

Evaluation of the antifungal activity of copper oxide nanoparticles and essential oils of oregano, cumin and eucalyptus against the causative agent of gray mold disease of grape

Abolfazl Narmani^{✉1}, Zahra Mahdizadeh¹, Amir Hossein Akbari², Farshad Setareh², Arman Yazdani², Mobin Koofei², Mahdi Arzanlou¹, Hosein Hatf Heris¹



¹ Plant Protection Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
² Allameh Tabatabaiee Brilliant Talents High School, Bonab, Iran

Corresponding author

✉ Abolfazl.narmani2@gmail.com

Abstract

Keywords

Antimicrobial, *Botrytis cinerea*, GC-MS, Integrated management, Natural compounds

The gray mold disease of grapes, caused by the *Botrytis cinerea*, is one of the most important grape diseases, leading to substantial economic losses annually. Today, synthetic chemical pesticides are widely used to control plant pathogens. However, their use is often limited due to environmental issues, pesticide residues, health concerns, and the emergence of resistant pathogen strains. Therefore, in the present study, to find safe alternatives to synthetic chemical compounds, the antifungal activity of essential oils from several plant species, including oregano, cumin, eucalyptus, and copper oxide nanoparticles, together with the fungicides Luna (Trifloxystrobin+Fluopyram) and Topas (Penconazole), was investigated against *B. cinerea* under *in vitro* conditions. The identification of the components of the essential oils was performed using a gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that oregano essential oil at a concentration of 1000 ppm exhibited the highest inhibition rate (71.42%), while the Luna fungicide at a concentration of 62.5 ppm showed the lowest inhibition rate (1.7%). Additionally, GC-MS analysis revealed that α -Pinene, Pulegone, and β -Pinene were the major constituents of the essential oils of eucalyptus, oregano, and cumin, respectively. Based on the results of this study and similar research, it can be concluded that the application of oregano and cumin essential oils is effective in controlling *B. cinerea* and can be considered potential substitutes for chemical fungicides in inhibiting the growth of *B. cinerea*. However, to utilize these essential oils for controlling plant pathogens, more comprehensive studies are necessary.

Received: 5 July 2025
Revised: 25 July 2025
Accepted: 27 July 2025

Available online: 3
December 2025

Cite this article:

Narmani A, Mahdizadeh Z, Akbari AH, Setareh F, Yazdani A, Koofei M, Arzanlou M, Hatf Heris H, 2025. Evaluation of the antifungal activity of copper oxide nanoparticles and essential oils of oregano, cumin and eucalyptus against the causative agent of gray mold disease of grape. *J Appl Res Plant Prot* 14 (4).

<https://dx.doi.org/10.22034/arpp.2025.20878>



Copyright© 2025 University of Tabriz, Published by the University of Tabriz.

This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)

ارزیابی فعالیت ضد قارچی نانوذرات اکسید مس و اسانس‌های گیاهان پونه، زیره سبز و اکالیپتوس علیه قارچ عامل بیماری کپک خاکستری انگور

ابوالفضل نرمانی^۱، زهرا مهدیزاده^۱، امیرحسین اکبری^۲، فرشاد ستاره^۲، آرمان یزدانی^۲، مبین کوفه^۲، مهدی ارزنلو^۱

حسین هاتف هریس^۱

^۱ گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ دبیرستان استعدادهای درخشان علامه طباطبایی، بناب، ایران

نویسنده مسئول: Abolfazl.narmani2@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۴ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵

چکیده

بیماری کپک خاکستری انگور ناشی از قارچ *Botrytis cinerea* یکی از مهم‌ترین بیماری‌های انگور می‌باشد که سالیانه خسارت اقتصادی فراوانی وارد می‌کند. امروزه برای کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی از سموم شیمیایی سنتزی به طور گسترده استفاده می‌شود اما در اکثر موارد مشکلات زیست محیطی، باقی مانده سموم، مشکلات سلامتی و ظهور نژادهای مقاوم بیمارگر مصرف این ترکیبات را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است. بنابراین در پژوهش حاضر، به منظور پیدا کردن جایگزین‌های امن برای ترکیبات شیمیایی سنتزی، فعالیت ضدقارچی اسانس‌های چند گونه گیاهی شامل پونه، زیره سبز، اکالیپتوس و نانوذرات اکسید مس در کنار قارچ‌کش‌های لونا (تری فلوکسی استروبین و فلوپیرام) و توپاس (پنکونازول) علیه قارچ *B. cinerea* در شرایط درون شیشه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت. شناسایی اجزای تشکیل دهنده اسانس‌های گیاهی نیز با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) انجام شد. نتایج نشان داد که اسانس پونه در غلظت ۱۰۰۰ ppm با ۷۱/۴۲ درصد دارای بیش‌ترین بازدارندگی و قارچ‌کش لونا در غلظت ۶۲/۵ ppm با ۱/۷ درصد دارای کم‌ترین بازدارندگی بودند. همچنین نتایج آنالیز GC-MS نشان داد که α -Pinene، Pulegone و β -Pinene به ترتیب ترکیبات عمده تشکیل دهنده اسانس گیاهان اکالیپتوس، پونه و زیره سبز می‌باشند. با توجه به نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه می‌توان گفت کاربرد اسانس‌های پونه و زیره سبز در کنترل *B. cinerea* موثر می‌باشد و می‌توان از آنها به عنوان جایگزین بالقوه برای قارچ‌کش‌های شیمیایی در مهار رشد قارچ *B. cinerea* نام برد. ولی به منظور بهره‌گیری از این اسانس‌ها برای کنترل بیمارگرهای گیاهی، ضروری است که تحقیقات جامع‌تری انجام پذیرد.

کلمات کلیدی: *Botrytis cinerea*، ترکیبات طبیعی، GC-MS، ضد میکروبی، مدیریت تلفیقی

مقدمه

پوسیدگی‌های شدیدی به وجود می‌آورد. بر روی خوشه‌های انگور علائم توسعه بیماری به راحتی قابل رویت بوده و برای تولیدکنندگان انگور بسیار مشکل‌ساز و خطرناک می‌باشد (Droby & Lichter 2007; Hua et al. 2018).

