

مروری بر کاربرد ترکیبات گیاهی در حفاظت بیولوژیکی آثار کاغذی در مقابله با قارچ‌ها

سعیده سلیمانی^۱✉، مریم افشارپور^۲

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرمت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر ایران.

۲. دانش‌آموخته دکتری شیمی و عضو هیئت علمی پژوهشکده شیمی ایران.

<http://dx.doi.org/10.61882/kcr.8.1.65>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲

چکیده

تخریب زیستی آثار کتابخانه‌ای یکی از مشکلات جهانی و گسترده‌ای است که از دلایل اصلی آن می‌توان به فرسایش و نابودی اسناد و کتب خطی به واسطه عوامل بیولوژیکی، به‌ویژه قارچ‌ها، اشاره کرد. این نوع تخریب با سرعت بالا پیش می‌رود و در مدت‌زمانی کوتاه می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به آثار وارد کند. با توجه به ماهیت آلی و آسیب‌پذیر کاغذ، و نقش قارچ‌ها به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب آثار کاغذی، به‌کارگیری روش‌هایی برای پیشگیری از رشد قارچ‌ها و کنترل آلودگی‌های قارچی، در حفاظت از این آثار، از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر، به دلیل خطرات زیست‌محیطی و عوارض جانبی ناشی از برخی ترکیبات شیمیایی، تمرکز پژوهش‌های زیادی بر استفاده از ترکیبات طبیعی، به‌ویژه گیاهان دارویی با خواص ضدقارچی، معطوف شده است. در این مقاله، تأثیر گیاهان دارویی مختلف در جلوگیری از رشد قارچ‌های آسیب‌زا بر آثار کاغذی بررسی شده و نتایج مربوط به اثربخشی آن‌ها بر گونه‌های مختلف قارچی در آثار تاریخی کاغذی، گزارش گردیده است.

واژگان کلیدی: حفاظت آثار کاغذی، گیاهان دارویی، خواص ضدقارچی، قارچ‌های مخرب کاغذ.



فصل‌نامه دانش حفاظت و مرمت

شاپا چاپی: ۶۰۹۳-۲۵۳۸
شاپا الکترونیکی: ۳۰۶۰-۶۲۱۷

سال هشتم، شماره اول
شماره پیاپی ۲۳، بهار ۱۴۰۴
صفحات: ۸۰-۶۵

<https://kcr.richt.ir>

نویسنده مسئول: سعیده سلیمانی
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرمت آثار فرهنگی،
دانشگاه هنر ایران.

رایانامه:
Saeedesoleimani07@gmail.com



مقدمه

حفظ و نگهداری آثار مکتوب همواره از دغدغه‌های اصلی جوامع متمدن بوده است. یکی از مهم‌ترین تهدیدهای این آثار، رشد و فعالیت قارچ‌ها در شرایط نامساعد محیطی نظیر رطوبت بالا، تهویه ناکافی و آلودگی‌های زیستی است که با تخریب الیاف سلولزی، موجب آسیب‌های تدریجی و گاه جبران‌ناپذیر به ساختار کاغذ می‌شود. گرچه مواد ضدقارچی شیمیایی متعددی برای مقابله با این عوامل زیستی در دسترس قرار دارند، اما به دلیل آثار جانبی آن‌ها بر سلامت انسان، محیط‌زیست و همچنین آسیب‌های احتمالی به ساختار اثر، لزوم بهره‌گیری از جایگزین‌های طبیعی و ایمن، بیش از پیش احساس می‌شود. در این میان، عصاره‌ها و اسانس‌های گیاهان دارویی به دلیل برخورداری از ترکیبات فعالی همچون فنول‌ها، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها، به عنوان گزینه‌هایی زیست‌سازگار و کارآمد برای مقابله با قارچ‌های مخرب مطرح شده‌اند. این ترکیبات طبیعی، بدون ایجاد آسیب جدی به بستر کاغذ، قابلیت بالایی برای جایگزینی با مواد شیمیایی نشان داده‌اند. مقاله حاضر با هدف بررسی توان ضدقارچی گیاهان دارویی در حفاظت از آثار کاغذی، به مرور پژوهش‌های انجام‌شده در سه محور اصلی می‌پردازد: شناسایی ترکیبات مؤثر موجود در عصاره‌ها و اسانس‌های گیاهی، ارزیابی میزان اثربخشی آن‌ها بر قارچ‌های مخرب کاغذ و ارائه مطالعاتی که کاربرد مستقیم این ترکیبات روی آثار کاغذی را از منظر تأثیرات ساختاری و دوزهای مؤثر بیان کرده‌اند. با وجود نتایج امیدوارکننده، بهره‌گیری مؤثرتر از این رویکرد مستلزم تحقیقات بیشتر در زمینه‌هایی نظیر استانداردسازی، تعیین غلظت‌های بهینه و ارزیابی ماندگاری این ترکیبات در طول زمان است.

تأثیر قارچ‌های مخرب بر کاغذ

قارچ‌ها به عنوان یک گروه بزرگ میکروبی در نظر گرفته می‌شوند که بر میراث کاغذی تأثیر می‌گذارند. قارچ‌ها رنگ‌دانه و اسید ترشح می‌کنند و قادر به تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در کاغذ می‌شوند (Gupta, Srivastava & Ahmed, 2021). قارچ‌هایی که بر روی کاغذ نفوذ می‌کنند اشکال نامنظم، گرد و غالباً به صورت هسته‌ای با رنگ‌های سیاه، قرمز، بنفش قهوه‌ای، زرد سبز و حتی گاهی بدون رنگ از خود بر جای می‌گذارند (قهری، ۱۳۸۵: ۳۵). میسیلیوم قارچ در جریان رشد خود، به درون الیاف کاغذ نفوذ کرده و به کمک فرایند هضم به آن‌ها هجوم می‌برد. قارچ‌های سلولولیتیک^۱ از طریق فعالیت آنزیم سلولاز^۲ و یا با ترشح اسیدهای آلی مثل اسیدسیتریک، اسیداکزالیک و اسیدگالیک باعث از هم پاشیدن و تخریب الیاف کاغذی می‌شوند (Lee, 2004).

عوامل مساعدکننده رشد و تکثیر عوامل قارچی در کتابخانه‌ها

قارچ‌ها از نظر اکولوژیکی بسیار سازگار و تطبیق‌پذیر هستند. بازه دمایی برای رشد و تکثیر قارچ‌ها متغیر است و بسیاری از گونه‌ها مقاومت و تحمل زیادی از خود نشان می‌دهند و حتی می‌توانند در دمای انجماد یا زیر انجماد در مدت‌زمان طولانی زنده بمانند و برخی ممکن است دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد را تا ۲۵ سال به راحتی تحمل کنند (قهری، ۱۳۸۵: ۵۵). جوانه‌زدن هاگ زمانی اتفاق می‌افتد که شرایط محیطی برای گونه قارچ مهیا شود (Gupta, Srivastava & Ahmed, 2021). اسپور قارچ‌ها در همه جا وجود دارند؛ اما در هوای گرم و مرطوب و در جایی که تهویه هوا ضعیف است به سرعت رشد می‌کنند.

روش معمول در پیشگیری و از بین بردن قارچ و معایب آن

امروزه از روش‌های مختلفی همچون استفاده از اشعه‌ی گاما، اشعه‌ی فرابنفش، استفاده از محفظه‌های بدون اکسیژن، انجماد، سموم شیمیایی و... برای مقابله با قارچ‌ها در حوزه مرمت و حفاظت آثار کاغذی استفاده می‌شود (Sequeira et al., 2012). در این میان، قارچ‌کش‌های مصنوعی بیشترین استفاده را در ضدعفونی کردن آثار کاغذی را دارند، ولی معایب زیادی به همراه دارند. هر کجا از مواد شیمیایی استفاده می‌شود به طبیعت خسارت زیادی مثل افزایش دما، آلودگی آب و خاک و هوا وارد می‌شود. مقاومت میکروارگانیسم‌ها به سموم شیمیایی و خطرات زیست‌محیطی برای انسان، گیاه و حیوانات در سال‌های اخیر به دلیل استفاده بیش از اندازه از قارچ‌کش‌های شیمیایی، افزایش یافته است. اغلب ضد میکروب‌های شیمیایی و مصنوعی در طول زمان به شکل‌های ساده‌تر تجزیه نشده و برای مدت طولانی اثرات سمی آن باقی می‌ماند و این برای افراد در ارتباط با آثار و محیط زیست ایجاد خطر می‌کند (Chein, Sadiq & Anal, 2019). کنوانسیون استکهلم، یک توافق بین‌المللی قانونی با هدف حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست در برابر آلاینده‌های آلی پایدار و برنامه ریزی جهت کاهش و حذف کاربرد آن‌ها است که در سال ۲۰۰۲ میلادی تصویب شد و ایران نیز در

سال ۱۳۸۵ رسماً به این کنوانسیون پیوست. براساس این کنوانسیون، در خصوص حفظ محیط زیست و کارکنان، ایده‌ی جایگزینی درمان‌های مضر که در آن از روش‌ها و مواد غیررسمی، غیر تخریبی و دوستدار محیط‌زیست استفاده می‌شود، افزایش یافته است (مدنی و دهکردی، ۱۳۹۷).

