

تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر ترکیبات پلی فنولیک و خواص آنتی اکسیدانی گیاهان دارویی

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

فاطمه سلیمی^{۱*}

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 - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/mpt.2025.370842.1201

چکیده

سلیمی، ف.، . تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر ترکیبات پلی فنولیک و خواص آنتی اکسیدانی گیاهان دارویی
نشریه علمی فناوری و گیاهان دارویی ایران، دوره ۷- شماره ۱- پیاوند ۱۲- بهار و تابستان ۱۴۰۳ صفحه: ۱۲۳-۱۰۵

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

واژه های کلیدی: پلی فنول‌ها، ترکیبات طبیعی، آنتی اکسیدان، روش‌های خشک کردن

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

مقدمه

گیاهان دارویی منابع غنی از ترکیبات زیست فعال هستند که نقش مهمی در تغذیه و حفظ سلامت جسمی و روانی انسان ایفا می کنند. از جمله این ترکیبات، ترکیبات فنولیک به عنوان یکی از متنوع ترین و مهم ترین گروه های متابولیت های ثانویه گیاهی محسوب می شوند که نقش اساسی در مکانیسم های دفاعی گیاهان، حفاظت بافت ها در مقابل اثرات اکسیدکنندگی، رادیکال های آزاد اکسیژن و سایر گونه های فعال و همچنین در ارتقای سلامت انسان ایفا می کنند. به طوری که از بروز بیماری های متعددی از جمله بیماری های التهابی، سرطان، دیابت، سکته قلبی، آلزایمر و پارکینسون جلوگیری می کنند (Sun et al., 2023). این ترکیبات غالباً به عنوان آنتی اکسیدان های غیرآنزیمی محلول در آب شناخته می شوند و به واسطه ساختار شیمیایی ویژه خود قادرند رادیکال های آزاد را خنثی کرده و از بروز فرآیندهای اکسیداتیو در سلول ها جلوگیری کنند. در نتیجه، آن ها دارای اثرات زیستی ارزشمندی از جمله فعالیت های ضد میکروبی، ضد ویروسی، ضد جهش زایی و ضد سرطانی هستند که اهمیت آن ها را در صنایع دارویی، غذایی و بهداشتی دوچندان می سازد. از نظر بیوسنتزی، مسیر شیکیمات به عنوان یکی از مسیرهای اصلی تولید ترکیبات فنولیک مطرح است. این مسیر نه تنها پایه گذار سنتز بسیاری از ترکیبات معطر و فنولی در گیاهان است، بلکه نشان دهنده پیوند متابولیکی میان فرآیندهای اولیه (مانند

سنتز اسیدهای آمینه آروماتیک) و مسیرهای ثانویه می باشد. این ارتباط بیانگر آن است که متابولیت های ثانویه، صرفاً فرآورده های فرعی متابولیسم نیستند، بلکه بخش جدایی ناپذیری از شبکه ی پیچیده بیوشیمیایی گیاه به شمار می روند و نقش حیاتی در پاسخ های گیاه به تنش های محیطی ایفا می کنند (Andi et al., 2018; Gholami, 2017). در سال های اخیر توجه بسیاری به مطالعه و استخراج ترکیبات فنولیک از گیاهان دارویی و خوراکی معطوف شده است. پژوهش ها نشان می دهند که میزان و نوع این ترکیبات تحت تأثیر عواملی نظیر گونه گیاهی، شرایط محیطی، مرحله رشد و حتی روش های فرآوری و نگهداری قرار دارد. به ویژه فرآیندهایی همچون خشک کردن، انبارداری و استخراج می توانند در مقدار و کیفیت ترکیبات فنولیک تأثیر چشمگیری داشته باشند. از این رو، شناسایی و به کارگیری روش های مناسب برای حفظ بیشترین میزان این ترکیبات در محصولات گیاهی، به عنوان یک چالش اساسی مطرح شده است. ترکیبات فنولی گیاهی بر اساس تعداد واحدهای فنول موجود در مولکول به عنوان فنول های ساده یا پلی فنول طبقه بندی می شوند. بنابراین، فنول های گیاهی شامل فنول های ساده، کومارین ها، لیگنین ها، لیگنان ها، تانن های تغلیظ شده و قابل هیدرولیز، اسیدهای فنولی و فلاونوئیدها است (Soto-Vaca et al., 2012). فلاونوئیدها، از رایج ترین فنول ها هستند که به طور گسترده در بافت های گیاهی توزیع می شوند و اغلب در کنار کاروتنوئیدها و