عامل بیماری کپک خاکستری انگور *Botrytis cinerea* Pers. 1797 می‌باشد. تاکنون برای جنس *Botrytis* نزدیک به ۲۲ گونه شناسایی شده است. گونه‌های *Botrytis* از جمله *B. cinerea* از مهمترین بیمارگرهای گیاهان گلخانه‌ای، سبزی و صیفی، گیاهان زینتی و محصولات زراعی و باغی در مرحله قبل و بعد از برداشت می‌باشند (Hua et al. 2018). گونه *B. cinerea* برخلاف بسیاری از گونه‌های جنس *Botrytis* طیف میزبانی وسیعی دارد و قادر به آلوده کردن بیش از ۲۳۵ گونه گیاهی و

درختان انگور در معرض تعداد زیادی از عوامل آسیب‌رسان قرار دارند. بیمارگرهای گیاهی از عوامل مهم محدود کننده کشت و پرورش انگور در سراسر جهان و ایران محسوب می‌شوند. بر اساس اطلاعات موجود، قارچ‌ها از فراوانترین عوامل خسارت‌زا به شمار می‌روند (Arzanlou et al. 2014; Narmani & Arzanlou 2019). در بین بیماری‌های قارچی، بیماری کپک خاکستری انگور یکی از مهم‌ترین بیماری‌ها در تاکستان‌های سراسر جهان و ایران می‌باشد که کمیت و کیفیت محصول انگور را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد (Leroux 2007; Dean et al. 2012). قارچ عامل بیماری تمام اندام‌های هوایی انگور، به ویژه دم‌خوشه و خوشه انگور را مورد حمله قرار می‌دهد و بر روی آنها

محصولاتی مانند سبزیجات، حبوبات، گیاهان زینتی و میوه‌ها مانند انگور در سراسر جهان می‌باشد و باعث کاهش قابل توجهی در کیفیت و عملکرد بسیاری از محصولات مهم می‌شود (Hua et al. 2018). این بیماری‌گر، بخصوص برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌ها را در محصولات مهم کشاورزی مورد حمله قرار می‌دهد و علائم بیماری نسبت به گیاه میزبان متغیر است. البته علائم عمومی شامل لکه‌های قهوه‌ای و یا خاکستری رنگ روی میوه و سایر اجزای گیاه می‌باشد که به دلیل حضور میسلیم‌ها و اسپورها یک پوسیدگی کرک‌مانند به رنگ سفید خاکستری تا قهوه‌ای تشکیل می‌شود که نام بیماری هم از آن گرفته شده است. بافت‌های آلوده به رنگ قهوه‌ای تیره درآمده و پوسیده می‌شوند (Amselem et al. 2011).

همانند اغلب بیماری‌های گیاهی برای کنترل بیماری کپک خاکستری انگور نیز سموم شیمیایی مختلفی به طور گسترده استفاده می‌شود اما در اکثر موارد مشکلات زیست محیطی و باقی‌مانده سموم، ایجاد سمیت برای انسان، ظهور نژادهای مقاوم بیمارگر و در برخی موارد هزینه‌های بسیار بالا، مصرف این ترکیبات را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است (Wills et al. 1998). قارچ *B. cinerea* دارای سطح بالایی از تنوع ریخت‌شناختی و ژنتیکی است و توانایی تحمل شرایط محیطی سخت و مختلف را دارد. با توجه به اینکه بیمارگر قادر به آلوده‌سازی تمامی مراحل رشد و تقریباً همه اندام‌های هوایی گیاهان اعم از برگ، ساقه، گل و میوه می‌باشد؛ به همین دلیل کنترل آن مشکل و پرهزینه است به طوری که طبق گزارش‌ها در برخی سال‌ها تا ۲۵ میلیون دلار نیز برای کنترل و حفاظت قبل و بعد از برداشت محصولات در مقابل این بیماری هزینه شده است (Elad & Stewart 2007). توسعه مقاومت به قارچ‌کش‌ها یک تهدید برای صنعت کشاورزی است که در نهایت به مشکل جدی برای کشاورزان، شرکت‌های سازنده آفت‌کش‌ها و محیط زیست تبدیل می‌شود. قارچ *B. cinerea* به عنوان یک بیمارگر با خطر بالای بروز مقاومت محسوب می‌شود (Leroux et al. 2002) و بروز مقاومت در جمعیت‌های *B. cinerea* به گروه‌های مختلف قارچ‌کش از نقاط مختلف دنیا گزارش شده است. بنابراین اجرای یک برنامه مدیریت مقاومت با به کارگیری ترکیبات مختلف به صورت متناوب با مکانیسم عمل متفاوت، برای حفظ اثر قارچ‌کش‌های ثبت شده در برابر بیمارگرهای گیاهی، لازم و ضروری است (Walker et al. 2013).

در دو دهه اخیر، استفاده از اسانس‌های گیاهی در کنترل بیماری‌های گیاهی به عنوان یک راهکار جدید مطرح شده است

(Anthony et al. 2003). گیاهان معطر متعلق به خانواده‌های نعنائیان و چتریان غنی از ترکیب‌های ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی هستند (Ramezani et al. 2004; Couladis et al. 2004). ردیابی و شناسایی ترکیبات فعال زیستی که بتوانند در مقیاس تجاری به عنوان ترکیبات طبیعی برای کنترل بیماری‌های گیاهی مورد استفاده قرار گیرند، به‌منظور تضمین امنیت غذایی، تولید پایدار محصولات کشاورزی و ایمنی غذایی بسیار ارزشمند خواهد بود. فناوری نانو یکی دیگر از راهکارهای مدیریتی نوین می‌باشد که امروزه مورد توجه محققین قرار گرفته است. فناوری نانو موجب گسترش مفاهیم جدید شده و پتانسیل قابل توجهی برای مدیریت بیماری‌های گیاهی دارد. فناوری نانو بر خلاف حوزه پزشکی و داروسازی، در زمینه کاربردهای کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Balaure et al. 2017; Sinha et al. 2017). فناوری نانو بر محدودیت اندازه مواد غلبه کرده و چشم انداز جهان را در مورد علم تغییر داده است (Droby & Lichter 2007). مواد نانو به دلیل نسبت سطح به حجم بالا و خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردشان به عنوان عوامل ضد میکروبی جدید به وجود آمده‌اند (Kim et al. 2007). نانومواد از قبیل تیتانیوم دی اکسید (Kwak et al. 2001) نقره (Kumar et al. 2008)، مس (Cioffi et al. 2005) و اکسید روی (Liu et al. 2009) برای کنترل بیماری‌های قبل و پس از برداشت استفاده شده‌اند و فعالیت‌های ضد میکروبی آنها به اثبات رسیده است.

همان‌طور که اشاره شد چالش‌های زیست‌محیطی، خطرات سلامتی و ظهور نژادهای مقاوم بیمارگر، مصرف سموم شیمیایی را به شدت محدود کرده است. بنابراین در پژوهش حاضر، به منظور پیدا کردن جایگزین‌های امن برای ترکیبات شیمیایی سنتزی، فعالیت ضدقارچی اسانس‌های چند گونه گیاهی شامل پونه، زیره سبز، اکالیپتوس و نانو ذرات اکسید مس در کنار قارچ‌کش‌های لونا و توپاس (پنکونازول) علیه قارچ کپک خاکستری انگور در شرایط درون شیشه‌ای (*in vitro*) مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه قارچ بیمارگر و ترکیبات شیمیایی

قارچ عامل کپک خاکستری انگور (*B. cinerea*) از آزمایشگاه قارچ شناسی تکمیلی گروه گیاهپزشکی دانشگاه تبریز تهیه گردید. نانو ذرات اکسید مس سنتز شده به روش شیمیایی با اندازه ذرات ۲۰-۴۰ نانومتر و خلوص ۹۹ درصد از دانشگاه تهران

و قارچ‌کش‌های شیمیایی لونا سنسیشن ۵۰۰ اس سی (Luna Sensation 500 SC: با ماده موثر تری فلوکسی استروبین + فلوپیرام با فرمولاسیون ۵۰٪ سوسپانسیون) و توپاس (پنکونازول (Penconazole) ۲۰٪ امولسیون روغن در آب) به ترتیب از شرکت بایر آلمان و گل سم تهیه شدند. برای تهیه زادمایه قارچ بیمارگر، از کشت یک هفته‌ای آن روی محیط سیب زمینی دکستروز آگار (PDA) سترون استفاده شد.

