

## بررسی سینتیک خشک شدن بر گهی سیب پرتودیده با تابش گاما

حسن کیانی<sup>۱</sup>، سیده هدی یوسفیان<sup>۲\*</sup>، آیت محمد رزداری<sup>۳</sup>، رحیم ابراهیمی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۳- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

۴- دانشیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۲/۲۶)

### چکیده

امروزه طبق آمارهای موجود یک چهارم غذای تولیدشده در جهان بعد از برداشت محصول از بین می رود. این ضایعات در مراحل مختلف تولید، انبار کردن، توزیع، عرضه به بازار و بالأخره در دست مصرف کننده به محصولات وارد می شود. فرآوری مواد غذایی با اشعه گاما و نگهداری محصولات پرتودهی شده، کیفیت مواد غذایی را تا مدت زمان های طولانی حفظ می کند. به منظور انجام این پژوهش سیب رقم گلدن دلیشز (زرد)، از فروشگاه تعاونی سازمان انرژی اتمی ایران خریداری گردید، سپس تعداد ۱۰۰ عدد سیب با اندازه متوسط (۱۲۰ تا ۱۸۰ گرم) بطور کاملاً تصادفی جدا شد. سیبها بمدت یک هفته در سردخانه (۴ درجه سانتی گراد) نگهداری شدند. نمونه ها در کیسه های نایلونی استریل، به منظور پرتودهی بسته بندی گردیدند. برای پرتودهی نمونه ها از چشمه کبالت (۴ گاماسل ۲۲۰) استفاده شد. نمونه ها با دزهای صفر (کنترل)، ۰/۵، ۲ و ۵ کیلوگری پرتودهی، سپس بمدت ۴ روز در دمای ۴ درجه سانتی - گراد نگهداری گردیدند. برگه های سیب با استفاده از دستگاه برش کالباس در ضخامت ۴ میلی متر برش داده شد و در سه دمای ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی - گراد آزمایش خشک کردن با استفاده از آون انجام گرفت. باتوجه به نتایج تحقیق، پرتودهی مواد غذایی، خواص فیزیکی و شیمیایی سیب را حفظ می کنند. با افزایش مقدار دز پرتودهی و افزایش دمای خشک کردن در آون، درصد رطوبت موجود در نمونه ها درصد طوبت کاهش و درصد افت وزن افزایش می یابد. اثر اصلی مقدار دز پرتودهی و دمای خشک کردن بر روی شاخص  $\Delta E$  در سطح ۰/۰۵ معنی دار است. با افزایش دمای خشک کردن در آون، میزان  $\Delta E$  افزایش می یابد که علت این پدیده، کاهش رطوبت موجود در بافت نمونه و طی شدن روند چروکیدگی است. در نهایت نیز با افزایش مقدار دز پرتودهی دمای خشک کردن، توانایی باز جذب آب افزایش می یابد. بنابراین از روش پرتودهی با اشعه گاما و در نهایت خشک کردن با دمای مناسب در خشک کن ها می توان در حفظ کیفیت مواد غذایی استفاده کرد.

کلید واژگان: پرتو گاما، جذب آب، خشک کردن، سیب. رنگ سنجی.

\* مسئول مکاتبات: hoda.mchanic@yahoo.com

## ۱- مقدمه

سیب میوه‌ای است بی‌نظیر، سرشار از ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبر که در درمان‌های طبیعی به عنوان دارویی برای پیشگیری از بیشتر امراض شناخته شده است. ترکیبات شیمیایی موجود در میوه سیب بر حسب نژادهای گوناگون متفاوت است. به طور کلی در یک سیب متوسط با وزنی حدود ۱۶۰ گرم، ۲۵۸ کالری انرژی، ۰/۵ گرم پروتئین، ۱/۶ گرم چربی، ۲/۵۹ گرم مواد نشاسته‌ای، ۲۴ میلی‌گرم کلسیم، ۱۰ میلی‌گرم فسفر، ۰/۵ میلی‌گرم آهن، ۳۶ میلی‌گرم ویتامین A، ۱۵/۱۰ میلی‌گرم ویتامین B1، ۸/۲۰ میلی‌گرم ویتامین B2، ۱/۳۰ میلی‌گرم ویتامین B6 و ۱/۸ میلی‌گرم ویتامین C موجود می‌باشد. این ماده میزان کلسترول خون را از طریق کاهش جذب چربی به شدت کاهش می‌دهد و منجر به کاهش خطر بیماری‌های قلبی می‌شود [۱].

یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین روش‌های نگهداری مواد غذایی کاهش رطوبت آن‌ها می‌باشد. در اثر کاهش رطوبت امکان فساد میکروبی و آنزیمی از بین می‌رود و سرعت واکنش‌های مضر و قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی به مقدار قابل توجهی کم می‌شود [۲]. یکی از ویژگی‌های خشک کردن آن است که علاوه بر اثر حفاظتی، وزن و حجم محصول نیز به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد و در نتیجه از هزینه حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی محصول کاسته می‌شود. خشک کردن مواد غذایی اغلب باعث تولید فرآورده‌هایی می‌شود که مصرف آنها راحت‌تر و آسان‌تر است [۳]. از بین میوه‌های مختلف می‌توان سیب را بعنوان یکی از مهمترین آنها برای تولید خشکبار انتخاب کرد.

برای تولید محصول از نظر بافت، رنگ نیاز به خشک کردن در شرایط عملیاتی مناسب و کنترل شده می‌باشد. در نتیجه برای بدست آوردن شرایط عملیاتی مناسب در فرایند خشک کردن باید سینتیک خشک کردن ماده خشک شونده را در شرایط عملیاتی موجود بررسی نمود. سینتیک خشک کردن به خواص فیزیکی مواد و نحوه خشک کردن وابسته است. سینتیک خشک کردن یک داده بسیار مهم و اساسی برای طراحی و بهینه‌سازی یک واحد صنعتی می‌باشد [۴].