اسطوخدوس

چای قرمز

اویشن

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

شامل اسیدهای فرولیک، کافئیک، p-کوماریک و سیناپیک است، در حالی که 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 خشک کردن، 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 خشک کردن بسته به نوع اندام گیاهی، میزان رطوبت و

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

هدف نهایی متفاوت است (Ghahfarokhi *et al.*, 2020). خشک کردن، فرآیندهای آنزیمی را در گیاهان تازه کاهش می‌دهد و از بروز تغییرات قابل توجه در ترکیبات زیست فعال 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 خشک کردن بر ترکیب شیمیایی، ترکیبات زیست فعال، 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 خشک کردن نشان داده‌اند که بهتر می‌توانند این خصوصیات عملکردی را حفظ کنند (Nakra *et al.*, 2025).
انتخاب روش مناسب خشک کردن 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 خشک کردن و نیز دمای اعمال شده طی این فرآیند وابسته است (Mohammadi Nia Samakoush *et al.*, 2022).
در این میان، دما و مدت زمان خشک کردن از عوامل کلیدی به شمار می‌آیند که تحت تأثیر میزان رطوبت اولیه اندام گیاهی و مقدار ماده مؤثره قرار دارند. هدف اصلی عملیات

خشک کردن 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 خشک کردن گیاهان به دو شکل است. ۱- روش طبیعی (خشک کردن 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. مثلاً 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. بطور کلی هنگامی می‌توان از نور خورشید استفاده نمود که نور خورشید مواد مؤثره، رنگ و بوی مطبوع گیاه را از بین نبرد.

۲- روش مصنوعی (خشک کردن 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. خشک کردن در آون (این روش برای خشک کردن، استریل کردن و گرم کردن مواد با اعمال دمای بالا استفاده می‌شود). خشک کردن انجمادی (در این روش از خشک کردن در دمای ۲۰ - تا ۸۰- درجه

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 نعنائیان (*Mentha*, *Mentha piperita*، *Anethum* و *Thymus vulgaris spicata*)، کپر، انجیر هندی، 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 فعایت 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 فعایت مهار رادیکال‌های آزاد و محتوای

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 به‌طور 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 به‌طور 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

فنولی گیاه شاه اشرفی (*Cosmos caudatus*) و تغییرات آن‌ها طی انبارداری بررسی گردید. نتایج نشان داد خشک کردن با هوا بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی ($IC_{50} = 0.0223 \text{ mg/mL}$) و بیشترین محتوای فنولی ($27/4 \text{ گرم}/100$ گرم گالیک اسید) را ارائه می دهد، در حالی که خشک کردن با آون کمترین مقادیر را داشت. همچنین، نمونه های خشک شده پس از سه ماه پایداری بیشتری نسبت به نمونه تازه نشان دادند. این یافته ها اهمیت انتخاب روش مناسب خشک کردن برای حفظ خواص زیست فعال و ارزش غذایی گیاهان دارویی را برجسته می سازد (Mediani et al., 2014). در تحقیقی دیگر، اثر روش های مختلف خشک کردن بر ظرفیت آنتی اکسیدانی و محتوای کل فنول های برخی گیاهان با کاربرد دارویی و خوراکی بررسی شد. روش های خشک کردن شامل آفتاب، سایه، آون و مایکروویو بود که استخراج متانولی ترکیبات برگ های *Thymus*، *Mentha spicata*، *Mentha piperita* و *Anethum graveolense* نشان داد خشک کردن در آفتاب و سایه باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی و محتوای فنولی سه گیاه خانواده Lamiaceae شد، اما خشک کردن با آون و مایکروویو این مقادیر را کاهش داد. در نهایت، نتایج بیانگر این بود که هر گیاه به روش خشک کردن مختص به خود برای حفظ ترکیبات فعال نیاز دارد (Hajimehdipoor et al., 2012). کاکتوس یا انجیر هندی *Opuntia*

