مروری بر بکارگیری فناوری مایکروویو در خشک‌کردن فرآورده‌های کشاورزی و پروتئینی

سودابه فتاحی [۱]، فاروق شریفیان [۲،*]

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم،دانشگاه ارومیه (fattahi.soodabeh@gmail.com)
۲. استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم،دانشگاه ارومیه (f.sharifian@urmia.ac.ir)

چکیده

امروزه با بالا رفتن سطح استانداردهای زندگی و افزایش آگاهی مردم، بکارگیری روش‌های نوین نگهداری موادغذایی به منظورحفظ کیفیت و ارزش‌های غذایی آن برای سلامت عمومی افراد در سراسر جهان ضروری است. خشک کردن بعنوان یکی از روش‌های اساسی در نگهداری موادغذایی بشمار می‌رود. روش‌های سنتی خشک‌کردن بدلیل زمانبر بودن، بازده کم انرژی،کاهش قابل توجه کیفیت محصول به سبب از بین رفتن عناصر ریز مغذی و تخریب رنگ و در نتیجه افزایش ضایعات محصول، چندان کارآمد نیست. این بررسی با معرفی فناوری نوین مایکروویو به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کنترل خودکار فرآیند، کاهش زمان خشک کردن، افزایش راندمان انرژی و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی تا حدودی معایب روش‌های سنتی را رفع نماید. لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات خشک‌کردن به روش مایکروویو بر روی تغییرات پارامترهای مختلف محصولات کشاورزی و پروتئینی انجام گرفته است.

کلمات کلیدی:
خشک کردن، مایکروویو، محصولات کشاورزی، مواد پروتئینی

***نویسنده مسئول: فاروق شریفیان، استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم،دانشگاه ارومیه (f.sharifian@urmia.ac.ir)**

مروری بر بکارگیری فناوری مایکروویو در خشک‌کردن فرآورده‌های کشاورزی و پروتئینی

مقدمه

میوه‌ها، سبزیجات و گیاهان نقش بسیار مهمی در تأمین موادمغذی مورد نیاز برای سلامت افراد جامعه دارند[۱۷]. فرآورده‌های گوشتی نیز اساسا حاوی عناصر معدنی آهن، روی، فسفر و منیزیم به همراه ویتامین B_6، B_{12}، B_1 و ویتامین A هستند. این ترکیبات غنی موجود درگوشت موجب می‌شود که محصولات گوشتی به عنوان مهمترین مواد مغذی شناخته شوند. گوشت‌ها ارزش بیولوژیکی بالایی داشته و منبع با کیفیتی برای تامین پروتئین هستند. از این رو مصرف فرآورده های گوشتی فواید بسیاری برای سلامتی به همراه دارد. از طرف دیگر، گوشت‌ها بدلیل فعالیت آبی زیاد جزء محصولات فسادپذیر هستند. بنابراین افزایش ماندگاری یک محصول گوشتی بسیار حائز اهمیت است[۵۲]. لازم به ذکر است که سالانه به میزان ۱/۳ میلیارد تن موادغذایی به سبب عدم فرآوری و نگهداری مناسب از بین می‌رود[۲٤]. رطوبت بالای مواد غذایی خام موجب فسادپذیری بالای آن می‌شود. خشک‌کردن با کاهش سطح رطوبت منجر به کاهش فساد فیزیکی، بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی محصولات‌غذایی می‌شود و شرایط نگهداری ایمن و طولانی مدت آن را فراهم می‌نماید، خشک کردن همچنین موجب کاهش قابل توجهی در وزن و حجم، به حداقل رساندن اندازه بسته‌بندی، هزینه‌های نگهداری و حمل و نقل می‌شود [۷۰]. خشک‌کردن گوشت به دلیل تمامی اثرات مثبتی که دارد و از دوران باستان تاکنون گسترش یافته است[۵۲]. همینطور خشک‌کردن جزء مهمترین فرآیندهای مربوط به نگهداری سبزیجات و گیاهان دارویی است که ایمنی میکروبی آن‌ها را فراهم نموده و روشی سودمند در سراسر جهان بشمار می‌رود[۲۱] و [۵۷]. خشک کردن علاوه بر رطوبت داخل محصول، ممکن است بر ویژگی‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی محصولات غذایی شامل گرانروی، سختی، فساد میکروبی، عطر، فعالیت آنزیمی عطر، طعم و دلپذیر بودن تأثیر بگذارد [۳۹]. عملیات خشک کردن نامناسب ممکن است اثرات نامطلوبی را بر روی خصوصیات مذکور داشته و همچنین ممکن است کیفیت اندازه‌گیری شده محصول به روش ارزیابی حسی را تحت تأثیر قرار دهد[۳]. به منظور تولید یک محصول با کیفیت بالا و صرفه جو یی در مصرف انرژی، بررسی سینیتیک خشک کردن از طریق فاکتورهای درجه حرارت و زمان خشک کردن ضروری است [٥٦]. خشک کردن در آفتاب و آون بعنوان ساده‌ترین روش‌های فرآوری مواد خام اولیه بوده که تولیدکنندگان اغلب در شرایط بهداشتی نامناسب استفاده می‌کنند[١٦]. خشک کردن با جریان هوای گرم از پرکاربردترین روش‌های خشک‌کردن موادغذایی و محصولات کشاورزی است [١٥]. خشک کردن به روش طبیعی و هوای گرم در عین سادگی و اقتصادی بودن، زمانبر است ، همچنین بدلیل تخریب رنگ و از بین رفتن مواد مغذی کیفیت محصول بسیار کاهش می‌یابد[٣٦]. فرآیند خشک‌کردن با وجود ساده بودن، نیازمند کنترل دقیق و بررسی شرایط محصول در طی فرآیند دارد و بکارگیری روش‌های نامناسب علاوه بر افت شدید کیفیت محصول نهایی، ضررهای مالی برای تولیدکننده را بدنبال خواهد داشت. از این رو اخیراً نیاز و تقاضای مصرف‌کنندگان منجر به انجام مطالعات فراوانی در زمینه طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های خشک‌کن در صنایع فرآوری موادغذایی شده است[۲]. نوع و شرایط خشک‌کردن بر پارامترهای کیفی محصول مانند رنگ، چروکیدگی، ظرفیت‌بازجذبی،بافت و ویتامین‌ها، میزان انرژی مصرفی و راندمان خشک‌کن تأثیردارد [٦]. در سال‌های اخیر کشورهای مدرن با هدف افزایش راندمان بهره‌وری انرژی و کاهش زمان مصرفی و افزایش کیفیت محصول، فناوری‌های پیشرفته‌تری از جمله فناوری‌های مایکروویو و مادون قرمز را به منظور خشک‌کردن محصولات کشاورزی بکار می‌برند[۷]،[۵۵] و [٦٣]. حرارت‌دهی سریع و مؤثر فناوری‌های مادون قرمز و مایکروویو نسبت‌به جریان هوای گرم مورد توجه محققان و فرآوران صنعت غذا، قرار

