نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران
دوره۷- شماره ۱- پیاپند ۱۲-بهار و تابستان ۱۴۰۳

تاثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر ترکیبات پلی فنولیک و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی

Impact of Different Drying Methods on Polyphenolic Compounds and Antioxidant Properties of Medicinal Plants

فاطمه سلیمی[1*]

۱. کارشناس بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران ، (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۴ - شناسانهٔ برنمود رقمی :10.22092/mpt.2025.370842.120

چکیده

سلیمی، ف.، . تاثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر ترکیبات پلی فنولیک و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی
نشریه علمی فناوری وگیاهان دارویی ایران، دوره ۷- شماره ۱- پیاپند ۱۲-بهار و تابستان ۱۴۰۳ صفحه: ۱۲۳-۱۰۵

پلی‌فنول‌ها به‌عنوان گروهی متنوع از متابولیت‌های ثانویه شامل فلاونوئیدها، اسیدهای فنولیک، آنتوسیانین‌ها و تانن‌ها، نقش اساسی در فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ارزش دارویی گیاهان دارند. این ترکیبات در اندام‌های مختلف گیاه از جمله میوه، برگ، دانه و ریشه تجمع می‌یابند و میزان آن‌ها به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی، مرحله فنولوژیکی و عملیات پس از برداشت قرار دارد. در این میان، فرآیند خشک‌کردن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های نگهداری گیاهان دارویی، نقشی تعیین‌کننده در حفظ یا تخریب ترکیبات فنولی ایفا می‌کند. انتخاب روش خشک‌کردن مناسب نه‌تنها در جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها مؤثر است، بلکه در حفظ ویژگی‌های فیزیکی، حسی و ترکیبات زیست‌فعال گیاه نیز اهمیت حیاتی دارد. هدف این مقاله، بررسی و معرفی کارآمدترین روش‌های خشک‌کردن گیاهان دارویی غنی از ترکیبات پلی‌فنولیک با فعالیت آنتی‌اکسیدانی است. براساس شواهد و مطالعات موجود، تحلیل منابع متعدد نشان داد که روش‌های خشک‌کردن طبیعی، شامل سایه و آفتاب، معمولاً موجب کاهش بیشتری در ترکیبات فنولیک گیاهان دارویی نسبت به روش‌های مصنوعی می‌شوند. در مقابل، روش‌های خشک‌کردن مصنوعی مانند خشک‌کردن انجمادی و مایکروویو بیشترین میزان حفظ ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را ارائه می‌کنند. اختلاف مقادیر گزارش شده بین مطالعات مختلف عمدتاً به تفاوت در نوع گیاه، دما، مدت زمان خشک‌کردن و روش‌های سنجش ترکیبات فنولیک بازمی‌گردد.

واژه های کلیدی: پلی فنول‌ها، ترکیبات طبیعی، آنتی‌اکسیدان، روش‌های خشک‌کردن

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: f.salimi@areeo.ac.ir

مقدمه

گیاهان دارویی منابع غنی از ترکیبات زیست‌فعال هستند که نقش مهمی در تغذیه و حفظ سلامت جسمی و روانی انسان ایفا می‌کنند. از جمله این ترکیبات، ترکیبات فنولیک به‌عنوان یکی از متنوع‌ترین و مهم‌ترین گروه‌های متابولیت‌های ثانویه گیاهی محسوب می‌شوند که نقش اساسی در مکانیسم‌های دفاعی گیاهان، حفاظت بافت‌ها در مقابل اثرات اکسیدکنندگی، رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر گونه‌های فعال و همچنین در ارتقای سلامت انسان ایفا می‌کنند. به‌طوری‌که از بروز بیماری‌های متعددی از جمله بیماری‌های التهابی، سرطان، دیابت، سکته قلبی، آلزایمر و پارکینسون جلوگیری می‌کنند (Sun *et al*., 2023). این ترکیبات غالباً به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی محلول در آب شناخته می‌شوند و به‌واسطه ساختار شیمیایی ویژه خود قادرند رادیکال‌های آزاد را خنثی کرده و از بروز فرآیندهای اکسیداتیو در سلول‌ها جلوگیری کنند. در نتیجه، آن‌ها دارای اثرات زیستی ارزشمندی از جمله فعالیت‌های ضدمیکروبی، ضدویروسی، ضدجهش‌زایی و ضدسرطانی هستند که اهمیت آن‌ها را در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دوچندان می‌سازد. از نظر بیوسنتزی، مسیر شیکیمات به‌عنوان یکی از مسیرهای اصلی تولید ترکیبات فنولیک مطرح است. این مسیر نه‌تنها پایه‌گذار سنتز بسیاری از ترکیبات معطر و فنولی در گیاهان است، بلکه نشان‌دهنده‌ی پیوند متابولیکی میان فرآیندهای اولیه (مانند سنتز اسیدهای آمینه آروماتیک) و مسیرهای ثانویه می‌باشد. این ارتباط بیانگر آن است که متابولیت‌های ثانویه، صرفاً فرآورده‌های فرعی متابولیسم نیستند، بلکه بخش جدایی‌ناپذیری از شبکه‌ی پیچیده بیوشیمیایی گیاه به‌شمار می‌روند و نقش حیاتی در پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی ایفا می‌کنند (Andi *et al*., 2018; Gholami, 2017). در سال‌های اخیر توجه بسیاری به مطالعه و استخراج ترکیبات فنولیک از گیاهان دارویی و خوراکی معطوف شده است. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که میزان و نوع این ترکیبات تحت تأثیر عواملی نظیر گونه گیاهی، شرایط محیطی، مرحله رشد و حتی روش‌های فرآوری و نگهداری قرار دارد. به‌ویژه فرآیندهایی همچون خشک‌کردن، انبارداری و استخراج می‌توانند در مقدار و کیفیت ترکیبات فنولیک تأثیر چشمگیری داشته باشند. ازاین‌رو، شناسایی و به‌کارگیری روش‌های مناسب برای حفظ بیشترین میزان این ترکیبات در محصولات گیاهی، به‌عنوان یک چالش اساسی مطرح شده است. ترکیبات فنولی گیاهی بر اساس تعداد واحدهای فنول موجود در مولکول به عنوان فنول‌های ساده یا پلی‌فنول طبقه‌بندی می‌شوند. بنابراین، فنول‌های گیاهی شامل فنول‌های ساده، کومارین‌ها، لیگنین‌ها، لیگنان‌ها، تانن‌های تغلیظ شده و قابل هیدرولیز، اسیدهای فنولی و فلاونوئیدها است (Soto-Vaca *et al*., 2012). فلاونوئیدها، از رایج‌ترین فنول‌ها هستند که به‌طور گسترده در بافت‌های گیاهی توزیع می‌شوند و اغلب در کنار کاروتنوئیدها و

