



بررسی و مقایسه دو روش خشک کردن ضایعات مواد غذایی و میزان مصرف انرژی در خشک کن کابینتی

احمد خالواحمدی^۱، بهفر فرزانه^{۲*} و امید رضا روستاپور^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه مکانیک بیوسیستم، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران

۲- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران

۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، استان البرز، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: dr.bf88@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳۰)

چکیده

ارائه راهکارهای جدید برای کنترل پسماندهای مرطوب یکی از مهمترین مسائل در حفظ سلامت جامعه است. یک راه حل مناسب برای مدیریت ضایعات غذایی برای منافع زیست محیطی، اقتصادی و کشاورزی خشک کردن است. خشک کردن از طریق کاهش رطوبت، کاهش ضایعات و افزایش نگهداری را به دنبال خواهد داشت. در این راستا خشک کردن ضایعات غذایی با دو الگوی سینی معمولی و سینی با هواگذر میانی و جانبی با ضخامت ۳ سانتی متر در یک خشک کن کابینتی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر سه دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس و سه سرعت جریان هوای ورودی ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه بر مدت زمان و فرایند خشک شدن ضایعات غذایی و میزان مصرف انرژی آنها مورد بررسی قرار گرفت و نمودارهای نسبت رطوبت و آهنگ خشک شدن استخراج گردید. نتایج نشان دادند در الگوی سینی هوا گذر میانی و جانبی، دما، مهمترین عامل فیزیکی است که بر روی خشک کردن ضایعات غذایی تاثیر می گذارد. مصرف انرژی در روش الگوی سینی با هواگذر میانی و جانبی بیشتر از روش الگوی سینی معمولی است.

واژگان کلیدی: خشک کردن، ضایعات غذایی، انرژی، خشک کن کابینتی

مقدمه

اکنون یکی از مهمترین اولویت کشورها در حوزه کشاورزی و زیست محیطی، پیشگیری و بازیافت ضایعات غذایی است. مدیریت زباله های غذایی برای حفاظت از منابع طبیعی و محیط زیست برای نزدیک شدن به رویکرد توسعه پایدار ضروری به نظر می رسد. یک راه حل مناسب برای مدیریت زباله های غذایی برای منافع اقتصادی، زیست محیطی و برای بدست آوردن ارزش افزوده از منابع تجدید پذیر، خشک کردن است. ارائه راه کارهای جدید برای بهبود فرایند و کاهش زمان خشک شدن و همچنین توسعه خشک کردن در مهار ضایعات غذایی یکی از مسائل مهم در حفظ سلامت جامعه است. شیوه های مختلفی برای خشک شدن ضایعات غذایی وجود دارد و تحقیقات زیادی در زمینه خشک کردن ضایعات مواد غذایی شده است. محققان استفاده از خشک کن خورشیدی را برای خشک کردن ضایعات غذایی برای استفاده به عنوان خوراک دام مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که میزان خشک شدن در خشک کن های خورشیدی، وابسته به مقدار ضایعات است و مقدار خشک شدن می تواند بر این اساس تغییر کند. همچنین خشک کن خورشیدی میتواند در مزارع حیوانی کوچک و متوسط با اولویت بر پرورش طیور مورد استفاده قرار گیرد (Nijmeh et al., 1998). پژوهشگران خشک کردن ضایعات غذایی که ترکیبی از برگ های کلم و کاهو بود را در دمای بین ۵۰ تا ۱۵۰ درجه سلسیوس در یک خشک کن لایه نازک جریان متقاطع بررسی کردند آزمایشات در دماهای ۵۰، ۷۰، ۹۰، ۱۱۰، ۱۳۰ و ۱۵۰ درجه سلسیوس انجام و رطوبت محیط قبل از آزمایشات

اندازه گیری میشد. ضخامت مواد ۱ تا ۲ سانتی متر انتخاب شد. آنها منحنی های خشک شدن را استخراج کردند. نتایج آنها نشان داد که در رطوبت بالا نسبت خشک شدن بیشتر است (López et al., 2000) در پژوهشی دیگر، محققان، خشک کردن پسماندهای روغن زیتون را در سه حالت، خورشیدی، اجباری و استفاده از سیستم اضافی برای تأمین انرژی (نوع هیبریدی) بررسی کردند. دو کیلو گرم از هر نوع را بر روی سینی های ضد زنگ و غیر سوراخدار ریختند و بر متغیرهای وزن، دما و رطوبت نسبی هوا تا زمانی که رطوبت بر پایه تر به ۲۰ درصد برسد نظارت کردند. نتایج نشان داد که زمان خشک کردن در حالت هیبریدی کاهش قابل توجهی دارد. و اهمیت استفاده از یک منبع انرژی کمکی در دوره تابش کم خورشیدی یا شب هنگام ضروری است. افزایش دمای هوا باعث کاهش زمان خشک شدن، بین ۲۰ تا ۴۰ درصد شد (Montero et al., 2015).

