

(مقاله پژوهشی)

## بهینه یابی و بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی برش های هویج غنی شده با ترکیبات زیست فعال عصاره چای ترش طی خشک کردن هوای داغ

محمد مالکی<sup>۱</sup>، فخری شهیدی<sup>۲\*</sup>، محمدجواد وریدی<sup>۳</sup>، الهام آذرپژوه<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری تخصصی بهداشت مواد غذایی و آبریان، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش جهاد کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۶

### چکیده

در این پژوهش ویژگی های فیزیکوشیمیایی برش های هویج اسمز شده، در طی مرحله خشک کردن تکمیلی با هوای داغ مورد بررسی قرار گرفت. نمونه های برش خورده هویج ابتدا تحت پیش تیمار اسمزی بهینه شده، قرار گرفتند، شرایط بهینه در مرحله ی آبگیری اسمزی، محلول چای ترش با غلظت ۶۰ درصد ساکارز، مدت زمان ۶۰ دقیقه و نسبت ۲۰:۱ در نظر گرفته شد. در مرحله خشک کردن هوای داغ، متغیر مستقل دماهای (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد) و متغیرهای وابسته میزان رطوبت، چروکیدگی، میزان آبگیری مجدد، میزان ترکیبات فنلی، بافت و پذیرش کلی بودند. اثر دما بر تمام پاسخ ها معنی دار (سطح اطمینان ۹۵ درصد) بود. با افزایش دما، میزان رطوبت کاهش و به (۰/۱۱ gr/gr) رسید. با افزایش دما، میزان چروکیدگی (۷۰ درصد)، آبگیری مجدد (۷۸ درصد) و بافت (۴۸ درصد) افزایش یافت. بیشترین میزان ترکیبات فنلی (۴۰۰ ppm) و پذیرش کلی مربوط به دمای ۷۰ درجه سانتی گراد بود. در پایان نقطه بهینه بر اساس حداکثر میزان آبگیری مجدد، حفظ بیشترین میزان ترکیبات فنلی و پذیرش کلی، حداقل میزان رطوبت، چروکیدگی و سفتی بافت تعیین و دمای ۷۰ درجه سانتی گراد انتخاب شد.

**واژه های کلیدی:** آبگیری اسمزی، چای ترش، خشک کردن هوای داغ، هویج

## ۱- مقدمه

میوه‌ها و سبزی‌های تازه به دلیل مقدار رطوبت بالا، در معرض فساد هستند، هدف اصلی از خشک‌کردن، افزایش زمان ماندگاری محصول با کاهش فعالیت آب، کاهش فعالیت آنزیمی، جلوگیری از رشد میکروب‌ها و کاهش فعالیت‌های شیمیایی نامطلوب است، همچنین گاهی جهت بهبود ویژگی‌های ارگانولپتیکی محصول از فرایند خشک کردن استفاده می‌شود (۸ و ۲۳). ویژگی‌های کیفی محصول، به میزان تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی در طول فرایند خشک کردن، بستگی دارد. به طور کلی مدت زمان خشک کردن، دما و فعالیت آب بر کیفیت نهایی محصول اثرگذارند (۱۸). آبدگیری اسمزی از میوه‌ها و سبزی‌ها با غوطه‌وری آن‌ها در محلول اسمزی که دارای غلظت بالایی است و فعالیت آب کمتر از ماده غذایی دارد، به عنوان یک پیش تیمار برای خشک کردن با هوای داغ بسیار مورد توجه می‌باشد (۱). فرایند آبدگیری اسمزی به طور هم‌زمان باعث خروج آب از محصول و ورود مواد جامد به داخل آن می‌شود که در این راستا مطالعات زیادی در خصوص کینتیک این جریان‌های ناهمسو صورت گرفته است (۴ و ۲۰). فرایند آبدگیری اسمزی تکنولوژی قابل دسترس برای غنی‌سازی برخی از میوه‌ها و سبزی‌ها با ترکیبات فراسودمند است که منجر به تولید غذاهای فراسودمند نوین و ایجاد فرصت‌های تجاری جدید می‌شود (۱). بیشترین ترکیباتی که در ماده غذایی نفوذ می‌کنند، شامل ترکیبات فنلی، مواد معدنی، آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها و پروبیوتیک‌ها هستند (۲). پیش تیمار آبدگیری اسمزی علاوه بر کاهش میزان آب، باعث افزایش کیفیت ماده غذایی شده و ویژگی‌های تغذیه‌ای، ساختاری و عملکردی آن را بهبود می‌بخشد (۱۰ و ۳۱). ترکیبات بیولوژیکی فعال که در محلول اطراف ماده غذایی قرار دارند با پدیده نفوذ و از طریق غشاء نیمه‌تراوای سلول‌ها (کانال‌های مویرگی) نفوذ می‌کنند (۲). روزک و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۱۰) در پژوهشی از دو منبع عصاره ی دانه‌ی انگور و عصاره ی انگور سفید به عنوان منبع فنل استفاده کردند.

