تحلیل انرژی مصرفی ویژه در فرایند خشک کردن کیوی با روش فروسرخ

زهرا شیخانی نژاد فلاح [۱]، مرتضی زنگنه[۲*]، نرگس بنائیان[۲]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲. استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

چکیده

به حداقل رساندن هزینه انرژی یک چالش مهم برای هر فرآیندی است که برای خشک‌کردن میوه‌ها نیزدر نظر گرفته می‌شود. از مشکلات اساسی فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی، مصرف انرژی بالا و مدت‌زمان طولانی خشک شدن محصولات است. با طراحی مناسب خشک‌کن، انتخاب تیمارهای مناسب و کنترل فرایند خشک شدن می‌توان علاوه بر ارتقای کیفیت مواد خشک‌شده، هزینه عملیاتی را نیز کاهش داد. هدف این تحقیق بررسی اثر تغییر توان و زمان فروسرخ[۱]، توان و زمان ریزموج[۲] و آنزیم بری (هریک در دو سطح) بر انرژی مصرفی ویژه در خشک‌کردن کیوی بود. تیمارهایی با کمترین مقدار مصرف انرژی ویژه، هزینه کمتری نیز به دنبال خواهند داشت که می تواند نتایج عملیاتی برای کاربران خشک کردن کیوی به همراه داشته باشد. خشک‌کردن با روش فروسرخ، با استفاده از یک دستگاه خشک‌کن فروسرخ که در این مطالعه طراحی و ساخته شد انجام گرفت. پس از بررسی جدول تجزیه واریانس، اثر هر پنج متغیر مستقل توان فروسرخ، زمان فروسرخ، توان ریزموج، زمان ریزموج و آنزیم بری بر انرژی مصرفی ویژه معنی‌دار شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد، تیمار دارای توان فروسرخ (۲۵۰ وات)، زمان فروسرخ (۱۰ دقیقه) و اعمال فرایند آنزیم بری دارای کمترین مقدار انرژی مصرفی ویژه به میزان ۹/۲۶ مگاژول بر کیلوگرم است و به عنوان بهترین تیمار قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: آنزیم بری، ریزموج، زمان ریزموج، زمان فروسرخ، انرژی مصرفی ویژه

* مسئول مکاتبات :zanganeh@guilan.ac.ir

۱-مقدمه

میوه کیوی[۳] به دلیل داشتن طعم و عطر مناسب و ارزش غذایی و دارویی فراوان، از محبوب‌ترین میوه‌ها در جهان به شمار می‌رود (۲۰). بر اساس تحقیقات انجام‌شده، پس از موز، مرکبات و سیب، کیوی چهارمین میوه موردعلاقه ازنظر مردم دنیا است (۲). علاوه بر این فراورده های بسیار متنوعی نیز از محصول کیوی تولید می شود که می تواند طیف وسیع تری از مردم را به مشتریان این محصول تبدیل کند مانند نوشیدنی های فراسودمند بر پایه کیوی (۵). بر اساس گزارش سالانه سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد[۴]، ایران در سال ۲۰۲۰ چهارمین کشور تولیدکننده کیوی در جهان به شمار می‌رود (۱۰)، اما ایران ازنظر میزان صادرات میوه کیوی

[1] Infra-Red
[2] Microwave
[3] Acitiniadia deliciosa
[4] FAO

در رده هشتم کشورهای جهان قرار دارد. کمبود صنایع فرآوری و بسته‌بندی مناسب را می‌توان از عوامل پایین بودن جایگاه ایران در این رتبه‌بندی دانست (۲). سالانه درصد بالایی از محصولات کشاورزی تبدیل به ضایعات می‌شود و کشاورزان را متحمل ضررهای جبران‌ناپذیری می‌کند و از سوی دیگر ضربه‌های عمده‌ای نیز بر پیکره اقتصادی کشور وارد می‌سازد. یکی از مؤثرترین راهکارها جهت کاهش حجم ضایعات و اتلاف محصولات کشاورزی ایجاد و توسعه صنایع تبدیلی است (۲۷). صنایع تبدیلی در بخش کشاورزی گام اصلی در تکمیل زنجیره ارزش بشمار می‌رود که سبب ایجاد ارزش‌افزوده و ارزآوری می‌شود (۱۴). خشک‌کردن میوه‌ها جزئی از صنایع تبدیلی است که ازجمله روش‌های نگهداری طولانی‌مدت محصولات محسوب می‌شود. با کاهش مقدار رطوبت ماده غذایی، امکان فساد میکروبی آن از بین می‌رود و وزن و حجم آن نیز به مقدار زیادی کاهش می‌یابد (۷). با انتخاب و استفاده از روش مناسب جهت خشک‌کردن محصول، علاوه بر نگهداری طولانی‌مدت خطر آلودگی، هزینه نگهداری و حمل‌ونقل را می‌توان کاهش داد (۲). آنچه در فرایند خشک کردن مهم است کنترل و کاهش میزان تلفات و در صورت امکان، بازیافت انرژی‌های در حال هدر رفت است (۲۸). برخی از مشکلات اساسی فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی، مصرف انرژی بالا و مدت‌زمان طولانی خشک‌کردن است. با طراحی مناسب خشک‌کن، انتخاب تیمارهای مناسب و کنترل فرایند خشک شدن می‌توان علاوه بر ارتقای کیفیت مواد خشک‌شده، هزینه عملیاتی فرایند خشک‌کردن را نیز کاهش داد.

روش‌ها و پیش تیمارهای مختلفی در خشک‌کردن میوه مورداستفاده قرار می‌گیرد. آنزیم بری[1] یک عملیات حرارتی ضروری برای محصولات کشاورزی است که قبل از هرگونه فرایند نگهداری (مانند خشک‌کردن، کنسرو کردن و غیره) به‌منظور غیرفعال کردن آنزیم‌هایی مانند پلی فنول اکسیدازها و پراکسیدازها، که باعث فساد و تغییر نامطلوب طعم و رنگ می‌شوند، اعمال می‌شود (۳۲). فرایندخشک‌کردن با دستگاه ریزموج روش نسبتاً ارزانی است که امروزه موردتوجه بسیاری از محققین قرارگرفته است و نسبت به روش‌های خشک‌کردن سنتی برتری‌های زیادی دارد. برخلاف سامانه‌های گرمایشی رایج، امواج ریزموج در ماده نفوذ کرده و گرما رفته‌رفته در سراسر محصول گسترش می‌یابد. امواج ریزموج به دلیل سرعت نفوذ بالا و مؤثر در ماده گیاهی منجر به کاهش انرژی مصرفی فرایند خشک‌کردن می‌شود (۲۱). به‌علاوه، امواج ریزموج به‌عنوان پیش تیمار نیز در فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرند که سبب کاهش میزان رطوبت اولیه و درنتیجه کاهش زمان فرایند خشک‌کردن می‌شود. از مزایای دیگر خشک‌کن ریزموج می‌توان به میزان تخریب حداقلی محصول و کنترل شرایط محصول در طی خشک شدن اشاره نمود (۸).