گیاهان دارویی بعنوان جایگزین مواد شیمیایی ضد قارچ

گیاهان دارویی مخازنی غنی از متابولیت‌های ثانویه^۳ و منبع بسیاری از مواد دارویی هستند که یک یا برخی از اندام‌های آن‌ها حاوی ماده مؤثره است و کمتر از یک درصد وزن خشک گیاه را تشکیل می‌دهد (Tajkarim et al, 2010). بنابراین در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای آغاز گردیده که نشان می‌دهد متابولیت‌های ثانویه برخی از گیاهان دارویی در جلوگیری از رشد قارچ‌ها موثر و جایگزین مناسبی برای سموم شیمیایی هستند (Arras et al, 2001). متابولیت‌های ثانویه گیاهی، ترکیباتی آلی هستند که مستقیماً در رشد و نمو یا تولید مثل گیاه دخیل نیستند (Wink, 2010). این ترکیبات دارای ساختار شیمیایی پیچیده‌تری نسبت به دیگر گروه‌های اولیه (مثل اسیدهای آمینه) که برای بقا زندگی سلول‌ها ضروری‌اند هستند. در این میان، آلکالوئیدها^۴، ترپنوئیدها^۵، فلاوونوئیدها^۶، رنگیزه‌ها و تانن‌ها^۷ از جمله مهم‌ترین این ترکیبات هستند (محمدباقرلو، ۱۳۹۷). گیاهان دارویی با ترکیبات فعال خود، با اختلال در رشد و تکثیر قارچ‌ها، باعث مهار یا توقف آن‌ها می‌شوند. این ترکیبات اغلب از طریق آسیب رساندن به غشاهای سلولی قارچ و مهار آنزیم‌های ضروری برای رشد قارچ عمل می‌کنند (سلیمانی، ۱۴۰۲). در جدول شماره ۱، نام برخی از گیاهان به همراه ترکیبات فعال ضد میکروبی آن‌ها آورده شده است. این گیاهان در مطالعات متعددی به عنوان منابعی با خاصیت ضد میکروبی مورد بررسی قرار گرفته‌اند و اثرات ضد ویروسی، ضد باکتریایی و ضد قارچی آن‌ها گزارش شده است. با توجه به گستردگی مطالعات و تنوع سویه‌های میکروبی بررسی شده، اشاره به سویه‌های خاص میکروبی نشده است.

جدول ۱. ترکیبات موثر ضد میکروبی چندی از گیاهان

Table 1. Antimicrobial compounds of several plants.

نام گیاه	نام علمی	ترکیب فعال	نوع ترکیب	منبع
اسطوخودوس	<i>Lavandula angustifolia</i>	لینالول (Linalool)	ترپنوئید (Terpenoid)	Onița et al., 2025
اوکالیپتوس	<i>Eucalyptus</i>	اوکالیپتول (Eucalyptol)	ترپنوئید (Terpenoid)	Mulyaningsih et al., 2011
آویشن	<i>Thymus vulgaris</i>	تیمول (Thymol)	فنول (Phenol)	Pento et al., 2020
بادرنجبویه	<i>Melissa officinalis</i>	آلدئید سیترونل (Citronellal)	ترپنوئید (Terpenoid)	Zahan, 2025
برگ بو	<i>Laurus nobilis</i>	۱-۸ سینئول (1,8-Cineole) لیمونن (Limonene) لینالول (Linalool)	ترپنوئید (Terpenoids)	Chibani et al., 2024
پونه کوهی	<i>Thymus serpyllum</i>	تیمول (Thymol) کارواکرول (Carvacrol) لینالول (Linalool)	فنول (Phenol) ترپن (Terpene)	Krid et al., 2025
پوست پرتقال	<i>Citrus sinensis</i>	لیمونن (Limonene) سینئول (Cineole)	ترپنوئید (Terpenoids)	Tayeb et al., 2025
پوست پیاز قرمز	<i>Allium cepa L.</i>	فلاوونوئیدها (Flavonoids) آنتوسیانین‌ها (Anthocyanins)	پلی فنول‌ها (Polyphenols)	Ha, Dao & Truc, 2025
ترخون	<i>Artemisia dracunculus</i>	استراگول (Estragole) اوژنول (Eugenol)	ترکیبات فنولی و ترپنوئیدی (Phenolics & Terpenoids)	Qadir et al., 2025
حنا	<i>Lawsonia inermis</i>	لاوسون (Lawson)	کوئینون (Quinone)	Joyroy et al., 2025
دارچین	<i>Cinnamomum verum</i>	سینامالدهید (Cinnamaldehyde) اوژنول (Eugenol)	آلدئیدها و فنول‌ها (Aldehydes and Phenols)	Elhassaneen et al., 2024

		لینالول (Linalool)		
Onița et al., 2025	ترپنویید (Terpenoid)	ترپینن ۴-اول (Terpinen-4-ol)	Melaleuca alternifolia	درخت چای
Krid et al., 2025	اسید فنولیک (Phenolic acid) ترپن (Terpene)	رزمارینیک اسید (Rosmarinic acid) سینئول (Cineole) کامفن (Camphene)	Rosmarinus officinalis	رزماری
Krid et al., 2025	فنول (Phenol) فلاونوئید (Flavonoid)	اولئوکانتال (Oleocanthol) هیدروکسی تیروزول (Hydroxytyrosol) اولئوپپین (Oleuropein)	Olea europaea	زیتون
Barzegar et al., 2025	پلی فنول (Polyphenol) ترپن (Terpene)	کور کومین (Curcumin) تورمرن (Turmerone) زرد کومین (Zerumbone)	Curcuma longa	زردچوبه
Oyarzo et al., 2024	ترکیب گوگرددار (Organosulfur compound)	آلیسین (Allicin)	Allium sativum	سیر
Ebadi et al., 2025	مونوترپن ها (Monoterpenes)	کاروون (Carvone) لیمونن (Limonene)	Anethum graveolens	شوید
Xiang et al., 2017	آلکالوئید (Alkaloid) ترپنویید (Terpenoid)	رایسین (Piperine) لیمونن (Limonene)	Piper spp.	فلفل
Krid et al., 2025	فنولی (Phenolic)	اوژنول (Eugenol)	Syzygium aromaticum	میخک
Onița et al., 2025	ترپنویید (Terpenoid)	منتول (Menthol) منتون (Menthone)	Mentha piperita	نعناع فلفلی

بررسی قارچ‌های آسیب‌رسان به آثار کاغذی و تاثیر گیاهان دارویی بر روی آن

رئیس‌نیا و روحی در کتاب اطلس قارچ‌شناسی به معرفی ۴۵ گونه از رایج‌ترین قارچ‌های میکروسکوپی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل آسیب‌رسان به منابع آرشیوی و کتابخانه‌ای پرداخته‌اند (رئیس‌نیا و روحی، ۱۳۹۰). با توجه به مطالعات انجام گرفته در زمینه آسیب‌های ناشی از قارچ‌های سلولولیتیک در آثار کاغذی و مواد کتابخانه‌ای می‌توان دریافت که فراوان‌ترین آن‌ها اسپرزیلوس‌ها، پنی‌سیلیوم‌ها، کلاوسپوریوم‌ها^{۱۰} و فوزاریوم‌ها^{۱۱} هستند (قهری، ۱۳۸۵، ص ۶۵). شمسیان و همکارانش با بررسی لکه‌های قارچ‌های موجود در نسخه‌های خطی موزه و کتابخانه آستان قدس رضوی مشهد دریافتند بیشترین تأثیر ناشی از فعالیت قارچ‌های اسپرزیلوس و پنی‌سیلیوم است (Shamsian et al., 2006). بررسی‌های انجام شده بر روی آرشیو موزه لاپتا در آرژانتین و آرشیو ملی کوبا، نشان‌دهنده گسترش قارچ پنی‌سیلیوم در آرشیو موزه لاپتا و قارچ‌های اسپرزیلوس، کلاوسپوریوم و پنی‌سیلیوم در آرشیو ملی کوبا است (Guimet et al., 2011). در سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ در مخازن آرشیوی سازمان مرکز اسناد و کتابخانه‌ی ملی از میان ۳۹ قارچ شناسایی شده سه نوع قارچ اسپرزیلوس‌نیجر، پنی‌سیلیوم و کلاوسپوریوم دارای درصد فراوانی بیشتری گزارش شده است (روحی، ۱۳۹۶). همچنین در پژوهشی مربوط به بررسی و شناسایی قارچ‌های موجود بر کاغذ در آرشیو کتابخانه‌ی موزه‌ی ملک در سال ۱۳۹۲ بیشترین فراوانی قارچ‌ها مربوط به همین سه گونه قارچ است (محمدی و کوچک زایی، ۱۳۹۲). زیسکا در بررسی قارچ‌های موجود در کتابخانه‌ها، بیش از دویست گونه قارچ سلولولیتیک شناسایی کرد که فراوان‌ترین آن‌ها متعلق به جنس‌های اسپرزیلوس، پنی‌سیلیوم، کلاوسپوریوم و فوزاریوم بودند (Zyska, 1997).