معمولاً میوه‌ها و سبزیجات را در پروسه‌های بعد از برداشت با هوای گرم خشک می‌کنند. که مشکلات بی شمار خودش را دارد

از جمله مدت زمان طولانی، بازده کم، کیفیت نامطلوب فرآورده‌های زیستی خشک شده و مصرف زیاد انرژی که تمام این موارد مانعی بر رشد و توسعه این فناوری محسوب می‌شوند. از این رو بیشتر محققان در صدد برآمده تا با تغییر روش خشک کردن و بکارگیری فناوری جدیدی به نام پرتودهی این مسائل را حل نمایند.

پرتودهی محصولات کشاورزی به معنای قرار گرفتن آنها در مقابل اشعه و جذب دز معینی از امواج الکترو مغناطیس ایکس و گاما یا ذرات انرژی پر الکترون می‌باشد. روش پرتودهی دمای ماده را افزایش نمی‌دهد به همین دلیل جزء روش‌های پاستوریزاسیون سرد محسوب می‌شود. یعنی همان انرژی که در بسیاری از روش‌های مرسوم نگهداری، از طریق افزایش حرارت به ماده مورد نظر منتقل می‌گردد. در طول ۳۵ سال اخیر، تأثیر پرتودهی بر حفظ کیفیت انواع مواد غذایی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته و محدودیت‌های کاربرد این تکنیک مشخص شده است. هم اکنون دامنه تحقیقات در زمینه توسعه پرتودهی محصولات کشاورزی، ۷۰ کشور جهان را تحت پوشش قرار داده است [۵ و ۶].

بررسی منابع نشان می‌دهد که پرتودهی در محصولات کشاورزی به ویژه در مرکبات و سیب بسیار مورد توجه بوده است و در حال تبدیل شدن به یک ابزار سودمند و انعطاف پذیر می‌باشد. وانگ و چائو (۲۰۰۳) پرتودهی را برای خشک کردن قطعات سیب به کار بردند. سیب‌های مورد نظر (نوع فوجی) آزمایش‌های خشک کردن را به مدت چهار روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد انبار کردند. مواد آزمایش را با اشعه گاما با ۴ دز مختلف پرتودهی کردند. آزمایشات در دو تکرار با چهار دز تابش (۰، ۲، ۵ و ۶ کیلو گری)، سه دمای هوا (۵، ۶۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد) و سه قطر اولیه (۳، ۵ و ۷ میلی‌متر) داشتند. سرعت هوا (هوای عبوری از برش یا قاچ سیب) ۱/۸ متر بر ثانیه و رطوبت نسبی هوا برابر با ۱۶/۸ درصد بود. بر طبق نتایج سه فاکتور بر میزان خشک کرن و دمای قاچ سیب تأثیر گذاشته و هر چه میزان دز بیشتر باشد، میزان خشک شدن سیب بیشتر شده و دما بالاتر می‌رود [۱].

همچنین نتایج تحقیقی نشان می‌دهد که مهم‌ترین پارامتری که روی سرعت خشک کردن اثر بیش‌تری نسبت به دو پارامتر سرعت هوا و ضخامت جسم خشک شونده دارد، دما می‌باشد که

خشک کردن میوه سیب باعث ایجاد سهولت در نگهداری و انبارداری محصول، جلوگیری از اتلاف محصول، کنترل بازار در مواقع حساس و تأمین محصول مورد نیاز در زمان لازم می‌شود. با توجه به اهمیت محصول و مزیت‌های پرتودهی بر روی این محصول و به علت هزینه‌بر بودن نگهداری سیب در انبارها و محدود بودن انبارها و با توجه به تولید بالای سیب و مصرف بالای آن، تلاش برای بهتر کردن کیفیت ماندگاری آن در حداقل زمان ممکن و با دقت بالا بسیار مهم می‌باشد. لذا پرتودهی و سپس خشک کردن به عنوان روشی موثر برای جلوگیری از فساد و بهبود ایمنی آن محسوب می‌گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی و پرتودهی نمونه‌ها

سیب رقم گلدن دلشیز (زرد)، از فروشگاه تعاونی سازمان انرژی اتمی ایران خریداری گردید، سپس تعداد ۱۰۰ عدد سیب با اندازه متوسط (۱۲۰ تا ۱۸۰ گرم) بطور کاملاً تصادفی جدا شد. سیب‌ها بمدت یک هفته در سردخانه (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. نمونه‌ها در کیسه‌های نایلونی استریل، به منظور پرتودهی بسته‌بندی گردیدند. برای پرتودهی نمونه‌ها از چشمه کبالت ۶۰ (گاماسل ۲۲۰) استفاده شد. نمونه‌ها با دزهای صفر (کنترل)، ۰/۵، ۲ و ۵ کیلوگری پرتودهی، سپس به مدت ۴ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند. برگه‌های سیب با استفاده از دستگاه برش کالباس در ضخامت ۴ میلی‌متر برش داده شد و در سه دمای ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد آزمایش خشک کردن با استفاده از آن انجام گرفت.

خشک کردن برگه‌های سیب با محتوی رطوبت اولیه تقریباً ۸۰٪ بر پایه تر شروع شد و تا زمانیکه هیچگونه تغییری در جرم سیب مشاهده نشد، یعنی رسیدن به محتوی رطوبت ۲۰٪ بر پایه تر ادامه یافت.

### ۲-۲- تعیین وزن خشک و محتوی رطوبت اولیه

برای تعیین وزن خشک سیب، ابتدا سیب پوست گرفته بدون هسته را وزن کرده و سپس در محفظه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی

ثابت خشک کردن در دمای ۸۰ بسیار بیش‌تر از دمای ۷۰ می‌باشد ولی اثر چروکیدگی سطح در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مراتب بیش‌تر از دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد [۷].

