



خشک کردن سیب با استفاده از خشک کن خورشیدی با چرخه جاذب در دو حالت تابش مستقیم همرفتی و غیرمستقیم- همرفتی

شادیه یوسفی<sup>۱</sup>، مهدی کاشانی نژاد<sup>۲\*</sup>، حسین درویشی<sup>۳</sup>، امان محمد ضیایی فر<sup>۴</sup>، هیمن نوربخش<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۴- استادیار گروه علوم صنایع غذایی، دانشگاه کردستان.

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>تاریخ های مقاله :</b></p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۱۹</p>	<p>هدف: هدف از پژوهش حاضر خشک کردن سیب با استفاده از خشک کن خورشیدی با چرخه جاذب در دو حالت تابش مستقیم همرفتی و غیرمستقیم همرفتی می باشد. از دو نوع روش خشک کردن مستقیم و غیرمستقیم با جاذب و بدون جاذب رطوبت و خشک کردن در هوای آزاد استفاده شد. ورقه های سیب آماده شده از قبل (طعم دار شده با دارچین) روی یک قطعه توری با ابعاد مشخص قرار گرفت. وزن اولیه نمونه ها اندازه گیری و در داخل خشک کن خورشیدی با چرخه جاذب در دو حالت تابش مستقیم همرفتی و غیرمستقیم همرفتی، گذاشته شد؛ و طی فرایند خشک شدن سرعت تبخیر، بافت، چروکیدگی، میزان با جذب آب، میزان حفظ ویتامین C (آسکوربیک اسید) و تغییر رنگ و خصوصیات حسی در سطوح مختلف تیمار (۳۰ درصد ساکارز و بدون ساکارز و صفر، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد دارچین) بررسی و همچنین چند نمونه به عنوان شاهد بدون طعم دار کردن با دارچین به تنهایی توسط خشک کن خورشیدی خشک شد. تجزیه و تحلیل داده ها با روش آماری طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی و استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۶ صورت گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در روش مستقیم و غیرمستقیم، با و بدون جاذب رطوبت نرخ حذف رطوبت در نمونه های بدون ساکارز نسبت به نمونه های دارای ساکارز و دارچین بیشتر می باشد و مقایسه نمونه های کنترل در دو روش مذکور با و بدون جاذب رطوبت نشان می دهد که سرعت تبخیر نمونه ها در جاذب رطوبت به صورت معنی دار بیشتر است. علاوه بر این در نمونه های دارای ساکارز در روش دارای جاذب رطوبت سرعت تبخیر پایین تر می باشد و در روش مستقیم آفتاب در مقایسه با خشک کن خورشیدی به صورت معنی داری سرعت خشک کردن پایین آمده و نتایج سرعت تبخیر در روش خشک کردن غیرمستقیم نیز نشان داد که همانند روش مستقیم، نرخ تبخیر نمونه های دارای تیمار دارچین و فاقد ساکارز بیشتر از نرخ تبخیر در نمونه های دارای ساکارز و کنترل می باشد. نتایج آنالیز بافت نیز حاکی از آن بوده؛ بیشترین میزان سفتی در روش مستقیم بدون جاذب برای نمونه های بدون ساکارز با میانگین های فاقد اختلاف معنی دار است. همچنین دارچین سبب افزایش نیروی سفتی در نمونه های بدون جاذب رطوبت در روش خشک کردن غیرمستقیم شد و نمونه های دارای ساکارز میزان چروکیدگی کمتری داشته و با افزایش غلظت دارچین میزان چروکیدگی افزایش و بیشترین افزایش در روش مستقیم بدون جاذب در مقادیر ۲ درصد دارچین و در روش مستقیم با جاذب در غلظت ۱ درصد دارچین مشاهده شد. بررسی میزان با جذب آب نیز در روش های خشک کردن مستقیم و غیرمستقیم نشان داد که نمونه های دارای ساکارز شرایط با جذب آب مطلوب تری داشته و میزان تخریب ویتامین C نیز نشان داد که استفاده از ساکارز سبب بهبود حفظ ویتامین C می شود و آنالیز تغییر رنگ نیز حاکی از آن بوده که نمونه های دارای ساکارز در هر دو روش شرایط مناسب تری دارند. بنابراین نتایج مربوط به ارزیابی خصوصیات حسی نشان داد نمونه هایی که دارای ساکارز و غلظت های مختلف دارچین بوده اند، بیشترین نمره ارزیابی را دریافت کرده اند. فلذا می توان بیان کرد که نمونه هایی که با محلول اسمزی و ساکارز خشک شده اند به طور کلی مقبولیت بیشتری هم از لحاظ فیزیکی و هم رنگ، طعم و مزه داشته اند.</p>
<p><b>کلمات کلیدی:</b></p> <p>خشک کن خورشیدی، تابش مستقیم، همرفتی و غیرمستقیم، همرفتی، دارچین، ساکارز</p>	
<p>DOI:10.22034/FSCT.21.154.107.</p> <p>* مسئول مکاتبات:</p>	

## ۱- مقدمه

بر اساس نتایج تحقیقات اولیه، امروزه کشورهای جهان به طور متوسط سالانه ۸۹۵۶۹۷۳ تن سیب تولید می‌کنند [۱]. سیب به دلیل داشتن خواص درمانی سرشار از انواع ویتامین‌ها و عناصر کمیاب T یکی از مهم‌ترین میوه‌ها در رژیم غذایی روزانه ما است. سیب منبع خوبی از مواد مغذی از جمله فیبر، ویتامین C و آنتی‌اکسیدان‌ها است که می‌تواند به هضم سالم، کاهش ۱۰-۱۵ درصدی کلسترول، سلامت مغز و مدیریت وزن کمک و همچنین از بدن در برابر برخی بیماری‌ها مانند سرطان، بیماری‌های قلبی و دیابت نوع ۲ محافظت کند [۲، ۳]. علاوه بر این، حاوی اسیدهای چرب فرار از جمله استیک، پروپیون، ایزوبوتیریک و والرین است [۴]. تمامی انواع سیب از نظر ترکیب شیمیایی با یکدیگر تفاوت اندکی دارند، به علاوه میوه سیب‌هایی که در استان‌های مختلف و عرض‌های جغرافیایی مختلف می‌رویند نیز متفاوت است [۵].

امروزه خشک کردن ورقه‌های میوه‌های مختلف مانند سیب، پرتقال، کیوی، موز و ... مرسوم گردیده و محصولات خشک شده در بازار به قیمت بسیار بالایی به فروش می‌رسد. خشک کردن یکی از قدیمی‌ترین روش‌های حفظ و نگهداری مواد غذایی است و این فرایند به منظور کاهش وزن محصولات جهت حمل و نقل آسان‌تر، کاهش هزینه‌های بسته‌بندی، ایجاد شکل و طعم‌های جدید و افزایش زمان ماندگاری با حداقل کاهش کیفیت در طی نگهداری صورت می‌گیرد [۶]. با توجه به رشد جمعیت و نیاز اساسی به تأمین غذا، نیاز به نگهداری و حفظ منابع غذایی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند و این سؤال مطرح بوده که آیا تمام مواد غذایی قابلیت نگهداری درازمدت را دارند یا خیر؟ با توجه به اینکه برخی از محصولات کشاورزی فصلی می‌باشند و لازم است برای سایر فصول ذخیره شوند لذا از قدیم‌الایام نگهداری محصولات کشاورزی برای کشاورزان موضوعی چالش برانگیز بوده است. نحوه خشک کردن بر کیفیت محصول خشک شده تأثیر داشته و از طرفی خشک کردن محصولات به ویژه میوه‌ها باعث خسارت و کاهش کیفیت آن‌ها می‌شود. چراکه میوه‌ها، سبزی‌ها، حبوبات و... با داشتن رطوبت بالا و بافت لطیف نسبت به فرآیند خشک کردن حساس و خشک کردن آن‌ها با دمای بالا در خشک‌کن‌های صنعتی موجب از دست دادن رنگ و طعم آن‌ها شده و خشک کردن با روش‌های

سنتی نیز باعث آلودگی و اتلاف محصول می‌شود [۷]. طبق آمار موجود و بررسی‌های به عمل آمده، در حال حاضر به طور متوسط همه‌ساله ۳۵ درصد از محصولات کشاورزی در ایران از بین می‌رود که این رقم در برخی موارد مخصوصاً در مورد میوه‌ها و در فصل تابستان تا ۵۰ درصد نیز می‌رسد و در نتیجه حاصل دسترنج باغداران و سایر عوامل سرمایه‌گذار در این بخش نابود می‌شود [۸]. فلذا امروزه روش‌های خشک کردن گسترش یافته‌اند و استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی از قبیل هوای گرم، ماکروویو، مادون قرمز، پمپ حرارتی و انجمادی در خشک کردن محصولات کشاورزی رواج یافته است. این خشک‌کن‌ها دارای مزایایی (نسبت به روش سنتی) شامل کاهش زمان خشک شدن و افزایش کیفیت محصول می‌شود. چون خشک کردن به روش صنعتی یک فرآیند با مصرف انرژی بالا می‌باشد؛ لذا انتخاب روش خشک کردن مناسب می‌تواند علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی و کاهش انرژی مصرفی سبب بهبود کیفیت محصول تولید شده گردد.

دارچین درختی همیشه سبز و ادویه‌ای است که از پوست داخلی چندین گونه درخت از جنس *Cinnamomum* به دست آمده و عمدتاً به عنوان یک چاشنی معطر و افزودنی طعم‌دهنده استفاده می‌شود. عطر و طعم دارچین از اسانس و جزء اصلی آن یعنی سینامالدهید و همچنین ترکیبات متعدد دیگر از جمله اوژنول نشأت می‌گیرد [۹]. این گیاه دارای اثرات ضد التهابی، ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدان، ضد تومور، محافظت از قلب، کاهش کلسترول، کاهش قند خون، تعدیل‌کننده ایمنی [۱۰]، ضد عفونی کننده برای ناراحتی‌های گوارشی و همچنین سایر بیماری‌ها استفاده می‌شود [۱۱] و بر اساس آمارها در سال ۲۰۲۱، تولید جهانی دارچین ۲۲۶۷۵۳ تن بود که در رأس آن کشور چین با ۴۳ درصد از کل تولید جهانی در رتبه اول قرار دارد [۱۲].

طعم‌دهنده محصولات غذایی شامل استفاده از مواد افزودنی برای افزایش طعم و عطر است [۱۳]. مواد طعم‌دهنده مختلف با یکدیگر تعامل دارند و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرند که بر درک عطر و طعم تأثیر می‌گذارند [۱۴]. تکنیک‌های پیش غلظت مانند ریز استخراج فاز جامد (SPME) و استخراج آب گرم تحت فشار (PHW) معمولاً برای تجزیه و تحلیل ترکیبات طعم‌دهنده در محصولات غذایی مختلف استفاده می‌شود [۱۵] و تعدادی از محققین بیان کردند که ترکیب و مقدار مواد رایحه نیز نقش مهمی در پذیرش مصرف‌کننده محصولات غذایی ایفا

به‌عنوان یک محصول جدید به بازار عرضه شود و به‌عنوان یک میان‌وعده و تنقلات سالم استفاده گردد، همچنین علاوه بر مزایای میوه خشک، خواص دارچین استفاده شده را هم دارا می‌باشد به همین منظور می‌تواند مورد مصرف افراد مبتلا به دیابت قرار گیرد. همچنین نتایج پژوهش انجام شده می‌تواند سبب بهبود خواص ارگانولپتیکی و افزایش عمر ماندگاری و بالا رفتن ارزش غذایی در سیب خشک‌شده شود. لذا با توجه به توضیحات ارائه شده و با توجه به اینکه تاکنون در زمینه طعم دار کردن برگه سیب توسط دارچین با خشک‌کن خورشیدی پژوهشی انجام نشده است در پژوهش پیش رو تولید برگه سیب با طعم دارچین و خشک‌کردن با خشک‌کن خورشیدی به‌منظور رسیدن به کیفیت بهتر خواص فیزیکی نمونه‌های سیب شامل بافت، محتوای رطوبتی، آب‌گیری مجدد و چروکیدگی و خواص شیمیایی و کیفی نمونه‌های خشک‌شده همچون تغییرات ویتامین ث، رنگ و ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از سیب رقم زرد لبنانی و دارچین استفاده و تا شروع آزمایش در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد با رطوبت ۴۰ درصد نگهداری و رطوبت اولیه نمونه‌های سیب با استفاده روش حرارت دهی آن در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت، برابر با  $87.32 \pm 1.65$  درصد بر پایه‌تر محاسبه شد. از مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش اتانول، اسیدسیتریک، ۲ و ۶- دی کلروفنل اندوفنل (DCPIP)، اسید فسفریک، بافر سیترات، اسید آسکوربیک، متانول و هیدروکلریک اسید (HCL) استفاده و کلیه تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش ساخت کشور آلمان بودند.

