

Evaluation of an Emulsifiable Concentrate Formulation of Garlic Oil and Clove Essential Oil for the Control Powdery Mildew of Cucumber

Farzane Nabati^{1*}, Darab Yazdani¹, Seyedeh Hadis Sadri¹

1-Medicinal Plants Research Center, Institute of Medicinal Plants, ACECR, Karaj, Iran

fnabati.fn@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/JPP.2026.99511.1287>

Introduction: Powdery mildew of cucumber, primarily caused by the obligate biotrophic fungus *Podosphaera xanthii*, represents one of the most destructive foliar diseases affecting cucurbitaceous crops globally. Under optimal greenhouse conditions—typically characterized by moderate temperatures and varying humidity levels—the pathogen rapidly colonizes leaf surfaces, impeding photosynthesis and inducing premature senescence. This ultimately translates to substantial economic losses due to compromised fruit yield and marketability. Historically, the management of this widespread pathogen has relied heavily on the continuous calendar-based application of synthetic chemical fungicides. However, the intensive and singular use of conventional active ingredients has precipitated the emergence of highly resistant pathogenic strains within greenhouse populations. Furthermore, the residual toxicity of synthetic fungicides raises critical concerns regarding occupational hazards for agricultural workers, potential groundwater contamination, and the disruption of non-target organisms. Consequently, there is an urgent demand to develop sustainable, eco-friendly alternatives. Plant-derived secondary metabolites have gained considerable traction as viable biopesticides owing to their complex, multi-site modes of action, which significantly mitigate the risk of resistance development. Building upon this premise, the present study was systematically designed to formulate, characterize, and evaluate the efficacy of a novel emulsifiable concentrate (EC) formulation integrating garlic oil and clove essential oil. The primary objective was to assess its potential as a protective and curative botanical fungicide against cucumber powdery mildew and to ascertain the optimal field-equivalent concentration under controlled greenhouse conditions.

Materials and Methods: To evaluate the fungicidal efficacy of the formulated product, a comprehensive greenhouse experiment was established utilizing a Randomized Complete Block Design (CRD). The experimental setup comprised seven distinct treatments, each replicated three times to ensure robust statistical power and reliability. The treatments evaluated included four concentrations of the botanical EC formulation (0.25%, 0.5%, 0.75%, and 1.0% v/v), a standard commercial synthetic fungicide (Penconazole) serving as a positive chemical control, a commercially available botanical fungicide (Kaliban) as a reference standard, and a water-treated negative control to monitor natural disease progression. The *Podosphaera xanthii* was collected from naturally infected, untreated cucumber fields. Artificial inoculation of healthy, susceptible cucumber seedlings was executed at the four-leaf phenological stage by gently dusting conidia from heavily infected source leaves onto the target foliage. Following inoculation, the plants were maintained under greenhouse conditions favorable for powdery mildew development. Disease severity was monitored sequentially and quantified utilizing the standardized modified Horsfall-Barratt rating scale to estimate the percentage, for precise visual estimation of infected leaf area. These severity scores were subsequently integrated over the assessment period to calculate the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC), providing a dynamic metric of epidemic

development. Additionally, the physicochemical attributes of the EC formulation were thoroughly characterized. Accelerated storage stability tests were conducted to evaluate structural integrity under thermal stress. The chemical profile of the clove essential oil was elucidated using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). All experimental data were subjected to analysis of variance (ANOVA) utilizing 9.4 SAS software, treatment means were separated using Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at the 5% probability level.

Results and Discussion: The findings demonstrated that all tested concentrations of the botanical EC formulation significantly reduced the severity of cucumber powdery mildew compared to the untreated control ($P < 0.05$). Notably, a distinct dose-dependent response was documented throughout the trials. Maximum disease suppression was achieved at the 1.0% concentration, which restricted disease progression by 90% relative to the negative control. Statistical analysis revealed that the fungicidal efficacy of the 1.0% formulation was not significantly different from the 0.75% treatment or the conventional synthetic standard, penconazole. However, it exhibited statistically superior performance when compared to both the lower botanical concentrations (0.25% and 0.5%) and the commercial botanical reference, Kaliban. Visual assessment of treated plants revealed no evidence of phytotoxicity, including leaf scorching, or chlorosis across all treated cucumber plants, indicating crop safety at the applied dosage rates. The comprehensive GC-MS analysis of the clove essential oil fraction identified eugenol as the predominantly constituent, accounting for 78.77% of the total compositional profile. Furthermore, the formulation exhibited robust structural integrity during the physicochemical assessments. The EC formulation displayed spontaneity of emulsification in water, generating a homogenous and stable emulsion without creaming or phase separation. Accelerated thermal stress testing confirmed minimal degradation of the active botanical ingredients, while the pH and density remained within the optimal agronomic range, ensuring practical viability for standard agricultural spray equipment and prolonged shelf-life under commercial storage conditions.

Conclusions: The binary EC formulation of garlic oil and clove essential oil represents an eco-friendly management option for cucumber powdery mildew. Specifically, applications at 0.75% to 1.0% concentrations deliver disease control comparable to commercial fungicide standards without compromising plant health. This formulation is well suited for integration into broader Integrated Pest Management (IPM) frameworks and certified organic agriculture. Future field-scale trials evaluating its efficacy on diverse cucurbitaceous cultivars are recommended to validate these findings under natural agroecosystem conditions.

Keywords: Allicin, Eugenol, Powdery mildew, Integrated Disease Management

ارزیابی کارایی فرمولاسیون امولسیون شونده روغن سیر و اسانس میخک در کنترل سفیدک پودری

خیار

فرزانه نباتی^{۱*}، داراب یزدانی^۱، سیده حدیث صدری^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۳

چکیده:

سفیدک پودری خیار، ناشی از قارچ *Podosphaera xanthii*، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های کدوئیان است که موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود. استفاده مکرر از قارچ‌کش‌های شیمیایی علاوه بر ایجاد مقاومت در جمعیت‌های بیمارگر، نگرانی‌هایی در زمینه سلامت انسان و محیط زیست به همراه دارد. لذا، توسعه ترکیبات گیاهی و سازگار با محیط زیست برای مدیریت این بیماری ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی فرمولاسیون امولسیون‌شونده روغن سیر و اسانس میخک (EC13%) در کنترل سفیدک پودری خیار رقم بیت آلفا و تعیین غلظت مؤثر آن در شرایط گلخانه انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با هفت تیمار و سه تکرار در گلخانه اجرا گردید. تیمارها شامل چهار غلظت از فرمولاسیون امولسیون شونده EC13% تهیه شده در این مطالعه (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد)، قارچ‌کش شیمیایی پنکونازول EW (۰/۰۵ درصد)، قارچ‌کش گیاهی کالیبان SP (۰/۵ درصد) و شاهد (آب) بودند. عامل بیماری در مرحله چهاربرگی گیاهچه انجام شد. شدت بیماری بر اساس روش هورسفال و بارات ارزیابی و مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) محاسبه شد. داده‌ها پس از بررسی پیش‌فرض‌های آماری، با نرم‌افزار SAS 9.4 تجزیه و میانگین تیمارها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شد.