جدول ۲ به بررسی کلی خاصیت ضدقارچی چند گونه گیاه دارویی بومی ایران در برابر برخی از قارچ‌های مخرب آثار کاغذی می‌پردازد. در این مقایسه، تأثیر اسانس^{۱۲} و عصاره‌های^{۱۳} گیاهی مختلف بر رشد قارچ‌ها بررسی شده و نتایج به صورت کمی ارائه گردیده است. هدف از این جدول، ارزیابی اولیه ظرفیت ضدقارچی این گیاهان جهت استفاده احتمالی در حفاظت بیولوژیکی آثار کاغذی است.

جدول ۲. بررسی ضدقارچی گیاهان بومی ایران در برابر قارچ‌های مخرب کاغذ
Table 2. Antifungal activity of native Iranian plants against paper-deteriorating fungi.

نام گیاه	نام علمی گیاه	خانواده گیاهی	جزء موثر	نوع ترکیب بررسی شده	غلظت موثر	قارچ هدف	منبع
اکالیپتوس	Eucalyptus spp.	موردیان (Myrtaceae)	سینئول (Eucalyptol) آلفا-پینن- α (Pinene)	اسانس	۶۰۰- ۲۰۰ppm	آسپرژیلوس فلاووس Aspergillus flavus	افشاری و همکاران، ۱۳۹۲
آویشن	Thymus vulgaris	نعناعیان (Lamiaceae)	تیمول (Thymol) کارواکرول (Carvacrol)	اسانس	۶۰۰- ۲۰۰ppm	آسپرژیلوس فلاووس	افشاری و همکاران، ۱۳۹۲
					600 μ l/L (مستقیم)، ۲۴ μ l/petri (بخارات)	پنی سیلیوم دیجیتاتوم Penicilliumdigitatum	Yahyazadeh et al., 2008
					150 μ l/l	فوزاریوم گرامینه‌آروم Fusariumgraminearum	Amini et al., 2012
آویشن پُرلُک	Thymus x porlock	نعناعیان	بتا-فلاندرن (β -felandrene) تیمول	اسانس	مهارى: ۲۵۰ ppm کشنده: ۵۰۰ ppm	آسپرژیلوس نیجر Aspergillus niger	Rasooli et al., 2006
آویشن کرکدار	Thymus ericalyx	نعناعیان	تیمول بتا-فلاندرن	اسانس	مهارى: ۱۲۵ ppm کشنده: ۲۵۰ ppm	آسپرژیلوس نیجر	Rasooli et al., 2006
آویشن کوهی	Zataria multiflora	نعناعیان	تیمول کارواکرول	اسانس	۲۰۰۰ mg/L	آسپرژیلوس نیجر	Abdollahi et al., 2011
آویشن دشتی	Thymus kotschyanus	نعناعیان	تیمول کارواکرول	اسانس	150 μ l/l	فوزاریوم گرامینه‌آروم	Amini et al., 2012
بابونه آلمانی	Matricaria chamomilla	کاسنیان (Asteraceae)	آلفا-بیسابولول (α -bisabolol)	عصاره	25 ppm	پنی سیلیوم دیجیتاتوم	Hadi et al., 2013
				اسانس	15/6-100 μ g/ml	آسپرژیلوس نیجر	Tolouee et al., 2010

Abolfazl M. et al., 2014	فوزاریوم اُکسی اسپروم Fusarium oxysporum آسپرژیلوس فلاووس	0/5 – 2 µg/ml	اسانس	توریلنول (Torilenol) اسپاتولنول (Spathulenol) آلفا-کوبین-آلفا (Cubebene)	چتریان (Apiaceae)	Bupleurum falcatum	بومادران
Hasanvand et al., 2016	آسپرژیلوس فلاووس	750 ppm	اسانس	تیمول کارواکرول	چتریان	Echinophora platyloba	خارشتر پهن برگ / اشق
Abolfazl M. et al., 2014	فوزاریوم اُکسی اسپروم آسپرژیلوس فلاووس	0/5 – 1 µg/ml	اسانس	پروپین آل-2 (Propenal) سینام آلدئید (Cinnamaldehyde)	برگ بویان (Lauraceae)	Cinnamomum zelenicum	دارچین سیلان
Hadi et al., 2013	پنی سیلیوم دیجیتاتوم	500 ppm	عصاره				
افشاری و همکاران، ۱۳۹۲	آسپرژیلوس فلاووس	۶۰۰- ۲۰۰ppm	اسانس	آنتول (Anethole) فنچون (Fenchone)	چتریان	Foeniculum vulgare	رازیانه
افشاری و همکاران، ۱۳۹۲	آسپرژیلوس فلاووس	۶۰۰- ۲۰۰ppm	اسانس	۱،۸-سینتول (Eucalyptol)	نعناعیان	Rosmarinus officinalis	رزمری
Rasooli et al., 2008	آسپرژیلوس پارازیتیکوس Aspergillus parasiticus	250-450 ppm	اسانس				
Amini et al., 2012	فوزاریوم گرامینه آروم	150 µl/1	اسانس	تیمول کارواکرول	نعناعیان	Zataria multiflora	زاتاریای ایرانی
Rasooli et al., 2008	آسپرژیلوس پارازیتیکوس	250-450 ppm	اسانس	تیمول (Thymol) پی-سایمن-پی (p-Cymene) گاما-ترپنین (γ-) (Terpinene)	چتریان	Trachyspermum copticum	زیره کرمانی
Gandomi et al., 2014	پنی سیلیوم سیتربوم Penicillium citrinum پنی سیلیوم کریزوژنه Penicillium chrysogenum آسپرژیلوس فلاووس آسپرژیلوس نیجر آسپرژیلوس پارازیتیکوس	۱۰۰۰- ۲۰۰۰ ppm	اسانس	تیمول (Thymol) پی-سایمن-پی (p-Cymene) گاما-ترپنین (γ-) (Terpinene)	چتریان	Trachyspermum ammi	زیره سیاه

سیرکوهی	Satureja hortensis	نعناعیان	کارواکرول تیمول	اسانس	۶۰۰- ۲۰۰ppm	آسپرژیلوس فلاووس	افشاری و همکاران، ۱۳۹۲
شاه‌پسند	Stachys pubescens	نعناعیان	جرمسن (Germacrene) دلتا-کادینن-۸ (δ-Cadinene) ۲،۶-اکتادینن-۲،۶-Octadien) لینالول (Linalool)	اسانس	0/5 – 1 μg/ml	فوزاریوم اُکسی اسپروم آسپرژیلوس فلاووس	Abolfazl M. et al., 2014
شیرین بیان	Glycyrrhiza glabra	لگومینوزها (Fabaceae)	فلاونوئیدها (Flavonoids) گلیسیررئیزین (Glycyrrhizin)	عصاره	۵۰۰ μg/ml	آسپرژیلوس پاراسیتیکوس	Mohseni et al., 2014
صبر زرد	Aloe vera	آسفودل سانان (Asphodelaceae, سابقاً Liliaceae)	آلوئین (Aloin)	عصاره	۱۰۵ μg/l	آسپرژیلوس فلاووس	بابایی و همکاران، ۱۳۹۲
کاکوتی کوهی	Oliveria decumbens	چتریان	تیمول کارواکرول	اسانس	۰/۱ mg/l	آسپرژیلوس نیجر	Amin et al., 2005
گالبانوم (صمغ آنغوزه)	Ferula gummosa	چتریان	آلفا-پینن بتا-پینن	اسانس	۶۰۰- ۲۰۰ppm	آسپرژیلوس فلاووس	افشاری و همکاران، ۱۳۹۲
گزنه	Urtica dioica	گزنه‌ایان (Urticaceae)	اسید کافئیک (Caffeic acid)	عصاره	50ppm	بنی سیلیوم دیجیتاتوم	Hadi et al., 2013
گشنیز	Coriandrum sativum	چتریان	لینالول	اسانس	2 – 4 μg/ml	فوزاریوم اُکسی اسپروم آسپرژیلوس فلاووس	Abolfazl M. et al., 2014
گلپر	Heracleum persicum	چتریان	فورانو کومارین‌ها (Furanocoumarins) برگاپتن (Bergapten) زانثوتوکسین (Xanthotoxin)	عصاره	8000-855 μg/ml	آسپرژیلوس پاراسیتیکوس	Razzaghi-Abyaneh et al., 2013
مرزنگوش تابستانه	Satureja hortensis	نعناعیان	تیمول کارواکرول	اسانس	500 ppm	آسپرژیلوس فلاووس	Omidbeygi et al., 2007

