

بررسی فرآیندهای خشک کردن، پودر سازی و فشرده سازی به منظور تولید قرص فشرده سالم از گوجه فرنگی تازه

علی قاسمی^۱، رضا امیری چایجان^{۲*}، محمدحسین عزیزی تبریززاد^۳

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- استاد گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۴)

چکیده

با توجه به تغییر خصوصیات کیفی و درصد بالای تخریب مواد مغذی طی فرآیندهای فراوری مواد غذایی، حفظ کیفیت محصول و اجزا غذایی آن یکی از جنبه‌های مهم فرآوری مواد غذایی است. در این تحقیق اثر فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه فرنگی تازه به منظور تولید پودر گوجه فرنگی به شیوه جریان همرفت هوای داغ در سه سطح دمایی ۴۵، ۶۰ و ۷۵ °C بر سینتیک تخریب ویتامین ث (آسکوربیک اسید)، تغییرات رنگ (L^* ، a^* و b^*) و مقدار انرژزی ویژه مصرفی خشک کردن بررسی شد. سپس از خمیر حاصل از پودر گوجه فرنگی در سه سطح محتوای رطوبتی ۲۵، ۴۰ و ۵۵ %d.b. به منظور تولید قرص فشرده استفاده شد. همچنین اثر دمای هوای خشک کردن قرص‌های فشرده تولیدی به شیوه همرفتی هوای داغ در سه سطح دمایی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ °C بر غلظت ویتامین ث (به عنوان شاخصی برای حفظ ارزش غذایی) بررسی و شرایط بهینه برای فرآیندهای خشک کردن، پودر سازی و قرص سازی تعیین شدند. نتایج نشان داد که دمای خشک کردن و محتوای رطوبتی محصول اثر معنی‌داری بر حفظ غلظت ویتامین ث (حفظ سلامت محصول) طی فرآیندهای خشک کردن، پودر کردن و تولید قرص فشرده گوجه فرنگی دارند. کاهش دمای خشک کردن و محتوای رطوبتی سبب حفظ بهتر کیفیت و ارزش غذایی (تخریب کمتر ویتامین ث) قرص فشرده گوجه فرنگی می‌گردد.

کلید واژگان: پودر گوجه فرنگی، دما، قرص فشرده، محتوای رطوبتی، ویتامین ث

* مسئول مکاتبات: amirireza@basu.ac.ir

۱- مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از سبزی‌های متداول و پر استفاده است که علاوه بر طعم و مزه آن حاوی ترکیبات غذایی ارزشمندی از جمله ویتامین ث و لیکوپن است که به سلامتی انسان کمک می‌کنند [۱]. طبق آمار سازمان خوار و بار جهانی فائو در سال ۲۰۱۴، مقدار تولید گوجه‌فرنگی در ایران ۶۸۲۴۲۹۸ تن بوده که رتبه ششم را در جهان به خود اختصاص داده است [۲]. این در حالی است که به دلیل محتوای رطوبتی بالا، این محصول به شدت فسادپذیر است و سالانه به طور متوسط حدود ۳۰ درصد این محصول به دلیل شرایط نامناسب برداشت، حمل‌ونقل و نگهداری از بین می‌رود [۳]. لذا با توجه به میزان ضایعات زیاد این محصول نیاز به روش‌های مناسب جهت فرآوری گوجه‌فرنگی کاملاً احساس می‌شود. خشک‌کردن و پودرکردن میوه یکی از روش‌هایی است که به طور گسترده به منظور به منظور فرآوری و نگهداری میوه‌های فسادپذیر به مدت طولانی استفاده می‌گردد [۴]، اما به دلیل آنکه پودر میوه خشک است به شدت جاذب رطوبت و نم موجود در هوا می‌باشد، ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل آن نیازمند بسته‌بندی‌های خاص و گران‌قیمت است [۵]. متراکم کردن پودر میوه و تولید قرص فشرده از آن یک روش مناسب برای غلبه بر این مشکلات است. در کشورهای در حال توسعه، یکی از اهداف خشک‌کردن گوجه‌فرنگی، کاهش ضایعات پس از برداشت است، درحالی‌که در کشورهای توسعه‌یافته، گوجه‌فرنگی خشک‌شده یکی از محصولات خوش‌خوراک محسوب می‌گردد [۶]. امروزه گوجه‌فرنگی به صورت تازه، کنسرو شده، رب، کچاپ و پودر شده استفاده می‌شود. با این حال، درجه حرارت بالا و زمان زیاد فرآیند خشک کردن این محصول به علت رطوبت بالای گوجه‌فرنگی سبب کاهش کیفیت مواد مغذی آن می‌گردد، بنابراین خشک کردن آن نیاز به درجه حرارت کم و متوسط دارد [۷]. تا کنون مطالعات کمی روی فرآیند خشک شدن گوجه‌فرنگی با هدف حفظ ارزش غذایی این محصول انجام شده است [۸-۱۱].

غذاها به صورت طبیعی یا فرآوری شده، مواد مغذی زندگی انسان را فراهم می‌کنند. یک رژیم غذایی غنی از مواد مغذی

تأثیر مثبتی بر سلامت انسان دارد. میوه‌های تازه حاوی مواد مغذی ضروری برای انسان هستند، اما اکثر این مواد مغذی به دلیل حساسیت به دما، رطوبت، اکسیژن و نور دارای عمر کوتاهی می‌باشند، بنابراین به منظور حفظ کیفیت و مواد مغذی موجود در مواد غذایی به ویژه ویتامین‌ها، فرآوری آنها باید تحت شرایط مناسب انجام گیرد [۱۲]. در سال‌های اخیر تقاضا برای استفاده از محصولات غذایی فرآوری شده به دلیل راحتی استفاده از آنها افزایش یافته است. با توجه به آنکه کیفیت و ارزش غذایی از جمله عوامل مهم در بازارپسندی و سلامت محصولات فرآوری شده هستند، انتظارات برای حفظ کیفیت و پایداری مواد مغذی این محصولات نیز رو به افزایش است. این امر نیاز به داشتن دانش لازم در مورد چگونگی تأثیر فرآیندهای فرآوری مواد غذایی بر مواد مغذی آنها دارد [۱۳]. خشک کردن یکی از روش‌های پرکاربرد در فرآوری مواد غذایی است که معمولاً توأم با اعمال حرارت به محصول است. طی فرآیند خشک کردن تغییراتی در عطر، طعم، بافت، رنگ و تخریب اجزاء غذایی محصول ایجاد می‌گردد [۱۴]. گرما و اکسیداسیون طی فرآیند خشک شدن، موجب ایجاد تغییرات شیمیایی در رنگ‌دانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید شده و افت کیفیت رنگ محصول را به همراه دارد. معمولاً زمان‌های طولانی‌تر و درجه حرارت‌های بالاتر، اتلاف بیشتر رنگ‌دانه‌ها را به همراه دارد [۱۵]. بنابراین حفظ رنگ محصول نهایی به عنوان شاخصی مهمی برای بررسی کیفیت محصول نهایی از دیدگاه ارزش غذایی آن پس از انجام فرآیندهای فرآوری می‌باشد [۱۶]. همچنین از آنجایی که مصرف‌کننده با دیدن رنگ مواد غذایی به راحتی به کیفیت ظاهری آن پی می‌برد، بنابراین رنگ به عنوان فاکتور مشتری‌پسند نیز مورد توجه است.

