Evaluating the Effect of Eggplant Calyx Extract on Alpha-Amylase Enzyme Activity In Vitro

Pages
71-88

F. Alitane[1], Gh. Labbeiki[2,3*] and S. Saremnezhad[2,3]

1) Department of Biotechnology, TeMS.C.,Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2) Department of Food Science and Technology, TeMS.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) Nutrition and Food Sciences Research Center, TeMS.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author**: gh.labbeiki@iau.ac.ir**

Received date: 2025.08.02 **Accepted date: 2025.11.12**

Abstract

In recent years, the utilization of bioactive compounds derived from plant materials and agricultural by-products has attracted increasing attention as a sustainable approach for developing functional and therapeutic agents. Food waste, particularly fruits and vegetables, constitutes a considerable portion of agricultural resource losses. Parts such as eggplant peel and calyx are commonly discarded, although they can serve as valuable sources of bioactive constituents. In this study, extracts of fresh purple eggplant calyx were prepared using a combined extraction technique involving ultrasonic waves and two solvents (absolute ethanol and ethanol–water 50%). The α-amylase inhibitory activity, as a key indicator of blood glucose regulation, was evaluated, and the chemical composition of the extracts was identified using liquid chromatography–mass spectrometry (LC–MS) and gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS). The results showed that the eggplant calyx extract was rich in phenolic and flavonoid compounds and exhibited notable enzyme inhibitory potential (64.8% for hydroalcoholic extract and 39.7% for ethanolic extract). The extraction yield of the hydroalcoholic extract (24.9%) was significantly higher than that of the ethanolic extract (3.67%), attributed to the balanced polarity of the water–ethanol mixture. These findings indicate that eggplant calyx, as a low-cost and readily available plant waste, can be considered a natural and economical source for developing bioactive compounds with potential antidiabetic effects applicable in food and pharmaceutical industries. It is noteworthy that, although the antidiabetic properties of eggplant calyx have been mentioned in traditional medicine texts, no experimental or laboratory evidence had been reported in this regard prior to this study.

Keywords: Food waste, *Solanum melongena*, Ultrasonic waves, Antidiabetic effects and alfa-Amylase Inhibition.

ارزیابی اثر عصاره کلاهک بادمجان (*Solanum melongena* L.) بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز در شرایط برون‌تنی

شماره صفحات
۷۱-۸۸

فهیمه علی تنه[۱] ، غزل لبیکی[۲و۳] * و سولماز صارم نژاد[۲و۳]

۱) گروه بیوتکنولوژی، واحد علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲) گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳) مرکز تحقیقات علوم تغذیه و صنایع غذایی، واحد علوم پزشکی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

*. نویسنده مسئول: **gh.labbeiki@iau.ac.ir :**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱

چکیده

در سال‌های اخیر، بهره‌برداری از ترکیبات زیست‌فعال حاصل از منابع گیاهی و ضایعات کشاورزی به‌عنوان رویکردی پایدار جهت تولید ترکیبات عملکردی و دارویی مورد توجه فراوان قرار گرفته است. ضایعات مواد غذایی، به‌ویژه میوه‌ها و سبزیجات، بخش قابل توجهی از هدررفت منابع کشاورزی را تشکیل می‌دهند. بخش‌هایی نظیر پوست و کلاهک بادمجان معمولاً به‌عنوان ضایعات دورریز تلقی می‌شوند، در حالی‌که می‌توانند منبعی غنی از ترکیبات زیست‌فعال باشند. در این پژوهش، عصاره کلاهک بادمجان بنفش تازه با روش استخراج ترکیبی شامل امواج فراصوت و دو نوع حلال (اتانول خالص و اتانول-آب ۵۰٪) تهیه شد. فعالیت مهاری آنزیم آلفاآمیلاز به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم کنترل قند خون ارزیابی گردید و ترکیبات شیمیایی موجود در عصاره با استفاده از کروماتوگرافی مایع-طیف‌سنجی جرمی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی شناسایی شد. نتایج نشان داد عصاره کلاهک بادمجان، سرشار از ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی بوده و فعالیت مهارکنندگی قابل توجهی نشان داد (۶۴/۸٪ برای عصاره هیدروالکلی و ۳۹/۷٪ برای عصاره الکلی). راندمان استخراج عصاره هیدروالکلی (۲۴/۹٪) به‌طور معناداری بیشتر از عصاره الکلی خالص (۳/۶۷٪) بود که به قطبیت متعادل ترکیب آب-الکل نسبت داده می‌شود. یافته‌های این مطالعه بیانگر آن است که کلاهک بادمجان می‌تواند منبعی طبیعی و مقرون‌به‌صرفه برای توسعه ترکیبات زیست‌فعال با پتانسیل ضددیابتی در صنایع غذایی و دارویی محسوب شود. شایان ذکر است که اگرچه در متون طب سنتی به خواص ضد دیابتی کلاهک بادمجان اشاره شده است، اما تاکنون شواهد تجربی و آزمایشگاهی مستندی در این زمینه گزارش نشده بود.

واژه‌های کلیدی: ضایعات مواد غذایی ، *Solanum melongena* ، امواج فراصوت ، اثرات ضد دیابتی و مهار آلفا – آمیلاز.

مقدمه

ضایعات مواد غذایی یکی از چالش‌های برجسته زیست‌محیطی و اقتصادی در سطح جهانی است که پیامدهای قابل‌توجهی بر منابع طبیعی و امنیت غذایی دارد. برآوردهای سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد[1] (FAO) حاکی از آن است که حدود یک‌سوم تولیدات غذایی سالانه دنیا معادل بیش از یک میلیارد تن، در طول زنجیره عرضه از زمین کشاورزی تا میز مصرف، به هدر می‌رود (FAO, 2019). این مسئله نه‌تنها به معنای از دست رفتن منابع آب، انرژی و خاک است، بلکه بار عظیمی از گازهای گلخانه‌ای را نیز به محیط زیست تحمیل می‌کند و به تغییرات اقلیمی دامن می‌زند. به همین دلیل یکی از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد، کاهش ۵۰ درصدی ضایعات غذایی تا سال ۲۰۵۰ اعلام شده است (Castillejo and Martinez-Zamora, 2024). در میان محصولات غذایی، میوه‌ها و سبزیجات سهم چشمگیری در تولید ضایعات دارند و بخش زیادی از محصولات جانبی آنها مانند پوست، دانه‌ها، ریشه‌ها، ساقه‌ها، پوست‌ها و کاسبرگ‌ها اغلب دور ریخته می‌شوند. با این حال، مطالعات متعدد نشان داده اند بسیاری از این محصولات جانبی سرشار از ترکیبات زیست فعال مفید از جمله رنگدانه های طبیعی مانند کلروفیل ها ، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین ها هستند (Ramzan *et al*., 2025). همچنین نتایج مطالعات نشان داده است ضایعات میوه ها و سبزیجات حاوی فیتوکمیکالهای ارزشمندی می باشند بطور مثال پوست هندوانه حاوی سیترولین فراوان، و پوست سیب‌زمینی، پیاز و پرتقال دارای ترکیبات فنولی با خواص آنتی‌اکسیدانی بالا می باشند (Rimando and Perkins-Veazieb, 2005; M'hiri *et al*., 2017; Silva-Beltran *et al*., 2017; Jokovic *et al*., 2024). بادمجان (*Solanum melongena* L.) به علت مصرف گسترده ،تاکنون موضوع مطالعات بسیاری قرار گرفته است. بیشتر پژوهش‌ها بر گوشت و پوست بادمجان و ترکیبات زیست‌فعال آنها از جمله آنتوسیانین‌ها و پلی‌فنول‌ها تمرکز داشته‌اند (Agregan *et al*.,2021; Kaveh *et al*.,2020; Liao *et al*.,2022) ، اما بخش کلاهک یا کاسبرگ بادمجان که اغلب به عنوان ضایعات دور ریخته می‌شود، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برخی مطالعات جدید نشان داده‌اند که این بخش نیز حاوی مواد معدنی و ترکیبات فنولی ، فلاونوئیدی و ظرفیت آنتی اکسیدانی زیادی است و می‌تواند به عنوان مکمل غذایی ارزشمند مطرح شود (Al Nachar *et al*., 2020; Parvazi-Qomi and Labbeiki, 2024). علاوه بر فیتوکمیکالها ، نکته قابل توجه دیگر، خاصیت ضد دیابتی ترکیبات موجود در برخی از گیاهان و ضایعات آنها است که از طریق مهار آنزیم‌هایی مانند آلفا آمیلاز و آلفا گلوکوزیداز، می‌توانند نقش بسزایی در کنترل قند خون داشته باشند. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که عصاره گوشت و پوست بادمجان قادر به مهار این آنزیم‌ها و کاهش قند خون هستند (Kown *et al*., 2008; EL-Bazzar *et al*., 2022; Yarmohammadi *et al*., 2020; Nwanna *et al*., 2013). برای استخراج بهینه این ترکیبات، علاوه بر روش‌های سنتی مانند استخراج با حلال، امروزه از تکنیک‌های نوآورانه‌ای