گرفته است. گرمایش مایکروویو نسبت به گرمایش مادون قرمز یکنواخت‌تر و سریع‌تر بوده و عمق نفوذ بیشتری به درون موادغذایی دارد [۲۷].

از این رو در این مطالعه تاثیر خشک‌کردن با فناوری مایکروویو بر روی ویژگی‌های گوناگون محصولات کشاورزی و مواد پروتئینی بررسی شده است و هدف آن برجسته‌کردن مزایای بالقوه این روش در زمینه خشک‌کردن است.

امواج مایکروویو

امواج مایکروویو همانند نور مرئی از جنس امواج الکترومغناطیسی بوده، فرکانس این امواج بسیار بالا و طول موجشان بسیار کوتاه است [٦١]. فرکانس تابش الکترومغناطیسی امواج مایکروویو در محدوده ۳۰۰ مگاهرتز - ۳۰۰ گیگاهرتز و طول موج ۱ میلی‌متر - ۱ متر قرار دارد. انرژی امواج الکترومغناطیسی از طریق فضاها با استفاده از میدان های الکتریکی و مغناطیسی متغیر در زمان انتشار می‌یابد[۱۹]. دستگاه های مایکروویو خانگی عموماً با فرکانس ۲/٤٥ گیگا هرتز کار می کنند، در حالی که سیستم‌های مایکروویو صنعتی در فرکانس‌های ۹۱۵ مگاهرتز و ۲/٤٥ گیگا هرتز کار می کنند[۱۳].

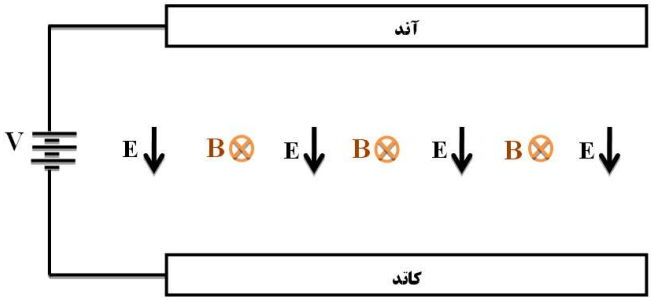
امواج مایکروویو در مسیر حرکت، جذب محصولات کشاورزی و موادغذایی که حاوی آب هستند، می‌شوند[٦١]. نفوذ امواج مایکروویو به داخل ماده توسط پدیده گرمایش حجمی انجام می گیرد[٦٥]. دو مکانیسم اصلی گرمایش مایکروویو موادغذایی، مکانیسم‌های دو قطبی و یونی هستند. وجود رطوبت یا آب بدلیل خاصیت دو قطبی بودن آب و تشکیل میدان الکتریکی در حال نوسان روی مولکول های آب منجر به گرمایش دی‌الکتریک می‌شود[١٤]. ماهیت دو قطبی مولکول‌های آب موجب می‌شود که این مولکول‌ها میدان الکتریکی را که در فرکانس بسیار بالا متناوب است، دنبال کنند. برای فرکانس مایکروویو متداول ۲/٤٥ گیگا هرتز، میدان الکتریکی ۲/٤٥ میلیارد بار در ثانیه نوسان می کند و موجب حرکت دو قطبی‌ها با آن می‌شود[٣٤]. چرخش مولکول‌ها منجر به ایجاد اصطکاک و گرما در داخل مواد غذایی شده و همین اصطکاک موجب افزایش سریع دمای موادغذایی و درنتیجه خشک شدن آن می گردد[٦٨]. مواد غذا یی به خصوص میوه‌ها و سبزیجات حاوی تقریبا ٪۸۰ آب دو قطبی هستند، در نتیجه مایکروویو می‌تواند گرمای حجمی قابل توجهی درآن‌ها ایجاد نماید. در مکانیسم رسانایی یونی، به خصوص در غذاهای شور، یون‌ها تحت تأثیر جابجایی میدان الکتریکی منتقل شده و گرما تولید می کنند[۳۵]. بنابراین گرمایش مایکروویو نیز ممکن است به دلیل انتقال نوسانی یون‌ها در داخل غذا ایجاد شود که در حضور میدان الکتریکی نوسانی با فرکانس بالا گرما را ایجاد می کند[١٤]. مهمترین عوامل موثر بر گرمایش مایکروویو و توزیع گرمای آن شامل ویژگی‌های دی‌الکتریک و عمق نفوذ می‌باشند[۹]. با قرارگرفتن مواد با خواص دی‌الکتریکی متفاوت در معرض امواج مایکروویو، این امواج به صورت انتخابی با موادی که ضریب افت بالاتری دارند درگیر می‌شوند[٦١]. انرژی مایکروویو به منظور افزایش انرژی گرمایی به طور مستقیم با مولکول‌های قطبی آب اثر متقابل دارد که موجب کاهش قابل توجه زمان خشک کردن می‌شود[٤٢]. از مهمترین مزیت‌های گرمایش مایکروویو می‌توان به گرمایش سریع و انتخابی، توزیع گرمای یکنواخت ، طراحی مدولار منعطف، کاربردهای سازگار با محیط زیست، روشن و خاموش شدن سریع و راندمان بالای آن اشاره نمود[۲۸]، [٤٧]، [٥٣]، [٥٤] و [٥٩].