آزمایش در سه غلظت مختلف ترکیبات فنلی انجام پذیرفت. مقدار کل ترکیبات فنلی در پایان عملیات در مدل غذایی بین ۷۱۷۶-۸۱۵ mg GAE/kg بود که بین ۰/۵ تا ۱/۵ برابر بیشتر از میوه‌های غنی از فنل بود (۲۶ و ۲۷). تولید غذاهای فراسودمند به‌طور قابل توجهی در چند سال اخیر توسعه یافته‌اند. غذاهای فراسودمند سلامتی را ارتقا می‌دهند و باعث جلوگیری از به وجود آمدن بیماری در انسان می‌شوند، که این به دلیل وجود مواد مغذی خاص در ماده غذایی است (۳ و ۲۵). غذاهای فراسودمند دارای سطح قابل توجهی از ترکیبات بیولوژیکی فعال مانند ویتامین‌ها، پلی فنل‌ها، فلاوونوئیدها و آنتوسیانین‌ها هستند، که می‌توانند برای انسان سلامتی بخش باشند (۶). قرار گرفتن میوه‌ها و سبزی‌ها در سبذ غذایی، منجر به سلامتی ناشی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی رادیکالی ترکیبات فنلی آن‌ها می‌شود (۱۳). گیاه دارویی چای ترش خشک شده (Roselle) گونه‌ای یک‌ساله با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* از خانواده *Malvaceae* است، عصاره‌ی تغلیظ شده آن در صنعت غذا و داروسازی مورد استقبال زیادی قرار گرفته است (۶). عصاره‌ی استخراج شده چای ترش باعث کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن مثل دیابت، چربی خون و فشار خون بالا می‌شود، همچنین دارای اثرات ضد میکروبی بر میکروارگانیسم‌های مختلف بیماری‌زا و عامل فساد مواد غذایی است (۱۱ و ۱۶). هویج به لحاظ گیاه‌شناسی با نام علمی *Daucus carota*، از جنس *Daucus* و از خانواده *Apiaceae* گیاهی ۲ساله از خانواده چتریان است که به صورت خام، پخته، عصاره، مربا، خشک‌شده، پودری و... مورد استفاده قرار می‌گیرد، هویج دارای ترکیبات فنلی کمی است، اما منبع خوبی از بتاکاروتن، ویتامین‌های A، C و B<sub>1</sub> و فیبر می‌باشد (۱۲ و ۳۰). هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر دماهای مختلف خشک کردن بر تغییرات فیزیکی و شیمیایی برش‌های هویج غنی شده با ترکیبات عصاره چای ترش به روش آبدگیری اسمزی و تعیین نقطه بهینه خشک کردن هوای داغ می‌باشد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تهیه مواد اولیه

هویج، چای ترش و شکر از مغازه های معتبر سطح شهر مشهد (ایران) خریداری گردید. هویج تا زمان آزمایش در دمای ۴ تا ۵ درجه سانتی گراد در کیسه های پلی اتیلنی با رطوبت نسبی ۸۵ تا ۹۰ درصد نگهداری شد. در هر روز کاری هویج شسته و پوست گیری گردید. نمونه های پوست گیری شده به صورت استوانه هایی به قطر ۱ سانتی متر و ارتفاع ۰/۵ سانتی متر برش داده شدند. سپس برش های هویج در آب جوش به مدت ۳ دقیقه آنزیم بری شدند (۲۱). مواد شیمیایی شامل متانول، معرف فولین سیوکالچو و سدیم کربنات از شرکت مرک (آلمان) تهیه گردید.

### ۲-۲- فرایند آبیگری اسمزی

بر اساس آزمایش های اولیه نقطه ی بهینه مرحله ی آبیگری

اسمزی بر اساس بیشترین میزان از دست دادن آب و جذب فنل و کمترین میزان جذب مواد جامد محاسبه شد (جدول ۱). استخراج چای ترش با آب مقطر به نسبت ۱:۴۰ در آب جوش صورت پذیرفت و مدت زمان استخراج ۱۵ دقیقه بود. به دلیل حساسیت ترکیبات فنلی موجود در عصاره ی چای ترش کل فرایند استخراج در ظروف سر بسته و به دور از نور انجام گرفت (۱۵). مرحله ی اسمز در مخلوط حاوی محلول چای ترش و ساکارز ۶۰ درصد و زمان ۶۰ دقیقه طبق نتایج حاصل از بهینه یابی انجام شد. نسبت محلول اسمزی به برش های هویج ۱:۲۰ بود. سیرکولاسیون محلول اسمزی جهت ثابت نگه داشتن دما در ۵۰ درجه سانتی گراد با استفاده از پمپ صورت گرفت. پس از پایان فرایند اسمز نمونه های اسمز شده، سه بار با آب مقطر شسته و سپس با دستمال جاذب رطوبت خشک و توزین شدند.