وانگ و چائو (۲۰۰۲) از پرتوی گاما با چشمه‌ی کبالت ۶۰ برای خشک کردن سیب استفاده کردند. برای انجام این آزمایش سیب را با دزهای ۰، ۱/۵، ۴/۵، ۵ و ۶ کیلو گری تحت پرتودهی قرار دادند. نتایج نشان داد که سه عامل مقدار دز تابشی، دمای هوای گرم و ضخامت برش اولیه سیب بطور قابل توجهی تحت تأثیر کیفیت ظاهری ویتامین C و میزان خشک شدن قرار دارند [۸].

در تحقیقی تأثیر تابش اشعه گاما بر روی موضوع ذخیره‌سازی دو نوع سیب در کشور سوریه را مورد مطالعه و بررسی قرار داده شد. میوه‌ها با دزهای ۰، ۰/۵ و ۱/۵ کیلو گری مورد تابش قرار گرفتند و در دمای ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد با میزان رطوبت ۸۰ تا ۹۰ درصد نگهداری شدند. پس از ۴۵ روز ذخیره‌سازی میزان از دست داده وزن و بروز ضایعات افزایش یافته بود پس از ۱۸۰ روز از تابش اشعه گاما، این فرایند تأثیر متفاوتی بر روی از دست داده وزن داشت که این تأثیر متفاوت با سال رشد و گونه‌ی سیب‌های مورد آزمایش و ضایعات قارچی ارتباط داشت [۹].

مصطفوی و همکاران (۲۰۱۲) شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی (شامل رطوبت، مواد جامد کاملاً قابل حل، فعالیت آنتی اکسیدان، سفتی و مقدار فنولیک) گونه پرورشی سیب رد دلشیز در معرض پرتو گاما به منظور قابلیت‌شان برای جلوگیری از کپک بعد از برداشت را ارزیابی کردند. میوه‌های تحت مراقبت با مقادیر ۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ گری پرتودهی کردند و در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد ذخیره نمودند. نتایج نشان داد که که نگهداری در دمای پایین برای جلوگیری از رشد کپک کافی نیست. همان‌قدر که مقدار و زمان نگهداری افزایش می‌یابد سفتی سیب‌ها کم می‌شود همچنین پاتوژن‌ها باعث تسریع نرم شدن سیب‌های ذخیره شده می‌گردند. این بررسی نشان داد که مقادیر کم پرتودهی (۳۰۰ و ۶۰۰ گری) همراه با نگهداری در هوای سرد شیوه‌ای مناسب برای به حداقل رسانیدن آسیب کیفیت سیب در طی دوره ۹ ماه ذخیره‌سازی می‌باشد [۱۰].

## ۲-۵- محاسبه درصد کاهش وزن

برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن نمونه‌ها، ورقه‌های برش خورده از هر تیمار انتخاب و وزن آن‌ها توسط ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۱ گرم) اندازه‌گیری شدند. تغییرات وزن اندازه‌گیری و در نهایت کاهش وزن میوه‌ها با کمک رابطه (۴) محاسبه شد [۱۷]:

$$\text{درصد کاهش وزن} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}}$$

## ۲-۶- اندازه‌گیری رنگ

رنگ کیفیتی مهم برای مواد غذایی خشک شده است. بی‌رنگ شدن و قهوه‌ای شدن میوه‌ها ناشی از انواع واکنش‌های شیمیایی شامل ترکیبات آمونیاک، پلیمر شدن فنل و تخریب ماده رنگی است. رنگ برگه سیب تازه و خشک با سامانه هانتربل ارزیابی می‌شود. هانتربل ۳ متغیر رنگ یعنی  $L$ ،  $a$  و  $b$  را اندازه‌گیری می‌کند  $L$  نشان دهنده تیرگی یا روشنایی ماده،  $a$  مختصات رنگ روی محور قرمز- سبز است (+) قرمزی و (-) سبزی ماده را نشان می‌دهد و  $b$  مختصات رنگ روی محور زرد- آبی است، (+) زردی و (-) آبی ماده را نشان می‌دهد [۱۸].

بعد از انجام هر آزمایش خشک کردن نمونه‌های خشک شده در محفظه بسته‌ای نگهداری می‌شوند و آزمایش رنگ برای تمام نمونه‌های خشک شده انجام می‌گیرد. برای هر آزمایش، رنگ سه نمونه برگه سیب اندازه‌گیری و برای هر نمونه اندازه‌گیری رنگ ۲ بار تکرار می‌شود. اختلاف رنگ توسط رابطه (۵) تعیین می‌شود:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta b)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta L)^2}$$

رنگ برگه سیب به عنوان مرجع انتخاب شد و  $\Delta E$  بزرگتر نشان‌دهنده تغییر رنگ بیشتر نسبت به رنگ سیب تازه است.  $\Delta E$  کوچکترین نشان دهنده کیفیت بهتر برگه سیب خشک شده است. همه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام می‌شود.

## ۲-۷- توانایی باز جذب آب

توانایی برگه‌های سیب خشک شده را برای تجدید ساختار در رسیدن به وضعیت اولیه‌اش هنگام غوطه‌ور کردن در آب را توانایی بازجذب آب می‌گویند.

گردد به مدت ۱۸ ساعت قرار داده شد. محتوی رطوبت اولیه سیب بر پایه تراز رابطه (۱) بدست می‌آید [۱۱]:

$$C_{dw}(\%) = \frac{m_d - m_i}{m_i}$$

$C_{dw}$ : محتوی رطوبت بر پایه تر (%)

$m_d$ : جرم نمونه خشک شده (gr)

$m_i$ : جرم نمونه اولیه (gr)

تعیین محتوی رطوبت اولیه به صورت تصادفی برای چند نمونه تعیین شد و میانگین آن‌ها به عنوان محتوی رطوبت اولیه گزارش شد.