استخراج/اسانس‌ها

مواد گیاهی شامل بذور زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)، برگ‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) و پیکره رویشی پونه (*Mentha longifolia* (L.) Huds) خشک شده و سپس با استفاده از آسیاب خرد شدند. استخراج اسانس‌ها با استفاده از دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت دو ساعت بعد از جوش آمدن آب انجام شد. اسانس‌های به دست آمده توسط سولفات سدیم آگیری شده و تا زمان انجام آزمایش‌ها در ظرف شیشه‌ای تیره رنگ (شرایط تاریکی) در یخچال نگهداری شدند.

ارزیابی تاثیر غلظت‌های مختلف اسانس‌ها، نانوذرات و قارچ‌کش‌ها روی قارچ *Botrytis cinerea* در شرایط درون شیشه‌ای

برای این منظور، ابتدا غلظت‌های پایه از هر کدام از ترکیبات تهیه شد و سپس به منظور جلوگیری از آلودگی محیط کشت، از فیلتر بیولوژیک با منافذ ۰/۲۲ میکرومتر عبور داده شد. سپس محیط کشت PDA تهیه و در اتوکلاو سترون شد. در ادامه وقتی دمای محیط کشت به ۴۰ الی ۴۵ درجه سلسیوس رسید، غلظت‌های مربوطه از ترکیبات مورد استفاده تهیه و در تشتک پتری هشت سانتی‌متری ریخته شد. بر اساس منابع علمی و نتایج پیش‌آزمون، اسانس‌های زیره سبز، اکالیپتوس و پونه در غلظت‌های ۲۵۰ و ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ppm و نانوذرات در غلظت‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ و ۶۰۰ ppm استفاده شدند. همچنین براساس نتایج پیش‌آزمون و نیز با در نظر گرفتن دوز توصیه شده روی بسته‌بندی، قارچ‌کش توپاس در غلظت‌های ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ ppm و لونا در غلظت‌های ۶۲/۵، ۱۲۵ و ۲۵۰ ppm تهیه و استفاده شدند. پس از جامد شدن محیط کشت، دیسک‌های پنج میلی‌متری از محیط کشت حاوی قارچ بیمارگر با استفاده از چوب پنبه سوراخ کن تهیه و یک دیسک در قسمت وسط تشتک پتری قرار داده شد و بلافاصله پس از کشت قارچ دور تشتک‌های پتری با پارافیلیم مسدود شد. از محیط کشت PDA به عنوان شاهد

استفاده شد. زمانی که محیط کشت تشتک‌های پتری شاهد توسط قارچ به طور کامل پوشیده شد شعاع رشد رویشی قارچ اندازه‌گیری شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام پذیرفت. درصد بازدارندگی از رشد میسلیمی غلظت‌های مختلف ترکیبات مورد استفاده با فرمول $I(\%) = [(C - T)/C] \times 100$ محاسبه شد که در این فرمول I درصد بازدارندگی رشد قارچ بیماری‌زا، C شعاع رشد پرگنه در تیمار شاهد قارچ بیمارگر و T شعاع رشد پرگنه قارچ بیمارگر در معرض غلظت‌های مختلف ترکیبات می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده برای هر متغیر، پس از انجام آزمون نرمالیت و یکنواختی واریانس، با استفاده از نرم‌افزار آماری IBM SPSS Statistics 26.0 مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون دانکن در سطح ۵٪ انجام گرفت. تجزیه نتایج آزمایش، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. به‌این صورت که ترکیبات شیمیایی در شش سطح، عامل غلظت در سه سطح و شاهد به‌عنوان متغیرهای مستقل و درصد بازدارندگی به‌عنوان متغیر وابسته در آزمایش در نظر گرفته شد.

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس‌های مورد آزمایش

جهت شناسایی اجزای اسانس‌های گیاهان دارویی، از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) مدل HP-5MS Agilent GC7890B/MS5977A مجهز به ستون triple quadrupole با آنالیزور (0.25mm × 30m × 0.25um) کوپل شده موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. نمونه‌ها بعد از آگیری با سولفات سدیم بی‌آب به دستگاه GC-MS تزریق شدند. دمای محفظه تزریق روی ۲۵۰ درجه سلسیوس تنظیم و هر اسانس به میزان یک میکرولیتر تزریق شد. دمای اولیه ستون برای پنج دقیقه در ۶۰ درجه سلسیوس نگهداشته شد و سپس تا ۲۴۰ درجه سلسیوس با سرعت شش درجه سلسیوس در دقیقه افزایش یافت. از گاز هلیوم ۹۹/۹۹٪ با سرعت جریان 1 mL/min به‌عنوان گاز حامل و از انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت استفاده شد. ترکیبات تشکیل دهنده اسانس‌ها با استفاده از ضرایب بازدارندگی هر یک از اجزای تفکیک شده و طیف جرمی آنها و مقایسه این طیف‌ها با ترکیبات استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه رایانه دستگاه (Wiley 7n 0.1 (Wiley, NY) و Standard Reference

(Data, Gaithersburg NIST) با احتمال تطابق بیشتر از ۷۰ درصد شناسایی شدند.

نتایج

بررسی اثر ضد قارچی اسانس‌ها و نانوذرات در شرایط آزمایشگاهی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات قارچ‌کش و غلظت

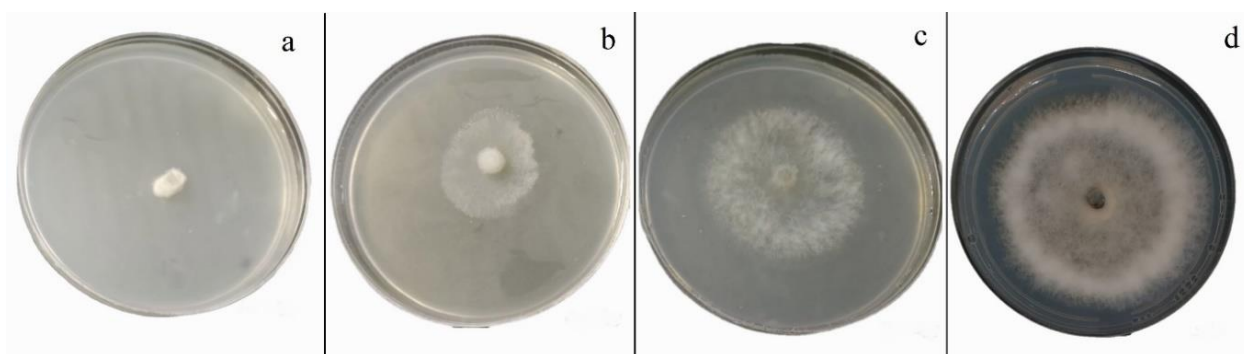
در سطح اطمینان ۵٪ بر بازدارندگی از رشد میسلیم معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر ترکیبات شیمیایی مختلف بر میزان بازدارندگی از رشد میسلیمی قارچ *B. cinerea* نشان داد که بیشترین درصد بازدارندگی از رشد میسلیمی مربوط به غلظت ۱۰۰۰ ppm اسانس پونه با درصد بازدارندگی ۷۱/۴۲ درصد بود که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. (جدول ۱، شکل ۱).