نتایج نشان داد تمام غلظت‌های فرمولاسیون EC13% موجب کاهش معنی‌دار شدت بیماری نسبت به شاهد شدند ($P < 0.05$). بیشترین کارایی کنترل بیماری در غلظت ۱ درصد مشاهده گردید که ۹۰ درصد از پیشرفت بیماری را در مقایسه با شاهد کاهش داد. از نظر آماری، این تیمار با غلظت ۰/۷۵ درصد آن و قارچ‌کش پنکونازول ۰/۰۵ درصد در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اما نسبت به غلظت‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد برتری داشت. در هیچ‌یک از غلظت‌ها علائم گیاه‌سوزی مشاهده نشد و نتایج آزمون‌های پایداری تسریع‌شده، قابلیت نگهداری فرمولاسیون را در شرایط انبارداری تأیید کرد. بر این اساس، فرمولاسیون امولسیون‌شونده روغن سیر و اسانس میخک تهیه شده در این مطالعه، به‌ویژه در غلظت ۰/۷۵ درصد، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مؤثر و سازگار با محیط زیست در برنامه‌های مدیریت تلفیقی سفیدک پودری خیار در شرایط گلخانه مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آلیسین، اوژنول، قارچ سفیدک سطحی، مدیریت تلفیقی بیماری

مقدمه

خیار (*Cucumis sativus* L.) از مهم‌ترین محصولات خانواده کدوییان است که در بسیاری از مناطق جهان به صورت مزرعه‌ای و گلخانه‌ای کشت می‌شود. تولید اقتصادی این محصول با چالش‌های متعددی از جمله بیماری‌های قارچی مواجه است که در میان آن‌ها سفیدک پودری از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد و کیفیت محصول به شمار می‌رود (Lebeda et al., 2024). این بیماری توسط قارچ *Podosphaera xanthii* ایجاد شده و در شرایط مناسب محیطی، به‌ویژه در گلخانه‌ها با رطوبت نسبی بالا و تهویه ناکافی، به سرعت در سطح برگ‌ها گسترش می‌یابد (Cerkauskas & Ferguson, 2014). آلودگی شدید موجب کاهش سطح فتوسنتز، زردی و بافت مردگی برگ‌ها، پیری زودرس اندام‌های هوایی و در نهایت کاهش کمی و کیفی محصول می‌شود (Tian et al., 2024).

کنترل سفیدک پودری در بسیاری از واحدهای تولیدی، به‌ویژه گلخانه‌ها، عمدتاً بر پایه استفاده مکرر از قارچ‌کش‌های شیمیایی استوار است. اگرچه این ترکیبات در کوتاه‌مدت اثربخشی مناسبی دارند، اما مصرف مکرر آن‌ها با مشکلاتی نظیر ظهور نژادهای مقاوم بیمارگر، باقی ماندن بقایای سموم در محصولات غذایی، آلودگی محیط زیست و افزایش نگرانی‌های مرتبط با سلامت انسان همراه است (Abd et al., 2025). از این رو، توسعه راهکارهای جایگزین و سازگار با محیط زیست به یکی از اولویت‌های مهم در مدیریت بیماری‌های گیاهی تبدیل شده است. در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات طبیعی با منشأ گیاهی به عنوان بخشی از راهبردهای مدیریت تلفیقی بیماری‌ها مورد توجه گسترده قرار گرفته است (Elagamey et al., 2023). اسانس‌ها و روغن‌های گیاهی به دلیل دارا بودن متابولیت‌های زیست‌فعال، از جمله ترکیبات فنلی، تربنئیدی و گوگردی، دارای خواص ضدقارچی هستند (Allagui et al., 2024). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که این ترکیبات می‌توانند از طریق اختلال در ساختار و نفوذپذیری غشای سلولی، مهار فعالیت آنزیم‌های حیاتی، جلوگیری از جوانه‌زنی اسپورها و محدود کردن رشد میسلیم، توسعه عوامل بیماری‌زا را کاهش دهند (Leiva-Mora et al., 2025). روغن سیر (*Allium sativum* L.) یکی از شناخته‌شده‌ترین فرآورده‌های گیاهی با خاصیت ضد میکروبی است که اثرات آن عمدتاً به ترکیبات آلی گوگردی نظیر آلیسین و مشتقات آن نسبت داده می‌شود (Leontiev et al., 2018). همچنین اسانس میخک (*Syzygium aromaticum* L.) به دلیل دارا بودن ترکیب فنلی اوژنول، دارای خواص ضدقارچی و آنتی‌اکسیدانی است (Biernasiuk et al., 2023).

با وجود گزارش‌های متعدد درباره اثرات ضدقارچی روغن سیر و اسانس میخک، بخش عمده‌ای از مطالعات بر ارزیابی اسانس‌ها و عصاره‌های خام متمرکز بوده است و اطلاعات محدودی درباره فرمولاسیون‌های پایدار و قابل استفاده در شرایط تولید وجود دارد (Allagui et al., 2024). در عین حال، فرمولاسیون‌های امولسیون‌شونده مبتنی بر روغن‌ها و اسانس‌های گیاهی می‌توانند با بهبود پایداری، قابلیت پخش در آب و یکنواختی پوشش سطح برگ، کارایی این ترکیبات را در کنترل بیماری‌های گیاهی افزایش دهند (Chaideftou et al., 2026). با توجه به اهمیت سفیدک پودری خیار و نیاز به راهکارهای زیست‌سازگار برای مدیریت آن، ارزیابی کارایی فرمولاسیون‌های گیاهی نوین در شرایط گلخانه‌ای ضروری است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی فرمولاسیون امولسیون‌شونده حاوی روغن سیر و اسانس میخک در کنترل سفیدک پودری خیار و تعیین غلظت(های) مؤثر آن در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