در تحقیق دیگری با استفاده از یک خشک کن خورشیدی محصولات کشاورزی نسبت به خشک کردن زباله های غذایی رستورانها اقدام کردند. خشک کن دارای یک شیشه ای بود که به عنوان پوشش محفظه خشک کن استفاده می شد. آنها خواص ترمودینامیکی هوا را در نقاط ورودی و خروجی اندازه گیری کردند و انرژی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان خشک شدن به شدت تابش خورشید و مدت زمان آن بستگی دارد (Ikem et al., 2016).

محققان بر روی خشک کردن واحترق پسماند زیست توده تحقیق انجام دادند. آنها سه نوع پسماند چوب پنبه و پلت کاج و تفاله زیتون را استفاده

الگوی کنار گذر، هوا از دیواره های جانبی مخزن و در میان گذر، از کانال وسط مخزن به میان توده وارد می شد. شبیه سازی نشان داد که هوا در الگوی میان گذر با سرعت بیشتری جریان می یابد. و به تمام نقاط مخزن شلتوک نفوذ می کند. عدم وجود کانال میانی در الگوی کنار گذر منجر به تولید دمایی نامنظم با اعوجاج زیاد می شود. از آنجا که متداولترین روش‌های خشک کردن در کشور ایران، خشک کن های کابینتی می باشد. همچنین مدت زمان فرایند خشک کردن و انرژی مصرفی، دو شاخص مهم در زمینه خشک کردن هستند و توزیع هوا بر نحوه خشک کردن و در نتیجه کاهش زمان فرایند تاثیر می گذارد. بنابراین در این پژوهش به روش تجربی، با در نظر گرفتن دو نوع الگوی سینی معمولی و سینی با هواگذر میانی و جانبی، دو روش توزیع هوا در یک نمونه خشک کن کابینتی مورد آزمایش قرار گرفت و تاثیر دما و سرعت جریان هوای ورودی بر مدت زمان و فرایند خشک شدن ضایعات غذایی و میزان مصرف انرژی آنها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش‌ها، از یک خشک‌کن کابینتی که طراحی و ساخته شد بود، استفاده شد. دستگاه خشک کن مورد نظر از قسمت های ذیل تشکیل شده است:

- ۱- محفظه خشک کن ۲- گرم کن برقی با توان ۲/۷ کیلو وات ۳- فن گریز از مرکز با دور موتور ۲۸۰۰ دور بر دقیقه ۴-کانال ورودی هوای ۵- صفحات توزیع هوا ۶-سینی توری محصول ۷- حسگر دمای هوا ۸- پنل کنترل.

کردند. پسماندها را با خشک کن استوانه ای خشک کردند. آنها ابتدا زیست توده را به اندازه ۲ تا ۵ میلی متر خرد کرده و خواص شیمیایی نمونه ها برای احتراق را آنالیز کردند و آزمایشات خشک کردن را انجام دادند. همچنین خاکستر و مقدار کربن به منظور تعیین هر گونه آزاد شدن گازهای گلخانه ای مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آنها زیست توده خشک شده را به عنوان یک سوخت تمیز برای احتراق در دیگ بخار و اجاق گاز معرفی کردند (Al-Kassir et al., 2018).

(Gazor, 2017) با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی، جریان هوای گرم را در دو الگوی سینی هشتی و سینی معمولی بررسی کردند. جریان هوا در الگوی سینی هشتی شکل از طریق یک کانال مثلثی مشبک و در الگوی سینی معمولی، هوا از کف مخزن درون توده محصول جریان داشت. دمای مورد آزمایش ۵۰ درجه سلسیوس انتخاب شد. آنها با چیدن ۱۰ عدد سنسور دما در عمق ۱۵ سانتی متری در نقاط مختلف خشک کن برای هر دو الگو داده برداری کردند. آنها با بررسی و مقایسه دو الگو نتیجه گرفتند که توزیع خطوط میدان سرعت جریان هوا در الگوی هشتی نسبت به الگوی سینی معمولی یکنواخت تر است و بهبود جریان هوا در شلتوک ها بیشتر مربوط به لایه های میانی به پایین بود و در لایه های بالایی تفاوت چندانی در دو الگو نبود.

(Rostapour, 2019) نحوه توزیع جریان هوای کنار گذر و میان گذر در مدل سه بعدی خشک کن خوابیده بستر ثابت با ظرفیت ۳۰ کیلو گرم شلتوک را در نرم افزار فلوینت شبیه سازی کردند. در

برای از بین بردن بخشی از آب، با یک پرس مکانیکی با فشار یکسان فشرده گردید. ۴۷ گرم از نمونه پرس شده با ضخامت ۳ سانتی متر در داخل ظرفهای توری مکعبی با ابعاد سطح مقطع ۵×۵ سانتی متر مربع ریخته و در سه جای سینی حاوی پسماندهای غذایی جاسازی شد. این روش برای هردو نوع الگو استفاده شد. (شکل-۱)..