جدول ۱. درصد بازدارندگی از رشد میسلیمی غلظت‌های مختلف ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در پژوهش حاضر بر روی قارچ *Botrytis cinerea* در سطح احتمال پنج درصد.

Table 1. The inhibition percentage of mycelial growth by different concentrations of chemical compounds used in the present study on *Botrytis cinerea* at the 5% probability level.

Chemical compounds	Concentration (ppm)	Inhibition percentage of mycelial growth + Standard Deviation	
Topaz	75	2.38 ± 1.48	d*
	100	2.72 ± 2.72	d
	125	29.59 ± 1.76	c
Luna	62/5	1.7 ± 1.7	d
	125	6.12 ± 4.08	d
	250	11.22 ± 1.76	d
Pennyroyal essential oil	250	26.53 ± 1.76	c
	500	57.14 ± 1.76	b
	1000	71.42 ± 7.14	a
Cumin essential oil	250	5.44 ± 2.72	d
	500	9.18 ± 1.02	d
	1000	26.53 ± 3.06	c
Eucalyptus essential oil	250	6.12 ± 2.04	d
	500	10.20 ± 3.68	d
	1000	10.20 ± 1.02	d
Copper oxide nanoparticles	100	2.93 ± 1.46	d
	200	7.69 ± 1.90	d
	400	8.79 ± 3.96	d

* Different letters indicate significant differences at the 5% probability level according to Duncan multiple range test.



شکل ۱. اثرات بازدارندگی از رشد میسلیمی غلظت‌های مختلف اسانس پونه بر روی قارچ *Botrytis cinerea* (a) غلظت ۱۰۰۰ ppm (b) غلظت ۵۰۰ ppm (c) غلظت ۲۵۰ ppm (d) شاهد.

Figure 1. Inhibitory effects of different concentrations of oregano essential oil on mycelial growth on *Botrytis cinerea*. a) 1000 ppm concentration, b) 500 ppm concentration, c) 250 ppm concentration, d) control.

جدول ۲. ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده اسانس اکالیپتوس بر اساس آنالیز GC-MS.

Table 2. Chemical constituents of eucalyptus essential oil based on GC-MS analysis.

No.	Metabolite	CAS Registry Number	Chemical formula	Molecular weight (g/mol)	%Area
1	α -Pinene	80-56-8	C ₁₀ H ₁₆	136.234	18.56
2	Trans-verbenol	1820-09-3	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	2.10
3	Terpine-4-ol	562-74-3	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	4.76
4	Eucalyptol	470-82-6	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	2.73
5	Γ -Terpine	99-85-4	C ₁₀ H ₁₆	136.234	0.6
6	α -Terpinolen	586-62-9	C ₁₀ H ₁₆	136.234	0.52
7	Butanoic acid, 3-methyl-,3-methylebutyl ester	659-70-1	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	172.264	1.05
8	Fenchol	1632-73-1	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	0.52
9	L- α - Terpineol	10482-56-1	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	0.54
10	α - Terpineol	98-55-5	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	0.78
11	Sabinol	471-16-9	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	2.73
12	2-Cyclohexen-1-one, 3-methyle-6-(1-methylethyl)-	89-81-6	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	1.49
13	Carvacrol	499-75-2	C ₁₀ H ₁₄ O	150.217	0.6
14	Cyclohexene, 2-ethenyl-1,3,3-trimethyl-	5293-90-3	C ₁₁ H ₁₈	150.260	1.36
15	d-Camphene	5794-03-6	C ₁₀ H ₁₆	136.234	2.77
16	Bicycloelemene	32531-56-9	C ₁₅ H ₂₄	204.356	2.41
17	δ - Elemene	20307-84-0	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.71
18	α -Chamigrene	19912-83-5	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.96
19	α -Gurjenene	489-40-7	C ₁₅ H ₂₄	204.351	6.64
20	10s,11s-Himachala-3(12),4-diene	60909-28-6	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.01
21	Aromadendrene	489-39-4	C ₁₅ H ₂₄	204.351	4.96
22	Alloaromadendrene	25246-27-9	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.88
23	Valencen	4630-07-3	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.76
24	δ - Cadinene	483-76-1	C ₁₅ H ₂₄	204.351	2.16
25	α -Calacorene	21391-99-1	C ₁₅ H ₂₀	200.319	0.71
26	β -Selinene	17066-67-0	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.74
27	Isoaromadendrene epoxide	PubChem CID: 534398	C ₁₅ H ₂₄ O	220.350	1.45
28	Patchoulane	25491-20-7	C ₁₅ H ₂₆	206.366	0.70
29	Viridiflorene	21747-46-6	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.68
30	τ -Candinol	5937-11-1	C ₁₅ H ₂₆ O	222.366	0.95
31	δ - Candinol	19435-97-3	C ₁₅ H ₂₆ O	222.366	0.68
32	Alloisolongifolene	87064-18-4	C ₁₅ H ₂₄	204.351	0.80
33	Cadalin	483-78-3	C ₁₅ H ₁₈	198.303	0.59
34	Terpinyl propionate	80-27-3	C ₁₃ H ₂₂ O ₂	210.312	0.90
35	α -Phellandrene	99-83-2	C ₁₀ H ₁₆	136.234	2.73

همچنین نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که غلظت ۵۰۰ ppm

اسانس پونه با درصد بازدارندگی ۵۷/۱۴ درصد در ردیف بعدی

قرار داشت و همچنین غلظت‌های ۱۲۵ ppm، توپاس، ppm

۲۵۰ پونه و ۱۰۰۰ ppm زیره سبز به ترتیب با درصد‌های

بازدارندگی ۲۹/۵۹ درصد، ۲۶/۵۳ درصد و ۲۶/۵۳ درصد بدون

اختلاف معنی‌داری در ردیف بعدی قرار داشتند. بقیه تیمارها

بدون اختلاف معنی‌داری کمترین مقدار بازدارندگی از رشد

میسلیومی را داشتند که در این بین، کمترین مقدار مربوط به

غلظت ۶۲/۵ ppm قارچ کش لونا با درصد بازدارندگی ۱/۷ درصد

بود.