روغن سیر و اسانس میخک به ترتیب از شرکت گیاه اسانس و شرکت دارویی زردبند تهیه شد. روغن سیر استاندارد شده بر اساس ۰/۳۵ درصد آلیسین و اسانس میخک نیز استاندارد شده بر اساس ۷۹ درصد اوژنول بود. امولسیفایرها و سایر مواد مورد استفاده در فرمولاسیون از شرکت شیمیایی تماد تهیه شدند. در این پژوهش، قارچ کش شیمیایی پنکونازول^۱ با فرمولاسیون امولسیون‌شونده و قارچ کش گیاهی کالیبان با فرمولاسیون پودر قابل حل در آب^۲ از فروشگاه‌های مجاز عرضه نهاده‌های کشاورزی تهیه شدند. این پژوهش از سال ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ در گلخانه پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی (استان البرز) در قالب طرح کاملاً تصادفی^۳ CRD با هفت تیمار و سه تکرار اجرا گردید. شرایط گلخانه شامل دمای روز 25 ± 2 و دمای شب 18 ± 2 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد و نور طبیعی بود.

آماده‌سازی گیاه میزبان

بذرهای خیار رقم بیت‌آلفا پس از ۲۴ ساعت خیساندن در آب، در کرت‌های گلخانه‌ای با فاصله ردیف ۵۰ سانتی متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر کاشته شدند. هر کرت آزمایشی شامل دو ردیف کشت به طول دو متر بود و عملیات داشت شامل آبیاری، تغذیه و سایر مراقبت‌های زراعی بر اساس توصیه‌های رایج انجام شد.

عامل بیماری سفیدک پودری خیار (*Podosphaera xanthii*) از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران جمع‌آوری و پس از شناسایی بر اساس علائم و ویژگی‌های مورفولوژیک به عنوان منبع تلقیح استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی مایه‌زنی، تمامی بوته‌ها به‌طور هم‌زمان، در مرحله چهاربرگی و با استفاده از برگ‌های آلوده متعلق به یک منبع واحد تلقیح شدند و عملیات انتقال کنیدی‌ها^۴ (اسپورهای غیرجنسی قارچ) با روش یکسان برای تمام واحدهای آزمایشی انجام گرفت. دمای محیط برای توسعه بیماری بین ۲۴ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۶۰ تا ۷۰ درصد تنظیم گردید تا شرایط مناسب برای استقرار و پیشرفت بیماری فراهم شود.

تیمارهای آزمایش شامل چهار غلظت از فرمولاسیون حاوی روغن سیر و اسانس میخک (۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد)، قارچ کش شیمیایی پنکونازول ۰/۰۵ درصد (امولسیون روغن در آب ۲۰ درصد)، قارچ کش گیاهی کالیبان ۰/۵ درصد (پودر قابل حل در آب شامل ۸۵ درصد بی‌کربنات پتاسیم) و شاهد (آب) بودند. محلول‌پاشی تیمارها در مرحله ظهور علائم اولیه بیماری روی برگ‌ها انجام شد.

فرمولاسیون

¹ Penconazole 20% Oil-in-Water Emulsion (EW)

² Soluble Powder (SP)

³ Completely Randomized Design

⁴ Conidia

۱ به منظور تهیه فرمولاسیون امولسیون شونده^۱ EC شامل ۱۰ درصد روغن سیر، ۳ درصد اسانس میخک مخلوطی از مواد فعال
۲ و ترکیبات جانبی تهیه شد. جهت ممانعت از اکسیداسیون ترکیبات حساس و ارتقای پایداری شیمیایی اجزا در طول انبارداری،
۳ از آنتی اکسیدان بوتیل هیدروکسی تولوئن^۲ (BHT) در فاز روغنی استفاده شد (Yehye et al., 2015). برای دستیابی به یک
۴ امولسیون پایدار فیزیکی و ایجاد تعادل آب-دوستی-چربی دوستی^۳ (HLB) مورد نیاز فاز روغنی، از مخلوطی از سورفکتانت‌های
۵ غیر یونی مجاز در بخش کشاورزی به همراه یک کمک حلال بهینه و روغن گیاهی (به عنوان حامل فاز روغنی) استفاده شد.
۶ نسبت اختلاط این سورفکتانت‌ها به گونه‌ای تنظیم گردید که مقدار نهایی HLB فرمولاسیون در محدوده ۹ تا ۱۱ قرار گیرد.
۷ پس از رسیدن به حجم نهایی مخلوط حاصل به وسیله همزن مکانیکی به صورت همگن درآمد (Khalikov et al., 2024).
۸ شکل ۱ مراحل ساخت فرمولاسیون گیاه پایه را به صورت شماتیک نشان می دهد.



شکل ۱- مراحل ساخت فرمولاسیون امولسیون شونده روغن سیر و اسانس میخک (طراحی شده با هوش مصنوعی)
Figure 1. Preparation of the emulsifiable garlic oil and clove essential oil formulation (Designed by AI)

