سینتیک افت رطوبت و مقایسه کیفیت ورقه‌های گوجه‌فرنگی در مرحله خشک‌شدن با سه روش: خشک‌کردن خورشیدی، آفتابی سنتی و هوای خشک

علی اکبری[۱]، محمد شاهدی[۱*]، ناصر همدمی[۱]، شهرام دخانی[۱] و مرتضی صادقی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۲/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱/۱۱)

چکیده

تولید ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده یکی از راه‌های کاهش ضایعات زیاد گوجه‌فرنگی تازه در کشور محسوب می‌شود. کیفیت محصول خشک شده به‌وسیله معیارهایی مانند چروکیدگی، قابلیت جذب مجدد آب و رنگ محصول ارزیابی می‌گردد. در این تحقیق، با ساخت یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی، ورقه‌های گوجه‌فرنگی در آن خشک شده و با روش سنتی خشک کردن خورشیدی مقایسه گردید. هم‌چنین در یک آون آزمایشگاهی (در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ $^{\circ}C$) نیز، خشک‌کردن انجام شد و مشخص گردید که شدت افت رطوبت در دماهای بالاتر هوا بیشتر است. هم‌چنین در منحنی‌های شدت افت رطوبت محصول، یک دوره سرعت ثابت و یک دوره سرعت نزولی دیده شد. با خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی و در روش خشک‌کردن سنتی آفتابی نیز نتیجه‌گیری شد که سرعت خشک‌شدن در خشک‌کن خورشیدی بین ۱۷ تا ۴۵ درصد بیشتر از روش سنتی است. بررسی تغییرات درصد چروکیدگی طی خشک‌کردن در دماهای مختلف هوا نیز نشان داد که اثر دمای هوای خشک‌کن روی چروکیدگی محصول معنی‌دار نیست. هم‌چنین مشخص‌شد که قابلیت جذب مجدد آب محصول نیز مستقل از دمای هوای خشک‌کن است. در مورد رنگ نیز محصول خشک شده در دمای پایین هوا(حدود ۵۰ $^{\circ}C$)، دارای رنگ قرمزتر و روشن‌تری نسبت به دمای ۸۰ $^{\circ}C$ بود.

واژه‌های کلیدی: گوجه‌فرنگی، خشک‌کردن، چروکیدگی، قابلیت جذب آب، خشک‌کن خورشیدی، رنگ

مقدمه

در صنعت مواد غذایی تمایل فزاینده‌ای برای توسعه روش‌های اقتصادی به‌منظور تهیه محصولات غذایی با ارزش تغذیه‌ای و حسی بالا وجود دارد. خشک‌کردن یکی از گسترده‌ترین روش‌های مورد استفاده برای نگه‌داری میوه‌ها و سبزی‌هاست. طی خشک‌کردن، برای رسیدن به یک فعالیت آبی نهایی که پایداری میکروبی محصول را تضمین و تغییرات فیزیکی و شیمیایی را به حداقل برساند، درصد آب ماده غذایی تا حد معینی کاهش می‌یابد (۳). خشک‌کردن، فرایند کاهش رطوبت از طریق انتقال هم زمان حرارت و جرم است. انتقال حرارت از هوای اطراف به ماده غذایی موجب کاهش فشار بخار آب در سطح و تبخیر رطوبت سطحی می‌شود. در اثر این فرایند، گرادیان فشار بخار آب در ماده غذایی به‌وجود می‌آید که نیروی رانشی لازم برای

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد، استادیار و استاد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. استادیار مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: shahedim@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

خارج کردن آب از ماده غذایی را تأمین می‌کند(۷).

از میان انواع مختلف منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی از مهم‌ترین آنهاست. استفاده از این نوع انرژی زمانی بیشتر اهمیت پیدا می‌کند که توجه بیشتری به بحران پایان یافتن منابع انرژی تجدیدناپذیر و مسأله آلودگی محیط زیست وجود داشته باشد(۱). در کشور ایران بیشتر از روش‌های خشک‌کردن خورشیدی(آفتابی) سنتی استفاده می‌شود، ولی مشکلات روش خشک‌کردن سنتی شامل افت کمی، رشد میکروارگانیسم‌ها و ایجاد فساد، حمله حشرات، پرندگان و جوندگان، بارش ناگهانی باران، شرایط جوی نامطلوب و... است که موجب افت کمّی و کیفی در محصول می‌شود. در بسیاری از مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه، خرید خشک‌کن‌های صنعتی برای کشاورزان از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست و کشاورزان خرده پا به‌ندرت از این تجهیزات استفاده می‌کنند (۲). لذا استفاده از انرژی خورشیدی به‌صورت کنترل شده بسیار جذاب خواهد بود. با توجه به در دسترس بودن انرژی لایزال خورشیدی در کشور ما که در فصل برداشت اغلب محصولات کشاورزی با شدت مناسبی وجود دارد و متمرکز نبودن بیشتر مناطق کشاورزی و روستایی و هم‌چنین اقتصادی نبودن استقرار صنایع در این گونه مناطق، استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی مناسب از لحاظ قیمت، کاربرد و انعطاف‌پذیری برای محصولات مختلف، باعث افزایش کمّی و کیفی محصولات خشک می‌شود (۲). به‌طور عمومی خشک‌کن‌های خورشیدی بر اساس نحوه جریان هوا به دو دسته فعال با همرفت اجباری و دیگری غیرفعال با همرفت طبیعی تقسیم می‌شوند. در خشک‌کن‌های فعال جریان هوا با استفاده از مکنده یا دمنده برقرار می‌شود و اغلب این خشک‌کن‌ها علاوه بر انرژی خورشیدی از انرژی کمکی دیگری مانند سوخت‌های فسیلی یا انرژی الکتریکی بهره می‌گیرند، ولی در خشک‌کن‌های غیرفعال، جریان هوا در اثر اختلاف چگالی هوای سرد و گرم در داخل خشک‌کن ایجاد می‌شود (۶). این دو نوع خشک‌کن خورشیدی فعال و غیرفعال نیز هر کدام به سه دسته مستقیم، غیرمستقیم و تلفیقی تقسیم می‌شوند. در انواع مستقیم، محصول در محفظه خشک‌کن در معرض مستقیم نور خورشید قرار می‌گیرد که در برخی از محصولات نور مستقیم خورشید نوعی رنگ رسیدگی مطلوب ایجاد می‌کند. در انواع غیرمستقیم، دیوارهای محفظه خشک‌کن مات بوده و از کلکتور (جمع کننده) مجزا استفاده می‌شود. در این نوع خشک‌کن‌ها، عمل جذب انرژی خورشید توسط کلکتور انجام گرفته و هوای گرم شده در کلکتور به‌سمت محفظه خشک‌کن حرکت کرده و محصول در محفظه خشک می‌شود. نوع تلفیقی خشک‌کن‌ها ترکیبی از دو نوع مستقیم و غیرمستقیم است یعنی هم هوای گرم شده در کلکتور از سرتاسر بستر محصول در محفظه عبور می‌کند و هم خود بستر در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارد (۶).

پانگاوان و همکاران، یک خشک‌کن خورشیدی با جریان طبیعی هوا طراحی کرده و آن را برای خشک کردن انگور استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که سرعت خشک کردن با این روش به‌طور قابل توجهی بیشتر از خشک کردن خورشیدی باز یا خشک کردن در سایه است (۱۴).

کریم و هاولادر، کارایی کلکتور خشک‌کن خورشیدی با مجاری V شکل را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدندکه کارایی این نوع کلکتور ۱۲ درصد بیشتر از کلکتور صفحه تخت با طراحی مشابه است (۹).