جدول ۱- شرایط بهینه تعیین شده برای متغیرها و پاسخ ها و نتایج به دست آمده مرحله آبیگری اسمزی اولیه

متغیرها/پاسخ ها	هدف	حد پایین	حد بالا	نقطه بهینه
مدت زمان اولتراسوند (دقیقه)	داخل محدوده	۰	۲۰	۰
مدت زمان فرایند اسمز (دقیقه)	داخل محدوده	۳۰	۱۲۰	۶۰
غلظت محلول اسمزی (%)	داخل محدوده	۴۰	۶۰	۶۰
شدت آب زدایی (gr/gr)	بیشینه	۲۱/۲۷	۶۲/۰۷	
جذب مواد جامد (gr/gr)	کمینه	۹/۲۷	۱۷/۵۶	
جذب فنل (ppm)	بیشینه	۳۴۶	۷۰۶	

### ۲-۴- مرحله خشک کردن با هوای داغ

نمونه های اسمز شده در شرایط بهینه، در دماهای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. خشک کردن تا زمانی ادامه یافت که تغییرات رطوبت نمونه بسیار کم شده و در نتیجه تغییر وزن محسوسی مشاهده نشد. خشک کردن نهایی نمونه ها توسط خشک کن هوای داغ ساخت شرکت سروش طب انجام پذیرفت. ۳۰ دقیقه قبل از هر آزمایش، دستگاه برای رسیدن به دمای مورد نظر روشن می شد. سرعت گردش هوای داخل

خشک کن ۱/۵ متر بر ثانیه بود. وزن نمونه ها در فواصل زمانی معین (هر ۵ دقیقه) توزین شدند.

### ۲-۵- آزمون ها

#### ۲-۵-۱- محتوای رطوبت

درصد رطوبت برش های هویج بر پایه وزن خشک با آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد بر اساس استاندارد AOAC تا رسیدن به وزن ثابت تعیین گردید (۱۴).

**۲-۵-۲- استخراج ترکیبات فنلی**

برش‌های هویج خشک‌شده، توسط خشک‌کن انجمادی به طور کامل خشک گردیدند، و توسط آسیاب به طور کامل پودر شدند. یک گرم از پودر هویج خشک شده با ۱۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۸۰ درصد متانول و ۲۰ درصد آب مخلوط شد، زمان استخراج ۳ ساعت در نظر گرفته شد که هر ۵ دقیقه عمل هم زدن با دستگاه ورتکس صورت می‌پذیرفت. سپس توسط دستگاه سانتریفوژ با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه، سانتریفوژ گردید.

**۲-۵-۳- تعیین میزان ترکیبات فنلی**

۵۰۰ میکرولیتر از نمونه استخراج‌شده با ۵۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالچو مخلوط شد، پس از سه دقیقه ۲/۵ میلی‌لیتر محلول یک نرمال سدیم کربنات به مخلوط اضافه گردید، سپس ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. بعد از دو ساعت نگهداری در تاریکی در طول موج ۷۲۵ نانومتر میزان جذب آن قرائت گردید. مقدار ترکیبات فنلی بر اساس منحنی استاندارد (۰-۰/۲mg/ml) برحسب میلی‌گرم بر لیتر اسید گالیک محاسبه ( $y = 5.515x + 0.0105$ )، و در پایان بر حسب ppm گزارش شد (۲۲).

**۲-۵-۴- تعیین چروکیدگی**

تغییرات حجم ناشی از چروکیدگی محصول به روش جابجایی مایع (تولون) تعیین شد. برای اندازه‌گیری میزان چروکیدگی داشتن حجم نمونه‌ها لازم می‌باشد. برای این منظور با استفاده از روش جابجایی مایع، وزن یک بشر خالی ( $m_p$ ) تعیین، سپس بشر تا نیمه با تولون پر و نمونه توزین شده (ms) در داخل آن قرار گرفت. سپس بشر از تولون پر گردید و با توزین مجدد، وزن بشر+ تولون + نمونه ( $m_{p+t+s}$ ) اندازه‌گیری شد. حجم نمونه‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$V = \frac{V_p \times \sigma_r (m_{p+t+s} - m_p - m_s)}{\sigma_t} \quad (1)$$

برای تعیین حجم اولیه ( $V_0$ ) برش‌های هویج، دانسیته ی یک قطعه از هویج با استفاده از روش مذکور تعیین، سپس حجم نمونه محاسبه گردید. میزان چروکیدگی (Sh) با تعیین حجم اولیه و حجم نهایی (V) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (۱۹).

$$Sh = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (2)$$

**۲-۵-۵- تعیین آبگیری مجدد**

جذب آب مجدد نمونه خشک شده ( $W_d$ ) به روش غوطه‌وری در آب مقطر در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۲ ساعت انجام شد. نسبت نمونه به آب مقطر ۱:۱۰ بود. پس از طی زمان لازم، نمونه از آب خارج و رطوبت سطحی آن با دستمال حوله‌ای گرفته و توزین گردید ( $W_r$ ). قابلیت جذب آب نمونه‌های خشک‌شده از رابطه‌ی ۳، محاسبه شد (۲۹).

$$RR = \frac{W_r}{W_d}$$

در این رابطه  $W_r$  و  $W_d$  به ترتیب وزن نمونه قبل و بعد از آبگیری می‌باشد.

**۲-۵-۶- بررسی بافت**

بررسی ویژگی‌های بافتی نمونه‌های هویج خشک‌شده با هوای داغ، توسط دستگاه بافت سنج مدل (TAPlus Texture Analyser, Lloyd Instruments) و آزمون نفوذ با استفاده از پروبی به قطر ۲ میلی‌متر، سرعت ۰/۵ میلی‌متر بر ثانیه، حداکثر عمق نفوذ ۸ میلی‌متر و حداکثر نیروی ۱۰۰ نیوتن انجام پذیرفت.