### ۲-۱- تهیه نمونه سیب:

پس از شست‌وشو نمونه‌های موردنیاز در هر آزمایش، با استفاده از یک کاغذ جاذب آب سطحی آن‌ها گرفته و نمونه‌ها با ضخامت ۳ میلی‌متر بریده شدند.

### ۲-۲- آنزیم بری

پس از فرایند برش زدن نمونه‌های سیب، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در محلول ۱ درصد اسیدسیتریک غوطه‌ور، تا از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری شود [۲۲].

می‌کند [۱۵، ۱۶]. علاوه بر این، اختراعاتی مربوط به طعم‌دهنده غذاها با اجزای غیرطبیعی وجود دارد، که در آن طعم‌دهنده‌های تازه آسیاب شده برای چاشنی فوری به غذا اعمال می‌شوند [۱۵] که هدف از این پیشرفت‌ها بهبود طعم و تجربه حسی محصولات غذایی است.

کاملاً مشخص است که انواع روش‌های خشک‌کردن می‌تواند به‌طور کامل یا جزئی بر ماده غذایی اثر بگذارند. این عوامل باعث تغییرات فیزیکی مانند رنگ و بافت و طعم می‌گردد. آن‌ها همچنین می‌توانند باعث واکنش‌های ناخواسته مانند تخریب ترکیبات مؤثر در آروماتیک و مواد مغذی گردند [۱۷]. بنابراین داشتن یک روش مناسب برای خشک‌کردن، انتخاب مناسبی برای نگهداری ماده غذایی با ارزش خواهد بود. در این رابطه پژوهش‌ها نشان داده‌اند، خشک شدن سبب تغییر در خواص مواد غذایی از جمله بی‌رنگ شدن، از بین رفتن عطر، تغییرات بافتی، ارزش تغذیه‌ای و تغییر در ظاهر و شکل فیزیکی می‌شود و درجه حرارت بالاتر در خشک‌کردن باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود، اما ممکن است منجر به کیفیت پایین محصول، آسیب حرارتی به سطح و مصرف بیشتر انرژی شود [۱۸]. از طرف دیگر، شرایط خشک شدن با درجه حرارت پایین ممکن است کیفیت محصول را بهبود بخشد، اما سرعت خشک شدن را کاهش می‌دهد؛ بنابراین دوره خشک شدن طولانی‌تر می‌شود [۱۹]. بنابراین مطالعه و بررسی انواع روش‌های خشک‌کردن سنتی و نوین مواد غذایی حائز اهمیت بوده که در این مطالعه سعی بر آن شده است تا به اهمیت خشک‌کردن مواد غذایی با استفاده از خشک‌کن خورشیدی پرداخته شود. سیب خشک دارای ویژگی‌های کیفی گوناگونی است که تحت تأثیر روش‌ها و شرایط مختلف شک کردن متفاوت می‌باشد. نتایج لینگیات و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر سرعت خشک شدن دما و سرعت هوا و به دنبال آن تابش خورشیدی، نوع محصول، میزان رطوبت اولیه و جرم کل محصول است [۲۰]. همچنین پروهیت و همکاران (۲۰۲۱) به مقایسه و ارزیابی مالی خشک‌کن خورشیدی و خشک‌کردن محصولات غذایی در آفتاب پرداختند که نتایج آنان نشان داد، خشک‌کردن محصولات غذایی با استفاده از خشک‌کن خورشیدی از نظر مالی، با توجه به کاهش زمان خشک‌کردن و صرفه‌جویی در زمان و همچنین کیفیت محصول نهایی، نسبت به خشک‌کردن در آفتاب به‌صرفه‌تر می‌باشد [۲۱]. محصول تولیدی در این تحقیق می‌تواند

## ۳-۲- تهیه عصاره دارچین

به منظور تهیه عصاره دارچین ۵۰ گرم از چوب دارچین توسط آسیاب خرد کرده و سپس با استفاده از الک، جداسازی برای رسیدن به ذراتی با اندازه ۳ تا ۱ میلی متر انجام شد. محلول الکلی (۷۵ درصد اتانول و ۲۵ درصد آب) با نسبت ۶ قسمت حلال الکلی و ۱ قسمت پودر دارچین ترکیب و در یک حمام آب با دما ۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ ساعت قرار گرفت تا عصاره گیری انجام شد. محلول عصاره سپس با استفاده از کاغذ واتمن ۱ صاف شد و برای تبخیر حلال عصاره از یک تبخیرکننده چرخشی تحت خلأ استفاده شد. استریل کردن عصاره با استفاده از فیلتر سرنگی با غشاء ۰/۲۲ میکرومتر انجام گرفت و عصاره استریل شده تا زمان استفاده در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شد.

## ۴-۲- آبیگری اسمزی و افزودن عصاره دارچین

محلول اسمزی ۳۰٪ ساکارز، عصاره دارچین و مخلوط محلول ساکارز و عصاره دارچین با غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۲٪ تهیه شد. ابتدا محلول اسمزی در حمام آب گرم قرار گرفت تا دمای آن به ۴۰ درجه سانتی گراد رسید، سپس نمونه‌ها به نسبت ۱:۱۰ (نمونه: محلول اسمزی) در غلظت‌های مختلف محلول اسمزی قرار گرفتند. پس از مدت زمان ۱۲۰ دقیقه از محلول خارج و در ادامه نمونه‌ها با استفاده از آب مقطر شست و شوی سطحی شدند. در ضمن در حین انجام فرآیند اسمزی دمای محلول توسط دماسنج اندازه گیری شد تا دما تا انتهای فرآیند ثابت باشد.

## ۵-۲- خشک کردن با هوای آزاد

نمونه‌های سیب آبیگری شده به روش اسمزی در هوای آزاد و زیر تابش مستقیم خورشید قرار گرفتند و در فواصل زمانی متفاوت تغییرات وزن آن‌ها ثبت شد [۲۳].

## ۶-۲- خشک کردن با خشک کن خورشیدی

تصویر خشک کن خورشیدی با چرخ جذب در شکل (۱) نشان داده شده است. مطابق شکل دارای دو محفظه خشک کن می‌باشد. محفظه اول برای فرایند خشک کردن با تابش مستقیم (محفظه شماره ۱) با ابعاد ۶۵\*۱۳۵ سانتی متر مورد استفاده قرار گرفت. در این حالت فرایند خشک شدن بر اثر ترکیب تابش مستقیم و هوای گرم انجام می‌پذیرد. محفظه دوم به منظور انجام

آزمایش‌ها خشک کردن با تابش غیرمستقیم انجام گرفت. به آن صورت پس از جذب انرژی خورشیدی توسط محفظه اول و افزایش دمنده هوای ورودی، هوا با دمای بالا وارد این محفظه شده و سبب خشک شدن محصول می‌گردد. محفظه دوم دارای سه سینی توری شکل می‌باشد. جرم قرار گرفته بر روی مجموع این سینی‌ها با ظرفیت محفظه اول برابر است. مطابق شکل (۱) از یک مسیر بازیافت برای کنترل هوای بازگشتی به خشک استفاده شده است. مکانیزم چرخ جذب در انتهای مسیر بازگشتی ورودی دمنده نصب شده است. قبل شروع هر کدام آزمایش‌ها با چرخه جذب، مواد جذب در داخل مکانیزم داده شد. خشک کن خورشیدی در چهار حالت تابش مستقیم با چرخه هوای بازگشتی بدون جذب، تابش مستقیم با ترکیب چرخه هوای بازگشتی جذب رطوبت، خشک کن غیرمستقیم با چرخه هوای بازگشتی (محفظه دوم)، و خشک کن غیرمستقیم با ترکیب چرخه هوای بازگشتی و جذب رطوبت مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارزیابی عملکرد خشک کن در صرفه جویی انرژی مصرفی، حالت فوق تحت شرایط یکسان دمایی با ساختار هوای گرم تعبیه شده در خشک شدن (در دو حالت تنها چرخه هوای بازگشتی و ترکیب آن با جذب رطوبت) مورد ارزیابی قرار گرفت [24].

ورقه‌های سیب آماده شده از قبل (طعم دار شده با دارچین) روی یک قطعه توری با ابعاد مشخص قرار گرفت وزن اولیه نمونه‌ها اندازه گیری و در داخل خشک کن خورشیدی با چرخه جذب در دو حالت تابش مستقیم - همرفتی و غیرمستقیم - همرفتی، گذاشته شد؛ و طی فرایند خشک شدن افت رطوبت و دما بررسی شد. همچنین چند نمونه به عنوان شاهد بدون طعم دار کردن با دارچین به تنهایی توسط خشک کن خورشیدی خشک شد.

می‌نماید. همچنین سفتی هر نمونه در سه تکرار برحسب نیوتن اندازه‌گیری شد [۲۵].

آبگیری مجدد:

جهت بررسی مقدار آبگیری مجدد توسط سیب‌های خشک‌شده، ابتدا، نمونه سیب خشک توزین و درون آب با دمای ۵۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور شدند. نسبت وزنی سیب به آب برابر ۱ به ۲۵ در نظر گرفته شد. سپس، بعد از گذشت زمان ۳۰ دقیقه از آب خارج شده وزن‌کشی با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم مدل AND ساخت ژاپن انجام شد. تمام تیمارها در سه تکرار انجام و میانگین آن‌ها گزارش و نسبت آبگیری مجدد توسط معادله ۲ محاسبه شد [۲۶].

$$RR = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100$$

در این معادله  $M$  وزن نمونه بعد از آبگیری مجدد و  $M_0$  وزن نمونه خشک می‌باشد.

تعیین چروکیدگی:

برای محاسبه‌ی چروکیدگی، از روش پردازش تصویر استفاده شد. با استفاده از سامانه پردازش تصویر، تصاویر نمونه‌های سیب برش خورده قبل و بعد از فرایند خشک شدن گرفته شد. پس از آنالیز تصاویر گرفته شده به کمک برنامه متلب، مساحت رویه نمونه‌های سیب اندازه‌گیری شد. درصد چروکیدگی از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$Sh = \frac{A_f - A_d}{A_f} \times 100$$

که در آن  $Sh$  بیانگر درصد چروکیدگی نمونه‌ها،  $A_f$  و  $A_d$  به ترتیب مساحت رویه نمونه‌های سیب برش خورده تازه و خشک‌شده ( $cm^2$ ) می‌باشد.