سهیلی مهدیزاده و همکاران، با طراحی و ساخت خشک‌کن خورشیدی با همرفت اجباری، به خشک‌کردن سبزی‌های برگی‌شکل پرداختند و عملکرد کلکتور خورشیدی دستگاه را ارزیابی نمودند. نتایج نشان دادند که در کلکتور ساخته شده، در حدود ۸۲ درصد از کل تلفات حرارت از طریق صفحه پوشش کلکتور ، ۱۴ درصد از پشت کلکتور و ۴ درصد از طریق سطوح جانبی کلکتور است (۲).

آبن و همکاران، تأثیر اضافه‌کردن موانع مختلف روی سطح کلکتور خشک‌کن خورشیدی را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

داد که موانع مذکور، با ایجاد اغتشاش در مسیر جریان هوای گرم، عامل بسیار مهمی در جهت بهبود کارایی کلکتور محسوب می‌شوند ولی شکل، ابعاد، جهت و موقعیت این موانع به‌طور قابل توجهی در کارایی کلکتور تأثیرگذار هستند (۴).

زارع و همکاران، با طراحی خشک‌کنی خورشیدی از نوع فعال تلفیقی و استفاده از آن در خشک‌کردن شلتوک، نشان دادند که دبی جرمی هوا در خشک‌کن و فاصله زمانی تخلیه محصول، اثر معنی‌داری بر کاهش رطوبت شلتوک خروجی دارند (۱).

فرایند خشک کردن باعث ایجاد تغییراتی در بافت، عطر و طعم، ارزش تغذیه‌ای و رنگ محصول می‌شود که بررسی میزان این تغییرات و سعی در کاهش آثار فرایند از نکات قابل توجه در خشک‌کردن محصولات غذایی است. از بین مواد مذکور، محصولات خشک عمدتاً توسط سه ویژگی درصد چروکیدگی، رنگ و جذب آب ارزیابی می‌شوند (۷). یکی از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی که طی فرایند خشک‌کردن مواد غذایی ایجاد می‌شود، کاهش حجم آن است. از دست دادن آب و گرم شدن باعث ایجاد تنش در ساختار سلولی مواد غذایی می‌گردد که نتیجه این حالت، تغییر شکل و کاهش ابعاد آن است. تغییر شکل و کاهش حجم در اکثر موارد یک ویژگی منفی در نظر مصرف کننده است (۱۳). مواد غذایی خشک شده اغلب قبل از مصرف در معرض جذب آب قرار می‌گیرند. سرعت و میزان جذب آب ممکن است به‌عنوان شاخصی از کیفیت مواد غذایی خشک استفاده شود. مواد غذایی که تحت شرایط بهینه خشک می‌شوند، صدمه کمتری متحمل شده و سریع‌تر و کامل‌تر جذب آب می‌کنند (۱۱). خشک کردن، خصوصیات سطحی ماده غذایی را تغییر می‌دهد. در نتیجه قابلیت انعکاس نور و رنگ تغییر می‌کند. گرما و اکسیداسیون طی خشک کردن باعث ایجاد تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئیدها می‌شود. معمولاً زمان‌های طولانی‌تر و درجه‌حرارت‌های بالاتر خشک‌کردن، اتلاف بیشتر رنگدانه‌ها را به‌همراه دارد (۷).

گوجه‌فرنگی نیز همانند اغلب محصولات کشاورزی، فسادپذیر است. بنابراین بایستی یا سریعاً مصرف شود و یا این‌که برای مصارف بعدی تحت شرایط کنترل شده فراوری و نگه‌داری گردد. خشک‌کردن یکی از این روش‌های مطلوب نگه‌داری است. تاکنون خشک‌کردن گوجه‌فرنگی با هر دو روش انرژی خورشیدی و سیستم‌های مکانیکی انجام پذیرفته است. در کشورهای در حال توسعه، یکی از هدف‌های اصلی خشک‌کردن خورشیدی گوجه‌فرنگی، کاهش ضایعات پس از برداشت است. در حالی‌که در کشورهای توسعه یافته، گوجه‌فرنگی خشک شده به‌عنوان یک جزء خوش‌خوراک مورد توجه است. در سال‌های اخیر گوجه‌فرنگی خشک شده از حاشیه سبد غذایی به بخش اصلی تولید و عمومی صنعت غذا راه یافته است(۱۰).