اسطوخدوس　　چای قرمز　　اویشن

شکل ۱. گل گیاهان داروئی، بخش غنی از آنتوسیانین ها

کلروفیل‌ها به دلیل رنگ‌های آبی، بنفش، زرد، نارنجی و قرمز مسئول هستند. خانواده فلاونوئیدها شامل فلاون‌ها، فلاونول‌ها، ایزو فلاونول‌ها، آنتوسیانین‌ها، آنتوسیانیدین‌ها، پروآنتوسیانیدین‌ها و کاتچین‌ها است (Ferreira & Pinho, 2012). همه فلاونوئیدها از اسیدهای آمینه معطر، فنیل‌الانین و تیروزین مشتق شده‌اند و دارای ساختارهای سه حلقه‌ای هستند (Routray & Orsat, 2012). تنوع در ساختار فلاونوئید ناشی از مقیاس و الگوی هیدروکسیلاسیون، پرینیلاسیون، قلیایی شدن و واکنش‌های گلیکوزیلاسیون است که مولکول اصلی را تغییر می‌دهد (Stalikas, 2007). اسیدهای فنولیک یکی دیگر از کلاس‌های اصلی فنولی در قلمرو گیاهان هستند و به صورت استرها، گلیکوزیدها یا آمیدها وجود دارند، اما به ندرت به شکل آزاد هستند. تنوع در اسیدهای فنولیک در تعداد و محل گروه‌های هیدروکسیل بر روی حلقه آروماتیک است (Pereira *et al*., 2009). اسیدهای فنولیک دارای دو ساختار والد هستند: هیدروکسی سینامیک و هیدروکسی بنزوئیک اسید. مشتقات هیدروکسی سینامیک اسید شامل اسیدهای فرولیک، کافئیک، p -کوماریک و سیناپیک است، در حالی‌که مشتقات اسید هیدروکسی بنزوئیک از اسیدهای گالیک، وانیلیک، سیرینجیک و پروتوکاتچوئیک تشکیل شده است. یکی دیگر از کلاس‌های اصلی ترکیبات فنولی، فنول‌های دیواره سلولی است. آن‌ها نامحلول هستند و در مجتمع‌هایی با انواع دیگر اجزای سلولی یافت می‌شوند. دو گروه اصلی فنول‌های دیواره سلولی لیگنین‌ها و اسیدهای هیدروکسی سینامیک هستند (Vanholme *et al*., 2010).

در شکل ۱، نمونه‌هایی از گیاهان دارویی حاوی آنتوسیانین نمایش داده شده است.

فرآیند پس از برداشت، به‌ویژه خشک‌کردن، نقش کلیدی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری گیاهان دارویی دارد. این روش، با کاهش رطوبت، از فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی کاسته و شرایط نگهداری و تجارت جهانی را بهبود می‌بخشد. حفظ ویژگی‌هایی همچون رنگ، عطر، طعم و ترکیبات مؤثره از مهم‌ترین چالش‌های این فرآیند به شمار می‌رود. انتخاب شیوه مناسب خشک‌کردن بسته به نوع اندام گیاهی، میزان رطوبت و

هدف نهایی متفاوت است (Ghahfarokhi *et al*., 2020). خشک‌کردن، فرآیندهای آنزیمی را در گیاهان تازه کاهش می‌دهد و از بروز تغییرات قابل‌توجه در ترکیبات زیست‌فعال موجود در بافت‌ها جلوگیری می‌کند. این اثر به‌ویژه در حفظ ترکیبات فنولیک، اسید آسکوربیک و رنگدانه‌های مسئول سبزینگی سبزیجات و همچنین کاروتنوئیدهای موجود در میوه‌ها اهمیت دارد (Nourzad *et al*., 2022).

سوء تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر ترکیب شیمیایی، ترکیبات زیست‌فعال، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت کلی گیاهان دارویی، می‌توانند پتانسیل درمانی گیاهان را کاهش داده و در نتیجه اثربخشی آن‌ها در کاربردهای غذایی و درمان‌های سلامت انسانی را محدود کنند. با این حال، برخی از روش‌های خشک‌کردن نشان داده‌اند که بهتر می‌توانند این خصوصیات عملکردی را حفظ کنند (Nakra *et al*., 2025). انتخاب روش مناسب خشک‌کردن گیاهان دارویی باید بر اساس نوع مواد مؤثره (مانند آلکالوئیدها، اسانس‌ها، فلاونوئیدها و سایر متابولیت‌ها) و همچنین اندام گیاهی مورد استفاده صورت گیرد (Hassanzadeh *et al*., 2017). کمیت و کیفیت ترکیبات فعال موجود در گیاهان به نوع روش خشک‌کردن و نیز دمای اعمال‌شده طی این فرآیند وابسته است (Mohammadi Nia Samakoush *et al*., 2022). در این میان، دما و مدت‌زمان خشک‌کردن از عوامل کلیدی به شمار می‌آیند که تحت تأثیر میزان رطوبت اولیه اندام گیاهی و مقدار ماده مؤثره قرار دارند. هدف اصلی عملیات خشک‌کردن آن است که با حداقل کاهش، کیفیت گیاهان دارویی از نظر میزان مواد مؤثره، رنگ، عطر و طعم حفظ گردد (Parsafa *et al*., 2022).

روش‌های معمول خشک‌کردن گیاهان به دو شکل است. ۱- روش طبیعی (خشک‌کردن در هوای آزاد): این عمل ممکن است در نور خورشید و یا در سایه انجام شود و به نوع گیاه و قسمت‌های مختلف گیاه بستگی دارد. مثلا در گیاهان دارویی، گل‌ها و برگ‌های معطر را باید در سایه خشک نمود در صورتی که پوست و چوب و سرشاخه‌ها را می‌توان در آفتاب نیز خشک کرد. بطورکلی هنگامی می‌توان از نور خورشید استفاده نمود که نور خورشید مواد مؤثره، رنگ و بوی مطبوع گیاه را از بین نبرد.

۲- روش مصنوعی (خشک‌کردن با استفاده از دستگاه‌های خشک کننده): چنانچه درجه حرارت و تهویه به خوبی کنترل شود این روش خوب و قابل قبول خواهد بود. این روش نسبت به روش خشک کردن در هوای آزاد دارای مزایایی می‌باشد. در این روش فعالیت آنزیم‌ها به سرعت متوقف می‌شود و باعث جلوگیری از فساد و تجزیه مواد مؤثره گیاه می‌شود (Hossein Zadeh *et al*., 2025). از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد. خشک‌کردن در آون (این روش برای خشک‌کردن، استریل کردن و گرم کردن مواد با اعمال دمای بالا استفاده می‌شود). خشک‌کردن انجمادی (در این روش از خشک‌کردن در دمای ۲۰ – تا ۸۰- درجه

سانتی‌گراد و فشار پایین) استفاده می‌شود. این روش جز روش‌های گران است. خشک‌کردن در ماکرو ویو، در این روش خشک‌کردن از اعمال امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود که دارای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است. نوسان باعث برخورد بین مولکول‌ها و گرم شدن سریع نمونه‌ها به‌طور همزمان می‌شود. زمان خشک شدن را کوتاه می‌کند (Bala *et al*., 2024).