## ۲-۳- ارزیابی کیفیت خشک کردن

خشک کردن عملیات مهمی در صنعت فرآوری غذاست. در سال‌های اخیر، توجه به زیادی به کیفیت غذاها در طی خشک کردن شده است. کیفیت محصول خشک شده تحت تأثیر شرایط و روش خشک کردن است. خشک کردن در هوای گرم به روش مرسوم باعث چروکیدگی محصول، قهوه‌ای شدن شدید، سرعت خشک کردن کم و ارزش غذایی پایین می‌شود [۱۲] کیفیت برگه‌های سیب با رنگ و توانایی باز جذب آب بررسی می‌شود [۱۳].

## ۲-۴- میزان نسبت رطوبت

به علت طبیعت غیر همگن سیب محتوی رطوبت اولیه هر نمونه متفاوت بود. بنابراین داده‌های محتوی رطوبتی با تقسیم محوی رطوبتی سیب در هر زمان مفروض به محتوی رطوبت اولیه اش نرمال شد و به صورت نسبت رطوبت گزارش شد [۱۴].

$$M.R = \frac{C_t - C_e}{C_i - C_e}$$

که  $C_t$  محتوی رطوبتی در هر لحظه و  $C_i$  محتوی رطوبت اولیه سیب است. برای فرآیندهای خشک کردن طولانی  $C_e$  محتوی رطوبت تعادل در مقابل  $C_i$  ناچیز است، بنابراین، معادله بالا به صورت زیر ساده می‌شود [۱۵ و ۱۶].

$$M.R = \frac{C_t}{C_i}$$

نمونه سیب خشک شده در دمای اتاق قرار داده می‌شود تا برای آزمایش توانایی باز جذب آب، تثبیت یابد. برای آزمایش باز جذب آب، ابتدا یک ورقه سیب خشک شده را وزن نموده و داخل بشر حاوی آب مقطر در دمای  $80 \pm 1^\circ C$  به مدت ۱۵ دقیقه قرار می‌گیرد. بعد از ۱۵ دقیقه برگه سیب را از آب خارج نموده و به مدت ۶۰ ثانیه روی یک توری برای خروج آب از سطح آن قرار داده می‌شود، سپس نمونه دوباره وزن می‌شود [۱۹]. آزمایش‌ها برای شرایط مختلف در سه تکرار انجام می‌گردد و مقدار میانگین گزارش می‌شود.

$$\frac{m_r}{m_d} = \text{توانایی باز جذب آب}$$

mr: جرم نمونه آبیگری شده

md: جرم اولیه نمونه قبل از آبیگری

## ۲-۸- اندازه گیری چروکیدگی

چروکیدگی در طی خشک کردن به طور همزمان با خروج رطوبت اتفاق می‌افتد و بنابراین ممکن است بر سرعت جداشدن رطوبت تاثیر بگذارد. تغییرات حجم و شکل به عوامل هندسی نمونه، روش خشک کردن و شرایط خشک کردن بستگی دارد [۲۰].

محاسبه چروکیدگی بر مبنای مفهوم جابجایی سیال انجام شد. برای تست چروکیدگی، حجم برگه به وسیله جابجایی حجمی محلول ان-هپتان اندازه گیری شد. در این تحقیق ان-هپتان به عنوان سیال استفاده شد زیرا برگه های سیب ان-هپتان را جذب نمی‌کند [۲۱]. چروکیدگی اصطلاحاً درصد تغییر حجم از نمونه اصلی محاسبه می‌شود. چروکیدگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲۲]:

$$\text{Shrinkage}(\%) = \frac{V_o - V_f}{V_o} \times 100$$

## ۲-۹- تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل، در قالب آزمایش فاکتوریل، به صورت طرح کاملاً تصادفی توسط نرم افزار آماری SAS نسخه 9.4 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. پس از تجزیه واریانس، میانگین‌های تأثیر گذار دز پرتودهی و دمای خشک کردن بر صفت های مورد بررسی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح  $\alpha = 0.05$  توسط نرم افزار SAS مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

## ۳- نتایج و بحث

نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌های دز پرتودهی و دمای خشک کردن در جدول (۱) ارائه شده است که نشان دهنده تاثیر اصلی و متقابل متغیرهای دز پرتودهی و دمای خشک کن بر پارامترهای اندازه گیری شده است.

### ۳-۱- میزان افت رطوبت

با توجه به نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۱)، با افزایش مقدار دز پرتودهی، درصد افت رطوبت موجود در نمونه‌ها در سطح افزایش می‌یابد (شکل ۱). اثرات اصلی دز پرتودهی و دمای خشک کردن در سطح ۱٪ و ۵٪ و اثر متقابل آن‌ها در سطح ۵٪ بر روی متغیر افت رطوبت معنی‌دار است (جدول ۲). همینطور با افزایش دمای خشک کردن در آون نیز، درصد طوبت کاهش می‌یابد (شکل ۲). همانطور که اشاره گردید محتوای رطوبت اولیه بیانگر از دست دادن آب محصول است و از دست دادن آب عمده‌تاً بستگی به شدت تنفس محصول و سنتز متابولیک مانند تولید اتیلن دارد [۲۳].

