

## مقایسه تأثیر روش‌های خشک‌کردن اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی توت فرنگی

بهرام فتحی آچالویی<sup>۱\*</sup> و شهین شرافتخواه آذری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۲/۱۰

<sup>۱</sup> دانشیار علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

<sup>۲</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی - واحد سراب، دانشگاه آزاد اسلامی، سراب، ایران

\*مسئول مکاتبه: Email:bahram1356@yahoo.com

### چکیده

در این پژوهش تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، حسی و کیفیت تغذیه‌ای توت فرنگی و عوامل مؤثر بر افزایش زمان ماندگاری آن مورد مطالعه قرار گرفت. برای تیمار بندی روش اسمزی متغیرهای دما (۳۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد)، غلظت مخلوط قندی شربت فروکتوز و ساکارز (۷۰ درصد (وزنی - حجمی) (۲۰٪ فروکتوز + ۵۰٪ ساکارز))، کلرید کلسیم (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد (وزنی - حجمی))، مدت زمان ۵ ساعت و با نسبت ۱ به ۸ میوه به محلول اسمزی استفاده شد. در بین ۸ تیمار مختلف اسمزی، بهترین تیمار (محلول اسمزی حاوی ۵۰٪ فروکتوز به همراه ۲۰٪ ساکارز، کلرید کلسیم ۱/۵٪، دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵ ساعت) با توجه به میزان پایین نسبت مواد جامد جذب شده به مقدار آب خارج شده شناخته شد. سپس نمونه بهینه خشک شده اسمزی از لحاظ ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و ویژگی‌های حسی با نمونه‌های توت فرنگی خشک شده با روش‌های آون هوای داغ (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت)، مایکروویو (با استفاده از مایکروویو خانگی با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز، توان ۵۰۰ وات و مدت زمان ۳۰ دقیقه) و کنترل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که پس از خشک کردن توت فرنگی با روش‌های اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو به ترتیب میزان رطوبت ۲۸، ۳۷ و ۱۸٪، pH ۳/۵۷، ۳/۱۵ و ۳/۱۹، اسیدیته ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۵ و ۰/۰۴۴٪، بریکس ۲۳، ۱۵ و ۲۶، قند کل ۱۵، ۴ و ۳٪، ویتامین C ۸، ۱۳ و ۱۹ mg/100 g و آنتوسیانین کل ۷۵، ۷۲ و ۸۶ mg/kg بود. توت فرنگی خشک‌شده با روش مایکروویو دارای رطوبت و قند کل پائین و بریکس، ویتامین C و آنتوسیانین بالاتری نسبت به نمونه‌های خشک شده با روش اسمزی و آون هوای داغ بود. از سوی دیگر از لحاظ ویژگی‌های حسی، نمونه‌های توت فرنگی خشک‌شده توسط مایکروویو و اسمزی دارای ظاهر، رنگ، سفتی و عطر و طعم بهتری نسبت به نمونه‌های خشک‌شده توسط آون هوای داغ و کنترل بودند. در کل، توت فرنگی خشک شده با استفاده از روش مایکروویو دارای کمترین میزان رطوبت، میزان ویتامین C و آنتوسیانین بالاتر و همچنین ویژگی‌های حسی بهتری نسبت به سایر روش‌های خشک‌کردن بود. بنابراین، در این پژوهش روش مایکروویو برای تولید برگه‌های توت فرنگی خشک‌شده در مقایسه با دیگر روش‌های خشک کردن توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: آون هوای داغ، توت فرنگی، خشک کردن اسمزی، مایکروویو، ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی

## مقدمه

پایداری شیمیایی، میکروبی و فیزیکی مواد غذایی تحت تأثیر محتوای آب و ویژگی‌های مختلف آن قرار می‌گیرد. از سوی دیگر محتوای رطوبت مواد غذایی به همراه فعالیت آبی از عوامل مهم ماندگاری و حفظ کیفیت آنها طی زمان نگهداری می‌باشد (آزاد مرد دمیرچی ۱۳۹۱).

توت فرنگی یکی از میوه‌های مستعد فساد و حساس به آسیب‌های مکانیکی و زوال فیزیولوژیکی است که دارای سرعت متابولیسم و تخریب سریع در طی مدت زمان نسبتاً کوتاه می‌باشد. توت فرنگی دارای عمر انبارداری کمی بوده و نمی‌توان آنرا برای مدت زمان طولانی نگهداری کرد. در این راستا، برای افزایش عمر انبارداری محصول برداشت شده و حفظ کیفیت آن، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر ساختارهای فنولیکی و ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی که موجب گرایش به محصولات گیاهی می‌شوند، توت فرنگی به عنوان منبع خوبی از پتاسیم و ویتامین C نیز به شمار می‌آید. هر چند در توت فرنگی تازه ۲۶ تا ۵۰ درصد اسید اسکوربیک وقتی که قسمت‌های برش یافته آن به مدت ۵ دقیقه در معرض هوا قرار می‌گیرند، از بین می‌رود. حتی در توت فرنگی‌های منجمد نیز اتلاف اسید اسکوربیک متوقف نمی‌شود. مطالعه در مورد دو نوع مهم توت فرنگی یعنی کامارسوا و سلوا نشان داد که نوع دوم نه تنها دارای مقاومت بالاتری نسبت به له شدن است بلکه محتوای اسید اسکوربیک، پروتئین و ترکیبات فنولیک بالاتری نیز دارد (کاسترو و همکاران ۲۰۰۲).

خشک‌کردن روش سنتی نگهداری مواد غذایی می‌باشد. اصول مربوط به خشک‌کردن مواد غذایی بر مبنای گرفتن آب آنها با استفاده از نیروی حاصل از انتقال گرما برای تبخیر یا تصعید آب استوار می‌باشد. در تمامی موارد، آب میوه با هدف کاهش فعالیت آبی ماده غذایی گرفته می‌شود تا طول عمر بالاتری بدست آید (فلوز ۲۰۰۰).

خشک‌کردن اسمزی عبارت است از فرایندی جهت دفع نسبی آب از بافت‌های گیاهی توسط غوطه‌وری در یک محلول هیپرتونیک (اسمزی). دفع آب بر مبنای پدیده غیرمخرب اسمز در غشای سلولی استوار است. نیروی هادی انتشار آب از بافت به درون محلول توسط فشار بالاتر اسمزی محلول هیپرتونیک تأمین می‌شود. انتشار آب همراه با انتشار همزمان ترکیب حل شونده از محلول اسمزی به بافت و در خلاف جهت آن روی می‌دهد. در فرآیند اسمز مواد حل‌شونده موجود در سلول‌ها (اسیدهای آلی، قندهای احیاء کننده، مواد معدنی، طعم دهنده‌ها و رنگدانه‌ها) نیز ممکن است به داخل محلول اسمزی نشت یابند (گیانگیاکومو و همکاران ۱۹۸۷) که در نتیجه ویژگی‌های حسی و غذایی محصول را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند.

گزارش‌های زیادی مبنی بر استفاده از روش‌های کمکی خشک کردن توت فرنگی‌ها وجود دارد که از آنها می‌توان به استفاده از مایکروویو با فشار معمولی و تحت خلأ، کابینی معمولی و تحت خلأ، اولتراسونیک، فشار بالا و میدان‌های الکتریکی پالسی اشاره کرد. بر همین اساس تایوو و همکاران (۲۰۰۳) از فن‌آوری فشار بالا و میدان‌های الکتریکی پالسی و گارسیا نوگویرا و همکاران (۲۰۱۰) از اولتراسونیک برای تسریع و بهبود شرایط خشک کردن توت فرنگی‌ها استفاده کردند.

خشک‌کردن اسمزی به عنوان یک پیش‌فرآوری در بسیاری از فرایندها جهت بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای، حسی و عملکردی مواد غذایی بدون تغییر بافت آن مورد استفاده قرار می‌گیرد (تورجیانی ۱۹۹۳) که از جمله این فرایندها می‌توان به انجماد (پونتنینگ ۱۹۷۳)، خشک کردن انجمادی (هاوکز و فلینک ۱۹۷۸)، خشک کردن تحت خلأ (دیکسون و جن ۱۹۷۷) یا خشک کردن با هوا (نانجونداسوامی و همکاران ۱۹۷۸) اشاره نمود.