¹ Emulsifiable Concentrate

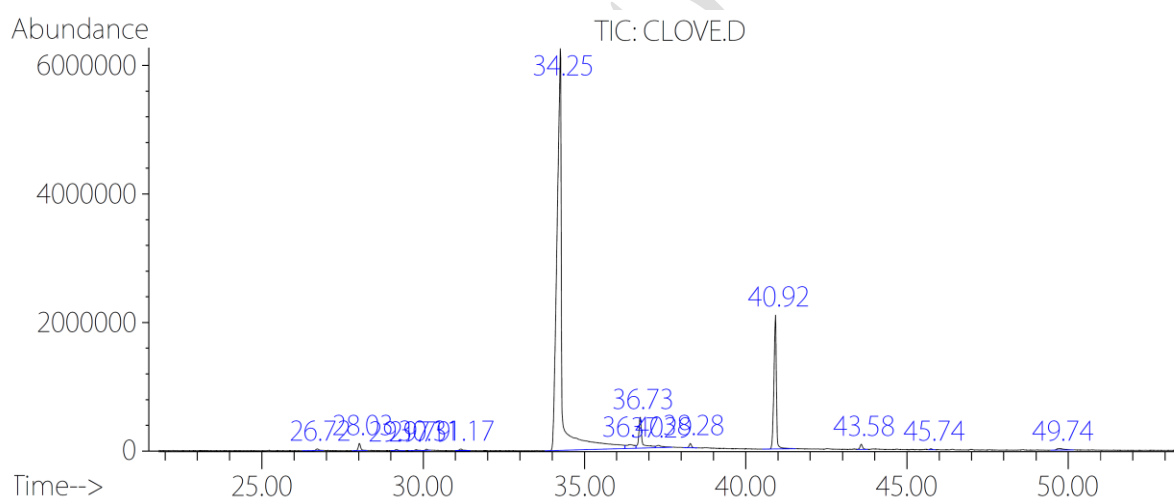
² Butylated hydroxytoluene

³ Hydrophilic-Lipophilic Balance

ارزیابی پایداری فرمولاسیون امولسیون شونده روغن سیر و اسانس میخک

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فرمولاسیون شامل وضعیت ظاهری، پایداری امولسیونی گرمایی، پایداری امولسیونی سرمایی، پی‌اچ و دانسیته قبل و بعد از اعمال شرایط آزمون بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد آفت‌کش‌ها^۱ (CIPAC) (Collaborative International Pesticides Analytical Council, n.d.) ارزیابی شد. نمونه‌ها برای آزمون گرمایی تسریع‌شده به مدت ۱۴ روز در دمای 1 ± 54 درجه سانتی‌گراد و برای آزمون سرمایی به مدت یک هفته در دمای صفر درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Schechter & Caswell, 1971).

مقدار آلیسین با روش HPLC با استفاده از استاندارد داخلی بوتیل پارابن تعیین گردید (European Pharmacopoeia Commission, 2005). میزان اسانس فرمولاسیون تهیه شده پس از استخراج با کلونجر، به دستگاه گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) مدل Agilent 6890 تزریق شد (شکل ۲). پروفایل شیمیایی اسانس بر اساس شاخص کوواتس^۲ و شاخص زمان بازداری^۳ و با استفاده از کتابخانه‌های Wiley و NIST تعیین گردید (Adams, 2007).



شکل ۲- کروماتوگرام یون کل اسانس میخک با نمایش زمان بازداری و فراوانی نسبی پیک‌ها

Figure 2. Total ion chromatogram (TIC) of clove essential oil showing retention time and relative abundance of peaks

ارزیابی بیماری و اثربخشی تیمارها

شدت بیماری در فواصل زمانی مشخص (روزهای ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ پس از مایه‌زنی) ثبت و با استفاده از روش اصلاح‌شده هورسفال و بارات بر اساس درصد پوشش سطح برگ ارزیابی (Kranz, 1988) و مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری (AUDPC) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Jeger & Viljanen-Rollinson, 2001):

¹International Pesticides Analytical Council Collaborative

² Kovats Index(KI)

³ Retention Index(RI)

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right] (t_{i+1} - t_i)$$

در این رابطه، n تعداد دفعات ارزیابی، y_i و y_{i+1} به ترتیب میانگین شدت بیماری در ارزیابی فعلی و بعدی، و t_i و t_{i+1} زمان‌های ارزیابی (به روز) هستند. درصد اثربخشی^۱ تیمارها در کاهش بیماری در مقایسه با شاهد بر اساس رابطه زیر محاسبه شد (Piepho et al., 2024):

$$Efficacy(\%) = \frac{X - Y}{X} \times 100$$

که در آن X شدت بیماری (AUDPC) در گروه شاهد و Y شدت بیماری در گروه تیمار شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها پس از بررسی پیش‌فرض‌های نرمال بودن و یکنواختی واریانس‌ها، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) انجام گرفت.

• نتایج و بحث

آنالیزهای فیزیوشیمیایی و پایداری

وضعیت ظاهری نمونه‌ها و پایداری امولسیون فرمولاسیون، پس از اعمال تنش‌های حرارتی (گرم و سرما) کاملاً حفظ گردید. میزان pH در محدوده خنثی (۶/۵) و دانسیته آن (۰/۹۳ mg/mL) بدون تغییر باقی ماند. مقدار آلپسین و اوژنول (جدول ۱) در فرمولاسیون نهایی به ترتیب ۰/۰۳۵ و ۲/۳۶ درصد محاسبه شد. تغییرات این مواد مؤثره پس از شرایط حرارتی تسریع شده کمتر از ۱ درصد بود که ماندگاری حداقل ۲ ساله فرمولاسیون EC را در شرایط انبارداری تأیید می‌کند. همچنین، عدم بروز علائم گیاه‌سوزی در غلظت ۱ درصد، نشان‌دهنده ایمنی این ترکیب برای بافت گیاه میزبان است.

¹ Efficacy

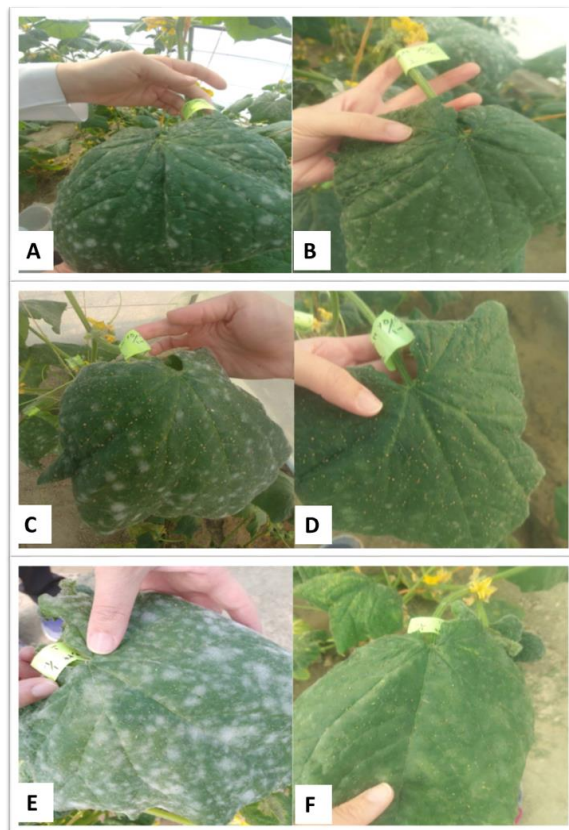
Table 1. Chemical composition of the *Syzygium aromaticum* essential oil analyzed by GC-MS

No	RT	%	Components	KI	Type
1	26.72	0.16	Salicylic acid, methyl ester	1216	Other
2	28.03	0.65	β -Citronellol	1243	MO*
3	29.17	0.13	Geraniol	1267	MO*
4	29.79	0.11	Chavicol	1281	Other
5	31.17	0.20	Anethole	1310	Other
6	34.25	78.77	Eugenol	1380	Other
7	36.40	1.19	3-Allylguaiacol	1430	Other
8	36.73	3.89	Caryophyllene	1438	SH**
9	38.29	0.38	α -Humulene	1475	SH**
10	40.92	12.77	Eugenol acetate	1540	Other
		98.26	Total Identified		
		1.74	Non Identified		