**۲-۵-۷- پذیرش کلی**

پذیرش کلی برش‌های هویج خشک‌شده توسط ۱۰ ارزیاب آموزش دیده انجام پذیرفت. در این آزمون نتایج در مقیاس هدونیک ۵ نقطه مورد ارزیابی قرار گرفت. امتیاز ۱ برای نمونه‌ی خیلی بد و امتیاز ۵ برای نمونه‌ی خیلی خوب در نظر گرفته شد.

## ۶-۲- طرح آماری و تجزیه و تحلیل داده ها

آزمایش به صورت کاملاً تصادفی و حداقل در سه تکرار انجام شد. آنالیز واریانس یک طرفه با استفاده از نرم افزار Minitab نسخه ۱۷ (Minitab Inc. USA) انجام شد. مقایسه میانگین در سطح اطمینان ۹۵ درصد با شاخص دانکن مقایسه شد.

## ۷-۲- مدل سازی فرایند و بهینه یابی

در پایان بهینه یابی مرحله خشک کردن هوای داغ، نتایج مربوط به هر پاسخ بر اساس متغیر دما، با استفاده از روش رگرسیون مدل چند جمله ای درجه دوم و با اعمال مدل حذف پسخور مدل سازی گردید. پس از تعیین مدل مناسب، بهینه یابی عددی چند هدفه بر اساس اهداف تعریف شده در جدول ۲ برای انتخاب دمای مناسب انجام شد. مدل سازی و بهینه سازی با استفاده از نرم افزار Design-Expert نسخه ۸ (Statease, Netherlands)، بهینه یابی انجام پذیرفت.

جدول ۲- شرایط بهینه سازی برای متغیرهای آزمون و اهمیت آن

مقصود	پاسخ
کمترین	میزان رطوبت (gr/gr)
بیشترین	آبگیری مجدد (gr/gr)
کمترین	چروکیدگی (درصد)
بیشترین	میزان فنل (ppm)
کمترین	بافت (N/m)
بیشترین	پذیرش کلی

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- خشک کردن به وسیله هوای داغ

میانگین و انحراف معیار داده های حاصل از طرح آزمایش مورد استفاده برای بهینه یابی پیش تیمار اسمز در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳- میانگین و انحراف استاندارد فاکتورها.

دمای خشک کن (°C)	میزان رطوبت (gr/gr)	چروکیدگی (درصد)	آبگیری مجدد (gr/gr)	میزان فنل (ppm)	بافت (N/m)	پذیرش کلی
۶۰ (°C)	۰/۲۲±۰/۰۲	۳۰±۰/۶	۲/۵۱±۰/۱۲	۳۷۰±۳	۸۲۵۲/۷±۱۶/۳	۲/۳۶±۰/۱۳۵
۷۰ (°C)	۰/۱۶±۰/۰۱	۴۱±۰/۷	۳/۵۷±۰/۲۱	۴۰۰±۲	۱۰۳۶۳/۷	۳/۱±۰/۰۶۱
۸۰ (°C)	۰/۱۱±۰/۰۰۵	۵۱±۱/۵	۴/۴۹±۰/۱۸	۳۸۸±۳	۱۲۲۵۳±۲۱/۵	۲/۱۱±۰/۰۳۵

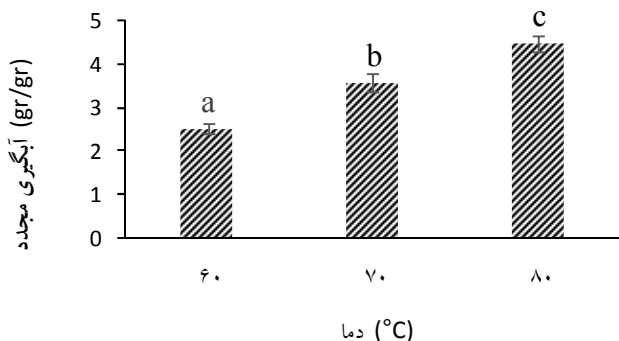
## ۳-۲- اثر دمای خشک کردن بر میزان رطوبت

با توجه به آنالیز آماری مشخص شد که دما بر میزان رطوبت اثر معنی داری دارد ( $P < 0.01$ )، با افزایش دمای خشک کردن، میزان رطوبت کاهش یافت (شکل ۱). تغییرات فیزیکی و

شیمیایی در مرحله آبگیری اسمزی باعث تغییر در میزان رطوبت در مرحله خشک کردن با هوای داغ می شود (۹) و (۲۴). با افزایش دمای خشک کن، رطوبت نسبی هوای خشک کن کاهش می یابد که باعث میشود، به لحاظ

### ۳-۴- اثر دمای خشک کردن بر میزان آبگیری مجدد

با توجه به آنالیز آماری اثر افزایش دما بر میزان آبگیری مجدد برش‌های هویج خشک‌شده با هوای داغ معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ )، با افزایش دمای خشک‌کن، میزان آبگیری مجدد افزایش یافت (شکل ۳). وگا-گالوز و همکاران (۲۰۰۸) نیز بیان کردند که با افزایش دما، میزان آبگیری مجدد افزایش یافت، و این افزایش را به دلیل فروپاشی بافت و ایجاد سلول‌های آسیب‌دیده در دمای بالاتر نسبت دادند (۳۳).