[1]Blanching

پرتو فروسرخ بخشی از طیف الکترومغناطیس است که استفاده از آن جهت خشک‌کردن محصولات کشاورزی دارای مزایای متعددی است. استفاده از پرتو فروسرخ باعث کاهش زمان فرایند و میزان انرژی مصرفی می‌شود. جذب پرتو توسط محصول به میزان آب، ضخامت و ماهیت فیزیکوشیمیایی بستگی دارد (۱۶). حرارت بدون ایجاد تغییرات نامطلوب ایجادشده و این امر سبب افزایش کیفیت ساختاری محصول نهایی نسبت به سایر روش‌های خشک‌کردن می‌شود. راندمان بالا، ایجاد گرمای یکنواخت، کنترل فرایند آسان، پایین بودن هزینه تعمیر و نگهداری و صرفه‌جویی در فضا از مزایای کاربرد صنعتی خشک‌کردن به‌وسیله پرتو فروسرخ است. خشک‌کردن با پرتو فروسرخ را می‌توان با سایر روش‌های خشک‌کردن به‌صورت ترکیبی استفاده نمود (۲).

بررسی مطالعات انجام‌شده در فرایند خشک‌کردن محصولات کشاورزی نشان‌دهنده تنوع بسیار زیاد روش‌های خشک‌کردن است. در این میان روش خشک‌کردن با جریان هوای گرم، خورشیدی، ریزموج و فروسرخ موردتوجه محققان بوده است (۲۴ ;۲۱ ; ۳۳ ;۲۲). در مطالعه حاضر دو روش ریزموج و فروسرخ برای خشک‌کردن میوه کیوی انتخاب شد. احمدی قویدلان و امیری چایجان (۳) به‌طورهم‌زمان از دو متغیر فروسرخ و ریزموج استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از شرایط بهینه به‌منظور کاهش ضایعات و کاهش تعداد آزمایش‌ها برای خشک‌کردن محصول با خشک‌کن فروسرخ و پیش تیمار ریزموج مناسب بود. آزادبخت و همکاران (۱) نیز از سه متغیر ریزموج و آنزیم بری و اهمیک[1] بهره گرفتند. در بخش اثر توان ریزموج بر مقادیر مصرفی نتیجه شد که با افزایش مقدار سطوح توان، مقدار انرژی بهره‌وری در هر دو پیش تیمار اهمیک و آنزیم بری افزایش می‌یابد. بررسی متغیرهای موردمطالعه در تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که متغیرهای دما، سرعت جریان هوا، ضخامت ورقه‌های میوه، توان ریزموج و توان لامپ فروسرخ بیش از سایر متغیرها موردتوجه محققان بوده است، لذا در مطالعه حاضر، اثر دو عامل ریزموج و فروسرخ موردبررسی قرار گرفت.

بررسی مطالعات انجام‌شده بر روی انرژی ویژه در خشک‌کن‌های میوه و سبزی نشان داد که این متغیر می‌تواند به‌عنوان خروجی مؤثری در آزمایش‌ها مورداستفاده قرار گیرد (۱۱ ;۲۵ ;۱۹ ;۲۶).هم‌چنین از انرژی ویژه مصرفی خشک‌کردن میوه جهت پیش‌بینی این متغیر در برخی مطالعات استفاده‌شده است (۲۵;۱۱). تاکنون مطالعه جامعی در خصوص اثر عوامل آنزیم بری، خشک‌کردن ریزموج و خشک‌کردن فروسرخ به‌طورهم‌زمان بر انرژی ویژه مصرفی صورت نگرفته است؛ لذا هدف این تحقیق بررسی اثر تغییر توان فروسرخ، زمان فروسرخ، توان ریزموج، زمان ریزموج و فرایند آنزیم بری بر انرژی ویژه مصرفی در فرایند خشک‌کردن محصول کیوی و انتخاب بهترین تیمار با توجه‌به میزان انرژی مصرفی ویژه است. اثر زمان ریزموج فقط در مطالعه جعفری و

[1]Ohmic

همکاران (۶) مشاهده شد، لذا در مطالعه حاضر به دلیل اهمیت عنصر زمان در به‌کارگیری عامل ریزموج در فرایند خشک‌کردن، زمان در دو سطح مختلف بررسی شد. محققان در پژوهشی فرآیند خشک‌کردن مغز بادام را در خشک‌کن‌های پیوسته نیمه‌صنعتی با پیش تیمارریزموج در سطوح مختلف دمای هوا، توان ریزموج، سرعت خطی تسمه‌نقاله و فشار خلأ آزمایش کردند و بهترین ترکیب روش‌های خشک‌کردن و سطوح تنظیمات ازنظر میزان چروکیدگی، ضریب پخش مؤثر رطوبت، انرژی مصرفی ویژه و تغییرات کلی رنگ را به دست آوردند (۱۹). تحقیق‌های بسیاری باهدف بررسی اثر روش‌های مختلف خشک‌کردن بر خصوصیات محصول نهایی انجام‌شده است. در این راستا، پژوهشی در جهت مشاهده اثر روش خشک‌کردن با دستگاه ریزموج بر زمان خشک‌کردن، تغییرات رنگ، میزان اسیدهای آلی و ویتامین C میوه سماق انجام گرفت و با روش سنتی (خشک‌کردن در سایه و آفتاب) مقایسه شد. درنتیجه انجام این پژوهش، بهترین نقطه خشک‌کردن سماق به‌وسیله خشک‌کن ریزموج توان ۸۱۵ وات بود که کمترین زمان و تغییرات رنگ و بیشترین مواد شیمیایی در این نقطه به دست آمد. کمترین تغییرات رنگ و بیشترین مقدار اسیدهای آلی و ویتامین C در روش خشک‌کردن سنتی در سایه مشاهده‌شده است (۸).

با انجام پیش آزمایش‌هایی دو سطح توان برای روش ریزموج انتخاب شد. در فروسرخ به دلیل وجود متغیر فاصله لامپ فروسرخ از نمونه و عدم وجود متغیر زمان در مطالعات موردبررسی، برای جلوگیری از افزایش مخرب تعداد تیمارها، تنها متغیر زمان تحت بررسی قرار گرفت. دو سطح برای توان فروسرخ باتوجه به نتایج پیش آزمایش‌ها و همچنین بررسی مطالعات گذشته انتخاب شد.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- تعیین رطوبت اولیه

به‌منظور انجام آزمایش‌ها، کیوی تازه از بازار تهیه شد. پس از دست‌چین کردن نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شد. نمونه‌ها ۲ ساعت قبل از انجام آزمایش‌ها از یخچال خارج شدند تا با دمای محیط هم‌دما شوند (۲۳). سپس با آب شسته شدند و سطح آن‌ها با کاغذ صافی خشک شد (۳۵). نمونه‌ها به ضخامت ۷ میلی‌متر توسط یک اسلایسر دستی برش داده شد. قبل از فرایند خشک‌کردن نمونه‌ها، سه عدد کیوی در دمای ۲±۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون مدل BF-120 محصول شرکت فن آزما گستر ایران قرار داده شد تا وزن خشک و رطوبت اولیه محصول به دست آید (۱۱). پس از برش ورقه‌ای میوه کیوی، مقدار معینی از نمونه قبل و بعد از آون گذاری توسط ترازوی دیجیتال مدل D0003 محصول شرکت

A&D ژاپن توزین شد. محتوی رطوبت اولیه نمونه‌ها بر اساس استاندارد اِی او اِی سی ($AOAC$) و طبق رابطه (۱) محاسبات مربوط به تعیین رطوبت اولیه انجام گرفت.