اندازه‌گیری آسکوربیک اسید:

جهت تعیین محتوای ویتامین C ۱/۰ گرم نمونه خشک‌شده را با ۲ میلی‌لیتر محلول پایدارکننده متافسفریک اسید ۵٪ (وزنی-حجمی) استفاده شد. محلول حاصل در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ۴۰۰

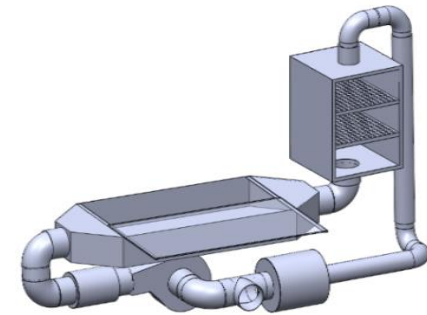


FIG 1: Solar dryer used in experiments

## ۲-۷- آزمون‌ها

اندازه‌گیری رطوبت:

۵۰ گرم از نمونه‌ها توزین و پس از قرارگیری در آون  $2 \pm 103$  درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند (پروانه، ۱۳۹۲) و مقدار رطوبت از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$= 100 \times \frac{M_1 - M_2}{M_1} \text{ درصد رطوبت بر مبنای مرطوب}$$

$M_1$  = وزن ظرف و نمونه قبل از خشک کردن

$M_2$  = وزن ظرف و نمونه بعد از خشک کردن

$M_0$  = وزن نمونه

آنالیز بافت:

بافت مواد غذایی به‌عنوان یکی از خصوصیات کیفی نقش مهمی در پذیرش کلی آن دارد. بافت نمونه‌های سیب خشک‌شده با به کارگیری آزمون نفوذ توسط دستگاه ارزیابی بافت (TA-XT Plus, Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) انجام شد. تمام فرآیند توسط نرم‌افزار مربوطه کنترل (Texture Expert ۱.۰۵) و داده‌ها توسط نرم‌افزار اکسل ثبت شد. این دستگاه به‌صورت خودکار منحنی نیرو-زمان را ثبت

ساعت می باشد که به صورت معنی داری باهم اختلاف دارند. همچنین در نمونه کنترل روش مستقیم بدون جاذب میزان حذف رطوبت نسبت به سایر تیمارها کمتر بوده و برابر با ۲۰۵/۵۰ گرم آب در ساعت است. اما مقایسه نمونه های کنترل در دو روش مستقیم با جاذب رطوبت و مستقیم بدون جاذب رطوبت نشان می دهد که سرعت تبخیر نمونه ها در جاذب رطوبت به شکل معنی دار بیشتر است. علاوه بر این، در مقایسه نمونه های دارای ساکارز بین دو روش مستقیم با جاذب رطوبت و مستقیم بدون جاذب رطوبت نشان می دهد که نمونه های دارای ساکارز در روش دارای جاذب رطوبت سرعت تبخیر پایین تری دارند. همچنین نتایج در روش غیرمستقیم نشان داد بیشترین و کمترین سرعت تبخیر در خشک کن خورشیدی غیرمستقیم بدون جاذب رطوبت به ترتیب در نمونه بدون ساکارز و ۰/۵ درصد دارچین و ۳۰ درصد ساکارز و بدون دارچین و در خشک کن خورشیدی غیرمستقیم با جاذب رطوبت به ترتیب در نمونه بدون ساکارز و ۲ درصد دارچین بیش ترین و در نمونه دارای ۳۰ درصد ساکارز و ۰/۵ درصد دارچین کمترین سرعت تبخیر در سطح خطای ۵ درصد مشاهده می شود. همچنین در روش مستقیم آفتاب (e) در مقایسه با خشک کن خورشیدی به صورت معنی داری سرعت خشک کردن پایین آمده است. در این روش خشک کردن با توجه به طولانی بودن زمان خشک کردن، غلظت بیشتر مواد حل شده مانند دارچین و ساکارز باعث کاهش سرعت خشک کردن شده است. به طور مثال نرخ تبخیر در نمونه تیمار شده با دارچین ۲ درصد و برابر با ۱۵۳ گرم آب در ساعت می باشد، در حالی که این مقدار برای برش های سیب تیمار شده با دارچین ۰/۵ درصد برابر با ۱۹۳ گرم آب در ساعت است. می توان چنین نتیجه گرفت که در ابتدای خشک کردن نرخ تبخیر بالا بوده و این سرعت بالای تبخیر باعث ایجاد پدیده سخت شدگی سطحی (Case hardening) شده؛ در نتیجه اجازه خروج بیشتر آب را نداده است. بدین صورت که دیفیوژ قند از مرکز ورقه های سیب به سطح همراه با خروج آب صورت گرفته است و تجمع این ترکیبات در سطح باعث سخت شدن لایه سطحی میوه سیب شده است. همچنین در نمونه های دارای دارچین به دلیل عدم وجود ساکارز سرعت تبخیر بیشتری مشاهده می شود. علاوه بر آن خود ساکارز به عنوان جاذب رطوبت عمل می کند یعنی میزان آب اتصال یافته را افزایش می دهد در نتیجه نرخ تبخیر کاهش پیدا می کند. که نتایج پژوهش حاضر با یافته های [۲۷] و [۲۸]

میکرولیتر از محلول شناور رویی و یا استاندارد اسیدآسکوربیک با ۲۰۰ میکرولیتر متافسفریک ۱۰٪ (وزنی-حجمی)، ۶۰۰ میکرولیتر بافرسیترات تازه با ۱۸.۵) Ph=۴.۲ میلی لیتر سیترات سدیم ۰/۱ مولار + ۳۱/۵ میلی لیتر اسیدسیتریک ۰/۱ مولار + ۵۰ میلی لیتر آب مقطر) و ۶۰۰ میکرولیتر معرف ۲ و ۶ دی کلرو فنول ایندوفنول ۰.۰۳٪ (وزنی-حجمی) ورتکس شد. جذب نمونه ها پس از گذشت ۳۰ دقیقه تاریکی در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف نورسنج (Spectrophotometer unico, UV-۲۱۰۰, USA) اندازه گیری شد [۲۳].

اندازه گیری پارامترهای رنگی:

جهت اندازه گیری تغییرات رنگی نمونه های خشک شده، پارامترهای رنگی  $(L^* - a^* - b^*)$  نمونه های تازه و خشک شده از دستگاه رنگ سنج مدل TES ۱۳۵ ساخت کشور تایوان اندازه گیری شد. تغییرات کلی رنگ نمونه ها با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد [۲۴].

$$\Delta E = \sqrt{(L_f - L_d)^2 + (b_f - b_d)^2 + (a_f - a_d)^2}$$

که در آن،  $\Delta E$  تغییرات کلی رنگ نمونه (بدون بعد)، اندیس های  $f$  و  $d$  به ترتیب بیانگر پارامترهای رنگی نمونه تازه و خشک شده است.

ارزیابی خصوصیات حسی:

نمونه ها در اختیار ۱۰ نفر پانلیست قرار گرفت و از نظر رنگ، بو، طعم، بافت و پذیرش کلی بر اساس مقیاس هدونیک ۵ نقطه ای بررسی و امتیازات در پنج کلاس بین ۱ (خیلی بد) و ۵ (خیلی خوب) در نظر گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- آنالیز سرعت تبخیر

میزان سرعت تبخیر نمونه های سیب در شرایط متفاوت خشک کردن در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج در روش مستقیم بدون جاذب رطوبت نرخ حذف رطوبت در نمونه های بدون ساکارز بیشتر بوده است. به طور نمونه میزان نرخ تبخیر در نمونه دارای صفر درصد ساکارز و ۱ درصد دارچین برابر با ۳۳۶/۷۹ گرم آب در ساعت می باشد، در حالی که در نمونه ۳۰ درصد ساکارز و ۱ درصد دارچین ۲۲/۲۵۰ گرم آب در

نتیجه گرفت که در روش غیرمستقیم با و بدون جاذب رطوبت وجود دارچین سبب افزایش بیشتر روند میزان تبخیر در نمونه‌های سیب خشک شده می‌شود.

همسویی دارد چراکه این محققین بیان داشتند که خشک‌کن خورشیدی سبب حذف بیشتر رطوبت می‌شوند. همچنین با یافته‌های [۲۹] مبنی بر کاهش خروج رطوبت از میوه با افزایش غلظت عصاره دارچین همخوانی و با نتایج [۳۰] پاشازاده و همکاران (۱۴۰۰) همسویی ندارد. بنابراین به طور کلی می‌توان

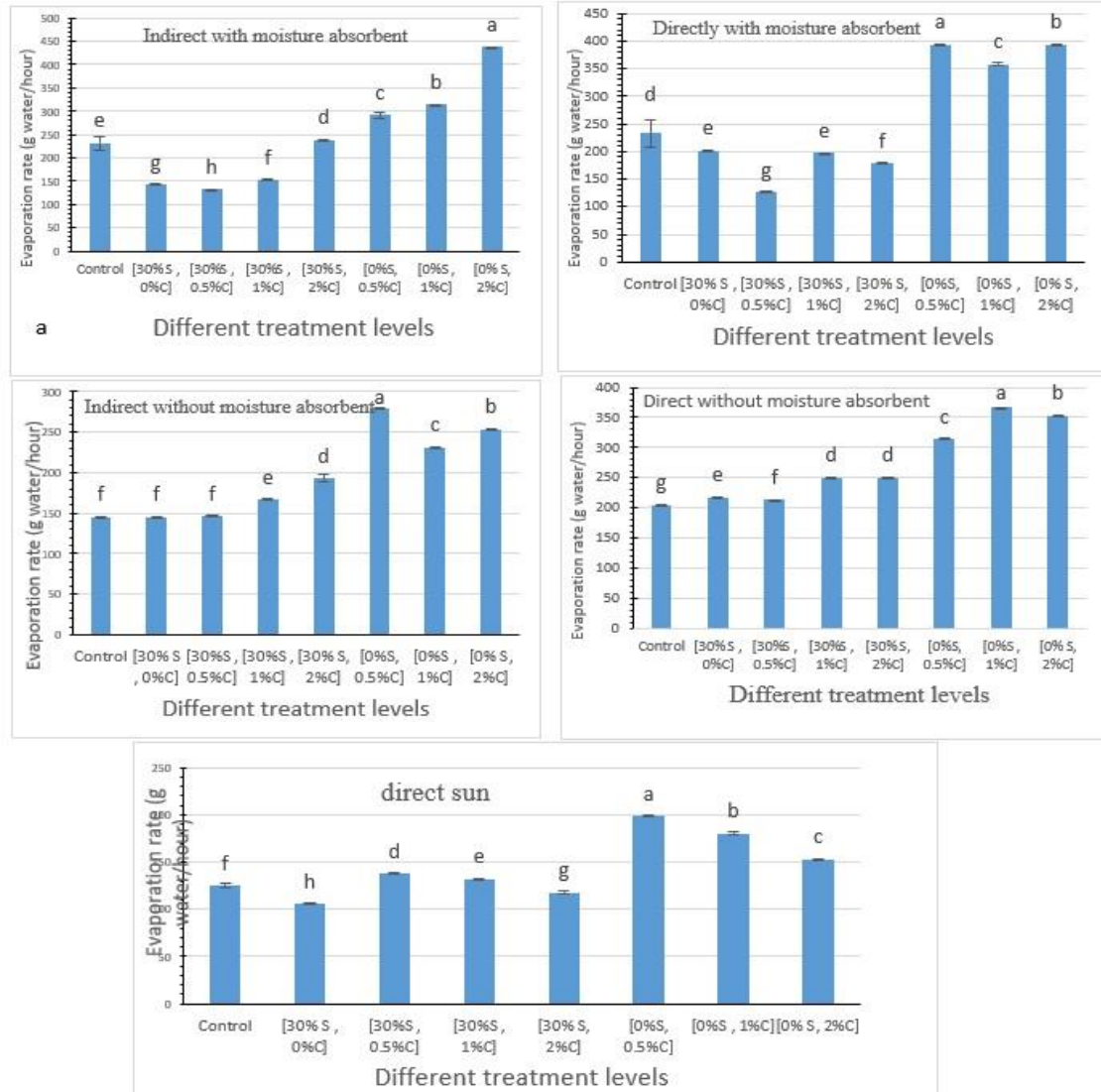


FIG 2: Evaporation rate in grams of water per hour in apple samples dried in different concentrations of sucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorbent), indirect (with and without moisture absorbent) and traditional method ( $p < 0.05$ )

کنترل در روش سنتی به طور معنی دار از سایر روش های خشک کردن خورشیدی بالاتر بوده است. در این ارتباط میزان سفتی برای این نمونه معادل ۸/۲۹ نیوتن و برای نمونه های کنترل خشک شده مستقیم (با و بدون جاذب) و غیرمستقیم (با و بدون جاذب) به ترتیب برابر با ۴/۵۴، ۶/۰۶، ۵/۵۸ و ۴/۵۲ نیوتن می باشد. در نهایت به طور کلی میزان سفتی در نمونه های خشک شده به روش سنتی و در غلظت مختلف دارچین و ساکارز از کیفیت مناسب تری نسبت به روش خشک کن خورشیدی برخوردار نیست. فلذا می توان نتیجه گرفت اضافه ساکارز به نمونه های سیب قبل از خشک کردن می تواند تأثیر مثبتی در بهبود نسبی بافت داشته باشد. این تأثیر در نمونه های خشک شده توسط روش مستقیم بسیار مشهودتر است. همچنین دارچین با افزایش ویژگی های الاستیسیته موجب افزایش سفتی شده که با نتایج یافته های [۳۱] و [۲۳] و [۳۲] مبنی بر افزایش ماندگاری و بهبود بافت با افزودن اسانس دارچین به برش های سیب همخوانی دارد. که شاید دلیل آن مربوط به خواص ضد میکروبی دارچین بوده باشد که محققانی چون [۳۳] به این امر اشاره نموده اند.