Sadeghinezhad et al., 2010	آسپرژیلوس فلاووس آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم و فوزاریوم	1250-5000 2500-5000 625-5000 µg/ml	عصاره	تیمول کارواکرول	نعناعیان	Satureja khuzestanica	مرزنگوش خوزستانی
Fateh et al., 2010	آسپرژیلوس نیجر آسپرژیلوس فلاووس آسپرژیلوس فومیگاتوس (Aspergillus fumigatus) پنی سیلیوم کریزوژنه	عصاره الکلی: ۵۸- ۸۰۰ عصاره آبی: ۳۸۴۰-۲۶۰ µg/ml	عصاره	آلیسین (Allicin)	سوسنیان (Amaryllidaceae)	Allium hirtifolium	موسیر
Yahyazadeh et al., 2008	پنی سیلیوم دیجیتاتوم	600 µl/L (مستقیم) ۲۴ µl/petri (بخارات)	اسانس	اوژنول (Eugenol)	موردیان	Eugenia caryophyllata	میخک
Omidbeygi et al., 2007	آسپرژیلوس فلاووس	500 ppm					
افشاری و همکاران، ۱۳۹۲	آسپرژیلوس فلاووس	۶۰۰- ۲۰۰ ppm	اسانس	منتول (Menthol) منتون (Menthone)	نعناعیان	Mentha spicata / Mentha piperita	نعناع
Hadi et al., 2013	پنی سیلیوم دیجیتاتوم	100 ppm	عصاره				

علاوه بر این، برکشی با استفاده از دستورالعمل‌های موجود در ۱۲ رساله تاریخی از دوره صفویه تا دوره قاجار به بررسی خاصیت ضدقارچی و میکروبی حنا پرداخته است. بعضی از گونه‌های آسپرژیلوس مانند آسپرژیلوس نیجر و آسپرژیلوس فلاووس نسبت به خاصیت ضدقارچی حنا از خود مقاومت نشان دادند (برکشی، ۱۳۷۸). کارباده خواص ضدحشره و ضدقارچ در زردچوبه، برگ درخت چریش و پنج‌انگشت را بررسی کرده که در این میان کورکومین استخراج شده از زردچوبه تأثیر بازدارندگی مناسبی در برابر ۱۴ گونه قارچ آسپرژیلوس نیجر، آسپرژیلوس فلاووس، تریکودرما، ویریده، فوزاریوم سولانی گردید (Kharbade, 2010). استوپر و همکاران فعالیت ضدقارچی اسانس گیاهان رزماری، اسطوخودوس، مرزنجوش را در برابر قارچ‌های آسپرژیلوس نیجر، پنی سیلیوم، تریکودرما دریده بررسی کرده‌اند. آن‌ها دریافتند که در این بین، مرزنگوش (با جزء مؤثر کارواکرول) سپس رزماری (با جزء مؤثر سینئول) و در آخر اسطوخودوس (با جزء مؤثر لینالول و لینالیل استات) در مهار قارچ مؤثر بوده است (Stupar et al., 2014). هیتوکو و موروزومی به اثرات ضدقارچی ۲۹ گونه‌ی گیاهی را در برابر قارچ‌های آسپرژیلوس ورسیکالر و آسپرژیلوس فلاووس، بررسی کردند. در میان این گیاهان، میخک، بادیان ختایی و فلفل فرنگی به طور کامل مانع از رشد قارچ شدند. اوژنول استخراج شده از میخک و تیمول استخراج شده از آویشن باعث کامل رشد این دو قارچ شدند (Hitokoto & Morozumi, 1980). محبویی و فیض‌آبادی اثر ضد میکروبی گیاهان آویشن، مرزه، اکالیپتوس را در برابر قارچ‌های آسپرژیلوس نیجر و آسپرژیلوس فلاووس بررسی کرده‌اند. طبق نتایج آن‌ها استفاده از اتانول به‌عنوان پایه‌حلال در مقایسه با دی‌متیل سولفوراکساید اثر ضد میکروبی اسانس را افزایش می‌دهد. اثر ضد میکروبی اسانس‌های مرزنجوش، آویشن و مرزه از اسانس اکالیپتوس بیشتر بوده و دلیل آن‌را مربوط به جزء تیمول و کارواکرول به‌ویژه تیمول موجود در گیاهان مرزه و آویشن و مرزنجوش می‌دانند (Mahboubi & Feizabadi, 2009). معماریان و ملک‌زاده با بررسی اسانس گیاهان آویشن، پونه و مرزه بر روی مهار رشد اسپور و رشد سلولی قارچ آسپرژیلوس نیجر، تأثیر بیشتر آویشن و مرزه را نسبت به پونه

نتیجه گرفته و دلیل آن را داشتن ترکیب مؤثر تیمول، در آویشن و مرزه می‌دانند (Mimarian & Malekzadeh, 2011). ساتیش علاوه بر بررسی خواص ضدقارچی چند گیاه مختلف به این نتیجه رسید که عصاره‌های بیشتر گیاهان با پایه‌حلال متانول از حلال‌های اتانول، کلروفرم، بنزن، اتر خاصیت ضدقارچی بیشتری از خود نشان می‌دهد (Satish et al., 2007). علی و همکاران با مقایسه‌ی اسانس‌های میخک، دارچین، سیر و آویشن و اثرات ضدقارچی آن‌ها در برابر دو قارچ مخرب کاغذ پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس-پاراسیتیکوس، دریافتند اسانس دارچین و میخک اثرات بهتری را در مهار رشد قارچ نشان داده‌اند (Ali et al., 2014).

در حوزه مرمت و حفاظت آثار کاغذی تحقیقاتی راجع به اثرات ضدقارچی عصاره و اسانس گیاهان بر روی کاغذ انجام شده و به نتایج مثبتی دست یافته‌اند. به‌طور معمول گیاهان به‌صورت عصاره یا اسانس استخراج می‌شوند و بر روی کاغذهای تاریخی به‌عنوان درمان ضدقارچی اعمال می‌شوند. این ترکیبات معمولاً به‌صورت بخور، اسپری و غوطه‌وری بر روی کاغذ اعمال می‌شوند. در تحقیقات انجام شده، مشخص شده که استفاده از این گیاهان معمولاً اثرات نامطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی کاغذ از جمله اسیدیته، استحکام و رنگ آن نداشته است (سلیمانی، ۱۴۰۲).

طاهری اسانس گیاه مرزه خوزستانی را بر روی دو گونه آسپرژیلوس نیجر و پنی‌سیلیوم در آثار کاغذی مورد ارزیابی قرار داده و تاثیر مثبت آن در مهار رشد قارچ‌های مذکور را نتیجه گرفته است (طاهری، ۱۳۹۰). خویانی ربانی با مقایسه اثرات عصاره آبی و هیدروالکلی گیاه کبکج به این نتیجه رسید که عصاره هیدروالکلی در مقایسه با عصاره آبی قدرت مهارکنندگی مناسبتری در برابر قارچ‌های مورد مطالعه و همچنین تأثیرات رنگی، کاهش مقاومت کششی و کاهش میزان اسیدیته کمتری در کاغذ داشته است (خویانی‌ربانی، ۱۳۹۳). مژگانی به بررسی خواص ضدقارچی عصاره‌های مورد و سداب پرداخته و در پایان مشخص شد که عصاره هیدروالکلی گیاه سداب در پایداری شرایط کاغذ در هنگام تأثیر عوامل بیولوژیکی مانند قارچ‌های آسپرژیلوس نیجر و پنی‌سیلیوم تأثیر بیشتری نسبت به عصاره هیدروالکلی مورد دارد (مژگانی، ۱۴۰۱). بیدار و همکاران فعالیت ضدقارچی اسانس سه گیاه آویشن، اسطوخودوس و کندر در برابر قارچ‌ها را در آثار کاغذی بررسی کرده‌اند. در این تحقیق اسانس‌ها به‌صورت تیمار بخور بر نمونه‌ها اعمال شدند. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه تأیید می‌کند که سه اسانس مورد بررسی دارای اثر ضدقارچی هستند. ولی بر اساس دوز مورد نیاز برای فعالیت ضدقارچی، می‌توان گفت که اسانس آویشن فعالیت ضدقارچی بیشتری نسبت به اسانس اسطوخودوس و کندر دارد. همچنین به‌دلیل عدم مشاهده‌ی اثرات نامطلوب آن بر ویژگی‌های فیزیکی و اسیدیته کاغذ، گزینه‌ی مناسبی برای حفاظت از آثار کاغذی است (بیدار و دیگران، ۱۴۰۱). قرائتی در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خود به بررسی خواص ضدقارچی عصاره‌ی ریشه‌ی گیاه آنگوزه در برابر قارچ‌های مخرب کاغذ پرداخته است. با توجه به بررسی‌های انجام شده این ماده علاوه بر خاصیت ضدقارچی، اثر منفی بر روی کاغذ نداشته است (قرائتی، ۱۳۹۹).

