

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

علی اکبری^۱، محمد شاهدی^{۱*}، ناصر همدانی^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 به وسیله 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 ستی خشک کردن خورشیدی مقایسه گردید. هم‌چنین در یک آون آزمایشگاهی (در دماهای ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰°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 ستی آفتابی نیز نتیجه‌گیری شد که سرعت خشک‌شدن در خشک‌کن خورشیدی بین ۱۷ تا ۴۵ درصد بیشتر از روش ستی 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 مشخص شد 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°C)، دارای رنگ قرمزتر و روشن‌تری نسبت به دمای ۸۰°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 سبزی‌های است. طی خشک‌کردن، برای رسیدن به یک فعالیت آبی نهایی که پایداری میکروبی محصول را تضمین و تغییرات

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

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 به سمت 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 خشک‌کردن انگور استفاده نمودند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که سرعت خشک کردن با این روش به طور قابل توجهی بیشتر از خشک کردن خورشیدی باز یا خشک کردن در سایه است (۱۴).

کریم و هاولادر، کارایی کلکتور خشک‌کن خورشیدی با مجاري ۷ شکل را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که 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 برگی شکل 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 اضافه کردن مواد مختلف روی سطح کلکتور خشک‌کن خورشیدی را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان

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 مسئله 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 کمی و کیفی در محصول می‌شود. در بسیاری از مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه، خرید خشک‌کن‌های صنعتی برای کشاورزان از لحاظ اقتصادی مقرن به صرفه نیست و کشاورزان خرد پا به ندرت از این تجهیزات استفاده می‌کنند (۲). لذا استفاده از انرژی خورشیدی به صورت 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 مرکز 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 کمی و کیفی محصولات خشک می‌شود (۲). به طور 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

فسادپذیر است. بنابراین بایستی یا سریعاً مصرف شود و یا این که برای مصارف بعدی تحت شرایط کنترل شده فراوری و نگهداری گردد. خشک کردن یکی از این روش‌های مطلوب نگهداری است. تاکنون خشک کردن گوجه‌فرنگی با هر دو روش انرژی خورشیدی و سیستم‌های مکانیکی انجام پذیرفته است. در کشورهای در حال توسعه، یکی از هدف‌های اصلی خشک کردن خورشیدی گوجه‌فرنگی، کاهش ضایعات پس از برداشت است. در حالی که در کشورهای توسعه یافته، گوجه‌فرنگی خشک شده به عنوان یک جزء خوش‌خوارک 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 خشک کن خورشیدی

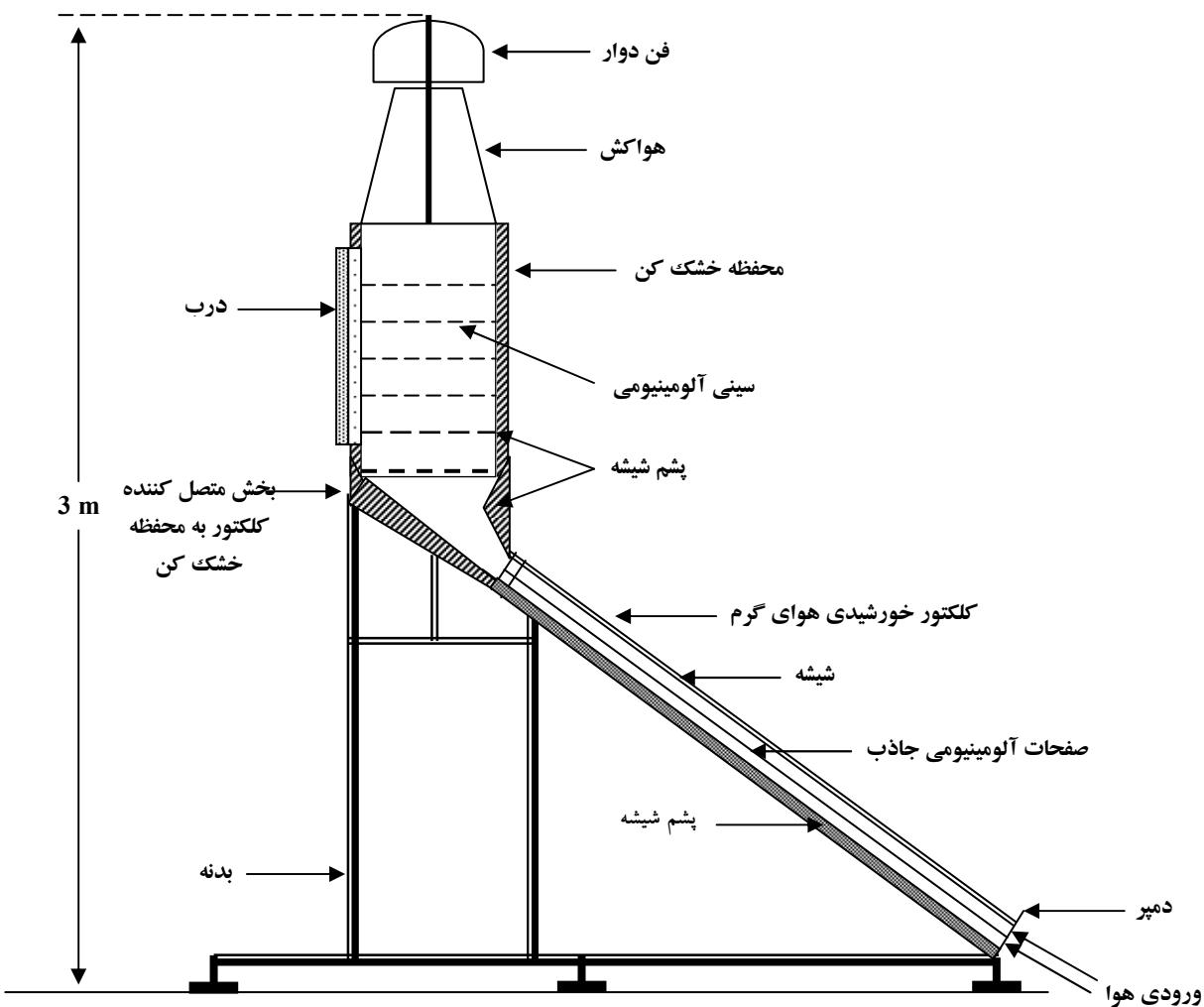
خشک کن خورشیدی مطابق طرح شکل شماره ۱ توسط شرکت پلاز اصفهان ساخته شد. قسمت‌های اصلی این خشک کن عبارت اند از: کلکتور، محفظه خشک کن، فن دور، هواکش و پایه. کلکتور، قابی مستطیل شکل از جنس آلومینیوم با طول ۲۰۰ و عرض ۹۲ و ضخامت ۸ سانتی‌متر است که سطح بالای آن توسط یک صفحه شیشه با ضخامت ۴ میلی‌متر پوشیده شده 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 پوشش دار بوده که توسط شرکت سان استریپ کشور سوئد تولید شده است. به منظور بهبود راندمان انتقال گرما از صفحات به هوا، صفحات جاذب در فاصله بین پوشش شیشه و کانال‌های عبور هوا قرار گرفته‌اند به طوری که دو فضا برای عبور هوا در رو و زیر این صفحات وجود دارد. به منظور ورود و خروج هوا، شکاف‌هایی با طول ۷۵ و عرض ۵ سانتی‌متر در