۱. جنس کاکتوس (*Opuntia*) با حدود ۲۵۰ گونه، از خانواده کاکتوس ها (*Cactaceae*) به شمار می رود. کاکتوس ها بومی قاره آمریکا هستند، اما از میان آن ها، گونه *Opuntia ficus-indica* Mill.

ficus-indica به دلیل خواص غذایی، دارویی و آنتی اکسیدانی بالا شناخته شده است، اما رطوبت زیاد آن باعث فساد سریع می شود و نیاز به خشک کردن دارد. بررسی روش های خشک کردن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، ترکیبات زیستی و فعالیت آنتی اکسیدانی به دو روش خشک کردن سایه ای و خشک کردن با آون همرفتی نشان داد که خشک کردن با آون همرفتی در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد بیشترین میزان ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی را داشته است. خشک کردن در سایه و دمای ۴۰ درجه سبب حفظ بهتر فلاونوئیدها و تانن ها می شود (Belkhir et al., 2025).

یک مطالعه سیستماتیک بر برگ ها و گل های دو گونه پاولونیا (*Paulownia elongata* و *P. fortunei*) در دو مرحله رشد (قبل و بعد از گل دهی) اثر پنج روش خشک کردن (آون، آفتابی، سایه، انجمادی و مایکروویو) بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و فعالیت آنتی اکسیدانی را بررسی کرد. نتایج نشان داد که خشک کردن آفتابی بیشترین حفظ رنگ، رطوبت مطلوب و ظرفیت آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی را فراهم می کند، در حالی که خشک کردن سایه رتبه دوم را دارد. ترکیبات فنولی نمونه های قبل از گل دهی غنی تر از نمونه های بعد از گل دهی

که در ایران به «کاکتوس» یا «انجیر هندی» معروف است، در برخی مناطق جنوبی کشور و همچنین سواحل دریای مازندران به صورت پراکنده رشد می کند. بخش های هوایی این گیاه، شامل میوه، ساقه و گل، کاربرد دارویی دارند. مطالعات فارماکولوژیک نشان داده اند که گونه های مختلف این جنس دارای اثرات متعددی از جمله کاهش قند، کلسترول و تری گلیسرید خون، خاصیت ضد پلاکتی، التیام زخم معده و فعالیت آنتی اکسیدانی هستند (Kianbakht, 2007).

بودند. یافته‌ها اهمیت انتخاب روش مناسب خشک کردن برای حفظ خواص بیولوژیکی و افزایش ماندگاری چای دارویی پاولونیا را تأیید می‌کنند (Shahin et al., 2025). یک مطالعه جامع اثر روش‌های خشک کردن (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 ojloosea* var. *nigra* را بررسی کرد. نتایج نشان داد خشک کردن در سایه بالاترین مقادیر فنول کل ۱۷۱/۷۵ (میلی گرم معادل اسید گالیک به ازای هر گرم وزن خشک در گل‌ها)، فلاونوئیدها ۶۸/۹۷ (میلی گرم 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 خشک کردن را نیاز داشت (تا حدود ۸۹ ساعت برای ریشه‌ها). خشک کردن آون در ۴۰°C تعادل مناسبی بین زمان و حفظ ترکیبات ایجاد کرد، در حالی که مایکروویو ۵۴۰ وات سریع‌ترین خشک کردن را داشت ولی توان بالاتر موجب کاهش موسیلاژ شد. مطالعه‌ای، اهمیت بهینه‌سازی روش خشک کردن 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).