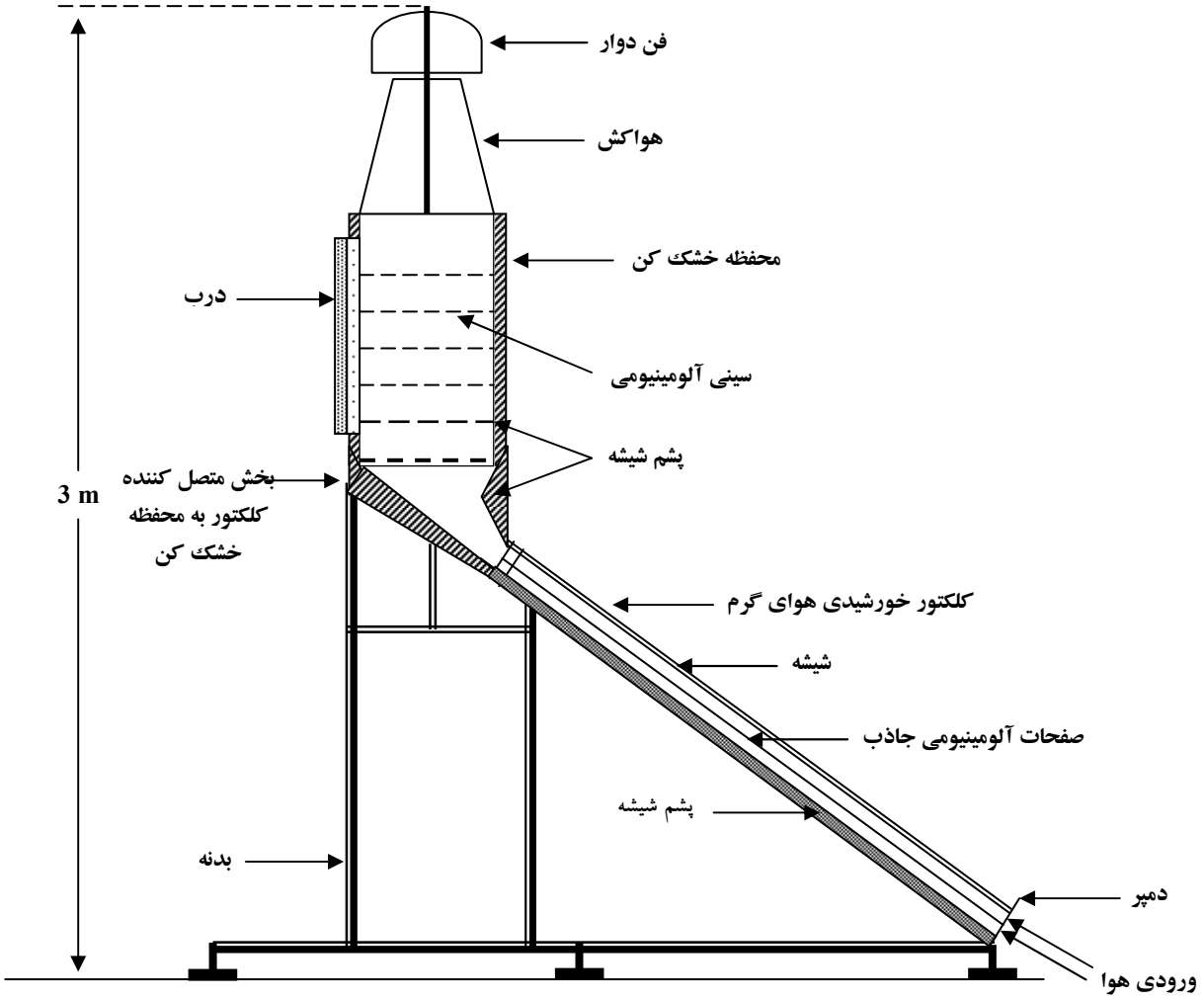
مواد و روش‌ها

ساخت دستگاه خشک‌کن خورشیدی

خشک‌کن خورشیدی مطابق طرح شکل شماره ۱ توسط شرکت پلار اصفهان ساخته شد. قسمت‌های اصلی این خشک‌کن عبارت‌اند از: کلکتور، محفظه خشک کن، فن دوار، هواکش و پایه. کلکتور، قابی مستطیل شکل از جنس آلومینیوم با طول۲۰۰ و عرض ۹۲ و ضخامت ۸ سانتی‌متر است که سطح بالایی آن توسط یک صفحه شیشه با ضخامت ۴ میلی‌متر پوشیده شده است. سطح زیرین آن نیز با ورق گالوانیزه گرفته شده است. برای جلوگیری از اتلاف حرارتی از سطح پایینی کلکتور، روی ورق گالوانیزه یک لایه ۲ سانتی‌متری عایق پشم شیشه قرار گرفته است. روی عایق، یک صفحه از جنس آلومینیوم با کانال‌هایی جهت هدایت هوا وجود دارد. صفحه‌های جاذب از جنس آلومینیم پوشش‌دار بوده که توسط شرکت سان استریپ کشور سوئد تولید شده است. به‌منظور بهبود راندمان انتقال گرما از صفحات به هوا، صفحات جاذب در فاصله بین پوشش شیشه و کانال‌های عبور هوا قرار گرفته‌اند به‌طوری‌که دو فضا برای عبور هوا در رو و زیر این صفحات وجود دارد. به‌منظور ورود و خروج هوا، شکاف‌هایی با طول ۷۵ و عرض ۵ سانتی‌متر در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]



شکل۱. شماتیک مقطع عرضی خشک‌کن خورشیدی

پایین و بالای کلکتور ایجاد شد. کلکتور با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح افق بر روی پایه نصب گردید. محفظه خشک‌کن با ارتفاع ۷۰ و طول و عرض ۴۵ سانتی‌متر به‌صورت دو جداره بوده که جدار خارجی آن از جنس ورق گالوانیزه بوده ولی جدار داخلی را ورق آلومینیومی تشکیل داده است. بین دو جداره از عایق پشم شیشه با ضخامت ۵ سانتی‌متر پر شده است. درب محفظه خشک‌کن دارای شیشه دو جداره بوده و به وسیله نوارهای لاستیکی در حاشیه، به‌صورت کامل آب‌بندی گردیده است. داخل محفظه خشک کن به‌وسیله ۵ عدد سینی از جنس توری آلومینیومی که به‌صورت کشویی حرکت می‌کنند، طبقه‌بندی شده است. محفظه خشک کن روی پایه اصلی و در بالای کلکتور قرار گرفته است و رابطی از جنس ورق گالوانیزه خروجی کلکتور را به قسمت ورودی در پایین محفظه خشک کن وصل کرده است که این رابط نیز دو جداره بوده و با پشم شیشه عایق‌بندی شده است. روی محفظه خشک‌کن، هواکشی با طول ۴۵ سانتی‌متر و به‌صورت یک مخروط ناقص قرار گرفته است و روی هواکش یک فن دوار به قطر ۲۵ سانتی‌متر وجود دارد که این فن توسط جریان باد چرخیده و به همرفت طبیعی هوا در کلکتور و محفظه کمک می‌کند(۱۴).

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

گوجه‌فرنگی واریته .*Early Urbana* Y، از مزرعه‌ای در منطقه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

دشتی در اطراف اصفهان تهیه گردید. نمونه‌ها به‌صورت هفتگی از مزرعه برداشت شده و تا زمان مصرف در سردخانه ۴ درجه سانتی‌گراد در کارگاه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان نگه‌داری شد و حدود ۵ ساعت قبل از انجام فرایند خشک‌کردن، نمونه گوجه‌فرنگی از سردخانه خارج شد تا به دمای محیط برسد. برای تهیه ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت یکسان، وسیله‌ای ساخته شد که در آن تیغه‌های کاردی شکل به‌صورت موازی روی یک قاب چوبی ثابت شده بود. فواصل تیغه‌ها به اندازه ۰/۶، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر تنظیم شد و از آن برای تولید ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت‌های مذکور استفاده گردید.

روش‌های خشک‌کردن نمونه‌ها

۱. خشک‌کردن در آون آزمایشگاهی

خشک‌کردن در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰، و ۸۰ درجه سیلسیوس (در یک آون با مارک باینـدر ساخت کشور آلمان) و در سه تکرار انجام شد. ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر، بر روی سه قطعه ورق آلومینیومی با ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی‌متر با وزن مشخص قرارگرفت. وزن اولیه ورق‌های آلومینیومی و ورقه‌های گوجه‌فرنگی اندازه‌گیری و در سه قسمت متفاوت از آون قرار داده شد. قبل ازگذاشتن نمونه‌ها در آون، دمای مورد نظر در آون تنظیم شد. سه قطعه فویل آلومینیومی مذکور برای بررسی افت رطوبت طی زمان استفاده شد. غیر از این سه قطعه ورق، قسمت‌های دیگر قفسه‌های آون نیز به‌وسیله فویل آلومینیومی پوشیده شد و ورقه‌های گوجه‌فرنگی روی آن قرار گرفتند که از آنها در فواصل زمانی برای آزمایش‌های کیفی نمونه‌برداری می‌شد و در کیسه‌های پلی اتیلنی غیر قابل نفوذ به رطوبت تا زمان انجام آزمایش‌ها نگه‌داری شدند.

۲. خشک‌کردن در خشک‌کن خورشیدی

در فاصله زمانی مرداد ، شهریور و مهر ماه ۱۳۸۵، ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۰/۶، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر روی ۵ قطعه توری پلاستیکی با ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی‌متر و با وزن مشخص قرار گرفتند. وزن اولیه توری‌ها و ورقه‌های گوجه‌فرنگی اندازه‌گیری و در طبقات مختلف خشک‌کن خورشیدی گذاشته شد و به‌وسیله آنها افت رطوبت طی زمان خشک‌کردن بررسی شد. روی قسمت‌های دیگر قفسه‌های خشک‌کن نیز ورقه‌های گوجه‌فرنگی وجود داشتند که از آنها در فواصل زمانی برای آزمایش‌های کیفی، نمونه‌برداری شد و تا زمان آزمایش در کیسه‌های پلی‌اتیلنی نگه‌داری گردید. خشک‌کردن برای هر ضخامت در ۴ زمان و در تاریخ‌های مختلف صورت گرفت. برای اندازه‌گیری دما در قسمت‌های مختلف خشک‌کن، ۷ ترموکوپل در نقاط مختلف (ورودی و خروجی کلکتور، وسط محفظه خشک‌کن، خروجی محفظه، سطح زیرین، وسط و بالایی ورقه‌های گوجه‌فرنگی موجود در طبقه سوم) نصب گردید و هر ۵ دقیقه دماها به‌وسیله یک دستگاه جمع‌آوری‌کننده داده ذخیره شد. برای سنجش رطوبت نسبی هوای خشک‌کن از دو سری دماسنج‌های حباب خشک و مرطوب در بالا و پایین طبقه سوم استفاده شد و در فواصل زمانی، دماها قرائت گردید و با استفاده از چارت سایکرومتری، رطوبت نسبی هوا به‌دست آمد.