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

زارع و همکاران، با طراحی خشک کنی خورشیدی از نوع فعال تلفیقی و استفاده از آن در خشک کردن شلتوك، نشان دادند که دبی جرمی هوا در خشک کن و فاصله زمانی تخلیه محصول، اثر معنی‌داری بر کاهش رطوبت شلتوك 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 خشک کردن محصولات غذایی است. از میان مواد مذکور، محصولات خشک عمده‌تاً توسط سه ویژگی درصد چروکیدگی، رنگ و جذب آب ارزیابی می‌شوند^(۷). یکی از مهم‌ترین تغییرات فیزیکی که طی فرایند خشک کردن مواد غذایی ایجاد می‌شود، کاهش حجم آن است. از دست دادن آب و گرم شدن باعث ایجاد تنفس 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 به عنوان 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 تغییرات شیمیایی در رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئیدها می‌شود. معمولاً زمان‌های طولانی‌تر و درجه حرارت‌های بالاتر خشک کردن، اتلاف بیشتر رنگدانه‌ها را به همراه دارد^(۷).

گوجه‌فرنگی نیز همانند اغلب محصولات کشاورزی،



شکل ۱. شماتیک مقطع عرضی خشک کن خورشیدی

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 خشک کن، هوکشی با طول ۴۵ سانتی‌متر و به صورت یک مخروط ناقص قرار گرفته است و روی هوکش یک فن دوار به قطر ۲۵ سانتی‌متر وجود دارد که این فن توسط جریان باد چرخیده و به همراه طبیعی هوا در کلکتور و محفظه کمک می‌کند(۱۴).

تهیه و آماده سازی نمونه‌ها
گوجه‌فرنگی واریته Early Urbana Y. از مزرعه‌ای در منطقه

پایین و بالای کلکتور ایجاد شد. کلکتور با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح افق بر روی پایه نصب گردید. محفظه خشک کن با ارتفاع ۷۰ و عرض ۴۵ سانتی‌متر به صورت 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 خشک کن دارای شیشه دو جداره بوده و به وسیله نوارهای لاستیکی در حاشیه، به صورت کامل آب‌بندی گردیده است. داخل محفظه خشک کن به وسیله ۵ عدد سینی از جنس توری آلومینیومی که به صورت کشویی حرکت می‌کنند، طبقه‌بندی شده است. محفظه خشک کن روی پایه اصلی و در