[1] Food and Agriculture Organization

همچون امواج فراصوت نیز بهره گرفته می‌شود که زمان استخراج را کاهش داده و بازده استحصال مواد زیست‌فعال را افزایش می‌دهد. با توجه به این مطالب، تاکنون پژوهش جامعی در خصوص ترکیبات زیست‌فعال کلاهک بادمجان و نقش آن در مهار آنزیم آلفا آمیلاز انجام نشده است. این پژوهش با هدف استخراج ترکیبات زیست‌فعال از کلاهک بادمجان با استفاده از ترکیب دو روش متداول و مدرن (استخراج با حلال و امواج فراصوت) ، بررسی مقایسه ای اثر نوع حلال (هیدروالکلی و الکلی) بر فرآیند استخراج ترکیبات زیست فعال عصاره و در نهایت بررسی قدرت عصاره در مهار آنزیم آلفا آمیلاز انجام شده است تا پتانسیل این ضایعات برای کاربرد به عنوان مکمل غذایی ضد دیابت مورد ارزیابی قرار گیرد.

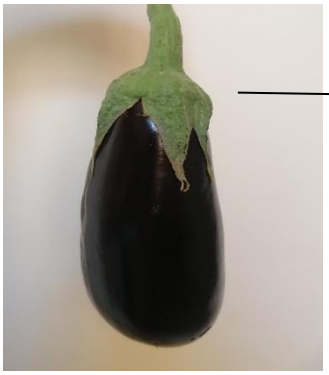
مواد و روش ها

مواد: بادمجان مورد استفاده در این پژوهش از مزرعه کشت بادمجان در شهرستان قوچان خریداری شد. اتانول مورد استفاده از شرکت کیمیا الکل زنجان ، نشاسته از شرکت مرک آلمان و سایر مواد مصرفی شامل بافر فسفات سدیم ، سدیم پتاسیم تارتارات تتراهیدرات،هیدروکسید سدیم ، ۵و۳-دی نیتروسالیسیلیک اسید[۲] (DNSA) ، آکاربوز و آنزیم آلفا آمیلاز استخراج شده از قارچ *آسپرژیلوس اوریزه* با کد A6211 از شرکت سیگما-آلدریچ (ایالات متحده آمریکا) خریداری شدند.

روش ها: عصاره گیری : برای تهیه عصاره کلاهک بادمجان به این ترتیب عمل شد که ابتدا کلاهک ها به دقت از بدنه بادمجانهای بنفش تازه (شکل ۱) جدا و پس از شستشو به مدت سه روز روی پارچه تمیزی پهن شده تا در دمای محیط کاملا خشک شوند. در مرحله بعد کلاهک ها توسط دستگاه آسیاب صنعتی (Best ساخت چین مدل ۵۰۰ A) به طور کامل و یکدست پودر شدند. برای اجتناب از داغ شدن پودر کلاهک ها و از بین رفتن خواص آنها، این عملیات در چند مرحله و بصورت تدریجی انجام گرفت. پس از تهیه شدن پودر کلاهک بادمجان ، برای عصاره گیری از ترکیب دو روش متداول استخراج با حلال و امواج فراصوت استفاده شد . در این پژوهش از حلال الکلی (اتانول ۹۹/۸ درصد) و حلال هیدروالکلی (مخلوط ٪۵۰ آب – اتانول) استفاده شد. برای عملیات عصاره گیری (با نسبت ماده جامد به حلال برابر$\frac{1}{10}$)، ۲۰ گرم از پودر کلاهک بادمجان با ۲۰۰ میلی لیتر از هر کدام از حلالها درون دو ارلن مخلوط شده ، سپس ارلن ها به مدت ۳۰ دقیقه و در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد درون دستگاه حمام فراصوت (PARS NAHAND ساخت ایران مدلPARSONIC 2600s) با توان ۷۰ وات و فرکانس امواج ۲۸ Khz قرار داده شدند تا امواج فراصوت از میان مایع داخل ارلن ها (شامل حلال و پودر کلاهک) عبور کند. در نهایت پس از گذشت نیم ساعت در معرض حلال و امواج فراصوت بودن، مایع از کاغذ صافی واتمن ۱۲۵ میلی متر جهت جداسازی ذرات بسیار ریز و معلق موجود در محلول عبور داده شد. عصاره های بدست آمده در این مرحله درون دستگاه روتاری (HAHNVAPOR ساخت کره مدل HS-2005S) ریخته شده و بعد از طی حدود یک ساعت حلال ها جدا و نمونه ها تغلیظ

[2] 3,5 Di Nitro Salicylic Acid (DNSA)

شدند. در نهایت عصاره های بدست آمده در دمای ۴۹ - درجه سانتی گراد توسط دستگاه فریزدرایر (LTE Scientific LTD ساخت انگلستان) بصورت انجمادی خشک شده و پودر لیوفیلیزه حاصله برای انجام آزمایش های بعدی در ظرف درب بسته در داخل یخچال نگهداری شد.



شکل ۱: کلاهک بادمجان
Figure 1: Eggplant Calyx

راندمان عصاره گیری : برای سنجش راندمان عصاره گیری در این پژوهش از روش وزنی و رابطه شماره ۱ استفاده شد (Moradi *et al*., 2022).

رابطه ۱: $$\text{راندمان } \% = \frac{\text{وزن عصاره خشک}}{\text{وزن نمونه اولیه خشک}} \times 100$$

خاصیت مهار کنندگی آنزیم آلفا آمیلاز : برای بررسی خاصیت مهار کنندگی آنزیم آلفا آمیلاز از روش Miller (۱۹۵۹) استفاده شد. آزمونهای آنزیمی ، مواد مورد استفاده و نحوه ساخت آنها ، بر اساس پروتوکلهای توصیه شده شرکت تولید کننده آنزیم انجام شد . محلولهای مورد استفاده در این دستور العمل ، به صورت زیر تهیه شدند:

- محلول نشاسته : مقدار ۰/۲۵ گرم نشاسته سیب زمینی در ۲۰ میلی لیتر بافر فسفات سدیم (بافر سدیم فسفات ۲۰ میلی مول حاوی ۶/۷ میلی مول NaCl با pH ۶/۹) حل شده و درب ظرف پوشیده شده تا از تبخیر آب جلوگیری شود. سپس محلول در حین هم زدن به دمای نزدیک جوش رسانیده و به مدت ۱۵ دقیقه در همان دما نگهداری شد. پس از خنک شدن محلول در دمای اتاق، با افزودن ۵ میلی لیتر آب مقطر، حجم آن به ۲۵ میلی لیتر رسانده شد.

- محلول معرف رنگی ۵ و۳ دی‌نیتروسالیسیلیک اسید (محلول DNSA) :برای تهیه محلول ۹۶ میلی‌مولار ۳و۵-دی‌نیتروسالیسیلیک اسید، مقدار ۴۳۸ میلی‌گرم ازآن در ۲۰ میلی‌لیتر آب حل شده و برای انحلال بیشتر بین ۵۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. برای تهیه محلول نهایی معرف رنگی، ۱۲ میلی‌لیتر آب تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده ، سپس ۸ میلی‌لیتر از محلول ۵/۳ مولار سدیم پتاسیم تارتارات به آرامی اضافه شده و در ادامه ۲۰ میلی‌لیتر از محلول ۹۶ میلی‌مولار DNSA هم اضافه شد. حاصل بخوبی همزده شده تا کاملاً حل گردد. این محلول می‌تواند تا شش ماه در ظرف

قهوه‌ای در دمای اتاق نگهداری شود.