** Sesquiterpene Hydrocarbons * Oxygenated Monoterpene

ارزیابی کارایی گلخانه‌ای

اثر تیمارهای مختلف بر شدت بیماری سفیدک پودری خیار، پیش و پس از کاربرد فرمولاسیون امولسیون شونده روغن سیر و اسانس میخک، در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر شدت بیماری سفیدک پودری خیار و مقدار مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن نشان داد که تمامی تیمارهای مورد بررسی شامل غلظت‌های مختلف فرمولاسیون گیاهی، قارچ‌کش شیمیایی پنکونازول و قارچ‌کش گیاهی کالیبان موجب کاهش معنی‌دار شدت بیماری نسبت به شاهد بدون تیمار شدند.



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف بر شدت بیماری سفیدک پودری خیار (A,C,E : پیش از تیمار B,D,F : پس از تیمار ۰/۲۵ ، ۰/۵ و ۱ درصد)

Figure 3. Effect of different treatments on the severity of powdery mildew in cucumber (A, C, E: before treatment; B, D, F: after treatment with 0.25%, 0.5%, and 1% treatments, respectively)

جدول ۲- تجزیه واریانس مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری و اثربخشی تیمارها در کنترل سفیدک پودری خیار

Table 2. Analysis of variance for AUDPC and efficacy of treatments against cucumber powdery mildew

Source of variation	df for disease progression	df for efficacy	Mean square disease progression	Mean square efficacy
Treatment	6	5	7804.1**	87.15**
Error	12	10	25.72	8.3
CV (%)	—	—	11.3	3.39

** علامت نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

** indicates statistical significance at the 5% probability level

بیشترین مقدار مساحت زیر منحنی توسعه بیماری^۱ AUDPC در تیمار شاهد (T0) مشاهده شد که بیانگر توسعه طبیعی بیماری در شرایط آزمایش و بیانگر توسعه بیماری در شرایط بدون تیمار بود (جدول ۳). در مقابل، کمترین مقدار AUDPC در تیمار فرمولاسیون امولسیون شونده روغن سیر و اسانس میخک با غلظت ۱ درصد ثبت شد که نشان دهنده بیشترین کارایی این تیمار در کاهش روند توسعه بیماری بود. این تیمار از نظر آماری تفاوت معنی داری با غلظت ۰/۷۵ درصد فرمولاسیون (T3) و قارچ کش شیمیایی پنکونازول (T5) نداشت، اما در مقایسه با شاهد و غلظت‌های پایین‌تر فرمولاسیون (۰/۲۵ و ۰/۵ درصد) موجب کاهش معنی دار AUDPC شد. بررسی درصد کاهش بیماری نسبت به شاهد نیز نشان داد که تمامی تیمارها موجب کاهش قابل توجه پیشرفت بیماری شدند، به طوری که بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۱ درصد فرمولاسیون (۹۰ درصد) بود، در حالی که غلظت ۰/۷۵ درصد و قارچ کش پنکونازول به ترتیب کاهش ۸۷/۸ و ۸۹/۶ درصدی بیماری را ایجاد کردند (جدول ۳). تیمار کالیبان (T6) نیز در مقایسه با شاهد موجب کاهش معنی دار AUDPC شد ($P \leq 0.05$)، اما کارایی آن در مقایسه با غلظت‌های بالاتر فرمولاسیون گیاهی کمتر بود.

جدول ۳- مقایسه میانگین مساحت زیر منحنی پیشرفت بیماری و درصد کاهش بیماری در تیمارهای مختلف علیه سفیدک پودری خیار
Table 3. Comparison of mean AUDPC and disease reduction efficacy of treatments against cucumber powdery mildew

Treatment	Dose (%)	Disease severity (AUDPC)	Disease reduction compared with control (%)
T0 (Control)	0.00	187.50 ^a	0.0
T1	0.25	45.00 ^b	76.0
T2	0.50	35.41 ^{bc}	81.1
T3	0.75	22.91 ^{cd}	87.8
T4	1.00	18.75 ^d	90.0
T5 (Penconazole)	0.3	19.58 ^{cd}	89.6
T6 (Kaliban)	0.5	32.50 ^{bc}	82.7

*** میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) اختلاف معنی داری ندارند.
**Means followed by the same letters are not significantly different according to Duncan's multiple range test ($P \leq 0.05$)