در کنار اثرات مثبت حاصل استفاده از اسانس و عصاره این گیاهان، اثر کوتاه‌مدت آن‌ها، باعث ایجاد محدودیت در به‌کارگیری آن در آثار کاغذی شده است. محققان با ترکیب عصاره‌ها و اسانس گیاهان با مواد مختلف در پی رفع کاستی‌ها و افزایش خواص آن‌ها هستند. در پژوهش‌های آتی ممکن است با ترکیب کردن موادی که خاصیت هم‌افزایی در مهار قارچ‌های آسیب‌زا را دارند، بر این مشکلات غلبه کرد (Safaiefarahani & Mostowfizadeh-Ghalemfarsa, 2019).

گزارش‌های پیشین نشان داده است که نانوذرات کیتوزان به‌تنهایی خواص ضدقارچی داشته و سابق بر این نیز در مرمت آثار کاغذی به‌کار رفته است (Bobu et al., 2016). همچنین به‌خاطر ویژگی‌هایی مانند سازگاری زیستی زیاد، سمیت پایین، ضدحساسیت و خواص ضدقارچی و ضدباکتریایی، در علوم مختلف از جمله حفاظت و مرمت مورد توجه و استفاده قرار گرفته است (Bobu et al., 2016). از طرفی ترکیب نانوکیتوزان با اسانس بعضی از گیاهان که خاصیت ضد میکروبی دارند، خاصیت قدرت مهار قارچ را در مقایسه با اسانس آزاد و نانوکیتوزان تنها بالا برده است و علاوه بر آن باعث طولانی‌تر شدن ماندگاری اثر اسانس شده است (Sansone et al., 2018; El-Aziz et al., 2014). العزیز در ترکیب عصاره نعنای (پونه لونگیفولیا) با کیتوزان، افزایش اثرات ضدقارچی در برابر رشد میسیلیوم آسپرژیلوس نیجر را نتیجه گرفته است (El-Aziz et al., 2018). سانسون و همکاران، خواص تکنولوژیکی و خاصیت ضدقارچی نانوذرات کیتوزان بارگیری شده توسط عصاره‌ی گیاه گل صدتومانی را در مقایسه با عصاره‌ی آزاد در برابر قارچ کاندیدا آلیکنس مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که خاصیت ضدقارچی آن، به نسبت عصاره‌ی آزاد بیشتر است (Sansone et al., 2014). موزالوپو و دیگران با ترکیب عصاره برگ زیتون به‌همراه نانوذرات کیتوزان نشان دادند این ترکیب کارایی بیشتری نسبت به عصاره‌ی آزاد دارد و می‌تواند به‌عنوان قارچ‌کش برای کنترل آفات استفاده شود (Muzzalupo et al., 2020). سلیمانی با مقایسه اثر ضدقارچی

سه ماده: اسانس آویشن، نانوکیتوزان و نانوکامپوزیت تشکیل شده از این دو ماده طبیعی، به این نتیجه رسید که ترکیب نانوکیتوزان به همراه اسانس نه تنها باعث بالاتر رفتن خاصیت ضدقارچی شده است؛ بلکه علاوه بر تقویت خاصیت‌های مثبت مانند تقویت مقاومت مکانیکی و پایین بردن اسیدیتۀ کاغذ، تا حدود قابل قبولی باعث برطرف شدن کاستی‌های اثر نانوکیتوزان و اسانس آویشن نیز شده است. استفاده از میزان کمتر اسانس به همراه بالاتر رفتن ماندگاری اثر ضدقارچی آن و همچنین برطرف شدن تغییر رنگ ناشی از پیرسازی در کاغذ تیمار شده با نانوکیتوزان، از جمله این نتایج به دست آمده است (سلیمانی، ۱۴۰۲). در جدول ۳، پژوهش‌هایی درباره حفاظت پیشگیرانه آثار کاغذی در برابر قارچ‌های مخرب با استفاده از ترکیبات گیاهی ارائه شده است. برخی از این ترکیبات بدون ایجاد تأثیر منفی بر ویژگی‌های فیزیکی کاغذ، اثربخشی قابل توجهی در مقابله با قارچ‌ها داشته‌اند.

جدول ۳. پژوهش‌هایی درباره حفاظت پیشگیرانه آثار کاغذی با استفاده از ترکیبات گیاهی در برابر قارچ‌ها

Table 3. Studies on preventive conservation of paper-based objects using plant-derived compounds against fungi.

نام گیاه	نوع ترکیب اعمال شده بر کاغذ	نوع قارچ	یافته ها	منبع
آویشن اسطوخودوس کندر	اسانس	آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم	دوزهای مورد مطالعه برای اسانس آویشن، اسطوخودوس و کندر به ترتیب ۸، ۱۲، ۵ و ۲۵ (μL/mL) در اتانول بوده است. اسانس آویشن به دلیل اثر ضدقارچی و میکروبی قوی و همچنین عدم مشاهده اثرات نامطلوب بر ویژگی‌های فیزیکی و اسیدیتۀ کاغذ، به عنوان گزینه‌ای مناسب برای حفاظت از آثار کاغذی مطرح می‌شود.	(بیدار و دیگران، ۱۴۰۱)
معصفر زعفران زردچوبه	عصاره	آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم کلادوسپوریوم	گیاه معصفر نسبت به دو گیاه دیگر تأثیر بیشتری بر روی مهار سه نوع قارچ آسپرژیلوس نیجر، پنی سیلیوم و کلادوسپوریوم دارد (در این پژوهش بیشتر خاصیت رنگزایی این گیاهان مد نظر بوده است).	(روحی، ۱۳۹۶)
آنغوزه	عصاره	آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم	نتایج نشان داد که غلظت ۵٪ (v/v) از این ماده، ضمن حفظ خاصیت ضدقارچی، هیچ گونه اثر تخریبی بر روی کاغذ ایجاد نکرد.	(قرائتی، ۱۳۹۹)
مورد سداب	عصاره	آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم	عصاره هیدروالکلی ۱۰٪ (v/v) گیاه سداب، در مقایسه با عصاره هیدروالکلی گیاه مورد با همان غلظت، تأثیر بیشتری در حفظ پایداری کاغذ در برابر عوامل بیولوژیکی (قارچ‌ها) نشان داد. با این حال، عصاره ۱۰٪ گیاه سداب استخراج شده با آب مقطر، بهترین عملکرد را در حفظ پایداری اسیدیتۀ کاغذ در طول فرایندهای پیرسازی حرارتی و پیرسازی حرارتی-رطوبتی داشته است.	(مزگانی، ۱۴۰۱)
مرزۀ خوزستانی	اسانس	آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم	نتایج نشان دادند که اسانس مرزۀ خوزستانی در بازۀ غلظتی ۴٪ تا ۸٪ (v/v) موجب مهار نسبی رشد قارچ‌ها شد، اما در غلظت‌های ۱۱٪ و بالاتر، رشد رویشی و زایشی به طور کامل مهار گردید. قارچ آسپرژیلوس نیجر نسبت به پنی سیلیوم در تمامی نمونه‌ها مقاومت بالاتری نشان داد. لازم به ذکر است که تأثیر اسانس بر خصوصیات کاغذ پس از پیرسازی در این مطالعه بررسی نشده است.	(طاهری، ۱۳۹۰)
کبیکج	عصاره	آسپرژیلوس نیجر آسپرژیلوس فلاووس آسپرژیلوس فومیگاتوس	در نمونه‌های کاغذی آغشته به عصاره آبی در نسبت ۱:۲۰، و نیز در نمونه‌های آغشته به عصاره هیدروالکلی تا نسبت ۱:۱۸۰، عصاره گیاه مانع از رشد قارچ شد.	(خوبانی ربانی، ۱۳۹۳)

	پنی سیلیوم کلادوسپوریوم	در هر دو نوع عصاره آبی و هیدروالکلی، بیشترین حساسیت به عصاره‌ها در قارچ‌های پنی سیلیوم و کلادوسپوریوم مشاهده گردید. عصاره هیدروالکلی در مقایسه با عصاره آبی، توان مهارکنندگی مؤثرتری در برابر قارچ‌های مورد بررسی نشان داد و همچنین تأثیرات جانبی کمتری از جمله تغییر رنگ، کاهش مقاومت کششی و کاهش اسیدیته داشت. با توجه به بروز زردشدگی در کاغذ پس از فرآیند پیرسازی، استفاده مستقیم این عصاره‌ها بر روی آثار کاغذی توصیه نمی‌شود.
اسانس آویشن + نانو کیتوزان	آسپرژیلوس نیجر پنی سیلیوم	محلول اسانس آویشن در غلظت ۱٪ (w/w) در اتانول فعالیت ضدقارچی نشان داد و دیسپرسیون نانو کیتوزان در اتانول با غلظت ۶٪ (w/w) پایداری نسبتاً خوبی در مهار رشد قارچ‌ها از خود ارائه داد. ترکیب کامپوزیتی این دو ماده علاوه بر افزایش خاصیت ضدقارچی، موجب افزایش ماندگاری اثر آن نیز گردید. علاوه بر این، هیچ تأثیر منفی بر روی ساختار کاغذ قبل و بعد از فرآیند پیرسازی مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