توری پلاستیکی با ابعاد 15×15 سانتی‌متر و با وزن مشخص قرار گرفتند. وزن اولیه توری‌ها و ورقه‌های گوجه‌فرنگی اندازه‌گیری و در طبقات مختلف خشک کن خورشیدی گذاشته شد و به‌وسیله آنها افت رطوبت طی زمان خشک کردن بررسی شد. روی قسمت‌های دیگر قفسه‌های خشک کن 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. خشک کردن برای هر ضخامت در 4°C زمان و در تاریخ‌های مختلف صورت گرفت. برای اندازه‌گیری دما در قسمت‌های مختلف خشک کن، 7°C ترموموکوپل در نقاط مختلف (وروودی و خروجی کلکتور، وسط محفظه خشک کن، خروجی محفظه، سطح زیرین، وسط و بالایی ورقه‌های گوجه‌فرنگی موجود در طبقه سوم) نصب گردید و هر 5 دقیقه دمایا به‌وسیله یک دستگاه جمع‌آوری کننده داده ذخیره شد. برای سنجش رطوبت نسبی هوای خشک کن از دو سری دما‌سنج‌های حباب خشک و مطروب در بالا و پایین طبقه سوم استفاده شد و در فواصل زمانی، دمایا قرائت گردید و با استفاده از چارت سایکرومتری، رطوبت نسبی هوا بدست آمد.

۳. خشک کردن 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 15×15 سانتی‌متر در معرض نور مستقیم خورشید پهن شدند و در طی زمان، افت رطوبت نور مستقیم خورشید 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. خشک کردن برای هر ضخامت در 4°C زمان و در تاریخ‌های مختلف انجام شد. برای اندازه‌گیری دما، سه ترموموکوپل در هوای محیط و سطح زیرین و بالایی ورقه گوجه‌فرنگی نصب گردید که هر 5 دقیقه دمایا به‌وسیله یک

دشتی در اطراف اصفهان تهیه گردید. نمونه‌ها به صورت هفتگی از مزرعه برداشت شده و تا زمان مصرف در سردهخانه 4 درجه سانتی گراد در کارگاه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان نگه‌داری شد و حدود 5 ساعت قبل از انجام فرایند خشک کردن، نمونه گوجه‌فرنگی از سردهخانه خارج شد تا به دمای محیط برسد. برای تهیه ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت یکسان، وسیله‌ای ساخته شد که در آن تیغه‌های کاردی شکل به صورت 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 خشک کردن نمونه‌ها

۱. خشک کردن در آون آزمایشگاهی

خشک کردن در دماهای ۵°C ، ۶°C ، ۷°C و ۸°C درجه سیلسیوس (در یک آون با مارک بایندر ساخت کشور آلمان) و در سه تکرار انجام شد. ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت 1 سانتی‌متر، بر روی سه قطعه ورق آلومینیومی با ابعاد 15×15 سانتی‌متر با وزن مشخص قرار گرفت. وزن اولیه ورقه‌ای آلومینیومی و ورقه‌های گوجه‌فرنگی اندازه‌گیری و در سه قسمت متفاوت از آون قرار داده شد. قبل از گذاشتن 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 پلی‌اتیلنی غیر قابل نفوذ به رطوبت تا زمان انجام آزمایش‌ها نگه‌داری شدند.

۲. خشک کردن در خشک کن خورشیدی

در فاصله زمانی مرداد، شهریور و مهر ماه ۱۳۸۵ ، ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت $۰/۶$ ، ۱ و $۱/۵$ سانتی‌متر روی 5 قطعه

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

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

$$RA = WAC \times DHC$$

در این روابط M جرم نمونه و S جرم ماده خشک و اندیس‌های r, o, d به ترتیب مربوط به نمونه بعد از جذب آب، قبل از خشک کردن و پس از خشک کردن می‌باشد. دامنه تغییرات DHC و WRC از صفر تا یک است. بدینهی است هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشند، آسیب واردہ به ماده غذایی خشک شده در طی خشک کردن بیشتر بوده است.

۳. اندازه‌گیری چروکیدگی محصول طی زمان خشک کردن
تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به وسیله 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 خشک کردن جداره آن، توزین گردید و با استفاده از روابط زیر حجم نمونه و چروکیدگی آن محاسبه شد (۱۷).

$$\text{وزن نمونه} = \text{وزن آب جابجا شده} \\ (\text{وزن پیکنومتر} + \text{آب}) - (\text{وزن پیکنومتر} + \text{نمونه} + \text{آب}) \\ \text{وزن آب جابه‌جا شده} \\ \text{چگالی آب} = \frac{\text{حجم نمونه}}{\text{حجم اولیه نمونه}}$$

$$= \left(1 - \frac{V_t}{V_0} \right) \times 100 \\ \text{درصد چروکیدگی}$$

که در آن: V_t حجم در زمان مورد نظر، V_0 حجم اولیه نمونه است.

برای این‌که مقایسه بین حجم‌ها در زمان صفر و t صحیح باشد، بایستی V_t برای ماده خشک V_0 محاسبه شود.