خشک کردن مصنوعی

۱- خشک کردن انجمادی (آزمایشات موردی روی

نعناع، شبرنگی افشان، نائین آوندی، انجدان رومی، زنجبیل، موسیر و گزنه)

مطابق با نتایج برخی تحقیقات، روش خشک کردن انجمادی در حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان دارویی بهتر از سایر روش‌ها معرفی شد. مطالعات مروری نشان دادند که روش‌های نوین خشک کردن مانند خشک کردن انجمادی، تأثیر مثبتی بر حفظ ترکیبات ثانویه فعال دارند و سرعت و شرایط خشک کردن فرآیند، نقش مهمی در حفظ ترکیبات موثر دارند (Setareh & Mohammadi, 2020). مقایسه روش‌ها نشان داد خشک کردن 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 خشک کردن روی نعناع نشان داد بیشترین محتوای ترکیبات فنولی و قدرت آنتی‌اکسیدانی مربوط به خشک کردن 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 شبرنگی افشان *Boerhavia diffusa* از خانواده (Nyctaginaceae) و گیاه نائین آوندی *Andrographis paniculata* L. پس از برداشت با چهار روش مختلف

خشک شده و از نظر حجم، رنک، محتوای ویتامین C، محتوای فنولی کل و فعالیت آنتی اکسیدانی (DPPH) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که خشک کردن انجمادی بهترین عملکرد را در حفظ ترکیبات فعال و کیفیت برگ‌ها داشت. این روش بالاترین میزان ویتامین C، محتوای فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی را حفظ کرد. در حالی که سایر روش‌ها شامل خشک کردن در خلا، فر هوای گرم و خشک شدن در آفتاب به ترتیب عملکرد کمتری داشتند و خشک کردن در آفتاب کمترین حفظ ترکیبات فعال را به همراه داشت. علاوه بر این، پودرهای حاصل از خشک کردن انجمادی روشن‌ترین رنک و کمترین چگالی را داشتند که نشان‌دهنده حفظ بهتر ویژگی‌های فیزیکی محصول است. بنابراین، در این تحقیق، خشک کردن انجمادی، بهترین روش محسوب شد. هرچند این تکنیک زمان‌بر و هزینه‌بر است (Puranik et al., 2012). در تحقیقی دیگر، اثر خشک کردن انجمادی بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ‌های ترب کوهی (*Armoracia rusticana* L.) و برگ‌ها و ساقه‌های انجدان رومی (*Levisticum officinale* L.) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها به صورت تازه، منجمد (-20°C) و خشک شده (24°C) آزمایش شدند. نتایج نشان داد که فرآیند انجماد باعث افزایش محتوای ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی در اغلب نمونه‌ها شد، به ویژه در ساقه‌های انجدان رومی که افزایش حدود ۲۰٪ مشاهده شد. در مقابل، خشک کردن سنتی معمولاً باعث

کاهش ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی می‌گردد. ترکیبات فنولی غالب در برگ‌های انجدان رومی اسیدکافئیک و در برگ‌های ترب کوهی 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 آنتی اکسیدانی این گیاهان است، در حالی که روش خشک کردن سنتی باعث کاهش قابل توجه این ترکیبات و کیفیت آنتی اکسیدانی می‌شود (Tomsone & Kruma, 2014). مطالعات نشان داده‌اند که خشک کردن انجمادی بیشترین میزان حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی را در برگ‌های گیاهان دارویی نسبت به روش‌های حرارتی معمول دارد. در بررسی برگ زنجبیل، خشک کردن انجمادی بیشترین حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی را ارائه داد، در حالی که خشک کن حرارتی باعث کاهش قابل توجه ترکیبات فعال و قدرت آنتی اکسیدانی شد (Chan et al., 2009). مطالعه‌ای دیگر بر روی موسیر نشان داد که خشک کردن به روش انجمادی بیشترین میزان ترکیبات فنول کل و فلاونوئیدها و بالاترین فعالیت آنتی اکسیدانی را حفظ می‌کند. در این مطالعه، خشک کردن در سایه بیشترین مقدار آلپسین را حفظ نمود و خشک کردن انجمادی کمترین تغییر رنک و قهوه‌ای‌شدگی را به همراه داشت (Poorgharib et al., 2023). همچنین، بررسی برگ‌های گزنه