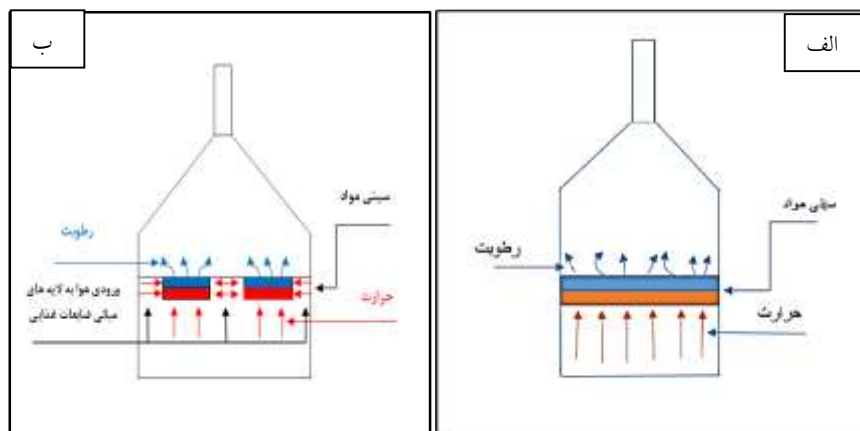
مواد زائد مورد استفاده از پسماندهای میوه جات و سبزیجات و غذاهای خانه و مغازه های میوه فروشی فراهم گردید؛ مواد غیر خوراکی مثل شیشه، کاغذ و پلاستیک و فلزات از زباله ها جدا شد. سپس پسماندها با دستگاه خرد کن کاسپین مدل ۹۰۹ (ساخت ایران) خرد شد و تقریباً به اندازه های کوچکتر از ۲۰ میلی متر تبدیل شد. ابتدا محصول مورد نظریک ساعت در محیط قرار داده شد و سپس



شکل ۱- روش های آزمایش الف: الگوی سینی معمولی ب: الگوی هواگذر جانبی و میانی

های هواگذر میانی و جانبی، سبب افزایش دمای محفظه بالای سینی می شود و منجر به کاهش حجم هوا در پشت سینی مواد می شود و در نتیجه نفوذ هوای گرم به درون توده با شدت کمتری رخ می دهد. (شکل-۲) .

در روش خشک شدن با الگوی سینی معمولی، به دلیل عدم وجود کانال های هواگذر میانی و جانبی، هوای گرم مستقیماً به زیر سینی محتوی توده ضایعات برخورد کرده و باعث خشک شدن آنها می شود. در الگوی دوم با عبور هوای گرم توسط کانال



شکل ۲- روش های آزمایش الف- روش الگوی سینی معمولی ب- الگوی هوا گذر جانبی و میانی

منحنی های آهنگ شدت خشک شدن، پس از محاسبه رطوبت با استفاده از رابطه (۲)، و سپس محاسبه آن برای فاصله های زمانی بین دو رطوبت متوالی، وبا استفاده از رابطه (۳) محاسبه می گردد. (Roustapour *et al.*, 2014).

$$N = \frac{-w_d dx}{A dt} \quad (3)$$

که در آن dx تغییرات رطوبت در بین دو زمان متوالی (کیلوگرم بر کیلوگرم)، dt زمان متوالی بین دو توزین (ساعت)، A سطح تبخیر (متر مربع)، N آهنگ شدت خشک شدن (کیلوگرم بر مترمربع ساعت) می باشد. برای محاسبه میزان انرژی مصرفی خشک کردن در هر فاز از رابطه (۴) محاسبه شد (Motevali *et al.*, 2012).

$$E_t = A v \rho_a C_a \Delta T D_t \quad (4)$$

E_t انرژی مصرفی در هر فاز (کیلو وات ساعت)، A سطح مقطع (متر مربع)، ρ_a چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)، ΔT اختلاف دما (درجه سلسیوس)، D_t زمان کل خشک شدن برای هر فاز (ساعت)، C_a ظرفیت حرارتی هوا (کیلوژول بر کیلوگرم سلسیوس) می باشد. فرایند خشک کردن در سه سطح دمای ۵۰، ۶۰، و ۷۰ درجه سلسیوس و سه سطح سرعت جریان هوای ورودی ۱، ۱٫۵ و ۲ متر بر ثانیه با ضخامت ۳ سانتی متر در سه تکرار انجام شد. و منحنی های آنها استخراج گردید. تجزیه و تحلیل آماری با بررسی اثرات ۳ دما و ۳ سرعت هوا در ۳ تکرار با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و بین آنها مقایسه صورت گرفت.