۴. اندازه‌گیری شاخص‌های رنگ محصول نهایی
در پایان زمان خشک کردن، ورقه‌های خشک گوجه‌فرنگی، پودر

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

آزمایش‌ها طی و بعد از خشک کردن

۱. اندازه‌گیری کاهش رطوبت طی زمان خشک کردن
در روش خشک کردن با آون آزمایشگاهی بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون، در فواصل زمانی (۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۸۰ و ۱۲۰ دقیقه و مابقی هر ۳۰ دقیقه) فویل آلومینیومی و نمونه از آون خارج و با دقت ۱٪ 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 خشک کردن با خشک کن خورشیدی و خشک کردن در معرض نور مستقیم خورشید نیز در فواصل زمانی (۱، ۲، ۳ ساعت و مابقی هر دو ساعت یکبار) تا رسیدن به رطوبت مشخص (۰٪ ۰۸) بر اساس وزن خشک) نمونه‌ها با دقت ۱٪ گرم توزین و داده‌ها ثبت شد.

۲. اندازه‌گیری ظرفیت جذب آب محصول طی زمان خشک کردن

آزمایش‌های جذب آب روی نمونه‌های برداشتی طی زمان خشک کردن انجام گرفت و نمونه‌ها بعد از توزین، در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری در ۱۵۰ میلی‌لیتر آب 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 (Water Absorption) (WAC)، به ترتیب ظرفیت جذب آب یا (Dry matter) DHC، ظرفیت حفظ ماده خشک یا Capacity Rehydration (RA) و توانایی جذب آب یا Holding Capacity (Ability) محاسبه شد (۱۲).

سرعت ثابت و شروع دوره سرعت نزولی در دماهای مختلف، در رطوبت مطلق مشخص صورت گرفته و دمای خشک کردن تأثیری در این مقدار رطوبت مطلق ندارد و مقدار رطوبت بحرانی برای دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با ۱۰/۹۱، ۱۰/۴۹ و ۱۰/۸۳ (بر اساس وزن خشک) است.

- منحنی‌های خشک کردن در خشک کن خورشیدی و در خشک کردن سنتی (در معرض نور مستقیم خورشید)

منحنی‌های سیتیک افت رطوبت در دو روش خشک کردن 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 خشک کردن دارد. هم‌چنین بسته به ساعات مختلف خشک کردن طی شبانه روز و درجه حرارت محیط، زمان خشک کردن در خشک کن خورشیدی نسبت به خشک کردن سنتی به میزان ۱۷ تا ۴۵ درصد کوتاه‌تر است.

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

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

شدید و به وسیله دستگاه هانترلب (Dytacalr) ساخت شرکت تکست فلاش آمریکا) شاخص‌های $L_{h,b,a}$ رنگ آن، اندازه‌گیری شد.

طرح آماری مورد استفاده و روش آنالیز نتایج

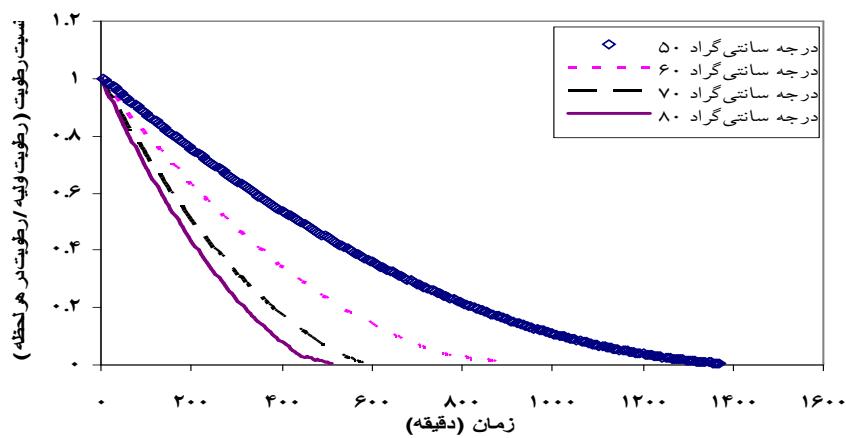
در این تحقیق، آزمایش‌های آون در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تیمار و سه تکرار و در شرایط خورشیدی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شش تیمار و چهار تکرار انجام شد. تجزیه واریانس و رگرسیون در قالب تجزیه کوواریانس با استفاده از نرم افزار SAS و MSTATC انجام شد و از آزمون دانکن نیز برای مقایسه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

