M., Ghani, A., & Ghani, E. (2021). *In vitro* effects of *Capparis spinosa* L. extract on human sperm function, DNA fragmentation, and oxidative stress. *Journal of Ethnopharmacology*, *269*, 113702. https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113702

Lee, U., Eo, H. J., Jung, C. R., & Kim, Y. (2025). Effect of drying temperature on the level of pharmacological compounds in the rhizome of *Cnidium officinale* Makino. *Food Science and Preservation*, 32(1): 158–164. https://doi.org/10.11002/fsp.2025.32.1.158

Ma, D., Guo, Y., Ali, I., Lin, J., Xu, Y., & Yang, M. (2024). Accumulation characteristics of plant flavonoids and effects of cultivation measures on their biosynthesis: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 215: 108960. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108960

Mohtashami, S. (2026). Assessment of active compound extraction from the marjoram (*Origanum vulgare*) influenced by dielectric barrier discharge (DBD) plasma pretreatment. *Journal of Horticultural Science,* 39(3): 735-748. (In Persian with English abstract). 10.22034/jrpsm.2026.565335.1103

Mohtashami, S., Babalar, M., Ebrahimzadeh Moosavi, S.M., Mirjalili, M.H., Adib, J. (2012). The Effect of Growing Conditions and Different Drying Methods on Drying Time, Essential Oil Content, Color Characteristics and Microbial Load of *Dracocephalum Moldavica* L. *Iranian Journal of Horticultural Science,* 43 (2): 243-254.

Mohtashami, S., Babalar, M., Tabrizi, L., Ghani, A., Rowshan, V., & Shokrpour, M. (2021). Essential oil constituents and variations in antioxidant compounds of dried summer savory (*Satureja hortensis* cv. Saturn) affected by storage conditions and ammonium sulfate. *Food Science & Nutrition*, 9, 4986‐4997. https://doi.org/10.1002/fsn3.2451

Mohtashami, S., Ghani, A., & Eghlima, G. (2026). Phenotypic diversity and profiling of phenolic compounds in fruits of Iranian *Capparis spinosa* populations. *BMC Plant Biology*. **26**, 1721. https://doi.org/10.1186/s12870-026-09493-8 **Stamp, N. (2003).** Out of the quagmire of plant defense hypotheses. *The Quarterly Review of Biology*, *78*(1): 23–55. https://doi.org/10.1086/367580

Sun, Y., Yang, T., & Wang, C. (2023). *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry*, 409: 135258. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258

Taghvaeefard, N., Ghani, A. & Hosseinifarahi, M. (2021). Comparative study of phytochemical profile and antioxidant activity of flavedo from two Iranian citron fruit

(*Citrus medica* L.). *Food Measurement*, 15: 2821–2830 https://doi.org/10.1007/s11694-021-00859-0

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2018). Plant Physiology and Development (6th ed.). *Sinauer Associates*. 888.

Wojdylo, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs, *Food Chemistry*, 1005: 940-949. 10.1016/j.foodchem.2007.04.038

Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, *23*(4): 762. https://doi.org/10.3390/molecules23040762

Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Baranova, E. N., & Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18): 13874. https://doi.org/10.3390/ijms241813874