۳. خشک‌کردن در معرض نور مستقیم خورشید (روش سنتی)

در فاصله زمانی مرداد ، شهریور و مهر ماه ۱۳۸۵، ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت‌های ۰/۶، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر بر روی سه قطعه توری پلاستیکی با ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی‌مترو در معرض نور مستقیم خورشید پهن شدند و در طی زمان، افت رطوبت آنها تعیین شد. علاوه بر آنها، تعداد دیگری ورقه گوجه‌فرنگی نیز در معرض نور مستقیم خورشید وجود داشته که از آنها در فواصل زمانی برای آزمایش‌های دیگر، نمونه‌برداری انجام گرفت. خشک‌کردن برای هر ضخامت در ۴ زمان و در تاریخ‌های مختلف انجام شد. برای اندازه‌گیری دما، سه ترموکوپل در هوای محیط و سطح زیرین و بالایی ورقه گوجه‌فرنگی نصب گردید که هر ۵ دقیقه دماها به‌وسیله یک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

دستگاه جمع‌اوری کننده داده ذخیره می‌شد. رطوبت نسبی هوا نیز با اندازه‌گیری دمای خشک و مرطوب هوا تعیین شد.

آزمایش‌ها طی و بعد از خشک‌کردن

۱. اندازه‌گیری کاهش رطوبت طی زمان خشک‌کردن

در روش خشک‌کردن با آون آزمایشگاهی بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون، در فواصل زمانی (۵، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ دقیقه و مابقی هر ۳۰ دقیقه) فویل آلومینیمی و نمونه از آون خارج و با دقت ۰/۰۱ گرم وزن گردید و داده‌ها ثبت شد. این عمل تا رسیدن به رطوبت مشخص (۰/۰۸ بر اساس وزن خشک) ادامه پیدا کرد. در روش‌های خشک‌کردن با خشک‌کن خورشیدی و خشک‌کردن در معرض نور مستقیم خورشید نیز در فواصل زمانی (۰/۵، ۱، ۲، ۳ ساعت و مابقی هر دو ساعت یک‌بار) تا رسیدن به رطوبت مشخص (۰/۰۸ بر اساس وزن خشک) نمونه‌ها با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و داده‌ها ثبت شد.

۲. اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب محصول طی زمان خشک‌کردن

آزمایش‌های جذب آب روی نمونه‌های برداشتی طی زمان خشک‌کردن انجام گرفت و نمونه ها بعد از توزین، در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری در ۱۵۰ میلی‌لیترآب ۵۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت یک ساعت غوطه‌ور گردید. سپس نمونه‌ها از آب بیرون آورده شده و بلافاصله پس از حذف آب سطحی با دستمال کاغذی، توزین شد و نهایتاً برای به‌دست آوردن ماده خشک، نمونه‌های جذب آب کرده به ظروف آلومینیومی منتقل شده و در آون خلاء تا رسیدن به وزن ثابت خشک گردید و مجدداً توزین شد. با استفاده از روابط زیر به‌ترتیب ظرفیت جذب آب یاWAC (Water Absorption) Capacity ، ظرفیت حفظ ماده خشک یا DHC (Dry matter) Holding Capacity و توانایی جذب آب یا RA (Rehydration Ability) محاسبه شد (۱۲).

$$WAC = \frac{M_r(100 - S_r) - M_d(100 - S_d)}{M_o(100 - S_o) - M_d(100 - S_d)}$$

$$DHC = \frac{M_r \times S_r}{M_d \times S_d}$$

$$RA = WAC \times DHC$$

در این روابط M جرم نمونه و S جرم ماده‌خشک و اندیس‌های o,r و d به‌ترتیب مربوط به نمونه بعد از جذب آب، قبل از خشک‌کردن و پس از خشک‌کردن می‌باشد. دامنه تغییرات DHC, WRC و RA از صفر تا یک است. بدیهی است هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشند، آسیب وارده به ماده غذایی خشک‌شده در طی خشک‌کردن بیشتر بوده است.

۳. اندازه‌گیری چروکیدگی محصول طی زمان خشک‌کردن

تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به‌وسیله جابه‌جایی آب تعیین شد. در ابتدا نمونه ورقه گوجه‌فرنگی توزین شده و سپس در یک پیکنومتر بزرگ قرار داده شد و پیکنومتر با آب کاملاً پر شد و پس از خشک‌کردن جداره آن، توزین گردید و با استفاده از روابط زیر حجم نمونه و چروکیدگی آن محاسبه شد (۱۷).

وزن نمونه = وزن آب جابجا شده

[(وزن پیکنومتر+آب)- (وزن پیکنومتر+ نمونه+ آب)]-

$$\text{حجم نمونه} = \frac{\text{وزن آب جابه‌جا شده}}{\text{چگالی آب}}$$

$$\text{درصد چروکیدگی} = \left(1 - \frac{V_t}{V_\circ}\right) \times 100$$

که در آن: V_t، حجم در زمان مورد نظر $V_\circ$، حجم اولیه نمونه است.

برای این‌که مقایسه بین حجم‌ها در زمان صفر و t صحیح باشد، بایستی V_t برای ماده خشک $V_\circ$ محاسبه شود.

۴. اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ محصول نهایی

در پایان زمان خشک‌کردن، ورقه‌های خشک گوجه‌فرنگی، پودر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

شده و به‌وسیله دستگاه هانترلب (دیتاکالرساخت شرکت تکست فلش آمریکا) شاخص‌های h, b a, L رنگ آن، اندازه‌گیری شد.

طرح آماری مورد استفاده و روش آنالیز نتایج

در این تحقیق، آزمایش‌های آون در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار و سه تکرار و در شرایط خورشیدی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش تیمار و چهار تکرار انجام شد. تجزیه واریانس و رگرسیون در قالب تجزیه کوواریانس با استفاده از نرم افزار SAS و MSTATC انجام شد و از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

- منحنی‌های خشک‌کردن

- منحنی‌های خشک‌کردن در آون آزمایشگاهی

پس از این‌که تمامی مراحل آزمایش‌های مربوط به خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ۷ درصد (بر اساس وزن مرطوب) انجام شد، منحنی سینتیک افت رطوبت بر اساس نسبت رطوبت در دماهای مختلف رسم گردید. شکل ۲، نشان می‌دهد که مقدار رطوبت به‌طور مداوم طی زمان خشک‌کردن کاهش می‌یابد و زمان خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای بالاتر، کوتاه‌تر است. شدت افت رطوبت، به‌صورت مقدار رطوبت مطلق حذف شده در واحد زمان به‌عنوان تابعی از زمان خشک‌کردن و مقدار رطوبت مطلق به‌ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در منحنی شدت افت رطوبت، علاوه بر مرحله سرعت ثابت، یک مرحله سرعت نزولی وجود دارد و خشک‌کردن صرفنظر از شرایط خشک‌کردن غالباً در مرحله سرعت نزولی اتفاق می‌افتد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که با افزایش دمای خشک‌کردن، شدت افت رطوبت در مرحله سرعت ثابت و شیب خط مرحله سرعت نزولی افزایش می‌یابد.

هم‌چنین با بررسی شکل ۴ مشخص می‌شود که پایان دوره سرعت ثابت و شروع دوره سرعت نزولی در دماهای مختلف، در رطوبت مطلق مشخص صورت گرفته و دمای خشک‌کردن تأثیری در این مقدار رطوبت مطلق ندارد و مقدار رطوبت بحرانی برای دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب برابر با ۱۰/۴۹، ۱۰/۹۱، ۱۰/۸۳ و ۱۰/۹۷ (بر اساس وزن خشک) است.