- محلول استاندارد مالتوز ۰/۲ درصد وزنی به حجمی : برای تهیه ۱۰ میلی لیتر محلول استاندارد مالتوز ۰/۲ درصد، مقدار لازم مالتوز در آب مقطر حل شد .
- محلول آنزیم آلفا آمیلاز: آلفا آمیلاز شماره EC 3.2.1.1 به غلظت تقریبی ۱ واحد در میلی لیتر در آب مقطر تهیه شد.

سنجش مهارکنندگی آنزیم آلفا آمیلاز: یک میلی لیتر از محلول نشاسته به همراه یک میلی لیتر آنزیم به مدت ۳ دقیقه در حمام آب ۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا واکنش آنزیمی زیر انجام شده و نشاسته به قند کاهنده (مالتوز) تجزیه شود .

نشاسته + آب+ آنزیم آلفاآمیلاز ⟶ مالتوز

سپس ۱ میلی لیتر از محلول معرف رنگی به آن اضافه شده و نمونه ها به مدت ۵ الی ۱۵ دقیقه درون حمام آب جوش قرار داده شدند . حرارت دادن نمونه باعث واکنش معرف رنگی با مالتوز و ایجاد رنگ نارنجی / قهوه ای می شود. در مرحله بعد، نمونه ها پس از خنک شدن روی یخ، با ۹ میلی لیترآب مقطر رقیق شده و در نهایت جذب نوری آنها با اسپکتروفتومتر (ساخت کره Optizen 2120 uv plus) در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه گیری گردید. از پودر لیوفیلیزه شده عصاره ها ، غلظتهای مختلف تهیه شده و این آزمایش برای غلظتهای مختلف از عصاره های الکلی و هیدروالکلی انجام گرفت. در نهایت پس از خوانش جذب نوری نمونه ها با ۳ تکرار ، درصد مهار آنزیم آلفا آمیلاز از رابطه ۲ بدست آمد (Kazempour *et al*., 2024; Eng-Kiat-and Huang, 2007; Miller, 1959; Sigma-Aldrich, 2014 Loo).

رابطه ۲ : $\%\ \text{درصد مهار آلفا آمیلاز} = \left(\frac{\text{جذب نمونه}-\text{جذب کنترل}}{\text{جذب کنترل}}\right) * 100$

شناسایی ترکیبات موجود در عصاره : در این پژوهش، جهت شناسایی ترکیبات موجود در عصاره هیدروالکلی کلاهک بادمجان ، از کروماتوگرافی گازی– طیف سنج جرمی[3](GC-MS) (Agilent GC 7890A MSD 5975 ساخت آمریکا) برای ترکیبات فرار و نسبتا کوچک ، و از کروماتوگرافی مایع – طیف سنج جرمی[4] (LC-MS) (Agilent 1200 6410 Triple Quadrupole ساخت آمریکا) برای ترکیبات بزرگتر مانند پلی فنلها استفاده شد.

کروماتوگرافی گازی – طیف سنج جرمی : این تکنیک شامل جداسازی ترکیبات فرار نمونه توسط ستون کروماتوگرافی گازی و شناسایی آنها بر اساس طیف جرمی و نسبت جرم به بار می باشد. این روش امکان انجام شناسایی کیفی و کمی با دقت بالا را فراهم می کند. در این آنالیز ، گاز حامل هلیوم با جریان ۳۴ میلیلیتر بر دقیقه به کار گرفته شد. برنامه دمایی ستون به ترتیب

[3] Gas Chromatography -Mass Spectrometry
[4] Liquid Chromatography -Mass Spectrometry

شامل شروع از ۵۰ °C، افزایش دما با نرخ ۱۰ °C در دقیقه تا ۲۳۰°C و سپس با نرخ ۳۰ °C در دقیقه تا ۲۷۰°C بود. زمان کل آنالیز ۳۱ دقیقه و ستون مورد استفاده HP-5MS با فاز ساکن ٪۵ فنیل متیل سیلوکسان بود. شناسایی ترکیبات فرّار در GC-MS بر اساس زمان بازداری و ساختار طیف جرمی صورت گرفت و نتایج با استانداردهای مرجع و کتابخانه های طیفی معتبر مقایسه شد.

کروماتوگرافی مایع – طیف سنج جرمی : در این روش، اجزای نمونه ابتدا با استفاده از کروماتوگرافی مایع بر اساس ویژگیهای فیزیکوشیمیایی نظیر قطبیت از یکدیگر جدا می شوند. سپس هر جزء جدا شده به طیف سنج جرمی منتقل شده و پس از یونیزاسیون (در این پژوهش یونیزاسیون منفی)، بر اساس نسبت جرم به بار یونها[5] (در این پژوهش بین ۱۰۰ تا ۷۰۰) شناسایی و تحلیل می گردد. این روش امکان آنالیز دقیق کیفی و کمی ترکیبات نمونه را فراهم می آورد. در این آنالیز کروماتوگرافی مایع فاز معکوس و با استفاده از ستون Kinetex C18 (۱۰۰ × ۲.۰۰ mm، اندازه ذرات ۲/۶ میکرومتر) صورت گرفت. فاز متحرک شامل ۰/۱ ٪ اسید فرمیک (حلال A) و استونیتریل (حلال B) بود. حجم تزریق ۱۰ میکرولیتر، دمای ستون ۲۵ درجه سانتیگراد و سرعت جریان ۰/۳ میلی‌لیتر در دقیقه تنظیم شد . شرایط دمای منبع، ولتاژ کاپیلاری و جریان گازها مطابق توصیه های شرکت سازنده تنظیم شد. شناسایی ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی بر اساس زمان بازداری آنها، طیف جرمی و ویژگیهای یون مولکولی، در مقایسه با استانداردهای مرجع صورت گرفت .

تحلیل آماری : برای تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده در این پژوهش از SPSS نسخه ۱۸ با سطح معنی داری ۰/۰۵ و آنالیز واریانس یک طرفه با تست تعقیبی دانکن استفاده شده است. آزمایشات با ۳ بار تکرار انجام شده ، نتایج بصورت میانگین ± انحراف استاندارد نشان داده شده و نمودارها با استفاده از نرم افزار اکسل رسم شده اند .

نتایج و بحث

راندمان فرآیند عصاره گیری : منظور از راندمان عصاره گیری خشک، نسبت مقدار عصاره خشک شده به وزن کل ماده اولیه خشک می باشد که از رابطه ۱ محاسبه شده است و برای عصاره های هیدروالکلی و الکلی به ترتیب ۲۴/۹٪ و ۳/۶۷٪ به دست آمده است . عوامل متعددی مانند نوع و ویژگیهای گیاه، ترکیبات هدف، روش استخراج و پارامترهای فرآیند بر راندمان یا بهره وری عصاره گیری موثر هستند. در این مطالعه، دو عصاره تحت شرایط کاملا یکسان از نظر روش استخراج، مدت زمان مجاورت گیاه با حلال ، مدت زمان تماس با امواج فراصوت، اندازه ذرات و نسبت حلال به ماده جامد تهیه شده و تنها تفاوت آنها در نوع حلال مورد استفاده بوده است . نتیجه حاصل نشان دهنده برتری ۶/۷۸ برابری حلال هیدروالکلی نسبت به حلال الکلی خالص در فرآیند استخراج عصاره خشک از کلاهک بادمجان بوده است. مطالعات پیشین نیز نشان داده اند که نوع و ساختار حلال بر

[5] m/z

راندمان استخراج و همچنین نوع ترکیبات استخراج شده اثرگذار بوده و پژوهشها موید این مطلب بوده اند که حلالهای هیدروالکلی نسبت به حلالهای الکلی خالص یا آبی خالص معمولاً راندمان استخراج بالاتری دارند. این برتری به ساختار و ویژگیهای قطبیت این نوع حلالها برمی گردد. ترکیب آب و اتانول، حلالی با قطبیت متوسط ایجاد میکند که قادر است طیف وسیعتری از ترکیبات قطبی و نسبتاً غیرقطبی را حل نماید. افزون بر این، حضور آب در ترکیب حلال، نفوذپذیری آن به درون بافت سلولی گیاه را افزایش داده و انحلال ترکیبات قطبی و آزادسازی آنها را تسهیل می کند. در مقابل، نبود آب در حلالهای الکلی خالص باعث خشکی بیشتر دیواره سلولی و کاهش نفوذپذیری حلال شده و در نتیجه راندمان استخراج کاهش می یابد. بنابراین، حلالهای هیدروالکلی اغلب در استخراج ترکیبات زیست فعال کارایی بالاتری نسبت به حلالهای الکلی یا آبی خالص از خود نشان می دهند (Ferarsa *et al*., 2018; Subra-Paternault *et al*., 2022). بر طبق نتایج مطالعه ای در سال ۲۰۲۰ ، از بین حلال های اتانول ۷۰٪ ، متانول خالص و آب خالص ، حلال هیدروالکلی در استخراج ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی از کلاهک بادمجان، موفق تر عمل نمود (Al Nachar *et al*., 2020). در پژوهش حاضر نیز همین روند مشاهده شده و عصاره هیدروالکلی راندمان بالاتری در استخراج ترکیبات فعال گیاهی کلاهک بادمجان نسبت به عصاره صرفاً الکلی نشان داده است .