### ۳-۲- آنالیز بافت

نتایج به دست آمده از آنالیز سفتی بافت نمونه های سیب خشک شده به روش مستقیم و غیرمستقیم در حالت دارای جاذب و بدون جاذب رطوبت در شکل ۳ آورده شده است. در نگاه اول و برای هر دو نوع خشک کردن، میزان سفتی با افزایش غلظت دارچین در نمونه های بدون ساکارز کاهش پیدا کرده است. سفتی در نمونه های سیب خشک شده با جاذب و دارای دارچین ۰/۵، ۱ و ۲ درصد به ترتیب برابر با ۹/۲۵، ۵/۹۸ و ۵/۰۵ نیوتن بوده است و تفاوت معنی داری نیز از لحاظ آماری بین غلظت دارچین کم و زیاد مشاهده می شود. در این ارتباط احتمالاً افزایش غلظت دارچین همراه با افزایش ویژگی های الاستیسیته ورقه های سیب بوده است. همچنین افزایش غلظت دارچین در نمونه های دارای ۳۰ درصد ساکارز نیز با کاهش میزان سفتی همراه بوده است. به طوری که میزان سفتی در نمونه خشک شده با جاذب دارای ۱ درصد دارچین برابر با ۳/۳۹ نیوتن می باشد. روند تغییرات سفتی در نمونه های خشک شده بدون جاذب مشابه نمونه های خشک شده با جاذب است. همچنین میزان سفتی نمونه

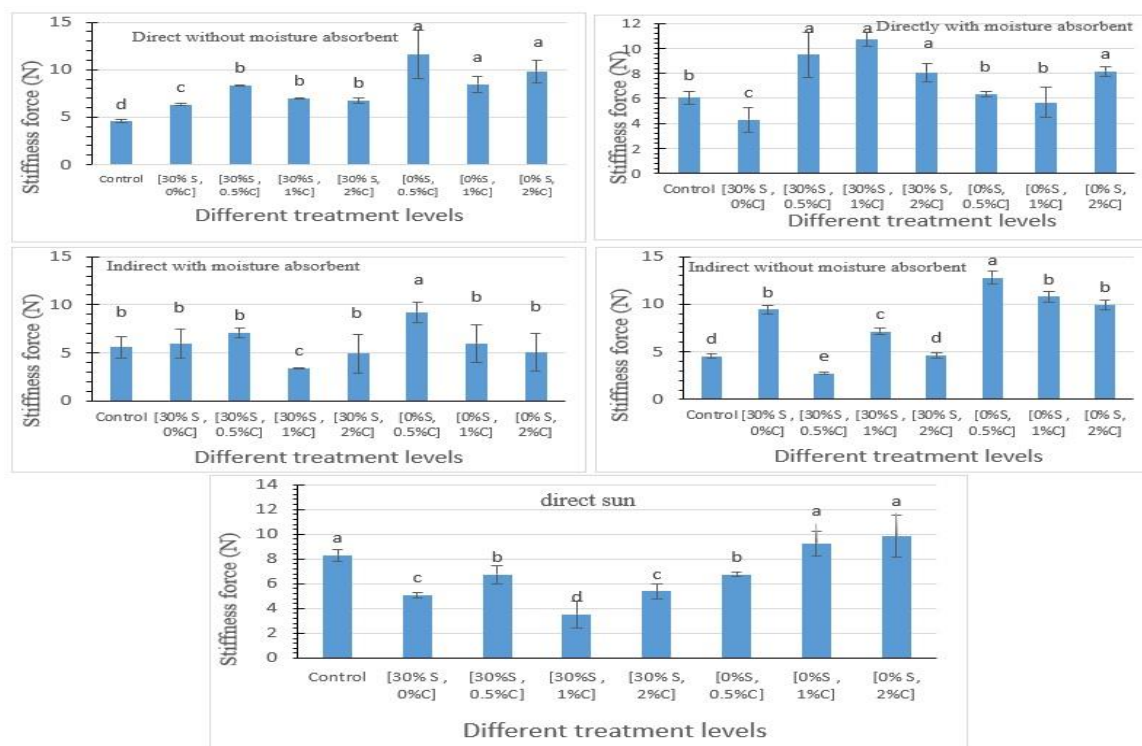


FIG 3: Changes in hardness in Newtons in apple samples dried in different concentrations of ucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorber), indirect (with and without moisture absorber) and traditional method ( $p < 0.05$ )



در فضاهای موئینه را نداده است. نتایج میزان چروکیدگی در نمونه‌های سیب خشک‌شده به روش غیرمستقیم نیز حاکی از آن است که در نمونه‌های فاقد ساکارز میزان چروکیدگی بیشتر است. به‌طور نمونه میزان چروکیدگی در سیب‌های خشک‌شده به روش غیرمستقیم بدون جاذب برای دارچین با غلظت ۱ درصد، نمونه کنترل و نمونه فاقد دارچین با ساکارز ۳۰ درصد به ترتیب برابر با ۳۶/۴۶، ۲۹/۹۶ و ۲۲/۱۱ درصد است. در روش غیرمستقیم با جاذب نیز افزایش غلظت ساکارز باعث بهبود ساختار میوه پس از خشک شدن شده است. در روش خشک کردن میوه با استفاده از آفتاب مستقیم نیز با وجود زمان طولانی خشک کردن، ساکارز همچنان به بهبود ساختاری شبکه‌های موئینه کمک کرده است. میزان چروکیدگی در نمونه خشک‌شده با ساکارز ۳۰ درصد برابر با ۱۳/۸۴ درصد است که در مقایسه با نمونه کنترل که برابر با ۳۶/۰۵ درصد است، حدود ۶۴ درصد کاهش پیدا کرده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در روش سستی حداقل ساکارز سبب حداکثر کاهش چروکیدگی در نمونه‌های سیب خشک شده می‌شود. که نتایج پژوهش حاضر با نتایج یافته‌های [۳۴] و [۳۵] مبنی بر کاهش چروکیدگی سیب در روش خشک کردن غیرمستقیم همخوانی دارد. همچنین با نتایج یافته‌های [۳۶] مبنی بر اینکه جود مواد قندی باعث کاهش چین و چروک‌های سطحی می‌شود همسویی دارد.

### ۳-۳- آنالیز چروکیدگی

مقایسه میانگین نمونه‌های سیب خشک‌شده در روش خشک کردن خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم با و بدون جاذب رطوبت در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج به‌دست آمده بیان می‌کند؛ نمونه‌های دارای ساکارز میزان چروکیدگی کمتری دارند. به‌طوری‌که میزان چروکیدگی برای نمونه‌های خشک‌شده در روش بدون جاذب دارای دارچین با غلظت ۰/۵، ۱ و ۲ درصد به ترتیب برابر با ۲۹/۰۹، ۳۲/۸۷ و ۳۴/۷۳ درصد می‌باشد، درحالی‌که میزان چروکیدگی در نمونه‌های دارای ساکارز ۳۰ درصد با همین میزان دارچین به ترتیب برابر با ۱۱/۱۹، ۱۲/۹۹ و ۱۹/۱۱ درصد است. در نمونه‌های سیب خشک‌شده با جاذب نیز همین روند مشاهده می‌شود و افزایش غلظت ساکارز باعث کاهش میزان چروکیدگی شده است. در این روش میزان چروکیدگی در نمونه کنترل برابر با ۳۳/۴۷ درصد و در نمونه دارای غلظت ۳۰ درصد ساکارز و ۱ درصد دارچین برابر با ۲۰/۳۵ درصد است. این نتایج گزارش می‌کند که آب‌گیری اسمزی نمونه‌های سیب در ساکارز باعث بهبودی ساختار ورقه‌های سیب شده است. این احتمال وجود دارد که وجود ساکارز خاصیت جاذبه رطوبه بودن نمونه‌های میوه را تقویت کرده و اجازه خروج یک‌باره آب از ورقه‌های سیب و ایجاد چروکیدگی

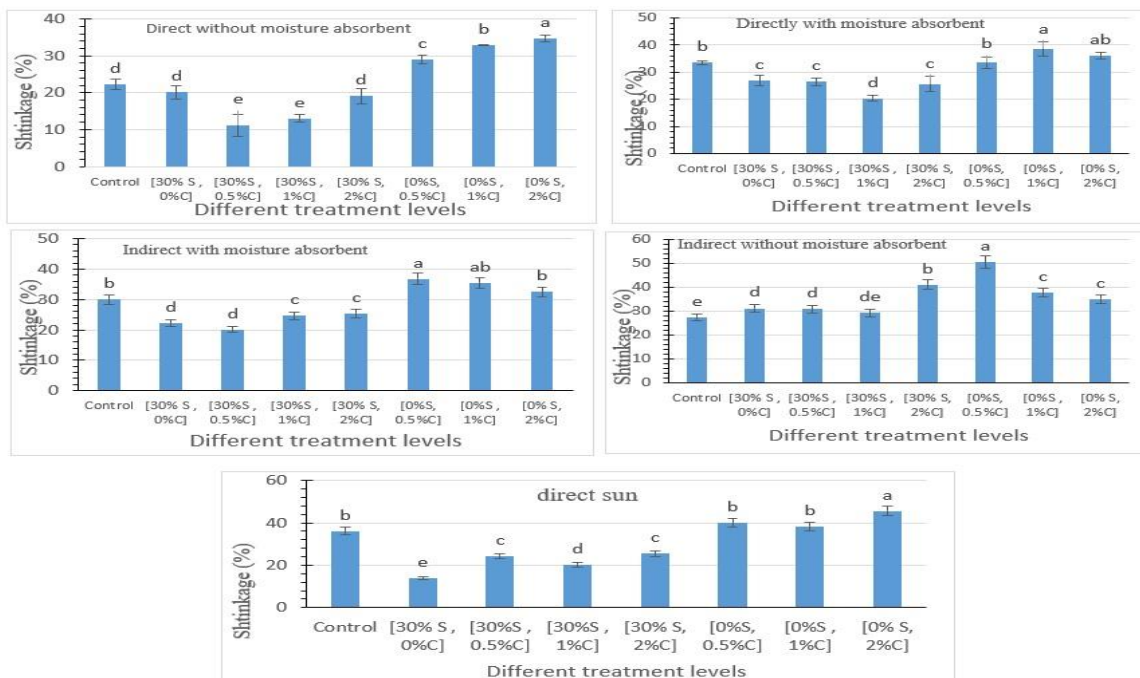


FIG 4: Changes in the amount of shrinkage in percentage in apple samples dried in different concentrations of sucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorber), indirect (with and without moisture absorber) and traditional method ( $p < 0.05$ )

درصد است. مقایسه نتایج حاصل بازجذب آب با آنالیز چروکیدگی در نمونه‌های مختلف تأیید می‌کند که حضور ساکارز در ورق‌های سیب باعث حفظ ساختار فیزیکی و کاهش میزان چروکیدگی شده است که متقابلاً منتج به باز جذب آب بهتری در نمونه‌های خشک شده گردیده است. همچنین در روش خشک کردن مستقیم آفتاب نمونه‌های دارای ساکارز و کنترل نسبت به نمونه‌های دارای غلظت‌های متفاوت دارچین از نظر میزان بازجذب آب دارای شرایط مطلوب‌تری هستند. می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به زمان طولانی خشک کردن در این روش، حضور دارچین از طریق ایجاد خاصیت چسبندگی باعث کاهش پایداری ساختاری در نمونه‌های خشک شده باشد. در روش غیرمستقیم نیز افزایش غلظت ساکارز باعث کاهش چروکیدگی و بهبود میزان باز جذب آب و به‌طور کلی باعث بهبود ساختار میوه پس از خشک شدن شده است. که با نتایج یافته‌های [۳۶] مبنی افزایش بازجذب آب با افزایش غلظت ساکارز در میوه‌ها همخوانی دارد. چراکه در قندهای کوچک وجود حباب‌های هوای به دام افتاده سرعت جذب را کاهش می‌دهد [۳۷].