فرآوری گیاهان دارویی شامل مراحل متعددی پس از برداشت می‌شود که در این میان، خشک‌کردن نقش مهمی در تضمین پایداری، ایمنی و اثربخشی درمانی محصول ایفا می‌کند. انتخاب روش خشک‌کردن به طور قابل توجهی بر حفظ ترکیبات زیست فعال، کیفیت کلی و ماندگاری مواد گیاهی تأثیر می‌گذارد. تکنیک‌های سنتی خشک‌کردن مانند خشک‌کردن در آفتاب و سایه به دلیل سادگی و هزینه کم هنوز به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما اغلب منجر به کیفیت متغیر محصول می‌شوند. در مقابل، فناوری‌های مدرن خشک‌کردن، از جمله خشک‌کردن انجمادی، خشک‌کردن مایکروویو، خشک‌کردن مادون قرمز و سیستم‌های ترکیبی، کنترل بیشتری بر پارامترهای خشک‌کردن، بهبود حفظ مواد شیمیایی گیاهی و استانداردسازی بهتر ارائه می‌دهند (Manoj *et al*., 2025). این تحقیق، مروری جامع بر برخی روش‌های خشک‌کردن مرسوم و پیشرفته مورد استفاده در فرآوری گیاهان دارویی ارائه می‌دهد. همچنین، این مقاله اثرات خشک‌کردن بر ترکیبات پلی فنولیک و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاهی را برجسته می‌کند.

خشک‌کردن طبیعی

(آفتاب یا سایه) (آزمایشات موردی روی برخی گیاهان خانواده چتریان (کرفس، گشنیز، شوید و جعفری)، جمعیت‌های کرفس، شاه اشرفی، برخی گیاهان خانواده نعناعیان (*Mentha piperita*، *Mentha spicata*، *Thymus vulgaris* و *Anethum*)، کپر، انجیرهندی، پاولونیا و ختمی سیاه)

در دسته اول از تحقیقات، خشک‌کردن در آفتاب یا سایه به‌عنوان بهترین روش در حفظ ترکیبات فنولی و فعایت آنتی‌اکسیدانی معرفی شد. در ادامه، تعدادی از این مطالعات، بیان می‌شود. اثر روش‌های مختلف خشک‌کردن (هوای آزاد، آون و مایکروویو) بر محتوای فنول‌ها، کاروتنوئیدها، کلروفیل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی قسمت‌های خوراکی چهار سبزی از خانواده آپیاسه (کرفس، گشنیز، شوید و جعفری) بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر پارامترها در نمونه‌های تازه و پس از آن به ترتیب در خشک‌کردن هوای آزاد، آون و مایکروویو مشاهده شد. بنابراین، طبق نتایج این تحقیق، برای حفظ اجزای زیست فعال، خشک‌کردن در دمای اتاق مؤثرترین روش است (Kamel *et al*., 2013). خشک‌کردن بخش‌های هوایی ۱۲ جمعیت کرفس در شرایط سایه، موجب حفظ ترکیبات فعال زیستی و تداوم خواص آنتی‌اکسیدانی آن‌ها شد (Salimi *et al*., 2018). در تحقیقی، تأثیر سه روش خشک‌کردن (هوا، آون و انجمادی) بر فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد و محتوای

فنولی گیاه شاه اشرفی (*Cosmos caudatus*) و تغییرات آن‌ها طی انبارداری بررسی گردید. نتایج نشان داد خشک‌کردن با هوا بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (IC_{50} = 0.0223 mg/mL) و بیشترین محتوای فنولی (۲۷/۴ گرم/۱۰۰ گرم گالیک اسید) را ارائه می‌دهد، در حالی‌که خشک‌کردن با آون کمترین مقادیر را داشت. همچنین، نمونه‌های خشک شده پس از سه ماه پایداری بیشتری نسبت به نمونه تازه نشان دادند. این یافته‌ها اهمیت انتخاب روش مناسب خشک‌کردن برای حفظ خواص زیست فعال و ارزش غذایی گیاهان دارویی را برجسته می‌سازد (Mediani *et al*., 2014). در تحقیقی دیگر، اثر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای کل فنول‌های برخی گیاهان با کاربرد دارویی و خوراکی بررسی شد. روش‌های خشک‌کردن شامل آفتاب، سایه، آون و مایکروویو بود که استخراج متانولی ترکیبات برگ‌های *Mentha piperita*، *Mentha spicata*، *Thymus vulgaris* و *Anethum graveolense* نشان داد خشک‌کردن در آفتاب و سایه باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای فنولی سه گیاه خانواده Lamiaceae شد، اما خشک‌کردن با آون و مایکروویو این مقادیر را کاهش داد. در نهایت، نتایج بیانگر این بود که هر گیاه به روش خشک‌کردن مختص به خود برای حفظ ترکیبات فعال نیاز دارد (Hajimehdipoor *et al*., 2012). کاکتوس یا انجیر هندی[1] *Opuntia ficus-indica* به دلیل خواص غذایی، دارویی و آنتی‌اکسیدانی بالا شناخته شده است، اما رطوبت زیاد آن باعث فساد سریع می‌شود و نیاز به خشک‌کردن دارد. بررسی روش‌های خشک‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، ترکیبات زیستی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به دو روش خشک‌کردن سایه‌ای و خشک‌کردن با آون همرفتی نشان داد که خشک‌کردن با آون همرفتی در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بیشترین میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را داشته است. خشک‌کردن در سایه و دمای ۴۰ درجه سبب حفظ بهتر فلاونوئیدها و تانن‌ها می‌شود (Belkhir *et al*., 2025).

یک مطالعه سیستماتیک بر برگ‌ها و گل‌های دو گونه پاولونیا (*Paulownia elongata* و *P. fortunei*) در دو مرحله رشد (قبل و بعد از گل‌دهی) اثر پنج روش خشک‌کردن (آون، آفتابی، سایه، انجمادی و مایکروویو) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را بررسی کرد. نتایج نشان داد که خشک‌کردن آفتابی بیشترین حفظ رنگ، رطوبت مطلوب و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی را فراهم می‌کند، در حالی‌که خشک‌کردن سایه رتبه دوم را دارد. ترکیبات فنولی نمونه‌های قبل از گل‌دهی غنی‌تر از نمونه‌های بعد از گل‌دهی

۱. جنس کاکتوس (*Opuntia*) با حدود ۲۵۰ گونه، از خانواده کاکتوس‌ها (*Cactaceae*) به شمار می‌رود. کاکتوس‌ها بومی قاره آمریکا هستند، اما از میان آن‌ها، گونه *Opuntia ficus-indica Mill.* که در ایران به «کاکتوس» یا «انجیر هندی» معروف است، در برخی مناطق جنوبی کشور و همچنین سواحل دریای مازندران به‌صورت پراکنده رشد می‌کند. بخش‌های هوایی این گیاه، شامل میوه، ساقه و گل، کاربرد دارویی دارند. مطالعات فارماکولوژیک نشان داده‌اند که گونه‌های مختلف این جنس دارای اثرات متعددی از جمله کاهش قند، کلسترول و تری‌گلیسرید خون، خاصیت ضدپلاکتی، التیام زخم معده و فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند(Kianbakht, 2007).