رابطه ۱)

$$\text{رطوبت بر پایه خشک}(\%) = \frac{(m_{wet} - m_{dry})}{m_{dry}} \times 100$$

که در آن، m_{wet}= جرم قبل از آون گذاری (جرم اولیه) (گرم)، m_{dry}= جرم بعد از آون گذاری(جرم نهایی)(گرم).

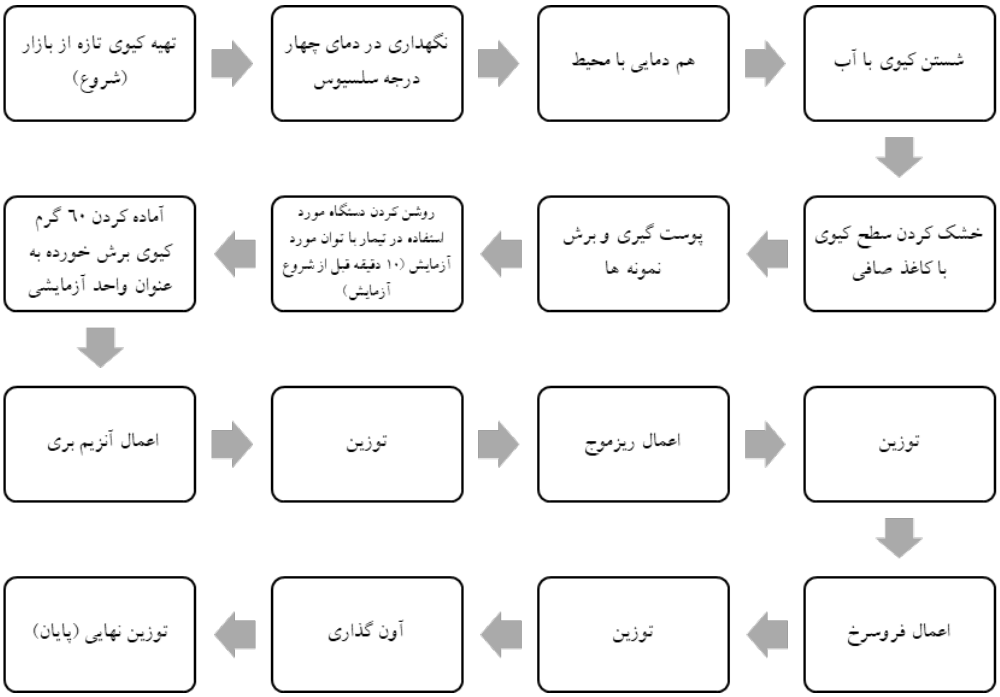
۲-۲- تیمارهای آزمایش

هر تیمار از ۵ عامل تشکیل‌شده که هر یک از عوامل دارای دو سطح است (جدول ۱). بدین ترتیب مجموعاً ۳۲ تیمار به‌دست‌آمده است.

جدول ۱-معرفی عوامل و سطوح آنها در آزمایش

عامل	نماد عامل	نماد سطح عامل	مقدار سطوح عوامل
توان فروسرخ	P	P_0	۲۵۰ وات
		P_1	۷۵۰ وات
زمان فروسرخ	T	T_0	۱۰ دقیقه
		T_1	۲۰ دقیقه
توان ریزموج	Q	Q_0	۲۰۰ وات
		Q_1	۴۰۰ وات
زمان ریزموج	R	R_0	۲ دقیقه
		R_1	۴ دقیقه
آنزیم بری	B	B_0	وجود
		B_1	عدم وجود

پس از آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها، به مقدار ۱±۶۰ گرم کیوی برش داده شده به‌عنوان واحد آزمایشی برای هر آزمایش توزین شد. در پایان و پس از اعمال هر پیش تیمار واحد آزمایشی مجدداً به مدت ۴ ساعت و دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرارداده شد تا اثرگذاری تیمارها تعیین شود. به‌منظور افزایش دقت در داده‌برداری‌ها، قبل از شروع هر آزمایش دستگاه خشک‌کن به مدت ۱۰ دقیقه روشن شد. بهترین تیمار با توجه به انرژی مصرفی ویژه به‌عنوان متغیر وابسته انتخاب شد. در شکل ۱ روند انجام آزمایش‌ها نشان‌داده‌شده است.



شکل ۱- نمودار جریان آزمایش

جهت انجام عملیات آنزیم بری در این مطالعه، دستگاهی در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه گیلان طراحی و ساخته شد. این دستگاه شامل محفظه‌ای به حجم ۵ لیتر از جنس پلی‌اتیلن، المنت دما ساخت شرکت اتحاد مدل ۲۰۰۰، کنتاکتور هیوندا[1] مدل UMC12، کنترلر دما شیوا امواج مدل B215 و یک حسگر دما مدل K2M است. حسگر دما در تماس با آب موجود در مخزن است و دمای آب توسط آن اندازه‌گیری شده و به یک واحد قابل خواندن تبدیل می‌شود. کنترلر دما سیگنال‌های الکتریکی را از حسگر دریافت نموده و مقدار حرارت داخل مخزن آب را نشان می‌دهد. کنترلر دما وظیفه تنظیم و نظارت بر کنترل دما را بر عهده دارد. کنترل دما به معنای ثابت نگه‌داشتن دما است که این کار به کمک کنتاکتور با قطع و وصل مدار که باعث خاموش و روشن‌شدن المنت می‌شود صورت می‌گیرد. المنت وظیفه گرمایش آب را بر عهده دارد که در داخل مخزن و در تماس با آب قرار دارد. کنترلر برای انجام عملیات آنزیم بری تنظیم شد. دمای آب به مدت ۱ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس ثابت مانده و در این مدت‌زمان، نمونه‌ها آنزیم بری شدند.

خشک‌کردن با روش فروسرخ، با استفاده از یک دستگاه خشک‌کن فروسرخ (شکل ۲) که در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه گیلان طراحی و ساخته‌شده بود انجام گرفت. ابعاد خارجی این خشک‌کن ۵۰ سانتی‌متر طول، ۵۰ سانتی‌متر عرض و ۵۰

[1]HYUNDAI

سانتی‌متر ارتفاع بود. بدنه داخلی دستگاه از جنس استیل ۳۰۴ باضخامت ۰/۵ میلی‌متر بود. جداره بیرونی دستگاه نیز از جنس ورق آهن با ضخامت ۱ میلی‌متر ساخته شد. بین دوجداره دستگاه از عایق پشم سنگ پانلی با ضخامت ۳ سانتی‌متر و دانسیته ۸۰ استفاده شد تا عایق‌بندی مناسبی جهت حفظ گرمای درون محفظه خشک‌کن ایجاد کند. دستگاه به سه عدد لامپ نور فروسرخ E27 ۲۵۰ واتی جهت خشک‌کردن و همچنین یک کنترل کننده زمان جهت ارسال فرمان خاموش شدن به لامپ‌ها مجهز شد. یک فن در قسمت پشت محفظه نصب‌شده که جهت تخلیه هوای مرطوب از آن استفاده می‌شود. این فن در کل زمان انجام فرایند خشک‌کردن در حال کار است. دستگاه قابلیت تنظیم ارتفاع جهت تغییر فاصله لامپ فروسرخ از سطح نمونه دارد. هر لامپ دارای کلید مجزا برای خاموش و روشن‌شدن است که خشک‌کن را از مزیت خشک کنی با سه توان متفاوت بهره‌مند می‌سازد.دستگاه ریزموج مورداستفاده جهت خشک‌کردن ورقه‌های کیوی نیز از شرکت ویکتور[1] ساخت کشور انگلستان بود.