نتایج و بحث

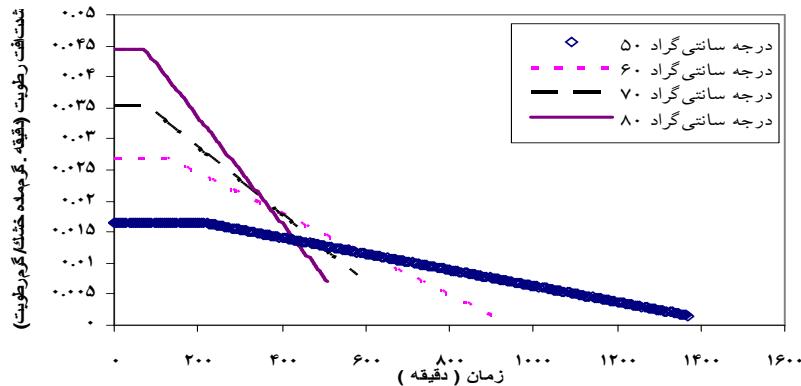
- منحنی‌های خشک کردن

- منحنی‌های خشک کردن در آون آزمایشگاهی

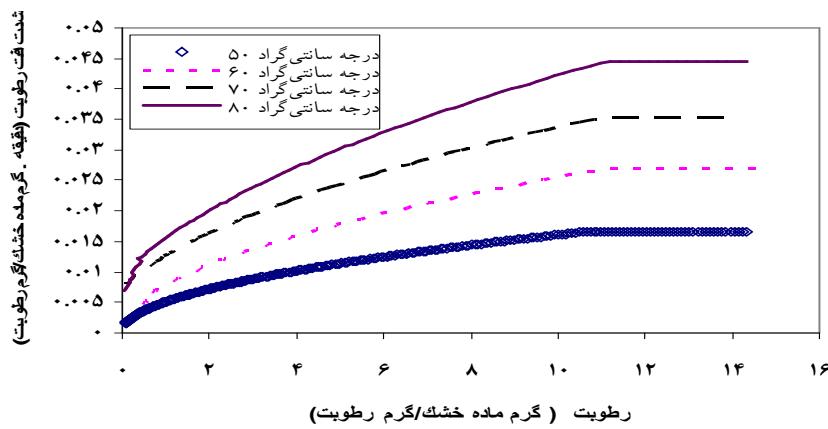
پس از این‌که تمامی مراحل آزمایش‌های مربوط به خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به رطوبت ۷ درصد (بر اساس وزن مرطوب) انجام شد، منحنی سیتیک افت رطوبت بر اساس نسبت رطوبت در دماهای مختلف رسم گردید. شکل ۲، نشان می‌دهد که مقدار رطوبت به طور مداوم طی زمان خشک کردن کاهش می‌یابد و زمان خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای بالاتر، کوتاه‌تر است. شدت افت رطوبت، به صورت مقدار رطوبت مطلق حذف شده در واحد زمان به عنوان تابعی از زمان خشک کردن و مقدار رطوبت مطلق به ترتیب 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 خشک کردن صرفنظر از شرایط خشک کردن غالباً در مرحله سرعت نزولی اتفاق می‌افتد. هم‌چنین مشاهده می‌شود که با افزایش دمای خشک کردن، شدت افت رطوبت در مرحله سرعت ثابت و شبیه خط مرحله سرعت نزولی افزایش می‌یابد. هم‌چنین با بررسی شکل ۴ مشخص می‌شود که پایان دوره



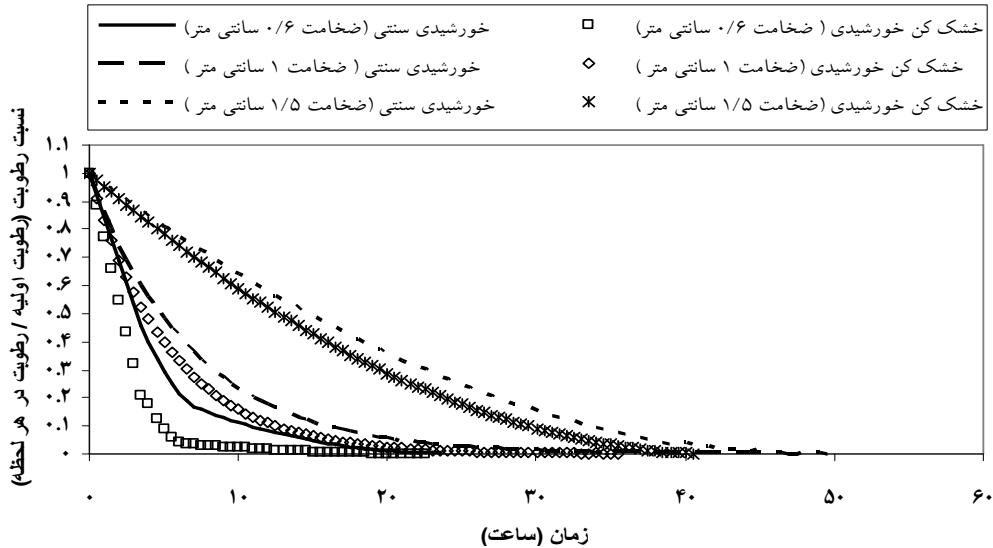
شکل ۲. سیستیک افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن با آون (نسبت رطوبت تابعی از زمان)