مهار کنندگی آنزیم آلفا آمیلاز : روش DNSA یک روش رنگ سنجی بسیار پرکاربرد برای اندازه گیری فعالیت آنزیمهایی مثل آلفا آمیلاز است که قندهای احیاکننده (مانند مالتوز) تولید می کنند . اساس این روش بر پایه تولید مالتوز بواسطه اثر آنزیم آلفا آمیلاز روی نشاسته ، سپس واکنش معرف رنگی DNSA با مالتوز و ایجاد ترکیب نارنجی – قهوه ای، و در نهایت خوانش جذب نوری در طول موج مناسب می باشد. در همین راستا ، میزان جذب نوری برای غلظتهای مختلف عصاره ها در طول موج ۵۴۰ نانومتر ، با ۳ مرتبه تکرار از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و با قرار گرفتن در رابطه (۲) ، درصد مهار آنزیم آلفا آمیلاز برای هر کدام از نمونه ها محاسبه گردید. نتایج جذب های قرائت شده در جدول ۱، و درصد مهار آنزیمی در شکل ۲ آورده شده است . لازم به ذکر است جذب نمونه کنترل مثبت (حاوی مالتوز و رنگ و آنزیم) ۰/۷۹۰ و جذب نمونه کنترل منفی (آب و رنگ و آنزیم) ۰/۰۹ بدست آمده ، همچنین جذب نمونه آکاربوز به عنوان داروی مهار کننده تایید شده برابر با ۰/۱۴۴ و درصد مهار آکاربوز ۸۱/۷۷ بدست آمده است.

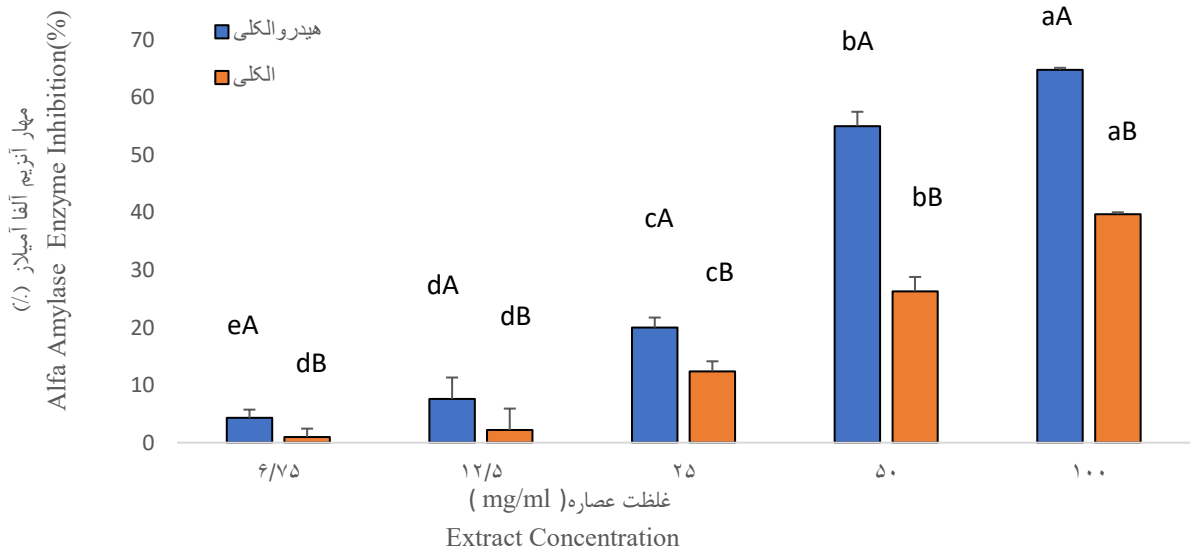
جدول۱- جذب نوری غلظتهای مختلف عصاره های کلاهک بادمجان

Table 1: Optical Absorption of various concentrations of eggplant calyx extracts

شماره نمونه	غلظت عصاره Extract Concentration (mg/ml)	انحراف استاندارد± میانگین جذب نوری Mean of Optical Absorption±SD عصاره الکلی Alcoholic Extract	انحراف استاندارد± میانگین جذب نوری Mean of Optical Absorption±SD عصاره هیدروالکلی Hydro-Alcoholic Extract
1	6.75	0.782± 0.03	0.756±0.025
2	12.5	0.772±0.034	0.733±0.01
3	25	0.692±0.021	0.631±0.013
4	50	0.582±0.013	0.354±0.01
5	100	0.476±0.041	0.278±0.011

جذب های نوری قرائت شده از دستگاه دارای ۳ بار تکرار بوده و نتیجه بصورت انحراف استاندارد ± میانگین بیان شده است .

نتایج حاصل از آزمون مهار آنزیمی نشان داد که با افزایش غلظت عصاره کلاهک بادمجان، میزان مهار آنزیم آلفاآمیلاز نیز بطور معنی داری افزایش می یابد ($p<0.05$). به عنوان نمونه، درصد مهار آنزیم برای عصاره الکلی در غلظت ۱۰۰ mg/ml برابر با ۳۹/۷٪ و در غلظت ۶/۷۵ mg/ml تنها ۱٪ به‌دست آمد. در مقابل، عصاره هیدروالکلی در غلظت ۱۰۰ mg/ml توانست ۶۴/۸٪ مهار آنزیم را ایجاد کند، در حالیکه این مقدار در غلظت ۶/۷۵ mg/ml معادل ۴/۳٪ بود. مقایسه عصاره ها نشان می دهد که عصاره هیدروالکلی راندمان به مراتب بالاتری در مقایسه با عصاره الکلی دارد ($p<0.05$). علت این امر را می توان در ماهیت حلال هیدروالکلی جستجو کرد، ترکیب آب و الکل به عنوان یک سیستم دوگانه قطبی– غیرقطبی عمل کرده و قادر است طیف گسترده تری از ترکیبات گیاهی را استخراج کند. بدین ترتیب، بخش قطبی آب به حل شدن ترکیبات قطبی کمک کرده و بخش غیرقطبی اتانول در استخراج ترکیبات غیرقطبی مؤثر است. این ویژگی سبب می شود که مخلوط هیدروالکلی در مقایسه با حلالهای خالص عملکرد بهتری در فرایند استخراج داشته باشد. بر اساس همین مکانیسم، اثر مهارکنندگی عصاره هیدروالکلی بر آنزیم آلفاآمیلاز نسبت به عصاره الکلی قابل توجهتر است.