شکل ۲- خشک‌کن فروسرخ

۲- ۳- محاسبه انرژی مصرفی ویژه

برای محاسبه میزان انرژی ویژه مصرفی خشک‌کردن، برای دفع یک کیلوگرم آب از روابط ۲ تا ۴ استفاده شد (۳۴):

رابطه ۲)

$$SEC_{blanch} = \frac{P_{blanch} \times T_{blanch}}{M_{blanch}}$$

[1]Victor

که در آن، SEC_{blanch}=انرژی ویژه مصرفی آنزیم بری (کیلووات ساعت بر کیلوگرم)، P_{blanch}=توان آنزیم بری (کیلووات)، T_{blanch}=زمان آنزیم بری (ساعت)، M_{blanch}=جرم آب ازدست‌رفته طی آنزیم بری (کیلوگرم).

رابطه ۳)
$$SEC_{mic} = \frac{P_{mic} \times T_{mic}}{M_{mic}}$$

که در آن، SEC_{mic}=انرژی ویژه مصرفی ریزموج (کیلووات ساعت بر کیلوگرم)، P_{mic}=توان ریزموج (کیلووات)، T_{mic}=زمان ریزموج (ساعت)، M_{mic}=جرم آب ازدست‌رفته طی ریزموج (کیلوگرم).

رابطه ۴)
$$SEC_{IR} = \frac{P_{IR} \times T_{IR}}{M_{IR}}$$

که در آن، SEC_{IR}=انرژی ویژه مصرفی فروسرخ (کیلووات ساعت بر کیلوگرم)، P_{IR}=توان فروسرخ (کیلووات)، T_{IR}=زمان فروسرخ (ساعت)، M_{IR}=جرم آب ازدست‌رفته طی فروسرخ (کیلوگرم). سپس برای تبدیل کیلووات‌ساعت بر کیلوگرم به مگاژول بر کیلوگرم مقدار انرژی ویژه مصرفی را در عدد ۳/۶ ضرب کرده و از این واحد استفاده شد.

با توجه به اهیمت کیفیت محصول نهایی پس از خشک کردن، بهتر است نتایج ارزیابی خصوصیات کیفی نمونه‌های کیوی خشک شده نیز آورده و مقایسه شوند. تنها از روی توان دستگاه و انرژی مصرفی نمی‌توان در خصوص خوب یا بد بودن روش و یا دستگاهای تصمیم گرفت.

۲- ۴- طراحی آزمایش‌ها

جهت انجام آزمایش‌های مربوط به بخش تیمار از طرح فاکتوریل اختلاط یافته (اختلاط ناقص-اختلاط مرکب) در قالب بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد (۲۹). محصول به عنوان عامل بلوک‌بندی انتخاب شد. در مجموع با ترکیب عوامل مورد بررسی ۳۲ تیمار به دست آمد و با سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. دو تیمار $P_1T_0Q_0R_1B_1$ و $P_1T_0Q_0R_0B_1$ که از اهمیت کمتری برخوردار بودند، مورد اختلاط قرار گرفتند. بررسی‌ها در نرم‌افزار IBMSPSS 26 انجام شد. برای استفاده از روش پارامتری در تحلیل داده‌ها و انجام محاسبات و استنباط آماری در ابتدا نیاز به انجام آزمون نرمال بودن داده[1] است تا توزیع نرمال

[1] Normality Test

داده‌ها تأیید شود. برای این بررسی از نتایج آزمون شاپیروویلک[1] استفاده شد. برای انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها و همچنین نرمال‌سازی داده‌های غیر نرمال از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 26 استفاده شد. برای مقایسه میانگین اثرات دوگانه و سه‌گانه از آزمون تعقیبی توکی[2] در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

جرم نمونه کیوی پس از آون گذاری به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲±۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، از ۲۳۵/۳۰ گرم به ۳۴/۲۰ گرم رسید. محتوای رطوبتی کیوی ۵۸۶/۸۱ درصد محاسبه شد. رطوبت اولیه کیوی ۵/۸۷ گرم آب به ازای هر گرم ماده خشک به دست آمد. نتیجه آزمون شاپیرو ویلک نشان داد که انرژی ویژه مصرفی محاسبه‌شده با استفاده از اعداد برداشت‌شده دارای توزیع نرمال نیست. پس از نرمال‌سازی داده‌ها آزمون تجزیه واریانس انجام شد. نتایج تجزیه واریانس در جدول ۲ آورده شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر هر پنج عامل توان فروسرخ، زمان فروسرخ، توان ریزموج، زمان ریزموج و آنزیم بری در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است که این به معنای تأثیرگذاری این عوامل، به‌تنهایی، بر انرژی ویژه مصرفی است. افزایش توان و زمان فروسرخ باعث افزایش میزان انرژی مصرفی ویژه، افزایش توان و زمان ریزموج باعث کاهش میزان انرژی مصرفی ویژه و انجام فرایند آنزیم بری نیز سبب کاهش انرژی مصرفی ویژه شد. عباسپور گیلانده و همکاران (۳۰) تأثیر افزایش توان ریزموج بر انرژی ویژه مصرفی فرایند خشک‌کردن توت سفید را بررسی کردند که به نتایجی مشابه دست یافتند.

توان فروسرخ در دو سطح ۲۵۰ و ۷۵۰ وات موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که افزایش توان ریزموج باعث افزایش سرعت خروج رطوبت از میوه و به‌تبع آن کاهش زمان خشک شدن شده است. هر چه فرایند خروج رطوبت در مدت زمان کمتری اتفاق بیافتد، تغییرات رنگ کاهش می یابد. لذا در این مورد تغییر رنگ کمتر بود. افزایش توان ریزموج همچنین باعث افزایش دمای درون محفظه خشک‌کن و انتقال بیشتر جرم و کاهش رطوبت شدیدتر است (۲۶). آزادبخت و همکاران (۱) دریافتند که با افزایش مقدار توان ریزموج، میزان بهره‌وری انرژی افزایش می‌یابد. همچنین در مطالعه‌ای، خفاجه و همکاران (۹) از روش ریزموج برای خشک‌کردن توت سفید استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش توان ریزموج، انرژی مصرفی ویژه کاهش می‌یابد. است که افزایش توان فروسرخ سبب افزایش انرژی ویژه مصرفی شده است. افزایش انرژی مصرفی ویژه کاهش زمان ازدست‌دادن رطوبت را به دنبال دارد. نتایج مطالعه دیگری نیز نشان داد که مقدار کاهش وزن ورقه‌های نازک هلو با افزایش