بودند. یافته‌ها اهمیت انتخاب روش مناسب خشک‌کردن برای حفظ خواص بیولوژیکی و افزایش ماندگاری چای دارویی پاولونیا را تأیید می‌کنند (Shahin *et al.*, 2025). یک مطالعه جامع اثر روش‌های خشک‌کردن (سایه، آفتابی، آون در ۴۰ و ۶۰°C، و مایکروویو در توان‌های ۵۴۰–۹۰۰ وات) بر ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، موسیلاژ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گل‌های ختمی سیاه *Alcea ojlrosea* var. nigra را بررسی کرد. نتایج نشان داد خشک‌کردن در سایه بالاترین مقادیر فنول کل ۱۷۱/۷۵ (میلی‌گرم معادل اسید گالیک به ازای هر گرم وزن خشک در گل‌ها)، فلاونوئیدها (۶۸/۹۷ میلی‌گرم معادل روتین به ازای هر گرم وزن خشک در گل‌ها) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۵۹/۶۱ میکرومول آهن دوظرفیتی به ازای هر گرم وزن خشک در گل‌ها) را حفظ کرده است. با این حال، این روش طولانی‌ترین زمان خشک‌کردن را نیاز داشت (تا حدود ۸۹ ساعت برای ریشه‌ها). خشک‌کردن آون در ۴۰°C تعادل مناسبی بین زمان و حفظ ترکیبات ایجاد کرد، در حالی‌که مایکروویو ۵۴۰ وات سریع‌ترین خشک‌کردن را داشت ولی توان بالاتر موجب کاهش موسیلاژ شد. مطالعه‌ای، اهمیت بهینه‌سازی روش خشک‌کردن برای حفظ خواص بیولوژیک و کیفیت محصول نهایی را تأکید کرد و سایه و آون با دمای پایین را به عنوان روش‌های بهینه پیشنهاد می‌کند (Ghorbani *et al.*, 2025).

خشک‌کردن مصنوعی

۱–خشک‌کردن انجمادی (آزمایشات موردی روی نعناع، شب‌رنگی‌افشان، نائین‌آوندی، انجدان‌رومی، زنجبیل، موسیر و گزنه)

مطابق با نتایج برخی تحقیقات، روش خشک‌کردن انجمادی در حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی بهتر از سایر روش‌ها معرفی شد. مطالعات مروری نشان دادند که روش‌های نوین خشک‌کردن مانند خشک‌کردن انجمادی، تأثیر مثبتی بر حفظ ترکیبات ثانویه فعال دارند و سرعت و شرایط خشک‌کردن فرآیند، نقش مهمی در حفظ ترکیبات موثر دارند(Setareh & Mohammadi Ghermezgoli, 2020). مقایسه روش‌ها نشان داد خشک‌کردن انجمادی بیشترین ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را حفظ کرده و کیفیت محصول نهایی و پایداری مواد فعال زیستی را افزایش می‌دهد (Skendi *et al.*, 2023). این روش از تخریب ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولی جلوگیری کرده و کیفیت و ماندگاری عصاره‌های گیاهی را بهبود می‌بخشد (Eapen *et al.*, 2025). بررسی اثر روش‌های خشک‌کردن روی نعناع نشان داد بیشترین محتوای ترکیبات فنولی و قدرت آنتی‌اکسیدانتی مربوط به خشک‌کردن انجمادی است و روش‌های دیگر باعث کاهش حدود ۶۰ درصدی این ترکیبات می‌شوند که این امر، به حساسیت فنول‌ها به گرما نسبت داده شد (Orphanides *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای، برگ‌های تازه گیاه شب‌رنگی‌افشان *Boerhavia diffusa* از خانواده (Nyctaginaceae) و گیاه نائین‌آوندی *Andrographis paniculata* L. پس از برداشت

با چهار روش مختلف خشک شده و از نظر حجم فله، رنگ، محتوای ویتامینC ، محتوای فنولی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی(DPPH) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که خشک‌کردن انجمادی بهترین عملکرد را در حفظ ترکیبات فعال و کیفیت برگ‌ها داشت. این روش بالاترین میزان ویتامینC، محتوای فنول‌کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را حفظ کرد. در حالی‌که سایر روش‌ها شامل خشک‌کردن در خلا، فر هوای گرم و خشک شدن در آفتاب به ترتیب عملکرد کمتری داشتند و خشک‌کردن در آفتاب کمترین حفظ ترکیبات فعال را به‌همراه داشت. علاوه‌براین، پودرهای حاصل از خشک‌کردن انجمادی روشن‌ترین رنگ و کمترین چگالی را داشتند که نشان‌دهنده حفظ بهتر ویژگی‌های فیزیکی محصول است. بنابراین، در این تحقیق، خشک‌کردن انجمادی، بهترین روش محسوب شد. هرچند این تکنیک زمان‌بر و هزینه‌بر است (Puranik *et al*., 2012). در تحقیقی دیگر، اثر خشک‌کردن انجمادی بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های ترب‌کوهی (*Armoracia rusticana* L.) و برگ‌ها و ساقه‌های انجدان‌رومی (*Levisticum officinale* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها به صورت تازه، منجمد (°C ۲۰-) و خشک‌شده (°C ۲۴) آزمایش شدند. نتایج نشان داد که فرآیند انجماد باعث افزایش محتوای ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اغلب نمونه‌ها شد، به ویژه در ساقه‌های انجدان‌رومی که افزایش حدود ۲۰٪ مشاهده شد. در مقابل، خشک‌کردن سنتی معمولاً باعث کاهش ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. ترکیبات فنولی غالب در برگ‌های انجدان‌رومی اسیدکافئیک و در برگ‌های ترب‌کوهی اسیدکلروژنیک بود و فلاونوئید غالب روتین شناسایی شد. تنها اسیدسیناپیک در ساقه‌های انجدان رومی در نمونه‌های خشک شده افزایش نشان داد. براساس محتوای کل ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها، روش انجمادی، بهترین گزینه برای حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی این گیاهان است، در حالی‌که روش خشک‌کردن سنتی باعث کاهش قابل توجه این ترکیبات و کیفیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Tomsone & Kruma, 2014). مطالعات نشان داده‌اند که خشک‌کردن انجمادی بیشترین میزان حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را در برگ‌های گیاهان دارویی نسبت به روش‌های حرارتی معمول دارد. در بررسی برگ زنجبیل، خشک‌کردن انجمادی بیشترین حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را ارائه داد، در حالی که خشک‌کن حرارتی باعث کاهش قابل توجه ترکیبات فعال و قدرت آنتی‌اکسیدانی شد (Chan *et al*., 2009). مطالعه‌ای دیگر بر روی موسیر نشان داد که خشک‌کردن به روش انجمادی بیشترین میزان ترکیبات فنولکل و فلاونوئیدها و بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را حفظ می‌کند. در این مطالعه، خشک‌کردن در سایه بیشترین مقدار آلیسین را حفظ نمود و خشک‌کردن انجمادی کمترین تغییر رنگ و قهوه‌ای‌شدگی را به همراه داشت Poorgharib). (*et al*., 2023) همچنین، بررسی برگ‌های گزنه

نشان داد که خشک‌کردن انجمادی موجب حفظ بهتر ویتامینC ، β- کاروتن و ترکیبات فنولی می‌شود، در حالی‌که خشک‌کردن در آون باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل و میزان فنول‌ها می‌گردد. برگ‌های گزنه به دلیل دارا بودن پروتئین، مواد معدنی مانند آهن، منیزیم، کلسیم و ویتامین‌های A وC ، می‌توانند به عنوان مکمل غذایی مؤثر مورد استفاده قرار گیرند. خشک‌کردن انجمادی و آون هر دو مزایای خاصی برای حفظ کیفیت تغذیه‌ای برگ‌ها دارند و انتخاب روش مناسب باید بر اساس هدف مصرف و محدودیت‌های اقتصادی انجام شود (Shonte *et al*., 2020).