در ابتدای آزمایش ابتدا دستگاه خشک کن به مدت ۲۰ دقیقه روشن گردید تا دمای هوا در آن به حالت پایدار برسد. سپس ضایعات غذایی با اعمال جریان هوای گرم، داخل محفظه خشک شدند. ظرفهای نمونه هر ۳۰ دقیقه یکبار توزین می شدند. توزین ظرفها به صورت جداگانه صورت می گرفت. بعد از هر مرحله توزین، نمونه ها سریعاً به خشک کن بازگشت داده می شد تا خطای حاصل از جذب رطوبت به حداقل ممکن کاهش یابد. برای بدست آوردن جرم ماده خشک پس از پایان فرایند خشک شدن، ظرفهای نمونه در داخل آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفت تا به وزن ثابت برسد (AOAC). برای اندازه گیری سرعت جریان هوا از یک سرعت سنج پروانه ای مدل (UNIT UT363) استفاده شد. برای بدست آوردن نسبت رطوبت MR از رابطه (۱) استفاده شد (Montero *et al.*, 2015). رطوبت مواد طی خشک شدن بر پایه خشک به وسیله رابطه (۲) محاسبه شد (Tun *et al.*, 2019).

$$MR = \frac{M_d}{M_o} \quad (1)$$

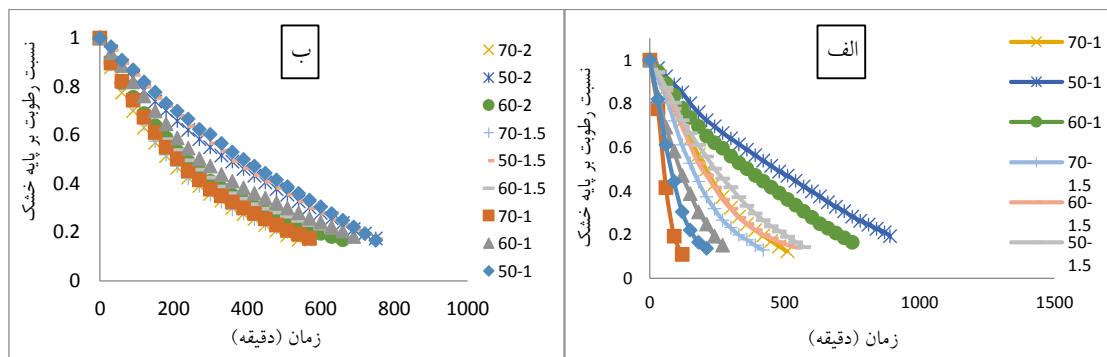
$$X_{d.b.} = \frac{w_w - w_d}{w_d} \quad (2)$$

که در آن MR نسبت رطوبت، M_d رطوبت در لحظه جاری بر پایه خشک و M_o رطوبت اولیه محصول (کیلوگرم آب بر کیلوگرم ماده خشک) می باشد. w_d وزن ماده خشک (کیلوگرم)، w_w وزن در طی خشک کردن (کیلوگرم)، $X_{d.b.}$ رطوبت بر پایه خشک می باشد.

نتایج و بحث

شکل ۳ نمودارهای سینتیک خشک شدن و مقایسه آنها در سه سرعت و سه دما در روش خشک شدن با دو الگو را نشان می دهد. نمودارها در هر دو الگو نشان می دهند که دما و سرعت هوا تاثیر بسزایی بر کاهش محتوای رطوبتی ضایعات غذایی داشته است چنانکه با افزایش دما و سرعت هوا، مدت زمان خشک شدن کاهش یافته است. نتایج مشابهی برای کاهش زمان خشک شدن با افزایش دما و سرعت برای بسیاری از مواد غذایی مانند برگ گزنه (Alibas, 2007)، تفاله گوجه فرنگی (Al-Harahsheh, et al., 2009)، پیاز (Arslan & Ozcan, 2010) بدست آمده است. در شکل (الف-۳) منحنی های بدست آمده از تغییرات رطوبت محصول در سرعت های ۲ و ۱/۵

متر بر ثانیه دارای شیب بیشتر و بیانگر سرعت بالای فرایند می باشد. شکل (ب-۳)، نمودارهای سینتیک خشک شدن در الگوی سینی با هواگذر میانی و جانبی نشان می دهد. که دما و سرعت هوا تاثیر بسزایی بر تغییرات محتوای رطوبتی محصول داشته است. چنانکه با افزایش دما و سرعت مدت زمان خشک شدن کاهش یافته است. افزایش دما موجب شد که سرعت خروج رطوبت از توده ها افزایش یافته و منحنی های بدست آمده از تغییرات رطوبت محصول در واحد زمان دارای شیب بیشتر باشد. در دماهای ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درجه سلسیوس با سرعت های ۲، ۱/۵ و ۱ متر بر ثانیه به ترتیب کم ترین زمان خشک شدن و بیشترین شیب را دارند.