مطابق رابطه (۱) که در آن E_w انرژی موج بر حسب (J)، h ثابت پلانک ($٦/٦٢٦ \times ١٠^{-٣٤}$) بر حسب (J s) ، C سرعت موج بر حسب ($m\ s^{-1}$)، λ طول موج برحسب (m)را نشان می‌دهد، امواج مایکروویو حامل انرژی زیادی

هستند؛ بنابراین این امواج در صنایع غذایی، شیمی، پزشکی و ارتباطات کاربرد گسترده‌ای دارند[۱۰]. در سال‌های اخیر استفاده از گرمایش مایکروویو برای فرآوری مواد غذایی بسیار افزایش یافته است. از عمده ترین کاربردهای گرمایش مایکروویو در زمینه فرآوری مواد غذایی می‌توان فرآیند خشک کردن، پاستوریزاسیون، استریلیزاسیون، ذوب شدن، تعدیل، پخت مواد غذایی و غیره را نام برد[۲۳] و [۴۱].

$$E_w = \frac{hc}{\lambda} \qquad (۱)$$

به منظور ایجاد امواج مایکروویو در توان‌های بالا، لامپ‌های میدان متقاطع بکار می‌روند که متشکل از تمامی لامپ‌هایی هستند که میدان الکتریکی و مغناطیسی را در فضای داخل لامپ همدیگر قطع نموده و بر هم عمود می‌باشند که مجموعه حاضر بعنوان لامپ‌های مگنترون شناخته می‌شوند. تولید میدان الکتریکی در فضای داخلی این لامپ‌ها با استفاده از آند و کاتد انجام می‌شود که از یک منبع الکتریکی تغذیه می‌شوند. جهت این میدان الکتریکی از آند به سمت کاتد می‌باشد. با استفاده از آهنربا می‌توان میدان مغناطیسی را عمود بر میدان الکتریکی ایجاد نمود که جهت آن از قطب N به S آهنربا است (شکل ۱). در زمان تغذیه این لامپ بوسیله یک مدار ولتاژ بالا، مجموعه‌ای از الکترون‌ها در درون فضای لامپ مگنترون قرار گرفته و نیرویی براساس (روابط ۲ و ۳) توسط میدان الکتریکی و مغناطیسی بر این الکترون‌ها وارد می‌شود که در آن F_e نیروی وارده بر الکترون از طرف میدان الکتریکی بر حسب (N)، e مقدار بار الکترون ($۱/۶۰۲ \times ۱۰^{-۱۹}$ C)، E شدت میدان الکتریکی برحسب ($V\ m^{-1}$)، F_m نیروی وارده بر الکترون از طرف میدان مغناطیسی برحسب (N)، V_e سرعت حرکت الکترون در داخل میدان مغناطیسی برحسب($m\ s^{-1}$) و H میدان مغناطیسی برحسب (T). برآیند نیروهای وارده بر الکترون موجب شتاب‌گیری الکترون‌ها شده و از طریق آنتن لامپ مگنترون به فضا ساطع می‌شوند[۱].



شکل ۱: میدان الکتریکی و مغناطیسی در داخل فضای لامپ مگنترون

$$F_e = -e.E \qquad (۲)$$

$$F_m = -e.V_e \times H \qquad (۳)$$

خشک‌کن مایکروویو

خشک‌کردن از مهمترین فرآیندها در صنایع شیمیایی، کشاورزی، بیوتکنولوژی، غذا، پلیمر، سرامیک، دارو، کاغذ، فرآوری مواد معدنی و چوب بشمار می‌رود. فرایندهای انتقال حرارت و جرم بطور همزمان‌به منظور حذف رطوبت انجام می‌گیرد که موجب انتقال رطوبت داخل مواد به سطح آن و در نهایت خروج آب مواد می‌گردد[۴۳] و [٤٦]. این عملیات به دلیل بهره‌وری کم انرژی در خشک‌کردن هوای گرم همرفت سنتی، یکی از فرآیندهای پرمصرف است. در سیستم‌هایی که سرعت خشک‌شدن پایین است، ممکن است زمان طولانی‌تری برای خشک‌شدن همرفتی نیاز باشد. بنابراین، برای غلبه بر این مشکل خشک‌شدن ، به ویژه در طی سال‌های اخیر به خشک‌کردن با روش مایکروویو توجه زیادی شده است[۳۱]. این خشک‌کن‌ها از نوع تابشی هستند که امواج آن همانند نور مرئی از جنس امواج الکترومغناطیس بوده و فرکانس و توان تشعشعی متفاوتی با هم دارند. همچنین این امواج دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاهی هستند[۲۲] و [۳۳].

درخشک‌کن‌های مایکروویو، امواج توسط لامپ مگنترون که مولد مایکروویو می‌باشد، به داخل محفظه محصول که به منظور جلوگیری از خروج امواج از جنس فلز ساخته شده است، وارد می‌شود. امواج با بازتاب‌های متوالی از دیواره‌های فلزی محفظه جذب محصول می‌شود. خشک‌کن مایکروویو بر پایه گرمایش حجمی در محصول کار می‌کند که براساس برهم‌کنش بین مایکروویو و محصول می‌باشد و سازوکار آن با انتقال حرارت رسانشی و همرفتی تفاوت دارد[٦٢]. بنابراین، جهت انتقال حرارت در خشک‌کن مایکروویو با خشک‌کردن به روش همرفت سنتی که در آن حرارت از محیط گرمایی خارجی به داخل محصول منتقل می‌شود متفاوت است[۳۱]. در خشک‌کن مایکروویو، تأثیر میدان الکترومغناطیسی روی ماده موجب می‌شود که مولکول‌های آب موجود در ماده در هر ثانیه مرتعش شوند. این ارتعاش و انرژی حاصل از آن منجر به تبخیر هر چه سریعتر رطوبت موجود در مواد می‌شود[۱۸] و [۳۰].