**Table 1** Compare the average parameters evaluated in dose irradiation and temperature drying

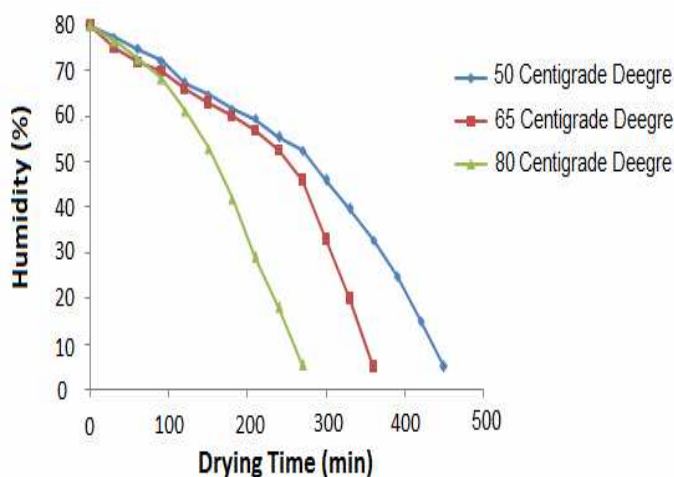
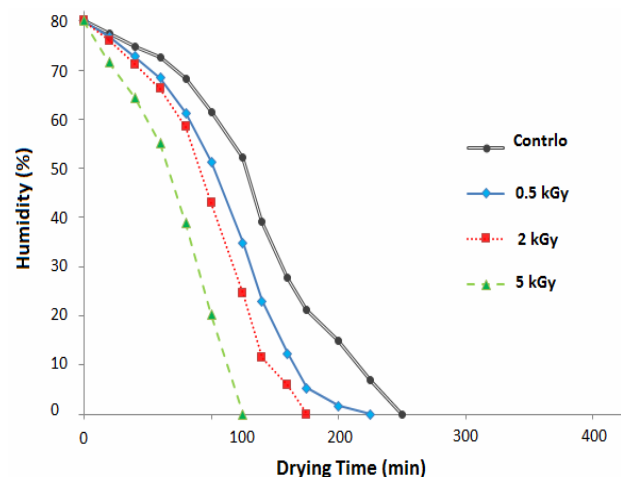
Dose (kGy)	Drying Temperature (Centigrade degree)	Humidity	Weight loss	Color Changing	Water Absorbance	Wrinkles
0.5	50	51.73±0.526 <sup>a</sup>	5.20±1.125 <sup>a</sup>	36.54±0.515 <sup>a</sup>	5.02±0.230 <sup>ac</sup>	30.2±0.111 <sup>a</sup>
	35	53.89±0.221 <sup>b</sup>	4.99±0.759 <sup>ab</sup>	37.57±1.12 <sup>bc</sup>	8.20±0.631 <sup>bc</sup>	14.12±0.420 <sup>b</sup>
	80	40.62±0.397 <sup>c</sup>	4.20±0.998 <sup>ac</sup>	38.81±0.420 <sup>c</sup>	11.11±0.098 <sup>c</sup>	10.13±0.100 <sup>bc</sup>
2	50	52.70±0.449 <sup>a</sup>	5.12±0.773 <sup>a</sup>	38.01±0.366 <sup>a</sup>	6.24±1.002 <sup>a</sup>	18.15±1.230 <sup>ab</sup>
	35	44.24±0.879 <sup>b</sup>	4.32±0.998 <sup>bc</sup>	37.98±0.102 <sup>b</sup>	10.20±0.527 <sup>b</sup>	31.14±0.360 <sup>b</sup>
	80	43.68±0.793 <sup>c</sup>	3.98±0.528 <sup>c</sup>	39.26±0.308 <sup>c</sup>	14.12±0.143 <sup>ac</sup>	17.28±1.452 <sup>bc</sup>
5	50	50.56±1.024 <sup>a</sup>	4.87±0.678 <sup>ab</sup>	39.45±0.367 <sup>ac</sup>	7.51±0.489 <sup>a</sup>	13.19±0.302 <sup>ab</sup>
	35	47.71±0.967 <sup>b</sup>	4.03±0.410 <sup>bc</sup>	38.47±0.971 <sup>b</sup>	13.23±0.302 <sup>bc</sup>	19.15±0.411 <sup>b</sup>
	80	47.14±0.236 <sup>ab</sup>	3.34±1.01 <sup>cd</sup>	40.54±0.896 <sup>bc</sup>	16.83±0.103 <sup>c</sup>	16.14±0.633 <sup>bc</sup>

Averages with the same letters in each column are not significantly different at 5% level.

**Table 2** Analysis of variance main and interaction effects of irradiation dose and drying temperature on the moisture loss

Treatment	df	Sum of Squares	Sum of Squares Mean	F
Irradiation Dose	3	3.037	0.530	43.125 <sup>**</sup>
Drying Temperature	2	9.754	0.708	32.078 <sup>*</sup>
Irradiation Dose × Drying Temperature	6	5.003	0.859	51.273 <sup>*</sup>
Experiment Error	26	3.743	0.712	

\*\*Significant at level 1%, \* Significant at level 5%

**Fig 2** Average compare effect of drying temperature in irradiated samples and drying time**Fig 1** Average compare effect of irradiation dose in samples and drying time

## ۳-۲- درصد افت وزن

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل دز پرتو دهی و دمای خشک کردن بر روی متغیر افت وزن در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۳) اثرات اصلی دز پرتو دهی و دمای خشک کردن در سطح ۱٪ و اثر متقابل در سطح ۵٪ بر روی متغیر افت وزن معنی دار است. با توجه به شکل (۳) و مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱)، با افزایش مقدار دز پرتو دهی و دمای خشک کردن در آن، درصد افت وزن افزایش می‌یابد. میوه سیب از جمله میوه‌هایی است که نسبت به از دست دادن آب حساس است. چروکیدگی بر اثر از دست دادن آب مهم‌ترین عامل کوتاهی عمر انبار مانی و ضایعات میوه سیب می‌باشد [۲۴].