قرص‌سازی یا فشرده‌سازی معمولاً شامل فرآیندهای آماده‌سازی مواد اولیه (تمیز کردن، خرد کردن، رطوبت‌دهی یا حذف رطوبت و ترکیب کردن)، حرارت‌دهی و بخاردهی، فشرده‌سازی، خشک کردن، خنک کردن و درجه‌بندی کردن می‌باشد [۱۷]. هر یک از این مراحل بر ویژگی‌های کیفی مواد غذایی مانند رنگ و هضم‌پذیری اثر مثبت و بر برخی دیگر مانند تجزیه آنزیم‌ها و ریزمغذی‌ها اثر منفی دارند [۱۸]. تا کنون

اندازه‌گیری این ویتامین در نمونه‌های غذایی، دارویی و بیولوژیکی اهمیت فراوانی دارد [۲۵]. مقدار توصیه‌شده این ویتامین ۶۰ mg روزانه می‌باشد، اما مصرف روزانه ۱۲۰ mg جهت کاهش بیماری‌های مزمن نظیر سرطان توصیه می‌گردد، کمبود این ویتامین در بدن موجب بروز بیماری‌های زیادی از جمله، اسکوربوت می‌گردد [۲۶]. ویتامین ث یکی از ناپایدارترین مواد مغذی در غذا می‌باشد که در طی فرآیندهای فرآوری این ویتامین به شدت تخریب می‌شود [۲۷]. طبق نتایج پژوهش‌های انجام شده ثابت شده است که اگر طی فرآیندهای غذایی بتوان ویتامین ث را حفظ کرد می‌توان گفت که سایر مواد مغذی نیز حفظ خواهند شد [۹]. از آنجا که اسید آسکوربیک (ویتامین ث) نسبت به سایر اجزا غذایی ناپایدارتر است، بنابراین به عنوان شاخصی برای بررسی کیفیت مواد مغذی استفاده می‌شود [۲۸].

با توجه به گسترش و توسعه استفاده از روش‌های فرآوری مواد غذایی و اهمیت حفظ ویژگی‌های کیفی و سلامت محصول، هدف از انجام این تحقیق عبارتند از: ۱- بررسی اثر دمای خشک کردن گوجه‌فرنگی تازه بر شاخص‌های رنگ، انرژی ویژه مصرفی و غلظت نهایی ویتامین ث به منظور تولید پودر گوجه‌فرنگی و ۲- بررسی اثر محتوای رطوبتی خمیر حاصل از پودر گوجه‌فرنگی و اثر دمای خشک‌کردن قرص فشرده گوجه‌فرنگی بر روند تخریب ویتامین ث.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها، میوه خام گوجه‌فرنگی رقم روما از بازار محلی شهر همدان خریداری شد. محتوای رطوبتی اولیه نمونه‌های گوجه‌فرنگی از روش آون - هوای داغ تعیین شدند، برای این منظور حدود ۱۰ g گوجه‌فرنگی در آون در دمای °C ۶۰ حدود ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت [۸]. مقدار محتوای رطوبتی اولیه گوجه‌فرنگی برابر با %d.b. ۱۶۶۰ به دست آمد. شکل ۱ روند انجام آزمایش‌های خشک کردن، پودر سازی و قرص سازی از گوجه‌فرنگی‌های تازه را نشان می‌دهد.

تحقیقاتی در زمینه تولید قرص فشرده از پودر میوه پیتایا [۱۹]، انبه [۲۰] و گواوا [۲۱] گزارش شده است. طی تحقیقی خواص فیزیکی قرص‌های فشرده تولیدشده از پودر خرما، پرتقال و اسپیرولینا شامل سختی، شکنندگی و حلالیت بررسی شدند [۲۲]. طی تحقیقی تأثیر پیش‌تیمارهای مختلف روش‌های خشک‌کردن و نوع بسته‌بندی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پودر گوجه‌فرنگی بررسی شد [۲۳]. آزمایش‌های خشک‌کردن روی دو رقم از گوجه‌فرنگی‌های برش خورده، در چهار پیش‌تیمار پتاسیم متابی‌سولفات، کلرید کلسیم، کلرید سدیم و ترکیب کلرید کلسیم با پتاسیم متابی‌سولفات و نمونه شاهد (کنترل‌شده قرارگرفته در آب) در دو روش خشک کردن آفتابی و تونلی انجام گرفت و بعد از خشک کردن گوجه‌فرنگی‌ها پودر شدند، نتایج آزمایش نشان داد که روش خشک‌کردن، تونلی از نظر مقدار باقی‌مانده لیکوپن، جذب آب، سرعت خشک شدن و اندیس قهوه‌ای شدن بهترین کیفیت را داشت. طی تحقیقی گزارش شد که طی فرآیند خشک کردن فلفل قرمز به شیوه همرفتی در دماهای ۵۰ °C و ۹۰ °C مقدار ویتامین ث حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد که مقدار تخریب ویتامین ث در خشک کردن در دماهای پایین کمتر بود، این در حالی است که کاهش دمای خشک کردن با افزایش زمان خشک کردن باعث کاهش ظرفیت تولید شده و ممکن است سبب افزایش انرژی ویژه مصرفی و در نتیجه افزایش هزینه‌های تولید گردد. با توجه به افزایش قیمت انرژی‌های الکتریکی، گاز و سوخت‌های فسیلی، بهینه‌سازی مصرف انرژی طی فرآیند خشک کردن بسیار مهم است [۲۴]. بنابراین به منظور جلوگیری از تخریب اجزاء غذایی طی فرآیند خشک‌کردن، تعیین دما و شرایط انجام فرآیند خشک کردن ضروری است [۱۳].

ویتامین ث در بافت تمام گونه‌های گیاهی و جانوری یافت می‌شود. این ویتامین به عنوان یک آنتی‌اکسیدان، نقش مهمی را در متابولیسم سلول‌های زیستی ایفا می‌کند. حذف اکسیژن فعال و رادیکال‌های آزاد فعال توسط این ویتامین باعث می‌شود که از آسیب به بافت‌های بدن جلوگیری شود. مکانیسم این واکنش‌ها معمولاً ناشناخته هستند. متابولیسم انسانی وابسته به حضور این ویتامین در سبب غذایی او می‌باشد، از این رو،

محتوای رطوبتی نمونه‌ها به زیر ۱۰ %d.b. (رطوبت مناسب جهت انجام فرآیند پودر سازی) ادامه یافت. کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند.