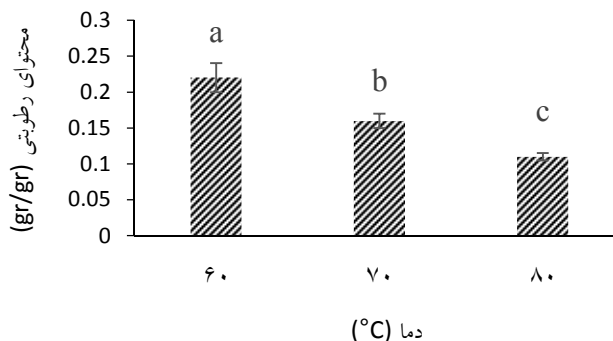


شکل ۳- تغییرات میزان آبگیری مجدد در مقابل دما

### ۳-۵- اثر دمای خشک کردن بر میزان ترکیبات فنلی

با توجه به نتایج، مرحله خشک کردن با هوای داغ دارای اثر منفی بر میزان ترکیبات فنلی است. روزک و همکاران (۲۰۱۰) دو مدل غذایی و دو میوه (موز و سیب) را با محلول عصاره آب انگور تحت تیمار اسمزی قرار دادند و سپس با خشک کن هوای داغ خشک کردند، نتایج نشان داد که هوای داغ باعث کاهش ترکیبات فنلی می‌شود (۲۸) (شکل ۴). اثر دما بر میزان ترکیبات فنلی معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ )، بیشترین کاهش میزان ترکیبات فنلی مربوط به دمای ۶۰ °C بود که به دلیل زیاد بودن مدت زمان خشک کردن در این دما و حساس بودن ترکیبات فنلی به حرارت است. در دمای ۸۰ °C نیز میزان کاهش ترکیبات فنلی زیاد بود که این به دلیل بالا بودن دما، و تخریب زیاد ترکیبات فنلی است. کمترین کاهش ترکیبات فنلی مربوط به دمای ۷۰ °C بود که یک حد متوسط بین دمای بالا و زمان طولانی است (۱۷ و ۳۲).

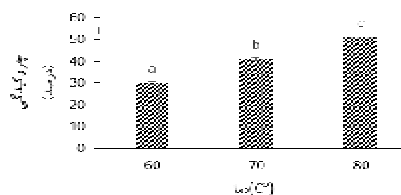
ترمودینامیکی، انتقال جرم از میوه در حال خشک شدن به هوای در تماس با میوه، تسریع گردد. این فرایند باعث افزایش انرژی آب موجود در هویج می‌شود که باعث خروج بیشتر آب و در نتیجه کاهش میزان رطوبت می‌گردد (۷).



شکل ۱- تغییرات میزان رطوبت در مقابل دما

### ۳-۳- اثر دمای خشک کردن بر میزان چروکیدگی

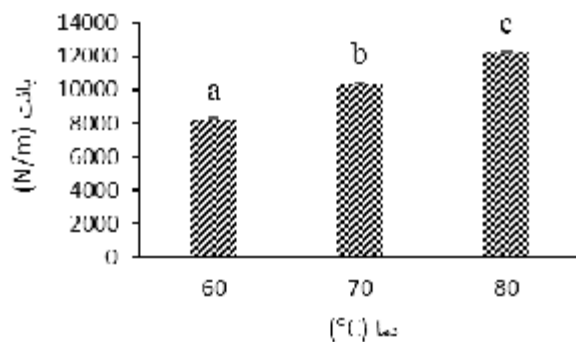
دما بر چروکیدگی دارای اثر معنی‌داری بود ( $P < 0.01$ )، با افزایش دمای خشک کردن، میزان چروکیدگی افزایش یافت (شکل ۲). این تغییرات نشان‌دهنده همبستگی این پارامتر با تغییرات میزان رطوبت است. کاهش آب و دمای بالا، باعث اعمال تنش به ساختار سلولی و میکروسکوپی بافت هویج می‌شود، در نتیجه باعث تغییر شکل و کاهش ابعاد ماکروسکوپی نمونه می‌گردد. چائوهان و سربوستاوا (۲۰۰۹) بیان کردند که چروکیدگی در خشک کردن محصولات به میزان رطوبت و سرعت خشک کردن در مراحل اولیه فرایند خشک کردن بستگی دارد. بنابراین می‌توان چروکیدگی بیشتر را به سرعت خشک کردن بالاتر و میزان رطوبت پایین‌تر برش‌های گلابی در دماهای بالاتر نسبت داد (۵).