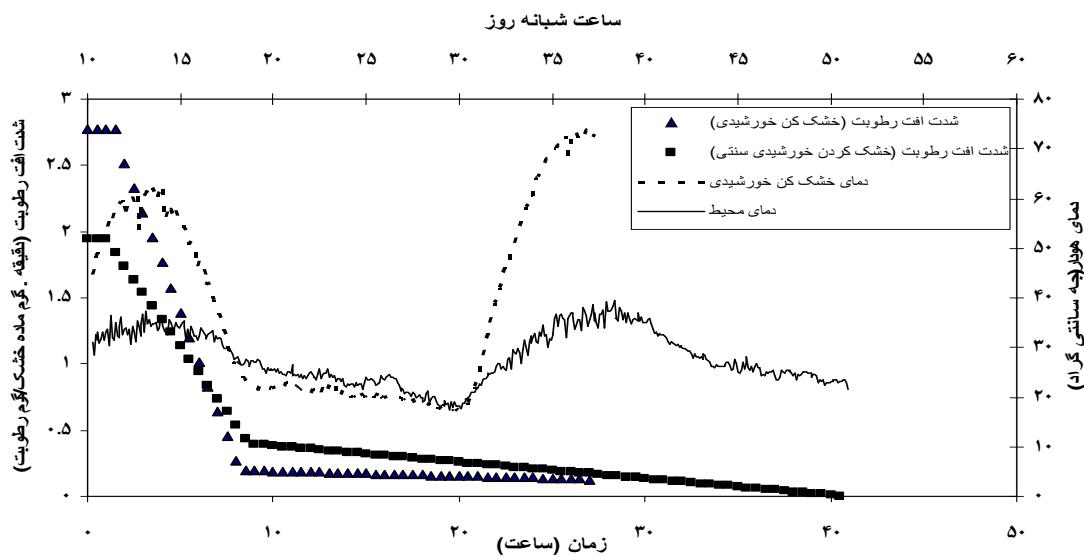
شکل ۳. شدت افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن با آون (تابعی از زمان)



شکل ۴. شدت افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن با آون (تابعی از رطوبت مطلق)



شکل ۵. سیتیک افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی در سه ضخامت و دو روش خشک کردن خورشیدی
(نسبت رطوبت تابعی از زمان)

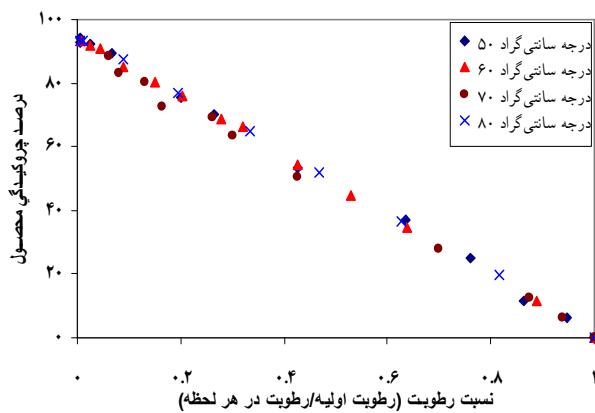


شکل ۶. شدت افت رطوبت ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر و تغییرات دمای هوا در دو روش خشک کردن خورشیدی

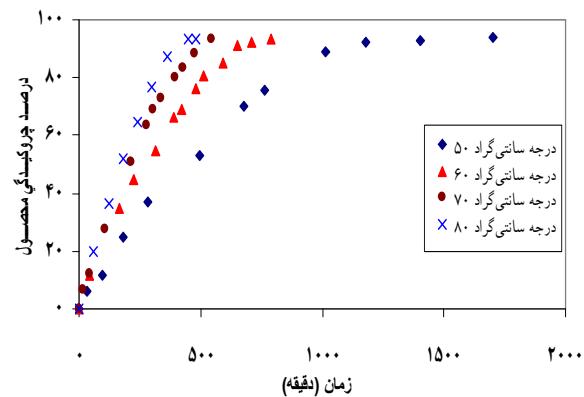
هوا به عنوان تابعی از زمان خشک کردن در شکل ۷ نشان داده شده است. از آنجایی که طی خشک کردن در دماهای مختلف، رطوبت با سرعت‌های متفاوت کاهش می‌یابد، پس برای به دست آوردن اثر دمای هوا بر چروکیدگی بایستی تأثیر رطوبت از آن حذف شود تا اثر دما بر چروکیدگی مشخص شود. در

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

- بررسی چروکیدگی طی زمان خشک کردن
- چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی در آون
- تغییرات چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف



شکل ۸. تغییرات درصد چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن (تابعی از رطوبت)



شکل ۷. تغییرات درصد چروکیدگی ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر در دماهای مختلف خشک کردن (تابعی از زمان)

خشک کن روی چروکیدگی موز، قابل چشم‌پوشی است (۱۸). ال-محتسب و همکاران، با خشک کردن ژل نشاسته سیب زمینی 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 خشک کردن

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 خشک کردن اندازه‌گیری شدند. به دلیل این که سرعت افت رطوبت در دماهای مختلف، متفاوت بود بنابراین مقایسه این سه ویژگی در دماهای مختلف به عنوان تابعی از رطوبت صورت گرفت.