¹ Area Under the Disease Progress Curve

- ۱ نتایج نشان داد که با افزایش غلظت فرمولاسیون امولسیون‌شونده روغن سیر و اسانس میخک، شدت بیماری و مقدار
- ۲ AUDPC به‌طور تدریجی کاهش یافته و کارایی کنترل افزایش یافت. این روند وابستگی به دوز مصرف، نشان‌دهنده نقش
- ۳ احتمالی افزایش مقدار ترکیبات فعال زیستی در مهار توسعه بیماری است. بالاترین کارایی کنترل در غلظت ۱ درصد مشاهده
- ۴ شد، به‌طوری‌که این تیمار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با قارچ‌کش شیمیایی پنکونازول نداشت. این یافته نشان می‌دهد که
- ۵ فرمولاسیون گیاهی مورد بررسی در شرایط گلخانه‌ای قادر است کارایی قابل مقایسه‌ای با یک قارچ‌کش شیمیایی رایج در
- ۶ کنترل سفیدک پودری خیار ایجاد کند.
- ۷ مقایسه کمی این یافته‌ها با مطالعاتی که کارایی اسانس‌های گیاهی را به‌طور اختصاصی روی سفیدک پودری خیار سنجیده‌اند،
- ۸ اهمیت دستاورد حاضر را روشن‌تر می‌سازد. برای نمونه، عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2025) نانوامولسیون اسانس
- ۹ میخک در غلظت ۳ گرم در لیتر - غلظتی به‌مراتب بالاتر از دوز مؤثر در پژوهش حاضر - علیه سفیدک پودری خیار ارزیابی
- ۱۰ کردند و تنها ۳۵ تا ۴۱ درصد کاهش شدت بیماری به‌دست آوردند. این میزان کارایی حتی از قارچ‌کش‌های سنتتیک مقایسه‌شده
- ۱۱ (Stroby و Topas) نیز کمتر بود. به همین ترتیب، مصطفی و همکاران (Mostafa et al., 2021) با کاربرد اسانس‌های
- ۱۲ لمون‌گراس، لیمو، آویشن و نعناع فلفلی در غلظت بهینه ۲/۵ میلی‌لیتر در لیتر، حداکثر ۷۷/۳ درصد کاهش بیماری را گزارش
- ۱۳ کردند و هشدار دادند غلظت‌های بالاتر از این مقدار می‌تواند به گیاه‌سوزی برگ و گل منجر شود. در مقایسه، فرمولاسیون
- ۱۴ ترکیبی روغن سیر و اسانس میخک در پژوهش حاضر حتی در پایین‌ترین غلظت آزمایش‌شده (۰/۲۵ درصد) به کارایی ۷۶
- ۱۵ درصد و در غلظت ۱ درصد بدون بروز علامت گیاه‌سوزی به ۹۰ درصد کاهش بیماری دست یافت. این برتری نسبی را می‌توان
- ۱۶ به دو عامل نسبت داد:
- ۱۷ ۱- احتمال اثر هم‌افزایی^۱ میان ترکیبات گوگردی روغن سیر و ترکیب فنلی اوژنول اسانس میخک که دو مسیر مکمل
- ۱۸ حمله به سلول قارچ را فعال می‌کنند
- ۱۹ ۲- برتری فرمولاسیون امولسیون‌شونده پایدارشده (EC) نسبت به کاربرد مستقیم اسانس خام یا نانوامولسیون ساده از
- ۲۰ نظر پوشش یکنواخت سطح برگ و دسترسی پذیری زیستی ترکیبات فعال.
- ۲۱ افزایش کارایی مشاهده‌شده در غلظت‌های بالاتر فرمولاسیون را می‌توان به حضور ترکیبات فعال موجود در روغن سیر و
- ۲۲ اسانس میخک نسبت داد. ترکیبات آلی گوگردی روغن سیر به‌ویژه آلیسین و مشتقات آن نظیر دی‌آلیل دی‌سولفید و دی‌آلیل
- ۲۳ تری‌سولفید عمدتاً از طریق افزایش نفوذپذیری غشای پلاسمایی (Eslami et al., 2025) و اختلال در گرادیان یونی عمل
- ۲۴ می‌کنند علاوه بر این، این ترکیبات باعث مهار آنزیم‌های تیول‌دار حیاتی قارچ می‌شوند (Wang et al., 2019; Gong et
- ۲۵ al., 2021). در مطالعات پیشین ترکیبات آلی گوگردی روغن سیر به‌عنوان عوامل مؤثر در مهار رشد قارچ‌های بیماری‌زا

¹ synergistic

۱ معرفی شده‌اند (Jamel et al., 2025) در مقابل اوژنول به‌عنوان ترکیب فنلی غالب اسانس میخک با تخریب ساختار دیواره
 ۲ و غشای سلولی (Verma et al., 2024) و مهار زیست‌ساخت ارگوسترول اثر ضدقارچی خود را اعمال می‌کند (Sempere-
 ۳ Ferre et al., 2026). این تفاوت مکانیسمی نسبت به قارچ کش پنکونازول- که از گروه مهارکننده‌های زیست‌ساخت
 ۴ ارگوسترول (DMI) است و عمدتاً از طریق مهار آنزیم ۱۴آلفا-دمتیلاز عمل می‌کند- نکته‌ی قابل توجهی است. کارایی مشابه
 ۵ فرمولاسیون گیاهی با وجود مکانیسم اثر متفاوت، این احتمال را مطرح می‌سازد که این ترکیب بتواند به‌عنوان بخشی از برنامه
 ۶ چرخش قارچ کش^۱ در به‌تأخیرانداختن ظهور مقاومت در جمعیت‌های *Podosphaera xanthii* به کار رود؛ موضوعی
 ۷ که در مدیریت بلندمدت سفیدک پودری اهمیت راهبردی دارد.

۸ یکی دیگر از نکات قابل تأمل در تفسیر نتایج، نقش فرمولاسیون EC در حفظ کارایی زیستی ترکیبات فرار است. مطالعات
 ۹ متعدد نشان داده‌اند که کارایی ضدقارچی اسانس و روغن سیر به‌صورت خام به‌سرعت و طی چند روز کاهش می‌یابد؛ برای
 ۱۰ نمونه جربوعه و همکاران (Djebou et al., 2026)، گزارش کردند که کارایی مهارکنندگی روغن سیر علیه
 ۱۱ *Zymoseptoria tritici* تنها پس از سه روز نگهداری به‌طور معنی‌داری افت می‌کند و این کاهش را به فراریت بالا و
 ۱۲ حساسیت اکسیداتیو ترکیبات گوگردی نسبت دادند. این نویسندگان به‌صراحت امولسیون‌سازی و ریزپوشانی را راهکارهای
 ۱۳ لازم برای افزایش ماندگاری چنین ترکیباتی معرفی کردند؛ نتیجه‌ای که با یافته‌های ژائو و همکاران (Zhao et al., 2021)
 ۱۴ مبنی بر بهبود پایداری روغن سیر از طریق فرمولاسیون با روغن‌های گیاهی حامل نیز هم‌راستا است. یافته‌های حاضر مبنی
 ۱۵ بر حفظ بیش از ۹۹ درصد آلیسین و اوژنول پس از آزمون پایداری حرارتی تسریع‌شده، دقیقاً همین رویکرد را در عمل تأیید
 ۱۶ می‌کند. طراحی فرمولاسیون بر پایه تعادل هیدروفیل-لیپوفیل (HLB) بهینه و استفاده از آنتی‌اکسیدان BHT توانسته است
 ۱۷ از تخریب سریع ترکیبات فعال- که محدودیت اصلی کاربرد میدانی اسانس‌ها و روغن‌های گیاهی خام گزارش شده است-
 ۱۸ جلوگیری کند. این ویژگی، فرمولاسیون حاضر را از نظر کاربرد عملی و ماندگاری در شرایط انبارداری تجاری نسبت به کاربرد
 ۱۹ مستقیم اسانس یا نانوامولسیون‌های ساده متمایز می‌سازد.