امواج مایکروویو بخشی از طیف الکترومغناطیس هستند که دارای فرکانسی حدود ۳۰۰-۳۰۰۰۰۰ مگاهرتز و طول موج ۱-۰/۰۰۱ متر در هوا می‌باشند و در این طیف بین

میوه، کاهش زمان و هزینه‌های خشک‌کردن اسمزی می‌شود.

گزارش‌های دیگری در مورد سایر میوه‌ها ارائه شده است. در همین ارتباط دواهاستین و نیمونوی (۲۰۱۰) شرایط خشک کردن اسمزی کیوی را به عنوان تابعی از غلظت ساکارز، ضخامت نمونه، دما و زمان فرآیند، بررسی کرده و شرایط فرآیند را با استفاده از روش سطح پاسخ، بهینه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که کلیه فاکتورهای فوق، روی از دست دادن آب نمونه خشک شده مؤثر بوده و ضخامت نمونه‌ها، دما و زمان فرآیند، تأثیر محسوس‌تری نسبت به غلظت ساکارز بر روی کسب مواد جامد دارند. این محققان شرایط بهینه برای خشک کردن اسمزی کیوی را غلظت ۶۰٪ ساکارز، دمای ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۵۰ دقیقه و ضخامت ۸ میلی‌متر بیان نمودند.

با توجه به مشکلات روش‌های خشک کردن مرسوم و فواید تکنولوژیکی و تغذیه‌ای خشک کردن اسمزی و مایکروویو، هدف این تحقیق استفاده از خشک کردن آون هوای داغ، اسمزی و مایکروویو در جهت تولید برگه‌های توت فرنگی خشک شده با کیفیت ظاهری و ارزش تغذیه‌ای بالا و افزایش زمان ماندگاری میوه توت فرنگی و نیز مقایسه روش‌های مختلف خشک کردن اسمزی، هوای داغ و مایکروویو در خشک کردن توت فرنگی از لحاظ تاثیر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی، میزان ویتامین C، ترکیبات آنتوسیانینی و ویژگی‌های حسی توت فرنگی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### آماده سازی توت فرنگی‌ها

در مرحله اول، توت فرنگی‌ها با آب شهری شسته شده، سپس ضایعات و برگ‌های اضافی جدا گردیده، دوباره با آب مقطر به صورت سطحی شسته شدند. در مرحله بعد توت فرنگی‌ها سورت شده و با استفاده از چاقوی تیز به صورت برش‌های افقی به ضخامت ۵ میلی‌متر بریده

دی‌الکتریک و مادون قرمز واقع شده‌اند. از امواج مایکروویو برای اهداف صنعتی، علمی، طبی و ارتباطات استفاده می‌شود. باید توجه داشت برخلاف اشعه ایکس و گاما امواج مایکروویو به علت داشتن فرکانس کم، قادر به شکستن پیوندهای شیمیایی و آسیب رسانی به مولکول‌های مواد غذایی نیستند.

مکانیسم گرم شدن در اثر چرخش دو قطبی بستگی به وجود مولکول‌های قطبی دارد. همزمان با جذب امواج توسط ماده غذایی مولکول‌های قطبی (به ویژه ملکول آب) با میدان هم‌جهت می‌شوند. پس از جذب انرژی مایکروویو و تبدیل آن به انرژی حرارتی، حرارت توسط فرآیندهای جابجائی و هدایت به تمام قسمت‌های ماده غذایی منتقل می‌شود (داتا ۲۰۰۱).

کاوالسکا و همکاران (۲۰۰۰) پس از بررسی دماهای مختلف برای خشک کردن اسمزی میوه‌ها از دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای مناسب برای خشک کردن اسمزی میوه‌های توت فرنگی و سایر توت‌ها در محلول‌های گلوکز و ساکارز به همراه نشاسته یاد کردند. تایوو و همکاران (۲۰۰۳) استفاده از شرایط مختلف خشک کردن اسمزی (محلول‌های اسمزی گلوکز، ساکارز و مخلوط ساکارز و نمک- فشارهای اتمسفر، تحت خلأ و اولتراسونیک) و پیش تیمارهای مختلف (استفاده از فشار بالا، میدان‌های الکتریکی پالسی و انجماد) روی انتقال جرم، روند خشک شدن و ویژگی‌های محصول تولیدی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که بیشترین میزان خروج آب در نمونه‌های مورد استفاده تحت خلأ، محلول‌های اسمزی مخلوط ساکارز و نمک به همراه پیش تیمار فشار بالا یا میدان‌های الکتریکی پالسی مشاهده شد.

گارسیا-نوگویرا و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی اثر زمان خشک کردن اسمزی در محلول ساکارز به همراه تیمار اولتراسونیک بر ویژگی‌های توت فرنگی خشک شده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از تیمار اولتراسونیک باعث خروج سریعتر آب از بافت

### خشک‌کردن تحت مایکروویو

روش مورد استفاده برای خشک کردن مایکروویو برگه‌های توت‌فرنگی روش بهینه سازی شده زیرجانی و توکلی پور (۱۳۹۱) می‌باشد. در این پروژه به منظور خشک کردن از مایکروویو خانگی با فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز، توان ۵۰۰ وات و مدت زمان ۳۰ دقیقه استفاده گردید.

این وسیله همچنین به پنکه هوا مجهز می‌باشد. یک ترازوی حساس با دقت ۰/۰۱ گرم بر روی پایه‌ای در بالای اجاق مایکروویو جهت تعیین کاهش وزن قرار داده شد. سینی مخصوص شیشه‌ای با یک سیم نایلونی در مرکز از طریق سوراخی (به قطر ۲ میلیمتر) از سقف اتاقک از ترازو آویزان شد. در طی خشک کردن هر ۵ دقیقه میزان رطوبت نمونه محاسبه شد.

### نمونه برداری

پس از خشک کردن اسمزی نمونه‌های توت‌فرنگی، ابتدا بهترین تیمار اسمزی مورد استفاده که بتواند کمترین نسبت خروج آب/جذب مواد جامد را داشته باشد، انتخاب و سپس با تیمارهای خشک شده آون، مایکروویو و کنترل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند.

### ویژگی‌های مورد ارزیابی

#### میزان خروج آب

$$100WL(\%) = \frac{(W_i \cdot X_i - W_f \cdot X_f)}{W_i}$$

$W_i$ : وزن نمونه قبل از تیمار اسمزی (گرم)

$X_i$ : محتوای رطوبت نمونه قبل از تیمار اسمزی بر اساس

وزن مرطوب (گرم کل نمونه/ گرم آب)

$W_f$ : وزن نمونه بعد از تیمار اسمزی (گرم)

$X_f$ : محتوای رطوبت نمونه بعد از تیمار اسمزی بر اساس

وزن مرطوب (گرم کل نمونه/ گرم آب) (سینگ و همکاران ۲۰۰۵).

#### مواد جامد جذب شده

$$SG(\%) = \frac{(W_f \cdot X_{sf} - W_i \cdot X_{si})}{W_i} \cdot 100$$

شدند و پس از خشک‌کردن سطحی با کاغذ صافی در نهایت، توت‌فرنگی‌ها آماده خشک‌کردن اسمزی، آون و مایکروویو بودند.

### تیمار بندی نمونه‌ها جهت خشک‌کردن اسمزی

برای تعیین بهترین نمونه طی فرآیند اسمزی، ابتدا تیمارهای مختلف اسمزی روی توت‌فرنگی‌ها انجام شد و سپس نمونه بهینه با نمونه‌های خشک‌شده تحت آون، مایکروویو و کنترل مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به این که غلظت محلول‌های اسمزی و دمای مورد استفاده می‌تواند در نرخ خشک‌کردن اسمزی مؤثر باشد، بنابراین تیمار بندی نمونه‌ها به صورت زیر انجام شد. برای تیمار بندی متغیرهای دما (۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد)، غلظت مخلوط قندی شربت فروکتوز و ساکارز (۷۰ درصد)، کلرید کلسیم (۰/۷۵ و ۱/۵ درصد)، مدت زمان ۵ ساعت و با نسبت ۱ به ۸ میوه به محلول اسمزی استفاده شد. جدول ۱ تیمارهای مختلف مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. پس از تهیه محلول‌های اسمزی و تیمار بندی، میوه‌ها به مدت ۵ ساعت در محلول‌ها قرار داده شدند. هر ۱ ساعت نمونه‌ها از محلول اسمزی خارج شده و پارامترهای میزان خروج آب<sup>۱</sup> از توت‌فرنگی و مواد جامد جذب شده اندازه‌گیری شدند.