۲-خشک‌کردن با آون (آزمایشات موردی روی برخی گیاهان خانواده چتریان (کرفس و جعفری)، بابونه، سداب و مطالعه مروری بر روش‌های نوین خشک‌کردن)

در دسته‌ای از تحقیقات، خشک‌کردن با آون بهترین روش معرفی شد. دریک مقاله مروری جامع روش‌های مختلف خشک‌کردن گیاهان دارویی تحلیل شد و تأکید ویژه‌ای بر خشک‌کردن با آون (oven drying) به عنوان یکی از پرکاربردترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها گردید. روش آون به دلیل اعمال دمای کنترل‌شده برای خشک‌کردن، استریل‌کردن و حفظ کیفیت مواد گیاهی استفاده می‌شود. همچنین مقاله به تأثیر دما و زمان خشک‌کردن در آون بر حفظ ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مواد اشاره کرده است و نشان می‌دهد که انتخاب صحیح پارامترهای خشک‌کردن می‌تواند به بهبود حفظ ارزش‌غذایی و دارویی گیاهان کمک کند (Benjamin *et al*., 2022). خشک‌کردن با آون در دمای°C ۴۰ یکی از بهترین روش‌ها برای حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی است. مطالعه‌ای بر برگ‌های شوید، جعفری، گشنیز، نعناع فلفلی و کرفس نشان داد که خشک شدن معمولی باعث کاهش ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود، اما خشک‌کردن با آون برای کرفس و جعفری، عملکرد بهتری داشت. نتایج تأکید می‌کند که انتخاب روش خشک‌کردن بر کیفیت ترکیبات فعال گیاهان دارویی تأثیر مستقیم دارد (Moussa *et al*., 2011). گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) به دلیل خواص درمانی متعدد اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعه‌ای اثر سه روش خشک‌کردن بابونه را بررسی کرد: آون همرفتی (°C ۴۵)، انجمادی (°C ۵۰-) و اسپری (°C ۱۴۰). نتایج نشان داد که خشک‌کردن با اسپری در دمای بالا کمترین بازده و بالاترین رطوبت و فعالیت آبی را داشت که منجر به تغییر رنگ و تجمع ذرات شد. خشک‌کردن انجمادی، رطوبت و فعالیت آبی بالایی داشت که می‌تواند رشد میکروبی را افزایش دهد. بهترین روش از نظر حفظ کیفیت، بازده، رنگ، کلروفیل، مواد مغذی و ترکیبات فنولی، خشک‌کردن با آون همرفتی بود (Lee *et al*., 2022). مرور بر روش‌های نوین خشک‌کردن نشان می‌دهد که روش خشک‌کردن با آون در دماهای پایین به حفظ ترکیبات زیست‌فعال گیاهان دارویی کمک می‌کند و مزایای اقتصادی دارد (Eapen *et al*., 2025). این مطالعه نشان داد

خشک‌کردن با آون در دمای ملایم ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های گیاه را به خوبی حفظ می‌کند و خشک‌کردن سطوح بالاتر دمایی تخریب ترکیبات را افزایش می‌دهد. خشک‌کردن با آون، ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های گیاه سداب را به خوبی حفظ می‌کند و خشک‌کردن سطوح بالاتر دمایی تخریب ترکیبات را افزایش می‌دهد. خشک‌کردن آفتابی کمترین کیفیت را داشت (Mabasso *et al*., 2024).

۳-خشک‌کردن با مایکروویو (آزمایشات موردی روی گشنیز، برخی گیاهان خانواده نعناعیان (بادرنجبویه، نعناع‌فلفلی، آویشن و نعنا) و درختچه بومی استرالیا)

در دسته دیگر از تحقیقات، خشک‌کردن با استفاده از مایکروویو به‌عنوان بهترین روش در حفظ ترکیبات فنولی و فعایت آنتی‌اکسیدانی معرفی شد. در این دسته از تحقیقات، خشک‌کردن با مایکروویو به عنوان روشی مؤثر در حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی معرفی شده است. بررسی اثر خشک‌کردن با آون و مایکروویو بر برگ گشنیز (*Coriandrum sativum*) نشان داد که مایکروویو سرعت خشک‌کردن بالاتری دارد و میزان کل ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (آزمون‌های ABTS و DPPH) را بیشتر حفظ می‌کند. بنابراین، خشک‌کردن مایکروویو با توان بالا و زمان کوتاه، نسبت به خشک‌کردن سنتی یا آون، روش مؤثرتری برای حفظ خواص زیست‌فعال گیاهان دارویی است (Hihat *et al*., 2017). پژوهشی، اثر خشک‌کردن سنتی، مایکروویو و انجمادی را بر ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مهارکنندگی آنزیم‌های آلفاآمیلاز و آلفا-گلوکوزیداز در گیاهانی نظیر بادرنجبویه، نعناع فلفلی، آویشن و نعنا بررسی کرد. نتایج نشان داد که خشک‌کردن مایکروویو و انجمادی بیشترین حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت‌های بیولوژیکی را فراهم آوردند، در حالی‌که خشک‌کردن سنتی باعث کاهش قابل توجه این ترکیبات گردید. این یافته‌ها اهمیت انتخاب روش خشک‌کردن در حفظ اثرات درمانی گیاهان دارویی را تبیین می‌کند (Jimenez-Garcia *et al*., 2020).

در بررسی خشک‌کردن برگ آویشن، سه روش طبیعی، هوای داغ ۵۰°C و مایکروویو (۲۰۰-۱۰۰۰ وات) مقایسه شد. خشک‌کردن مایکروویو ۶۰۰ وات بهترین تعادل بین زمان، حفظ رنگ، کلروفیل، ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها و عناصر مغذی را فراهم کرد و به عنوان روش مؤثر برای حفظ کیفیت بیوشیمیایی و فیزیکی گیاه پیشنهاد شد (Yilmaz *et al*., 2021). در تحقیقی دیگر، تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن (سایه، آفتاب، آون در°C ۴۵-۷۰، مایکروویو با توان ۳۰۰-۹۰۰ وات و خشک‌کردن انجمادی) بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های کپر (*Capparis spinosa* L.) بررسی شد. بهترین حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در خشک‌کردن مایکروویو (به‌ویژه ۶۰۰ وات) و آون °C ۷۰ مشاهده شد، در حالی‌که خشک‌کردن انجمادی برای نگهداری برخی