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس‌های مورد آزمایش

نتایج آنالیز داده‌های GC-MS نشان داد که عمده‌ترین

ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاه اکالیپتوس شامل α -Pinene

(۱۸/۵۶ درصد)، α -Gurjenene (۶/۶۴ درصد)،

Aromadendrene (۴/۹۶ درصد) و Terpine-4-ol (۴/۷۶ درصد)

می‌باشد (جدول ۲) و بقیه ترکیبات تشکیل دهنده اسانس

اکالیپتوس در جدول ۲ آورده شده است. همین نتایج نشان داد

که عمده ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاه پونه شامل

Pulegone (۱۴/۰۲ درصد)، 2,2,3,5,6-Heptene, 3-

pentamethyl- (۱۱/۶۹ درصد)، Eucalyptol (۹/۶۲ درصد) و α -Pinene (۸/۹۶ درصد)، 3-Carene (۷/۹۶ درصد)، γ -Terpinene (۷/۷۱ درصد) و Propanal, 2-methyl-3-phenyl- (۷/۰۱ درصد) می‌باشد (جدول ۳).
عمده ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاه زیره سبز نیز شامل β -Pinene (۱۵/۴۱ درصد)، Cuminaldehyde (۱۳/۷۱ درصد)،

جدول ۳. ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده اسانس پونه بر اساس آنالیز GC-MS.

Table 3. Chemical constituents of oregano essential oil based on GC-MS analysis.

No.	Metabolite	CAS Registry Number	Chemical formula	Molecular weight (g/mol)	%Area
1	(R)-(+)-3-Methylcyclopentanone	6672-30-6	C ₆ H ₁₀ O	98.143	0.89
2	3-Hexene, 3-methyl-, (E)-	3899-36-3	C ₇ H ₁₄	98.186	0.58
3	Cyclohexanone, 3-methyl-	591-24-2	C ₇ H ₁₂ O	112.169	2.07
4	3-Octanol	589-98-0	C ₈ H ₁₈ O	130.227	1.26
5	Eucalyptol	470-82-6	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	9.62
6	(E)- β -terpineol	7299-40-3	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	1.04
7	trans-Sabinene hydrate	017699-16-0	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	0.60
8	trans-Pinocarveol	1000292-85-4	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	0.89
9	Neomenthone	89-80-5	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	6.41
10	Menthomenthol	15356-70-4	C ₁₀ H ₂₀ O	156.265	1.74
11	Isopulegone	29606-79-9	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	3.33
12	L- α -Terpineol	10482-56-1	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	1.96
13	3-Heptene, 2,2,3,5,6-pentamethyl-	PubChem CID:5366082	C ₁₂ H ₂₄	168.32	11.69
14	Pulegone	89-82-7	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	14.02
15	Piperitenone oxide	35178-55-3	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	166.217	0.51
16	Piperitone	89-81-6	C ₁₀ H ₁₆ O	152.233	0.55
17	Carvacrol	499-75-2	C ₁₀ H ₁₄ O	150.217	1.70
18	1H-Indole, octahydro-	4375-14-8	C ₈ H ₁₅ N	125.211	3.91
19	6-Hydroxy-6-isopropyl-3-methylcyclohex-2-enone	1197-72-4	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168.23	3.84
20	Pulespenone	491-09-8	C ₁₀ H ₁₄ O	150.217	1.31
21	Piperitenone oxide	35178-55-3	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	166.217	2.93
22	2,4-Pentanedione, 3-ethyl-	1540-34-7	C ₇ H ₁₂ O ₂	128.169	3.01

جدول ۴. ترکیبات شیمیایی تشکیل دهنده اسانس زیره سبز بر اساس آنالیز GC-MS.

Table 4. Chemical constituents of cuminal essential oil based on GC-MS analysis.

No.	Metabolite	CAS Registry Number	Chemical formula	Molecular weight (g/mol)	%Area
1	α -Pinene	80-56-8	C ₁₀ H ₁₆	136.234	8.96
2	3-Carene	13466-78-9	C ₁₀ H ₁₆	136.234	7.96
3	β -Pinene	127-91-3	C ₁₀ H ₁₆	136.234	15.41
4	γ -Terpinene	99-85-4	C ₁₀ H ₁₆	136.234	7.71
5	α -Terpinolen	586-62-9	C ₁₀ H ₁₆	136.234	0.5
6	trans-Sabinene hydrate	17699-16-0	C ₁₀ H ₁₈ O	154.249	2.14
7	4,5-epoxy-1-isopropyl-4-methyl-1-cyclohexene	PubChem CID:6430780	C ₁₀ H ₁₆ O	152.230	6.39
8	Cuminaldehyde	122-03-2	C ₁₀ H ₁₂ O	148.201	13.71
9	Propanal, 2-methyl-3-phenyl-	1000131-87-6	C ₁₀ H ₁₂ O	148.201	7.01
10	Mandelamide	4410-31-5	C ₈ H ₉ NO ₂	151.162	0.72
11	Benzenemethanol, α -methyl-	98-85-1	C ₈ H ₁₀ O	122.164	1.55
12	Calarene	17334-55-3	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.26
13	Alloaromadendrene	25246-27-9	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.12
14	Caryophyllene	87-44-5	C ₁₅ H ₂₄	204.351	1.83

بحث

می‌باشد که با ایجاد بیماری کپک خاکستری، خسارات

قابل توجهی به محصولات فسادپذیر مانند توت‌فرنگی و انگور در

Botrytis cinerea یکی از بیمارگرهای کلیدی در کشاورزی

مراحل پیش و پس از برداشت وارد می کند (Droby & Lichter 2007; Hua et al. 2018). اگرچه قارچ کش های سنتزی به طور سنتی برای کنترل این بیمارگر استفاده شده اند، اما نگرانی های زیست محیطی، خطرات برای سلامتی انسان و ظهور مقاومت قارچی، کاربرد این ترکیبات را محدود کرده است (Walker et al. 2013). از این رو محققین در پی یافتن راهکارهای کنترلی جایگزین هستند. به کارگیری ترکیبات شیمیایی سنتزی برای مبارزه با *B. cinerea* روی محصولاتی که به صورت تازه مصرف می شوند خطرناک است؛ بنابراین استفاده از ترکیبات سالم و ایمن، به ویژه آنهایی که منشأ گیاهی دارند ضروری است. امروزه یکی از روش های کنترل آفات و بیماری های گیاهی، به ویژه در تولید محصولات سالم، استفاده از مواد و ترکیبات طبیعی با منشأ میکروبی و گیاهی است. همچنین، استفاده از ترکیبات طبیعی مانند اسانس های گیاهی، عصاره های طبیعی و نانوذرات، به عنوان روشی سالم و ایمن برای کنترل بیماری های قبل و پس از برداشت، مورد توجه قرار گرفته است (Xu et al. 1999; Plotto et al. 2003; Sinha et al. 2017). توانایی تجزیه پذیری اسانس های گیاهی و نانوذرات در طبیعت، همراه با سمیت کم برای انسان و سایر پستانداران و اثرات مخرب کمتر بر محیط زیست، این ترکیبات را به گزینه ای مناسب به عنوان جایگزین یا مکمل سموم شیمیایی برای حفاظت از محصولات کشاورزی و انباری تبدیل کرده است. در مطالعه ای Kazemian et al. (2019) نانوذرات اکسید مس بیوسنتز شده توسط گیاه اکالیپتوس را برای کنترل عامل بیماری کپک خاکستری گوجه فرنگی (*B. cinerea*) در شرایط درون شیشه ای و درون زیوه ای (*in vivo*) به کار بردند. نتایج آنها نشان داد که در شرایط درون شیشه ای غلظت های ۴۰۰ و ۶۰۰ ppm با مهار ۱۰۰ درصدی رشد بیمارگر و در شرایط درون زیوه ای غلظت ppm ۱۲۰۰ نانوذرات اکسید مس با مهار کامل بیماری موثرترین غلظت ها در کنترل قارچ و بیماری حاصل از آن بودند.