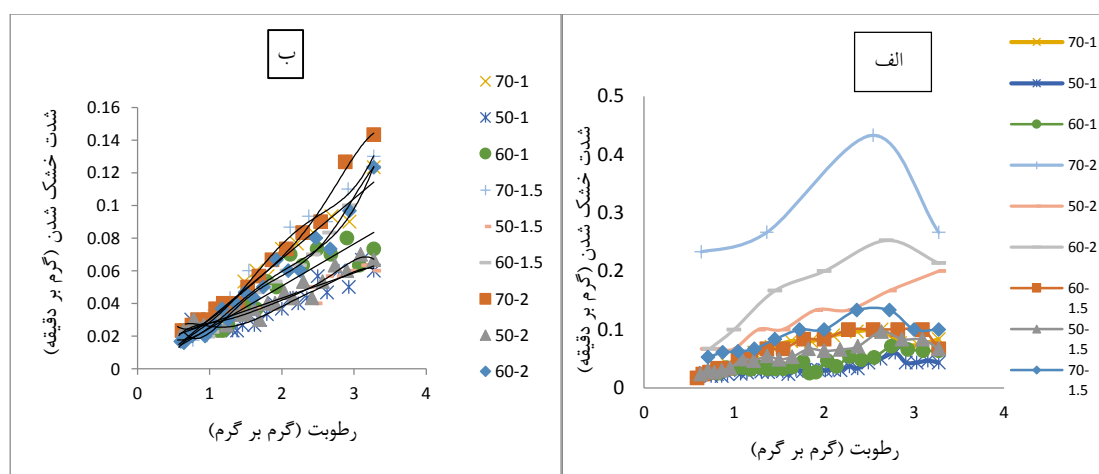
شکل ۳- تغییرات نسبت رطوبتی با زمان: (الف) الگوی سینی معمولی (ب) الگوی سینی با هواگذر میانی و جانبی

شکل ۴ نمودارهای آهنگ شدت خشک شدن را نشان می دهند با بررسی شکل (الف-۴) مشاهده می شود که آهنگ خشک شدن با افزایش سرعت هوای خشک کن بیشتر گردیده است سرعت انتقال هوای گرم به داخل توده ضایعات و جابجا شدن هوای گرم از میان توده باعث تماس بیشتر هوای گرم با مواد شده و رطوبت مواد را خشک می کند.

این مطابق با گزارش لیو و همکاران (۲۰۱۴) است که شدت خشک شدن به سرعت جریان هوا بستگی دارد. آنها یک خشک کن بستر سیال را برای خشک کردن زیست توده بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش سرعت هوا می تواند سرعت خشک شدن را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. در مرحله اول زمانی که خلل و فرج پر از آب است

خروج رطوبت از ضایعات غذایی می باشد. در دوره نزولی خشک شدن، دما، مهمترین عامل فیزیکی است که بر روی خشک کردن تاثیر می گذارد. چنین نتیجه ای توسط محققان دیگر در مورد خشک شدن محصولات کشاورزی مانند نعنای بدست آمده است (Ayadi et al., 2014).

و سطح ماده بوسیله مایع کاملاً مرطوب است؛ حرارت بیشتر صرف افزایش دمای محصول و تبخیر رطوبت غیر پیوندی و آزاد می شود. در دمای ۷۰ درجه سلسیوس این مرحله شدت بیشتری دارد. در شکل (ب-۴) خشک شدن بیشتر آهنگ نزولی داشته است. که نشان دهنده مقاومت درونی در



شکل ۴- نمودارهای شدت خشک شدن: (الف) الگوی سینی معمولی (ب) الگوی هواگذر میانی و جانبی

خشک کردن دارند و با سطح اطمینان ۹۹٪ می توان نتیجه گرفت که هر سه فاکتور بر خشک کردن ضایعات غذایی تاثیر گذارند.

در جدول ۱ نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس خشک شدن به روش الگوی سینی معمولی را در سطح ۱٪ نشان می دهد فاکتورهای سرعت، دما و برهمکنش سرعت و دما هر سه تاثیر معناداری در

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثرات سرعت، دما و برهمکنش سرعت و دما در خشک کردن به روش الگوی سینی معمولی

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۸/۴۹۱*	۰/۴۳۴	۰/۸۶۸	۲	سرعت
۷۴/۷۵۸*	۳/۸۲۱	۷/۶۴۲	۲	دما
۵۵/۶۶۹*	۲/۶۹۲	۱۰/۷۶۸	۴	سرعت×دما
	۲/۶۹۲	۰/۹۲۰	۱۸	خطا
		۲۰/۱۹۸	۲۶	تعداد کل

*معنادار در سطح ۱٪

دما تأثیر معناداری در خشک کردن دارند. و با سطح اطمینان ۹۹٪ می توان نتیجه گرفت که فاکتور

جدول ۲ نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس خشک شدن به روش الگوی دوم را در سطح ۱٪ نشان می دهد فاکتورهای دما و برهمکنش سرعت و

سرعت در الگوی سینی با هواگذر میانی و جانبی معنادار نیست.