### ۳-۳- آنالیز بازجذب

مقایسه میزان باز جذب آب نمونه‌های سیب خشک شده در روش خشک کردن خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم با و بدون جاذب رطوبت در شکل ۵ آورده شده است. نتایج به دست آمده بیان می‌کند که به‌طور کلی نمونه‌های دارای ساکارز شرایط بازجذب آب مطلوب‌تری داشته‌اند. به‌طور نمونه میزان باز جذب آب برای نمونه‌های خشک شده در روش بدون جاذب در روش مستقیم دارای دارچین با غلظت ۰/۵، ۱ و ۲ درصد به ترتیب برابر با ۲۹/۶۴، ۳۵/۲۹ و ۲۹/۴۷ درصد می‌باشد. اما میزان بازجذب در نمونه‌های این میزان دارچین و ۳۰ درصد ساکارز به ترتیب برابر با ۴۱/۵۱، ۴۳/۴۳ و ۷۴/۴۱ درصد می‌باشد. در نمونه‌های خشک شده با جاذب نیز همین روند مشاهده می‌شود به‌طوری که غلظت ساکارز باعث افزایش میزان بازجذب آب شده است. میزان بازجذب آب در نمونه‌های کنترل، نمونه‌های دارای ۳۰ درصد ساکارز و ۱ درصد دارچین و نمونه‌های فاقد ساکارز و ۲ درصد دارچین به ترتیب برابر با ۴۱/۹، ۳۹/۸۲ و ۳۱/۵۸

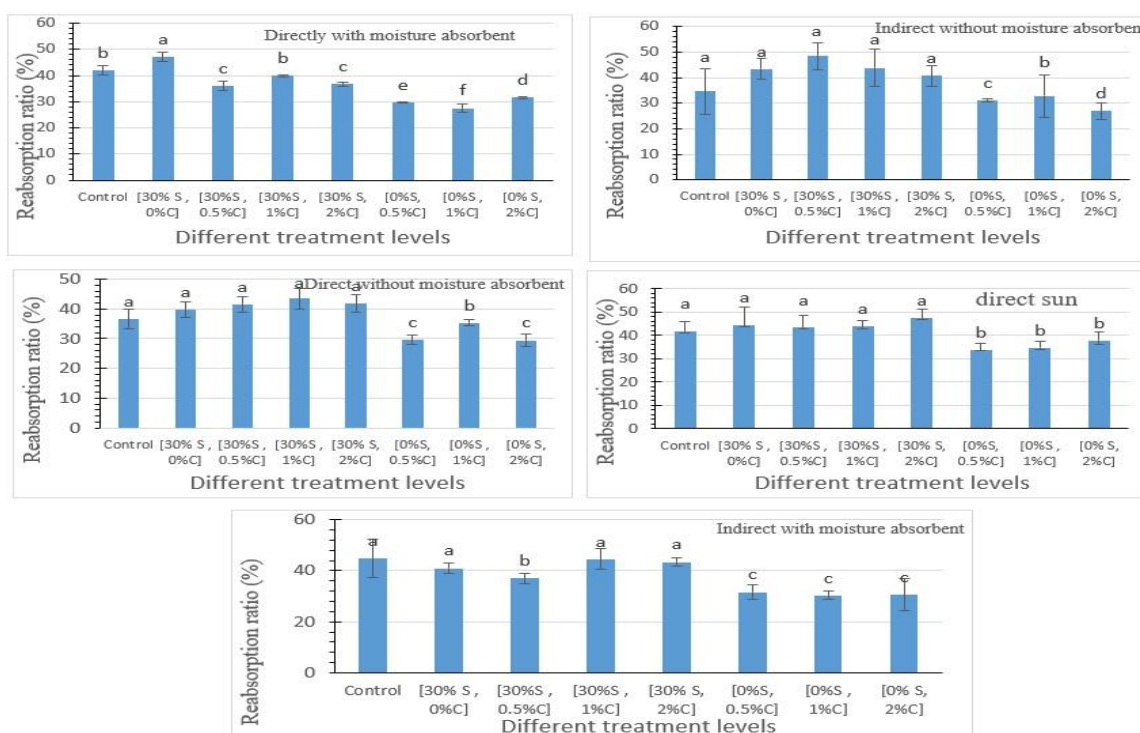


FIG 5: Changes in the amount of water absorption in percentage in apple samples dried in different concentrations of sucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorber), indirect (with and without moisture absorber) and traditional method ( $p < 0.05$ )

### ۳-۴- آنالیز میزان تخریب ویتامین سی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین میزان تخریب ویتامین ث در روش خشک‌کن خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم با و بدون جاذب رطوبت در شکل ۶ آورده شده است. به‌طورکلی آنالیز داده‌ها بیان می‌کند که استفاده از ساکارز باعث بهبود حفظ ویتامین ث شده است و میزان تخریب ویتامین ث در این نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل و نمونه‌های دارای غلظت متفاوت دارچین کمتر بوده است. به‌طور مثال میزان تخریب ویتامین ث در نمونه خشک‌شده با جاذب برای ورقه‌های سیب غوطه‌ور شده در محلول ۳۰ درصد ساکارز و نیم‌درصد دارچین برابر با ۳۲/۰۴ درصد می‌باشد درحالی‌که در نمونه‌های کنترل و تیمار شده با ۰/۵ درصد دارچین میزان تخریب به ترتیب برابر با ۴۸/۳۳ و ۴۴/۵۸ درصد است که به‌طور معنی‌داری میزان حفظ ویتامین ث پایین‌تری را نشان می‌دهد. همانند مشاهدات [۳۸]، تیمار با محلول اسمزی با توجه به کاهش نرخ دیفیوز ویتامین ث به خارج از میوه می‌تواند روند حفظ ویتامین ث را در میوه قبل از خشک‌کردن بهبود بخشد. همچنین طبق مشاهدات قبلی، در نمونه‌های دارای ساکارز یک‌لایه قندی روی سطح میوه تشکیل می‌شود که می‌تواند تأثیر مناسبی در حفظ ویتامین سی داخل میوه از طریق ممانعت از انتشار آن به سطح میوه داشته باشد. روند حفظ ویتامین ث در نمونه‌های خشک‌شده مستقیم بدون جاذب نیز برای نمونه‌های تیمار شده با ساکارز بیشتر بوده است. همچنین به‌طورکلی نمونه‌های کنترل و یا تیمار شده بدون ساکارز میزان تخریب یکسانی از ویتامین ث را روایت می‌کنند. البته میزان تخریب ویتامین ث در نمونه‌های تیمار شده با دارچین بیشتر از نمونه کنترل بوده است. به‌طور مثال، میزان تخریب ویتامین ث در نمونه خشک‌شده همراه با جاذب در روش مستقیم برابر با ۴۴/۵۸ درصد ولی در نمونه تیمار شده با دارچین ۲ درصد برابر با ۵۰/۲۶ درصد است که اختلاف معنی‌داری با نمونه کنترل دارد. علت این اختلاف به نحوه آماده‌سازی نمونه‌های دارچین برمی‌گردد که در این روش ورقه‌های سیب به مدت ۲ ساعت در دمای ۴۰ درجه سلسیوس داخل غلظت‌های متخلف دارچین غوطه‌ور شده بودند. پیش‌بینی می‌شود که تخریب ویتامین ث در این دما باعث این اختلاف معنی‌دار شده باشد. در

نهایت، اضافه کردن دارچین در سطوح مختلف نیز روند مشخص و ثابتی را برای تخریب ویتامین ث ذکر نکرده است. همچنین میزان تخریب ویتامین ث در روش خشک‌کردن مستقیم با آفتاب در مقایسه با سایر روش‌های خشک‌کردن بیشتر بوده است. که نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های [۳۹] مبنی بر کاهش تخریب ویتامین ث در روش غیرمستقیم خشک کردن گوجه فرنگی و انبه و [۳۸] همخوانی دارد. می‌توان بیان نمود که ویتامین ث یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی گیاهی است و تقریباً در تمام میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شود. از آنجایی که تقریباً همه احتمالات را پوشش می‌دهد، از جمله املاح در آب و مستعد شستشو از سلول‌ها، حساس به حرارت (یکی از حساس‌ترین ویتامین‌ها)، pH-، یون فلز، حساس به نور و همچنین به راحتی توسط اکسیداز اسید اسکوربیک، ویتامین، قابل اکسید شدن است و به عنوان متداول‌ترین ماده مغذی اندازه‌گیری شده برای ارزیابی از دست دادن مواد مغذی در طول پردازش حرارتی انتخاب می‌شود و از سوی دیگر ساکارز با ویژگی که در حفظ رطوبت می‌تواند داشته باشد [۴۰]، نقش مهمی در حفظ ویتامین ث به سبب ترکیب محلول در آب بودن آن دارد.

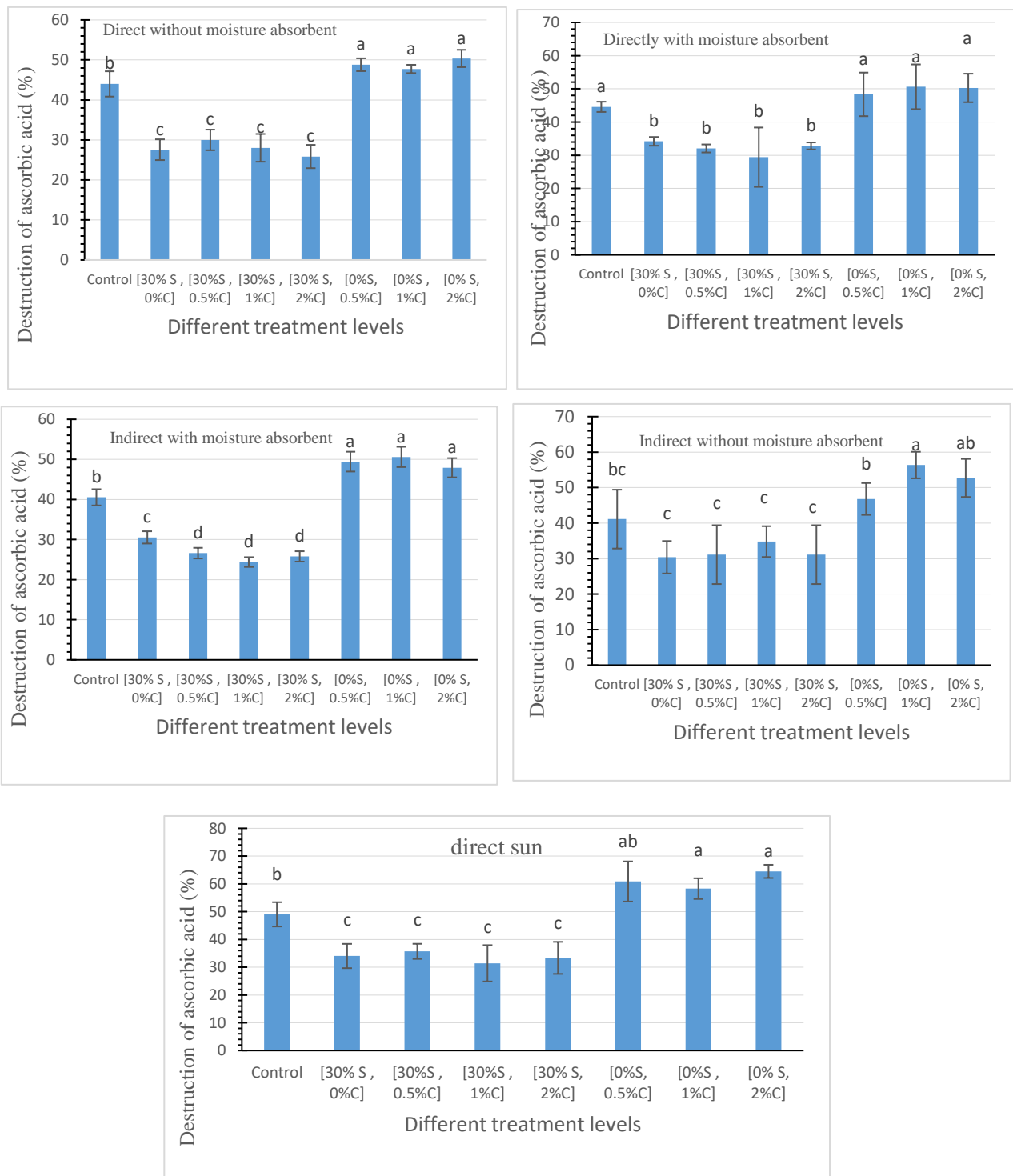


FIG 6: Changes in vitamin C degradation in dried apple samples in different concentrations of sucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorbent), indirect drying (with and without moisture absorbent) and traditional method ( $p < 0.05$ )