در حال حاضر فناوری مایکروویو بعنوان منبع جذاب انرژی حرارتی برای خشک‌کردن بشمار می‌رود، زیرا زمان لازم برای خشک‌شدن را کاهش داده که این امر منجر به کاهش قابل توجهی در میزان مصرف انرژی در طی فرآیند خشک کردن شده است. همچنین کیفیت بالای محصول خشک شده نسبت به سایر روش‌های متداول خشک‌کردن مزیت دیگر این روش می‌باشد. تمرکز انرژی موجب شده که این سیستم تنها ۲۰ تا ۳۵ درصد نسبت به سایر روش‌های خشک‌کردن فضا نیاز داشته باشد. بدلیل مزایای ذکر شده این روش کاربرد گسترده در صنایع شیمیایی، اتومبیل سازی و به ویژه صنایع غذایی پیدا کرده است[٢٦] و [٤٠].

در مجموع روش خشک کردن مایکروویو شامل سه بازه زیر است:

۱. بازه زمانی گرم شدن محصول: در این بازه تبدیل انرژی مایکروویو به انرژی گرمایی در داخل محصول انجام می‌گیرد که منجر به بالا رفتن دمای محصول می‌شود. با خارج شدن فشار بخار آب از حد طبیعی در داخل محصول، رطوبت نمونه با آهنگ نسبی کاهش می‌یابد.

۲. بازه زمانی خشک شدن سریع: در این فرآیند دمای محصول تقریبا ثابت باقی مانده و انرژی مایکروویو صرف بخارشدن آب داخل محصول می‌شود.

۳. بازه زمانی خشک شدن با آهنگ کاهشی: در طی این فرآیند رطوبت محصول به طور قابل توجهی کاهش یافته و انرژی لازم برای تبخیر رطوبت از انرژی گرمایی حاصل از انرژی مایکروویو کمتر است. در این حالت امکان افزایش دمای داخل محصول به‌بالاتر از دمای جوش آب وجود دارد. در این صورت با افزایش تدریجی دمای محصول محصول دچار سوختگی خواهد شد. با کاهش میزان رطوبت محصول، تبدیل انرژی مایکروویو به گرما

کاهش می‌یابد زیرا در رطوبت پایین نمونه، تاثیر انرژی گرمایی امواج مایکروویو بر روی مولکول‌های آب، موجب کاهش انرژی گرمایی می‌شود [۴۲].

مزایا و معایب خشک کن مایکروویو

با توجه به تحقیقات متعدد انجام گرفته در زمینه استفاده از فناوری مایکروویو به منظور خشک کردن محصولات غذایی مختلف، محققان فاکتورهای متفاوتی را بعنوان مزایا و معایب بکارگیری این روش در مقایسه با سایر روش‌های خشک‌کردن عنوان نموده اند. همانطور که در جدول (۱) آورده شده است، در اکثر مطالعات انجام گرفته [۳۸]، [۵۳]، [۴۵]، [۶۰]، [۸]، [۳۷]، [۶۶]، [۵۰]، [۶۹]، [۵] و [۲۹]، محققان در مورد کاهش زمان خشک شدن بعنوان مزیت استفاده از این روش اتفاق نظر دارند. همچنین در مطالعات [۳۶]، [۸]، [۳۷]، [۶۶]، [۵] و [۲۹]، افزایش کیفیت محصول بعنوان یک پارامتر بسیار مهم در مورد محصول خشک شده نهایی از مزایای این روش گزارش شده است.

جدول۱: مزایا و معایب خشک‌کن مایکروویو

مزایا	منابع
عملکرد در دماهای پایین، صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل خودکار فرآیند، کاهش زمان خشک شدن، افزایش راندمان انرژی و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی	[۳۸] و [۵۳]
زمان خشک شدن کوتاه تر، انعطاف پذیری بالاتر، پایداری میکروبی و یا غیرفعال سازی آنزیم	[۴۵] و [۶۰]
بهبود کیفیت محصولات خشک شده	[۳۶]
زمان کم خشک‌شدن، اتلاف یکنواخت گرما، کیفیت بالای محصول نهایی، مصرف پایین انرژی	[۸]، [۳۷] و [۶۶]
نرخ گرمایش بالا، کاهش قابل توجه در زمان پخت و پز، گرمایش یکنواخت تر، کاربری ایمن، سهولت کار و نیاز به تعمیر و نگهداری پایین	[۵۰] و [۶۹]
گرمایش حجمی و سریع، کاهش زمان و مصرف انرژی، افزایش کیفیت محصول خشک شده تسهیل و ارتقاء فرآیند خشک‌کردن	[۵] و [۲۹]
معایب	
تبدیلات شیمیایی و واکنش‌های نامطلوب (کاهش ویتامین ها و قهوه ای شدن)	[۶۰]

گرمایش ناهموار موجب آسیب فیزیکی به محصول	

کاربرد فناوری مایکروویو در خشک کردن محصولات کشاورزی و پروتئینی

از گذشته‌های دور مردم از خشک‌کردن برای نگهداری خرما، انجیر، زردآلو، انگور، گیاهان، هویج، ذرت، شیر، گوشت و ماهی استفاده می‌کنند[٤]. گوشت به دلیل اینکه منبع غنی از پروتئین، ویتامین و سایر مواد مغذی سودمند برای سلامت افراد است تقاضای بالایی در سراسر جهان دارد [٤٩]. به منظور نگهداری و فرآوری فرآورده‌های گوشتی بکارگیری روش‌های سریع، ساده، اقتصادی و تجدیدپذیر برای خشک‌کردن گوشت ضروری است [٥٢]. همینطور در میوه های خشک و سبزیجات ماندگاری بالاتر، تنوع محصول و کاهش قابل توجه حجم موجب کاربرد وسیع این محصولات شده است [٥٨]. خشک‌کردن میوه‌ها و سبزیجات به روش‌های مختلف انجام می‌شود. مرسوم‌ترین روش خشک‌کردن، روش همرفتی است که از معایب عمده این روش راندمان پایین انرژی و زمانبر بودن در طی دوره شیب نزولی است. هدایت حرارتی پایین موادغذایی در این دوره موجب کاهش انتقال حرارت به قسمت‌های داخلی نمونه می‌شود[٢٠] و [٦٤]. با توجه به اینکه اصلی‌ترین هدف در فرآیند خشک‌کردن، دستیابی به بالاترین کیفیت محصول خشک شده در کوتاهترین زمان ممکن با حداقل هزینه و بالاترین راندمان می‌باشد، این امر محققان و صنعت را متقاعد به بکارگیری فناوری مایکروویو در زمینه خشک‌کردن نموده و موجب شده تا در سال‌های اخیر انرژی مایکروویو به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش‌های متداول حرارت‌دهی در صنعت فرآوری محصولات کشاورزی بکار رود[١١].