۳-۲- فرآیند پودر سازی

پس از پایان فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی، نمونه‌های خشک‌شده توسط یک آسیاب خانگی ساخت شرکت بوش مدل MKM600 مدت ۵ min آسیاب و خرد شدند. پس از اتمام فرآیند آسیاب کردن به منظور همگن‌سازی اندازه ذرات، گوجه‌فرنگی‌های خردشده توسط یک الک با شماره مش ۴۰ با اندازه حفره‌های ۰/۴ mm الک شدند.

۴-۲- آماده‌سازی خمیر گوجه‌فرنگی قبل از

فرآیند قرص سازی

به منظور افزایش نیروی چسبندگی بین ذرات نیاز است، قبل از فرآیند قرص‌سازی، به پودر گوجه‌فرنگی، رطوبت و ماده چسبان اضافه گردد. به منظور بررسی اثر محتوای رطوبتی خمیر گوجه‌فرنگی بر کیفیت قرص‌های تولیدی، با توجه به پیش آزمایش‌های انجام شده، سه سطح محتوای رطوبتی ۲۵، ۴۰ و ۵۵ %d.b. انتخاب شدند، همچنین از شربت فروکتوز ۵۵ درصد به عنوان ماده چسبان استفاده شد. علت انتخاب فروکتوز به عنوان ماده چسبان حلالیت بالای آن در آب و درصد بالای مونوساکارید آن (۵۵ درصد) بود. وزن آب اضافه شده به پودر گوجه‌فرنگی از رابطه ۱ محاسبه شد. سپس شربت فروکتوز به مقدار ۶ درصد وزنی (نسبت به وزن خام پودر گوجه‌فرنگی) در آب حل شد و محلول به‌دست‌آمده به پودر گوجه‌فرنگی اضافه و خوب با آن مخلوط شد و سپس به منظور جذب کامل رطوبت، پودر گوجه‌فرنگی رطوبت داده شده به مدت ۷۲ ساعت در یخچال در دمای ۴ °C قرار گرفت.

$$W_w = \frac{W_i (M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که W_w وزن آب اضافه‌شده به نمونه (kg)، W_i وزن اولیه نمونه (kg)، M_f رطوبت نهایی (d.b.) و M_i رطوبت اولیه (d.b.) هستند.

۵-۲- فرآیند قرص سازی از خمیر گوجه‌فرنگی

جهت تولید قرص‌های کروی شکل از پودر گوجه‌فرنگی از قالب نشان داده شده در شکل ۲(a) استفاده شد. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، این قالب از سه بخش اصلی شامل

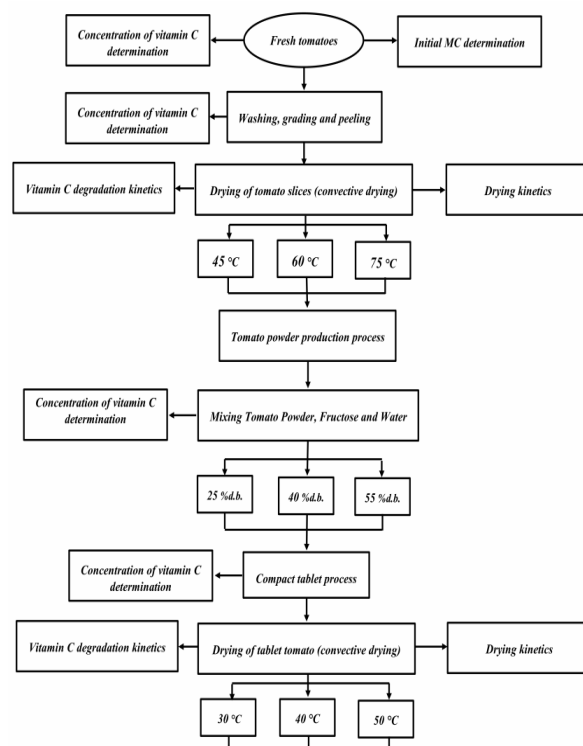


Fig 1 The flow chart of the experimental design to produce tomatoes tablet

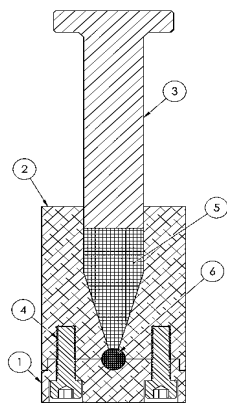
۲-۲- فرآیند خشک کردن گوجه‌فرنگی‌های تازه

تازه

قبل از انجام آزمایش‌های خشک کردن، پوست نازک گوجه‌فرنگی‌ها به کمک غوطه‌ور کردن در آب نمک داغ با دمای تقریبی ۵۰ °C، به مدت ۱۰ s جدا شدند و سپس نمونه‌ها در ضخامت‌های ۳ mm برش خوردند. غوطه‌وری محصول در آب گرم و حذف پوست آن قبل از فرآیند خشک کردن سبب نرم شدن بافت داخلی محصول و افزایش نرخ خشک شدن می‌گردد [۲۹]. فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی توسط یک خشک‌کن نیمه‌صنعتی به روش هوای داغ با سرعت هوای ۱ m/s در دماهای ۴۵، ۶۰ و ۷۰ °C انجام گرفت. به طور کلی مواد غذایی معمولاً در دمای نزدیک به ۶۰ °C خشک می‌گردند، به دلیل آنکه این سطح دمایی معمولاً نرخ مناسبی برای حذف رطوبت دارد و تقریباً مواد مغذی در این دما حفظ می‌شوند، ضمن آنکه بافت محصول نیز تخریب نمی‌گردد [۸]. سایر دماها با اختلاف ۱۵ °C ± نسبت به دمای ۶۰ °C انتخاب شدند. طی فرآیند خشک شدن نمونه‌ها، محتوای رطوبتی و غلظت ویتامین ث در زمان‌های مشخصی (۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰ min و مابقی هر یک ساعت) اندازه‌گیری می‌شدند. فرآیند خشک کردن نمونه‌ها تا رسیدن

تراکم) وارد دو نیم‌کره ایجادشده بین فک بالایی و پایینی (با قطر ۱۲ mm) می‌شدند و در یک حجم بسته فشرده‌شده و قرص فشرده تشکیل می‌گردید، با رسیدن فشار جک به ۷۵ bar به مدت ۱۵ S جهت انجام فرآیند آسایش تنش، فشار روی مواد نگهداشته می‌شد [۳۰]، سپس با حرکت پیستون به سمت بالا، فشار از روی مواد برداشته می‌شد. در انتهای فرآیند قرص-سازی پیچ‌های نگهدارنده باز می‌شد و دو فک بالایی و پایینی به آهستگی از هم جدا شده و قرص فشرده از درون قالب خارج می‌شد.

a



b

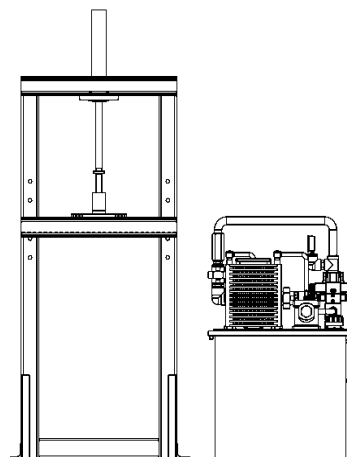


Fig 2 (a) The laboratory hydraulic press used for producing tomatoes tablet (b) Schematic diagram of the forming die of the spherical tablet (broken-out section view): 1- Bottom hemisphere die 2- Upper hemisphere die 3- Piston 4- Bolt holder 5- Row materials 6- Spherical tablet.