در تحقیقی Behdani et al. (2012) اثرات ضدقارچی اسانس گیاهان انیسون، زیره سبز، زیره سیاه، زنیان، پونه، آویشن، دارچین و شوید را روی قارچ *B. cinerea* (عامل پوسیدگی سیب پس از برداشت) مورد ارزیابی قرار دادند و مشخص شد اسانس این گیاهان در مهار عامل بیماری زا نقش موثری داشت. در پژوهشی، Siripornvisal et al. (2009) اثرات ضدقارچی اسانس گیاهان میخک و دارچین علیه *B. cinerea* را گزارش کردند. در پژوهشی دیگر اثرات سه اسانس پونه کوهی، آویشن و لیمو بر روی قارچ بیمارگر *B. cinerea* مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج

نشان داد که هر سه اسانس باعث کاهش جوانه زنی اسپور شدند (Vitoratos et al. 2013)، همچنین نتایج نشان داد که اسانس پونه کوهی در غلظت ۰/۳ μl/mL و اسانس لیمو در غلظت ۰/۵ μl/mL باعث بازدارندگی کامل *B. cinerea* به ترتیب روی گوجه فرنگی و توت فرنگی شدند. Mohammadi & Aminifard (2013) نشان دادند که اسانس رازیانه اثرات قابل توجهی در جوانه زنی اسپور *B. cinerea* داشته و باعث بازدارندگی کامل در غلظت ۶۰۰ uL/L شد. همچنین محلول پاشی اسانس رازیانه روی گوجه فرنگی آلوده به *B. cinerea* باعث افزایش عمر و کیفیت پس از برداشت و کاهش بیماری پس از برداشت شد (Mohammadi & Aminifard 2013). در پژوهش حاضر نیز اسانس پونه در شرایط آزمایشگاهی در هر سه غلظت مورد مطالعه نسبت به سایر اسانس ها، قارچ کش ها و نانوذره مس بر روی *B. cinerea* خاصیت ضد قارچی بیش تری نشان داد. از نظر آماری غلظت ۱۰۰۰ ppm اسانس پونه بیشترین درصد بازدارندگی را داشت و در مقایسه با قارچ کش های شیمیایی، درصد بازدارندگی غلظت ۲۵۰ ppm اسانس پونه و ۱۰۰۰ ppm اسانس زیره سبز با غلظت ۱۲۵ ppm توپاس برابری داشت. به عبارت دیگر، عملکرد اسانس های پونه در هر سه غلظت و زیره سبز در غلظت ۱۰۰۰ از دو قارچ کش شیمیایی لونا و توپاس بهتر بود. حساسیت گونه های قارچی بسته به نوع اسانس و غلظت های مختلف آن متفاوت است. تفاوت در فعالیت ضدقارچی اسانس های گیاهی به اجزای تشکیل دهنده آنها بستگی دارد.

نتایج آنالیز GC-MS اسانس اکالیپتوس (*Eucalyptus globulus*) توسط Ait benlabchir et al. (2024) نشان داد بخش عمده اسانس اکالیپتوس حاوی Eucalyptol (۶۲/۳۲ - ۴۲/۶۰ درصد) است و سایر ترکیبات شامل Globulol، O-cymene، Cryptone، Terpinen-4-ol و α-pinene می باشند. حضور ترکیبات دیگری از قبیل Carvacrol و Thymol در مقادیر کم نیز گزارش شده است (Ait-ouazzou et al. 2011). ترکیبات Eucalyptol (۵۱/۲۵ درصد)، Camphor (۹/۵۸ درصد)، Borneol (۷/۶۳ درصد) و Camphene (۳/۷۷ درصد) توسط Abbasi et al. (2020) از عصاره برگ اکالیپتوس گزارش شده است. در پژوهش حاضر نیز عمده ترین ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاه اکالیپتوس شامل α-Pinene (۱۸/۵۶ درصد)، α-Gurjenene (۶/۶۴ درصد)، Aromadendrene (۴/۹۶ درصد) و Terpine-4-ol (۴/۷۶ درصد) بود. آنالیز GC-MS اسانس پونه (*Mentha longifolia*) توسط Aimad et al. (2021) نشان داد که ترکیبات Pulegone (۷۶/۳۵ درصد)، Carvone (۵/۸۴)

ترکیبات تشکیل دهنده اسانس‌های گیاهی به میزان قابل توجهی بین گونه‌ها و واریته‌های مختلف و حتی گیاهان متعلق به مناطق جغرافیایی مختلف، متفاوت می‌باشند (Nerio *et al.* 2010). عوامل متعددی روی ترکیب اجزای اسانس‌ها اثر می‌گذارد که از آن جمله می‌توان به وضعیت فنولوژیکی گیاه، شرایط اکولوژیکی منطقه، فصل رویش، آب و هوا، نوع خاک، میزان رطوبت خاک و بخشی از گیاه که اسانس از آن استخراج شده اشاره نمود (Ngamo *et al.* 2007). در مطالعات مختلف بخش عمده اسانس اکالیپتوس حاوی Eucalyptol گزارش شده است در حالی که، در تحقیق حاضر Eucalyptol فقط ۲/۷۳ درصد از اسانس اکالیپتوس را تشکیل می‌داد (جدول ۲) که با توجه به مطالب فوق می‌توان این اختلاف را توجیح کرد.