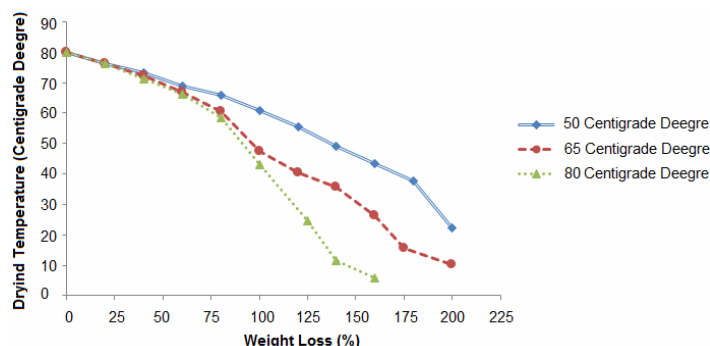
میزان کاهش وزن عمدتاً به شرایط نگهداری، میزان عناصر معدنی و نسبت سطح به حجم میوه در ارتباط مستقیم است [۲۵]. آمودیو و همکاران (۲۰۰۷) میزان کم آبی میوه‌های کیوی ارگانیک را در طی انبار مانی، بالا بودن عناصر معدنی به خصوص کلسیم و ضخامت پوست میوه نسبت دادند. بدون توجه به رقم، میوه‌هایی که در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری شده‌اند نسبت به دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش وزن کمتری دارند که این می‌تواند به دلیل رطوبت نسبی بالاتر (۹۰٪ در مقابل ۸۰٪) و نیز دمای پایین محیط یخچالی باشد که میزان آب از دست دهی میوه‌ها را کاهش داده است [۱۴].

**Table 3** Analysis of variance main and interaction effects of irradiation dose and drying temperature on the weight loss

Treatment	df	Sum of Squares	Sum of Squares Mean	F
Irradiation Dose	3	0.522	0.708	11.555**
Drying Temperature	2	7.301	0.929	7.607**
Irradiation Dose × Drying Temperature	6	4.004	2.100	13.092*
Experiment Error	26	10.110	4.422	

\*\*Significant at level 1%, \* Significant at level 5%

تازه و فراوری شده و بازاریابی آن‌هاست. با افزایش دمای خشک کردن در آن، میزان  $\Delta E$  افزایش می‌یابد که علت این پدیده، کاهش رطوبت موجود در بافت نمونه و طی شدن روند چروکیدگی است [۱۸]. با افزایش مقدار دز پرتو دهی نیز، نسبت به نمونه‌های پرتو دهی نشده، مقدار  $\Delta E$  افزایش یافته است زیرا همانطور که گفته شد، با افزایش دز پرتو دهی و جذب این انرژی توسط مولکول‌های آب درون سلولی و تبخیر آن، افت آب درون سلولی رخ داده و به مرور میزان قرمزی افزایش می‌یابد [۵]. همچنین در طی فرآیند خشک کردن، اکسیداسیون صورت می‌گیرد و در نتیجه این اکسیداسیون از شدت رنگ کاسته می‌شود. در اثر حرارت ممکن است رنگدانه‌های سبز کلروفیل تبدیل به فتوفتین گردد که رنگ مایل به قهوه‌ای دارد. تغییر در رنگ دانه‌ها می‌تواند به علت تأثیر حرارت بر روی ترکیبات حساس به حرارت از قبیل کربوهیدرات، پروتئین و ویتامین باشد که همین امر موجب تغییر رنگ در طول فرآیند خشک کردن می‌گردد [۲۶].



**Fig 3** Weight loss average at doses of 5 kGy irradiated samples during drying in oven at different temperatures

## ۳-۳- اندازه‌گیری رنگ

نتیجه تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل دز پرتو دهی و دمای خشک کردن در جدول (۴) داده شده است، که طبق جدول اثرات اصلی و متقابل در سطح ۱٪ بر روی این متغیر معنی دار شده است. رنگ یکی از مهمترین ویژگی‌های کیفی در مواد غذایی

**Table 4** Analysis of variance main and interaction effects of irradiation dose and drying temperature on the Color Changing

Treatment	df	Sum of Squares	Sum of Squares Mean	F
Irradiation Dose	3	226.528	98.102	131.042**
Drying Temperature	2	725.602	303.321	289.909**
Irradiation Dose × Drying Temperature	6	63.412	11.692	16.627**
Experiment Error	26	58.200	3.001	

\*\*Significant at level 1%, \* Significant at level 5%

**۳-۴- توانایی باز جذب آب**

جذب آب بالاتری از برگه‌هایی که در مای کمتر خشک می‌شدند، داشتند. زیرا در دمای بالاتر خشک کردن، سرعت خروج رطوبت بسیار سریع است و باعث می‌شود برگه‌های سیب خشک شده با ساختار متخلخل تر و با چروکیدگی کمتر به وجود آید، بنابراین توانایی باز جذب آب تسهیل می‌یابد. سرعت بازجذب آب بدست آمده از آزمایشات نشان داد که برگه های پرتودهی شده با دز ۵ کیلوگری و خشک شده با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین سرعت بازجذب آب می‌باشد. مقدار توانایی باز جذب آب در دز پرتودهی ۵ کیلوگری و در دماهای خشک کردن ۵۰، ۶۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۷/۵۱٪، ۱۳/۲۳٪ و ۱۶/۸۳٪ افزایش می‌یابد. نیمول و همکارانش نیز در خشک کردن موز چنین نتیجه‌ای گرفتند [۲۸].