لذا در ادامه به مطالعاتی که اخیراً با فناوری مایکروویو، در زمینه خشک‌کردن محصولات کشاورزی و پروتئینی انجام گرفته اشاره می‌شود:

شریفیان و همکاران (۲۰۱۵) از انرژی مایکروویو در ٥ سطح توان مخصوص ٠/٥، ١، ١/٥، ٢ و W/g ٢/٥ و ٦ نسبت پالسی ١/٥، ٢، ٢/٥، ٣، ٣/٥ و ٤ به منظور خشک‌کردن انجیر استفاده نمودند. با توجه به نتایج بدست آمده افزایش توان مایکروویو و کاهش نسبت پالسی موجب کاهش زمان فرآیند و مصرف انرژی مخصوص می‌شود. به این صورت که در نسبت پالسی ١/٥ با بالا بردن توان مخصوص مایکروویو از W/g ٠/٥ به W/g ٢/٥ زمان فرآیند و انرژی مخصوص مصرفی به ترتیب به min ٣٦٦ و MJ ٥/٨٤٤ و در توان W/g ٢/٥ نیز با کاهش نسبت پالسی از ٤ به ١/٥، زمان فرآیند و انرژی مخصوص مصرفی به ترتیب min ١٣٨ و MJ ٢/٩٠٧ تنزل پیدا کرد[٥١]. حاضروظیفه و همکاران (۲۰۱۷)، از دو روش مایکروویو و جریان هوای گرم برای خشک‌کردن برش‌هایی از سیب رقم گلدن دلیشز تا رطوبت (w.b)٢٠ درصد و مطالعه سینتیک و بازده خشک کردن فرآیند استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در روش خشک‌کردن مایکروویو نسبت به جریان هوای گرم زمان فرآیند، ٨٠ درصد کاهش، بازده خشک‌کردن ٩٩ درصد افزایش و هزینه های انرژی مصرفی ٦٠ درصد کاهش یافته‌اند. همچنین با توجه به بررسی‌های کیفی انجام گرفته، نمونه‌های خشک شده به روش مایکروویو کیفیت مطلوب‌تری نسبت به روش هوای گرم داشتند [٢٦]. همچنین در مطالعه دیگری که توسط حاضروظیفه و همکاران (۲۰۱۸) با بکارگیری فناوری مایکروویو با توان مخصوص W/g ١٥/٤ در چهار نسبت پالسی ١/٥، ٢/٥، ٤/٥ و ١٠ بر روی حبه های قند انجام شد، سینتیک خشک‌شدن، دمای نمونه در طی فرآیند خشک‌کردن، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و مصرف انرژی مخصوص مورد بررسی شد. براساس نتایج آزمایش، با کاهش نسبت پالسی، زمان فرآیند و مصرف انرژی مخصوص کاهش و ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و دمای حبه قندها

در طول فرآیند افزایش می‌یابد[۲۵]. در تحقیقی پو و همکاران (۲۰۱٦)، تأثیر رطوبت نسبی بر سرعت خشک‌شدن و کیفیت هویج خشک شده با روش مایکروویو مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده، بهترین کیفیت محصول با استفاده از روش آب مکمل که از طرح‌های جریان هوا با شتاب و سرعت پایین پیروی می کند، حاصل می‌شود. اگر کیفیت محصول مهمترین فاکتور باشد، باید از طرح هایی با سرعت بالای جریان و شتاب پایین هوا اجتناب نمود. اگر سرعت خشک‌شدن مدنظر باشد، طرح هایی با سرعت هوای بالا پیشنهاد می‌شود[٤٨]. فرآیند خشک‌شدن لایه نازک سیب توسط زارعین و همکاران(۲۰۱۵)، در یک خشک‌کن مایکروویو در فرکانس MHz ۲٤٥۰ و سطح توان ۲۰۰، ٤۰۰ و W ٦۰۰ انجام شد. نفوذپذیری موثر رطوبت با استفاده از قانون دوم فیک برای نمونه های سیب بین $۳/۹۳ \times ۱۰^{-۷}$ و $۲/۲۷ \times ۱۰^{-٦}$ m^2s^{-1} تعیین شد. انرژی فعال‌سازی برای نفوذ رطوبت W/g ۱۲/۱٥ محاسبه شد. حداکثر راندمان انرژی برای نمونه‌های خشک شده در توان W٦۰۰، ٥٤/۳٤ درصد و حداقل مقدار آن درتوان W ۲۰۰، ٤۲/۱۷ درصد بدست آمد[٦۷]. در مطالعه ای دیگر برای رسیدن به حداکثر قدرت جوانه‌زنی، حداقل زمان خشک‌شدن و همچنین حداکثر درجه حرارت بدون کاهش قابلیت زنده‌ماندن دانه‌های ذرت به روش مایکروویو خشک گردید. روش‌های مختلف خشک‌کردن شامل خشک‌کردن دما ثابت در دمای ۳۰، ٤۰ و °C ٥۰، خشک‌کردن مایکروویو با توان متناوب؛ و خشک‌کردن مایکروویو با توان ثابت ۲ ، ۳، ۳.٥ و W/g ٤ با محتوای رطوبتی اولیه (wb) ۳۳ درصد و محتوای رطوبتی نهایی(wb) ۱٦درصد، بکار رفت. حداقل زمان خشک‌شدن در توان ثابت W/g ٤ که در آن قدرت جوانه زنی صفر درصد است، بدست آمد. روش بهینه برای خشک‌کردن دانه ذرت با حفظ نرخ جوانه‌زنی بالا در توان متناوب W/g ٤ خشک‌کن مایکروویو بود که برای خشک‌کردن از محتوای رطوبتی (wb) ۳۳درصد به (wb)۱٦ درصد، ۱۱۰ دقیقه طول کشید. درصد جوانه زنی توان متناوب W/g ٤، ۹۳.۳ درصد بود. حداکثر دمای مجاز دانه‌های ذرت هنگام قرارگرفتن در معرض توان مایکروویو متناوب در حداکثر قدرت جوانه زنی °C ٦۷ بود[٤٤].