جدول ۱. تحلیلی حفظ ترکیبات فنولیک براساس روش‌های خشک‌کردن

گروه اصلی	روش / زیرگروه	درصد حفظ فنولیک (میانگین تقریبی)	حالت کیفی	محدوده تغییرات	نویسندگان و سال
طبیعی	سایه	55–60٪	متوسط	50–65٪	Hajimehdipoor 2012, Kamel *et al*., 2013, Salimi *et al*., 2018, Mediani *et al*., 2014, Belkhir Belkhir *et al*., 2025, Ghorbani *et al.,* 2025
	آفتاب	55–65٪	متوسط	50–70٪	Hajimehdipoor 2012, Shahin *et al.,* 2025
مصنوعی	آون (Oven)	65–75٪	متوسط	60–80٪	Mabasso 2024, Babaei Rad 2025, Benjamin *et al*., 2022, Moussa *et al*., 2011, Lee *et al*., 2022, Eapen *et al*., 2025, Mabasso *et al*., 2024
	مایکروویو (Microwave)	70–85٪	بالا	65–90٪	Hihat 2017, Babaei Rad 2025, Benjamin 2022, Jimenez-Garcia 2020, Yilmaz *et al*., 2021, Nguyen *et al*., 2018
	خشک کردن انجمادی (Freeze drying)	>85٪	بالا	80–95٪	Setareh & Mohammadi Ghermezgoli 2020, Chan 2009 Jimenez-Garcia 2020, Skendi *et al*., 2023, Eapen *et al*., 2025, Orphanides *et al*., 2013, Puranik *et al*., 2012, Tomsone & Kruma, 2014, 2014, Poorgharib *et al*., 2023, Shonte *et al*., 2020
	مروری	75–90٪	بالا	70–95٪	Hossein Zadeh 2025

اسیدهای فنولی مانند رزمارینیک و گالیک مؤثر بود. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب روش و دمای خشک‌کردن نقش مهمی در حفظ ترکیبات فعال گیاه داشته و اهمیت بالایی برای صنعت دارویی دارد (Babaei Rad *et al*., 2025). درختچه مقاوم بومی استرالیا *Scaevola spinescens*، با کاربردهای دارویی درمانی در سطح سنتی است. این مطالعه تأثیر شرایط مختلف خشک‌کردن را بر بازده ترکیبات زیست‌فعال مانند ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، ساپونین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بررسی کرده است. خشک‌کردن با مایکروویو در توان ۲۴۰ وات بیشترین مقدار ترکیبات فنولی‌کل (۴۵/۸۲ میلی‌گرم بر گرم) را حفظ کرد، در حالی‌که نمونه‌های خشک‌شده با هوای داغ در ۱۱۰ درجه وآون خلا در ۹۰ درجه، بیشترین مقدار ساپونین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارا بودند. همچنین، خشک‌کردن با مایکروویو ۲۴۰ وات نسبت به سایر روش‌ها با مصرف انرژی بهینه‌تر بوده و تا ۴۷۰۰ برابر نسبت به خشک‌کردن انجمادی و ۶۶ برابر نسبت به خشک‌کردن هوای داغ و خلا کاراتر است

.از نظر علمی، استفاده از مایکروویو به عنوان روش خشک‌کردن سریع و کارآمد، حفظ بهتر ترکیبات زیست‌فعال و کاهش مصرف انرژی را فراهم می‌کند. از لحاظ کاربردی، این روش می‌تواند گزینه‌ای موثر و اقتصادی برای تولید محصولات دارویی و آرایشی با کیفیت بالا و حفظ خواص بیولوژیکی گیاهان دارویی بومی باشد که به بهبود فرآوری و توسعه فناوری‌های نوین در صنایع گیاهان دارویی کمک می‌کند (Nguyen *et al*., 2018).

با توجه به اهمیت حفظ ترکیبات فنولیک و خواص آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی در فرآیند پس‌ازبرداشت، انتخاب روش خشک‌کردن مناسب نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت نهایی مواد مؤثره دارد؛ در جدول ۱. تأثیر روش‌های خشک‌کردن طبیعی و مصنوعی بر حفظ ترکیبات فنولیک بر اساس تحلیل مقالات متعددی ازمنابع تحقیقی- تجربی و مروری ارائه شده است.

۱. روش‌های طبیعی (سایه و آفتاب) معمولاً کاهش بیشتری در ترکیبات فنولیک نسبت به روش‌های مصنوعی دارند.

۲. خشک‌کردن انجمادی و مایکروویو بیشترین حفظ ترکیبات فنولیک را نشان می‌دهند.

۳. اختلاف مقادیر بین مقالات مختلف ممکن است ناشی از نوع گیاه، دما، زمان خشک‌کردن و روش سنجش باشد.

نتیجه‌گیری کلی

شاید یکی از متداول‌ترین روش‌های حفظ گیاهان دارویی، آب‌زدایی یا خشک‌کردن است. انتخاب مناسب روش خشک‌کردن اهمیت بالایی دارد، زیرا قرار گرفتن گیاهان در دماهای بسیار بالا می‌تواند باعث کاهش ویژگی‌های دارویی، ادویه‌ای، ظاهری و خواص غذا-دارو شده و ارزش تولیدی محصول را کاهش دهد. به ویژه گیاهانی که حاوی ترکیبات فنولیک هستند، نیازمند دقت و رعایت نکات خاص در فرایند خشک‌کردن هستند تا از کاهش کیفیت و فعالیت بیولوژیک این ترکیبات جلوگیری شود.

بر اساس بررسی‌های متعدد و شواهد علمی، خشک‌کردن انجمادی بهترین روش برای حفظ ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی محسوب می‌شود، زیرا این روش با حفظ ساختار شیمیایی ترکیبات زیست فعال و کاهش تخریب ناشی از حرارت، کیفیت بالاتری در محصول نهایی ایجاد می‌کند، هرچند زمان‌بر و هزینه‌بر است. در شرایطی که محدودیت زمان و بودجه وجود دارد، خشک‌کردن با آون در دمای کنترل شده (حدود ۴۰ °C+) به عنوان روش اقتصادی و مؤثر برای حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی توصیه می‌شود. روش‌های خشک‌کردن در آفتاب یا سایه، برای گیاهانی که ترکیبات حساس کمتری دارند و حفظ رنگ و برخی آنتی‌اکسیدان‌ها اولویت است، کاربردی و مقرون‌به‌صرفه می‌باشند. همچنین خشک‌کردن با مایکروویو، به ویژه با توان کنترل شده (مثلاً ۶۰۰ وات)، سرعت بالایی در خشک‌کردن ارائه می‌دهد و ترکیبات زیست‌فعال را با کیفیت مناسب حفظ می‌کند

و مصرف انرژی کمتری نسبت به خشک‌کردن انجمادی دارد.

در نهایت، انتخاب روش خشک‌کردن، باید براساس نوع گیاه، ترکیبات هدف، کیفیت مطلوب محصول نهایی و ملاحظات اقتصادی انجام شود. برای بیشینه حفظ خواص بیولوژیک، خشک‌کردن انجمادی توصیه می‌شود و برای کاربردهای صنعتی با محدودیت بودجه، روش‌های آون و مایکروویو گزینه‌های مناسبی

هستند.