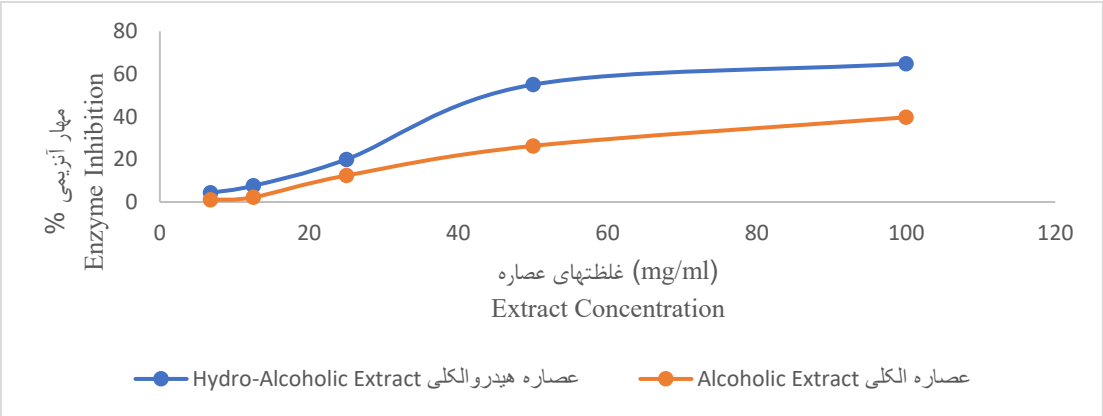


شکل۲: درصد مهار آنزیم آلفا آمیلاز در غلظتهای مختلف عصاره های الکلی و هیدروالکلی ، تفاوت معنی دار بین درصد مهار انزیم عصاره های الکلی و هیدروالکلی با حروف بزرگ انگلیسی نشان داده شده است (مقایسه بین عصاره های الکلی و هیدروالکلی) و تفاوت معنی دار بین درصد مهار آنزیم توسط هر عصاره در غلظتهای مختلف با حروف کوچک انگلیسی نشان داده شده است (مقایسه بین غلظتهای مختلف عصاره الکلی با یکدیگر و همچنین مقایسه بین غلظتهای مختلف عصاره هیدروالکلی با یکدیگر)

Figure 2: Percentage of alpha-amylase enzyme inhibition at different concentrations of alcoholic and hydroalcoholic extracts. Significant differences between the enzyme inhibition percentages of alcoholic and hydroalcoholic extracts are indicated by capital English letters (comparison between alcoholic and hydroalcoholic extracts), while significant differences in enzyme inhibition percentages among different concentrations of each extract are indicated by lowercase English letters (comparison among various concentrations of the alcoholic extract and among those of the hydroalcoholic extract)

یافته های این پژوهش همراستا با مطالعات پیشین در مورد سایر بخشهای بادمجان است. مطالعات متعددی اثر بازدارندگی ترکیبات گیاهی بر آنزیمهای آلفاآمیلاز و آلفاگلوکوزیداز را گزارش کرده اند. به عنوان مثال، نتایج مطالعه ای اثبات کرد که گوشت میوه بادمجان می تواند فعالیت مهاری قابل توجهی بر روی هر دو آنزیم آلفاآمیلاز و آلفاگلوکوزیداز داشته باشد

و به این ترتیب در کنترل بیماری دیابت نقش ایفا کند (Yarmohammadi *et al.*, 2020). محققان ترکیه ای نیز در پژوهشی انواع مختلف بادمجانهای (کاشت ترکیه) را با یکدیگر مقایسه کرده و بررسی‌ها نشان داد تفاوت در میزان مهارکنندگی آلفاآمیلاز می تواند به ترکیب شیمیایی متفاوت (ساختار مولکولی فنولیک‌ها، آنتوسیانین‌ها یا دیگر ترکیبات فنولی)، شرایط جغرافیایی و فاکتورهای زیستی نسبت داده شود که ارقام بادمجان سیاه و بنفش از نظر محتوای ترکیبات فنولی و ارزشهای آنتی اکسیدانی، پتانسیل سودمند بیشتری نسبت به بادمجان سفید نشان داده و بادمجان‌های دارای پوست تیره تر (به ویژه بنفش) نسبت به نوع سفید، فعالیت مهارکنندگی بیشتری بر روی آنزیم آلفاآمیلاز دارند و میتوانند به عنوان منابع طبیعی ترکیبات ضد دیابت مطرح شوند (Colak *et al.*, 2022). برای تعیین مقدار نیمه حداکثر غلظت مهارکننده یا بعبارتی IC_{50}[6]، داده های حاصل از درصد مهار آنزیمی بر حسب غلظتهای متفاوت عصاره ها به صورت نمودار دوز-پاسخ رسم گردید (شکل ۳). در نهایت با بدست آوردن معادله پیش بینی غلظت مقدار (جدول ۲) و قرار دادن مقدار ۵۰ درصد در معادلات، IC_{50} برای عصاره الکلی ۲۳۸mg/ml و برای عصاره هیدروالکلی ۵۵ mg/ml بدست آمد.



شکل ۳: درصد مهار آنزیم آلفا آمیلاز در غلـظتهای مختلف عصاره

Figure 3: Percentage of alpha-amylase enzyme inhibition at different extract concentrations

جدول ۲: معادله پیش بینی غلظت مورد نیاز عصاره برای مهار ۵۰ درصد از آنزیم آلفا آمیلاز

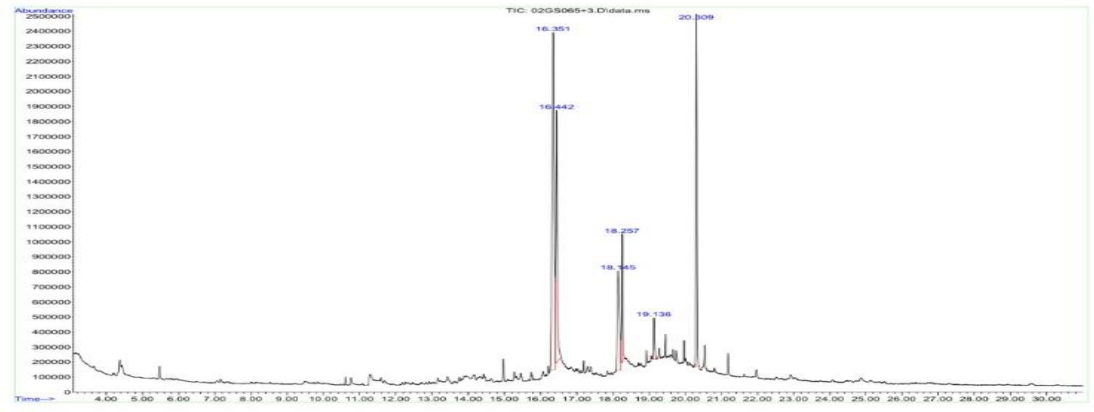
Table 2: The predicted equation for the concentration of extract required to inhibit 50% of alpha-amylase enzyme

نوع حلال Solvent	معادله Equation	R^2	(mg/ml) IC_{50}
هیدروالکل Hydro-Alcoholic	Y=24.962lnx-50.393	0.92	55
اتانول Ethanol	Y=15.052lnx-32.361	0.95	238

ترکیبات موجود در عصاره هیدروالکلی کلاهک بادمجان : به منظور تعیین نوع و مقدار ترکیبات موجود در عصاره کلاهک بادمجان از روش کروماتوگرافی گازی و مایع به همراه طیف سنج جرمی استفاده شد. کروماتوگرامهای مربوط به GC-

[6] Inhibitory Concentration

MS و LC-MS به ترتیب در شکلهای ۴ و ۵ آورده شده اند. در این شکلها محور افقی زمان بازداری را نشان می دهد که منظور از آن مدت زمان اقامت هر جز در ستون بوده ، و محور عمودی شدت پاسخ آشکار ساز یا فراوانی نسبی هر ترکیب را نشان می دهد. هر پیک در نمودار ، معرف یک ترکیب جدا شده بوده و مساحت آن نشاندهنده مقدار آن ماده در نمونه می باشد. بعبارتی پیک های بلندتر نشان دهنده ترکیبات با غلظت بالاتر است که بخش عمده عصاره را تشکیل می دهند و پیک های کوتاه تر نشان دهنده ترکیبات فرعی با غلظت کمتر هستند که سهمی ناچیز در عصاره دارند. جدول ۳ و ۴ ترکیبات شناسایی شده را با توجه به نوع کروماتوگرافی نشان می دهد.