شکل ۲- تغییرات چروکیدگی در مقابل دما

### ۳-۷- اثر دمای خشک کردن بر بافت

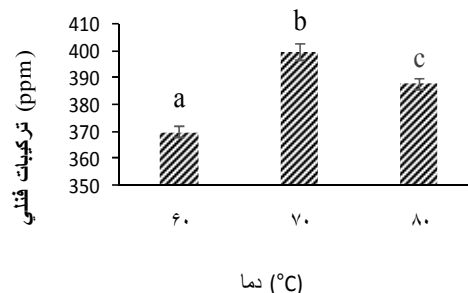
اثر دمای خشک کردن بر سفتی بافت هویج خشک شده معنی دار بود ( $P < 0.01$ )، همانطور که مشاهده می شود، با افزایش دمای خشک کردن سفتی نمونه های هویج افزایش یافت (شکل ۶)، که این مساله ناشی از تغییرات ساختاری بافت میوه است که در اثر افزایش دما در هویج رخ داده است. افزایش دما موجب افزایش سرعت خروج آب از بافت هویج می گردد. افزایش سرعت خروج رطوبت با سخت شدن غشاهای درونی میوه و سفت شدن پوسته همراه است که در مجموع سفت شدن بافت را به همراه دارد. وگا گنزالز و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که افزایش دمای خشک کن هوای داغ موجب افزایش سفت شدن فلفل دلمه ای قرمز شد (۳۲).



شکل ۶- تغییرات بافت در مقابل دما

### ۳-۸- بهینه یابی مرحله خشک کردن هوای داغ

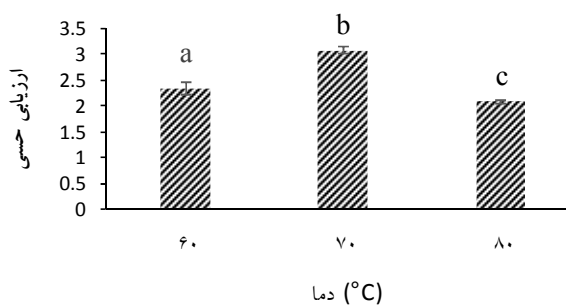
مرحله پایانی این پژوهش بهینه یابی خشک کردن با هوای داغ بود. هدف حداکثر میزان آبگیری مجدد، حفظ بیشترین میزان ترکیبات فنلی و ویژگی های حسی، حداقل میزان رطوبت، چروکیدگی و سفتی بافت بود. شرایط بهینه تعیین شده برای متغیرها و پاسخها در جدول ۴، مشخص شده است. در جدول ۵، نیز نتایج حاصل از فرایند بهینه یابی ارائه شده است.



شکل ۴- تغییرات میزان فنل در مقابل دما

### ۳-۶- اثر دمای خشک کردن بر پذیرش کلی

با توجه به نتایج حاصل از پذیرش کلی و آنالیز آماری، اثر دما بر پذیرش کلی معنی دار بود، و بیشترین امتیاز را دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به دست آورد. دمای ۸۰ درجه سانتی گراد به دلیل کوتاه بودن زمان و دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به دلیل زمان طولانی خشک کردن باعث کاهش ویژگی های کیفی هویج شدند و نمونه های حاصل از امتیاز حسی پایینی برخوردار بودند (شکل ۵). افزایش دما و زمان طولانی موجب خروج بیشتر آب از بافت هویج شد و نمونه ها امتیاز پایین تری به دست آوردند. نمونه های خشک شده در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به دلیل رطوبت، طعم و بافت مناسب امتیاز بالا تری کسب کردند.



شکل ۵- نتایج پذیرش کلی در مقابل دما.

جدول ۴- شرایط بهینه تعیین شده برای متغیرها.

فاکتور	هدف	حد پایین	حد بالا
دما (°C)	در دامنه	۶۰	۸۰
میزان رطوبت (gr/gr)	کمترین	۰/۱۰۵	۰/۲۴
آبگیری مجدد (gr/gr)	بیشترین	۲/۳۹	۴/۶۷
چروکیدگی (درصد)	کمترین	۲۹/۴	۵۲/۵
میزان فنل (ppm)	بیشترین	۳۶۷	۴۰۲
بافت (N/m)	کمترین	۸۲۳۵	۱۲۲۷۴
پذیرش کلی	بیشترین	۲/۰۸	۳/۱۶

جدول ۵- نتایج بهینه یابی فرایند خشک کردن

مقدار	پاسخ	مقدار	متغیر مستقل
۰/۱۶	محتوای رطوبتی (gr/gr)	۷۰	دما (°C)
۳/۵۷	آبگیری مجدد (gr/gr)		
۴۱	چروکیدگی (درصد)		
۴۰۰	میزان فنل (ppm)		
۱۰۳۶۳	بافت (N/m)		
۳/۱	پذیرش کلی		

با توجه به نتایج مشخص شد بهترین دما برای خشک کردن برش های هویج اسمز شده ۷۰ درجه سانتی گراد است.

### ۳-۹- آزمون صحت مدل مرحله ی خشک کردن با هوای داغ

مدلی است که مقادیر پیش بینی شده (توسط مدل) به مقادیر تجربی به دست آمده در آزمون صحت نزدیک باشد. نزدیک بودن این اعداد به هم نشان دهنده مناسب و قابل قبول بودن مدل می باشد (جدول ۶).