Vagelas *et al.* (2009) ترکیبات فنولی را عامل مهار رشد قارچ‌ها دانستند و بیان کردند که ماده مؤثره اسانس‌ها در مهار قارچ‌ها را می‌توان مربوط به Thymol, Carvacrol, p-Cymene و γ -Terpinene دانست. به نظر می‌رسد که اثرات ضد قارچی قابل توجه اسانس‌های پونه و زیره سبز ضمن اینکه تحت تأثیر ترکیب غالب اسانس می‌باشد، اثرات تشدید کنندگی بین ترکیبات مختلف اسانس نیز از فاکتورهای عمده تعیین کننده فعالیت ضدقارچی بالای اسانس این دو گیاه می‌باشد (Soulaïmani 2025). روی هم رفته، با توجه به نتایج این پژوهش و پژوهش‌های مشابه می‌توان گفت کاربرد اسانس‌های پونه و زیره سبز در کنترل *B. cinerea* مؤثر می‌باشد و می‌توان از آنها به عنوان جایگزین مناسبی برای قارچ‌کش‌های شیمیایی در مهار قارچ *B. cinerea* نام برد. ولی به منظور بهره‌گیری از این اسانس‌ها برای کنترل بیمارگرهای گیاهی، ضروری است که تحقیقات جامع‌تری انجام پذیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به خاطر تامین بودجه لازم برای انجام تحقیق حاضر، آقای دکتر سلیمان کرد و آقای بابک نادری که هر یک به نحوی در اجرای این پژوهش کمک کردند، ابراز می‌دارند.

References

Abbasi N, Khalighi Z, Eftekhari Z, Bahmani M, 2020. Extraction and phytoanalysis of chemical compounds of *Eucalyptus globulus* leaf native to

درصد)، Dihydrocarvone (۵/۰۹ درصد) و 3-Octanol (۲/۲۵ درصد) از اجزای اصلی تشکیل دهنده اسانس پونه بودند. در مطالعه (Mahmodi *et al.* 2011) نیز Pulegone (۳۱/۵۴ درصد)، Eucalyptol (۱۵/۸۹ درصد)، Menthofuran (۱۱/۱۸ درصد) و (+)-cis-Isopulegone (۹/۷۴ درصد) ترکیبات اصلی اسانس را تشکیل دادند. در مطالعه ای دیگر، Nepetalactone (۳۹/۲۳ درصد)، Crypton (۹/۱۶ درصد)، Eucalyptol (۶/۸۲ درصد)، β -Ocimene (۴/۸۵ درصد) و β -Pinene (۴/۰۹ درصد) به عنوان ترکیبات غالب تشکیل دهنده اسانس پونه کوهی (*Nepeta sp.*) گزارش شدند (Enayati *et al.* 2023). Pulegone یک مونوترپن است که در روغن‌های اساسی گیاهان مختلف یافت می‌شود و فعالیت‌های زیستی متنوعی از خود نشان می‌دهد ساختمان فنولی موجود در ساختار اکثر ترپن‌ها بسیار فعال بوده و غشاهای سیتوپلاسمی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و اثرات ضد میکروبی این اسانس‌ها ناشی از حلقه فنولی موجود در ساختار آنها می‌باشد (Božović *et al.* 2017). همچنین Pulegone با اثر روی آنزیم استیل کولین استراز (AChE) در آفات *Rhyzopertha dominica* Fabricius, 1792 و *Lasioderma serricorne* Fabricius, 1792 می‌تواند به عنوان یک حشره‌کش خوب در برابر این آفات دانه غلات در نظر گرفته شود (Ramadan *et al.* 2020). در پژوهش حاضر نیز، عمده ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاه پونه شامل Pulegone (۱۴/۰۲ درصد)، 2,2,3,5,6-Heptene, 3-pentamethyl- (۱۱/۶۹ درصد)، Eucalyptol (۹/۶۲ درصد) و Neomenthone (۶/۴۱ درصد) بود. نتایج آنالیز GC-MS اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum*) توسط Hashemian *et al.* (2013) نشان داد عمده ترکیبات تشکیل دهنده اسانس این گیاه شامل γ -Terpinene, Cuminaldehyde, β -Pinene و p-Cymene می‌باشد. در مطالعه Saeidnejad & Moradi (2022) ترکیبات Thymol, Cuminaldehyde, γ -Terpinene و Thujene و Limonene از اجزای اصلی تشکیل دهنده اسانس زیره سبز بودند. در پژوهش حاضر، عمده ترکیبات تشکیل دهنده اسانس گیاه زیره سبز شامل β -Pinene (۱۵/۴۱ درصد)، Cuminaldehyde (۱۳/۷۱ درصد)، α -Pinene (۸/۹۶ درصد)، 3-Carene (۷/۹۶ درصد)، γ -Terpinene (۷/۷۱ درصد) و Propanal, 2-methyl-3-phenyl- (۷/۰۱ درصد) بود.

Dehloran, Ilam province, Iran by HS-SPME and GC-MS. *Advances in animal and veterinary sciences* 8(6): 647–652.