در تحقیقی اثرات سطوح مختلف توان ۹۰، ۱۸۰، ۲۷۰ و W ۳٦۰ خشک‌کن مایکروویو بر روی سینتیک خشک‌کردن و مصرف انرژی مخصوص نمونه‌های گوشتی شامل ماهی، مرغ و گوشت گاو مورد مقایسه و بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که با افزایش توان مایکروویو، زمان خشک‌کردن کاهش یافت و فیله‌های ماهی در مدت زمان کوتاه‌تری نسبت به نمونه مرغ و گوشت گاو خشک شدند. ضرایب انتشار موثر رطوبت برای همه نمونه‌های گوشت بین $۱/۷٤ \times ۱۰^{-۷}$ و $۱٦/٤ \times ۱۰^{-۷}$ m^2s^{-1} بدست آمد. انرژی فعال‌سازی برای گوشت مرغ، ماهی و گاو به ترتیب W/g ۱٤/٥۹، W/g ۷۹/۱٤۷ و W/g ۱٤۰ /۸۱ محاسبه شد. حداکثر و حداقل مصرف انرژی به ترتیب در فرآیند خشک کردن مرغ با W ۹۰ و در فرآیند خشک‌کردن ماهی در W ۳٦۰ مشاهده شد. سطح توان مایکروویو عامل اصلی تأثیرگذار بر تغییر رنگ مواد در طی فرایند خشک‌کردن است، بطوریکه بیشترین و کمترین مقدار ΔE به ترتیب مربوط به نمونه مرغ و ماهی است[۳۲]. در مطالعه دیگری محققان تأثیر خشک‌شدن ماهی ساردین به روش مایکروویو بر سرعت خشک‌شدن، نفوذپذیری موثر و مصرف انرژی در چهار سطح توان مایکروویو ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و W ٥۰۰ را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتیجه آزمایش، با افزایش توان ورودی، محتوای رطوبتی از ۲/۷٦ به ۰/۰۱ (به صورت خشک) و زمان خشک شدن نمونه ها از ۹/٥ به min ٤/۲٥ کاهش پیدا کرد. همچنین خشک‌شدن نمونه‌های ماهی در طی شیب نزولی اتفاق افتاد و توسط انتشار رطوبت کنترل شد. نفوذ پذیری موثر از $۷/۱٥۸ \times ۱۰^{-۸}$ تا $۳/٤۰۸ \times ۱۰^{-۷}$ m^2s^{-1} در محدوده توان مایکروویو متغیر بود. تفاوت معنی داری بین مصرف انرژی مخصوص ماهی ساردین

خشک شده توسط مایکروویو ($\alpha = ۰.۰۵$) مشاهده نشد. با این حال، حداقل مصرف انرژی مخصوص MJ/kg water **۳/۷۸ در سطح توان** W **۵۰۰ مایکروویو بدست آمد**[۱۲].

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، فناوری مایکروویو به عنوان روشی کارآمد در زمینه خشک‌کردن موادغذایی شناخته شده است، در نتیجه کاربرد آن به طور گسترده افزایش یافته است. عملکرد این روش خشک‌کردن از طریق تابش امواج الکترومغناطیسی در یک دامنه فرکانس مشخص به داخل مواد می‌باشد. این فناوری نوین با مزایای بسیار آن می‌تواند با موفقیت جایگزین روش‌های سنتی خشک کردن شود. در مقاله حاضر آخرین مطالعات انجام گرفته در زمینه کاربرد فناوری مایکروویو در خشک کردن فرآورده‌های کشاورزی و پروتئینی آورده شده است. یافته‌ها تاثیر این روش در را در مورد خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد پروتئینی اثبات کرد. به دلیل صرفه جویی در مصرف انرژی، کنترل خودکار فرآیند خشک کردن، صرفه‌جویی در زمان خشک کردن و افزایش راندمان انرژی و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی، استدلال گردید که روش مایکروویو در حال حاضر یکی از مهمترین فناوری‌های مؤثر در زمینه خشک کردن است. در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که روش مایکروویو توانایی بالقوه‌ای برای تبدیل شدن به یک روش اساسی در صنعت خشک کردن محصولات کشاورزی و مواد پروتئینی را دارد.

مراجع:

۱. **رزم‌پوش، ب. (۱۳٦۸). آشنایی با میکروویو. انتشارات صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران. تهران، ایران.**

۲. **زیرجانی، ل.، توکلی پور، ح.، و پدرام نیا، ا. (۱۳۸۷). بهینه سازی فرآیند خشک‌کردن موز با هوای داغ و.مایکروویو. مجله علمی پژوهشی علوم غذایی و تغذیه. شماره ۱ سال ششم.**

3. Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2012). The use of artificial neural network to predict exergetic performance of spray drying process: A preliminary study. Computers and Electronics in Agriculture, 88, 32-43.
4. Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., & Arabhosseini, A. (2009). Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. Journal of Food Engineering, 91(1), 99-108.
5. Al-Harahsheh, M., Al-Muhtaseb, A. a. H., & Magee, T. R. A. (2009). Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 48(1):524-531.
6. Alibas, I. (2007). Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. Biosystems Engineering, 96(4), 495-502.
7. Baysal, T., Icier, F., Ersus, S., &Yıldız, H. (2003). Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic. European Food Research and Technology 218 (1):68-73.
8. Béttega, R., Rosa, J. G., Corrêa, R. G., & Freire, J. T. (2014). Comparison of carrot (Daucus carota) drying in microwave and in vacuum microwave. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 31(2), 403-412.
9. Chandrasekaran, S., Ramanathan, S. and Basak, T., (2013). Microwave food processing—A review. Food Research International, 52(1), pp.243-261.
10. Cheng, D. K. (1989). Field and wave electromagnetics: Pearson Education India.