### خشک کردن تحت آون

روش مورد استفاده برای خشک کردن آون برگه‌های توت‌فرنگی، روش بهینه سازی شده زیرجانی و توکلی پور (۱۳۹۱) می‌باشد. برای خشک کردن توت‌فرنگی‌ها از آون مدل UF30Plus/UN30Plus ساخت شرکت MEMMERT آلمان استفاده شد. این دستگاه مجهز به فن برای جابجایی هوای داغ بود. برای این منظور ابتدا توت‌فرنگی‌ها به حلقه‌های ۰/۵ سانتی‌متری بریده شده و سپس در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خشک شدند.

<sup>۱</sup>. Water loss

<sup>۲</sup>. Solid gain

دو بار جوشیدن و سرد شدن به بشر ۵۰۰ میلی‌لیتر منتقل و ۲۰ گرم نمونه به آن افزوده شده و بر روی همزن مغناطیسی تا رسیدن به  $pH=8/2$  با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تیترا گردید. مقدار اسیدیته با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$A = \frac{V \times 0/0067 \times 100}{m}$$

که در آن A اسیدیته کل بر حسب اسید مالیک ( $10^6 g$ )، V حجم محلول سود ۰/۱ نرمال مصرفی (میلی‌لیتر)، m وزن نمونه (گرم) است (هی و همکاران ۲۰۰۷).

#### اندازه‌گیری pH

اندازه‌گیری pH با استفاده از pH متر (pH, HANNA209) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد برای نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک شده کاملاً خرد شده انجام شد. قبل از انجام آزمایش، pH متر با استفاده از بافر  $pH=7$  و  $pH=4$  کالیبره گردید (هی و همکاران ۲۰۰۷).

#### اندازه‌گیری مواد جامد محلول

مواد جامد محلول (بریکس) با استفاده از دستگاه رفراکتومتر در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری و با درجه بریکس نشان داده شد. قبل از انجام آزمایش با استفاده از آب مقطر دستگاه بر روی عدد صفر تنظیم گردید (گوکمن و همکاران ۲۰۰۱).

#### اندازه‌گیری قند کل

اندازه‌گیری قند کل نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده با استفاده از روش فهلینگ اندازه‌گیری شد (آزادمرد دمیرچی ۱۳۹۱).

#### اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌های کل

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌ها در تیمارهای مختلف از روش اختلاف pH استفاده شد (رودریگز و همکاران ۲۰۰۱؛ اوراک ۲۰۰۷).

#### اندازه‌گیری ویتامین C

۵ گرم نمونه خرد شده در ۲۵ میلی‌لیتر محلول اسید متافسفریک - اسید استیک اضافه شد و خوب همزده و

$X_{sf}$ : محتوای ماده جامد خشک نمونه بعد از تیمار اسمزی (گرم کل نمونه / گرم ماده خشک)

$X_{si}$ : محتوای ماده جامد خشک نمونه قبل از تیمار اسمزی (گرم کل نمونه / گرم ماده خشک) (سینگ و همکاران ۲۰۰۵).

#### ماده خشک

از هر تکرار به میزان ۱۰ گرم از توت فرنگی خرد شده و پس از همگن کردن ۲ گرم توسط ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید و در آون در دمای  $102 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت در دو توزین متوالی، نگهداری شد. مقدار ماده خشک به صورت درصد ماده خشک بیان گردید (AOAC ۲۰۰۰).

جدول ۱- تیمارهای اسمزی مورد استفاده

| تیمارها | غلظت محلول قندی (%)         | کلرید کلسیم (%) | دمای مورد استفاده (°C) |
|---------|-----------------------------|-----------------|------------------------|
| ۱       | ۷۰ (۲۰٪ فروکتوز+۵۰٪ ساکارز) | ۰/۷۵            | ۳۵                     |
| ۲       | ۷۰ (۲۰٪ فروکتوز+۵۰٪ ساکارز) | ۱/۵             | ۳۵                     |
| ۳       | ۷۰ (۲۰٪ فروکتوز+۵۰٪ ساکارز) | ۰/۷۵            | ۴۵                     |
| ۴       | ۷۰ (۲۰٪ فروکتوز+۵۰٪ ساکارز) | ۱/۵             | ۴۵                     |
| ۵       | ۷۰ (۵۰٪ فروکتوز+۲۰٪ ساکارز) | ۰/۷۵            | ۳۵                     |
| ۶       | ۷۰ (۵۰٪ فروکتوز+۲۰٪ ساکارز) | ۱/۵             | ۳۵                     |
| ۷       | ۷۰ (۵۰٪ فروکتوز+۲۰٪ ساکارز) | ۰/۷۵            | ۴۵                     |
| ۸       | ۷۰ (۵۰٪ فروکتوز+۲۰٪ ساکارز) | ۱/۵             | ۴۵                     |

#### اندازه‌گیری اسیدیته کل

اندازه‌گیری اسیدیته کل با استفاده از pH متر و به روش پتانسیومتری انجام گرفت. ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر پس از

به کمک نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### بهینه سازی تیمار اسمزی

نتایج خشک کردن اسمزی نمونه‌های توت فرنگی با استفاده از ۸ تیمار اسمزی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میزان خروج آب از نمونه‌های توت فرنگی با افزایش زمان غوطه‌وری، میزان کلرید کلسیم، میزان شربت فروکتوز نسبت به ساکارز و دمای تیماردهی بیشتر می‌شود.

این نتایج با گزارش‌های چانگرو (۲۰۰۶)، سانجکا (۲۰۰۳)، یو (۱۹۹۸)، تایوو همکاران (۲۰۰۳)، پریزیوالی و همکاران (۲۰۰۶) و گارسیانوگویرا و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. با توجه به این که طی تیمار اسمزی هدف اصلی خروج آب از بافت میوه توت فرنگی می‌باشد، بنابراین، محلول‌های اسمزی که بتوانند بیشترین کاهش آب را منجر شوند و باعث کاهش نسبت میزان کاهش آب/میزان جذب مواد شوند، دارای کارایی بالایی در خشک کردن اسمزی می‌باشند. در بین تیمارهای مختلف، تیمار ۸ (شربت حاوی ۵۰٪ فروکتوز به همراه ۲۰٪ ساکارز، کلرید کلسیم ۱/۵٪، دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵ ساعت) به نحو بهتری توانست باعث خشک کردن اسمزی نمونه‌های توت فرنگی شود و تیمار بهینه شناخته شد. بنابراین، کاهش بیشتر آب توسط تیمار اسمزی باعث افزایش زمان ماندگاری توت فرنگی‌ها طی مدت زمان ماندگاری شده و سبب حفظ کیفیت محصول می‌شود.