شکل ۴ :کروماتوگرام حاصل از GC-MS مربوط به عصاره کلاهک بادمجان (زمان برحسب دقیقه است)
Figure 4: Chromatogram obtained from GC-MS related to eggplant calyx extract (time is expressed in minutes)

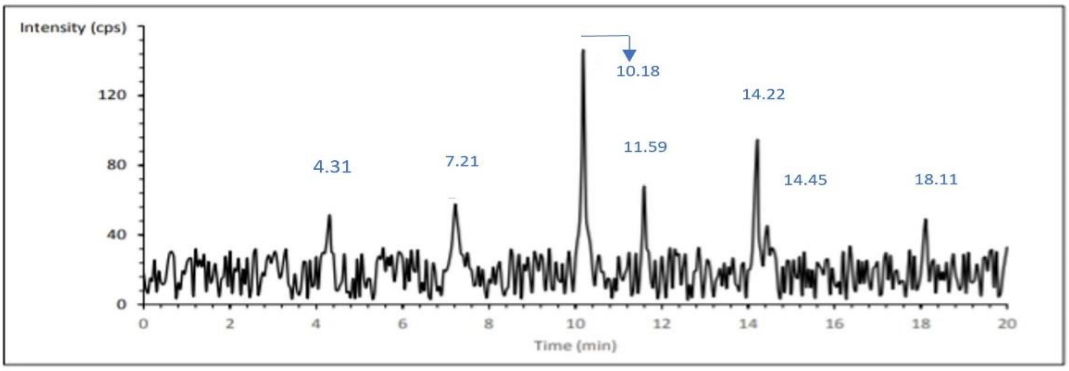
کروماتوگرافی گازی یکی از تکنیکهای دقیق و حساس در شناسایی و تحلیل ترکیبات فرار و معطر موجود در عصاره ها محسوب می شود. این روش نه تنها به تفکیک و شناسایی ترکیبات مختلف کمک می کند، بلکه در صورت اتصال به طیف سنج جرمی میتواند به طور دقیق ساختارهای شیمیایی این ترکیبات را تعیین کند. در کروماتوگرام به دست آمده از عصاره هیدروالکلی کلاهک بادمجان شش پیک اصلی مشاهده می شود که تمامی آنها جزو ترکیبات فرار و معطر دسته بندی شده اند. این ترکیبات شامل اسیدهای چرب بلند زنجیر و استرهای مربوط به آنها می باشند که هر کدام دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مشخصی هستند و در ایجاد عطر و طعم خاص عصاره نقش دارند. مهمترین این ترکیبات شناسایی شده عبارتند از: اسید هگزادکانوئیک (پالمیتیک اسید) یکی از اسیدهای چرب اشباع متداول است که به مقدار زیاد در روغن‌های گیاهی نظیر روغن نخل (پالم)، نارگیل، زیتون، آفتابگردان، ذرت و سویا یافت می‌شود. همچنین در میوه‌ها، دانه‌ها و برگ‌های برخی گیاهان دارویی و معطر نیز حضور دارد. به‌عنوان نمونه، مطالعه GC-MS روی عصاره اتانولی برگ گیاه بادمجان نشان داده است که این برگ حاوی اسید پالمتیک می باشد (Ogoko, 2020). نتایج مطالعات دیگری نیز نشان داده است اسید پالمتیک از جمله اسیدهای چرب موجود در میوه بادمجان و روغن مستخرج از دانه آن می باشد (Agoreyo *et al*., 2016; Jarret *et al*., 2016). نتایج مطالعه‌ای

هم‌راستا، نشان داد که عصاره‌های کلم بروکلی و کدوحلوایی نیز حاوی مقادیر قابل‌توجهی اسید هگزادکانوئیک می باشند، همچنین اتیل استر اسید هگزادکانوئیک از جمله ترکیباتی است که در عصاره‌های گیاهی از جمله عصاره اتانولی کدو حلوایی گزارش شده است (Latifi *et al*., 2004). اسید اکتادکانوئیک یا استئاریک اسید یک اسید چرب اشباع با زنجیره بلند می باشد که در بسیاری از عصاره های گیاهی وجود دارد . بطور مثال مطالعات نشان داده است عصاره برگ بادمجان و همچنین عصاره بادرشبی دارای اسید پالمتیک و اسید استئاریک می باشند (Zhang *et al*., 2023; Mafakheri *et al*., 2022). اتیل استر اسید اکتادکانوئیک نیز در عصاره‌ها و روغن‌های گیاهی متعدد شناسایی شده است. بر اساس گزارش‌های علمی، این ترکیب در روغن نارگیل، روغن نخل و همچنین دانه برخی گیاهان دارویی وجود دارد. وجود این ماده در عصاره کدوحلوایی گزارش شده است (Latifi *et al*., 204). علاوه بر این، ترکیبات دیگری نظیر استر پروپنوئیک اسید با گروه متوکسی‌فنیل، اتیل‌هگزانول، و دی‌استر اسید بنزن‌دی‌کربوکسیلیک با دی‌ایزواکتیل، گرچه کمتر گزارش شده‌اند، اما به‌طور خاص در برخی عصاره‌های گیاهی با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی مشاهده شده‌اند. این دسته ترکیبات معمولاً در گیاهان دارویی و معطر که در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرند حضور دارند. نتایج مطالعات پیشین بر روی اسیدهای چرب اشباع بلند زنجیره مانند اسید پالمتیک نشان داده است که آنها با اتصال به بخشهایی از آنزیم آلفا آمیلاز و یا جایگاه فعال آن ، ساختار فضایی آنزیم را تغییر داده و می توانند از فعالیت هیدرولیزی این آنزیم جلوگیری کرده و با کاهش فعالیت آنزیم ، در کنترل قند خون نقش مهمی دارند (Li *et al*., 2022; Soltani Nobakht *et al*., 2015).

جدول ۳: ترکیبات شناسایی شده در عصاره هیدروالکلی کلاهک بادمجان توسط دستگاهGC-MS

Table 3: Compounds identified in the hydroalcoholic extract of eggplant calyx by GC-MS

شماره پیک Number of Peaks	زمان بازداری (دقیقه) Retention Time(min)	نوع ماده شناسایی شده Type of Identified Compounds	فرمول مولکولی Molecular formula	درصد استحصال Extraction Yield percentage	غلظت نسبی (درصد) Relative concentration (/.)
1	16.351	Hexadecanoic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	82.3	43.8%
2	16.442	Ethyl ester of hexadecanoic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	63.8	17.2%
3	18.145	Octadecanoic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	75.3	13.4%
4	18.257	Ethyl ester of octadecanoic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	40.1	6.8%
5	19.136	Ester of propenoic acid with methoxyphenyl and ethylhexanol groups	$C_{18}H_{26}O_3$	63.3	2.3%
6	20.309	Diester of benzenedicarboxylic acid with diisooctyl	$C_{24}H_{38}O_4$	60.3	16.4%



شکل ۵:کروماتوگرام حاصل از LC-MS مربوط به عصاره کلاهک بادمجان (زمان برحسب دقیقه است)
Figure 5: Chromatogram obtained from LC-MS related to eggplant calyx extract (time is expressed in minutes)

جدول ۴: ترکیبات شناسایی شده در عصاره هیدروالکلی کلاهک بادمجان توسط دستگاهLC-MS
Table 4: Compounds identified in the hydroalcoholic extract of eggplant calyx by LC-MS analysis

شماره پیک	زمان بازداری	نوع ماده شناسایی شده	فرمول مولکولی	درصد استحصال	غلظت (µg/g)
Number of Peaks	Retention Time (min)	Type of Identified Compounds	Molecular formula	Extraction Yield percentage	Concentration
1	4.31	Catechin	$C_{15}H_{14}O_6$	95	305.4
2	7.21	Rutin	$C_{27}H_{30}O_{16}$	97	263.6
3	10.18	p-Coumaric acid	$C_9H_8O_3$	98	650.9
4	11.59	Myricetin	$C_{15}H_{10}O_8$	92	301.4
5	14.22	Caffeic acid	$C_9H_8O_4$	93	488.2
6	14.45	Luteolin	$C_{15}H_{10}O_6$	89	261.8
7	18.11	Kaempferol	$C_{15}H_{10}O_6$	94	275.2