در حالی که تحقیقات متعددی به بررسی اثرات ضدقارچی عصاره‌های گیاهی پرداخته‌اند، این مقاله با طبقه‌بندی جامع نتایج، زمینه‌ای برای شناخت بهتر کاربرد این ترکیبات طبیعی در حفاظت از آثار کاغذی فراهم می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که گیاهان دارویی می‌توانند به عنوان یک ابزار مؤثر و زیست‌سازگار در مقابله با قارچ‌های مخرب آثار کاغذی مطرح شوند. استفاده از ترکیبات طبیعی به دلیل ویژگی‌های زیست‌محیطی و کم‌خطر بودن نسبت به مواد شیمیایی، به عنوان یک روش حفاظت پایدار برای آثار تاریخی به نظر می‌رسد. با این حال، هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری در زمینه استانداردسازی این ترکیبات و تعیین غلظت‌های مؤثر برای هر نوع قارچ و اثر کاغذی خاص وجود دارد. در نهایت، پژوهش‌های آینده باید به بررسی ترکیب این گیاهان با روش‌های نوین حفاظت، مانند نانوذرات و زیست‌فناوری، توجه بیشتری داشته باشند تا حفاظت بهتری از آثار کاغذی در برابر تخریب قارچی ارائه گردد.

حامیان مادی و معنوی

این تحقیق فاقد هرگونه پشتیبان مادی و یا معنوی بوده است.

تضاد منافع

نویسندگان تأیید می‌کنند که هیچ گونه منافع مالی رقابتی یا روابط شخصی شناخته شده‌ای که می‌توانسته بر کار گزارش شده در این مقاله تأثیر بگذارد، ندارند.

دسترسی به مطالب و داده‌ها

تمام داده‌ها و یافته‌های پشتیبان نتایج این مطالعه به طور کامل در مقاله ارائه شده است.

پی‌نوشت‌ها

¹ Cellulolytic

² Cellulase

³ Secondary metabolites

⁴ Alkaloid

- ⁵ Terpenoids
- ⁶ Flavonoids
- ⁷ Tannins
- ⁸ Aspergillus
- ⁹ Penicillium
- ¹⁰ Cladosporium
- ¹¹ Fusarium
- ¹² essential oil
- ¹³ Extract

منابع/References

- Abdollahi, M., Hamzehzarghani, H., & Saharkhiz, M. J. (2011). Effects of the essential oil of *Zataria multiflora* Boiss, a thyme-like medicinal plant from Iran on the growth and sporulation of *Aspergillus niger* both in vitro and on lime fruits. *Journal of Food Safety*, 31(3), 424-432. <https://doi:10.1111/j.1745-4565.2011.00317.x>
- Abolfazl, M., Hossein, N., Sohrab, I., & Hadi, A. (2014). Chemical composition and antifungal activity of essential oils from some medicinal plants of Iran. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(2), 376. [https://doi:10.13040/IJPSR.0975-8232.5\(2\).376-82](https://doi:10.13040/IJPSR.0975-8232.5(2).376-82).
- Afshari, H., Ziveai, F., Bagheri, G., Afshari, M., & Zadehbagheri, M. (2013). Study the antifungal effects of plant medicinal essences on growth of *Aspergillus flavus* and aflatoxin B1 in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Zabol University of Medical Sciences and Health Services (Journal of Rostamineh)*, 5(3), 16-23. <https://sid.ir/paper/203580/en> [In Persian].
- [افشاری، حسین؛ زیوه ای، فرشته؛ باقری، غلامرضا؛ افشاری، مهدی و زاده باقری، مسعود. (۱۳۹۲). بررسی اثر ضد قارچی اسانس گیاهان دارویی بر رشد قارچ آسپرژیلوس فلاووس و تولید آفلاتوکسین B1 در پسته. *دانشگاه علوم پزشکی زابل*, ۵(۳). ۱۶-۲۳.]
- Ali, D. M. I., Abdel-Rahman, T. M., El-Badawey, N. F., & Ali, E. A. M. (2014). Control of fungal paper deterioration by antifungal drugs, essential oils, gamma and laser irradiation. *Egypt J Bot*, 54, 219-246. <https://doi:10.21608/ejbo.2014.489>
- Amin, G., Sourmaghi, M. S., Zahedi, M., Khanavi, M., & Samadi, N. (2005). Essential oil composition and antimicrobial activity of *Oliveria decumbens*. *Fitoterapia*, 76(7-8), 704-707. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.06.009>
- Amini, M., Safaie, N., Salmani, M. J., & Shams-Bakhsh, M. (2012). Antifungal activity of three medicinal plant essential oils against some phytopathogenic fungi. *Trakia J Sci*, 10(1), 1-8. Available online at: <http://www.uni-sz.bg>
- Arras, G. and Usa, I.M. (2001). Fungitoxic activity of 12 essential oils against four postharvest citrus pathogens: Chemical analysis of *Thymus capitatus* oil and its effect in sub-atmospheric pressure conditions. *Journal of Food Protection*, 64(7), 1025-1029. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.7.1025>
- Babaei A, Tavafi H, Manafi M, Fahimifar A. (2014). Comparing the in vitro antifungal activity of various Aloe vera leaf extracts on *Aspergillus flavus* growth and aflatoxin B1 production. *Feyz Med Sci J*; 17(6): 537-544. <http://feyz.kaums.ac.ir/article-1-2104-fa.html> [In Persian].
- [بابایی، آرش؛ طوافی، حدیث؛ منافعی، میلاد و فهیمی فر، آمنه. (۱۳۹۲). مقایسه فعالیت ضد قارچی عصاره‌های مختلف برگ گیاه صبر زرد بر میزان رشد قارچ آسپرژیلوس فلاووس و تولید آفلاتوکسین B1 در شرایط آزمایشگاهی. *مجله علوم پزشکی فیض*, ۱۷(۶), ۵۳۷-۵۴۴.]
- Barkeshli, M. (1999). Microbial effects of henna in traditional dyeing of historical papers. *Honar-Nameh*, (3), [pages not specified]. <https://ensani.ir/fa/article/9714>
- [برکشلی، ماندانا. (۱۳۷۸). اثرات میکروبی حنا در رنگرزی سنتی کاغذهای تاریخی. *نشریه هنرنامه*, شماره ۳.]
- Barzegar, H., Mehrnia, M. A., Jooyandeh, H., & Hojjati, M. (2025). Investigation of chemical composition and antifungal properties of turmeric essential oil (*Curcuma longa* L.). *Journal of Food Science & Technology (2008-8787)*, 22(162). <https://doi:10.22034/FSCT.22.162.292>.
- Bidar L, Noohi N, Hadian Dehkordi M. (2022). Comparative Study of Antifungal Activity of Three Herbal Essential Oil of *Thymus*, *Lavender*, and *Boswellia* on Paper. *JRA*. 8(2), 101-114. <http://doi:10.52547/jra.8.2.101>. URL: <http://jra-tabriziau.ir/article-1-339-fa.html>. [In Persian].