#### محتوای رطوبت

در شکل ۱ محتوای رطوبت توت فرنگی‌های کنترل و خشک شده اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو نشان داده شده است. محلول اسمزی توانسته در مدت زمان ۵ ساعت به صورت معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) نسبت به نمونه کنترل محتوای رطوبتی را از ۸۷٪ به ۲۹٪، تیمار آون

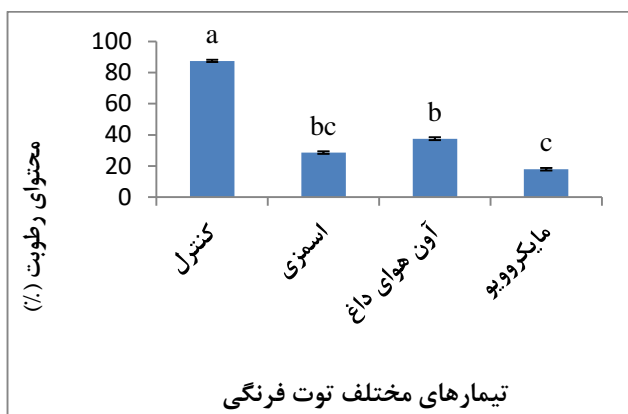
سپس با محلول اسید متافسفریک-اسید استیک به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد و به مدت ۱۵ دقیقه در ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ شده و سوپرناتانت (محلول فوقانی) جمع‌آوری شد. سپس ۴ میلی لیتر از سوپرناتانت به ۰/۲ میلی لیتر محلول دی کلروفنل اندوفنل اضافه شده و به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق نگهداری و سپس ۴ میلی لیتر محلول تیو اوره به آن اضافه شد تا باقیمانده آن را بی‌رنگ کند و سپس ۲ میلی لیتر محلول ۲ و ۴-دی نیترو فنیل هیدرازین به آن اضافه و به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و سپس در حمام آب یخ به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت تا واکنش متوقف شود و پس از تیمار با ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۰ درصد، جذب در طول موج ۵۲۱ نانومتر قرائت شده و با استفاده از منحنی استاندارد غلظت ویتامین C نمونه، محاسبه گشت (تیرادا و همکاران ۱۹۷۸).

#### ارزیابی ویژگی‌های حسی نمونه‌های

ارزیابی ویژگی‌های حسی شامل خواص ظاهری، رنگ، ویژگی‌های بافتی (سفتی و احساس دهانی) و ویژگی‌های عطر و طعمی توت فرنگی کنترل و توت فرنگی‌های خشک شده اسمزی، آون و مایکروویو با استفاده از ۱۵ نفر پانلیست از دانشجویان و کارمندان گروه صنایع غذایی دانشگاه تبریز به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای انجام گرفت. قبل از ارزیابی حسی نمونه‌ها به پانلیست‌ها آموزش‌های لازم در ارتباط با نحوه ارزیابی نمونه‌ها داده شد.

#### تجزیه و تحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تیمار توت فرنگی کنترل (قبل از هر فرایند: تیمار اول) و توت فرنگی‌های خشک شده به روش اسمزی (تیمار دوم)، آون (تیمار سوم) و مایکروویو (تیمار چهارم) انجام شد. آنالیز واریانس برای بررسی اختلاف بین تیمارها به روش ANOVA و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و



شکل ۱- میزان رطوبت نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده

با مقایسه نتایج کاهش میزان رطوبت طی تیمار اسمزی می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش زمان غوطه‌وری، دما و غلظت محلول‌های اسمزی می‌توان کاهش رطوبت بیشتری را شاهد بود که با سایر گزارش‌ها مطابقت دارد. بنابراین، کاهش بیشتر رطوبت می‌تواند مفید بوده و باعث جلوگیری از انجام واکنش‌های نامطلوب شده و رشد میکروبی نیز کاهش پیدا کرده و در نهایت کیفیت و زمان ماندگاری توت فرنگی‌ها افزایش پیدا می‌کند.

### pH

در شکل ۲ میزان pH نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین نمونه‌های توت فرنگی نشان داد که فقط بین نمونه خشک شده به روش اسمزی با سایر نمونه‌های توت فرنگی خشک شده اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) در میزان pH وجود دارد. بدین صورت که توت فرنگی‌های اسمزی دارای pH بالاتری نسبت به نمونه‌های کنترل، خشک شده آون و مایکروویو بودند. علت این اختلاف می‌تواند به این صورت توجیه شود که با توجه به اینکه اسیدهای آلی سیتریک، آسکوربیک و مالئیک محلول در آب هستند که طی تیمار اسمزی از بافت توت فرنگی خارج شده و وارد محلول اسمزی می‌شوند (پرز و سانز ۲۰۰۱؛ کاسترو و همکاران ۲۰۰۲).

هوای داغ در مدت زمان ۵ ساعت از ۸۷٪ به ۳۷/۵٪ و تیمار مایکروویو در مدت زمان ۳۰ دقیقه از ۸۷٪ به ۱۸٪ کاهش دهد. بنابراین مشخص شد که استفاده از خشک‌کن مایکروویو علاوه بر کاهش زمان خشک کردن می‌تواند باعث کاهش میزان رطوبت به حدی شود که از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری کرده و منجر به افزایش زمان ماندگاری میوه توت فرنگی شود. نتایج گزارش‌های دیگر نشان داد که محتوای رطوبت نمونه‌های توت فرنگی می‌تواند با محلول‌های اسمزی مختلف تا ۱۷٪ (وان باگنهوت و همکاران ۲۰۰۸) و تا ۳۵٪ (تایوو و همکاران ۲۰۰۳) کاهش پیدا کند که با نتایج این تحقیق تقریباً سازگار می‌باشد.

جدول ۲- نتایج خشک‌کردن اسمزی نمونه‌های توت فرنگی در طی زمان غوطه‌وری ۵ ساعت

| محل     | نسبت SG/WL          |                      |                     |                     |                     |
|---------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|         | ساعت ۱              | ساعت ۲               | ساعت ۳              | ساعت ۴              | ساعت ۵              |
| تیمار ۱ | ۰/۰۹۶ <sup>aA</sup> | ۰/۰۸۸ <sup>aB</sup>  | ۰/۰۷۳ <sup>aC</sup> | ۰/۰۶۲ <sup>aD</sup> | ۰/۰۵۵ <sup>aE</sup> |
| تیمار ۲ | ۰/۰۶۷ <sup>cA</sup> | ۰/۰۶۴ <sup>cB</sup>  | ۰/۰۵۷ <sup>cC</sup> | ۰/۰۵۵ <sup>bD</sup> | ۰/۰۵۱ <sup>cE</sup> |
| تیمار ۳ | ۰/۰۶۲ <sup>dA</sup> | ۰/۰۵۶ <sup>dB</sup>  | ۰/۰۵۱ <sup>dC</sup> | ۰/۰۴۷ <sup>dD</sup> | ۰/۰۴۵ <sup>eE</sup> |
| تیمار ۴ | ۰/۰۵۷ <sup>eA</sup> | ۰/۰۵۵ <sup>deB</sup> | ۰/۰۵۱ <sup>dC</sup> | ۰/۰۴۵ <sup>dD</sup> | ۰/۰۴۲ <sup>fE</sup> |
| تیمار ۵ | ۰/۰۹۳ <sup>bA</sup> | ۰/۰۸۲ <sup>BB</sup>  | ۰/۰۶۷ <sup>bC</sup> | ۰/۰۵۶ <sup>bD</sup> | ۰/۰۵۳ <sup>bE</sup> |
| تیمار ۶ | ۰/۰۶۲ <sup>dA</sup> | ۰/۰۵۴ <sup>eB</sup>  | ۰/۰۵۲ <sup>dC</sup> | ۰/۰۴۷ <sup>dD</sup> | ۰/۰۴۷ <sup>dD</sup> |
| تیمار ۷ | ۰/۰۵۲ <sup>fA</sup> | ۰/۰۴۶ <sup>fB</sup>  | ۰/۰۴۱ <sup>eC</sup> | ۰/۰۳۸ <sup>dD</sup> | ۰/۰۳۶ <sup>gE</sup> |
| تیمار ۸ | ۰/۰۵۲ <sup>fA</sup> | ۰/۰۴۵ <sup>fB</sup>  | ۰/۰۴۱ <sup>eC</sup> | ۰/۰۳۵ <sup>eD</sup> | ۰/۰۳۲ <sup>hE</sup> |
| SEM     | ۰/۰۰۱               | ۰/۰۰۱                | ۰/۰۰۱               | ۰/۰۰۱               | ۰/۰۰۱               |

a-h: کلمات غیرمشابه در هر ستون و A-E: کلمات غیرمشابه در هر ردیف به ترتیب بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال  $P < 0.05$  بین تیمارهای مختلف و زمان‌های مختلف غوطه‌وری می‌باشد.