- منحنی‌های خشک‌کردن در خشک‌کن خورشیدی و درخشک‌کردن سنتی (در معرض نور مستقیم خورشید)

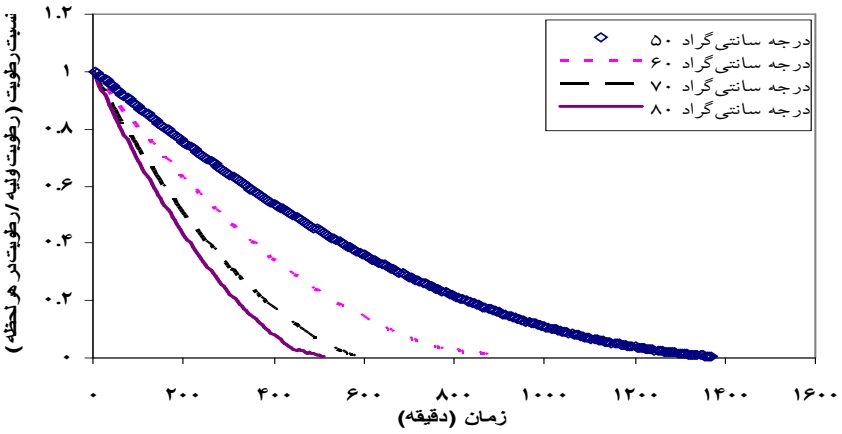
منحنی‌های سینتیک افت رطوبت در دو روش خشک‌کردن و در دو ضخامت مختلف ورقه گوجه‌فرنگی در شکل ۵ آورده شده است. با بررسی منحنی‌ها مشخص می‌شود که کاهش ضخامت اولیه ورقه‌های گوجه‌فرنگی تأثیر زیادی در کاهش زمان خشک‌کردن دارد. هم‌چنین بسته به ساعات مختلف خشک کردن طی شبانه روز و درجه حرارت محیط، زمان خشک‌کردن در خشک‌کن خورشیدی نسبت به خشک‌کردن سنتی به‌میزان ۱۷ تا ۴۵ درصد کوتاه‌تر است.

سرعت خشک شدن خورشیدی ورقه‌های گوجه‌فرنگی، به‌صورت مقدار رطوبت مطلق حذف شده در واحد زمان به‌عنوان تابعی از زمان خشک‌کردن در شکل ۶ نشان داده شده است. در این شکل مشخص می‌شود که در منحنی‌های خشک‌کردن خورشیدی ورقه‌های گوجه‌فرنگی ، یک دوره سرعت ثابت و دو دوره سرعت نزولی وجود دارد. هم‌چنین به‌دلیل این‌که در ابتدای فرایند خشک‌کردن دمای هوای خشک‌کن و محیط با هم تفاوت زیادی دارند، شدت افت رطوبت در خشک‌کن خورشیدی بیشتر از روش خشک کردن سنتی است.

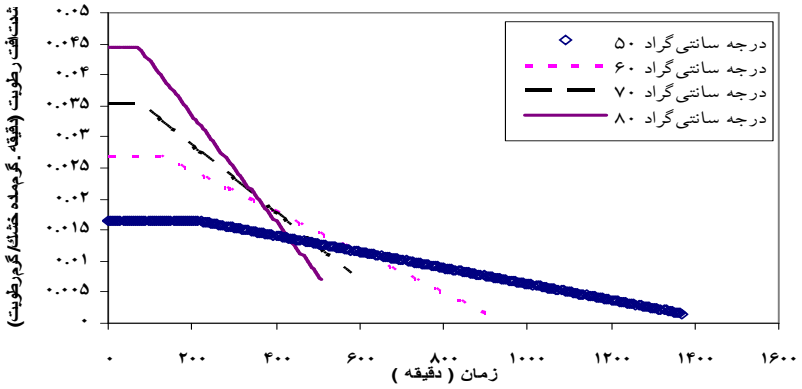
ساسیلیک و همکاران، گوجه‌فرنگی را با دو روش خشک‌کن تونلی خورشیدی و روش سنتی خشک نموده و آنها نیز به این نتیجه رسیدند که سرعت خشک‌کردن در خشک‌کن خورشیدی ۲۶/۹ درصد بیشتر از سرعت خشک‌کردن در روش سنتی است. هم‌چنین در تحقیق آنها، منحنی‌های خشک‌کردن نیز

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

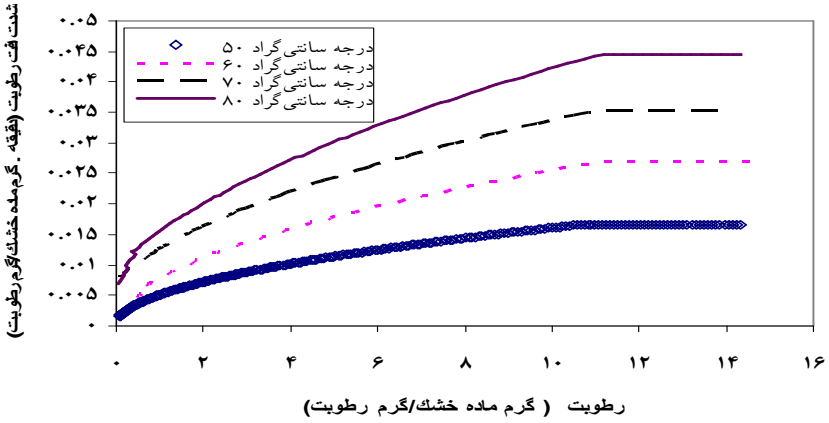
[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]



شکل۲. سینتیک افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن با آون (نسبت رطوبت تابعی از زمان)



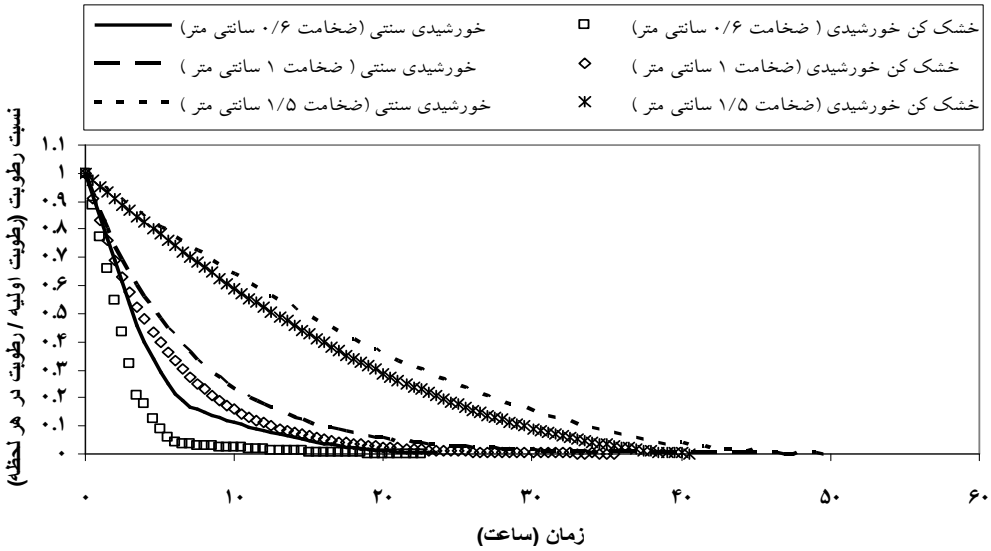
شکل۳. شدت افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک‌کردن با آون (تابعی از زمان)