نشان داد که خشک کردن انجمادی موجب حفظ بهتر ویتامین C، β -کاروتن و ترکیبات فنولی می‌شود، در حالی که خشک کردن در آون باعث افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی کل و میزان فنول‌ها می‌گردد. برگ‌های گزنه به دلیل دارا بودن پروتئین، مواد معدنی مانند آهن، منیزیم، کلسیم و ویتامین‌های A و C، می‌توانند به عنوان مکمل غذایی مؤثر مورد استفاده قرار گیرند. خشک کردن 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- خشک کردن با آون (آزمایشات موردی روی برخی گیاهان خانواده چتریان (کرفس و جعفری)، بابونه، سداب و مطالعه مروری بر روش‌های نوین خشک کردن)

در دسته‌ای از تحقیقات، خشک کردن با آون بهترین روش معرفی شد. در یک مقاله مروری جامع روش‌های مختلف خشک کردن گیاهان دارویی تحلیل شد و تأکید ویژه‌ای بر خشک کردن با آون (oven drying) به عنوان یکی از پرکاربردترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها گردید. روش آون به دلیل اعمال دمای کنترل شده برای خشک کردن، استریل کردن و حفظ کیفیت مواد گیاهی استفاده می‌شود. همچنین مقاله به تأثیر دما و زمان خشک کردن در آون بر حفظ ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی اکسیدانی مواد اشاره کرده است و نشان می‌دهد که انتخاب صحیح پارامترهای خشک کردن می‌تواند به بهبود حفظ ارزش غذایی و دارویی

گیاهان کمک کند (Benjamin et al., 2022). خشک کردن با آون در دمای 40°C یکی از بهترین روش‌ها برای حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی 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 آنتی اکسیدانی می‌شود، اما خشک کردن با آون برای کرفس و جعفری، عملکرد بهتری داشت. نتایج تأکید می‌کند که انتخاب روش خشک کردن 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 خشک کردن بابونه را بررسی کرد: آون همرفتی (45°C)، انجمادی (-50°C) و اسپری (140°C). نتایج نشان داد که خشک کردن با اسپری در دمای بالا کمترین بازده و بالاترین رطوبت و فعالیت آبی را داشت که منجر به تغییر رنگ و تجمع ذرات شد. خشک کردن 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، خشک کردن با آون همرفتی بود (Lee et al., 2022). مرور بر روش‌های نوین خشک کردن نشان می‌دهد که روش خشک کردن با آون در دماهای پایین به حفظ ترکیبات زیست فعال گیاهان دارویی کمک می‌کند و مزایای اقتصادی دارد (Eapen et al., 2025). این مطالعه نشان

داد خشک کردن با آون در دمای ملایم ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ های گیاه را به خوبی حفظ می کند و خشک کردن سطوح بالاتر دمایی تخریب ترکیبات را افزایش می دهد. خشک کردن با آون، ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی برگ های گیاه سداب را به خوبی حفظ می کند و خشک کردن سطوح بالاتر دمایی تخریب ترکیبات را افزایش می دهد. خشک کردن آفتابی کمترین کیفیت را داشت (Mabasso et al., 2024).