مورنو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که در توت فرنگی‌های تیمار شده با محلول‌های اسمزی pH از ۳/۶۸ تا ۳/۸۳ افزایش پیدا می‌کند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی داشت. همچنین نتایج این تحقیق با گزارش‌های فیسوت و همکاران (۲۰۱۳) در مورد بالاتر بودن pH نمونه‌های اسمزی میوه طالبی که با محلول اسمزی ساکارز و کلرید کلسیم تیمار شده بودند، مطابقت داشت. همچنین باید ذکر کرد که pH توت فرنگی‌های خشک‌شده مایکروویو به طور غیرمعنی‌داری ( $P > 0.05$ ) بالاتر از نمونه‌های کنترل و خشک‌شده آون داغ بود که احتمالاً تجزیه برخی اسیدهای آلی در دماهای بالای فرآیند می‌تواند توجیهی بر این تفاوت باشد. مطابق نتایج زیرجانی و توکلی‌پور (۱۳۹۱) دمای بالای خشک‌کردن با مایکروویو می‌تواند برخی از ترکیبات موزهای خشک-شده را تجزیه و تخریب کند.

#### اسیدیت

شکل ۳ میزان اسیدیت نمونه‌های مختلف توت فرنگی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه میزان pH نمونه خشک-شده اسمزی به دلیل خروج اسیدهای آلی بالاتر از نمونه‌های کنترل، خشک‌شده آون و مایکروویو بودند. بنابراین، نمونه خشک‌شده اسمزی، آون و مایکروویو به طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) دارای اسیدیت پائین‌تری نسبت به نمونه کنترل بود.

شایان ذکر است که نتایج این تحقیق با نتایج خداپرست و همکاران (۱۳۸۷) در مورد میوه سیب و فیسوت و همکاران (۲۰۱۳) در مورد میوه طالبی مطابقت داشت.

#### بریکس

نتایج مقایسات میانگین نمونه‌های خشک‌شده اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو توت فرنگی و کنترل نشان داد که میزان مواد جامد محلول نمونه‌های توت فرنگی طی خشک‌کردن اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو افزایش پیدا کرد.

دلیل این امر مربوط به انتقال فروکتوز و ساکارز موجود در محلول اسمزی به داخل میوه توت فرنگی می‌باشد. در

گزارش‌های دیگر هامینیوک و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که بریکس توت فرنگی‌های تیمار شده در محلول-های اسمزی با ساکارز ۶۵٪ به مدت ۱ ساعت از ۶/۴۱ به ۹/۴۶ افزایش پیدا کرد. از سوی دیگر بریاری و همکاران (۱۹۹۸) در توت فرنگی‌های وارپته Chandler زمانی که به مدت نیم ساعت از محلول‌های اسمزی استفاده کردند، افزایش زیادی در میزان مواد جامد محلول مشاهده کردند که قابل انطباق با نتایج تحقیق حاضر است. نتایج مشابهی توسط مورنو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش شد که در آن میزان بریکس تا ۱۷٪ در توت فرنگی‌های تیمار شده افزایش پیدا کرد. بالاترین میزان بریکس مربوط به نمونه خشک‌شده مایکروویو بود که دلیل آن می‌تواند مربوط به خروج بیشتر آب توت فرنگی و تغلیظ شدن عصاره موجود در توت فرنگی باشد. بالاتر بودن معنی-دار ( $P < 0.05$ ) میزان مواد جامد محلول در نمونه‌های خشک‌شده نسبت به نمونه کنترل مطلوب می‌باشد. چون باعث افزایش کیفیت تغذیه‌ای و افزایش زمان ماندگاری نمونه‌های توت فرنگی می‌شود.

#### قند کل

شکل ۵ میزان قند کل در نمونه‌های کنترل و خشک‌شده توت فرنگی به روش‌های اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) بین میزان قند نمونه‌های مختلف توت فرنگی خشک‌شده با روش اسمزی با سایر نمونه‌های خشک‌شده وجود دارد. بیشترین میزان قند مربوط به نمونه خشک‌شده اسمزی و کمترین آن مربوط به نمونه‌های خشک‌شده مایکروویو و آون هوای داغ بود. دلیل بالاتر بودن نمونه توت فرنگی اسمزی مربوط به میزان بالای قند (۷۰٪) در محلول اسمزی بوده که طی تیمار اسمزی ۵ ساعت توانسته به داخل بافت توت فرنگی نفوذ کرده و باعث افزایش معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) قند کل شده است. این نتایج با گزارش وان باگنهوت و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت. همچنین، پرینزیوالی و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که میزان قندهای موجود



توت فرنگی خشک شده با روش اسمزی بیشتر از سایر نمونه‌ها بود، در نتیجه این کاهش می‌تواند به صورت بیشتری انجام گیرد.

در بین نمونه‌های خشک شده با توجه به اینکه استفاده از تیمار مایکروویو نیاز به زمان کمتری برای خشک‌کردن داشت، بنابراین، ماندگاری ویتامین C نیز بیشتر حفظ شده و کمتر تجزیه و تخریب شده است. این نتایج با گزارش‌های زیرجانی و توکلی‌پور (۱۳۹۱) در مورد میوه موز مطابقت داشت. بنا به گزارش کاسترو و همکاران (۲۰۰۲) در توت فرنگی تازه محتوی ۲۶ تا ۵۰ درصد اسید اسکوربیک (ویتامین C) که در آن برش انجام گرفته و به مدت ۵ دقیقه در معرض هوا قرار می‌گیرد، بخشی از اسید اسکوربیک از بین می‌رود. حتی در توت فرنگی‌های منجمد نیز اتلاف اسید اسکوربیک متوقف نمی‌شود.

#### آنتوسیانین کل

شکل ۷ مقادیر آنتوسیانین کل توت فرنگی‌های کنترل و خشک شده را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) به غیر از نمونه‌های خشک شده با آون هوای داغ و اسمزی در میزان آنتوسیانین کل نمونه‌های مختلف توت فرنگی خشک شده وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که میزان آنتوسیانین کل نمونه‌های توت فرنگی طی خشک کردن اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو کاهش معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) پیدا کردند. بطوری که مقدار آنتوسیانین کل نمونه خشک شده به روش اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو به ترتیب در حدود ۷۵/۳۸، ۷۲/۹۱ و ۸۶/۴۹ بود، ولی نمونه کنترل دارای مقادیر بیشتر و در حدود ۱۰۲/۷۷ ppm بود.

پائین بودن مقدار آنتوسیانین نمونه توت فرنگی طی خشک کردن اسمزی می‌تواند مربوط به محلول بودن رنگدانه آنتوسیانین در آب و خروج آن به همراه آب طی غوطه‌وری در محلول‌های اسمزی باشد. نفوذ ترکیبات محلول طبیعی موجود در میوه‌ها مانند اسیدهای آلی،

در توت فرنگی‌های خشک‌شده اسمزی به طور معنی‌داری می‌تواند افزایش پیدا کند که میزان افزایش بر اساس زمان، دما و غلظت محلول‌های اسمزی می‌تواند متفاوت باشد. نتایج نشان داده است که افزایش معمول میزان قند کل نمونه‌های اسمزی شده تا حدی که باعث تندی شیرینی و طعم نشود، مطلوب می‌باشد. از سوی دیگر مطابق گزارش‌های زیرجانی و توکلی‌پور (۱۳۹۱) در مورد خشک‌کردن موز استفاده از حرارت در خشک‌کردن‌های آون هوای داغ و مایکروویو به علت انجام واکنش‌های مایلارد و فرآیند تجزیه قندها باعث کاهش میزان قند کل می‌شود. همچنین این محققان گزارش کردند که افزایش دمای خشک‌کردن آون و توان مایکروویو باعث تجزیه بیشتر و معنی‌دار قند در میوه‌ها می‌شود.

#### ویتامین C

شکل ۶ میزان ویتامین C در نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده اسمزی، آون هوای داغ و مایکروویو را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز آماری و مقایسه میانگین نمونه‌های توت فرنگی نشان داد که استفاده از فرآیند خشک‌کردن باعث کاهش میزان ویتامین C می‌شود. بین تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) در میزان ویتامین C مشاهده شد. به طوری که تیمار کنترل که هیچ فرآیندی روی آن انجام نگرفته دارای بیشترین میزان این ویتامین (۸/۸ mg/100 g) و تیمار اسمزی دارای کمترین (۲۵/۵ mg/100 g) میزان ویتامین C بودند.