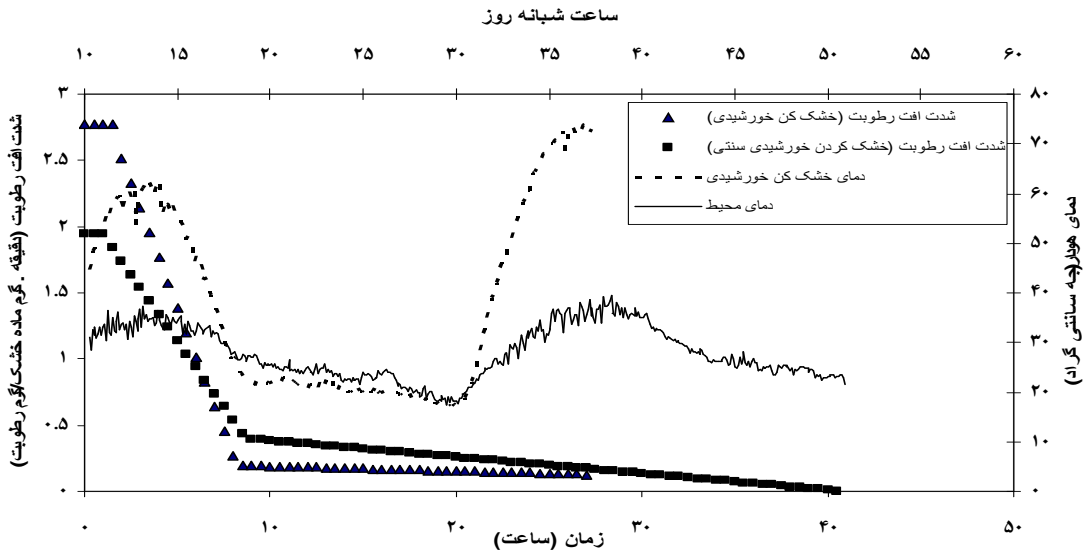
شکل۴. شدت افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک‌کردن با آون (تابعی از رطوبت مطلق)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]



شکل۵. سینتیک افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی در سه ضخامت و دو روش خشک‌کـردن خورشـیدی (نسبت رطوبت تابعی از زمان)



شکل۶. شدت افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متـر و تغییـرات دمـای هـوا در دو روش خشک‌کردن خورشیدی

وجود یک دوره سرعت نزولی را نشان دادند (۱۵).

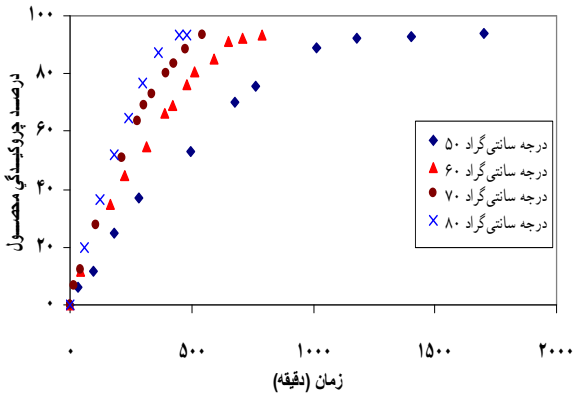
- بررسی چروکیدگی طی زمان خشک‌کردن

- چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی در آون

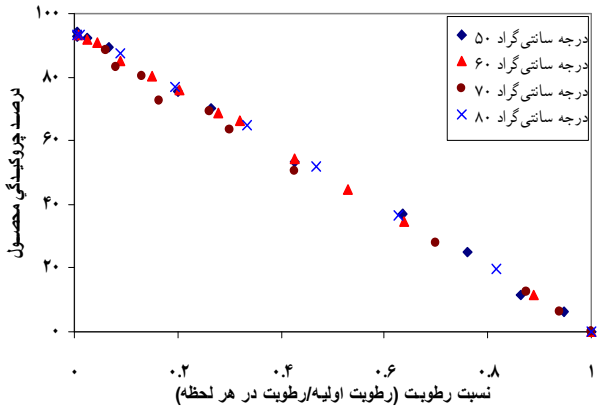
تغییرات چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای مختلـف هوا به‌عنوان تابعی از زمان خشک کـردن در شـکل۷ نـشان داده شده است. ازآنجایی که طی خشک‌کـردن در دماهـای مختلـف، رطوبت با سرعت‌هـای متفـاوت کـاهش مـی‌یابـد، پـس بـرای به‌دست‌آوردن اثر دمای هوا بر چروکیدگی بایستی تأثیر رطوبـت از آن حذف شود تا اثر دما بـر چروکیـدگی مـشخص شـود. در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]



شکل۷. تغییرات درصد چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن (تابعی از زمان)



شکل۸. تغییرات درصد چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک‌کردن (تابعی از رطوبت)

شکل ۸، تغییرات چروکیدگی به‌عنوان تابعی از رطوبت رسم شده و در نتیجه اثر رطوبت در هر نقطه حذف شده است و مشخص می‌شود که در رطوبت یکسان، دمای هوا بر چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی بی تأثیر است. نتایج آنالیز واریانس نیز مؤید این نتیجه بوده که با حذف اثر رطوبت، تأثیر عامل دمای هوا بر چروکیدگی درسطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار نبوده است (جدول ۱).

- چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی در یک خشک‌کن خورشیدی و در روش سنتی

با بررسی تغییرات چروکیدگی محصول به‌عنوان تابعی از رطوبت، در دو روش متفاوت خشک‌کردن خورشیدی و در سه ضخامت مختلف ورقه‌های گوجه‌فرنگی مشخص شد که این دو عامل بر چروکیدگی محصول بی‌تأثیر هستند و به‌دلیل این‌که نمودارهای مربوطه، مشابه نمودار شکل ۸ می‌باشند. بنابراین از تکرار آنها خودداری گردید. در جدول ۲، این نتیجه تأیید شده و تأثیر روش خشک‌کردن و ضخامت ورقه‌ها و همچنین اثر متقابل آنها بر چروکیدگی ورقه‌ها درسطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نیست. تالا و همکاران، در فرایند خشک‌کردن موز به نتایج مشابهی رسیدند و نشان دادندکه تأثیر درجه حرارت هوای خشک‌کن روی چروکیدگی موز، قابل چشم‌پوشی است (۱۸). ال- محتسب و همکاران، با خشک‌کردن ژل نشاسته سیب‌زمینی در دماهای مختلف و اندازه‌گیری چروکیدگی آن، به این نتیجه رسیدند که دمای هوا تأثیر ناچیزی روی چروکیدگی محصول دارد (۵).

- بررسی جذب آب ورقه‌های گوجه‌فرنگی طی زمان خشک‌کردن

برای تعیین جذب آب، سه ویژگی ظرفیت جذب آب (WAC)، قابلیت حفظ ماده خشک (DHC) و قابلیت جذب آب (RA) در دماهای مختلف هوا و طی زمان خشک‌کردن اندازه‌گیری شدند. به‌دلیل این‌که سرعت افت رطوبت در دماهای مختلف، متفاوت بود بنابراین مقایسه این سه ویژگی در دماهای مختلف به‌عنوان تابعی از رطوبت صورت گرفت.