در شکل ۹ تغییرات RA ورقه‌های گوجه‌فرنگی طی زمان خشک کردن به عنوان تابعی از رطوبت، در دماهای مختلف نشان داده می‌شود. طی فرایند خشک کردن و با کاهش رطوبت محصول، به دلیل تخریب ساختار و بافت ورقه گوجه‌فرنگی، مقدار RA محصول به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد. در ابتدای خشک کردن، تفاوت‌هایی در مقادیر RA در دماهای

شکل ۸. تغییرات چروکیدگی به عنوان 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 خشک کن خورشیدی و در روش سنتی

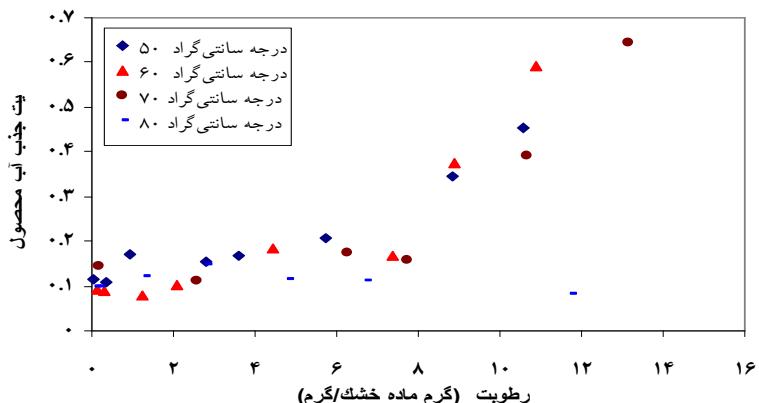
با بررسی تغییرات چروکیدگی محصول به عنوان تابعی از رطوبت، در دو روش متفاوت خشک کردن خورشیدی و در سه ضخامت مختلف ورقه‌های گوجه‌فرنگی مشخص شد که این دو عامل بر چروکیدگی محصول بی تأثیر هستند و به دلیل این که نمودارهای مربوطه، مشابه نمودار شکل ۸ می‌باشند. بنابراین از تکرار آنها خودداری گردید. در جدول ۲، این نتیجه تأیید شده و تأثیر روش خشک کردن و ضخامت ورقه‌ها و هم‌چنین اثر متقابل آنها بر چروکیدگی ورقه‌ها درسطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار نیست. تالا و همکاران، در فرایند خشک کردن موز به نتایج مشابهی رسیدند و نشان دادند که تأثیر درجه حرارت هوای

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

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

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر ضخامت ورقه‌های گوجه‌فرنگی و روش خشک کردن بر چروکیدگی محصول (در سطح احتمال ۱ درصد) (بعد از حذف اثر رطوبت)

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱/۴۵ ^{ns}	۱۳/۲۱	۲	ضخامت
۰/۹۷ ^{ns}	۸/۸۶	۱	روش خشک کردن
۰/۰۵۲ ^{ns}	۴/۷۶	۲	ضخامت × روش
	۹/۱۲	۹۴	خطا



شکل ۹. تغییرات قابلیت جذب آب ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر طی خشک کردن به عنوان تابعی از رطوبت (در دماهای مختلف هوا)

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 خشک شده
- رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده در آون ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده، ابتدا به صورت پودر در آمده

مخالف 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 خشک کردن، 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 خشک کن بر WAC،

جدول ۳. نتیجه تجزیه واریانس اثر دمای هوای خشک کن بر WAC، DHC و RA ورقه های گوجه فرنگی با ضخامت ۱ سانتی متر (در سطح احتمال ۱ درصد) (با حذف اثر رطوبت)

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

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای رنگ ورقه های گوجه فرنگی با ضخامت ۱ سانتی متر
خشک شده به روش آون (احتمال ۱ درصد)

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

خشک کردن، واکنش های ایزومریزاسیون و تخریب لیکوپن افزایش می یابد و شاخص های L_a و a کاهش پیدا می کنند (۱۶). گولا و همکاران و زانوئی و همکاران، نیز مشخص کردند که با افزایش دمای خشک کردن، سرعت تخریب لیکوپن زیاد می شود و سرعت اتلاف لیکوپن بیشتر از سرعت تغليظ آن در اثر خشک کردن است (۸ و ۲۰).

- رنگ ورقه های گوجه فرنگی خشک شده در خشک کن خورشیدی و در روش سنتی

برای بررسی تفاوت رنگ ورقه های گوجه فرنگی خشک شده در دو روش مختلف خشک کردن خورشیدی، شاخص های L_a, a, b و h آنها، به وسیله دستگاه هانتربل اندازه گیری گردید و اثر روش خشک کردن روی رنگ محصول نهایی تجزیه واریانس شد. جدول ۶، مشخص می کند که روش خشک کردن

و سپس شاخص های L_a, a, b و h رنگ آن به وسیله دستگاه هانتربل اندازه گیری گردید. L_a شاخص روشنایی رنگ، a شاخص قرمزی، b شاخص زردی و h زاویه فام است. جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس اثر دمای هوای آون روی شاخص های رنگ ورقه های گوجه فرنگی خشک شده را نشان می دهد و بررسی نتایج آن مشخص می کند که دمای هوای روی شاخص های L_a, a, b و h مشخص می کند که دمای هوای شاخص های L_a, a, b در سطح احتمال ۹۹ درصد اثر معنی دار داشته ولی روی شاخص b اثر معنی دار ندارد. در جدول ۵ میانگین شاخص های رنگ ورقه های گوجه فرنگی خشک شده در دماهای مختلف با هم مقایسه شده اند و نتایج نشان می دهد که بالاترین مقدار L_a, a و b در دمای C° ۵۰ و بیشترین مقدار h در دمای C° ۸۰ می باشد. مطابق یافته های تامسون و همکاران، هرچه h کمتر باشد، میزان لیکوپن بیشتر و رنگ قرمزتر است (۱۹). مشی و همکاران، نشان دادند که با افزایش دمای