۳- خشک کردن با میکروویو (آزمایشات موردی روی گشنیز، برخی گیاهان خانواده نعنائیان (بادرنجبویه، نعناع فلفلی، آویشن و نعنا) و درختچه بومی استرالیا)

در دسته دیگر از تحقیقات، خشک کردن با استفاده از میکروویو به عنوان بهترین روش در حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی معرفی شد. در این دسته از تحقیقات، خشک کردن با میکروویو به عنوان روشی مؤثر در حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی معرفی شده است. بررسی اثر خشک کردن با آون و میکروویو بر برگ گشنیز (*Coriandrum sativum*) نشان داد که میکروویو سرعت خشک کردن بالاتری دارد و میزان کل ترکیبات فنولی و فلاونوئیدها و فعالیت آنتی اکسیدانی (آزمون های ABTS و DPPH) را بیشتر حفظ می کند. بنابراین، خشک کردن میکروویو با توان بالا و زمان کوتاه، نسبت به خشک کردن سنتی یا آون، روش مؤثرتری برای حفظ خواص زیست فعال گیاهان دارویی است (Hihat et

2017, al.). پژوهشی، اثر خشک کردن سنتی، میکروویو و انجمادی را بر ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی اکسیدانی و مهارکنندگی آنزیم های آلفا آمیلاز و آلفا-گلوکوزیداز در گیاهانی نظیر بادرنجبویه، نعناع فلفلی، آویشن و نعنا بررسی کرد. نتایج نشان داد که خشک کردن میکروویو و انجمادی بیشترین حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت های بیولوژیکی را فراهم آوردند، در حالی که خشک کردن سنتی باعث کاهش قابل توجه این ترکیبات گردید. این یافته ها اهمیت انتخاب روش خشک کردن در حفظ اثرات درمانی گیاهان دارویی را تبیین می کند (Jimenez-Garcia et al., 2020).

در بررسی خشک کردن برگ آویشن، سه روش طبیعی، هوای داغ 50°C و میکروویو (۲۰۰-۱۰۰۰ وات) مقایسه شد. خشک کردن میکروویو 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 روش های مختلف خشک کردن (سایه، آفتاب، آون در $45-70^{\circ}\text{C}$ ، میکروویو با توان ۳۰۰-۹۰۰ وات و خشک کردن انجمادی) بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی میوه های کپر (*Capparis spinosa* L.) بررسی شد. بهترین حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی در خشک کردن میکروویو (به ویژه ۶۰۰ وات) و آون 70°C مشاهده شد، در حالی که خشک کردن 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 <i>et al.</i> , 2013, Salimi <i>et al.</i> , 2018, Mediani <i>et al.</i> , 2014, Belkhir Belkhir <i>et al.</i> , 2025, Ghorbani <i>et al.</i> , 2025
	آفتاب	55-65%	متوسط	50-70%	Hajimehdipoor 2012, Shahn <i>et al.</i> , 2025
مصنوعی	آون (Oven)	65-75%	متوسط	60-80%	Mabasso 2024, Babaei Rad 2025, Benjamin <i>et al.</i> , 2022, Moussa <i>et al.</i> , 2011, Lee <i>et al.</i> , 2022, Eapen <i>et al.</i> , 2025, Mabasso <i>et al.</i> , 2024
	مایکروویو (Microwave)	70-85%	بالا	65-90%	Hihat 2017, Babaei Rad 2025, Benjamin 2022, Jimenez-Garcia 2020, Yilmaz <i>et al.</i> , 2021, Nguyen <i>et al.</i> , 2018
	خشک کردن انجمادی (Freeze drying)	>85%	بالا	80-95%	Setareh & Mohammadi Ghermezgoli 2020, Chan 2009 Jimenez-Garcia 2020, Skendi <i>et al.</i> , 2023, Eapen <i>et al.</i> , 2025, Orphanides <i>et al.</i> , 2013, Puranik <i>et al.</i> , 2012, Tomsone & Kruma, 2014, 2014, Poorgharib <i>et al.</i> , 2023, Shonte <i>et al.</i> , 2020
	مروری	75-90%	بالا	70-95%	Hossein Zadeh 2025