بنا به نتایج دویس و همکاران (۲۰۱۰) دلیل پائین‌تر بودن ویتامین C در تیمار خشک‌شده اسمزی می‌تواند مربوط به دو مورد باشد؛ اولی مربوط به خروج ویتامین C که می‌تواند به همراه آب موجود در بافت توت فرنگی‌ها وارد محلول اسمزی شود و دومی مربوط به قرار گرفتن ویتامین C در معرض هوا و اکسیژن است که می‌تواند باعث اکسیداسیون و کاهش میزان این ویتامین شود. باتوجه به اینکه میزان در دسترس قرار گرفتن نمونه‌های

مربوط به جذب کلرید کلسیم و بالاتر بودن میزان ماده خشک نمونه باشد که این نتیجه با گزارش هامینیوک و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد. همچنین باید ذکر کرد که از دلایل بالاتر بودن ویژگی عطر و طعمی توت فرنگی- های اسمزی نسبت به نمونه‌های کنترل و آون هوای داغ می‌توان به مقادیر بالای شکر و شیرینی نمونه‌های توت فرنگی و بالاتر بودن ماده خشک نمونه اشاره کرد.

در بین نمونه‌های خشک‌شده توت فرنگی‌های خشک‌شده به روش میکروویو به طور معنی‌داری دارای عطر و طعم، ظاهر، رنگ و سفتی بالاتری بودند. با توجه به اینکه زمان خشک‌کردن توت فرنگی‌ها با استفاده از روش اخیر خیلی پائین‌تر از سایر روش‌ها بود، بنابراین حرارت تأثیر کمتری روی ویژگی‌های حسی نمونه‌ها داشت و امتیازهای بالاتری را به خود اختصاص دادند.

#### نتیجه‌گیری

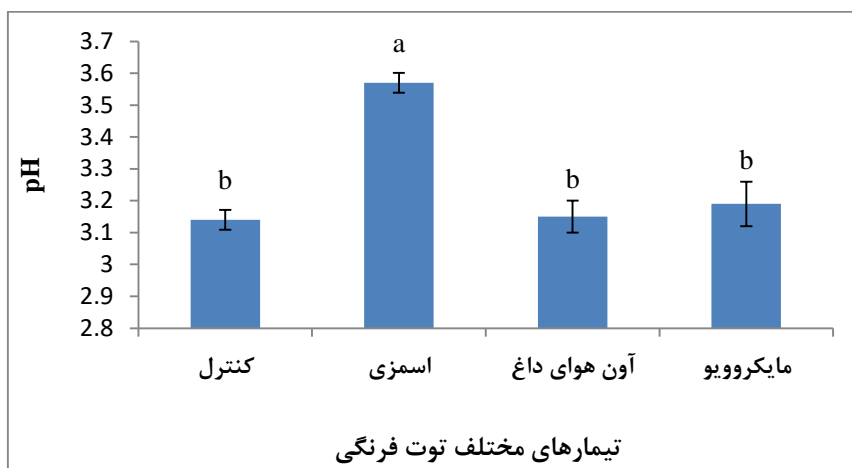
در این مطالعه روش‌های مختلف خشک‌کردن توت فرنگی شامل خشک‌کردن اسمزی، آون هوای داغ و میکروویو تأثیر معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) روی ویژگی‌های شیمیایی، حسی و کیفیت تغذیه‌ای نمونه‌ها داشت. توت فرنگی خشک‌شده با روش میکروویو دارای رطوبت و قند کل پائین و بریکس، ویتامین C و آنتوسیانین بالاتری نسبت به نمونه‌های خشک‌شده با روش اسمزی و آون هوای داغ بودند. از لحاظ ویژگی‌های حسی، نمونه‌های توت فرنگی خشک‌شده به روش میکروویو و اسمزی دارای ظاهر، رنگ، سفتی و عطر و طعم بهتری نسبت به نمونه- های خشک‌شده آون هوای داغ و کنترل بودند. در کل نتایج این پژوهش روش میکروویو را برای تولید برگه- های توت فرنگی خشک‌شده پیشنهاد می‌کند.

ویتامین‌ها، رنگدانه‌ها و مولکول‌های کوچک ترکیبات فنلی مانند آنتوسیانین‌ها طی تیماردهی اسمزی می‌تواند اتفاق بیفتد. بنابراین، با افزایش زمان غوطه‌وری میوه‌ها و سبزی‌ها در محلول‌های اسمزی میزان افت افزایش پیدا خواهد کرد (ویجایا کوماری و همکاران ۲۰۰۷). نتایج این تحقیق با گزارش‌های یو (۱۹۹۸) مطابقت دارد.

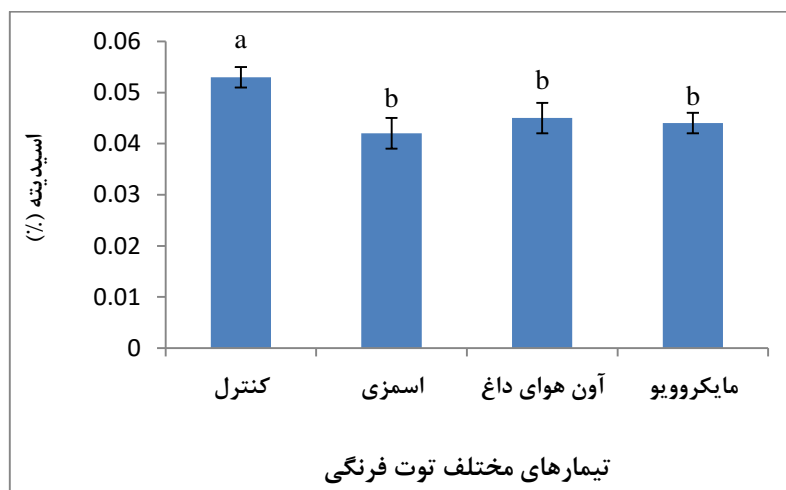
از سوی دیگر با توجه به اینکه رنگدانه آنتوسیانین حساس به حرارت می‌باشد، بنابراین در طی خشک کردن در آون هوای داغ و میکروویو بخشی از آن از بین می‌رود. در بین نمونه‌های خشک شده، توت فرنگی‌های خشک شده با روش میکروویو نسبت به روش‌های اسمزی و هوای داغ افت آنتوسیانین کمتری نشان داد که علت آن مربوط به پائین بودن مدت زمان خشک کردن در این فرآیند می‌باشد. این نتایج با گزارش‌های آسامی و همکاران (۲۰۰۳) در مورد توت فرنگی و آلو با خشک کردن انجمادی، لوهاچومپول (۲۰۰۷) در مورد زغال اخته با خشک‌کردن آون هوای داغ و اسمزی وجدیلو و همکاران (۲۰۰۹) در مورد توت فرنگی با خشک کردن میکروویو در مورد کاهش میزان آنتوسیانین و سایر ترکیبات زیست فعال همخوانی داشت.