۳-۵- آنالیز تغییر رنگ ( $\Delta E$ )

است. در روش مستقیم آفتاب به‌طور کلی همان روند خشک‌کن مشاهده می‌شود و با وجود زمان طولانی خشک‌کردن نمونه‌هایی که دارای ساکارز بودند شرایط مطلوبی از خود نشان دادند. که نتایج این پژوهش با یافته‌های محققانی چون [۴۳] مبنی بر تأثیر مثبت ساکارز در حفظ رطوبت و کاهش تغییر رنگ میوه‌های خشک شده همسویی دارد و با یافته‌های [۴۴] همخوانی داشته چراکه نتایج نشان می‌دهد که می‌توان رنگ و ریزساختار را حفظ کرد، چگالی ظاهری را می‌توان کاهش داد، و ظرفیت آبرسانی بالا را می‌توان با استفاده از روش‌های خشک کردن بهتر نمود.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین میزان تغییر رنگ در روش خشک‌کن خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم با و بدون جاذب رطوبت در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به نتایج هرچه میزان  $\Delta E$  بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که تغییر رنگ بیشتری رخ داده و نمونه دارای رنگ تیره‌تری (مایل به قهوه‌ای) است [۴۱]. نتایج حاصل از مقایسه میانگین  $\Delta E$  در روش مستقیم با و بدون جاذب به صورت کلی نشان می‌دهد که نمونه‌های دارای ساکارز در هر دو روش شرایط مناسب‌تری داشته‌اند، علاوه بر این نسبت به نمونه کنترل و نمونه‌های دارای دارچین دارای کیفیت رنگ بهتری بوده است. در مقایسه بین کنترل و نمونه‌های دارای دارچین، نمونه‌های دارای دارچین شرایط رنگ نامطلوب‌تری داشته‌اند. به‌طور مثال، میزان تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) نمونه‌های دارای ۳۰ درصد ساکارز و ۰/۵ درصد دارچین در روش مستقیم بدون جاذب و با جاذب به ترتیب برابر با ۱۳/۳۴ و ۱۱/۷۲، اما در نمونه‌ی کنترل در هر دو روش به ترتیب برابر با ۱۸/۸۸ و ۲۲/۲۵ می‌باشد. همچنین میزان تغییر رنگ برای نمونه‌های خشک‌شده در روش مستقیم بدون جاذب دارای دارچین با غلظت ۰/۵، ۱ و ۲ درصد به ترتیب برابر با ۲۵/۹۵، ۲۷/۹۵ و ۲۴/۳۱، ۲۷/۵۱ و ۲۸/۷۲ می‌باشد. علاوه بر این چون خود دارچین دارای رنگ قهوه‌ای است باعث تشدید رنگ در این نمونه‌ها می‌گردد. در مقایسه دو روش مستقیم بدون جاذب و با جاذب، شرایط مطلوب‌تری در روش دارای جاذب مشاهده می‌شود یعنی با حذف رطوبت در چرخه کیفیت مناسب‌تری به‌دست آمده است. می‌توان نتیجه گرفت که حذف رطوبت انجام شده در روش‌های خشک‌کردن دارای جاذب بستر فعالیت آنزیم‌های فنولاز و فنول اکسیدازها را کاهش داده است و در نهایت باعث کاهش میزان قهوه‌ای شدن آنزیمی شده است. که با نتایج پژوهش‌های [۴۲] همسویی دارد. در روش غیرمستقیم چون نمونه‌ها توسط هوای گرم خشک می‌شوند و تحت تابش مستقیم آفتاب قرار نمی‌گیرند، باعث شده که نمونه‌ها از نظر رنگ شرایط مطلوب‌تری داشته باشند. به‌طور نمونه، کنترل در روش غیرمستقیم از نظر رنگ مناسب‌تر از روش مستقیم بوده و مقدار  $\Delta E$  آن پایین‌تر است. در این روش نیز نمونه‌های دارای ساکارز شرایط مطلوب‌تری در خشک‌کردن را نشان داده‌اند و همچنین در نمونه‌های دارای دارچین نیز میزان  $\Delta E$  بالا رفته

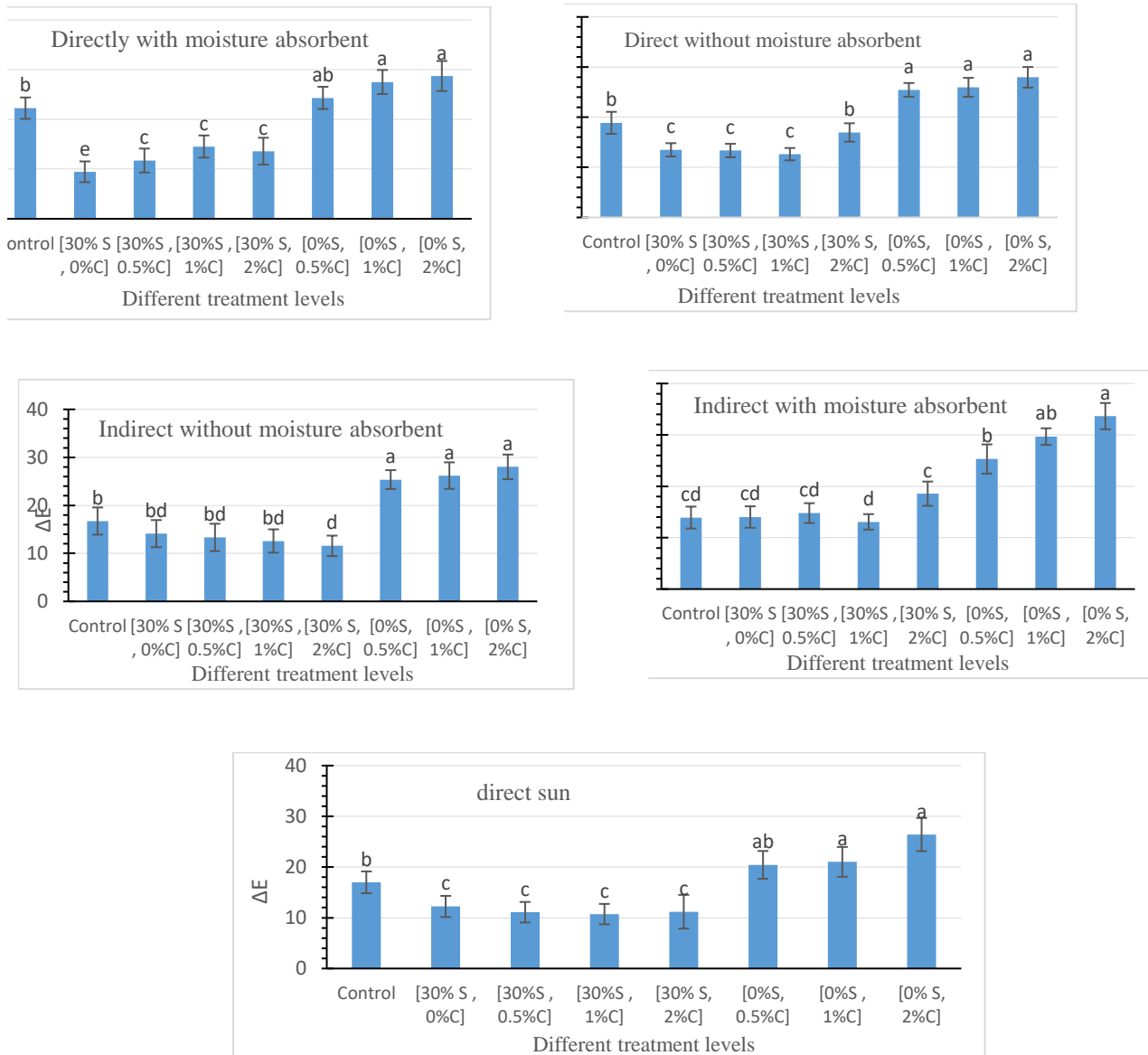


FIG 7: Changes in the amount of color change ( $\Delta E$ ) in apple samples dried in different concentrations of sucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorber), indirect (with and without moisture absorber) and traditional method ( $p < 0.05$ ).

### ۶-۳- آنالیز ارزیابی حسی (رنگ، بو، بافت، مزه و پذیرش کلی)

نتایج ارزیابی حسی انجام گرفته توسط داوران در روش خشک‌کن خورشیدی مستقیم با و بدون جاذب رطوبت در شکل ۷ آورده شده است. ارزیابی انجام شده بر اساس روش هدونیک ۵ نقطه‌ای است. در این روش هرچقدر امتیاز بیشتر و به ۵ نزدیک باشد، نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر از دیدگاه ارزیاب و امتیازهای پایین‌تر و نزدیک به ۱ نشان‌دهنده کیفیت نامناسب از دیدگاه داور می‌باشد. نتایج داده‌ها در ارتباط با رنگ نشان می‌دهد که نمونه‌های دارای ساکارز از مطلوبیت رنگ بیشتری برخوردار بوده‌اند و برعکس نمونه‌های فاقد ساکارز و دارای دارچین از دیدگاه داوران دارای کمترین مطلوبیت هستند. محاسبه پارامتر  $\Delta E$  نیز تأییدکننده این موضوع نیز بود که وجود ساکارز باعث بهبود رنگ نمونه‌های خشک‌شده گردیده است. کمترین مقبولیت رنگ مربوط به نمونه‌های سیب خشک‌شده با غلظت‌های متفاوت دارچین و بدون ساکارز است به طوری که میزان مقبولیت آن‌ها از دیدگاه ارزیاب در مقایسه با نمونه کنترل نیز پایین‌تر بوده است. همچنین در مقایسه بین انواع روش‌های خشک‌کردن می‌توان دریافت که روش خشک‌کردن غیرمستقیم با خشک‌کن خورشیدی با جاذب دارای بیشترین مقبولیت و روش خشک‌کردن مستقیم با آفتاب دارای کمتری میزان محبوبیت از دیدگاه رنگ بین ارزیابان بوده است. نتایج ارزیابی حسی بو نیز حاکی از آن بوده که قبل از خوردن ورقه‌های سیب، آن‌ها را بو کرده و امتیاز خود را از ۱ تا ۵ ثبت کنند. نتایج انجام شده نشان می‌دهد که نمونه‌های دارای ساکارز و دارچین بیشترین نمره را از ارزیاب‌ها گرفته‌اند. به طور مثال نمونه‌ای که در محلول ۲ درصد دارچین و ۳۰ درصد ساکارز غوطه‌ور شده، تقریباً بیشترین نمره را گرفته است. ولی نمونه‌های دارای ۲ درصد دارچین و فاقد ساکارز از نظر بو کمترین نمره را گرفته‌اند. می‌توان نتیجه گرفت که ساکارز باعث تأثیر نگره‌دارندگی روی دارچین در طی خشک‌کردن داشته است و نمونه‌های تهیه شده با این تیمارها همچنان رهایش ملایمی از دارچین را نیز پس از خشک‌کردن داشته‌اند. اما نمونه‌های تهیه شده با دارچین و بدون محلول اسمزی نتوانست نظر داوران را در ارتباط با لذت بویایی دارچین در سیب‌های خشک‌شده جلب کند. نتایج ارزیابی حسی بافت نیز نشان داد، به‌طورکلی بیشترین نمره به نمونه‌هایی که دارای ساکارز هستند تعلق گرفته است و از دیدگاه داوران بافت