Aimad A, Sanae R, Anas F, Abdelfattah EM, Bourhia

- M, *et al.*, 2021. Chemical characterization and antioxidant, antimicrobial, and insecticidal properties of essential oil from *Mentha pulegium* L. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2021(1): 110–133.
- Ait benlabchir A, Fikri-Benbrahim K, Moutawalli A, Alanazi MM, Halmoune A, *et al.*, 2024. GC–MS Characterization and Bioactivity Study of *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae) Essential Oils and Their Fractions: Antibacterial and Antioxidant Properties and Molecular Docking Modeling. *Pharmaceuticals* 17(11): 1552.
- Ait-Ouazzou A, Lorán S, Bakkali M, Laglaoui A, Rota C, *et al.*, 2011. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oils of *Thymus algeriensis*, *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* from Morocco. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 2643–2651.
- Amselem J, Cuomo CA, Van Kan JA, Viaud M, Benito EP, *et al.*, 2011. Genomic analysis of the necrotrophic fungal pathogens *Sclerotinia sclerotiorum* and *Botrytis cinerea*. *PLOS Genetics* 7: e1002230.
- Anthony S, Abeyvikrama K, Wilson WS, 2003. The effect of spraying essential oils of *cymbopogon natus*, *Cymbopogon Flexuosus* and *Ocimum basilicum* on postharvest diseases and storage life of Embul banana. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78:780–785.
- Arzanlou M, Narmani A, Khodaei S, Moshari S, 2014. Pome and stone fruit trees as possible reservoir hosts for *Phaeoacremonium* spp., the causal agents of grapevine esca disease, in Iran. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 47(6): 717–727.
- Balaure PC, Gudovan D, Gudovan I, 2017. Nanopesticides: A New Paradigm in Crop Protection. New Pesticides and Soil Sensors, Academic Press. pp. 129–192.
- Behdani M, Pooyan M, Abbasi S, 2012. Evaluation of antifungal activity of some medicinal plants essential oils against *Botrytis cinerea*, causal agent of postharvest apple rot, in vitro. *International Journal of Agriculture and crop sciences* 4(14): 1012–1016.
- Božović M, Ragno R, Calamintha NL, 2017. Savi and its main essential oil constituent pulegone: biological activities and chemistry. *Molecules* 22(2): 290.
- Cioffi N, Torsi L, Ditaranto N, Tantillo G, Ghibelli L, *et al.*, 2005. Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Journal of Materials Chemistry* 17: 5255–5262.
- Couladis M, Tzakou O, Kujundzi S, Sokovi M, MimicaDukic N, 2004. Chemical analysis and antifungal activity of *Thymus striatus*. *Phytotherapy Research* 18: 40–42.
- Dean R, Van Kan JA, Pretorius ZA, Hammond Kosack KE, Di Pietro A, *et al.*, 2012. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology* 13: 414–430.
- Droby A, Lichter A, 2007. Post-harvest Botrytis infection: etiology, development and management: In: Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P. and Delen, N., (Eds.). *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Press, Pp. 349–367.
- Elad Y, Stewart A, 2007. Microbial control of *Botrytis* spp. In: *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P. and Delen, N. (Eds). Kluwer Academic Press, Dordrecht, The Netherlands, pp.223–241.
- Enayati S, Davari M, Habibi-Yangjeh A, Ebadollahi A, 2023. Mycelial inhibitory effects of five essential oils and two antagonistic *Trichoderma* species against some plant pathogenic *Fusarium* species. *Journal of Applied Research in Plant Protection* 11 (4): 29–42. (in Persian with English abstract).
- Hashemian N, Pirbalouti AG, Hashemi M, Golparvar A, Hamed B, 2013. Diversity in chemical composition and antibacterial activity of essential oils of cumin (*Cuminum cyminum* L.) diverse from northeast of Iran. *Australian Journal of Crop Science* 7(11): 1752–1760.
- Hua L, Yong C, Zhanquan Z, Boqiang L, Guozheng Q, *et al.*, 2018. Pathogenic mechanisms and control strategies of *Botrytis cinerea* causing post-harvest decay in fruits and vegetables. *Food Quality and Safety* 2(3): 111–119.
- Kazemian S, Zarrinnia V, Khosroshahli M, Hasanazadeh N, 2019. Investigation on the control effects of green copper oxide (CuO) nanoparticles on the tomato gray mold disease caused by *Botrytis cinerea*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 35 (1): 54–67. (in Persian with English abstract)
- Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim JH, Park SJ, *et al.*, 2007. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine* 3: 95–101.
- Kumar A, Vemula PK, Ajayan PM, John G, 2008. Silver nanoparticle-embedded antimicrobial paints based on vegetable oil. *Nature Materials* 7:236–241.
- Kwak SY, Kim SH, Kim SS, 2001. Hybrid organic/inorganic reverse osmosis (RO) membrane for bactericidal antifouling 1 Preparation and characterization of TiO₂ nanoparticle self-assembled aromatic polyamide thin film-composite (TFC) membrane. *Environmental Science*

- Technology* 35: 2388–2394.
- Leroux P, Fritz R, Debieu D, Albertini C, Lanen C, *et al.*, 2002. Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of *Botrytis cinerea*. *Pest Management Science* 58: 876–888.
- Leroux P, 2007. Chemical control of *Botrytis* and its resistance to chemical fungicides. In: *Botrytis: Biology, Pathology and Control*. Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P. and Delen, N. (Eds). Springer, Dordrecht, The Netherlands, Academic Press, Pp: 195–222.
- Liu Y, He L, Mustapha A, Li H, Lin, M, 2009. Antibacterial activities of zinc oxide nanoparticles against *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Applied Microbiology* 107: 1193–1201.
- Mahmodi R, Tajik H, Farshid AA, Ehsani A, Zaree P, *et al.*, 2011. Phytochemical properties of *Mentha longifolia* L. essential oil and its antimicrobial effects on *Staphylococcus aureus*. *Armaghane danesh* 16(5): 400–412.
- Mohammadi S, Aminifard MH, 2013. Inhibition of grey mould in vitro and in vivo with essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *Journal of Central European Agriculture* 14(1): 420–431.
- Narmani A, Arzanlou M, 2019. *Quambalaria cyanescens*, a new fungal trunk pathogen associated with grapevine decline in Iran. *Crop Protection* 124: 104875.
- Nerio LS, Olivero-Verbel J, Stashenko E, 2010. Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource Technology* 101(1): 372–378.
- Ngamo TSL, Ngatanko I, Ngassoum MB, Mapongmestsem PM, Hance, T, 2007. Persistence of insecticidal activities of crude essential oils of three aromatic plants towards four major stored product insect pests. *African Journal of Agricultural Research* 2(4): 173–177.
- Plotto A, Roberts RG, Roberts DD, 2003. Evaluation of plant essential oils as natural postharvest disease control of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Acta Horticulture* 628: 737–745.
- Ramadan GR, Abdelgaleil SA, Shawir MS, El-bakary AS, Zhu KY, *et al.*, 2020. Terpenoids, DEET and short chain fatty acids as toxicants and repellents for *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) and *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Ptinidae). *Journal of stored products research* 87: 101610.
- Ramezani M, Behravan J, Yazdinejad A, 2004. Composition and antimicrobial activity of the volatile oil of *Artemisia khorassanica* Podl. from Iran. *Pharmaceutical Biology* 42(8): 1–4.
- Saeidnejad AH, Moradi R, 2022. Extraction and determination of cumin essential oil compounds by GC-MS and spectrophotometry and evaluation of antioxidant potential under different growth conditions. *Iranian Journal of Analytical Chemistry* 9(2): 113–121.
- Sinha K, Ghosh J, Sil PC, 2017. New pesticides: 2—New pesticides: A cutting-edge view of contributions from nanotechnology for the development of sustainable agricultural pest control A2—Grumezescu, Alexandru Mihai. In *New Pesticides and Soil Sensors*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, Pp. 47–79.
- Siripornvisal S, Rungprom W, Sawatdikarn S, 2009. Antifungal activity of essential oils derived from some medicinal plants against grey mould (*Botrytis cinerea*). *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2: S229–S233.
- Soulaimani B, 2025. Comprehensive Review of the Combined Antimicrobial Activity of Essential Oil Mixtures and Synergism with Conventional Antimicrobials. *Natural Product Communications* 20(3): 1–22.
- Vagelas I, Papachatzis A, Kalorizou H, Wogiatzi E, 2009. Biological control of *Botrytis cinerea* fruit rot (gray mold) on strawberry and red pepper by olive oil mill wastewater. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 23(4): 1489–1491.
- Vitoratos A, Bilalis D, Karkanis A, Efthimiadou A, 2013. Antifungal activity of plant essential oils against *Botrytis cinerea*, *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 41(1): 86–92.
- Walker AS, Micoud A, Remuson F, Grosman J, Gredt M, *et al.*, 2013. French vineyards provide information that opens ways for effective resistance management of *Botrytis cinerea* (grey mold). *Pest Management Science* 69: 667–678.
- Wills R, McGlasson B, Graham D, Joyce D, 1998. Postharvest: an introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals. 4th Edition, University of New South Wales Press Ltd.
- Xu JF, Ji W, Shen ZX, Tang SH, Ye XR, *et al.*, 1999. Preparation and characterization of CuO nanocrystals. *Journal of Solid State Chemistry* 147(2): 516–519.