۱۰ ml از نمونه صاف شده توسط ۲-۶ دیکلروفلن‌ایندوفنل (محلول آشکارساز) تیترا گردید. در پایان آزمایش محلول به رنگ صورتی کم‌رنگ درآمد که این رنگ به مدت ۱۵ S دوام داشت.

۲-۸- اندازه‌گیری رنگ و محاسبه تغییرات آن

به منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی از روش پردازش تصویر استفاده شد. بدین منظور از یک اسکنر اچ‌پی مدل Scan Jet G4010 استفاده شد. ابتدا دستگاه اسکنر توسط کارت‌های سیاه و سفید استاندارد به نحوی که بر حسب مقیاس رنگی RGB برای رنگ سیاه عددهای (۰، ۰، ۰) و برای رنگ سفید (۲۵۵، ۲۵۵، ۲۵۵) را نشان دهد کالیبره شد، سپس ورقه‌های گوجه‌فرنگی و پودر حاصل از آن با درجه تفکیک ۱۲۰۰ dpi اسکن شدند. عکس‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار متلب پردازش گردند و مقادیر رنگی L^* ، a^* و b^* به‌دست‌آمده محاسبه شدند. در پایان با استفاده از روابط ۲ تا ۴ تغییرات رنگ گوجه‌فرنگی تازه، پودر و قرص حاصل از آن

فک بالایی، فک پایینی از جنس آلومینیوم و یک پیستون فولادی تشکیل شده است. فک بالایی و پایینی توسط چهار پیچ نگهدارنده به یکدیگر متصل شده‌اند. طی فرآیند قرص‌سازی با این قالب، ابتدا مواد خام از طریق مجرای ورودی قرار گرفته در فک بالایی وارد قالب می‌شدند و قالب زیر یک دستگاه پرس هیدرولیک آزمایشگاهی (شکل ۲(b)) قرار می‌گرفت. جک با سرعت ۶ mm/s به سمت پایین حرکت می‌کند و با اعمال فشار به پیستون (قطعه شماره ۳ در شکل ۲(a)) مواد خام با عبور از قسمت مخروطی شکل فک پایینی قالب (بخش پیش-

۲-۶- فرآیند خشک کردن قرص فشرده کروی

آزمایش‌های خشک کردن قرص‌های فشرده بلافاصله پس از پایان فرآیند قرص‌سازی به شیوه هوای داغ در سه سطح دمایی ۳۰، ۴۰ و ۵۰ °C در سرعت هوای ۱ m/s انجام شدند. آزمایش‌های خشک کردن تا رسیدن نمونه‌ها به رطوبت نهایی ۱۰ %d.b. ادامه یافتند. به منظور بررسی اثر دمای خشک کردن بر غلظت ویتامین ث قرص‌های فشرده تولیدی پس از اتمام فرآیند خشک کردن، مقدار ویتامین ث نمونه‌ها به روش تیتراسیون دو مرحله‌ای اندازه‌گیری شد.

۲-۷- روش اندازه‌گیری غلظت ویتامین ث

غلظت ویتامین ث به روش تیتراسیون دو مرحله‌ای مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۵۶۰۹ اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا مقدار ۲۵ ml اسید متافسفربیک ۶ درصد به ۱۰ g نمونه گوجه‌فرنگی اضافه گردید (محلول استخراج)، سپس ۵ ml از این محلول با اسید متافسفربیک ۳ درصد در ارلن ۵۰ cc به حجم رسانده شد و توسط کاغذ صافی فیلتر شد. پس از آن

پس از خشک شدن محاسبه گردید.

$$\Delta L^* = (L_0^* - L_1^*) \quad (2)$$

$$\Delta a^* = (a_0^* - a_1^*) \quad (3)$$

$$\Delta b^* = (b_0^* - b_1^*) \quad (4)$$

که مقدار L^* مقدار تیرگی (۰) تا روشنایی (۱۰۰)، a^* مقدار قرمزی (+۱۲۰) تا سبزی (-۱۲۰) و b^* مقدار زردی (+۱۲۰) تا آبی (-۱۲۰) هستند.

۲-۹- انرژی ویژه مصرفی فرآیند خشک کردن

انرژی ویژه مصرفی مورد نیاز برای فرآیند خشک کردن یکی از فاکتورهای مهم طی فرآیند خشک کردن است که به عنوان انرژی مورد نیاز برای حذف یک کیلوگرم آب از محصول طی فرآیند خشک کردن تعریف می‌شود. انرژی ویژه مصرفی خشک کردن به شیوه همرفتی هوای داغ از رابطه ۵ محاسبه گردید [۳۱].

$$S_{ec} = (C_{pa} + C_{pv} h_a) Q t \frac{(T_{in} - T_{am})}{m_{vc} V_h} \quad (5)$$

که S_{ec} انرژی ویژه مصرفی خشک کردن به شیوه همرفتی C_{pa} ظرفیت گرمای ویژه هوا ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)، C_{pv} ظرفیت گرمای ویژه بخار ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)، h_a رطوبت مطلق هوا ($\text{kg Vaper/kg dry air}$)، Q دبی هوای ورودی به اتاقک خشک‌کن (m^3/s)، t زمان فرآیند خشک شدن (s)، T_{in} دمای هوای ورودی به اتاقک خشک‌کن ($^\circ\text{C}$)، T_{am} دمای محیط ($^\circ\text{C}$)، m_{vc} جرم آب حذف شده از محصول طی فرآیند خشک کردن به شیوه همرفتی هوای داغ (kg) و V_h حجم ویژه هوا (m^3/kg) هستند.