۲۰ نتایج حاضر با گزارش لوپز و همکاران (López et al., 2021) همسو است؛ آنان بیان کردند که فرمولاسیون‌های مبتنی بر
 ۲۱ روغن‌های گیاهی، در مقایسه با کاربرد مستقیم اسانس یا عصاره خام، به دلیل پایداری بیشتر، قابلیت پراکنش بهتر در آب و
 ۲۲ پوشش یکنواخت سطح برگ، می‌توانند کارایی بالاتری در شرایط مزرعه‌ای یا گلخانه‌ای داشته باشند. همچنین هاشم و
 ۲۳ همکاران (Hashem et al., 2023) گزارش کردند که نانوامولسیون اسانس میخک علاوه بر اثر مستقیم ضدقارچی می‌تواند
 ۲۴ از طریق تعدیل سطح پرولین و فنول و نیز فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، مقاومت گیاه را القا کند این احتمال را مطرح
 ۲۵ می‌سازد که بخشی از کارایی مشاهده‌شده در پژوهش حاضر نیز ممکن است ناشی از تحریک مکانیسم‌های دفاعی خیار باشد،
 ۲۶ هرچند این جنبه در طراحی آزمایش حاضر به‌طور مستقیم بررسی نشد و بررسی آن در مطالعات آتی توصیه می‌شود.

¹ fungicide rotation

۱ بر اساس نتایج به دست آمده، فرمولاسیون امولسیون شونده روغن سیر و اسانس میخک حتی در غلظت پایین ۰/۲۵ درصد
 ۲ توانست کنترل مؤثری بر بیماری سفیدک پودری خیار اعمال کند و در غلظت‌های بهینه، از نظر کارایی در سطحی قابل مقایسه
 ۳ با قارچ کش شیمیایی پنکونازول قرار گیرد. این موضوع نشان می‌دهد که چنین فرمولاسیون‌هایی می‌توانند به عنوان بخشی از
 ۴ برنامه‌های مدیریت تلفیقی بیماری‌ها، با هدف کاهش وابستگی به قارچ کش‌های شیمیایی و ارتقای سازگاری زیست محیطی،
 ۵ مورد توجه قرار گیرند.

۶ اگرچه نتایج حاضر مؤید اثربخشی فرمولاسیون مورد بررسی است، تفسیر آن‌ها باید با در نظر گرفتن برخی محدودیت‌های
 ۷ روش‌شناختی انجام شود. استفاده از روش انتقال مستقیم کنیدی‌ها از برگ‌های آلوده، امکان اندازه‌گیری دقیق تراکم مایه
 ۸ تلقیح را فراهم نمی‌کرد. با این وجود، برای به حداقل رساندن این خطا، تمامی گیاهان هم‌سن، به طور هم‌زمان و از یک منبع
 ۹ آلودگی واحد در شرایط محیطی کنترل شده تلقیح شدند تا اختلاف‌های مشاهده شده با اطمینان بالایی به اثر تیمارها نسبت
 ۱۰ داده شود. در مطالعات آینده، استفاده از سوسپانسیون کنیدی با غلظت استاندارد (تعیین شده با هموسایتومتر) و اعمال آن با
 ۱۱ سامانه‌های پاشش کالیبره شده، می‌تواند دقت و تکرارپذیری نتایج را ارتقا بخشد.

۱۲ با توجه به نتایج حاضر، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، کارایی این فرمولاسیون در شرایط مزرعه‌ای و بر روی ارقام مختلف
 ۱۳ خیار و نیز سایر کدوئیان بررسی شود و مکانیسم دقیق اثر ترکیبات فعال آن با استفاده از روش‌های فیزیولوژیک و مولکولی
 ۱۴ مورد مطالعه قرار گیرد.

۱۵ سپاسگزاری

۱۶ بدین وسیله از پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی به خاطر فراهم نمودن امکانات مالی و اجرایی این تحقیق، و همچنین
 ۱۷ مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران برای همکاری در تأمین عامل بیماری، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

۱۸ Refrences

- ۱۹
 ۲۰ Abd, G. I., Salih, M. A. J., Ahmed, H. E., Alani, M. H., & Abed, B. M. (2025). The role of chemical
 ۲۱ pesticides in environmental pollution and ecological imbalance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1449(1), Article 012145. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1449/1/012145>
 ۲۲
 ۲۳
- ۲۴ Abbasi, A. T., Ebrahimi, L., & Farzaneh, M. (2025). Antifungal efficacy of plant essential oil
 ۲۵ nanoemulsions against cucumber powdery mildew. *Scientific Reports*, 15, Article 40291.
 ۲۶ <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24039-y>
- ۲۷ Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass
 ۲۸ spectrometry (4th ed.). Allured Publishing Corporation.

- Allagui, M. B., Moumni, M., & Romanazzi, G. (2024). Antifungal activity of thirty essential oils to control pathogenic fungi of postharvest decay. *Antibiotics*, 13(1), Article 28. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13010028>
- Biernasiuk, A., Baj, T., & Malm, A. (2023). Clove essential oil and its main constituent, eugenol, as potential natural antifungals against *Candida* spp. alone or in combination with other antimycotics due to synergistic interactions. *Molecules*, 28(1), Article 215. <https://doi.org/10.3390/molecules28010215>
- Cerkauskas, R. F., & Ferguson, G. (2014). Management of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) on greenhouse cucumber in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36(1), 22–37. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.878754>
- Chaideftou, E., Sabzevari, S., Ismael, M., Hůlek, R., Huss, A., Figueiredo, D. M., & Hofman, J. (2026). National registers of authorized plant protection products in Europe—the data treasury needed for the sustainable use of pesticides. *Integrated Environmental Assessment and Management*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/ieam/vjag054>
- Collaborative International Pesticides Analytical Council. (n.d.). Handbooks. <https://www.cipac.org/index.php/m-p/handbooks>
- Djeboua, R., Benderradji, L., Sanah, I., Djeghim, F., Debbi, A., Bensouici, C., Benbelkacem, A., Meamiche-Neddaf, H., D’Elia, M., Rastrelli, L., & Brini, F. (2026). Antifungal activity of garlic essential oil and hydrosol against *Zymoseptoria tritici*, the causal agent of septoria tritici blotch in bread wheat. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 133(4), Article 134. <https://doi.org/10.1007/s41348-026-01309-z>
- Elagamey, E., Abdellatef, M. A., Haridy, M. S., & Abd El-Aziz, E.-S. A. (2023). Evaluation of natural products and chemical compounds to improve the control strategy against cucumber powdery mildew. *European Journal of Plant Pathology*, 165(2), 385–400. <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02578-4>
- Eslami, S., Zolfaghari, B., Sadeghi Dinani, M., & Ghanadian, M. (2025). Biomolecular insights into the antifungal activity of *Allium* species constituents: From mechanisms to applications. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 24(1), 1–16. <https://doi.org/10.5812/ijpr-162031>
- European Pharmacopoeia Commission. (2005). Monograph 01/2005:1216 [Pharmacopoeial monograph].
- Gong, X., Su, X., & Liu, H. (2021). Diallyl trisulfide, the antifungal component of garlic essential oil and the bioactivity of its nanoemulsions formed by spontaneous emulsification. *Molecules*, 26(23), Article 7186. <https://doi.org/10.3390/molecules26237186>