جدول ۵. 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)

a/b	h	a	L	دماهی هوای آون (°C)
۱/۰۶۷ ^a	۴۳/۱۴ ^d	۳۰/۳۹ ^a	۴۷/۳۹ ^a	۵۰
۱/۰۰۸ ^{ab}	۴۴/۷۵ ^{cd}	۲۸/۸۹ ^{ab}	۴۵/۵۲ ^b	۶۰
۰/۹۱۸ ^{bc}	۴۷/۴۲ ^{bc}	۲۷/۲۸ ^{bc}	۴۴/۱۹ ^{bc}	۷۰
۰/۸۸۳ ^{cd}	۴۸/۰۶ ^{ab}	۲۵/۸۴ ^c	۴۲/۷ ^{cd}	۷۵
۰/۸۲۳ ^d	۵۰/۰۳ ^a	۲۴/۰۷ ^d	۴۰/۹۵ ^d	۸۰

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس اثر روش خشک کردن خورشیدی روی شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر خشک شده

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

روشن تری نسبت به حالت سنتی دارد. باید توجه داشت که خشک کن خورشیدی مورد مطالعه آنها از نوع مستقیم بوده و محصول در معرض نور مستقیم خورشید قرار داشته است ولی خشک کن خورشیدی مورد مطالعه در این تحقیق از نوع غیرمستقیم می‌باشد (۱۵).

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 خشک شده در خشک کن خورشیدی دارای L و b و h بالاتر و a و a/b کمتری نسبت به روش سنتی است. به عبارت دیگر گوجه‌فرنگی خشک شده به روش سنتی دارای رنگ قرمزتری نسبت به خشک کن خورشیدی است و احتمالاً لیکوپن آن بیشتر حفظ شده است.

سازیلیک و همکاران، در مقایسه خشک کن خورشیدی تونلی با خشک کردن سنتی به این نتیجه رسیدند که گوجه‌فرنگی خشک شده در خشک کن تونلی رنگ قرمزتر و

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف هوا و در یک آون آزمایشگاهی خشک شده و سیتیک و شدت افت رطوبت در آنها به دست 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

جدول ۷. مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت ۱ سانتی‌متر خشک شده در دو روش خشک کردن
(آزمون دانکن در سطح احتمال ۱ درصد)

a/b	h	b	a	L	شاخص	روش
۰/۸۶ ^b	۴۹/۳۲ ^a	۲۹/۷۸ ^a	۲۵/۶ ^b	۵۳/۷۶ ^a	خشک کن خورشیدی	
۱/۰۷ ^a	۴۹/۸۷ ^b	۲۶/۶ ^b	۲۸/۷ ^a	۵۰/۶۳ ^b	روش سنتی	

خشک کن است. در مورد رنگ نیز محصول خشک شده در دمای پایین هوا (۵۰ درجه سانتی گراد)، دارای رنگ قرمزتر و روشن‌تری نسبت به دمای ۸۰ درجه سانتی گراد بود.

سپاسگزاری

به منظور انجام این تحقیق و ساخت دستگاه خشک کن خورشیدی مورد نظر، از شرکت پلار اصفهان کمک گرفته شد لذا بدین وسیله از همکاری و مساعدت آفای مهندس سکوت (مدیر عامل شرکت سولارپلاز)، آقای مهندس شهناز فر و سایر پرسنل شرکت پلار که در ساخت خشک کن مذکور متحمل رحمات فراوان شده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

مشاهده گردید. با خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در یک دستگاه خشک کن خورشیدی و در روش خشک کردن سنتی آفتایی نیز نتیجه گیری شد که سرعت خشک شدن در خشک کن 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 خشک کن روی چروکیدگی محصول معنی‌دار نیست و چروکیدگی فقط تابعی از میزان رطوبت محصول می‌باشد و روش خشک کردن و ضخامت ورقه‌ها نیز بر آن بی‌تأثیر هستند. هم‌چنان مشخص شد که قابلیت جذب آب در محصول، مستقل از دمای هوای

منابع مورد استفاده

1. زارع، د.ع. زمردیان و ح. قاسم خانی. ۱۳۸۴. تأثیر دبی جرمی هوای ورودی و زمان تخلیه محصول بر روند کاهش رطوبت شلنگ در یک خشک کن نیمه پیوسته خورشیدی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹(۱): ۲۵۱-۲۶۴.
2. سهیلی مهدیزاده، الف. و ع. کیهانی. ۱۳۸۵. طراحی خشک کن خورشیدی با همرفت اجباری برای سبزی‌های برگی و ارزیابی عملکرد جمع‌کننده انرژی خورشیدی. تحقیقات مهندسی کشاورزی ۷(۲۷): ۱۴۳-۱۴۷.
3. صیاد، م. ۱۳۸۴. اثر دما و سرعت هوای خشک کن روی سیستم خشک کردن ورقه‌های سبز به صورت لایه نازک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد 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

- 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.