۲-۱۰- آنالیز آماری

به منظور تجزیه و تحلیل آماری فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی غلظت نهایی ویتامین ث، شاخص‌های رنگ ΔL^* ، Δa^* و Δb^* و انرژی ویژه مصرفی به‌دست‌آمده از داده‌های آزمایش‌های خشک کردن به عنوان متغیر وابسته و دمای عملیات خشک کردن و محتوای رطوبتی خمیر گوجه‌فرنگی به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. به منظور بررسی تأثیر متغیرهای وابسته بر صفات اندازه‌گیری شده از طرح آماری کاملاً تصادفی استفاده شد. داده‌های به‌دست‌آمده با نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از آزمون چند دامنه دانکن، در صورت معنی‌دار بودن مقدار F برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- سینتیک تخریب ویتامین ث طی فرآیند

خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی

مقدار متوسط غلظت اولیه ویتامین ث گوجه‌فرنگی تازه برابر با $3 \pm 0.5 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{g}_{\text{DM}}$ به دست آمد که معادل با 3.5 ± 0.29 میلی‌گرم اسید آسکوربیک به صد گرم گوجه‌فرنگی تازه است. درحالی‌که بعد از انجام عملیات بلانچینگ در آب‌نمک با دمای حدود 50°C مقدار غلظت ویتامین ث به مقدار $4 \pm 0.5 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{g}_{\text{DM}}$ کاهش پیدا کرد. این مقدار کاهش در ویتامین ث به علت قرار گرفتن گوجه‌فرنگی در معرض حرارت، رطوبت و اکسیژن (اکسیداسیون) در دمای 50°C است. نتایج مشابهی توسط سایر محققان هنگام تحقیق روی تجزیه و تحلیل مواد مغذی گوجه‌فرنگی به‌دست آمد [۳۲]. در تحقیقی دیگر از یک روش مشابه برای اندازه‌گیری ویتامین ث گوجه‌فرنگی بلافاصله پس از برداشت آن استفاده و گزارش شد که غلظت ویتامین ث در گوجه تازه در حدود ۲۸ میلی‌گرم اسیدآسکوربیک در صد گرم گوجه‌فرنگی تازه بود. آنها مقدار کاهش ویتامین ث را طی زمان انبارداری بررسی کردند و گزارش دادند که مقدار ویتامین ث پس از نگهداری به مدت یک هفته در دمای 25°C به مقدار ۲۲ میلی‌گرم ویتامین ث در صد گرم ماده تازه می‌رسد [۳۳]. طی تحقیقی آنتی‌اکسیدان‌های اصلی و فعال را در بخش‌های مختلف (پوست، دانه و پالپ) سه رقم گوجه‌فرنگی زراعی تعیین شدند و نتایج نشان داد که مقدار ویتامین ث در بخش پوست گوجه‌فرنگی نسبت به سایر بخش‌ها به صورت معنی‌داری بیشتر بود. آنها بیان کردند، حذف پوست و دانه طی فرآیند پخت‌وپز باعث از دست رفتن مقدار قابل‌توجهی از ویتامین ث می‌گردد، زیرا این بخش از میوه حاوی ۴۳٪ از مقدار ویتامین ث است [۳۴].

شکل ۳ سینتیک تخریب ویتامین ث را در طی فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای ۴۵، ۶۰ و 75°C نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج این شکل مشاهده می‌شود، دما اثر زیادی بر مقدار تخریب ویتامین ث دارد، به طوری که با افزایش دما از ۴۵ به 75°C ، مقدار تخریب ویتامین ث نیز به دلیل حساسیت این ویتامین به حرارت حدود ۸۶٪ افزایش

فرآیند خشک کردن که محتوای رطوبتی محصول بالاتر است، ویتامین ث رقیق تر است و در نتیجه شدت تخریب آن نیز بیشتر است. همچنین یک دلیل احتمالی دیگر برای بالاتر بودن شدت تخریب ویتامین ث در ابتدای فرآیند خشک کردن را می توان بیشتر بودن نرخ تبخیر رطوبت از محصول در ابتدای فرآیند خشک کردن دانست، زیرا تبخیر بیشتر آب موجود در محصول در ابتدای فرآیند خشک کردن، مقداری اکسیژن در بافت محصول آزاد می کند که این اکسیژن آزاد شده سبب ایجاد واکنش های اکسیداسیون و در نتیجه تجزیه ویتامین ث می گردد، بنابراین نرخ تخریب ویتامین ث علاوه بر شرایط خشک کردن به مقدار محتوای رطوبتی نیز وابسته است [۳۶]. نتایج مشابهی در تحقیقی روی سیتتیک تخریب ویتامین ث طی فرآیند خشک کردن ورقه های سیب زمینی به شیوه هوای داغ- مادون قرمز گزارش شد [۳۵]. در نتیجه آب می تواند سبب رقیق شدن ویتامین ث گردد و واکنش تخریب ویتامین ث را تسهیل بخشد، همچنین آب بر مقدار جذب اکسیژن و در نتیجه تخریب ویتامین ث اثرگذار است [۳۷].

یافت، این در حالی است که افزایش دما از ۴۵ به ۷۵ °C، زمان خشک شدن را از ۷۱۵ به ۴۱۵ min کاهش داد. همچنین مشاهده شد، طی فرآیند خشک شدن در یک دمای ثابت با گذشت زمان مقدار غلظت ویتامین ث به صورت پیوسته کاهش یافت. با توجه به اینکه اندکی پس از شروع فرآیند خشک شدن دمای بخش های مختلف گوجه فرنگی به تعادل می رسند، می توان نتیجه گرفت ثبات و تخریب ویتامین ث تنها وابسته به شرایط خشک شدن نیست بلکه مقدار محتوای رطوبتی نمونه ها نیز بر مقدار غلظت ویتامین ث اثرگذار است [۳۵]. همان طور که از نمودار سیتتیک تخریب ویتامین ث (شکل ۳) مشاهده می شود، در ابتدای فرآیند خشک کردن که محتوای رطوبتی محصول بالاتر بود، نرخ تجزیه ویتامین ث نیز بالاتر بود و با ادامه یافتن فرآیند خشک کردن با کاهش محتوای رطوبتی، نرخ کاهش ویتامین ث نیز کاهش یافت. شدت بالای تخریب ویتامین ث را در ابتدای فرآیند خشک کردن می توان به محتوای رطوبتی بالای محصول نسبت داد، به دلیل آنکه ویتامین ث به صورت محلول در آب است، بنابراین در ابتدای

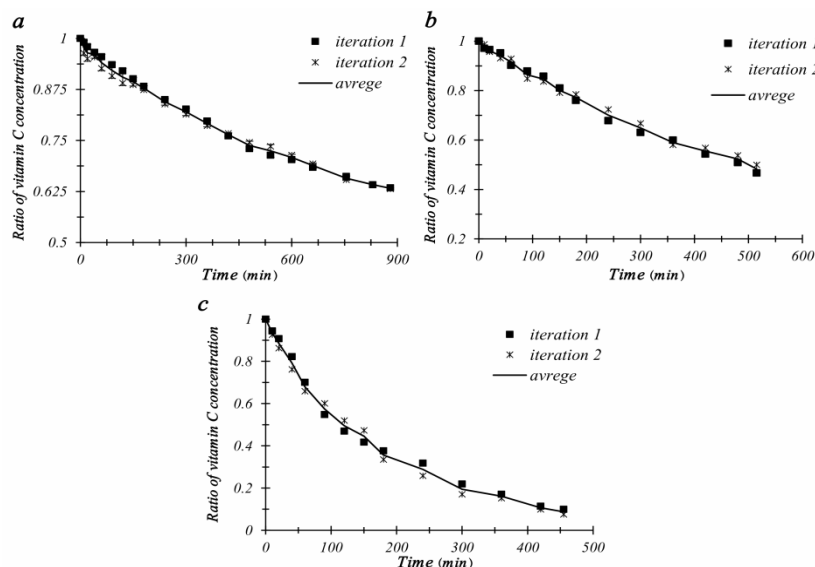


Fig 3 The kinetics of vitamin C degradation during the drying process of tomato slice under drying at: (a) 45 °C, (b) 60 °C and (c) 75 °C.