References:

Andi, S. A., Meskini, F., Kiani, M., and Razavi, S. A. 2018. Biosynthetic pathways of secondary metabolites in medicinal plants. 2nd International Conference on New Technologies in Science, Amol, Iran. Available at: https://civilica.com/doc/899689. (In Persian)

Babaei Rad, S., Mumivand, H., Mollaei, S., and Khadivi, A. 2025. Effect of drying methods on phenolic compounds and antioxidant activity of *Capparis spinosa* L. fruits. BMC Plant Biology, 25 (1): 133. https://doi: 10.1186/s12870-025-06110-y.

Bala, E., Dey, S., Patra, S., and Singha, S. 2024. Assessment of microwave drying for rapid and convenient analysis of medicinal plants for quality assurance. Phytochemical Analysis, 35 (4): 903–922. https://doi: 10.1002/pca.3336.

Belkhir, S., Abdessemed, D., and Refas, I. 2025. Impact of drying methods on physicochemical properties, bioactive content, and antioxidant activity of *Opuntia ficus-indica* fruits. Journal of Food Quality and Hazards Control, 12: 46–60. https://doi: 10.18502/jfqhc.12.1.18366.

Benjamin, M. A. Z., Ng, S. Y., Saikim, F. H., and Rusdi, N. A. 2022. The effects of drying techniques on phytochemical contents and biological activities on selected bamboo leaves. Molecules, 27 (19): 6458. https://doi: 10.3390/molecules27196458.

Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Wong, S. K., Lim, K. K., Tan, S. P., Lianto F. S., and Yong, M. Y. 2009. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. Food Chemistry, 113 (1): 166–172. https://doi: 10.1016/j.foodchem.2008.07.090.

Eapen, A. S., Bhosale, Y. K., and Roy, S. 2025. A review on novel techniques used for drying medicinal plants and its applications. International Journal of Biomaterials, 2025 (1): 4533070. https://doi: 10.1155/ijbm/4533070.

Ferreira, O., and Pinho, S. P. 2012. Solubility of flavonoids in pure solvents. Industrial and Engineering Chemistry Research, 51: 6586–6590. https://doi: 10.1021/ie300211e.

Ghahfarokhi, S. Z. A., Jafari Azan Akhari, S., and Ghahfarokhi, S. F. A. 2020. A review on the effects of factors and drying methods of medicinal plants in post-harvest processes on the quantity and quality of medicinal plants. Shabak, 6 (1): 131–144. Available at: https://sid.ir/paper/520213/fa. (In Persian)

Gholami, A. A. 2017. Production of secondary metabolites through genetic engineering and plant tissue culture. Journal of Biosafety, 10 (3): 17–36. https://doi: 20.1001.1.27170632.1396.10.3.4.7. (In Persian)

Ghorbani, A., Eghlima, G., Farzaneh, M., and Rezghiyan, A. 2025. Effect of drying methods on mucilage, anthocyanin content, and antioxidant activity of black hollyhock (*Alcea rosea* var. nigra). BMC Plant Biology, 25 (1): 478. https:/ doi: 10.1186/s12870-025-06524-8. (In Persian)

Hajimehdipoor, H., Adib, N., Khanavi, M., Mobli, M., Amin, G. R., and Hamzeloo Moghadam, M. 2012. Comparative study on the effect of different methods of drying on phenolics content and antioxidant activity of some edible plants. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 3 (10): 3712–3716. https://doi: 10.13040/IJPSR.0975-8232.3(10).3712-16.

Hassanzadeh, K., Hemmati, K., and Mehdi Pour., M. 2017. Effect of different drying methods (natural and oven) on drying time and some secondary metabolites of the medicinal plant *Melissa officinalis* L. Journal of Plant Production Research, 25 (1). https://doi: 10.22069/jopp.2017.11862.2086. (In Persian)

Hihat, S., Remini, H., and Madani, K. 2017. Effect of oven and microwave drying on phenolic compounds and antioxidant capacity of coriander leaves. International Food Research Journal, 24 (2). Available at: http://www.ifrj. upm.edu.my/24%20(02)%202017/(5).pdf.

Hossein Zadeh, N., Naghdi Badi, H., Kalateh Jari, S., Mehrafarin, A., and Saeidi Sar, S. 2025. Effect of drying methods on phytochemical compounds, color attributes, and antioxidant activity of *Ecballium elaterium* (L.) fruits. Journal of Medicinal Plants and By-products, https://doi: 10.22034/ jmpb.2025.369054.1938.

Jimenez-Garcia, S. N., Vazquez-Cruz, M. A., Ramirez-Gomez, X. S., Beltran-Campos, V., Contreras-Medina, L. M., Garcia-Trejo, J. F., and Feregrino-Perez, A. A. 2020. Changes in the content of phenolic compounds and biological activity in traditional Mexican herbal infusions with different drying methods. Molecules, 25 (7): 1601. https://doi: 10.3390/molecules25071601.

Kamel, S. M., Thabet, H. A., and Algadi, E. A. 2013. Influence of drying process on the functional properties of some plants. Chemistry and Materials Research, 3 (7): 1–8. Available at: https://www.iiste.org/Journals/index.php/CMR/article/view/6128.

Kianbakht, S. 2007. A review on the medicinal applications of cactus species (genus Opuntia). In: Proceedings of the 18th Congress of Physiology and Pharmacology of Iran. Available at: (https://sid.ir/paper/807576/fa). (In Persian)

Lee, S. Y., Ferdinand, V., and Siow, L. F. 2022. Effect of drying methods on yield, physicochemical properties, and total polyphenol content of chamomile extract powder. Frontiers in Pharmacology, 13: 1003209. https://doi: 10.3389/fphar.2022.1003209.

Mabasso, G. A., Cabral, J. C. O., Barbosa, K. F., Resende, O., de Oliveira, D. E. C., and de Almeida, A. B. 2024. Drying kinetics, thermodynamic properties and physicochemical characteristics of Rue leaves. Scientific Reports, 14 (1): 14526. https://doi: 10.1038/s41598-024-64418-5.

Manoj, M., Nayak, C. M., Hanumantharaju, K. N., Premananthan, P., and Shincy, A. 2025. A study on drying methods for medicinal plants. Journal of Advanced and Future Research, 3 (6), June 2025. Available at: JAAFR.ORG.

Mediani, A., Abas, F., Tan, C. P., and Khatib, A. 2014. Effects of different drying methods and storage time on free radical scavenging activity and total phenolic content of *Cosmos caudatus*. Antioxidants, 3 (2): 358–370. https://doi: 10.3390/antiox3020358.

Mohammadi Nia Samakoush, A., Moradi, H., Esmailzadeh, M., and Davatgar., F. 2022. Evaluation of antioxidant activity, phenol content and flavonoid extract of *Artemisia annua* L. under the influence of different drying methods.

Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 9 (4). Available at: https://civilica.com/doc/1411417. (In Persian)

Moussa, M. E., Youssef, S. M., and El-Waseif., K. H. M. 2011. Effect of drying process on phenolic compounds and total antioxidant activity of some medicinal and aromatic plants. Journal of Food and Dairy Sciences, 2 (7): 377–386. https://doi: 10.21608/jfds.2011.81962.

