

ارزیابی فناوری های هیبریدی خشک کنی در صنایع غذایی، مروری بر سیستم های تلفیقی

مایکروویو-انرژی خورشیدی

رقیه اشرفی یورقانلو^۱، مهلا پیروزی فرد^۲

۱-دانشیار، گروه فناوری کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

۲-مدرس، گروه فناوری کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: r.ashrafi1@yahoo.com

چکیده

EFAB01583144

شماره مقاله

خشک کنی محصولات غذایی یکی از فرآیندهای پرمصرف انرژی است که با حذف رطوبت، طول عمر و ایمنی محصولات را افزایش می دهد. سیستم های هیبریدی مایکروویو-خورشیدی با ترکیب گرمایش حجمی مایکروویو و انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، مصرف انرژی ویژه و زمان خشک کنی را به شکل قابل توجهی کاهش می دهند و همزمان کیفیت محصول شامل رنگ، بافت و ترکیبات زیست فعال را حفظ می کنند. در این سیستم ها، پیش گرمایش خورشیدی بخش عمده رطوبت اولیه را حذف کرده و مایکروویو با توان پایین تر، تبخیر آب باقی مانده را تسریع می کند. این مقاله مروری به بررسی این سیستم ها در صنایع غذایی می پردازد و هدف آن تحلیل مزایا، محدودیت ها، طراحی و پیکربندی سیستم ها و تأثیر آن ها بر مصرف انرژی، زمان خشک کنی و کیفیت محصولات است. یافته ها نشان می دهد که ترکیب پیش گرمایش خورشیدی و گرمایش حجمی مایکروویو موجب کاهش چشمگیر مصرف انرژی ویژه، کوتاه شدن زمان خشک کنی و حفظ بهتر ترکیبات زیست فعال، رنگ و بافت محصول می شود. سیستم های هیبریدی امکان کنترل دقیق تر فرآیند و یکنواختی خشک کنی را فراهم می آورند و نسبت به روش های تک منبعی عملکرد بهتری دارند. با وجود چالش های فنی مانند توزیع غیر یکنواخت میدان مایکروویو و محدودیت های اقتصادی شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه، استفاده از طراحی بهینه و کنترل هوشمند می تواند مزایای این فناوری را به حداکثر برساند. این سیستم ها یک راهکار پایدار، کارآمد و اقتصادی برای بهبود فرآیند خشک کنی محصولات غذایی در مقیاس صنعتی هستند.

کلید واژه ها: انرژی خورشیدی، سیستم های هیبریدی، خشک کنی، مایکروویو، مصرف انرژی

مقدمه

خشک کنی، با حذف آب از محصولات غذایی، فعالیت میکروبی را مهار و عمر نگهداری را افزایش می دهد، اما یکی از پرمصرف ترین مراحل از نظر انرژی است. روش های سنتی مانند خشک کنی با هوای داغ دارای بازده پایین، زمان طولانی و آسیب به کیفیت محصول هستند. در دهه اخیر، فناوری های هیبریدی به ویژه سیستم های مایکروویو-خورشیدی با ترکیب گرمایش حجمی و انرژی تجدیدپذیر، مصرف انرژی ویژه را تا ۴۰-۶۰ درصد کاهش و زمان خشک کنی را تا بیش از ۶۰ درصد کوتاه می کنند. این سیستم ها همچنین حفظ ترکیبات زیست فعال مانند ویتامین C را بهبود می بخشند. هدف این مقاله، ارائه یک مرور علمی جامع از پژوهش های اخیر در زمینه مصرف انرژی، کیفیت محصول، مدل های سینتیکی و چالش های فنی و اقتصادی این فناوری است.

نتیجه گیری

دمای هوای خورشیدی (۴۵-۶۰ درجه سانتی گراد)، سرعت جریان هوا (۱-۲ متر بر ثانیه) و ضخامت لایه محصول (۱-۳ سانتی متر) برای دستیابی به کارایی بالا ضروری است. با این حال، موانع فنی شامل توزیع غیر یکنواخت میدان مایکروویو، وابستگی به تابش خورشید و چالش مقیاس پذیری صنعتی، و موانع اقتصادی نظیر سرمایه گذاری اولیه بالا، نیاز به نیروی متخصص و دوره بازگشت سرمایه طولانی، توسعه صنعتی این فناوری را با محدودیت مواجه کرده است.