اسید ρ-کوماریک بیشترین ترکیب شناسایی شده در عصاره کلاهک بادمجان بوده که به دلیل فعالیت قوی آنتی‌اکسیدانی شناخته شده است و مطالعه‌ای پیشین وجود این ماده را در پوست بادمجان نشان داده است (Kainat *et al*., 2023). اسید کافئیک و کاتچین نیز آنتی‌اکسیدانهای قوی هستند که نقش مهمی در پیشگیری از بیماری‌ها، از جمله سرطان، ایفا می‌کند. این نقش از طریق مهار تولید رادیکال‌های آزاد و محافظت در برابر آسیب اکسیداتیو سلولی حاصل می‌شود (Lim *et al*., 2025). میریستین، روتئین، لوتئولین و کامفرول فلاونوئیدهایی با خواص آنتی‌اکسیدانی قابل توجه هستند که به پیشگیری از آسیب اکسیداتیو به سلول‌ها کمک می‌کنند. یافته‌های پژوهشی نشان داده‌اند که روتئین با داشتن خاصیت بالای آنتی‌اکسیدانی، دارای اثرات ضد درد و ضد التهاب نیز می‌باشد. از طرفی یافته های مطالعات پیشین در مورد دیابت و کنترل قند خون موید این مطلب بوده اند که ترکیبات شناسایی شده در عصاره کلاهک بادمجان، در کنترل قند خون نقش مهمی دارند. این ترکیبات اکثرا با اتصال به جایگاه فعال آنزیمهای آلفا آمیلاز و یا آلفا گلوکوزیداز ، و ایجاد تغییر در ساختار فضایی آنها ، مانع هضم نشاسته شده و فعایت آنزیمهای مذکور را مهار می کنند. بطور مثال نتایج پژوهشی با محوریت بررسی مهار آنزیم آلفاآمیلاز توسط اسید کوماریک و سایر اسیدهای فنولیک ، نشان داده است گروه‌های هیدروکسی و متوکسی روی حلقه فنولیک مسئول اتصال قوی به جایگاه فعال آنزیم هستند که موجب کاهش تجزیه نشاسته می‌شوند (Aleixandre *et al*., 2022). مطالعه دیگری به بررسی مکانیسم اثر مهار کنندگی فلاونوئیدها بر آنزیم آلفا آمیلاز پرداخته و نشان داده کاتچین از طریق

ایجاد پیوند هیدروژنی میان گروههای فنولی و اسیدهای آمینه تیروزین و آلانین در جایگاه فعال آنزیم ، از تجزیه کربوهیدراتها جلوگیری می کند ، روتئین به دلیل وجود بخش قندی به محل غیرفعال آنزیم متصل شده و سبب تغییر ساختار فضایی آنزیم می شود. کامفرول دیگر فلاونوئید موجود در عصاره به دلیل ساختار کوچک خود براحتی در جایگاه فعال آنزیم قرار گرفته و جای نشاسته را می گیرد. میریستین نیز با توان بالای تشکیل پیوند هیدورژنی ، به هر دو ناحیه فعال و غیر فعال آنزیم متصل شده و با کاهش محتوای آلفا هلیکسی ساختار ثانویه آنزیم را تغییر می دهد (Martinez-Gonzalez *et al*., 2018). لوتئولین با اتصال به محلی در نزدیکی جایگاه فعال آنزیم ، با اسیدهای آمینه تیروزین و تریپتوفان برهمکنش داشته و ساختار آنزیم را تغییر داده و با کاهش دسترسی سوبسترا به جایگاه فعال ، فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز را مهار می کند (Jiang *et al*., 2025). این نتایج پتانسیل عصاره کلاهک بادمجان را به عنوان منبع طبیعی ارزشمند آنتی‌اکسیدانی و ضد دیابتی برای کاربرد در صنایع دارویی، تغذیه‌ای و غذایی برجسته می‌سازد.

نتیجه گیری کلی

نتیجه پژوهش حاضر نشان داد که عصاره‌های استخراج شده از کلاهک بادمجان دارای ترکیبات زیست‌فعال فنولیک و فلاونوئیدی می‌باشند که این موضوع به وسیله آنالیزهای دقیق LC-MS و GC-MS تایید گردید. این ترکیبات زیستی نه تنها به عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی شناخته می‌شوند بلکه در مهار فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز نیز نقش کلیدی ایفا می‌کنند. یافته‌های آنزیمی این مطالعه بیانگر توان مهارکنندگی قابل توجه عصاره‌های مذکور بر روی آنزیم آلفا آمیلاز است که می‌تواند به عنوان مکانیسم مهمی در کاهش هضم و جذب کربوهیدرات‌ها و در نتیجه کنترل بهتر نوسانات قند خون مطرح گردد. این نتایج، گواهی بر پتانسیل بالای عصاره‌کلاهک بادمجان به‌عنوان عامل طبیعی مهارکننده آنزیمی بوده و با توجه به ترکیب شیمیایی غنی و عملکرد زیستی مثبت خود، کاندید مناسبی برای تحقیقات بیشتر در حوزه داروهای گیاهی و جایگزین‌های طبیعی برای کنترل قند خون محسوب شده و می‌تواند پایه‌ای برای تولید مکمل‌های غذایی طبیعی ضد دیابت باشد. در نهایت پیشنهاد می شود مطالعات تکمیلی مهار آنزیمی در شرایط درون‌تنی[۷] و شبیه‌سازی مولکولی برای بررسی مکانیزم مهار آنزیم، بررسی شوند.

منابع

Agoreyo, B. O., Egharevba, M. E., Omage, J. I., & Okungbowa, E. S. (2016). Alkaloid, flavonoid, fatty acid and vitamin profiles of the unripe fruit of Solanum melongena L. (Round Variety). *African Scientist*, 17(2), pp. 123-134, Retrieved September 20, 2025, from http://publications.africanscientistjournal.org/

Agregan, R., Munekata, P. E. S., Feng, X., Araujo, G., Gullon, B., & Lorenzo, J. M. (2021). Recent advances in the extraction of polyphenols from eggplant and their application in foods. *LWT - Food Science and Technology,* 146, 111381, pp.1-13, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111381

[7] in vivo

Al Nachar, K., Hasian, J., Katramiz, K. (2020). Determination of Antioxidant Properties of Eggplant Fruit Calyx in Different Types of Solvents. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 9(15), pp.22–40, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.20959/wjpr202015-19279

Aleixandre, A., Gil, J. V., Sineiro, J., & Rosell, C. M. (2022). Understanding phenolic acids inhibition of α-amylase and α-glucosidase and influence of reaction conditions. *Food Chemistry*, 372, 131231, pp.1-9. Retrieved October 20, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131231

Castillejo, N., & Martinez-Zamora, L. (2024). Bioactive compounds from fruit and vegetable waste: extraction and possible utilization. *Foods*, 13(5), 775, pp.1-5, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.3390/foods13050775

Colak, N., Kurt-Celebi, A., Gruz, J., Strnad, M., Hayirlioglu-Ayaz, S., Choung, M.-G., Esatbeyoglu, T., Ayaz, F.A. (2022). The phenolics and antioxidant properties of black and purple versus white eggplant cultivars. *Molecules*, 27(8): 2410, pp.1-20, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.3390/molecules27082410

EL Bazzar, H., Mohamed, S., Mahmoud, Y., Bazan, L., Ibrahim, N., Mahmoud, R., Abou El Ezz, R., Ibrahim, H., Afifi, M. (2022). Pharmacodynamics evaluation of Eggplant wastes formulated as lyophilized tablets in an attempt for preparation of a bioactive natural antidiabetic dosage form. *Journal of Fundamental and Clinical Research,* 2(1), pp. 74-83, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.21608/jfcr.2022.245600

Eng Kiat Loo, A., & Huang, D. (2007). Assay-guided fractionation study of α-amylase inhibitors from Garcinia mangostana pericarp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(24), pp. 9805–9810, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1021/jf072439l

Ferarsa, S., Zhang, W., Moulai-Mostefa, N., Ding, L., Jaffrin, M.Y., Grimi, N. (2018). Recovery of anthocyanins and other phenolic compounds from purple eggplant peels and pulps using ultrasonic-assisted extraction. *Food Bioproducts Processing*, 109, pp. 19–28. Retrieved September 2۰, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.02.006

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *The state of food and agriculture: Moving forward on food loss and waste reduction*. Retrieved September 20, 2025, from http://www.fao.org/publications