برای تعیین مناسب بودن مدل های پیش بینی شده برای هر پاسخ، آزمون صحت طبق شرایط بهینه انجام پذیرفت. بهترین مدل،

جدول ۶- مقادیر پیش بینی شده و واقعی پاسخ ها در شرایط بهینه

پاسخ	مقدار پیش بینی شده (مدل)	مقدار واقعی (آزمایش)
میزان رطوبت (gr/gr)	۰/۱۶	۰/۱۵±۰/۰۰۴
آبگیری مجدد (gr/gr)	۳/۵۷	۳/۷۶±۰/۲۷
چروکیدگی (درصد)	۴۱	۴۰±۳
میزان فنل (ppm)	۴۰۰	۴۰۸±۱۲
بافت (N/m)	۱۰۳۶۳	۱۰۷۵۶±۵۶۸
پذیرش کلی	۳/۱	۳/۰۸±۰/۰۴



5. Chauhan, A.K.S. and Srivastava, A.K. 2009. Optimizing drying conditions for vacuum-assisted microwave drying of green peas (*Pisum sativum* L.). *Drying Technology*, 27(6):761-769.
6. Cid-Ortega, S. and Guerrero-Beltrán, J.A. 2015. Roselle calyces (*Hibiscus sabdariffa*), an alternative to the food and beverages industries: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11):6859-6869.
7. Corzo, O., Bracho, N., Vásquez, A. and Pereira, A. 2008. Optimization of a thin layer drying process for coroba slices. *Journal of food engineering*, 85(3): 372-380.
8. Delgado, J.M.P.Q. and de Lima, A.B. eds. 2014. Transport phenomena and drying of solids and particulate materials. Switzerland: Springer International Publishing.
9. Erbay, Z. and Icier, F. 2009. Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology. *Journal of food engineering*, 91(4): 533-541.
10. Fito, P., Chiralt, A., Barat, J.M., Andrés, A., Martínez-Monzó, J. and Martínez-Navarrete, N. 2001. Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 49(4):297-302.
11. Fullerton, M., Khatiwada, J., Johnson, J.U., Davis, S. and Williams, L.L. 2011. Determination of antimicrobial activity of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*) on *Escherichia coli* O157: H7 isolated from food, veterinary, and clinical samples. *Journal of medicinal food*, 14(9): 950-956.
12. Gornicki, K. and Kaleta, A. 2007. Drying curve modelling of blanched carrot cubes under natural convection condition. *Journal of Food Engineering*, 82(2):160-170.
13. Heim, K.E., Tagliaferro, A.R. and Bobilya, D.J. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. The

از شرایط بهینه به دست آمده در مرحله ی آبگیری اسمزی (آزمایش های اولیه) به منظور پیش تیمار برش های هویج در خشک کن هوای داغ استفاده گردید. در این بخش اثر دمای خشک کن بر میزان رطوبت، میزان چروکیدگی، میزان آبگیری مجدد، میزان ترکیبات فنلی، ارزیابی حسی و بافت تعیین گردید، نتایج نشان داد که اثر دما بر تمام این پاسخ ها در سطح 0.05 معنی دار بوده است. افزایش دما هر چند موجب خروج بیشتر رطوبت نمونه شد ولی منجر به کاهش ترکیبات فنلی نمونه هویج شد و همچنین موجب افزایش سفتی نمونه شد. نتایج بهینه سازی با هدف بیشترین خروج رطوبت، آبگیری مجدد، ترکیبات فنلی و امتیاز پذیرش کلی و کمترین چروکیدگی و میزان سفتی بافت نشان داد که بهترین دمای برای خشک کردن برش های هویج اسمز شده، دمای ۷۰ درجه سانتی گراد است.

#### ۵- منابع

1. Alzamora, S.M., Salvatori, D., Tapia, M.S., López-Malo, A., Welti-Chanes, J. and Fito, P. 2005. Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2): 205-214.
2. Bellary, A.N. and Rastogi, N.K. 2016. Ways and means for the infusion of bioactive constituents in solid foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(7):1126-1145.
3. Betoret, E., Sentandreu, E., Betoret, N., Codoñer-Franch, P., Valls-Bellés, V. and Fito, P. 2012. Technological development and functional properties of an apple snack rich in flavonoid from mandarin juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16:298-304.
4. Cao, H., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Du, W.H. and Sun, J.C. 2006. Optimization of osmotic dehydration of kiwifruit. *Drying Technology*, 24(1): 89-94.