برای تمامی دماها به صورت خطی است که این ($R^2=0.99$)

نشان می دهد، واکنش های تخریب ویتامین ث از نوع درجه اول هستند. این نتیجه مطابق با نتایج به دست آمده از تحقیقات سایر محققان بود که روی کیفیت مواد غذایی طی فرآیند خشک کردن انجام شده بود [۱۱، ۳۸].

۲-۳- نرخ تخریب ویتامین ث

شکل ۴ نمودار لگاریتمی غلظت ویتامین ث با زمان را برای ورقه های گوجه فرنگی خشک شده در دماهای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ °C نشان می دهد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، خط برازش شده به داده های آزمایشگاهی با تقریب بسیار خوبی

فعالیت‌های آبی زیاد، ویتامین ث به سرعت تخریب می‌شود. دلیل این امر آن است که ویتامین ث ویتامین محلول در آب است [۳۹].

به منظور بررسی وابستگی نرخ واکنش تجزیه شیمیایی مواد مغذی به رطوبت طی فرآیندهای فرآوری مواد غذایی، تاکنون چندین رابطه پیشنهاد شده است. در بیشتر موارد یک رابطه خطی با تقریب نسبتاً خوبی بین مقدار محتوای رطوبتی یا فعالیت آبی و نرخ واکنش تخریب مواد مغذی طی فرآیندهای حرارتی گزارش شده است [۴۰]. شکل ۵ (الف) نمودار نرخ واکنش شیمیایی تجزیه ویتامین ث در مقابل محتوای رطوبتی را برای داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش در دماهای متفاوت را نشان می‌دهد. شکل ۵ (ب) نمودار لگاریتمی نرخ واکنش شیمیایی تجزیه ویتامین ث با محتوای رطوبتی در دماهای مختلف طی فرآیند خشک کردن را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نتایج شکل ۵ مشاهده می‌شود، یک رابطه تقریباً خطی ($R^2 > 0.91$) بین نرخ تخریب ویتامین ث با محتوای رطوبتی ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دماهای مختلف خشک کردن وجود دارد. همچنین از نتایج شکل ۵ مشاهده می‌شود که با افزایش محتوای رطوبتی نرخ تخریب ویتامین ث نیز افزایش یافت و بیشترین نرخ تخریب در بالاترین محتوای رطوبتی به دست آمد که دلیل احتمالی آن رقیق شدن غلظت واکنش‌دهنده‌ها در محتوای رطوبتی بالا می‌باشد. در محتوای رطوبتی پایین به دلیل آنکه محلول‌های واکنش‌دهنده رسوب می‌کنند و ویسکوزیته فاز آبی کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت انتشار آب کم می‌گردد، بنابراین نرخ تخریب نیز کاهش می‌یابد. روندی مشابه نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق به هنگام بررسی تخریب سینتیک ویتامین ث طی فرآیند خشک کردن آب پرتقال گزارش شد [۳۹].

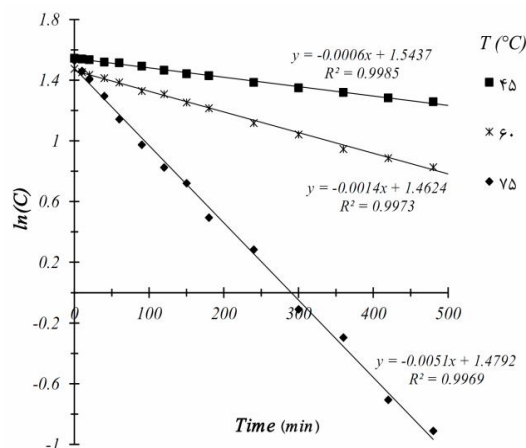


Fig 4 The kinetics of ascorbic acid degradation during the drying of tomatoes slice at different temperatures (C in mg/g dry matter).

شیب خط برازش شده به نقاط نمودار شکل ۴ بیانگر ثابت نرخ واکنش تخریب یا تجزیه شیمیایی ویتامین ث در دمای مورد آزمایش است. مقدار نرخ تخریب ویتامین ث برای دماهای خشک کردن ۴۵، ۶۰ و ۷۵ °C به ترتیب برابر با ۰/۰۰۰۶، ۰/۰۰۱۴ و ۰/۰۰۵۱ 1/min به دست آمد. با افزایش دمای خشک شدن نمونه‌ها نرخ تخریب ویتامین ث نیز افزایش یافت که بیانگر آن است که افزایش دما به دلیل اعمال انرژی حرارتی بیشتر، سرعت انجام واکنش‌های تخریب ویتامین ث را افزایش می‌دهد، نرخ تخریب در دمای بالاتر از ۶۰ °C بسیار بیشتر بود، بنابراین می‌توان گفت که دما یک عامل بسیار تأثیرگذار در نرخ تخریب مواد مغذی و کیفیت مواد غذایی است. طی تحقیقی روی سینتیک تخریب ویتامین ث پالپ گوجه‌فرنگی طی فرآیند خشک کردن پاششی انجام مشخص شد که علاوه بر دما، رطوبت نیز بر نرخ تخریب اثرگذار است [۱۱]. بر اساس نتایج تحقیقات پیشین نرخ تخریب ویتامین ث نسبت به فعالیت آبی محصول بسیار حساس است. به طوری که در فعالیت‌های آبی کم، ویتامین ث نسبتاً پایدار است درحالی‌که در