موردپذیرشی داشته‌اند. اما نمونه‌های تیمار شده با دارچین و بدون ساکارز از مطلوبیت کمتری برخوردار بودند. این نمونه‌های از دیدگاه داوران ترد و سفت بودند و به‌طورکلی اختلاف مشهودی بین انواع روش‌های خشک‌کردن از دیدگاه داوران گزارش نشده است. نتایج ارزیابی حسی طعم و مزه نیز نشان می‌دهد که نمونه‌های دارای ساکارز از مطلوبیت مزه بیشتری برخوردار بوده‌اند برعکس نمونه‌های فاقد ساکارز و دارای دارچین از دیدگاه داوران دارای کمترین مطلوبیت است. همچنین نمونه‌های دارای ۳۰ درصد ساکارز و ۱،۵/۰ و ۲ درصد دارچین بالاترین نمره یعنی بیشترین مقبولیت را از نظر مزه داشته‌اند. باید در نظر داشت که در این نمونه‌ها هم وجود ساکارز به‌عنوان یک طعم شیرین و هم حضور طعم دارچین برای ارزیاب‌ها مطلوب بوده است و در مقایسه انواع روش‌های خشک‌کردن نیز می‌توان دریافت که سیب‌های تهیه شده به روش غیرمستقیم بدون جاذب از مقبولیت بیشتری بین ارزیاب‌ها برخوردار بوده است. همچنین نتایج ارزیابی حسی پذیرش کلی حاکی از آن بوده، نمونه‌هایی که دارای ساکارز و دارای غلظت‌های مختلف دارچین بوده‌اند، بیشترین نمره ارزیابی را گرفته‌اند. به طوری که نمونه ۳۰ درصد ساکارز و ۲ درصد دارچین تقریباً در بین تمام نمونه‌ها بیشتر طرفدار داشته است. همچنین روش غیرمستقیم با جاذب و بدون جاذب بیشترین مقبولیت از لحاظ بافت و همچنین از لحاظ پذیرش کلی را دارا می‌باشند.

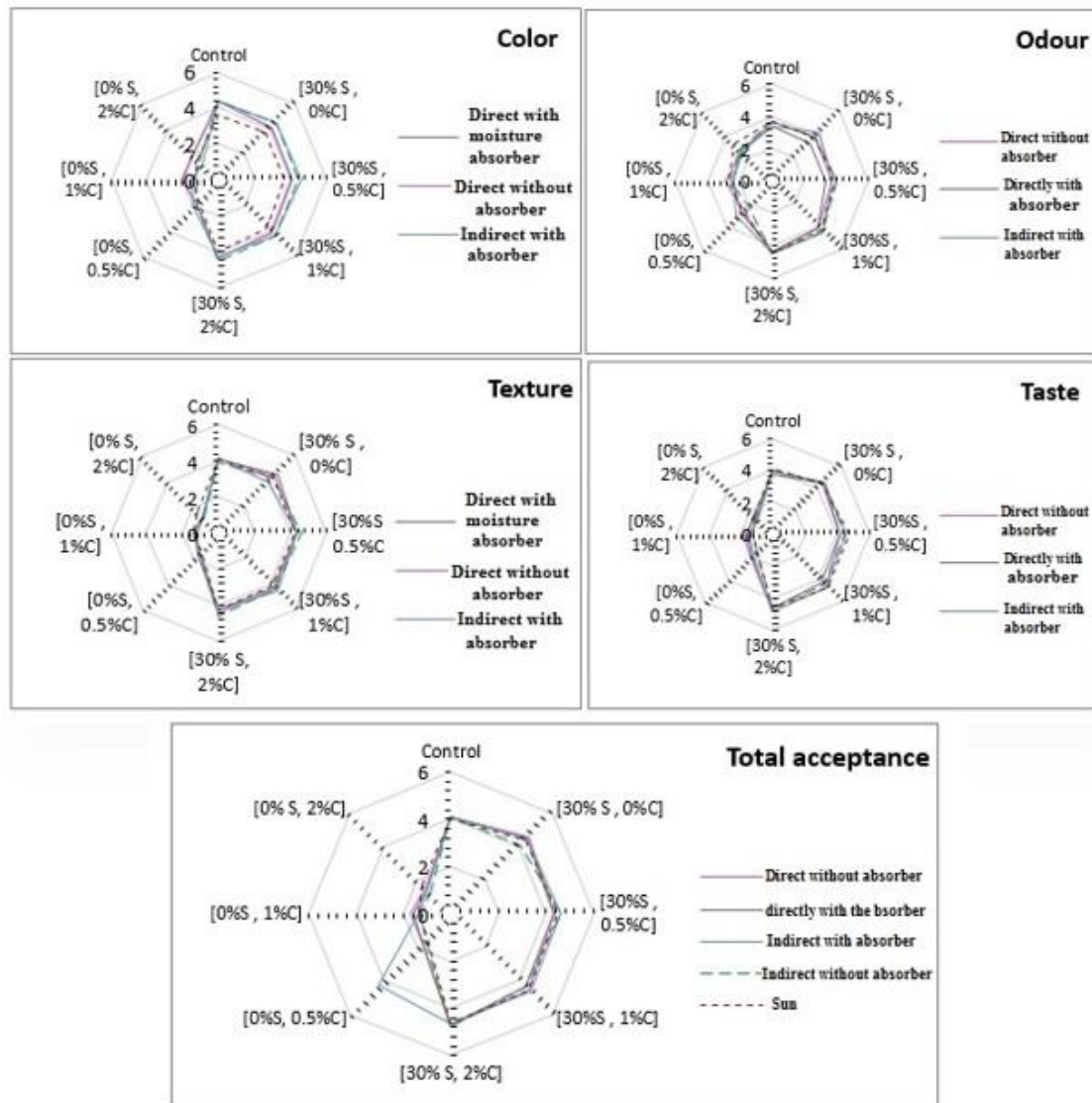


FIG 8: Sensory evaluation of dried apple samples in different concentrations of sucrose and cinnamon by direct solar drying (with and without moisture absorber), indirect (with and without moisture absorber) and traditional method ( $p < 0.05$ )



## ۷-۳- نتیجه گیری

پیدا کرده است. بدین ترتیب می توان بیان کرد که میزان سفتی در روش خشک کردن با جذب رطوبت برای نمونه های دارای ساکارز بیشتر از میزان سفتی در همین نمونه ها در روش خشک کردن بدون جذب بوده است. که علت آن را می توان به پدیده سختی سطحی دانست که خود به دلیل وجود ساکارز می باشد. آنالیز بافت در روش خشک کردن غیرمستقیم نیز نشان داد که دارچین سبب افزایش نیروی سفتی در نمونه های خشک شده بدون جذب رطوبت می گردد و دلیل آن را افزایش ویژگی های الاستیسیته و رقه های سبب با افزایش غلظت دارچین تعیین نموده اند. بررسی خصوصیات ساختاری و آنالیز چروکیدگی در روش خشک کردن مستقیم حاکی از آن بوده که نمونه های دارای ساکارز میزان چروکیدگی کمتری داشته و با افزایش غلظت دارچین میزان چروکیدگی افزایش می یابد و بیشترین افزایش در روش مستقیم خشک کردن بدون جذب در مقادیر ۲ درصد دارچین و در روش مستقیم خشک کردن با جذب در غلظت ۱ درصد دارچین مشاهده می شود. همچنین نتایج آنالیز چروکیدگی در روش خشک کردن غیرمستقیم نشان می دهد که در نمونه های فاقد ساکارز میزان چروکیدگی بیشتر است که این به دلیل عدم بهبود ساختاری شبکه های موئینه می باشد. بررسی میزان باز جذب آب در روش های خشک کردن مستقیم و غیرمستقیم نیز نشان داد که نمونه های دارای ساکارز شرایط باز جذب آب مطلوب تری دارند و غلظت های مختلف دارچین موجب کاهش باز جذب شده اند. نتایج مربوط به میزان تخریب ویتامین سی در روش خشک کردن مستقیم نشان داد که استفاده از ساکارز باعث بهبود حفظ ویتامین سی و در مقابل غلظت های مختلف دارچین سبب تخریب اسید آسکوربیک می شود. بررسی آنالیز تغییر رنگ در روش خشک کردن مستقیم و غیرمستقیم نیز حاکی از آن بوده که نمونه های دارای ساکارز در هر دو روش شرایط مناسب تری دارند و دارچین موجبات تغییر رنگ بیشتر را فراهم می آورد.

در این پژوهش نمونه های سیب را به روش های مختلف با خشک کن خورشیدی مستقیم و غیرمستقیم و بدون جذب خشک کردیم. همچنین از محلول دارچین با غلظت های مختلف استفاده کردیم و نتایج حاصل از سرعت تبخیر نمونه های سیب در روش خشک کردن مستقیم نشان داد که در روش مستقیم بدون جذب رطوبت نرخ حذف رطوبت در نمونه های بدون ساکارز (۱ درصد دارچین) نسبت به نمونه های دارای ساکارز و دارچین بیشتر بوده است. همچنین در نمونه کنترل روش مستقیم بدون جذب میزان حذف رطوبت نسبت به سایر تیمارها کمتر است. و مقایسه نمونه های کنترل در دو روش مستقیم با جذب رطوبت و مستقیم بدون جذب رطوبت نشان می دهد که سرعت تبخیر نمونه ها در جذب رطوبت به صورت معنی دار بیشتر است. علاوه بر این، در مقایسه نمونه های دارای ساکارز بین دو روش مستقیم با جذب رطوبت و مستقیم بدون جذب رطوبت نشان می دهد که نمونه های دارای ساکارز در روش دارای جذب رطوبت سرعت تبخیر پایین تری می باشد. در روش مستقیم آفتاب در مقایسه با خشک کن خورشیدی به صورت معنی داری سرعت خشک کردن پایین آمده است نتایج سرعت تبخیر نمونه های سیب در روش خشک کردن غیرمستقیم نیز نشان داد که همانند روش مستقیم، نرخ تبخیر نمونه های دارای تیمار دارچین فاقد ساکارز بیشتر از نرخ تبخیر در نمونه های دارای ساکارز و کنترل بوده که دلیل آن را وجود تجمع قند در سطح میوه تشخیص داده اند و افزایش غلظت مواد حل شده مانند دارچین و ساکارز سبب کاهش سرعت خشک کردن می شود. بررسی خصوصیات ساختاری و آنالیز بافت در روش خشک کردن مستقیم نشان داد؛ بیشترین میزان سفتی در روش مستقیم خشک کردن بدون جذب برای نمونه های فاقد ساکارز و دارای سطوح مختلف دارچین (حداکثر در ۵ درصد) بدون اختلاف معنی دار مشاهده گردید. همچنین میزان سفتی نمونه های تیمار شده با ساکارز همراه با دارچین اختلاف معنی داری نسبت به نمونه کنترل نشان داد و میزان سفتی در مقایسه با گروه کنترل افزایش

## ۴- منابع

- [1] Larson, D. F., Khidirov, D., & Ramniceanu, I. (2015). Uzbekistan: Strengthening the Horticulture Value Chain.
- [2] Boyer, J., & Liu, R. H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, 3, 1-15.

- [3] Azizov, A. S., Sultonov, K. S., & Gafurov, J. A. (2021). Scientific significance of using protective devices in pear storage in refrigerated warehouses (in the case of Uzbekistan). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 939, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.