- [بیدار، لیلا؛ نوحی، نسرين و هادیان دهکردی، منیژه. (۱۴۰۱). مطالعه تطبیقی فعالیت ضد قارچی سه عصاره گیاهی آویشن، اسطوخودوس و کندر در آثار کاغذی. *پژوهه باستان‌سنجی*, ۸ (۲), ۱۱۴-۱۰۱.]
- Bobu, E., Nicu, R., Obrocea, P., Ardelean, E., Dunca, S., & Balaes, T. (2016). Antimicrobial properties of coatings based on chitosan derivatives for applications in sustainable paper conservation. *Cellulose Chemistry and Technology*, 50(5-6), 689-699. [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6\(2016\)/p.689-699.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT5-6(2016)/p.689-699.pdf)
- Chein, S. H., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2019). Antifungal effects of chitosan films incorporated with essential oils and control of fungal contamination in peanut kernels. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14235. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14235>
- Chibani, S., Boukabache, M., Nouichi, A., Küçükaydın, M. T., Küçükaydın, S., & Duru, M. E. (2024). *Chemical composition, anticholinesterase, antioxidant, and antifungal activities of the essential oil from Laurus nobilis leaves growing in Algeria*. <https://doi:10.48047/AFJBS.6.10.2024.7639-7664>
- Ebadi, A., Mohebodini, M., & Gholizadeh, A. (2025). Evaluation of essential oil compounds diversity in dill (*Anethum graveolens* L.) accessions under field conditions. *Taxonomy and Biosystematics*, 17(62), 41-56. <https://doi:10.22108/tbj.2025.143551.1290>
- El-Aziz, A. R. M. A., Al-Othman, M. R., Mahmoud, M. A., Shehata, S. M., & Abdelazim, N. S. (2018). Chitosan nanoparticles as a carrier for *Mentha longifolia* extract: synthesis, characterization and antifungal activity. *Current Science*, 2116-2122. <https://www.jstor.org/stable/26495650>
- Elhassaneen, Y. A., ElBassouny, G. M., Emam, O. A., & Aram, E. I. (2024). Nutrients and nutraceuticals content and in vitro biological activities of formulae from plant parts commonly spread in Egyptian markets. *American J. of Food and Nutrition*, 12(5), 134-151. <https://doi:10.12691/ajfn-12-5-2>
- Fateh, R., Nasiri, K. M. J., Motevallian, M., Falahati, M., & Yazdanparast, A. (2010). *In vitro antifungal activity of Allium birtifolium in comparison with the miconazole*. <https://sid.ir/paper/294379/en>
- Gandomi, H., Abbaszadeh, S., JebelliJavan, A., & Sharifzadeh, A. (2014). Chemical Constituents, Antimicrobial and Antioxidative Effects of *T. rachyspermum ammi* Essential Oil. *Journal of food processing and preservation*, 38(4), 1690-1695. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12131>
- Ghahri, M. (2006). *Microbial agents damaging archival and library materials*. Tehran: National Library and Archives of the Islamic Republic of Iran. [In Persian].
- [قهری، محمد. (۱۳۸۵). کتاب عوامل میکروبی آسیب‌رسان به مواد آرشیوی و کتابخانه‌ای. تهران: سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران.]
- Guimet, P., Borrego, S., Lavin, P., Perdomo, I. G. mez de Saravia, S(2011). Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archives of the Museum of La Plata, Argentina and at National Archives of the Republic of Cuba. *Colloids and Surface B: Biointerfaces*, 85(2), 229-234. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2011.02.031>
- Gupta, S. P., Srivastava, A. K., & Ahmed, I. (2021). Efficacy of natural plant product for preventive preservation of documentry heritage against *Aspergillus Flavus*: A case study. *International Journal of Conservation Science*, 12(2), 433-450. IS 2067-533x And Vi 12 And Ip 2 And Dt 2021
- Ha, N. T. N., Dao, N. L. A., & Truc, T. T. (2025). Assessing Red Onion (*Allium cepa* L.) Peel Extract as an Antioxidant and Antimicrobial Agent for Ice Storage of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fillets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2025(1), 6642585. <https://doi.org/10.1155/jfpp/6642585>
- Hadi, M., Sorkhi, R., Kashefi, B., Sobhanipur, A., & Shamsi, M. H. (2013). Investigation antifungal activity of some medicinal plant extracts on growth and spore germination of *Penicillium digitatum* Sacc. in vitro. *Med. East J. Sci. Res*, 17, 1701-1708. <https://doi:10.5829/idosi.mejsr.2013.17.12.1250>
- Hasanvand, H., Moshtaghi, H., Heshmati, A., Boniadian, M., & Abbasvali, M. (2016). Inhibitory Effect of *Echinophora platyloba* Essential Oil on *Aspergillus flavus* in Culture Media and Cheese. *Journal of Food Quality & Hazards Control*, 3(4). <http://jfqhc.ssu.ac.ir/article-1-286-en.html>
- Hitokoto, H., Morozumi, S., Wauke, T., Sakai, S., & Kurata, H. (1980). Inhibitory effects of spices on growth and toxin production of toxigenic fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 39(4), 818-822. <https://doi.org/10.1128/aem.39.4.818-822.1980>
- Joyroy, N., Ngiwsara, L., Wannachat, S., Mingma, R., Svasti, J., & Wongchawalit, J. (2025). Unveiling the potentials of *Lawsonia inermis* L.: its antioxidant, antimicrobial, and anticancer potentials. *PeerJ*, 13, e19170. <https://doi.org/10.7717/peerj.19170>
- Kharbade, B. (2010). *Research And Innovation In Conservation Of Manuscripts-An Interim Report*. Research Project of National Mission of Manuscripts NMM—Accessed on 2. <http://www.nrlc.gov.in/english/images/pdf/technical/T-report1.pdf>

- Khobani Rabani, M., Azadi, M., Zolfaghari, B., & Dehghan, P. (2016). Investigating the Antifungal Effect of Kabikaj (*Dracocephalum multicaule*) Extract for the Preservation of Historical Paper Artifacts. *Ganjineh Asnad*, 26(1), 104–123. <https://ensani.ir/fa/article/354322/> [In Persian].
- [خوبانی ربانی، مینا؛ آزادی، مهرناز؛ ذوالفقاری، بهزاد و دهقان، پروین. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر ضد قارچی عصاره گیاه کبیکج جهت حفاظت آثار کاغذی تاریخی. گنجینه اسناد، ۲۶ (۱)، ۱۰۴–۱۲۳.]
- Krid, S., Krayem, N., Frikha-Gargouri, O., Bacha, A. B., Alonazi, M., Horchani, H., & Triki, M. A. (2025). Evaluating the antifungal potential of six essential oils against fungi causing wilt and dieback on olive trees. *Cellular and Molecular Biology*, 71(4), 67–77. <https://doi.org/10.14715/cmb/2025.71.4.9>
- Lee, M. W. (2004). [Review of Fungal Facts: Solving Fungal Problems in Heritage Collections, by M.-L. E. Florian]. *Journal of the American Institute for Conservation*, 43(1), 114–116. <https://doi.org/10.2307/3179856>
- Madani F S, Hadian Dehkordi M. (2018). An Overview of the Application of Plasma Technology in the Protection of Cultural and Historical Objects. *JRA*. 4(1), 81–94. <https://doi:10.29252/jra.4.1.81> [In Persian].
- [مدنی، فرح سادات و هادیان دهکردی، منیژه. (۱۳۹۷). مروری بر کاربرد فناوری پلاسما در حفاظت آثار فرهنگی و تاریخی. پژوه باستان سنجی، ۴ (۱)، ۸۱–۹۴.]
- Mahboubi, M. and M. Feizabadi (2009). The Antimicrobial Activity of Thyme, Sweet Marjoram, Savory and Eucalyptus oils on *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus*. *Journal of Medicinal Plants* 8(30), 137–144. <http://jmp.ir/article-1-374-en.html>
- Mimarian, M., Malekzadeh, F., Razavi, M., & Dakhili, M. (2011). Evaluation of Antifungal of three medicinal plant *Thymus*, *Mentha*, *Satureja* on sporulation, germination inhibition of *Conidia* and hyphal growth of *Aspergillus Niger*. *Findings Science*, 7(3), 0–0. <https://sid.ir/paper/384567/en>
- Mohammadzadehbagherlou, P. (2018). *Comparison of antioxidant activity and chemical composition of essential oils in several species of the Lamiaceae family and evaluation of their antifungal activity against four plant pathogens*. Master's thesis, Urmia University. [In Persian].
- [محمدباقرلو، پریسا. (۱۳۹۷). مقایسه فعالیت پاداکسایشی و ترکیب شیمیایی اسانس در چند گونه از تیره نعنائیان و ارزیابی فعالیت ضد قارچی آن‌ها بر علیه چهار بیمارگر گیاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه ارومیه.]
- Mohammadi Achachlouei, M., & Koochakzayi, A. (2013). Identification of destructive fungi of documents and paper manuscripts in the archive of Malek National Library and Museum and their effects. *Ganjineh Asnad*, 23(4), 126–145. <https://ensani.ir/fa/article/324472> [In Persian].
- [محمدی اچاچلویی، محسن و کوچک‌زایی، علیرضا. (۱۳۹۲). شناسایی قارچ‌های مخرب اسناد و نسخ کاغذی آرشیو کتابخانه و موزه ملی ملک و تأثیرات ناشی از آن‌ها. گنجینه اسناد، ۲۳ (۴)، ۱۲۶–۱۴۵.]
- Mohseni, R., Noorbakhsh, F., Moazeni, M., Nasrollahi Omran, A., & Rezaie, S. (2014). Antitoxin characteristic of licorice extract: the inhibitory effect on aflatoxin production in a *spergillus parasiticus*. *Journal of food safety*, 34(2), 119–125. <https://doi.org/10.1111/jfs.12104>
- Mozhgani, S. (2023). *Feasibility study of plant application (myrtus and ruta) in preventive conservation of manuscripts*. Master's thesis, University of Art, Tehran. [In Persian].
- [مژگانی، سحر. (۱۴۰۱). امکان سنجی کاربرد عصاره گیاهان «مورده» و «سداب» در حفاظت پیشگیرانه نسخ خطی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر تهران.]
- Mulyaningsih, S., Sporer, F., Reichling, J., & Wink, M. (2011). Antimicrobial activity of essential oils from *Eucalyptus* species against multidrug-resistant bacteria and yeast. *Phytomedicine*, 18(5), 401–406. <https://doi.org/10.3109/13880209.2011.553625>
- Muzzalupo, I., Badolati, G., Chiappetta, A., Picci, N., & Muzzalupo, R. (2020). In vitro antifungal activity of olive (*Olea europaea*) leaf extracts loaded in chitosan nanoparticles. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, Article 151. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00151>
- Omidbeygi, M., Barzegar, M., Hamidi, Z., & Naghdibadi, H. (2007). Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillus flavus* in liquid medium and tomato paste. *Food control*, 18(12), 1518–1523. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.12.003>
- Onița, F. V., Suci, A. L., Florian, T., & Florian, V. C. (2025). Antifungal Effects of Essential Oils on Plant Pathogens. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, 82(1), 12–18. <https://doi:10.15835/buasvmcn-agr.2024.0017>
- Oyarzo, P. V., Gahona, M. N., Choappa, R. C., & Cogliati, M. (2024). Evaluation of garlic extracts antifungal potential against causative fungi of dermatomycosis in Chile. *ARS MEDICA Revista de Ciencias Médicas*, 49(3), 38–43. <https://doi.org/10.11565/arsmed.v49i3.2075>