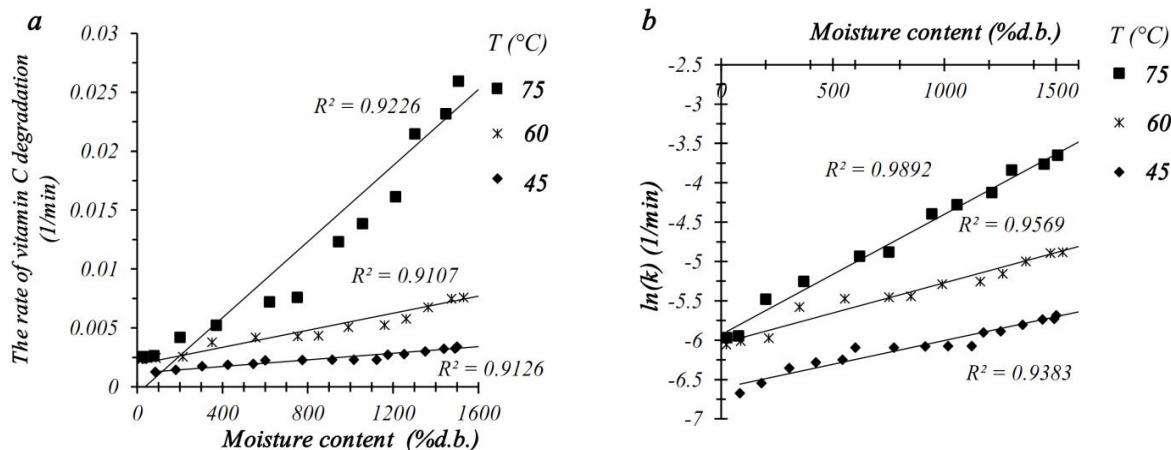


Fig 5 (a) The rate of vitamin C degradation versus moisture content and (b) natural logarithm of vitamin C degradation rate constant (k) in different experimental conditions

۳-۳- غلظت ویتامین ث

می‌دهد، همان طور که از نتایج مشاهده می‌شود دمای خشک کردن در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت ویتامین ث معنی‌دار بود.

جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس دمای خشک کردن بر غلظت نهایی ویتامین ث ورقه‌های خشک‌شده گوجه‌فرنگی را نشان

Table 2 Results of analysis of variance for vitamin C concentration* of tomato powder

F	Mean Squares	Sum Squares	df	Source of variation
194.11**	3.494	3	2	Treatment
	0.018	0.05	3	Error
		7.04	5	Sum

** Significant at 1% levels of probability

با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی میانگین غلظت نهایی ویتامین ث (پس از پایان فرآیند خشک کردن) نسبت به غلظت آن در ابتدای فرآیند خشک کردن به شیوه همرفتی هوای داغ در دماهای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ °C به ترتیب ۳۶/۷۳، ۵۱/۷۴ و ۹۱/۲۷ کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف غلظت ویتامین ث ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده در دمای ۷۵ °C با غلظت ویتامین ث گوجه‌فرنگی‌های خشک‌شده در دماهای ۶۰ و ۷۵ °C از نظر آماری معنی‌دار بودند، درحالی‌که بین غلظت ویتامین ث ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده در دماهای ۴۵ و ۶۰ °C اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، بنابراین به منظور حفظ ویتامین ث و سایر مواد مغذی طی فرآیند خشک کردن گوجه‌فرنگی دماهای پایین‌تر از ۶۰ °C توصیه می‌شود.

۴-۳- شاخص‌های رنگ نهایی

نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح دمای خشک کردن بر تغییرات شاخص‌های رنگ *L، *a و *b گوجه‌فرنگی به ترتیب در جدول ۲، جدول ۳ و جدول ۴ آورده شده است. همان طور که از نتایج این جدول‌ها مشاهده می‌شود، دمای خشک کردن بر همه شاخص‌های رنگ گوجه‌فرنگی خشک‌شده اثر معنی‌داری (P<0.001) داشت.

شکل ۶ غلظت نهایی ویتامین ث ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک‌شده به روش جریان همرفت هوای داغ در دماهای ۴۵، ۶۰ و ۷۵ °C را نشان می‌دهد. همان طور که انتظار می‌رفت افزایش دمای خشک کردن سبب کاهش مقدار غلظت ویتامین ث شد. با توجه به نتایج شکل ۶ مشاهده می‌شود که بیشترین غلظت ویتامین ث پس از اتمام فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دمای ۴۵ °C برابر با ۲/۹۷ mg_{ascorbi}/g_{DM} به‌دست آمد و کمترین مقدار غلظت ویتامین ث پس از اتمام فرآیند خشک شدن در دمای ۷۵ °C به مقدار ۰/۴ mg_{ascorbi}/g_{DM} اندازه‌گیری شد.

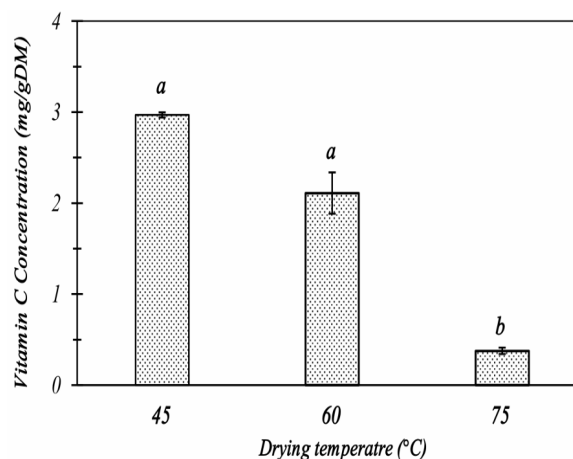


Fig 6 Effect of drying temperature on vitamin C concentration of tomatoes slice (The means followed by the common lowercase letters do not differ significantly at 1% probability level according to Duncan's test).

Table 2 Results of analysis of variance for color index ΔL^* of tomato powder

F	Mean Squares	Sum Squares	df	Source of variation
84.26**	568.081	1136.162	2	Treatment
	6.742	40.452	6	Error
		1166.164	8	Sum

** Significant at 1% levels of probability

Table 3 Results of analysis of variance for color index Δa^* of tomato powder

F	Mean Squares	Sum Squares	df	Source of variation
1603.26**	2276.635	4553.27	2	Treatment
	1.42	8.53	6	Error
		4561.8	8	Sum

** Significant at 1% levels of probability

Table 4 Results of analysis of variance for color index Δb^* of tomato powder

F	Mean Squares	Sum Squares	df	Source of variation
333.83**	356.715	713.43	2	Treatment
	1.075	6.45	6	Error
		719.88	8	Sum

** Significant at 1% levels of probability

نمونه اولیه کاهش ($\Delta L^* & \Delta b^* < 0$) و مقدار شاخص a^* در دمای خشک کردن 75°C افزایش ($\Delta a^* > 0$) و در دمای خشک کردن 45°C و 60°C کاهش ($\Delta a^* < 0$) پیدا کرد که مقدار کاهش آن در دمای 45°C نسبت به دمای 60°C بیشتر بود.