[1] Shapiro-Wilks
[2] Tukey's HSD

توان لامپ فروسرخ افزایش یافت (۱۶). به‌طور مشابه این نتایج در مورد محصول توت‌فرنگی گزارش شد (۱۸). در نتایج مشابهی دل‌انگیز و همکاران (۱۲) نیز نشان دادند زمان خشک شدن ورقه‌های قارچ خوراکی-دارویی شیتاکه به‌طورمعنی‌داری تحت تأثیر توان فروسرخ بوده است، چون با بالا رفتن توان، میزان گرمای منتقل‌شده به نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. افزایش توان لامپ فروسرخ باعث بالا رفتن دمای هوا در خشک‌کن می‌شود که هم‌زمان با افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا سرعت تبخیر سطحی نمونه‌ها را نیز به دنبال دارد (۱۶). در مطالعه‌ای دیگر، خشک‌کردن کیوی با افزایش توان لامپ فروسرخ سرعت بیشتری پیدا کرد (۲). علاوه بر آن اثر دوگانه زمانِ فروسرخ-توانِ ریزموج، زمانِ فروسرخ- آنزیم بری، توانِ ریزموج-آنزیم بری و زمانِ ریزموج-آنزیم بری و همچنین اثر سه‌گانه توانِ فروسرخ-زمانِ فروسرخ-آنزیم بری و توانِ فروسرخ-توانِ ریزموج-آنزیم بری با سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار شدند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	آمارهF
مدل اصلاح‌شده	[a]۴۶۹۱/۷۰۷	۳۱	۱۲۲/۸۹۰
عرض از مبدأ مدل	۳۹۰۷۱/۲۰۰	۱	۳۱۷۲۵/۲۶۱
P توان فروسرخ	۲۵۴۵/۶۶۸	۱	۲۰۶۷/۰۴۶**
T زمان فروسرخ	۸۰۴/۳۰۴	۱	۶۵۳/۰۸۳**
Q توان ریزموج	۵۱۸/۶۴۵	۱	۴۲۱/۱۳۲**
R زمان ریزموج	۱۱۷/۰۳۷	۱	۹۵/۰۳۲**
B آنزیم بری	۵۸۳/۶۹۱	۱	۴۷۳/۹۴۸**
P*T	۱/۶۲۳	۱	ns۱/۳۱۸
P*Q	۰/۳۹۲	۱	ns۰/۳۱۸
P*R	۱/۱۱۶	۱	ns۰/۹۰۶
P*B	۰/۶۳۳	۱	ns۰/۵۱۴
T*Q	۱۰/۰۸۰	۱	۸/۱۸۵**
T*R	۰/۰۹۳	۱	ns۰/۰۷۶
T*B	۴/۹۷۰	۱	۴/۰۳۵**

Q*R	۰/۰۵۴	۱	^{ns}۰/۰۴۳
Q*B	۴۴/۸۷۸	۱	۳۶/۴۴۰**
R*B	۱۵/۷۶۴	۱	۱۲/۸۰۰**
P*T*Q	۱/۳۵۰	۱	^{ns}۱/۰۶۹
P*T*R	۰/۸۳۸	۱	^{ns}۰/۶۸۰
P*T*B	۱۴/۳۰۹	۱	۱۱/۶۱۹**
P*Q*R	۴/۷۶۱	۱	^{ns}۳/۸۶۶
P*Q*B	۷/۳۳۲	۱	۵/۹۵۳**
P*R*B	۲/۵۰۱	۱	^{ns}۲/۰۳۱
T*Q*R	۰/۴۲۹	۱	^{ns}۰/۳۴۸
T*Q*B	۱/۵۱۵	۱	^{ns}۱/۲۳۰
T*R*B	۲/۲۶۹	۱	^{ns}۱/۸۴۳
Q*R*B	۱/۴۱۵	۱	^{ns}۱/۱۴۹
P*T*Q*R	۰/۱۵۵	۱	^{ns}۰/۱۲۶
P*T*Q*B	۰/۰۱۵	۱	^{ns}۰/۰۱۲
P*T*R*B	۰/۱۹۰	۱	^{ns}۰/۱۵۴
P*Q*R*B	۰/۴۶۹	۱	^{ns}۰/۳۸۱
T*Q*R*B	۲/۰۸۷	۱	^{ns}۱/۶۹۴
P*T*Q*R*B	۳/۱۲۶	۱	^{ns}۲/۵۳۸
خطا	۷۸/۸۱۹	۶۴	
مجموع	۴۳۸۴۱/۷۲۶	۹۶	
مجموع اصلاح‌شده	۴۷۷۰/۵۲۶	۹۵	

a. ضریب تعیین= ۰/۹۸۳(ضریب تعیین تعدیل‌شده= ۰/۹۷۵)

^{ns} عدم وجود تفاوت معنی‌دار، ** وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد

۳-۱- مقایسه میانگین تیمارها

آزمون مقایسه میانگین‌های اثرات عوامل اصلی، دوگانه و سه‌گانه که با توجه به تحلیل واریانس معنی‌دار شدند، به‌عنوان آزمون تعقیبی انجام گرفت. مقایسه میانگین‌های دو سطح هر عامل اصلی به روش t مستقل انجام گرفت. پس از اثبات فرض تساوی واریانس دو سطح هر عامل با توجه به مقدار آزمون لون[1]، نتایج آزمون t مستقل در جدول ۳ ارائه گردیده است.

[1] Levene'sTest

جدول ۳- مقایسه میانگین با آزمون t مستقل

عامل	سطح	میانگین	انحراف معیار	مقدار آزمون لون	سطح معنی‌داری
توان فروسرخ	۲۵۰ وات	۱۵/۰۲	۴/۷۷	۰/۸۰۱	۰/۰۰**
	۷۵۰ وات	۲۵/۳۲	۴/۹۶		
زمان فروسرخ	۱۰ دقیقه	۱۷/۲۸	۶/۶۰	۰/۸۷۹	۰/۰۰**
	۲۰ دقیقه	۲۳/۰۷	۶/۳۸		
توان ریزموج	۲۰۰ وات	۲۲/۵۰	۶/۸۱	۰/۹۹۴	۰/۰۱**
	۴۰۰ وات	۱۷/۸۵	۶/۶۴		
زمان ریزموج	۲ دقیقه	۲۱/۲۸	۷/۲۷	۰/۷۷۳	ns۰/۱۲۸
	۴ دقیقه	۱۹/۰۷	۶/۷۹		
آنزیم بری	وجود	۱۷/۷۱	۶/۴۱	۰/۶۲۷	۰/۰۰**
	عدم وجود	۲۲/۶۴	۶/۹۳		

ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار** وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد

با توجه به جدول ۳، برای عوامل توان فروسرخ، زمان فروسرخ، توان ریزموج و آنزیم بری مقدار احتمال کمتر از ۰/۰۵ است؛ لذا فرض برابری میانگین‌های دو سطح یک و دو این عوامل رد شده و بین این سطوح اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بدین ترتیب بین سطح ۲۵۰ و ۷۵۰ وات در عامل توان فروسرخ، سطح ۱۰ و ۲۰ دقیقه در زمان فروسرخ، سطح ۲۰۰ و ۴۰۰ وات توان ریزموج و انجام و عدم انجام فرایند آنزیم بری اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. محققان دیگر نیز نشان دادند با افزایش توان لامپ فروسرخ در نمونه‌های زردآلو و محصول هل، مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن به‌طورمعنی‌داری کاهش می‌یابد (۱۳ ;۱۷). در مطالعاتی که از روش فروسرخ استفاده می‌شود معمولاً اثر توان فروسرخ و فاصله منبع پرتودهی سنجیده می‌شود. سطوح توان مورداستفاده در مطالعه حاضر به‌گونه‌ای انتخاب شد که کمتر در مطالعات پیشین موردبررسی قرارگرفته بود. در رابطه با اثر فاصله تا منبع نور نیز چون مطالعات مشخصی در این رابطه قبلاً انجام‌شده بود، بهترین فاصله که در مطالعات قبلی گزارش‌شده بود در تحقیق حاضر مورداستفاده قرار گرفت تا از دوباره‌کاری جلوگیری شود. در این رابطه می‌توان به مطالعه‌ای اشاره کرد که