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل دز پرتودهی و دمای خشک کردن بر روی متغیر باز جذب آب در جدول (۵) نشان داده شده است. بر اساس جدول (۵)، اثرات اصلی دز پرتودهی و دمای خشک کردن به ترتیب در سطح ۵٪ و ۱٪، و اثر متقابل در سطح ۵٪ بر روی متغیر باز جذب آب معنی‌دار است. با توجه به نتایج (جدول ۱) مشاهده می‌شود که توانایی باز جذب آب با افزایش مقدار دز پرتودهی و افزایش دمای هوای خشک کن، افزایش می‌یابد. علت توانایی پایین بازجذب آب، تشکیل لایه‌های مترام است که منجر به چروکیدگی غیریکنواخت می‌گردد. لایه‌های مترام و سفت تر از باز جذب دوباره آب جلوگیری کرده و بنابراین، منجر به درجه پایین‌تری از بازجذب می‌گردد [۲۷]. برگه‌های سیبی که در دمای بالاتر خشک شدند، توانایی باز

**Table 5** Analysis of variance main and interaction effects of irradiation dose and drying temperature on the water absorbance

Treatment	df	Sum of Squares	Sum of Squares Mean	F
Irradiation Dose	3	0.675	0.823	3.420*
Drying Temperature	2	4.022	2.202	9.100**
Irradiation Dose × Drying Temperature	6	3.222	0.231	3.012*
Experiment Error	26	5.253	0.497	

\*\*Significant at level 1%, \* Significant at level 5%

**۳-۵- چروکیدگی**

جذب آب ماده غذایی تاثیر دارد. بافت سیب حاوی مقدار قابل توجهی حباب هوا و حفره های بین سلولی است هر قدر شدت خروج حباب ها از درو نفاذت بیشتر باشد میزان چروکیدگی محصول بیشتر خواهد شد [۲۹]. با توجه به جدول (۱) دز پرتودهی بالا (۵ کیلوگری) و دمای بالای خشک کن (۸۰ درجه سانتی‌گراد) دارای بالاترین میزان چروکیدگی بودند. مقدار چروکیدگی با افزایش دمای خشک کن افزایش می‌یابد. نیمول و همکارانش نیز نتیجه گرفتند که با افزایش دما چروکیدگی افزایش می‌یابد [۲۸].

نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل دز پرتودهی و دمای خشک کردن بر روی متغیر چروکیدگی در جدول (۶) نشان داده شده است. بر اساس جدول اثرات اصلی دز پرتودهی و دمای خشک کردن در سطح ۵٪ و ۱٪ و اثرات متقابل در سطح ۵٪ بر روی متغیر چروکیدگی معنی‌دار است. چروکیدگی نه تنها بر کیفیت محصول که همچنین بر فرآیند خشک کردن و توانایی باز



**Table 6** Analysis of variance main and interaction effects of irradiation dose and drying temperature on the Wrinkles

Treatment	df	Sum of Squares	Sum of Squares Mean	F
Irradiation Dose	3	0.923	0.457	0.570*
Drying Temperature	2	25.012	11.028	12.502**
Irradiation Dose × Drying Temperature	6	5.425	3.200	0.812*
Experiment Error	26	10.367	0.497	

\*\*Significant at level 1%, \* Significant at level 5%

diseases. African Journal of Agricultural Research, 8: 421-434.

- [4] Tripathi, P.C., and Lawande, K. E. 2007. Effect of  $\gamma$  - ray irradiation on storage behaviour in garlic (*Allium sativum* L.). Journal of Spices and Aromatic Crops, 16 (1): 22-26.
- [5] Jafarian, M., Sadrnia, H., and Aghkhani, M. H. 1392. Study the effect of cacl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>o on mechanical properties of apple in storage time. Journal of Agricultural Machinery. 2: 133-143.
- [6] Ahari-Mostavafi, H., Mirmajlesi, M., Mirjalili, M.m., Fathollahi, H., Mansuripoor, M., Babaie, M. 1390. The effect of gamma radiation on spore germination and growth of Patty Sylym Akpansym row causes of postharvest fruit. Journal of Nuclear Science and Technology of Iran's Atomic Energy Organization, Volume 4 (No. 58), pages 49 to 54.
- [7] Wang J. Chao Y. 2002. Drying characteristics of irradiated apple slices. Journal of Food Engineering 52: 83-88.
- [8] Etemadi, A. and Mousavi, M. 1383. Operating parameters on the kinetics of drying apples. The Ninth National Congress of Chemical Engineering, University of Science and Technology. Tehran.
- [9] Mohsenin, N.N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials. 2nd Revised and Updated Edition. Gordon and Breach Science Publishers. NewYork.
- [10] Wang, J and. Chao, Y. 2003. Effect of irradiation on drying characteristics of apple. Journal of food engineering 56: 347-351.
- [11] Mostafavi, H.A., Mirmajlessi, S.M, Fathollahi, H. and Askari, H. 2012. Gamma radiation effects on physico-chemical parameters of apple fruit during commercial post-harvest preservation. Radiation Physics and Chemistry 81: 666-671.

## ۴- نتیجه گیری

با فرآوری مواد غذایی به روش پرتودهی اشعه گاما و نگهداری محصولات با اشعه دهی در حد مطلوب، کیفیت مواد غذایی تا مدت زمان های مختلف ثابت مانده و با کنترل میکروارگانیسمها عوامل فساد نیز کنترل می گردد. همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی سیب را حفظ می کنند. با افزایش مقدار دز پرتودهی و افزایش دمای خشک کردن در آون، درصد رطوبت موجود در نمونه ها درصد طوبت کاهش و درصد افت وزن افزایش می یابد. با افزایش دمای خشک کردن در آون، میزان تغییرات رنگ افزایش می یابد که علت این پدیده، کاهش رطوبت موجود در بافت نمونه و طی شدن روند چروکیدگی است. همینطور با افزایش دز پرتودهی و دمای خشک کردن سفتی نمونه ها کاهش یافته و توانایی باز جذب آب افزایش می یابد. بنابراین از روش پرتودهی با اشعه گاما و در نهایت خشک کردن با دمای مناسب در خشک کن ها می توان در حفظ کیفیت مواد غذایی استفاده کرد.