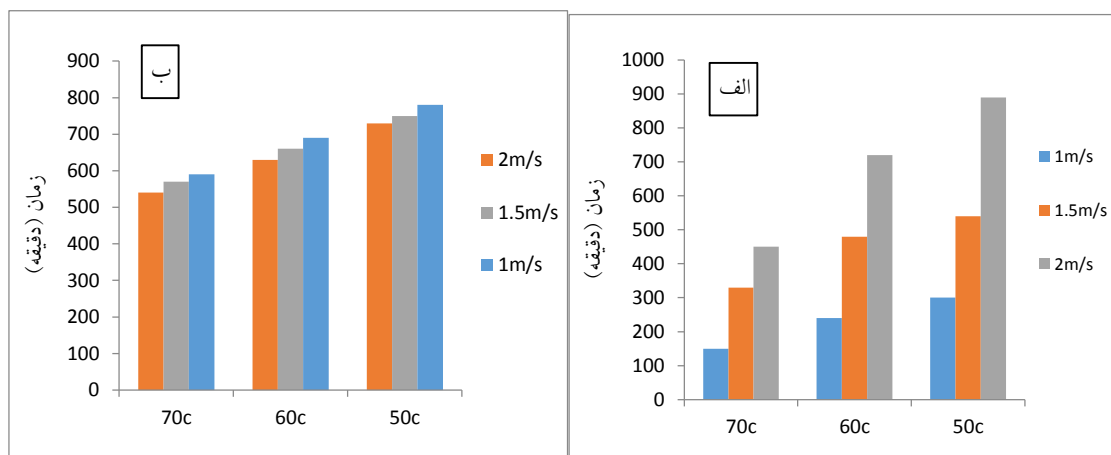
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات سرعت، دما و پرمکنتش سرعت ودما در خشک کردن با الگوی سینی با هواگذر میانی و جانبی

منابع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
سرعت	۲	۱/۹۴۴	۰/۹۷۲	۷/۰۲۲ ^{ns}
دما	۲	۲۴/۱۸۶	۱۲/۰۹۳	۸۷/۳۷۸*
سرعت×دما	۴	۳/۶۱۱	۰/۹۰۳	۶/۵۲۳*
خطا	۱۸	۲/۴۹۱	۰/۱۳۸	
تعداد کل	۲۶	۳۲/۲۳۲		

*معنادار در سطح ۱٪ و ns عدم تفاوت معنادار

زمان می باشد. و دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱ متر بر ثانیه بیشترین مدت زمان خشک شدن را دارا می باشد.

با توجه به شکل ۶ مدت زمان خشک شدن در روش خشک شدن با الگوی سینی معمولی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متر بر ثانیه کمترین



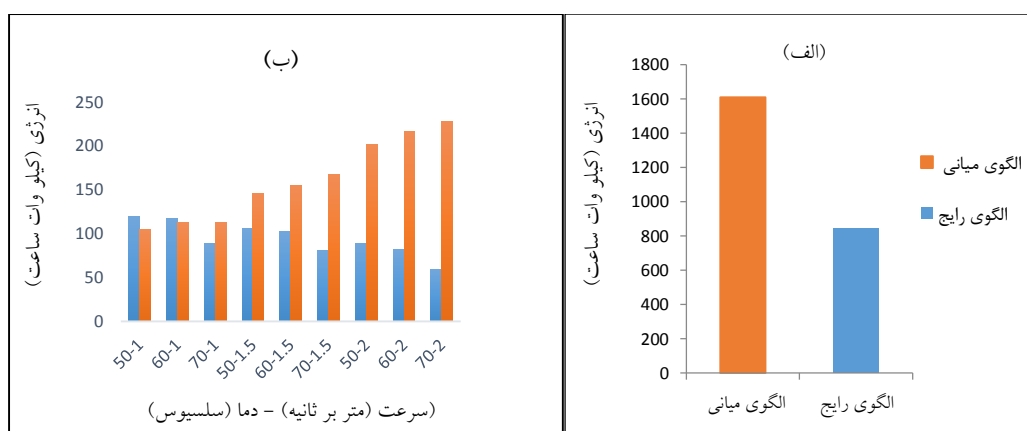
شکل ۶- نمودارهای مدت زمان خشک شدن الف: الگوی سینی معمولی ب: الگوی هواگذر میانی و جانبی

آنها زودتر خشک شده و انرژی کمتری در این زمینه مصرف می شود. همچنین میزان انرژی مصرفی در خشک کردن به روش الگوی دوم در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متر بر ثانیه بیشترین مقدار را دارد. و کمترین مقدار مربوط به دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱ متر بر ثانیه می باشد. مقادیر به دست آمده برای انرژی مورد نیاز خشک شدن ضایعات غذایی در روش سینی معمولی بین ۱۱۹/۶۲ در دمای ۵۰ درجه سلسیوس