تأثیر توان لامپ پرتودهی در سه سطح ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ وات در فواصل ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متری از سطح محصول بر سینتیک انتقال جرم، ضریب نفوذ رطوبت، دانسیته، تغییر رنگ، بافت و آبگیری مجدد میوه کیوی را بررسی کرد. نتایج آن‌ها نشان داد تغییر توان لامپ و فاصله از سطح محصول تأثیرمعنی‌داری بر سینتیک افت رطوبت و زمان خشک‌کردن دارند (۲). سطوح موردبررسی در مطالعه حاضر ۲۵۰ و ۷۵۰ وات انتخاب شد تا بتواند نتایج تحقیقات قبلی را کامل‌تر کند.

همچنین نتایج بررسی میانگین سطوح زمان ریزموج نشان داد، بین سطح ۲ دقیقه و ۴ دقیقه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در مطالعه مشابهی اثرات تغییر توان و زمان ریزموج بر مصرف انرژی ویژه خشک‌کردن کیوی بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که افزایش توان ریزموج و زمان تأثیر مستقیمی بر کاهش مصرف انرژی ویژه خشک‌کردن میوه کیوی دارد. به‌عبارت‌دیگر، با افزایش توان ریزموج و زمان، می‌توان مصرف انرژی ویژه را کاهش داد.

به حداقل رساندن هزینه انرژی یک چالش برای هر فرآیندی است که برای خشک‌کردن میوه‌ها نیزدر نظر گرفته می‌شود (۳۱). تیمارهایی با کمترین مقدار مصرف انرژی ویژه، هزینه کمتری نیز به دنبال خواهند داشت. طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات دوگانه با استفاده از آزمون توکی در سطح ۵ درصد (جدول ۴)، در عامل TQ، T_0Q_1ازلحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار با گروه‌های دیگر بوده و درعین‌حال دارای کمترین میزان انرژی مصرفی ویژه است. در عامل TB، T_0B_0 ازلحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار با گروه‌های دیگر بوده و همچنین دارای کمترین میزان انرژی مصرفی ویژه است. در عامل QB، Q_0B_1 از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار با گروه‌های دیگر بوده و دارای بیشترین میزان انرژی مصرفی ویژه است. در عامل RB، R_1B_0، R_0B_0 و R_1B_1 به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دارگروه‌ها در یک گروه آماری (a) یا در یک دسته قرار گرفتند و دارای کمترین میزان انرژی مصرفی ویژه هستند.

جدول ۴-مقایسه میانگین اثرات دوگانه با آزمون توکی

اثرات دوگانه	تیمار			
TQ	$T_1Q_0{}^{b}$	$T_1Q_1{}^{ab}$	$T_0Q_0{}^{a}$	T_0Q_1
TB	$T_1B_1{}^{b}$	$T_1B_0{}^{ab}$	$T_0B_1{}^{a}$	T_0B_0
QB	Q_0B_1	$Q_1B_1{}^{a}$	$Q_0B_0{}^{a}$	$Q_1B_0{}^{a}$
RB	$R_0B_1{}^{b}$	$R_1B_1{}^{ab}$	$R_0B_0{}^{a}$	$R_1B_0{}^{a}$

طبق نتایج مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه با استفاده از آزمون توکی (جدول ۵)، در عامل PTB، $P_0T_0B_0$ و $P_1T_1B_1$ به‌صورت جداگانه دارای اختلاف معنی‌دار با گروه‌های دیگر بوده و $P_0T_0B_0$ دارای کمترین و $P_1T_1B_1$ دارای بیشترین میزان انرژی مصرفی است. در عامل PQB، $P_1Q_0B_1$ دارای اختلاف معنی‌دار با گروه‌های دیگر بوده و نیز بیشترین میزان انرژی مصرفی را در مقایسه با گروه‌های دیگر این عامل دارا است.

جدول ۵-مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه با آزمون توکی

اثرات سه‌گانه	تیمار							
PTB	$P_0T_0B_0$	$P_0T_0B_1^{a}$	$P_0T_1B_0^{ab}$	$P_0T_1B_1^{bc}$	$P_1T_0B_0^{c}$	$P_1T_0B_1^{d}$	$P_1T_1B_0^{d}$	$P_1T_1B_1$
PQB	$P_0Q_1B_0^{a}$	$P_0Q_1B_1^{a}$	$P_0Q_0B_0^{a}$	$P_0Q_0B_1^{b}$	$P_1Q_1B_0^{bc}$	$P_1Q_0B_0^{bc}$	$P_1Q_1B_1^{c}$	$P_1Q_0B_1$

پس از بررسی جدول تجزیه واریانس، اثر هر پنج متغیر مستقل توان فروسرخ، زمان فروسرخ، توان ریزموج، زمان ریزموج و آنزیم بری بر انرژی مصرفی ویژه معنی‌دار شد. پس از مقایسه میانگین تیمارهای معنی‌دار شده با توجه به جدول ۳، تیمار $P_0T_0B_0$ (توان فروسرخ (۲۵۰وات)، زمان فروسرخ (۱۰ دقیقه و آنزیم بری (باشد)) که دارای کمترین مقدار انرژی مصرفی ویژه به میزان ۹/۲۶ مگاژول بر کیلوگرم است، به‌عنوان بهترین تیمار انتخاب شد. با توجه به این نتیجه، دریافت می‌شود که وجود یا عدم وجود روش ریزموج با سطوح توان و زمان انتخابی، تفاوتی در میزان انرژی مصرفی ویژه در روند خشک‌کردن محصول کیوی ایجاد نمی‌کند، لذا می‌توان این عامل را در انجام آزمایش‌ها خارج نمود. علاوه بر انرژی مصرفی ویژه، شیخانی نژاد فلاح و همکاران (۱۵) به بررسی انرژی مصرفی کل، زمان خشک شدن و یکنواختی خشک شدن ورقه‌های کیوی پرداخته‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، اثر روش‌های مختلف خشک کردن کیوی با تاکید بر میزان انرژی مصرفی به ازای واحد محصول خشک شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد افزایش توان و زمان فروسرخ باعث افزایش میزان انرژی مصرفی ویژه، افزایش توان و زمان ریزموج، باعث کاهش میزان انرژی مصرفی ویژه و انجام فرایند آنزیم بری نیز سبب کاهش میزان انرژی مصرفی ویژه شد. باتوجه به نتایج به دست آمده روش ریزموج با توان و زمان انتخاب‌شده جهت خشک‌کردن میوه کیوی در این مطالعه اثرات معنی

داری به همراه نداشت. بهترین تیمار با توجه به مقدار انرژی مصرفی ویژه کمتر، توان فروسرخ (۲۵۰ وات)، زمان فروسرخ (۱۰ دقیقه) و وجود عملیات آنزیم بری است. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، عوامل دیگری نیز به‌عنوان متغیر مستقل مدنظر قرار گیرد مانند اثر مواد پوششی مختلف و پیش تیمارهای دیگر. در عین حال، می‌توان سطوح مختلفی از زمان و توان ریزموج دیگر که در این مطالعه بررسی نشد را برای آزمایش‌ها انتخاب کرد. یافته‌های این تحقیق می‌تواند به محققان و کشاورزان در زمینه خشک کردن کیوی کمک کند تا با استفاده از روش‌های مناسب، انرژی مصرفی را کاهش داده و باعث افزایش توجیه اقتصادی خشک کردن کیوی ر زنجیره ارزش محصول کیوی به ویژه در استان گیلان شوند.