- Hashem, A. H., Abdelaziz, A. M., Hassanin, M. M. H., Al-Askar, A. A., Abdelgawad, H., & Attia, M. S. (2023). Potential impacts of clove essential oil nanoemulsion as bio fungicides against *Neoscytalidium* blight disease of *Carum carvi* L. *Agronomy*, 13(4), Article 1114. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041114>
- Jamel, D. S., Malik, S. T. A., Hassan, A. K., & Ayesha, A. A. (2025). Biological functions of garlic (*Allium sativum* L.) and its active compounds against pathogens. *Plant Protection*, 9(1), 193–201. <https://doi.org/10.33804/pp.009.01.5551>
- Jeger, M. J., & Viljanen-Rollinson, S. L. H. (2001). The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 102(1), 32–40. <https://doi.org/10.1007/s001220051615>
- Khalikov, S. S., Khalikov, M. S., & Vlasenko, N. G. (2024). Pesticide formulations and their importance in the development of promising protectants for cereal crops. *Ineos Open*, 6(2), 34–39. <https://doi.org/10.32931/io2314r>
- Kranz, J. (1988). Measuring plant disease. In J. Kranz & J. Rotem (Eds.), *Experimental techniques in plant disease epidemiology* (pp. 35–50). Springer.
- Lebeda, A., Křístková, E., Mieslerová, B., Dhillon, N. P. S., & McCreight, J. D. (2024). Status, gaps and perspectives of powdery mildew resistance research and breeding in cucurbits. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 43(4), 211–290. <https://doi.org/10.1080/07352689.2024.2312345>
- Leiva-Mora, M., Bustillos, D., Arteaga, C., Hidalgo, K., Guevara-Freire, D., López-Hernández, O., Saa, L. R., Padilla, P. S., & Bustillos, A. (2025). Antifungal mechanisms of plant essential oils: A comprehensive literature review for biofungicide development. *Agriculture*, 15(21), Article 2303. <https://doi.org/10.3390/agriculture15212303>
- Leontiev, R., Hohaus, N., Jacob, C., Gruhlke, M. C. H., & Slusarenko, A. J. (2018). A comparison of the antibacterial and antifungal activities of thiosulfinate analogues of allicin. *Scientific Reports*, 8(1), Article 6763. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25154-9>
- López, M. D., Cantó-Tejero, M., & Pascual-Villalobos, M. J. (2021). New insights into biopesticides: Solid and liquid formulations of essential oils and derivatives. *Frontiers in Agronomy*, 3, Article 763530. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.763530>
- Mostafa, Y. S., Hashem, M., Alshehri, A. M., Alamri, S., Eid, E. M., Ziedan, E.-S. H., & Alrumman, S. A. (2021). Effective management of cucumber powdery mildew with essential oils. *Agriculture*, 11(11), Article 1177. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111177>

Piepho, H. P., Malik, W. A., Bischoff, R., El-Hasan, A., Scheer, C., Sedlmeier, J. E., Gerhards, R., Petschenka, G., & Voegelé, R. T. (2024). Efficacy assessment in crop protection: A tutorial on the use of Abbott's formula. <i>Journal of Plant Diseases and Protection</i> , 131(6), 2139–2160. https://doi.org/10.1007/s41348-024-00968-0	١ ٢ ٣ ٤
Schechter, M. S., & Caswell, R. L. (1971). Development of methods of analysis by the Collaborative International Pesticides Analytical Council Limited. <i>Journal of the Association of Official Analytical Chemists</i> , 54(4), 846–848. https://doi.org/10.1093/jaoac/54.4.846	٥ ٦ ٧ ٨
Sempere-Ferre, F., Roselló, J., & Santamarina, M. P. (2026). Inhibitory effects and mode of action of pure eugenol versus clove essential oil on key phytopathogenic fungi. <i>International Journal of Molecular Sciences</i> , 27(11), Article 5083. https://doi.org/10.3390/ijms27115083	٩ ١٠ ١١ ١٢
Tian, M., Yu, R., Yang, W., Guo, S., Liu, S., Du, H., Liang, J., & Zhang, X. (2024). Effect of powdery mildew on the photosynthetic parameters and leaf microstructure of melon. <i>Agriculture</i> , 14(8), Article 886. https://doi.org/10.3390/agriculture14080886	١٣ ١٤ ١٥
Verma, A., Toshi, N., Mungi, V., & Mehta, A. (2024). The medicinal properties of clove with special focus on antimicrobial effect: A systematic review. <i>Journal of Medical Science</i> , 93(4), Article e1156. https://doi.org/10.20883/medical.e1156	١٦ ١٧ ١٨
Wang, Y., Wei, K., Han, X., Zhao, D., Zheng, Y., Chao, G., Kong, F., & Zhang, C. S. (2019). The antifungal effect of garlic essential oil on <i>Phytophthora nicotianae</i> and the inhibitory component involved. <i>Biomolecules</i> , 9(10), Article 632. https://doi.org/10.3390/biom9100632	١٩ ٢٠ ٢١ ٢٢
Yehye, W. A., Rahman, N. A., Ariffin, A., Abd Hamid, S. B., Alhadi, A. A., Kadir, F. A., & Yaeghoobi, M. (2015). Understanding the chemistry behind the antioxidant activities of butylated hydroxytoluene (BHT): A review. <i>European Journal of Medicinal Chemistry</i> , 101, 295–312. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.06.026	٢٣ ٢٤ ٢٥ ٢٦
Zhao, Y., Liu, R., Qi, C., Li, W., Rifky, M., Zhang, M., Xiao, P., Wu, T., & Sui, W. (2021). Mixing oil-based microencapsulation of garlic essential oil: Impact of incorporating three commercial vegetable oils on the stability of emulsions. <i>Foods</i> , 10(7), Article 1637. https://doi.org/10.3390/foods10071637	٢٧ ٢٨ ٢٩ ٣٠ ٣١

نسخه چاپی
پیش انتشار