11. Cui, Z.-W., Xu, S.-Y., & Sun, D.-W. (2004). Microwave–vacuum drying kinetics of carrot slices. Journal of Food Engineering, 65 (2):157-164.
12. Darvishi, H., Azadbakht, M., Rezaeiasl, A., & Farhang, A. (2013). Drying characteristics of sardine fish dried with microwave heating. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 12(2), 121-127.
13. Datta, A.K., & Anantheswaran, R.C. (2000). Handbook of microwave technology for food applications. New York: Marcel Dekker Inc.
14. Datta, A.K., & Davidson, P.M. (2000). Microwave and radio frequency processing. Journal of Food Science Science, 65, 32-41.
15. Doymaz, İ. (2008). Convective drying kinetics of strawberry. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47(5), 914-919.
16. Dudaš, S., Šegon, P., Erhatić, R., & Kovačević, V. (2013, April). Influence of drying temperatures on essential oil content in savory Satureja montana L.(Lamiaceae). In Collection of Papers 2nd Conference with International Participation: Environmentalism, Agriculture, Horticulture, Food Production and Processing (pp. 425-432).
17. Dzida, K., Zawiślak, G., Nurzyńska-Wierdak, R., Michałojć, Z., Jarosz, Z., Pitura, K., & Karczmarz, K. (2015). Yield and quality of the summer savory herb (Satureia hortensis L.) grown for a bunch harvest. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus, 14(3), 141-156.
18. Eren, Ö.; Soysal, Y.; Öztekin, S.; Do˘gantan, Z.S. (2005). Mikrodalga sistemi ile donatılmı¸s bir bantlı kurutucudamaydanoz kurutulması, III. In Proceedings of the Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekni˘gi Çalı¸stayı, Antalya,Türkiye, 2–4 May. (In Turkish)
19. Feng, H., Yin, Y., & Tang, J. (2012). Microwave drying of food and agricultural materials: basics and heat and mass transfer modeling. Food Engineering Reviews, 4(2), 89-106.
20. Feng, H., & Tang, J. (1998). Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. Journal of Food Science, 63:679–683
21. Ghasemi Pirbalouti, A., Oraie, M., Pouriamehr, M., & Solaymani Babadi, E. (2013). Effects of drying methods on qualitative and quantitative of the essential oil of Bakhtiari savory (Satureja bachtiarica Bunge.). Industrial crops and products, 46, 324-327.
22. Gowen, A. A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., and Oliveira, J. (2008). Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave–hot-air drying. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9 (1):129-137.
23. Gupta, M., & Wong, W.L.E. (2007). Microwaves and metals. Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd.
24. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., & Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste.
25. Hazervazifeh, A., Nikbakht, A. M., Moghaddam, P. A., & Sharifian, F. (2018). Energy economy and kinetic investigation of sugar cube dehydration using microwave supplemented with thermal imaging. Journal of Food Processing and Preservation, 42(2), e13504.
26. Hazervazifeh, A., Moghaddam, P. A., & Nikbakht, A. M. (2017). Microwave dehydration of apple fruit: Investigation of drying efficiency and energy costs. Journal of Food Process Engineering, 40(3), e12463.

27. Hazervazifeh, A., Nikbakht, A. M., & Moghaddam, P. A. (2016). Novel hybridized drying methods for processing of apple fruit: Energy conservation approach. Energy, 103, 679-687.
28. Hu, L., Wang, G., & Wang, Q. (2018). Efficient drying and oxygen-containing functional groups characteristics of lignite during microwave irradiation process. Drying Technology, 36(9), 1086-1097.
29. Kahyaoglu, L. N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2012). Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat. Food and Bioproducts Processing 90 (2):301-308.
30. Karaaslan, S., & Tunçer, İ.K. (2009). Kırmızı biberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kurumakarakteristiklerinin incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi.J. Agric. Nat.12(2), 9–16. (In Turkish)
31. Khodabakhshi, A., Mahfeli, M., & Zarein, M. (2015). Investigation of microwave power effects on drying kinetics and energy efficieny of banana samples. Global Journal of Science Frontier Research, 15(4), 41-45.
32. Kipcak, A. S., & İsmail, O. (2021). Microwave drying of fish, chicken and beef samples. Journal of Food Science and Technology, 58, 281-291.
33. Kouchakzadeh, A., and Shafeei, S. (2010). Modeling of microwave-convective drying of pistachios. Energy Conversion and Management, 51 (10):2012-2015.
34. Kumar, C. (2015). Modelling intermittent microwave convective drying (IMCD) of food materials (Doctoral dissertation, Queensland University of Technology).
35. Kumar, C., & Karim, M. A. (2019). Microwave-convective drying of food materials: A critical review. Critical reviews in food science and nutrition, 59(3), 379-394.
36. Kumar, V., Sharma, H. K., & Singh, K. (2016). Mathematical modeling of thin layer microwave drying of taro slices. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, 97(1), 53-61.
37. Kutlu, N., & İşci, A. (2016). Effect of different drying methods on drying characteristics of eggplant slices and mathematical modeling of drying processes. Academic Food Journal, 14(1), 21-27.
38. Lv, W., Fan, G., Lv, X., Lv, X., Hu, M., Zhang, S., Qiu, G., & Bai, C. (2018). Drying kinetics of Philippine nickel laterite by microwave heating. Dry Technology, 36:849–858.
39. Maghsoodi, V., Kazemi, A., & Akhondi, E. (2012). Effect of different drying methods on saffron (Crocus sativus L) quality. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 31(2), 85-89.
40. Maskan, M. (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of Food Engineering, 44 (2):71-78.
41. Metaxas, A.C., & Meredith, R.J. (1983). Industrial Microwave Heating. London: Peter Peregrinus Ltd.
42. Min, Z., Chunli, L., & Xiaolin, D. (2005). Effects of heating conditions on the thermal denaturation of white mushroom suitable for dehydration. Drying Technology, 23(5), 1119-1125.