۵- سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مادی و معنوی دانشگاه گیلان انجام‌شده است. بدین وسیله مراتب قدردانی به عمل می‌آید.

۶- منابع

۱. آزادبخت محسن، نوشاد فاطمه، محمودی محمدجواد، قزاق جاهد رضا. تحلیل انرژی خشک‌کن مایکروویو با پیش‌تیمار اهمیک و بلانچینگ در خشک کردن هویج. *نشریه علوم و فناوری مواد غذایی (ایران)*. ۱۳۹۸؛ ۱۶(۹۴): ۱۹۶-۱۸۷.

۲. آیدانی عماد، حدادخداپرست محمدحسین، کاشانی نژاد مهدی. بررسی خصوصیات کیوی خشک شده با سامانه مادون قرمز و مدل سازی فرآیند. *علوم غذایی و تغذیه*. ۱۳۹۶؛ ۱۴(۵۶): ۶۶-۵۳.

۳. احمدی قویدلان مریم، امیری چایجان رضا. بهینه سازی خشک کردن مغز فندق در خشک کن مادون قرمز با پیش تیمار مایکروویو به کمک روش سطح پاسخ. *علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۶؛ ۱۴(۶۴): ۱۶۵-۱۷۸.

۴. اشراقی الهه، کاشانی نژاد مهدی، مقصودلو یحیی، بیرقی طوسی شهرام، اعلمی مهران. بررسی اثر پیش‌تیمار ترکیبی اسمز -فراصوت روی خشک‌شدن ورقه‌های کیوی. *مجله پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۲؛ ۴ (۹): ۲۷۳-۲۷۹. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v9i4.31332

۵. امیری مریم، توکلی‌پور حمید، احمدی کمازانی ندا. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نوشیدنی فراسودمند کیوی حاوی سبوس برنج. *نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی*. ۱۳۹۴؛ ۷(۲۵): ۴۴-۳۵.

۶. جعفری حسن، کلانتری داود، آزادبخت محسن. بررسی نرخ تغییر رطوبت و درصد شکستگی دانه های شلتوک با استفاده از خشک کن مایکروویو. *فناوری‌های جدید در صنعت غذا*. ۱۳۹۴؛ ۲ (۴): ۷۴-۶۳. https://doi.org/10.22104/JIFT.2015.204

۷. جنت خواه جواد، غائبی هادی، نجفی بهمن. طراحی، ساخت و ارزیابی یک خشک کن خورشیدی تجهیزشده با مواد تغییرفاز دهنده. *تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی*. ۱۳۹۶؛ ۱۸ (۶۸): ۱۰۶-۸۹. https://doi.org/10.22092/erams.2017.106302.1092

۸. حسنی علی، خوش تقاضا محمدهادی، عبادی محمدتقی. تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن مایکروویو، سایه و آفتاب بر خصوصیات کیفی میوه سماق (Rhus coriaria L.) . *تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۱۳۹۹؛ ۳۶ (۱): ۱۵۴-۱۴۲. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2019.125302.2511

۹. خفاجه حمید، بناکار احمد، زارعین محمد، خوش تقاضا محمدهادی. بررسی سینتیک و انرژی مصرفی خشک کردن توت سفید در خشک کن مایکروویو. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۳؛ ۱۱ (۴۵): ۱۵۰-۱۴۳.

۱۰. خلقی اشکلک علی، قاسم نژاد محمود، فتوحی قزوینی رضا، صبوری، عاطفه. مطالعه درصد بازشدن جوانه‌های زمستانه و بروز میوه‌های بدشکل در تاکستان‌های کیوی رقم هایوارد در استان گیلان. *پژوهش‌های تولید گیاهی*. ۱۴۰۰؛ ۲۸ (۲): ۱۸۱-۱۶۷. https://doi.org/10.22069/jopp.2021.18070.2678

۱۱. خیاطی ساسان، امیری چایجان رضا. پیش‌بینی برخی خصوصیات حرارتی، فیزیکی و مکانیکی میوه بنه پس از خشک‌کردن با خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۵؛ ۱۳ (۵۲): ۱۷۲-۱۶۱.

۱۲. دل انگیز مطهره، شهیری طبرستانی مائده، موقرنژاد کامیار. خشک‌کردن قارچ شیتاکه با استفاده از خشک‌کن ترکیبی هوای گرم- فروسرخ. *مهندسی شیمی ایران*. ۱۴۰۲؛ ۲۲ (۱۲۷): ۵۴-۳۹. https://doi.org/10.22034/ijche.2022.329279.1179

۱۳. ساترابی مریم، صالحی فخرالدین، رسولی مجید. بررسی اثر پوشش‌دهی با صمغ‌های گزانتان و دانه بالنگو بر زمان خشک شدن برش‌های زردآلو در سامانه فروسرخ. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۴۰۰؛ ۱۸ (۱۱۱): ۳۰۳-۲۹۵.

۱۴. شکوهی زهرا، صحنه بهمن، نجفی کانی، علی اکبر. نقش صنایع تبدیلی و تکمیلی (فرآوری محصولات خرما) در بهبود معیشت پایدار خانوارهای روستایی (موردمطالعه: روستاهای قیر و کارزین). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. ۱۳۹۹؛ ۱۲ (۴۶): ۵۲-۳۱.

۱۵. شیخانی نژاد فلاح زهرا، زنگنه مرتضی، بنائیان نرگس. ارزیابی شاخص‌های انرژی خشک‌کردن کیوی در خشک کن نیمه صنعتی بستر ثابت مجهز به مواد تغییر فاز دهنده. *تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی*. ۱۴۰۱؛ ۲۳ (۸۴): ۹۰-۷۳. https://doi.org/10.22092/amsr.2023.362142.1449

۱۶. صالحی فخرالدین، حسینی قابوس حسین. مدل سازی فرآیند خشک کردن هلو توسط خشک کن فروسرخ به روش الگوریتم ژنتیک. *علوم غذایی و تغذیه*. ۱۳۹۸؛ ۱۶(۶۳): ۲۶-۱۷.

۱۷. صالحی فخرالدین، ساترابی مریم. مدل‌سازی فرآیند خشک کردن برش‌های هلو پوشش داده‌شده با صمغ‌های دانه ریحان و گزانتان با سامانه فروسرخ. *پژوهش‌های صنایع غذایی*. ۱۴۰۱؛ ۳۲ (۳): ۲۸-۱۷. https://doi.org/10.22034/fr.2022.41996.1763

۱۸. صالحی فخرالدین، گوهری اردبیلی اشرف، نعمتی آذر، لطیفی داراب راضیه. مدلسازی فرآیند خشک کردن توت فرنگی توسط خشک کن فروسرخ به روش الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی مصنوعی. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۶؛ ۱۴ (۶۹): ۱۰۵-۱۱۴.