در شکل ۹ تغییرات RA ورقه‌های گوجه‌فرنگی طی زمان خشک‌کردن به‌عنوان تابعی از رطوبت، در دماهای مختلف نشان داده می‌شود. طی فرایند خشک‌کردن و با کاهش رطوبت محصول، به‌دلیل تخریب ساختار و بافت ورقه گوجه‌فرنگی، مقدار RA محصول به‌صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. در ابتدای خشک‌کردن، تفاوت‌هایی در مقادیر RA در دماهای

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

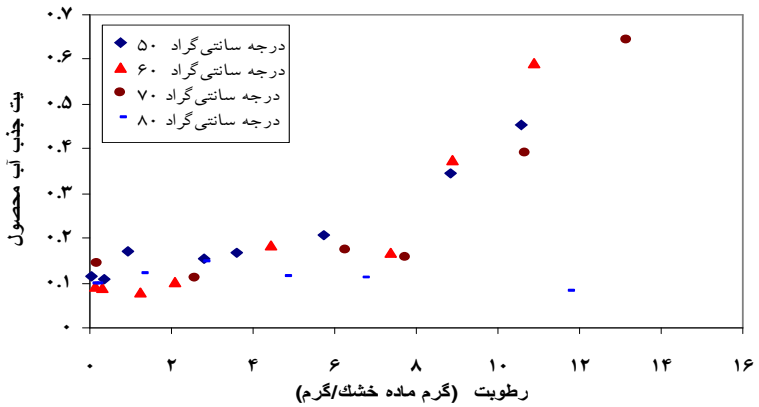
[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

جدول۱. نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوا بر چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در سطح احتمال ۱ درصد (بعد از حذف اثر رطوبت)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
دمای هوا	۳	۲/۴۸	۱/۹۹^{ns}
خطا	۱۲۸	۱/۲۴۶	

جدول۲. نتایج تجزیه واریانس اثر ضخامت ورقه‌های گوجه‌فرنگی و روش خشک‌کردن بر چروکیدگی محصول (در سطح احتمال ۱ درصد) (بعد از حذف اثر رطوبت)

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
ضخامت	۲	۱۳/۲۱	۱/۴۵^{ns}
روش خشک‌کردن	۱	۸/۸۶	۰/۹۷^{ns}
ضخامت×روش	۲	۴/۷۶	۰/۵۲^{ns}
خطا	۹۴	۹/۱۲	



شکل۹. تغییرات قابلیت جذب آب ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر طی خشک‌کردن به‌عنوان تابعی از رطوبت (در دماهای مختلف هوا)

مختلف مشاهده می‌شود ولی در انتهای فرایند خشک کردن، این مقادیر در دماهای مختلف به هم نزدیک می‌شوند.

برای بررسی آماری اثر دماهای مختلف بر جذب آب ورقه‌های گوجه‌فرنگی طی خشک‌کردن، تجزیه واریانس صورت گرفت. به این منظور ابتدا اثر رطوبت حذف شد و سپس اثر دما بر WAC، DHC و RA تجزیه واریانس گردید. جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر دمای هوای خشک‌کن بر WAC، DHC و RA ورقه‌های گوجه‌فرنگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نیست و WAC، DHC و RA ویژگی‌هایی مستقل از دمای هوا بوده‌اند.

– بررسی رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده

– رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده در آون

ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده، ابتدا به‌صورت پودر در آمده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

جدول۳. نتیجه تجزیه واریانس اثر دمای هوای خشک‌کن بر WAC، DHC و RA ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر (در سطح احتمال ۱ درصد) (با حذف اثر رطوبت)

منابع تغییرات / ویژگی	دمای هوا		خطا		F
	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
WAC	۳	۰/۰۳	۶۴	۰/۰۲	۱/۵^{ns}
DHC	۳	۰/۰۰۸	۶۴	۰/۰۰۶۳	۱/۲۷^{ns}
RA	۳	۰/۰۲۵	۶۴	۰/۰۱۶۷	۱/۵^{ns}

جدول۴. نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوا روی شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر خشک‌شده به‌روش آون (احتمال ۱ درصد)

منابع تغییرات / ویژگی	دمای هوا		خطا		F
	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
L	۴	۱۸/۹۱	۷	۰/۶۷	۲۸/۱۸**
a	۴	۱۷/۷۵	۷	۰/۶۶	۲۶/۸۶**
b	۴	۰/۴۸	۷	۰/۳۵	۱/۳۸^{ns}
h	۴	۲۴/۹۱	۷	۱/۰۹	۲۲/۶۷**
a/b	۴	۰/۰۲۷	۷	۰/۰۰۱۲	۲۲/۴۳**

و سپس شاخص‌های L، a، b و h رنگ آن به‌وسیله دستگاه هانترلب اندازه‌گیری گردید. L شاخص روشنایی رنگ، a شاخص قرمزی، b شاخص زردی و h زاویه فام است. جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای آون روی شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده را نشان می‌دهد و بررسی نتایج آن مشخص می‌کند که دمای هوا روی شاخص‌های L، a، h و a/b در سطح احتمال ۹۹ درصد اثر معنی‌دار داشته ولی روی شاخص b اثر معنی‌دار ندارد. در جدول ۵ میانگین شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده در دماهای مختلف با هم مقایسه شده‌اند و نتایج نشان می‌دهد که بالاترین مقدار L، a و a/b در دمای ۵۰ °C و بیشترین مقدار h در دمای ۸۰ °C می‌باشد.

مطابق یافته‌های تامسون و همکاران، هرچه h کمتر باشد، میزان لیکوپن بیشتر و رنگ قرمزتر است(۱۹).

شی و همکاران، نشان دادند که با افزایش دمای خشک‌کردن، واکنش‌های ایزومریزاسیون وتخریب لیکوپن افزایش می‌یابد و شاخص‌های Lوa کاهش پیدا می‌کنند (۱۶). گولا و همکاران و زانونی و همکاران، نیز مشخص کردند که با افزایش دمای خشک‌کردن، سرعت تخریب لیکوپن زیاد می‌شود و سرعت اتلاف لیکوپن بیشتر از سرعت تغلیظ آن در اثر خشک‌کردن است (۸ و ۲۰).

- رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده در خشک کن خورشیدی و در روش سنتی

برای بررسی تفاوت رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده در دو روش مختلف خشک‌کردن خورشیدی، شاخص‌های L، a، b و h رنگ آنها، به‌وسیله دستگاه هانترلب اندازه‌گیری گردید و اثر روش خشک کردن روی رنگ محصول نهایی تجزیه واریانس شد. جدول ۶، مشخص می‌کند که روش خشک‌کردن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

جدول۵. مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف هوا توسط آون (آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد)

دمای هوای آون (°C)	L	a	h	a/b
۵۰	۴۷/۳۹^{a}	۳۰/۳۹^{a}	۴۳/۱۴^{d}	۱/۰۶۷^{a}
۶۰	۴۵/۵۲^{b}	۲۸/۸۹^{ab}	۴۴/۷۵^{cd}	۱/۰۰۸^{ab}
۷۰	۴۴/۱۹^{bc}	۲۷/۲۸^{bc}	۴۷/۴۲^{bc}	۰/۹۱۸^{bc}
۷۵	۴۲/۳^{cd}	۲۵/۸۴^{c}	۴۸/۵۶^{ab}	۰/۸۸۳^{cd}
۸۰	۴۰/۹۵^{d}	۲۴/۰۷^{d}	۵۰/۵۳^{a}	۰/۸۲۳^{d}

جدول۶. نتایج تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن خورشیدی روی شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر خشک شده

منابع تغییرات / ویژگی	روش خشک کردن		خطا		F
	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
L	۱	۱۴/۶۶	۴	۰/۵	۲۹/۳۲**
a	۱	۱۴/۳۵	۴	۰/۲۶	۵۵/۱۹ **
b	۱	۱۴/۶۳	۴	۰/۶۶	۲۲/۱۷**
h	۱	۶۱/۸۸	۴	۰/۲۹	۲۱۳/۳۸ **
a/b	۱	۰/۰۷	۴	۰/۰۰۰۲	۳۵۰**

خورشیدی، در سطح احتمال ۱ درصد روی شاخص‌های رنگ محصول نهایی برای هر دو روش سنتی و خورشیدی اثر معنی‌داری داشته است.