- Pento, L., Bonifacio, M. A., De Giglio, E., Cometa, S., Logrieco, A. F., & Baruzzi, F. (2020). Unravelling the antifungal effect of red thyme oil (*Thymus vulgaris* L.) compounds in vapor phase. *Molecules*, 25(20), 4761. <https://doi.org/10.3390/molecules25204761>
- Qadir, S. A., Awlqadr, F. H., Qadir, M. H., Tobakari, S. R., Faraj, A. M., Hamarashid, S. H., ... & Saeed, M. N. (2025). Bioactivities, medicinal properties, and advanced extraction techniques of Tarragon (*Artemisia dracunculus*): a comprehensive review. *Journal of Herbal Medicine*, 50, 100989. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2024.100989>
- Qaraati, F. (2022). *Investigation of the antifungal effect of Angozeh plant extract to protect historical paper works (Case study on paper works of Malek National Museum)*. Master's thesis, University of Art, Tehran. [In Persian].
- [قراآتی، فاطمه. (۱۳۹۹). بررسی اثر ضد قارچی عصاره گیاه آنگوزه جهت حفاظت آثار کاغذی تاریخی (مطالعه موردی بر روی آثار کاغذی موزه ملی ملک). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر تهران.]
- Raeesnia, N., & Rouhi, S. (2011). *Atlas of Mycology: Fungi damaging archival and library resources*. Tehran: National Library and Archives of the Islamic Republic of Iran. [In Persian].
- [رئیس‌نیا، نگار و روحی، صدیقه. (۱۳۹۰). کتاب اطلس قارچ‌شناسی: قارچ‌های آسیب‌رسان به منابع آرشیوی و کتابخانه‌ای. تهران: انتشارات سازمان اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی.]
- Rasooli, I., Fakoor, M. H., Yadegarinia, D., Gachkar, L., Allameh, A., & Rezaei, M. B. (2008). Antimycotoxigenic characteristics of *Rosmarinus officinalis* and *Trachyspermum copticum* L. essential oils. *International journal of food microbiology*, 122(1-2), 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.048>
- Rasooli, I., Rezaei, M. B., & Allameh, A. (2006). Growth inhibition and morphological alterations of *Aspergillus niger* by essential oils from *Thymus eriocalyx* and *Thymus x-porlock*. *Food control*, 17(5), 359-364. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.12.002>
- Razzaghi-Abyaneh, M., Saberi, R., Sharifan, A., Rezaei, M. B., Seifili, R., Hosseini, S. I & Amani, A. (2013). Effects of *Heracleum persicum* ethyl acetate extract on the growth, hyphal ultrastructure and aflatoxin biosynthesis in *Aspergillus parasiticus*. *Mycotoxin research*, 29(4), 261-269. <https://doi.org/10.1007/s12550-013-0171-1>
- Roohi Dehbone, S. (2017). *The Study of Yellow Tonality Plant Colorants Used in Manuscripts Restoration According to Persian Historical Treatises*. Master's thesis, University of Tehran. [In Persian].
- [روحی‌دهبونه، صدیقه. (۱۳۹۶). بررسی خواص فام‌های زرد رنگینه‌های گیاهی در مرمت نسخ خطی براساس دستورالعمل‌های متون تاریخی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر تهران.]
- Sadeghinezhad, B., Shiravi, F., Ghanbari, S., Alinezhadi, M., & Zarin, M. (2010). Antifungal activity of *Satureja khuzestanica* (Jamzad) leaves extracts. *Jundishapur J Microbiol*. 3(1), 36-40. <https://sid.ir/paper/317109/en>
- Safaiefarahani, B., & Mostowfizadeh-Ghalemfarsa, R. (2019). Fungal plant disease management by natural essential oils. *University of Yasouj Plant Pathology Science*, 8(1), 24-37. <https://doi.org/10.2982/PPS.8.1.24>
- Sansone, F., Picerno, P., Mencherini, T., Porta, A., Lauro, M. R., Russo, P., & Aquino, R. P. (2014). Technological properties and enhancement of antifungal activity of a *Paeonia rockii* extract encapsulated in a chitosan-based matrix. *Journal of Food Engineering*, 120, 260-267. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.07.039>
- Satish, S., Mohana, D. C., Ranhavendra, M. P., & Raveesha, K. A. (2007). Antifungal activity of some plant extracts against important seed borne pathogens of *Aspergillus* sp. *Journal of Agricultural technology*, 3(1), 109-119.
- Sequeira, S., Cabrita, E. J., & Macedo, M. F. (2012). Antifungals on paper conservation: An overview. *International biodeterioration & biodegradation*, 74, 67-86. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.011>
- Shamsian, Aliakbar. Fatah, Abdolmajid. Mohajeri, Masood and Ghazvini, Kiarash. (2006). Fungal Contaminations in Historical Manuscripts at Astan Quds Museum Library, Mashhad, Iran. *International Journal of Agriculture & Biology*, 8(3), 420-422. <http://www.fsublishers.org>
- Soleimani, S. (2023). *Evaluation of effectiveness of chitosan Nanoparticles decorated with essential oil of Thyme for conservation of historical papers against Aspergillus niger fungi*. Master's thesis, University of Art, Tehran. [In Persian].
- [سلیمانی، سعیده. (۱۴۰۲). عملکرد نانوذرات کیتوان پوشش داده شده با اسانس گیاه آویشن برای حفاظت از آثار کاغذی در برابر قارچ اسپرژیلوس نیجر و قارچ پنی‌سیلیوم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر تهران.]
- Stupar, M., Grbić, M. L., Džamić, A., Unković, N., Ristić, M., Jelikić, A., & Vukojević, J. (2014). Antifungal activity of selected essential oils and biocide benzalkonium chloride against the fungi isolated from cultural heritage objects. *South African Journal of Botany*, 93, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.03.016>
- Taheri, R. (2011). *The effect of de-pest of plant extracts according to written sources from the sixth century to the present time on paper works*. Master's thesis, Islamic Azad University, Tehran. [In Persian].

[طاهری، راضیه. (۱۳۹۰). اثر آفت زدایی عصاره‌ی گیاهان با توجه به منبع مکتوب از قرن ششم تا زمان حال بر روی آثار کاغذی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد تهران. تهران: مرکز].

- Tajkarim, M.M., Ibrahim, S.A. and Cliver, D.O. (2010). Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food Control*, 21, 1199-1218. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.02.003>
- Tayeb, W., Edziri, H., Elmsehli, S., Horchani, M., Bechi, S., Chaieb, I., ... & de Oliveira, M. S. (2025). Chemical composition and ecological bioactivity of Citrus sinensis essential oil. *Biochemical Systematics and Ecology*, 123, 105079. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2025.105079>
- Tolouee, M., Alinezhad, S., Saberi, R., Eslamifar, A., Zad, S. J., Jaimand, K., ... & Razzaghi-Abyaneh, M. (2010). Effect of Matricaria chamomilla L. flower essential oil on the growth and ultrastructure of Aspergillus niger van Tieghem. *International journal of food microbiology*, 139(3), 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.03.032>
- Wink, M. (2010). *Functions and biotechnology of plant secondary metabolites. Second edition*. New Delhi, India. 400 pages.
- Xiang, C. P., Han, J. X., Li, X. C., Li, Y. H., Zhang, Y., Chen, L., ... & Xu, M. (2017). Chemical composition and acetylcholinesterase inhibitory activity of essential oils from Piper species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(18), 3702-3710. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01350>
- Yahyazadeh, M., Omidbaigi, R., Zare, R., & Taheri, H. (2008). Effect of some essential oils on mycelial growth of Penicillium digitatum Sacc. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(8), 1445-1450. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-007-9636-8>
- Zăhan, M., Crișan, I., Ștefan, R., Vârban, D., Gál, E., Vârban, R., ... & Olar, L. (2025). Recent insight in the phytochemistry and bioactivity of organic Melissa officinalis L. essential oil from Transylvania. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 53(1), 14326-14326. <https://doi.org/10.15835/nbha53114326>
- Zyska, B. (1997). Fungi isolated from library materials: a review of the literature. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40(1), 43-51. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(97\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)00061-9)