۱۹. صفری میثم، امیری چایجان رضا، علائی بهنام. مدل سازی برخی ویژگیهای مغز بادام در خشک‌کن پیوسته نیمه‌صنعتی. *مجله علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۶؛ ۱۴ (۶۵): ۲۵-۳۷.

۲۰. طباطبایی کلور رضا، محمدی ایمان، متولی علی. بررسی برخی پارامترهای کیفی و ترمودینامیکی خشک‌کردن ورقه‌های کیوی در یک خشک‌کن بازگردشی مجهز به پمپ حرارتی. *مهندسی بیوسیستم ایران*. ۱۳۹۸؛ ۵۰ (۲): ۳۴۲-۳۳۱. https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.257420.665060

۲۱. طبایی آزاده، حزباوی عیسی، شهبازی فیض اله. مدل سازی و بهینه سازی خشک کردن میوه خرمالو به روش سطح پاسخ. *علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۹؛ ۱۷ (۹۸): ۱۱۹-۱۰۹.

۲۲. عابدی اصغر. اقتصادی کردن و بهینه سازی فرآیند خشک کردن ورقه های کیوی پیش تیمار شده با دز پرتودهی به روش سطح پاسخ در ترکیب با روش تحلیل مولفه‌های اصلی. *علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۸؛ ۱۶ (۹۰): ۱۵۱-۱۴۱.

۲۳. غلامی پرشکوهی محمد، مرزانژاد الیاس، احمدبیگی امیرحسین، سلیمی بنی مهرداد. تاثیر تغییرات دما و سرعت هوا بر فرآیند خشک کردن بادام زمینی در خشک کن هوای داغ. *علوم غذایی و تغذیه*. ۱۳۹۷؛ ۱۵(۵۹): ۱۱۵-۱۰۷.

۲۴. فدایی میترا، حسینی قابوس حسین، بهشتی بابک. ویژگی‌های خرمالو خشک شده با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی. *علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۹؛ ۱۷ (۱۰۰): ۱۸۹-۲۰۰.

۲۵. کاوه محمد. بکارگیری روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در بررسی و تخمین برخی مشخصه‌های خشک‌کردن بادنجان و شلغم در یک خشک‌کن ترکیبی مایکروویو- همرفتی. *علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۶؛ ۱۴ (۷۰): ۲۷-۴۵.

۲۶. کاوه محمد، جهانبخشی احمد، گل پور ایمان، مصری گندشمن ترحم، عباسپور گیلانده یوسف، جاهدی راد شاهپور. پیش بینی سینتیک خشک کردن توت سفید در خشک کن مایکروویو- هوای داغ: مقایسه بین مدل های ریاضی، شبکه های عصبی مصنوعی و انفیس. *علوم و صنایع غذایی ایران*. ۱۳۹۸؛ ۱۶ (۸۸): ۲۱۹-۲۰۱.

۲۷. کرمی آیت اله، فاریابی مینا، احمدوند مصطفی. تحلیل پیامدهای استقرار صنایع تبدیلی و تکمیلی بخش کشاورزی مورد: بخش مرکزی شهرستان جیرفت. *اقتصاد فضا و توسعه روستایی*. ۱۳۹۸؛ ۸ (۲۸): ۲۳۸-۲۲۳.

۲۸. ورطه پرور وحید، کیانمهر محمدحسین، عرب حسینی اکبر، و حسن بیگی رضا. تحلیل انرژی خشک کن ترکیبی بستر سیال – ثابت. *نوآوری در علوم و فناوری غذایی*. ۱۳۹۲؛ ۵ (۱۸): ۲۵-۱۷.

۲۹. یزدی صمدی، ب. رضایی، ا. و ولی زاده، م. ۱۳۸۷. طرحهای آماری در تحقیقات کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۱۹۷-۱۷۰.

30. Abbaspour-Gilandeh Y, Jahanbakhshi A, Kaveh M. Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Science and Nutrition*. 2020; 8(1): 594-611. https://doi.org/10.1002/fsn3.1347

31. Chandra Das P, Baik O, Tabil L. Microwave-infrared drying of cannabis (Cannabis sativa L.): Effect on drying characteristics, energy consumption and quality. *Industrial Crops and Products*. 2024; 211: 118215. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118215.

32. Garba U, Kaur S, Gurumayum S, Rasane P. Effect of hot water blanching time and drying temperature on the thin layer drying kinetics and anthocyanin degradation of black carrot (Daucus carota L.) shreds. *Food Technol Biotechnol*. 2015; 53(3): 314-322. https://doi.org/10.17113/FTB.53.03.15.3830

33. Taghinezhad E, Kaveh M, Szumny A. Thermodynamic and quality performance studies for drying kiwi in hybrid hot air-infrared drying with ultrasound pretreatment. *Applied Sciences.* 2021; 11(3): 1297. https://doi.org/10.3390/app11031297
34. Ye L, El-Mesery H.S, Ashfaq M.M, Shi Y, Zicheng H, Alshaer W.G. Analysis of energy and specific energy requirements in various drying processes of mint leaves. *Case Studies in Thermal Engineering.* 2021; 26:101113. https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101113
35. Yousefi G, Emam Jomeh Z, Karami Z. Modeling and optimization of effective factors in drying on quality properties of black raspberry (Rubus fruticosus L.) with response surface methodology. *Food Science and Technology*. 2015; 13(1): 53-65.

Specific Energy Consumption Analysis in Drying Kiwifruit Process by Infrared Method

Zahra Sheykhani Nejad Fallah [1], Morteza Zangeneh [2*] , Narges Banaeian [2]

1. MSc. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail:

Abstract

The drying of fruits is an integral part of the transformation industry and serves as a method for the long-term preservation of products. Some of the primary challenges associated with the drying process of agricultural products include high energy consumption and extended drying times. By properly designing the dryer, selecting appropriate treatments, and effectively controlling the drying process, it is possible to enhance the quality of the dried materials while also reducing the operational costs associated with drying. Energy consumption during the drying of kiwi is influenced by the amount of energy utilized. Each treatment comprises five factors, each with two levels, resulting in a total of 32 treatments. Infrared drying was conducted using an infrared dryer specifically designed and constructed for this study. This research was carried out as a mixed factorial experiment (incomplete mixing) following a randomized complete block design. The Shapiro-Wilk test was employed to assess the normality of the data. The comparison of means for the two levels of each main factor was performed using the independent t-test. Additionally, Tukey's post hoc test was utilized to compare the averages of double and triple interactions at a significance level of 0.05. All calculations were performed using IBM SPSS Statistics 26 software. The results of the Shapiro-Wilk test indicated that the specific energy consumption, calculated from the collected data, does not follow a normal distribution. Following data normalization, an analysis of variance (ANOVA) test was conducted. The results of the variance analysis revealed that the effects of all five factors were significant at the 5% level. Furthermore, the average comparison indicated that the treatment involving infrared power (250 watts), infrared duration (10 minutes), and the application of the enzyme process resulted in the lowest specific energy consumption, amounting to 9.26 megajoules per kilogram.

Keywords: Blanching, Microwave, Microwave Time, Infrared Time, Special Energy Consumption

*Corresponding Author: zanganeh@guilan.ac.ir