#### ارزیابی ویژگی‌های حسی

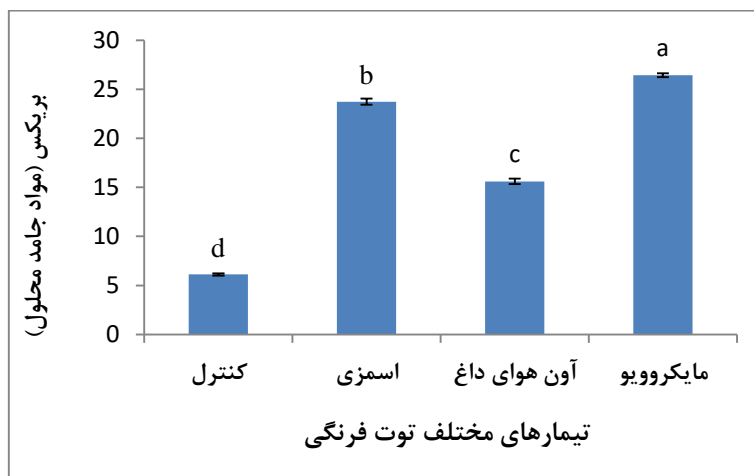
شکل ۸ مقایسه میانگین ویژگی‌های حسی نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده به روش‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن بود که در بین ویژگی‌های حسی مختلف تیمارهای توت فرنگی اختلاف معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) وجود داشت. توت فرنگی‌های خشک‌شده به روش میکروویو از نقطه نظر ویژگی‌های ظاهری، سفتی، عطر و طعم دارای امتیاز بالاتری نسبت به نمونه کنترل بودند. سفتی بالاتر نمونه‌های خشک‌شده اسمزی نسبت به نمونه‌های کنترل و آون هوای داغ احتمالاً می‌تواند



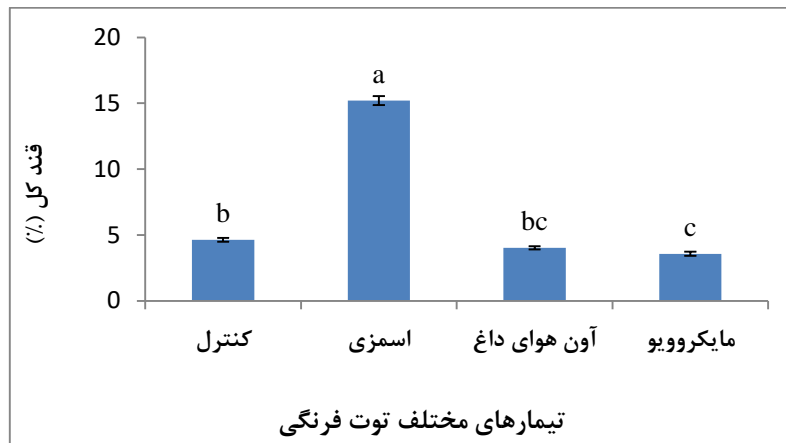
شکل ۲- میزان pH نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده



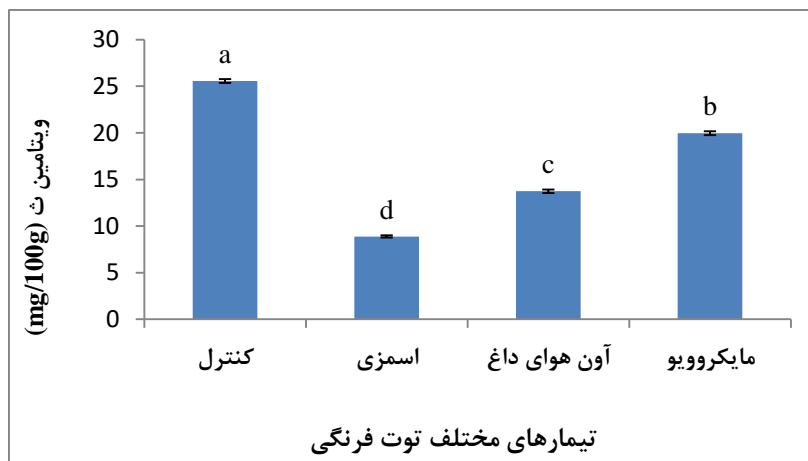
شکل ۳- میزان اسیدیتته نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده



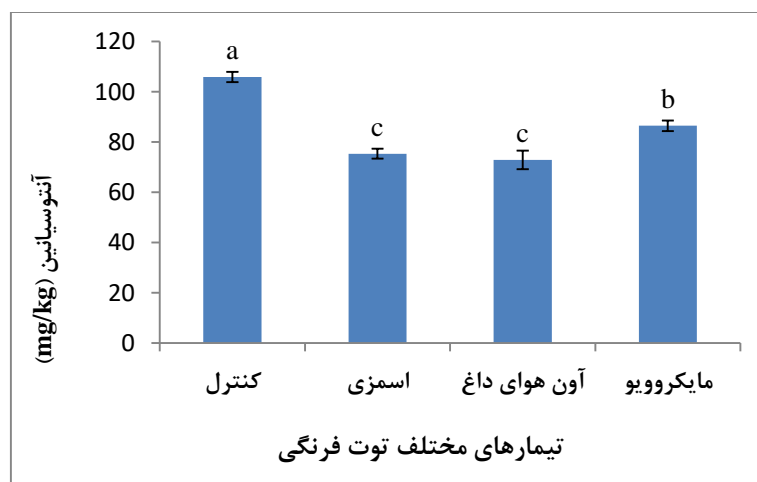
شکل ۴- میزان بریکس نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده



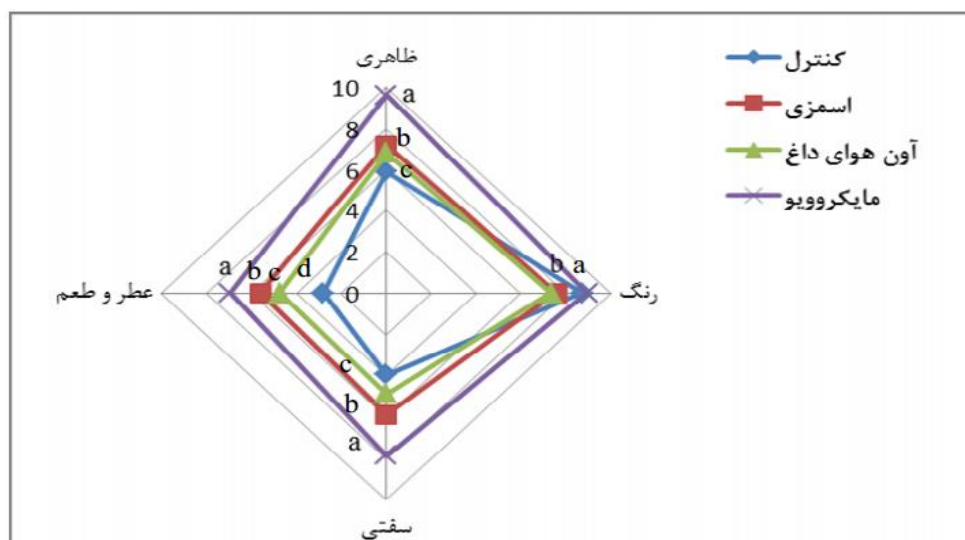
شکل ۵- میزان قند کل نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده



شکل ۶- میزان ویتامین C نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده



شکل ۷- میزان آنتوسیانین نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده



شکل ۸- ویژگی‌های حسی نمونه‌های توت فرنگی کنترل و خشک‌شده با روش‌های مختلف

#### منابع مورد استفاده

- آزادمراد دمیرچی ص، ۱۳۹۱، شیمی و تجزیه مواد غذایی، انتشارات عمیدی، تبریز، صفحه ۴۷۵.
- حدادخداپرست م.ح، جلالی ف، فرقانی م، ۱۳۸۷، بررسی امکان استفاده از پکتین، کربوکسی متیل سلولوز و نشاسته در فرایند خشک کردن اسمزی سیب و تعیین برخی از عوامل مؤثر، هیجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- زیرجانی ل، توکلی پور ح، ۱۳۹۱، مقایسه دو روش خشک کردن با هوای داغ و مایکروویو برای تولید برگه موز، مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۱ (۴۱): ۷۳-۸۳.
- AOAC, 2000. Official methods of analysis of AOAC international, (17th ed).
- Asami DK, Hong YJ, Barrett DM, and Mitchell AE, 2003. Comparison of the Total Phenolic and Ascorbic Acid Content of Freeze-Dried and Air-Dried Marionberry, Strawberry, and Corn Grown Using Conventional, Organic, and Sustainable Agricultural Practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(5): 1237-1241.
- Berbari Sh.AG, Nogueira JN, and Campos SDDS, 1998. Efeito de diferentes tratamentos pré-congelamento sobre a qualidade do morango var. Chandler congelado. *Food Science and Technology* 18: 82-86.
- Castro I, Goncalves O, Teixeira JA, and Vicente AA, 2002. Comparative study of Selva and Camarosa strawberries for the commercial market. *Journal of Food Science* 67: 2132-2137.
- Changrue V, 2006. Hybrid (osmotic, microwave-vacuum) drying of strawberries and carrots. Ph.D thesis. McGill University. Canada.
- Datta AK, 2001. Handbook of Microwave Technology for Food Application. CRC Press; USA. pp. 536.
- Devahastin S, and Niamnuay Ch, 2010. Modelling quality changes of fruits and vegetables during drying: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 1755-1767.
- Devic E, Guyot S, Daudin J, and Bonazzi C, 2010. Effect of temperature and cultivar on polyphenol retention and mass transfer during osmotic dehydration of apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58: 606-616.
- Dixon GM, and Jen JJ, 1977. Changes of sugar and acid in osmotic dried apple slices. *Journal of Food Science* 42: 1126-1131.
- Fellows P, 2000. Food Processing Technology, CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 591.