کرده است. خشک‌کردن با مایکروویو در توان ۲۴۰ وات بیشترین مقدار ترکیبات فنولی کل (۴۵/۸۲ میلی‌گرم بر گرم) را حفظ کرد، در حالی که نمونه‌های خشک‌شده با هوای داغ در ۱۱۰ درجه و آون 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

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

از نظر علمی، استفاده از مایکروویو به عنوان روش خشک کردن سریع و کارآمد، حفظ بهتر ترکیبات زیست فعال و کاهش مصرف انرژی را فراهم می کند. از لحاظ کاربردی، این روش می تواند گزینه ای موثر و اقتصادی برای تولید محصولات دارویی و آرایشی با کیفیت بالا و حفظ خواص بیولوژیکی گیاهان دارویی بومی باشد که به بهبود فراوری و توسعه فناوری های نوین در صنایع گیاهان دارویی کمک می کند (Nguyen et al., 2018).

با توجه به اهمیت حفظ ترکیبات فنولیک و خواص آنتی اکسیدانی گیاهان دارویی در فرآیند پس از برداشت، انتخاب روش خشک کردن مناسب نقش تعیین کننده ای در کیفیت نهایی مواد مؤثره دارد؛ در جدول ۱. تأثیر روش های خشک کردن طبیعی و مصنوعی بر حفظ ترکیبات فنولیک بر اساس تحلیل مقالات متعددی از منابع تحقیقی - تجربی و مروری ارائه شده است.

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

۲. خشک کردن انجمادی و مایکروویو بیشترین حفظ ترکیبات فنولیک را نشان می دهند.

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

نتیجه گیری کلی

شاید یکی از متداول ترین روش های حفظ گیاهان دارویی، آب زدایی یا خشک کردن است.

انتخاب مناسب روش خشک کردن اهمیت بالایی دارد، زیرا قرار گرفتن گیاهان در دماهای بسیار بالا می تواند باعث کاهش ویژگی های دارویی، ادویه ای، 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 خشک کردن هستند تا از کاهش کیفیت و فعالیت بیولوژیک این ترکیبات جلوگیری شود.

بر اساس بررسی های متعدد و شواهد علمی، خشک کردن انجمادی بهترین روش برای حفظ ترکیبات فنولی، فلاونوئیدها، کاروتنوئیدها و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاهان دارویی محسوب می شود، زیرا این روش با حفظ ساختار شیمیایی ترکیبات زیست فعال و کاهش تخریب ناشی از حرارت، کیفیت بالاتری در محصول نهایی ایجاد می کند، هرچند زمان بر و هزینه بر است. در شرایطی که محدودیت زمان و بودجه وجود دارد، خشک کردن با آون در دمای کنترل شده (حدود 40°C) به عنوان روش اقتصادی و موثر برای حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی اکسیدانی توصیه می شود. روش های خشک کردن در آفتاب یا سایه، برای گیاهانی که ترکیبات حساس کمتری دارند و حفظ رنگ و برخی آنتی اکسیدان ها اولویت است، کاربردی و مقرون به صرفه می باشند. همچنین خشک کردن با مایکروویو، به ویژه با توان کنترل شده (مثلاً ۶۰۰ وات)، سرعت بالایی در خشک کردن ارائه می دهد و ترکیبات زیست فعال را با کیفیت مناسب حفظ می کند

و مصرف انرژی کمتری نسبت به خشک کردن
انجمادی دارد.

در نهایت، انتخاب روش خشک کردن،
باید براساس نوع گیاه، ترکیبات هدف، کیفیت
مطلوب محصول نهایی و ملاحظات اقتصادی
انجام شود. برای بیشینه حفظ خواص بیولوژیک،
خشک کردن انجمادی توصیه می شود و برای
کاربردهای صنعتی با محدودیت بودجه،
روش های آون و مایکروویو گزینه های 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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/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.org/10.1001.1.27170632.1396.10.3.4.7>. (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.org/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.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.3\(10\).3712-16](https://doi.org/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.org/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](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.org/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%20>

Puranik.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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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