نتیجه گیری:

سیستم های هیبریدی مایکروویو-خورشیدی با تلفیق گرمایش حجمی مایکروویو و انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، ضمن کاهش مصرف انرژی ویژه و زمان خشک کنی، کیفیت محصول از نظر رنگ، بافت و ترکیبات زیست فعال را به طور چشمگیری بهبود می بخشند. اگرچه چالش هایی همچون توزیع غیر یکنواخت میدان مایکروویو و هزینه های اولیه بالا وجود دارد، اما با طراحی مهندسی دقیق، کنترل هوشمند و بهینه سازی پارامترها، این موانع قابل مدیریت بوده و این فناوری به عنوان راهکاری کارآمد، اقتصادی و زیست محیطی برای خشک کنی صنعتی محصولات غذایی قابل توصیه است.

متن اصلی

در خشک کنی مایکروویو، امواج با گرمایش حجمی و چرخش مولکول های آب، تبخیر داخلی را تسریع کرده و زمان خشک شدن را کاهش می دهد. با این حال، توزیع غیر یکنواخت میدان می تواند نقاط داغ ایجاد کند، به همین دلیل مایکروویو اغلب در سیستم های هیبریدی با انرژی خورشیدی ترکیب می شود.

در خشک کنی خورشیدی، انرژی تابشی خورشید با استفاده از کلکتورها جذب شده و با طراحی مستقیم یا غیرمستقیم، رطوبت محصول را تبخیر می کند. این روش پایدار و کم هزینه است، اما وابستگی شدید به شرایط آب و هوایی و نرخ پایین انتقال حرارت از محدودیت های اصلی آن محسوب می شود.

در سیستم های هیبریدی مایکروویو-خورشیدی، انرژی خورشیدی به عنوان منبع پایه برای پیش گرمایش و تبخیر اولیه رطوبت عمل می کند و سپس مایکروویو با گرمایش حجمی، فرآیند را به ویژه در مراحل پایانی تسریع می نماید. این رویکرد سینرژیک با کنترل دینامیکی توان، زمان خشک کنی و مصرف انرژی ویژه را کاهش داده، نقاط داغ را کم کرده و کیفیت محصول را بهبود می بخشد.

در سیستم های هیبریدی مایکروویو-خورشیدی، مصرف انرژی ویژه نسبت به روش های تک منبعی (هوای داغ، خورشیدی یا مایکروویو خالص) به میزان قابل توجهی کاهش یافته و به ۶ تا ۱۲ مگاژول بر کیلوگرم آب تبخیر شده می رسد. همچنین زمان خشک کنی ۵۰ تا ۷۰ درصد کوتاه تر شده و کیفیت محصول بهبود می یابد؛ به طوری که ویتامین C تا ۳۰ درصد بیشتر حفظ شده و فعالیت آنتی اکسیدانی ۱۵ تا ۲۵ درصد افزایش نشان می دهد.

سیستم های هیبریدی مایکروویو-خورشیدی در سه پیکربندی اصلی سری، موازی و یکپارچه طراحی می شوند و بهینه سازی پارامترهایی مانند توان مایکروویو (متوسط)،

منابع و ماخذ

- Çelen, S., & Karatas, M. A. (2019). Investigation of the performance of a hybrid dryer designed for the food industry. *Foods*, 8(2), 81.
- Kusmiyati, K., & Fudholi, A. (2021). Solar-Assisted microwave convective dryer for coffee cherries. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 11(1), 407-415.
- Maninggolang, O. W., & Mandey, L. Beyond Waste: Agricultural By-Products as Emerging Sources of Dietary Fiber and Bioactive Compounds—A Review.
- سعید، م.، شعبانی، م.، علیزاده، م. و پورکاظم، ا. (۱۳۹۹). طراحی و ساخت مبدل حرارتی صفحه ای برای دستگاه خشک کن خورشیدی، نشریه رهیافتی در مدیریت نفت و گاز، دوره ۱، شماره ۴، ۴۷-۳۴.
- Mishra, R. K., Yadav, A., Mishra, V., Mishra, S. N., Singh, D. S., & Verma, D. K. (2024). Fundamental theory of electromagnetic spectrum, dielectric and magnetic properties, molecular rotation, and the green chemistry of microwave heating equipment. *Green Chemical synthesis with microwaves and ultrasound*, 21-67.
- Kushwah, A., Raj, S., Anand, A., Kumar, A., & Gaur, M. K. A Multidimensional Study on Tomato Drying in Greenhouse Solar Systems: From Life Cycle Impacts to Quality Characteristics. Available at SSRN 5279796.

منابع