## ۵- منابع

- [1] Mohammad-Razdari, A., Raeisi, M., Ebrahimi, R. and Kiani, H. 1392. Science and the effect of increasing the shelf life of food irradiation, the twenty-first National Congress of Food Science, University of Shiraz.
- [2] Sommers, C. H., Delincee, H., Smith, J. S., and Marchioni, E. 2013. Toxicological safety of irradiated foods. Journal of Food Irradiation Research and Technology, 2nd ed. iley-Blackwell Publishing, Ames, Iowa, 53-73.
- [3] Tamure, C., and Teryaki, O. 2012. Irradiation alone or combined with other alternative treatment to control postharvest

- slices. *Journal of Food Engineering*, 73: 281-289.
- [22] Zomorodian, A., Safi-Yari, H., Rahmanian, H., and Salmani-Zadeh, F. 2013. Evaluation of changes in the physical properties of persimmon fruit during storage at ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 8: 417-426.
- [23] Deng, Y. and Zhao, Y. 2008. Effect of pulsed vacuum and ultrasound osmo pretreatments on glass transition temperature, texture, microstructure and calcium penetration of dried apples (Fuji). *LWT - Food Science and Technology*, 41(9): 1575-1585.
- [24] Okyay-Menges, H., and Ertekin, C. 2006. Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples. *Journal of Food Engineering*, 77: 119-125.
- [25] Burdon, J. and Clark, C. 2001. Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status. *Postharvest Biology and Technology* 22:215-225.
- [26] Amodio, M.L., Colelli, G., Hasey, J.K. and Kader, A.A. 2007. A comparative study of composition and postharvest performance of organically and conventionally grown kiwifruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 1228-1236.
- [27] Jo, C., Son, G.H., Shin, M.G. and Byun, M.W. 2003. Irradiation effects on color and functional properties of persimmon leaf extract and licorice root extract during storage. *Radiation Physics and Chemistry*. 67: 143-148.
- [28] Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T. and Soponronnarit, S. 2007. Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation. *Journal of Food Engineering*, 81:624-633.
- [29] Zhou, G.H., Xu, X.L. and Liu, Y. 2010. Preservation technologies for fresh meat—A review. *Journal of Meat Science*, 86: 119-120.
- [12] Askari, G.R., Emam-Jomeh, Z. and Mousavi, M.A. 2004. Effect of drying method on microstructural changes of apple slices. *Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004) São Paulo, Brazil*, vol. B: 1435-1441.
- [13] Krokida, M. K. and Maroulis, Z. B. 2000. The effect of drying methods on viscoelastic behavior of dehydrated fruits and vegetables. *International Journal of Food Science and Technology*, 35: 391-400.
- [14] Abbasi, S. and Azari, S. 2009. Novel microwave-freeze drying of onion slices. *International Journal of Food Science & Technology*, 44: 974-979.
- [15] Wang, J., and Chao, Y. 2003. Effect of gamma irradiation on quality of dried potato. *Radiation Physics and Chemistry*, 66: 293-297.
- [16] Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M.H., Kazemi, M. and Mohamad Nikbakht, A. 2010. Drying of Pomegranate Arils: Comparison of Predictions from Mathematical Models and Neural Networks. *International Journal of Food Engineering*. 6(3):1-17.
- [17] Doymaz, I., Gorel, O. and Akgun, N. A. 2004. Drying characteristics of the solid by-product of olive oil extraction. *Biosystems Engineering*, 88: 213-219.
- [18] Fisk, C.L. Silver A.M. Strik B.C. and Zhao Y. 2008. Postharvest quality of hardy kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') associated with packaging and storage conditions. *Postharvest Biology and Technology* 47:338-345.
- [19] Asna-Ashari, M. and Zakaie-Khosroshahi, A. 1387. *Postharvest physiology and technology*. Bu-Ali Sina University Press. 2: 125-127.
- [20] Farkas, J., Ehlermann, D.A.E., and Mohácsi-Farkas, C. 2014. Food technologies: food irradiation, In: *Encyclopedia of Food Safety*, Eds. Yasmine Motarjemi Eds., Academic Press, Waltham, 3: 178-186.
- [21] Sacilik, K. and Elicin, A.K. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple

## Investigation kinetics of drying apples slab irradiated with gamma radiation

Kiani, H<sup>1</sup>, Yoosefian, S. H. <sup>2\*</sup>, Mohammad-Razdari, A<sup>3</sup>, Ebrahimi, R<sup>4</sup>

1. Ph.D Student, Department of Biosystems Engineering, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran

2. MSc Student, Department of Biosystems Engineering, University of Bu-Ali Sina, Hamadan

3. PhD Student Department of Biosystems Engineering Shahrekord University.

4. Associate Professor, Department of Biosystems Engineering Shahrekord University.

(Received: 2015/07/31 Accepted: 2016/05/15)

According to current statistics, a quarter of the food produced in the world is destroyed after the harvest. These corruption is imported in various stages of production, storage, distribution, marketing, and finally in the consumer goods. Food processing irradiated with gamma rays and maintenance products, quality food to maintain a long period of time. Golden Delicious apple variety is yellow, was purchased from AEOI and then 100 number were collected randomly with an average size (120 to 180 g). Apples were kept for a week in the cold (4 ° C). Samples were packed in sterile plastic bags, to irradiation. For irradiation of samples was used cobalt-60 source (Gama-cell 220). Samples doses were zero (control), 0.5, 2 and 5 kGy of irradiation, then were stored for 4 days at 4 ° C. Apple sheets with a thickness of 4 mm was cut cutting products in three at 50, 65 and 80 ° C dry test was carried out using the oven. According to the study, irradiation of food, chemical and physical properties of apples maintain. With increasing irradiation dose and temperature drying oven, moisture content in the samples of moisture loss and weight loss increases. The main effect of irradiation dose and temperature drying on the index at the level of 0.05%, significant. By increasing the drying temperature in the oven, the rise because of this phenomenon, the moisture content of the tissue sample and is in the process of shrinkage. Finally, with increasing radiation dose drying temperature, water absorption capacity increases. So the method of irradiation and finally drying with appropriate temperature drying can be used to preserve food quality.

**Keywords:** Gamma Irradiation, Water Absorption, Drying, Apple, Colorimetric.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: hoda.mchanic@yahoo.com