Nakra, S., Tripathy, S., and Srivastav, P. P. 2025. Drying as a preservation strategy for medicinal plants: Physicochemical and functional outcomes for food and human health. Phytomedicine Plus: 100762. https://doi: 10.1016/j.phyplu.2025.100762.

Nguyen, K. Q., Vuong, Q. V., Nguyen, M. H., and Roach., P. D. 2018. The effects of drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of the Australian maroon bush, *Scaevola spinescens*. Journal of Food Processing and Preservation, 42 (10). https://doi: 10.1111/jfpp.13711.

Nourzad, S., Naghdi Badi, H., Kalateh Jari, S., Mehrafarin, A., and Saeidi-Sar, S. 2022. Evaluation of the effects of different drying methods on some phytochemical traits of *Eryngium caeruleum* Trautv. Available at: https://civilica.com/doc/1828594. (In Persian)

Orphanides, A., Goulas, V., and Gekas, V. 2013. Effect of drying method on the phenolic content and antioxidant capacity of spearmint. Czech Journal of Food Sciences, 31 (5): 509. https://doi: 10.17221/526/2012-CJFS.

Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A., and Andrade, P. B. 2009. Phenolics: From chemistry to biology. Molecules, 14: 2202–2211. https://doi: 10.3390/molecules14062202.

Poorgharib, M., Zare Mehrjerdi, M. H., and Arabhosseini, A.2022. Effect of different drying methods on antioxidant and phytochemical yield of *Allium hirtifolium* Boiss. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 10 (4): 27–43. doi: 10.30495/ejmp.2022.1962364.1696. (In Persian)

Puranik, V., Chauhan, D. K., Mishra, V., and Rai, G. K. 2012. Effect of drying techniques on the physicochemical and bioactive components of selected medicinal herbs. Annals of Phytomedicine, 1: 23–29. Available at: http://

www.ukaazpublications.com/attached/publications/C-4%20Vinita%20Puranik.pdf.

Routray, W., and Orsat, V. 2012. Review: Microwave-assisted extraction of flavonoids. Food and Bioprocess Technology, 5: 409–424. https://doi: 10.1007/s11947-011-0573-z.

Salimi, F., Fattahi, M., and Hamzei, J. 2018. Optimization of aerial parts extract of *Apium graveolens* L. using response surface methodology: Phenolic compounds and antioxidant activity assisted by ultrasound. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 35(4), 644–664. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.124004.2431.

Setareh, R., and Mohammadi Ghermezgoli, K. 2020. A review of modern drying methods in the medicinal plant industry. 1st National Conference on Challenges in Completing the Value Chain of Medicinal and Aromatic Plants, Urmia, Iran. Available at: https://civilica.com/doc/1240322. (In Persian)

Shahin, L., Mahapatra, A. K., and Joshee, N. 2025. Effect of drying methods on the leaf and flower tissues of *Paulownia elongata* and *P. fortunei* and resultant antioxidant capacity. Antioxidants, 14 (3): 280. https://doi: 10.3390/antiox14030280.

Shonte, T. T., Duodu, K. G., and de Kock, H. L. 2020. Effect of drying methods on chemical composition and antioxidant activity of underutilized stinging nettle leaves. Heliyon, 6 (5): e03938. https://doi: 10.1016/j.heliyon. 2020. e03938.

Skendi, A., Bouloumpasi, E., Chatzopoulou, P., Biliaderis, C. G., and Irakli, M. 2023. Comparison of drying methods for the retention of phenolic antioxidants in post-distillation solid residues of aromatic plants. LWT, 189: 115463. https://doi: 10.1016/j.lwt.2023.115463.

Soto-Vaca, A., Losso, J. N., Xu, Z., and Finley, J. W. 2012. Review: Evolution of phenolic compounds from color and flavor problems to health benefits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. https://doi: 10.1021/jf300861c.

Stalikas, C. D. 2007. Review: Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. Journal of Separation Science, 30: 3268–3295.

https://doi: 10.1002/jssc.200700261.

Sun, W. and Shahrajabian, M.H., 2023. Therapeutic potential of phenolic compounds in medicinal plants—Natural health products for human health. Molecules, 28(4): 1845. https://doi: 10.3390/molecules28041845.

Tomsone, L., and Kruma, Z. 2014. Influence of freezing and drying on the phenol content and antioxidant activity of horseradish and lovage. Baltic Conference on Food Science and Technology "FOODBALT" Proceedings: 192–197. Available at: https://llufb.llu.lv/conference/foodbalt/2014/FoodBalt_Proceedings_2014-192-197.pdf.

Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J., and Boerjarr, W. 2010. Lignin biosynthesis and structure. Plant Physiology, 153: 895-905. https://doi: 10.1104/pp.110.155119.

Yilmaz, A., Alibas, I., and Asik, B. B. 2021. The effect of drying methods on the color, chlorophyll, total phenolic, flavonoids, and macro and micronutrients of thyme plant. Journal of Food Processing and Preservation, 45 (11): e15915. https:// doi: 10.1111/jfpp.15915.

Impact of Different Drying Methods on Polyphenolic Compounds and Antioxidant Properties of Medicinal Plants

Fatemeh Salimi[1*]

1. Expert of Natural Resources Research, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamadan, Iran . (Corresponding author)

Received: September 2025 Accepted: November 2025 - DOI: 10.22092/mpt.2025.370842.1201

Abstract

Salimi, F., Impact of Different Drying Methods on Polyphenolic Compounds and Antioxidant Properties of Medicinal Plants

Iranian Medicinal Plants and Technology, Vol 7, No. 1, 2024 16-17: 105-123(in Persian)

Abstract:

Polyphenols, a structurally diverse class of secondary metabolites including flavonoids, phenolic acids, anthocyanins, and tannins play a pivotal role in the antioxidant capacity and therapeutic potential of medicinal plants. These bioactive compounds are distributed across various plant organs, such as fruits, leaves, seeds, and roots, and their concentrations are strongly influenced by environmental factors, phenological stages, and post-harvest management practices. Among post-harvest treatments, the drying process represents one of the most critical procedures affecting the preservation or degradation of phenolic constituents. The selection of an appropriate drying technique is not only essential for inhibiting microbial proliferation but also for maintaining the physical integrity, sensory attributes, and bioactive profile of medicinal plants. This review aims to critically evaluate and highlight the most effective drying strategies for medicinal plants rich in polyphenolic compounds with pronounced antioxidant activity. Based on current evidence, an analysis of multiple studies indicates that natural drying methods,

Email address of the corresponding author: f.salimi@areeo.ac.ir

including shade and sun drying, generally result in a more pronounced decline in phenolic content compared to artificial drying approaches. Conversely, advanced artificial drying techniques, such as freeze-drying and microwave-assisted drying, have been shown to maximize the retention of phenolic compounds and antioxidant capacity. Reported variations across studies are predominantly attributed to differences in plant species, drying temperature, exposure duration, and analytical methodologies employed for phenolic quantification. Overall, the implementation of optimized drying protocols is crucial for enhancing the quality, efficacy, and commercial value of polyphenol-rich medicinal plant products.

Keywords: polyphenols, natural compounds, antioxidants, drying methods