در جدول ۷، میانگین شاخص‌های رنگ در دو روش خشک کردن خورشیدی با هم مقایسه شده و نشان می‌دهد که ورقه‌های خشک‌شده در خشک‌کن خورشیدی دارای L، b و h بالاتر و a و a/b کمتری نسبت به‌روش سنتی است. به‌عبارت دیگر گوجه‌فرنگی خشک شده به‌روش سنتی دارای رنگ قرمزتری نسبت به خشک‌کن خورشیدی است و احتمالاً لیکوپن آن بیشتر حفظ شده است.

ساسیلیک و همکاران، در مقایسه خشک‌کن خورشیدی تونلی با خشک‌کردن سنتی به این نتیجه رسیدند که گوجه‌فرنگی خشک شده در خشک کن تونلی رنگ قرمزتر و روشن‌تری نسبت به حالت سنتی دارد. باید توجه داشت که خشک‌کن خورشیدی مورد مطالعه آنها از نوع مستقیم بوده و محصول در معرض نور مستقیم خورشید قرار داشته است ولی خشک‌کن خورشیدی مورد مطالعه در این تحقیق از نوع غیرمستقیم می‌باشد (۱۵).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف هوا و در یک آون آزمایشگاهی خشک شده و سینتیک و شدت افت رطوبت در آنها به‌دست آمد. مشخص گردید که شدت افت رطوبت در دماهای بالاتر هوا بیشتر است. هم‌چنین در منحنی‌های شدت افت رطوبت محصول در روش خشک کردن با آون، یک دوره سرعت ثابت و یک دوره سرعت نزولی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

جدول۷. مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر خشک‌شده در دو روش خشک کردن (آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد)

روش / شاخص	L	a	b	h	a/b
خشک کن خورشیدی	۵۳/۷۶^{a}	۲۵/۶^{b}	۲۹/۷۸^{a}	۴۹/۳^{a}	۰/۸۶^{b}
روش سنتی	۵۰/۶۳^{b}	۲۸/۷^{a}	۲۶/۶^{b}	۴۹/۸۷^{b}	۱/۰۷^{a}

مشاهده گردید. با خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در یک دستگاه خشک‌کن خورشیدی و در روش خشک کردن سنتی آفتابی نیز نتیجه‌گیری شد که سرعت خشک شدن در خشک‌کن خورشیدی بیشتر از روش سنتی است و در منحنی‌های شدت افت رطوبت در روش‌های خشک کردن خورشیدی نیز یک دوره سرعت ثابت دو دوره سرعت نزولی وجود داشت.

بررسی تغییرات درصد چروکیدگی طی خشک کردن در دماهای مختلف هوا نیز نشان داد که اثر دمای هوای خشک‌کن روی چروکیدگی محصول معنی‌دار نیست و چروکیدگی فقط تابعی از میزان رطوبت محصول می‌باشد و روش خشک‌کردن و ضخامت ورقه‌ها نیز بر آن بی‌تأثیر هستند. هم‌چنین مشخص شد که قابلیت جذب آب در محصول، مستقل از دمای هوای خشک‌کن است. در مورد رنگ نیز محصول خشک شده در دمای پایین هوا(۵۰ درجه سانتی‌گراد)، دارای رنگ قرمزتر و روشن‌تری نسبت به دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود.

سپاسگزاری

به‌منظور انجام این تحقیق و ساخت دستگاه خشک‌کن خورشیدی موردنظر، از شرکت پلار اصفهان کمک گرفته شد لذا بدین وسیله از همکاری و مساعدت آقای مهندس سکوت (مدیر عامل شرکت سولارپلار)، آقای مهندس شهنام‌فر و سایر پرسنل شرکت پلار که در ساخت خشک‌کن مذکور متحمل زحمات فراوان شده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. زارع، د.، ع. زمردیان و ح. قاسم خانی. ۱۳۸۴. تأثیر دبی جرمی هوای ورودی وزمان تخلیه محصول بر روند کاهش رطوبت شلتوک در یک خشک‌کن نیمه پیوسته خورشیدی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹(۱):۲۵۱ – ۲۶۴.

۲. سهیلی مهدیزاده، الف. و ع. کیهانی. ۱۳۸۵. طراحی خشک‌کن خورشیدی با همرفت اجباری برای سبزی‌های برگی و ارزیابی عملکرد جمع‌کننده انرژی خورشیدی. تحقیقات مهندسی کشاورزی ۷(۲۷): ۱۴۷–۱۶۳.

۳. صیاد، م.، ۱۳۸۴. اثر دما و سرعت هوای خشک‌کن روی سینتیک خشک‌کردن ورقه‌های سیب به‌صورت لایه نازک. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

4. Abene, A., V. Dubois and M. L. Ray. 2004. Study of a solar air flat plate collector: use of obstacles and application for the drying of grape. J. Food Eng. 65: 15-22.
5. Al-Muhtaseb, A. H., W. A. M. McMinn and T. R. A. Magee. 2004. Shrinkage, density and porosity variations during the convective drying of potato starch gel. Proceedings of the 14th International Drying symposium, Sao Paulo, Brazil, PP. 1604-1611.
6. Ekechukwu, O. V. and B. Norton. 1999a. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. Energy Conver and Manag. 40: 615-655.
7. Fellows, P. 1990. Food Processing Technology. Principles and Practice, Ellis Horwood, New York.
8. Goula, A. M., K. G. Adamopoulos, P. C. Chatzitakis and V. A. Nikas. 2006. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. J. Food Eng. 74: 37-46.
9. Karim, M. A. and M. N. A. Hawlader. 2005. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]

experimental validation. J. Food Eng. 70: 35-45.
10. Latapi, G. D. M. Barrett. 2006a. Influence of pre-drying treatments on quality and safety of sun-dried tomatoes. Part I: Use of steam blanching, boiling brine blanching and Dips in salt or sodium metabisulfite. J. Food Sci. 71(1): S24-S31.
11. Lee, K. T., M. Farid and S. K. Nguang. 2006. The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruit. J. Food Eng. 72(1): 16-23.
12. Lewicki, P. P. 1998. Some remarks on rehydration of dried foods. J. Food Eng. 36: 81-87.
13. Mayor, L. and A. M. Sereno. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. J. Food Eng. 61: 373–386.
14. Pangavhane, D. R., R. L. Sawhney and P. N. Sarsavadia. 2002. Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. Energy 27: 579-590.
15. Sacilik, K. and A. K. Elicin. 2005. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. J. Food Eng. 12: 101-115.
16. Shi, J., M. L. Maguer, Y. Kakuda, A. Liptay and F. Niekamp. 1999. Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. Food Res. Intl. 32:15-21.
17. Sjoholm, I. and V. Gekas. 1995. Apple shrinkage upon drying. J. Food Eng. 25: 123-130.
18. Talla, A., J. R. Puiggali, W. Jomaa and Y. Jannot. 2004. Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits : application to banana. J. Food Eng. 64: 103-109.
19. Thompson, K. A., M. R. Marshall, C. I. Wei and J. W. Scott. 2000. Cultivar, maturity and heat treatmant on lycopene content in tomatoes. J. Food Sci. 65(5):791-795.
20. Zanoni, B., C. Peri, R. Nani and V. Lavelli. 1999. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. Food Res. Intl. 31(5):395-401.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-03-28]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1388.13.47.36.4]