43. Mujumdar, A.S. (2014). Handbook of Industrial Drying, 4th ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

44. Nair, G. R., Li, Z., Gariepy, Y., & Raghavan, V. (2011). Microwave drying of corn (Zea mays L. ssp.) for the seed industry. Drying Technology, 29(11), 1291-1296.

45. Nijhuis, H. H., Torringa, H. M., Muresan, S., Yuksel, C., Leguijt, C., & Kloek, W. (1998). Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. Trends in Food Science and Technology, 9,13–20.

46. Onwude, D.I., Hashim, N., Janius, RB., Nawi, N.M., &Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety15: 599–618.

47. Pickles, C. A., Gao, F., & Kelebek, S. (2014). Microwave drying of a low-rank sub-bituminous coal. Minerals Engineering, 62, 31-42.

48. Pu, H., Li, Z., Hui, J., & Raghavan, G. V. (2016). Effect of relative humidity on microwave drying of carrot. Journal of Food Engineering, 190, 167-175.

49. Ryan, J. T., Ross, R. P., Bolton, D., Fitzgerald, G. F., & Stanton, C. (2011). Bioactive peptides from muscle sources: meat and fish. Nutrients, 3(9), 765-791

50. Salazar-González, C., San Martín-González, M. F., López-Malo, A., & Sosa-Morales, M. E. (2012). Recent studies related to microwave processing of fluid foods. Food and Bioprocess Technology, 5(1), 31-46.

51. Sharifian, F., Nikbakht, A. M., Arefi, A., & Modarres Motlagh, A. (2018). Experimental assessment of energy and mass transfer in microwave drying of fig fruit.

52. Sokhansanj., S, & Jayas., D.S. (2014). Drying of foodstuffs. In: Mujumdar AS (ed) Handbook of industrial drying, 4th edn. CRC Press, NewYork.

53. Song, Z., Yao, L., Jing, C., Zhao, X., Wang, W., & Ma, C. (2017). Drying behavior of lignite under microwave heating. Drying Technology, 35(4), 433-443

54. Song, Z., Jing, C., Yao, L., Zhao, X., Wang, W., Mao, Y., & Ma, C. (2016). Microwave drying performance of single-particle coal slime and energy consumption analyses. Fuel Processing Technology, 143, 69-78.

55. Sorour, H., & El-Mesery, H. (2014). Effect of microwave and infrared radiation on drying of onion slices. International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences, 2 (5):119-130.

56. Taheri-Garavand, A., Mumivand, H., Fatahi, S., Nasiri, A., & Omid, M. (2021). Modeling the kinetics of essential oil content and main constituents of mint (Mentha aquatica L.) leaves during thin-layer drying process using response surface methodology. Journal of Food Processing and Preservation, e15515.

57. Taheri-Garavand, A., & Meda, V. (2018). Drying kinetics and modeling of savory leaves under different drying conditions. International Food Research Journal, 25(4).

58. Taheri-Garavand, A., Rafiee, S., & Keyhani, A. (2011). Effective moisture diffusivity and activation energy of tomato in thin layer dryer during hot air drying. International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences & Technologies, 2(2), 239-248.

59. Tahmasebi, A., Yu, J., Han, Y., Zhao, H., & Bhattacharya, S. (2014). A kinetic study of microwave and fluidized-bed drying of a Chinese lignite. Chemical Engineering Research and Design, 92(1), 54-65.

60. Vadivambal, R., & Jayas, D. S. (2007). Changes in quality of microwave-treated agricultural products–A review. Biosystems Engineering, 98,1–16

61. Venkatesh, M. S., & Raghavan, G. S. V. (2004). An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. Biosystems engineering, 88(1), 1-18.

62. Wang, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2014). Microwave-Assisted Drying of Foods–Equipment, Process and Product Quality. Modern drying technology, 279-315.

63. Wang, J., & Sheng, K. (2006). Far-infrared and microwave drying of peach. LWT-Food Science and Technology 39 (3):247-255.

64. Wang, J, & Xi, Y.S. (2005) Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. Journal of Food Engineering, 68:505–511

65. Wray, D., & Ramaswamy, H. S. (2015). Novel concepts in microwave drying of foods. Drying Technology, 33(7), 769-783.

66. Yan, W. Q., Zhang, M., Huang, L. L., Tang, J., Mujumdar, A. S., & Sun, J. C. (2010). Studies on different combined microwave drying of carrot pieces. International journal of food science & technology, 45(10), 2141-2148.

67. Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14(1), 41-47.

68. Zhang, M., Jiang, H., & Lim, R. X. (2010). Recent developments in microwave-assisted drying of vegetables, fruits, and aquatic products—Drying kinetics and quality considerations. Drying Technology, 28(11), 1307-1316.

69. Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2006). Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 17(10), 524-534.

70. Zielinska, M., & Markowski, M. (2010). Air drying characteristics and moisture diffusivity of carrots. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 49(2), 212-218.

A review of the application of microwave technology in the drying of agricultural and protein products

Soodabeh Fatahi[1], Faroogh Sharifian[2*]

1. PHD Student, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2*. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Todays, with improving the living standards and increasing the people awareness, the application of new methods for food preservation in order to preserve its quality and nutritional value is essential for the public health around the world. Drying is considered as one of the fundamental methods in food storage. Traditional drying methods are not so efficient because of their time consuming, low energy efficiency, a significant reduction in the quality of product due to the loss of micronutrients ingredients and color degradation which resulting an increased product waste. This study by introduces the new microwave technology in order to save energy consumption, automate process control, reduce drying time, increase energy efficiency and prevent the environmental problems was able to some extent eliminate the disadvantages of traditional methods. Therefore, the present study aimed to investigate the effects of microwave drying on the changes of various parameters of agricultural and protein products.

Key words: Drying, Microwave, Agricultural Products, Protein Material

*Corresponding author
E-mail: f.sharifian@urmia.ac.ir