در شکل ۷ کمترین میزان مصرف انرژی خشک شدن ضایعات غذایی در روش الگوی سینی معمولی با سرعت ۲ متر بر ثانیه و دمای ۷۰ درجه سلسیوس می باشد. و دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱ متر بر ثانیه بیشترین میزان مصرف انرژی را دارد. در این روش به علت برخورد هوای گرم به توده و عدم فرار هوای گرم از کانال های هوا گذر باعث می شود که در سرعت های بالاتر و سطح تماس بیشتر هوای گرم با ضایعات غذایی،

سرعت ۲ متر بر ثانیه می‌باشد. (Motevali et al., 2021) لایه نازک عناب را در یک خشک کن در مقیاس آزمایشگاهی خشک کردند و میزان مصرف انرژی را بین ۷۹/۱ تا ۹۲/۴۶ کیلو وات ساعت بدست آوردند. بالا بودن میزان مصرف انرژی در خشک کردن ضایعات غذایی به دلیل افزایش یافتن مقاومت بافت مواد در فشرده شدن ضایعات غذایی برای از بین بردن بخشی از آب آنها نیز می‌باشد، که باعث می‌شود رطوبت سخت تر از قسمت داخلی مواد به سطح خارجی انتقال یافته و سرعت خروج آن کاهش یابد. که این امر سبب کاهش ضریب انتقال جرم داخلی در مواد و در نهایت افزایش مصرف انرژی می‌شود.

سرعت ۱ متر بر ثانیه تا ۵۹/۴۱ کیلو وات ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متر بر ثانیه می‌باشد. وجود کانال میانی و جانبی باعث شد تا هوای گرم شده از محفظه زیر سینی خشک کن خارج شده و به فضای بالایی سینی حرکت کند و حجم فضای بالای سینی را هم گرم کند. گرم شدن فضای بالایی منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود که در دمای ۷۰ درجه سلسیوس بیشترین مصرف انرژی را دارد. مقادیر به دست آمده برای انرژی مورد نیاز خشک شدن ضایعات غذایی در این الگو بین ۱۰۴/۸۶ کیلو وات ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱ متر بر ثانیه تا ۲۲۸/۱۳ کیلو وات ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و



شکل ۷- مقایسه میزان مصرف انرژی در دو روش

نتیجه گیری

مجموع مصرف انرژی در الگوی سینی معمولی بسیار کمتر از سینی با هواگذر میانی و جانبی است. کمترین زمان خشک شدن مربوط به دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متر بر ثانیه در روش الگوی سینی معمولی می‌باشد. در الگوی سینی با هواگذر

نتایج بدست آمده از این کار تحقیقاتی نشان داد که در الگوی سینی معمولی، خشک شدن با افزایش سرعت هوا شدت بیشتری دارد. مصرف انرژی در روش سینی معمولی در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۲ متر بر ثانیه کمترین مقدار را داشته است. در

میانی و جانبی، منحنی های شدت خشک افزایش دما است.
شدن نزولی است و بیشتر تحت تأثیر

REFERENCES

- Arslan, D., and Ozcan, M. M. 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1121-1128.
- AOAC, Official methods of analysis (15th Edn), *Association of Official Analytical Chemists Washington DC, USA*, 2000.
- Ayadi, M. Mabrouk, S. B. Zouari, I and Ahmed, B. 2014. Kinetic study of the convective drying of spearmint. *Journal of Saudi Society of Agriculture Sciences*. 13(1), 1-7
- Alibas, I. 2007. Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying. *Biosystems Engineering*, 96(4), 495-502.
- Al-Kassir, A., Coelho, P., García-Sanz-Calcedo, J., Moral, F.J., Al-Karany, R.K., and Yusaf, T. 2018. An experimental technology of drying and clean combustion of biomass residues. *Applied Sciences* 8, 1-10.
- Al-Harahsheh, M., AL-Muhtaseb, A., and Magee, T. R. A. 2009. Microwave drying kinetics of tomato pomace: Effect of osmotic dehydration. *Chemical Engineering and Processing*, 48(1), 524-531.
- Gazor, H.R., Roustapour, O.R., and Jahanian, R., 2017. Numerical simulation of conventional and porch patterns for air inlet channel in paddy dryer. *Journal of Agricultural Machinery*, 9, 49-59 (In Farsi)
- Gazor, H. R, S. Minaee, and Rostammi, M. A. 2005. Influence of temperature and thickness on pistachio drying in batch dryers, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*., 11, 81-93.
- Tun, M.M., and Dagma, J. 2019. Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries, 24(4), 529-42.
- Ikem, I.A., A. D. Osim, O.E. Nyong, and Takim, S.A. 2016. Determination of loading capacity of a direct solar boiler dryer, *International Journal of Engineering and Technology*, 8: 1386-96.
- Karami H, Kaveh M, Mirzaee-Ghaleh E. and Taghinezhad, E. 2018. Using PSO and GWO techniques for prediction some drying properties of tarragon (*Artemisia dracunculus* L). *Journal of Food Process Engineering*., 41 (8): e12921. DOI: 10.1111/jfpe.12921
- Karimi, S., and Khoshtaqaza, M. H. 2008. Investigation of apple preparation conditions by halogen thin layer dryer. *In Proceedings of the 18th National Congress of Food Science and Technology. Mashhad Ferdowsi University*.
- Koyuncu, T., y. pinar, and lule, F. 2007. Convective drying characteristics of azarole red and yellow fruits, *Journal Of Food Engineering*, 78, 1471-75
- Koyuncu, T., I. Tossun, and pinar, Y. 2007. Drying characteristic and heat energy requirement of cornelian cherry fruits', *Journal of Food Engineering*, 78, 735-39
- López, G.A., A. Iguaz, A. Esnoz, and Vírveda. P. 2000. Thin-layer drying behavior of vegetable waste from wholesale market, *Drying Technology*, 18, 995-1006