- Garcia-Nogueira J, Oliveira FIP, Gallao MI., Weller CL, Rodrigues S, and Fernandes FAN, 2010. Ultrasound-Assisted osmotic dehydration of strawberries: effect of pretreatment time and ultrasonic frequency. *Drying Technology* 28: 294-303.
- Giangiaco R, Torreggiani D, and Abbo E, 1987. Osmotic dehydration of fruit Part I: Sugar exchange between fruit and extracting syrup. *Journal of Food Processing and Preservation* 11: 183-195.
- Gökmen V, Artık N, Acar J, Kahraman N, and Poyrazog˘lu E, 2001. Effects of various clarification treatments on patulin, phenolic compound and organic acid compositions of apple juice. *European Food Research and Technology* 213: 194-199.
- Haminiuk ChWI, Oliveira CRG, Fountoura PSG, Freitas RJS, and Vidal Bezerra JRM, 2004. Effect of freezing and osmotic dehydration on strawberry of the chandler variety. *Revista Ciências Exatas e Naturais* 6: 257-264.
- Hawkes J, and Flink JM, 1978. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *International Journal of Food Science and Technology* 2: 265-284.
- He Y, Ji Z, and Li S, 2007. Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment. *Separation and Purification Technology* 57: 366-373.
- Kowalska H, Lenart A, and Janowicz M, 2000. Wymiana masy w czasie odwadniania osmotycznego truskawek I wiś ni, *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej. Mechanika* 254(60):135-142.
- Lohachoompol V, 2007. Effects of drying on anthocyanins in blueberries. Ph.D thesis. The University of New South Wales. Australia.
- Moreno J, Chiralt A, Escriche I, and Serra JA, 2000. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International* 33: 609-616.
- Nanjundaswamy AM, Setty GR, Balachandran C, Saroja S, and Reddy KBSM, 1978. Studies on development of new categories of dehydrated product from indigenous fruits. *Indian Food Packer* 22: 91-93.
- Orak H, 2007. Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, poly phenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *Scientia Horticulturae* 111: 235-241.
- Perez AG, and Sanz C, 2001. Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 2370-2375.
- Phisut N, Rattanawedee M, and Aekkasak K, 2013. Effect of osmotic dehydration process on the physical, chemical and sensory properties of osmo-dried cantaloupe. *International Food Research Journal* 20:189-196.
- Ponting JD, 1973. Osmotic dehydration of fruits. Recent modifications and applications. *Process Biochemistry* 8:18-20.
- Prinzivalli C, Brambilla A, Maffi D, Scalzo RL, and Torreggiani D, 2006. Effect of osmosis time on structure, texture and pectic composition of strawberry tissue. *European Food Research and Technology* 224:119-127.
- Rodriguez-Saona LE, Giusti MM, Robert WD, and Ronald WE, 2001. Development and process optimization of red radish concentration extract as potential natural red colorant. *Journal of Food Processing and Preservation* 25:165-182.
- Singh B, Kumar A, and Gupta AK, 2005. Study of mass transfer kinetics and effective diffusivity during osmotic dehydration of carrot cubes. *Journal of food Engineering* 79: 471-480.
- Sunjka PS, 2003. Microwave/vacuum and osmotic drying of cranberries. MSc thesis. McGill University. Canada.
- Taiwo KA, Eshtiaghi MN, Ade-Omowaye BIO, and Knorr D, 2003. Osmotic dehydration of strawberry halves: influence of osmotic agents and pretreatment methods on mass transfer and product characteristics. *International Journal of Food Science and Technology* 38: 693-707.
- Terada M, Watanabe Y, Kunitomo M, and Hayashi E, 1978. Differential rapid analysis of ascorbic-acid and ascorbic-acid 2-sulfate by dinitrophenyl hydrazine method. *Analytical Biochemistry* 84: 604-608.

- Torreggiani D, 1993. Osmotic dehydration in fruits and vegetable processing. *Food Research International* 26: 59–68.
- Van Buggenhout S, Grauwet T, Van Loey A, and Hendrickx M, 2008. Use of pectin methyl esterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydro freezing of strawberries. *European Food Research and Technology* 226: 1145–1154.
- Vijayakumari K, Pugalenti M, and Vadivel V, 2007. Effect of soaking and hydrothermal processing methods on the levels of antinutrients and in vitro protein digestibility of *Bauhinia purpurea* L. seeds. *Food Chemistry* 103: 968-975.
- Wojdyło A, Figiel A, and Oszmiański J, 2009. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(4): 1337-1343.
- Yu L, 1998. Osmotic-air dehydration of cherries and blueberries. MSc thesis. University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

## Comparing the effect of osmotic, hot air oven and microwave methods of drying on physicochemical and sensory properties of strawberry

B Fathi Achachlouei\*<sup>1</sup> and Sh Sherafatkah Azari<sup>2</sup>

Received: October 06, 2016

Accepted: April 30, 2017

<sup>1</sup>Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

<sup>2</sup> Department of Food Science and Technology, Islamic Azad University of Sarab, Sarab, Iran

\*Corresponding author: Email:bahram1356@yahoo.com & b\_fathi@uma.ac.ir

### Abstract

In this study, the effect of different drying methods was investigated on physicochemical characteristics, sensory properties and nutritional quality of strawberry and effective factors on the increasing of its shelf life. For osmotic dehydration treatment, temperature (35 and 45 °C), mixture of fructose and sucrose syrup concentration (70% (W/V) (20% fructose + 50% sucrose)), calcium chloride (0.75 and 1.5% (W/V)), during 5 hours with 1 to 8 ratio of fruit to osmotic solution was used. The best treatment among the 8 different treatments was the treatment 8 (osmotic solution containing %50 fructose with %20 sucrose %1.5 calcium chloride and treatment time of 5 hours at 45°C) with respect to the lowest SG/WL which lead to better drying of strawberries in comparison with the other treatments and was known as the best treatment. Then, the best osmotic treatment with respect to physicochemical characteristics, and sensory properties was evaluated and compared to dried strawberry samples by microwave, hot air oven and control sample. The results showed the moisture content (%28, %37 and %18), pH (3.57, 3.15 and 3.19), acidity (% 0.042, %0.045 and % 0.044), Brix (%23, %15 and %26), total sugar (%15, %4 and %3), vitamin C (8, 13 and 19mg/100 g) and Anthocyanin (75, 72 and 86 mg/kg) in the strawberry samples dried by osmotic method, hot air oven and microwave methods, respectively. Dried strawberries using the microwave had lower moisture content, total sugar and a higher brix, vitamin C and anthocyanins than the samples dried with osmotic and hot air oven methods. On the other hand, from the viewpoint of sensory properties, dried strawberry using microwave and osmotic methods had better appearance, color, firmness and flavor in comparison with dried samples by hot air oven and control. Overall, dried strawberries using the microwave method had the lowest amount of moisture, vitamin C and the higher content of anthocyanins and sensory characteristics than the other drying methods. Therefore, in this study for producing of dried strawberries in comparison with the other drying methods, the microwave method was recommended.

**Keywords:** Hot air Oven, Strawberry, Osmotic drying, Microwave, Physicochemical and Sensory properties