Jarret, R. L., Levy, I., Potter, T. L., & Cermak, S. C. (2016). Oil and fatty acids in eggplant (*Solanum melongena* L.) and some related and unrelated Solanum spp. *American Journal of Applied Sciences*, 11(2), pp. 76–81, Retrieved September 20, 2025, from https://thescipub.com/ajas

Jiang, X., Li, Y., Ma, Y., Gao, F., & Yu, Y. (2025). Inhibition mechanism of starch digestion by luteolin, eriodictyol, and their complex in vitro: Multispectral, kinetic, and theoretical calculations analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 308, 142649, Retrieved October 20, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142649

Jokovic, N., Matejic, J., Zvezdanovic, J., Stojanovic-Radic, Z., Stankovic, N., Mihajilov-Krstev, T., & Bernstein, N. (2024). Onion peel as a potential source of antioxidants and antimicrobial agents. *Agronomy*, 14(3), 453. Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.3390/agronomy14030453

Kainat, F., Ali, M., Akbar, A., Masih, R., Mehnaz, S., & Sadiq, M. B. (2023). Ultrasonic extraction of phenolic compounds from eggplant peel and formulation of eggplant peel extract-enriched ice-cream. *Journal of Food Quality*, 2023, Article ID 3267119, pp.1-10, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1155/2023/3267119

Kaveh, S., Sadeghi Mahoonak, A., Sarabandi, K. (2020), The Effect of Solvent Type, Time and Extraction Method on the Chemical Compositions and Antioxidant Activity of Eggplant Peel Extract, *Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University*, 17(2), pp. 135-150, Retrieved September 20, 2025, from https://karafan.tvu.ac.ir/article_587337.html (In Persian)

Kazempour, M., Shahangian, S. S., & Sariri, R. (2024). Dracocephalum kotschyi: Inhibition of critical enzyme relevant to type-2 diabetes, essential oil composition, bactericidal and anti-oxidant activity. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 22(2), pp. 289–303, Retrieved September 20, 2025, from https://cjes.guilan.ac.ir

Kwon, Y.-I., Apostolidis, E., Shetty, K. (2008). In vitro studies of eggplant (Solanum melongena) phenolics as inhibitors of key enzymes relevant for type 2 diabetes and hypertension. *Bioresource Technology*, 99(8), pp.2981-2988, Retrieved September 2۰, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.035

Latifi, Z., Abedian Kenari, S., Mashayekh, A. (2024). Investigation of chemical compounds using GC-MS and antimicrobial properties of hydroethanolic extracts of pumpkin and some plants of the Cruciferous Family (Brassicaceae). *Applied Microbiology in Food Industries*, 10(1), pp.15-31. Retrieved September 2۰, 2025, from http://amfi.ir/article-1-69-fa.html (In Persian)

Li, X., Bai, Y., Jin, Z., & Svensson, B. (2022). Food-derived non-phenolic α-amylase and α-glucosidase inhibitors for controlling starch digestion rate and guiding diabetes-friendly recipes. *Lwt*, 153, 112455, pp.1-7. Retrieved October 2۰, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112455

Liao, J., Xue, H., Li, J. (2022). Extraction of phenolics and anthocyanins from purple eggplant peels by multi-frequency ultrasound: Effects of different extraction factors and optimization using uniform design. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90: 106174, pp.1-9, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106174

Lim, S. C., Lee, T. B., & Han, S. I. Y. (2025). Caffeic acid phenethyl ester inhibits metastatic properties of acid-adapted gastric cancer cells. *Anticancer Research*, 45, pp.1525–1534, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.21873/anticanres.17534

Mafakheri, S., Hallaj, R., Asghari, B. (2022). Study on phytochemical and antioxidant properties of dragonhead (Dracocephalum moldavica L.) seed oil, ethanol, and aqueous extracts. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research,* 38(1), pp. 176-189, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.22070/ijmapr.2022.126020 (In Persian)

Martinez-Gonzalez, A. I., Diaz-Sanchez, A. G., De La Rosa, L. A., Bustos-Jaimes, I., & Alvarez-Parrilla, E. J. S. A. P. A. M. (2019). Inhibition of α-amylase by flavonoids: Structure activity relationship (SAR). Spectrochimica Acta Part A: *Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 206, pp.437-447, Retrieved October 20, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.08.057

M'hiri, N., Ioannou, I., Paris, C., Ghoul, M., Boudhrioua, N. (2017). Antioxidants of Maltease orange peel: comparative investigation of the efficiency of four extraction methods. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 7(11), pp. 126–135, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.71119

Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry,* 31(3), pp. 426-428, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1021/ac60147a030

Moradi, D., Ramezan, Y., Eskandari, S., Mirsaeedghazi, H., & Javanmard Dakheli, M. (2022). Optimization of polyphenol recovery from potato peel and its incorporation into low-density polyethylene films activated by cold plasma. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13, pp.14209–14223, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1007/s13399-022-03492-z

Nwanna, E. E., Ibukun, E. O., & Oboh, G. (2013). Inhibitory effects of methanolic extracts of two eggplant species from South-western Nigeria on starch hydrolysing enzymes linked to type-2 diabetes. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 7(23), pp.1575-1584, Retrieved October 20, 2025, from https://doi.org/10.5897/AJPP2013.3606

Ogoko, E. C. (2020). Chemical Information from GCMS of Ethanol Extract of Solanum melongena (Aubergine) Leaf. *Communication in Physical Sciences*, 6(1): 658-668. Retrieved September 2۰, 2025, from https://journalcps.com/index.php/volumes

Parvazi-Qomi, N., Labbeiki, GH., (۲024). Optimization of the eggplant calyx extract extraction process using ultrasonic waves and evaluation of the antioxidant, antimicrobial, and qualitative properties of the extract, Master's thesis, Islamic Aazd University of Tehran Medical Sciences Branch, Iran. (In Persian)

Ramzan, K., Zehra, S. H., Balciunaitiene, A., & Viskelis, P. (2025). Valorization of Fruit and Vegetable Waste: An Approach to Focusing on Extraction of Natural Pigments. *Foods*, 14 (1402), pp.1402-1426, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.3390/foods14081402

Rimando, A. M., & Perkins-Veazie, P. M. (2005). Determination of citrulline in watermelon rind. *Journal of Chromatography A*, 1078 pp, 196–200. Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.05.009

Sigma-Aldrich. (2014). Enzyme Assay Protocols and Reagents. Retrieved September 2۰, 2025, from https://www.sigmaaldrich.com

Silva-Beltran, N. P., Chaidez-Quiroz, C., Lopez-Cuevas, O., Ruiz-Cruz, S., Lopez-Mata, M. A., Del-Toro-Sánchez, C. L., Marquez-Rios, E., & Ornelas-Paz, J. J. (2017). Phenolic compounds of potato peel extracts: Their antioxidant activity and protection against human enteric viruses. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(2), pp.234–241, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.4014/jmb.1606.06007

Soltani Nobakht, Y., Yaghmaei, P., Ebrahim Habibi, A. (2015). The inhibitory effect of aromatic compounds on bovine serum alpha-amylase activity: Searching for potential compounds effective in blood sugar control. *Iran Journal of Diabetes and Metabolism*, 14(3), pp.163–168, Retrieved October 20, 2025, from http://ijdld.tums.ac.ir/article-۱-۵۳۶۵-fa.html (In Persian)

Subra-Paternault, P., Garcia-Mendoza, M. D. P., Savoire, R., & Harscoat-Schiavo, C. (2022). Impact of hydro-alcoholic solvents on the oil and phenolics extraction from walnut (Juglans regia L.) press-cake and the self-emulsification of extracts. *Foods*, 11(2), 186, pp.1-14, Retrieved September 2۰, 2025, from https://www.mdpi.com/2304-8158/11/2/186

Yarmohammadi, F., Ghasemzadeh Rahbardar, M., & Hosseinzadeh, H. (2021). Effect of eggplant (*Solanum melongena*) on the metabolic syndrome: *A review. Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 24(4), pp.420-427, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.22038/ijbms.2021.50276.11452

Zhang, S., Zhao, B., Zhang, X., Wu, F., Zhao, Q. (2023). The metabolomics response of *Solanum melongena* L. leaves to various forms of Pb. *Nanomaterials*, 13(22): 2911, pp.1-15, Retrieved September 20, 2025, from https://doi.org/10.3390/nano1322911