- Liu, Y., Peng, J., Kansha, Y., Ishizuka, M., Tsutsumi, A., Jia, D., Bi, X.T., Lim, C.J., and Sokhansanj, S. 2014. Novel fluidized bed dryer for biomass drying. *Fuel Processing Technology*, 122, 170-175
- Mohammadi, A., S. Rafiei, A. Kayhani, and ImamJomeh, Z. 2007. Investigation of drying model of kiwi thin sheets (Hayward cultivar) in thin layer dryer. *In Proceedings of the 5th National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering. Mashhad Ferdowsi University.*
- Motevali, A., A. Abbaszadeh, M. Minaei, M.H. Khoshtaghaza, and Ghobadian, B. 2012. Effective Moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in thin-layer drying of jujube (*Zizyphus jujube* mill), *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 523-32.
- Montero, I., Miranda, M.T., Sepúlveda, F.J., A., J. I., Rojas, C.V., and Nogales, S., 2015. Solar dryer application for olive oil mill wastes. *Energies*. 8, 14049-14063.
- Nijmeh, M.N., A.S. Ragab, M.S. Emish, and Jubran, B.A. 1998. Design and testing of solar dryers for processing food wastes, *Applied Thermal Engineering*, 18, 1337-46.
- Rezagah, E., M. Kashaninejad, M. Mirzaei, and Khamiri. M. 2009. The effect of temperature, concentration, osmotic solution and weight ratio on the osmotic drying kinetics of button mushrooms, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9. (In Farsi).
- Roustapour, O.M., Maftoonazad, and Khaloahmadi, A. 2014. Study of drying kinetics and shrinkage of potato slice in a parallel flow dryer, *JFST*. 12 (47), 109-122 (In Farsi).
- Roustapour, O.R., Azimi, O., and Gazor, H.R. 2019. Computational fluid dynamics analysis in a corn air flow paddy dryer with two types of passing air flow of lateral and central pattern. *Journal of biosystem Engineering* 50, 115-128 (In Farsi).
- Sharifi, A. and Tavakolipour, H. 2008. Optimization of rhubarb drying process to prepare rhubarb powder. *In Proceedings of the 18th National Congress of Food Science and Technology. Mashhad Ferdowsi University.*



Investigating and Comparing Two Methods of Drying Food Waste and Energy Consumption in a Cabinet Dryer

Ahmad Khalo Ahmadi ¹, Behfar Farzaneh ^{2*} and Omid Reza Rostapour ³

¹ PhD student, Department of Biosystem Mechanics, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran

² Assistant Professor, Department of Biosystem Mechanics, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran

³ Associate Professor, Agricultural Engineering and Technical Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz Province, Iran

* Corresponding Author's Email: dr.bf88@yahoo.com

(Received: April. 3, 2023 – Accepted: June. 20, 2023)

ABSTRACT

Providing new solutions to control wet waste is one of the most important issues in maintaining public health. A good solution in order to manage of food waste for benefits of environmental, economic and agriculture is drying. Drying will reduce waste and increase preservation by reducing moisture. In this regard, two types of methods for drying food waste with conventional tray pattern, and tray with Central and lateral airflow pattern in cabinet dryer were studied. The effect of three temperatures of 50, 60 and 70 ° C and three velocities 1, 1.5 and 2 m/s with thickness of 3 cm on the energy consumption were investigated. In addition, drying kinetics and drying intensity diagrams were extracted. The results showed that the in the central and lateral airflow pattern, temperature is an important factor that affects in the drying of food waste. The energy consumption in the tray with central and lateral airflow pattern is more than the conventional tray pattern.

Keywords: Drying, Food waste, Energy, Cabinet dryer