22. Rezaie, M., Farhoosh, R., Iranshahi, M., Sharif, A. and Golmohammadzadeh, S. 2015. Ultrasonic-assisted extraction of antioxidative compounds from Bene (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*) hull using various solvents of different physicochemical properties. *Food chemistry*, 173: 577-583.
23. Rodrigues, S., Oliveira, F.I., Gallão, M.I. and Fernandes, F.A. 2009. Effect of immersion time in osmosis and ultrasound on papaya cell structure during dehydration. *Drying Technology*, 27(2):220-225.
24. Romdhane, N.G., Djendoubi, N., Bonazzi, C., Kechaou, N. and Mihoubi, N.B. 2016. Effect of combined Air-Drying-Osmotic dehydration on kinetics of Techno-functional properties, color and total Phenol contents of Lemon (*Citrus limon*. v. *lunari*) Peels. *International journal of food engineering*, 12(6):515-525.
25. Rózek, A., Achaerandio, I., Güell, C., López, F. and Ferrando, M. 2010. Use of commercial grape phenolic extracts to supplement solid foodstuff. *LWT-Food Science and Technology*, 43(4): 623-631.
26. Rózek, A., Achaerandio, I., Güell, C., López, F. and Ferrando, M. 2009. Grape phenolic impregnation by osmotic treatment: Influence of osmotic agent on mass transfer and product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 94(1): 59-68.
27. Rózek, A., Achaerandio, I., Güell, C., López, F. and Ferrando, M. 2010. Use of commercial grape phenolic extracts to supplement solid foodstuff. *LWT-Food Science and Technology*, 43(4): 623-631.
28. Rózek, A., García-Pérez, J.V., López, F., Güell, C. and Ferrando, M. 2010. Infusion of grape phenolics into fruits and vegetables by osmotic treatment: phenolic stability during air drying. *Journal of Food Engineering*, 99(2): 142-150.
29. Singh, B., Panesar, S.P. and Nanda, V. 2007. Rehydration kinetics of un-  
*Journal of nutritional biochemistry*, 13(10):572-584.
14. Horwitz, W., Chichilo, P. and Reynolds, H. 1970. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
15. Jung, E., Kim, Y. and Joo, N. 2013. Physicochemical properties and antimicrobial activity of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(15): 3769-3776.
16. Liu, K.S., Tsao, S.M. and Yin, M.C. 2005. In vitro antibacterial activity of roselle calyx and protocatechuic acid. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(11): 942-945.
17. Madrau, M.A., Piscopo, A., Sanguinetti, A.M., Del Caro, A., Poiana, M., Romeo, F.V. and Piga, A. 2009. Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Research and Technology*, 228(3):441.
18. Mujumdar, A.S. and Law, C.L. 2010. Drying technology: Trends and applications in postharvest processing. *Food and Bioprocess Technology*, 3(6): 843-852.
19. Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F. and Mortazavi, S.A. 2012. Multi-objective optimization of osmotic-ultrasonic pretreatments and hot-air drying of quince using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6):2098-2110.
20. Pan, Y.K., Zhao, L.J., Zhang, Y., Chen, G. and Mujumdar, A.S. 2003. Osmotic dehydration pretreatment in drying of fruits and vegetables. *Drying Technology*, 21(6): 1101-1114.
21. Prakash, S., Jha, S.K. and Datta, N. 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering*, 62(3): 305-313.

32. Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J. and Perez-Won, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4):647-653.
33. Vega-Gálvez, A.L.M.S., Lemus-Mondaca, R., Bilbao-Sáinz, C., Fito, P. and Andrés, A. 2008. Effect of air drying temperature on the quality of rehydrated dried red bell pepper (var. Lamuyo). *Journal of food engineering*, 85(1):42-50.
- osmosed and pre-osmosed carrot cubes. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 2(1):10-17.
30. Tavares, A.C., Gonçalves, M.J., Cavaleiro, C., Cruz, M.T., Lopes, M.C., Canhoto, J. and Salgueiro, L.R. 2008. Essential oil of *Daucus carota* subsp. *halophilus*: composition, antifungal activity and cytotoxicity. *Journal of Ethnopharmacology*, 119(1): 129-134.
31. Torreggiani, D. and Bertolo, G. 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3): 247-253.

(Original Research Paper)

## Optimization and Evaluation of Some Physicochemical Properties of Carrot Slices Treatment in Osmosis Roselle Solution During Hot Air Drying

Mohammad Maleki<sup>1</sup>, Fakhri Shahidi<sup>2\*</sup>, Mohammad Javad Varidi<sup>3</sup>, Elham Azarpazhooh<sup>4</sup>

1- Ph.D student of Food Hygiene and Aquaculture, Faculty of Veterinary Medicine, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Associate professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Assistant professor, Department of Technical Research and Agricultural Engineering, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization, Mashhad, Iran.

Received: 22/03/2019

Accepted:17/07/2019

### Abstract

In this study, the changes in the color and some properties of carrot slices were investigated during hot air drying. The carrot slices first underwent an optimized osmotic pretreatment. The sucrose concentration of 60% and the dehydration time of 60 min were found to be as the optimum conditions of the osmotic dehydration. In hot air drying, temperature (60, 70 and 80°C) was taken into account as the independent variable and moisture content, shrinkage, rehydration ratio, total phenolic content, texture and sensory evaluation were considered as the dependent variables. The results revealed that the lowest reduction in total phenolic content was associated with 70°C and the effect of temperature on all of the responses was significant. With increasing temperature, shrinkage, rehydration ratio and texture increased but the moisture content decreased to (11 gr / gr). At the end, the optimum conditions were selected based on the maximum rehydration rate, phenolic compounds, total acceptance and minimum moisture content, shrinkage and stiffness of the texture were determined and the optimum temperature was 70 ° C.

**Keywords:** Carrot, Hot Air Drying, Osmosis Roselle, Ultrasound

---

\*Corresponding Author: [fshahidi@um.ac.ir](mailto:fshahidi@um.ac.ir)