- [4] Ibragimov, M., Rakhmatov, A., & Tadjibekova, I. (2020). Electrotechnological approach for effective storage of fruits and vegetables in farms. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 614, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- [5] Khurmatov, Y. E., Kakhkhorova, S. A., Nazirova, U. A., Tursumatov, M. S., & Abdulkhamidova, M. A. (2021). Importance Of Seeded Fruits Storage. *The American Journal of Agriculture and Biomedical Engineering*, 3(06), 55-60.
- [٦] Sagar, V. R., & Suresh Kumar, P. (2010). Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of food science and technology*, 47, 15-26.
- [7] Omolola, A. O., Jideani, A. I., & Kapila, P. F. (2017). Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(1), 95-108.
- [8] Ershadian, M., Zamani, H., Sami, M., Abedzadeh, H. (2012). herbal products. Food industry field, agricultural study department, technical and vocational education branch. Lesson number 4636.
- [٩] Nwanade, C. F., Wang, M., Li, H., Masoudi, A., Yu, Z., & Liu, J. (2022). Individual and synergistic toxicity of cinnamon essential oil constituents against *Haemaphysalis longicornis* (Acari: Ixodidae) and their potential effects on non-target organisms. *Industrial Crops and Products*, 178, 114614.
- [١٠] Gruenwald, J., Freder, J., & Armbruster, N. (2010). Cinnamon and health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(9), 822-834.
- [١١] Torrens, F., & Castellano, G. Herbs brandies, wines, liquors, *Origanum onites*, clove and cinnamon oils. *RESEARCH METHODOLOGIES IN APPLIED CHEMISTRY WITH MULTIDISCIPLINARY PERSPECTIVES*, 37.
- [١٢] "Global cinnamon production in 2021; Crops/Regions/World Regions/Production Quantity/Year (pick lists)". UN Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database (FAOSTAT). 2023. Retrieved 19 May 2023.
- [13] A., N., Ivankin., N., L., Vostrikova., O., N., Krasulya., E., V., Kazakova., A., V., Kulikovskii., A.S., Knyazeva. (2020). The formation of flavoring characteristics of meat products by changing the chemical composition of food compositions. *Teoriâ i Praktika Pererabotki Mâsa*, doi: 10.21323/2414-438X-2020-5-4-4-12.
- [14] Liyan, Ma., Jingming, Li. (2021). Food Flavor Substances. doi: 10.1007/978-981-16-0610-6\_10.
- [15] Xu, Anyu. (2013). Flavoring food capable of reducing cancer incidence rate of populations.
- [16] Tibor, Cserhâti. (2010). Food and Food Products. doi: 10.1007/978-3-642-01656-1\_2.
- [17] Zhu, J., Liu, Y., Zhu, C., & Wei, M. (2022). Effects of different drying methods on the physical properties and sensory characteristics of apple chip snacks. *LWT*, 154, 112829.
- [18] Naveen KG, Ahmed S, Kumar P. Food Processing of Micronutrients and Macronutrients. In *Micronutrients and Macronutrients as Nutraceuticals 2024 Feb 6* (pp. 305-319). Apple Academic Press.
- [19] Kumar, C., Karim, M. A., & Joardder, M. U. (2014). Intermittent drying of food products: A critical review. *Journal of Food Engineering*, 121, 48-57.
- [20] Lingayat, A., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Kumar, A. (2020). Development of indirect type solar dryer and experiments for estimation of drying parameters of apple and watermelon. *Thermal Science and Engineering Progress*, 16, 100477.
- [21] Purohit, S. R., Rana, S. S., Idrishi, R., Sharma, V., & Ghosh, P. (2021). A review on nutritional, bioactive, toxicological properties and preservation of edible flowers. *Future Foods*, 4, 100078.
- [22] Shojaei, Saideh, and Hakimzadeh, Vahid. (2018). Investigating the effect of adding acetic acid, citric acid, and phosphoric acid to enzyme juice in reducing heavy metals in canned chickpeas. *Iran Food Science and Industry*, 16(94), 51-60.
- [23] Rasool, Etemadipoor., Abdolmajid, Mirzaalian, Dastjerdi., Asghar, Ramezani., Sakineh, Ehteshami. (2020). Ameliorative effect of gum arabic, oleic acid and/or cinnamon essential oil on chilling injury and quality loss of guava fruit. *Scientia Horticulturae*, 266:109255-. doi: 10.1016/J.SCIENTA.2020.109255.

- [24] Nouri, A. (2016). Construction and evaluation of forced flow solar dryer with return air cycle and moisture absorbent wheel. Master's thesis. Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj.
- [25] Salehi, F. (2014). Investigating heat and mass transfer during button mushroom drying by infrared equipped systems using computational fluid dynamics method. Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan.
- [26] Asghari Bayram, Z., Basiri, A. 2019 Optimization of combined hot air osmosis drying process of edible button mushroom (*Agaricus bisporus*) slices by response surface method. *Food Science and Nutrition*, 7 (2), 39-50.
- [27] Chemkhi S. Design, manufacturing and test of a mixed-mode solar dryer for food products. In 2022 13th International Renewable Energy Congress (IREC) 2022 Dec 13 (pp. 1-5). IEEE.
- [28] Fernandes L, Fernandes JR, Tavares PB. Design of a Friendly Solar Food Dryer for Domestic Over-Production. In *Solar 2022* Nov 1 (Vol. 2, No. 4, pp. 495-508). MDPI.
- [29] Mohammadi, M., Panahi, B., & Dehdivan, N. S. (2019). A study on the Effects of using the Essential Oil of Medicinal Plants (Cinnamon, Fennel, Clove) and Storage Temperature on Physicochemical Characteristics and Marketability of Date Fruit of Halilehei Cultivar. In *Biological Forum—An International Journal* (Vol. 11, No. 1, pp. 12-17).
- [30] Pashazadeh, B, Elhami R, Amir H, Haj Na, & Sharayei, P. (1400). Investigating the effect of chitosan coating and cinnamon extract on qualitative, physicochemical and microbial characteristics of apple fruit during cold storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13(4), 23-42.
- [31] Gisselle, Anahí, Solís-Contreras., María, Consuelo, Rodríguez-Guillermo., María, de la, Luz, Reyes-Vega., Cristóbal, N., Aguilar., Oscar, Noé, Reboloso-Padilla., José, Corona-Flores., Xochitl, Ruelas-Chacón. (2021). Extending Shelf-Life and Quality of Minimally Processed Golden Delicious Apples with Three Bioactive Coatings Combined with Cinnamon Essential Oil.. *Foods*, doi: 10.3390/FOODS10030597.
- [32] Fereshteh, Khorram., Asghar, Ramezani. (2021). Cinnamon essential oil incorporated in shellac, a novel bio-product to maintain quality of 'Thomson navel' orange fruit. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, doi: 10.1007/S13197-020-04798-4.
- [33] Rahil, Malekipoor., Zora, Singh., Stuart, K., Johnson., Alan, Payne. (2022). Fumigation with lemon and cinnamon oils suppresses ethylene production and maintains the fruit quality of controlled atmosphere-stored organic apples. *Food Packaging and Shelf Life*, doi: 10.1016/j.fpsl.2022.100958.
- [34] Javadi Yanbalag, Dawood and Nouri Bidgoli, Hossein. (2015). Comparative study of dry apple production by solar dryer and other drying methods, *International Conference on Environmental Sciences, Engineering and Technologies*, Tehran.
- [35] Seerangurayar, T., Al-Ismaili, A. M., Jeewantha, L. J., & Al-Nabhani, A. (2019). Experimental investigation of shrinkage and microstructural properties of date fruits at three solar drying methods. *Solar Energy*, 180, 445-455.
- [36] Hedayati, S., Shahidi, F., Koocheki, A., Farahnaky, A., & Majzoobi, M. (2016). Functional properties of granular cold-water swelling maize starch: Effect of sucrose and glucose. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(11), 2416-2423.
- [37] Maldonado, S., Arnau, E., & Bertuzzi, M. A. (2010). Effect of temperature and pretreatment on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 333-341.
- [38] Santos, P. H. S., & Silva, M. A. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables—A review. *Drying Technology*, 26(12), 1421-1437. <https://scihub.se/https://doi.org/10.1080/07373930802458911>.
- [39] Smith, J. C., Biasi, W. V., Holstege, D., & Mitcham, E. J. (2018). Effect of Passive Drying on Ascorbic Acid,  $\alpha$ -Tocopherol, and  $\beta$ -Carotene in Tomato and Mango. *Journal of food science*, 83(5), 1412-1421.
- [40] Narváez-Cuenca, C. E., Silva-Bustos, K. J., & Restrepo-Sánchez, L. P. (2015). Effects of thermal processing combined with sucrose on the vitamin C content, total phenolic content, antioxidant activity, and sensory characteristics

of arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh) purée during frozen storage. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 212-219.

[41] Hatami, S., Sadeghi, M., & Mireei, S. A. (2017). Indirect forced solar drying of banana slices: phenomenological explanation of non-isotropic shrinkage and color changes kinetics. *International Journal of Green Energy*, 14(15), 1277-1283.

[42] Marinoni, L., Stellari, A., & Cattaneo, T. M. P. (2022). A mild and innovative solar drying process to provide high quality products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(1), 662-672.

[43] Macedo, L. L., Corrêa, J. L. G., da Silva Araújo, C., & Cardoso, W. S. (2023). Use of Ethanol to Improve Convective Drying and Quality Preservation of Fresh and Sucrose and Coconut Sugar-impregnated Strawberries. *Food and Bioprocess Technology*, 1-15.

[44] Reis, F. R., Marques, C., de Moraes, A. C. S., & Masson, M. L. (2022). Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*, 109254.



## Scientific Research

## Drying apples using a solar dryer with a desiccant cycle in two modes: direct radiation-convection and indirect radiation-convection

Shadieh Yousefi<sup>1</sup>, Mehdi Kashaninejad<sup>2\*</sup>, Hossein Darvishi<sup>3</sup>, Aman Mohammad Ziai Far<sup>2</sup>, Himan Nurbakhsh<sup>4</sup>

1- Master student of Food Science and Industry, Faculty of Food Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- Professor, Department of Food Science and Industry, Faculty of Food Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan

4- Assistant Professor, Department of Food Industry Science, University of Kurdistan

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

## Article History:

Received: 2024/3/17

Accepted: 2024/5/8

## Keywords:

solar dryer,  
direct radiation,  
convective and indirect,  
convective,  
cinnamon,  
sucrose.

DOI: 10.22034/FSCT.21.154.107.

\*Corresponding Author E-

The aim of the current research is to dry apples using a solar dryer with a desiccant cycle in two modes: direct radiation-convection and indirect radiation-convection. Two types of drying methods, direct and indirect with desiccant and without desiccant, moisture content, and drying in open air were used. Pre-prepared apple slices (flavored with cinnamon) were placed on a specific-sized mesh, the initial weight of the samples was measured, and they were placed inside the solar dryer with a desiccant cycle in two modes: direct radiation-convection and indirect radiation-convection. During the drying process, the evaporation rate, texture, wrinkling, water reabsorption, vitamin C retention, color changes, and sensory characteristics at different treatment levels (30% sucrose and without sucrose, 0.5%, 1%, and 2% cinnamon) were examined. Additionally, several samples were dried as controls without cinnamon flavoring using the solar dryer. Data analysis was conducted using a completely randomized factorial design and the statistical software SPSS version 26. The results of the study showed that in both direct and indirect methods, with and without desiccant, the moisture removal rate in samples without sucrose was higher compared to samples with sucrose and cinnamon. Comparing control samples in both methods with and without desiccant moisture showed that the evaporation rate of samples with desiccant moisture was significantly higher. Furthermore, in samples with sucrose, the evaporation rate was lower in the desiccant method, and in direct sunlight drying, the drying rate was significantly lower compared to solar dryer drying. The results of evaporation rates in the indirect drying method also indicated that similar to the direct method, the evaporation rate of samples with cinnamon treatment and without sucrose was higher than that of samples with sucrose and controls. Tissue analysis results also indicated that the highest firmness was observed in the direct method without desiccant for samples without sucrose, with no significant difference in means. Cinnamon also increased the firmness in samples without desiccant moisture in the indirect drying method, and samples with sucrose had less wrinkling, with an increase in cinnamon concentration leading to more wrinkling, with the highest increase observed in the direct method without desiccant at 2% cinnamon and in the direct method with desiccant at 1% cinnamon concentration. The water reabsorption rate in both direct and indirect drying methods showed that samples with sucrose had better water reabsorption conditions, and the vitamin C degradation rate indicated that the use of sucrose improved vitamin C retention. Color change analysis also showed that samples with sucrose had more favorable conditions in both methods. Therefore, the results related to sensory evaluation characteristics indicated that samples with sucrose and different cinnamon concentrations received the highest sensory evaluation scores. Hence, it can be stated that samples dried with osmotic solution and sucrose generally had better acceptability in terms of physical appearance, color, taste, and flavor.