مقادیر میانگین تغییرات شاخص‌های رنگ ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده نسبت به گوجه‌فرنگی تازه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان طور که از نتایج این شکل دیده می‌شود، مقدار شاخص b^* و L^* در همه تیمارها نسبت به

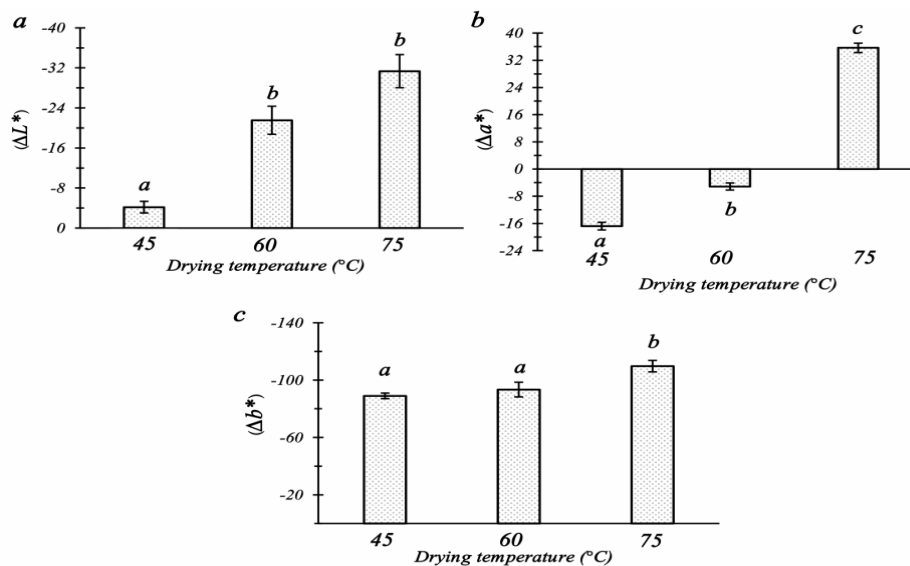


Fig 7 Changes in color indexes of dried tomato slices at 45, 60 °C and 75 °C: (a) ΔL^* , (b) Δa^* and (c) Δb^* (The means followed by the common lowercase letters do not differ significantly at 1% probability level according to Duncan's test).

های خشک شده در دمای 45°C بالاترین کیفیت و بهترین رنگ را داشتند و ورقه‌های گوجه‌فرنگی خشک شده در دمای 75°C دارای کمترین کیفیت و بیشترین تغییر رنگ بودند.

۳-۵- انرژی ویژه مصرفی خشک کردن

جدول ۵ نتایج تجزیه واریانس اثر دمای خشک کردن بر انرژی ویژه مصرفی فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، اثر دمای خشک کردن در سطح احتمال ۱٪ بر مقدار انرژی مصرفی ویژه معنی‌دار بود. شکل ۸ تغییرات انرژی ویژه مصرفی خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی با دمای خشک کردن به روش جریان همرفت هوای داغ در دماهای ۴۵، ۶۰ و 75°C را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای خشک کردن از ۴۵ به 60°C ، انرژی ویژه مصرفی فرآیند خشک کردن نیز افزایش یافت. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که انرژی ویژه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین تغییرات شاخص رنگ L^* گوجه‌فرنگی‌های خشک شده در دمای 45°C نسبت به گوجه‌فرنگی‌های خشک شده در دماهای 60°C و 75°C تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به عبارت دیگر با افزایش دمای خشک شدن به دلیل افزایش نرخ واکنش‌های قهوه‌ای شدن و واکنش‌های کاراملیزاسیون، مقدار تیرگی محصول بیشتر شد. همچنین تغییرات شاخص رنگ a^* بین تمامی سطوح دمایی مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشت و اثر دمای خشک کردن گوجه‌فرنگی در دمای 75°C نسبت به دماهای 45°C و 60°C بر تغییرات شاخص رنگ b^* معنی‌دار بود. علت این تغییرات را می‌توان انجام واکنش‌های شیمیایی دانست که منجر به تجزیه رنگ‌دانه‌های محصول می‌گردند. مقادیر بالاتر شاخص‌های L^* و b^* و مقادیر پایین‌تر شاخص a^* نشان‌دهنده بالاتر بودن کیفیت محصول خشک شده است [۴۱]، بنابراین گوجه‌فرنگی-

ظرفیت تولید می‌گردد. مقدار انرژی ویژه مصرفی خشک کردن در دماهای ۶۰ و ۷۵ °C اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشتند.

مصرفی فرآیند خشک شدن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دمای ۴۵ °C نسبت به دماهای ۶۰ و ۷۵ °C به صورت معنی‌داری کاهش یافت هر چند با کاهش زمان خشک کردن، زمان انجام فرآیند خشک شدن افزایش می‌یابد که این امر منجر به کاهش

Table 5 Results of analysis of variance for specific energy consumption of tomato slice drying.

F	Mean Squares	Sum Squares	df	Source of variation
40.14**	1059821.48	21196436.96	2	Treatment
	264023.69	158412.174	6	Error
		22780579.13	8	Sum

** Significant at 1% levels of probability

دلیل این کاهش را می‌توان انجام واکنش‌های اکسیداسیون به هنگام اضافه کردن رطوبت و جذب آن و همچنین در معرض حرارت قرار گرفتن مواد خام طی فرآیند قرص‌سازی به دلیل افزایش دمای قالب به علت وجود اصطکاک مواد با دیواره قالب بیان کرد.

نتایج نشان داد که تأثیر متغیرهای دمای هوای خشک‌کن و محتوای رطوبتی خمیر حاصل از پودر گوجه‌فرنگی خشک‌شده و همچنین اثر متقابل آنها بر غلظت ویتامین ث در سطح احتمال ۱٪ از نظر آماری معنی‌دار بودند. دما و محتوای رطوبتی اثر منفی بر غلظت ویتامین ث دارند. به نحوی که بیشترین غلظت ویتامین ث در کمترین سطح از دمای خشک‌کردن و محتوای رطوبتی مواد خام برابر با $1/55 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ به دست آمد. افزایش محتوای رطوبتی سبب افزایش زمان فرآیند خشک شدن می‌شود، در نتیجه محصول مدت بیشتری در معرض حرارت و اکسیژن قرار می‌گیرد که همین مسئله نرخ تخریب ویتامین ث آن را افزایش می‌دهد. کمترین تخریب ویتامین ث در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه با محتوای رطوبتی $25\% \text{ d.b.}$ و خشک کردن در دمای ۳۰ °C به دست آمد. تحت این شرایط غلظت ویتامین ث از $1/55 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ در ابتدای فرآیند خشک کردن به $2/01 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ در انتهای فرآیند خشک کردن رسید و به مقدار $22/8\%$ درصد کاهش یافت. بیشترین نرخ تخریب ویتامین ث در شرایط قرص‌سازی از پودر گوجه‌فرنگی با محتوای رطوبتی $25\% \text{ d.b.}$ و خشک کردن آن در دمای ۵۰ °C به دست آمد که در این شرایط غلظت ویتامین ث در ابتدای فرآیند خشک کردن $1/84 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ بود که در انتهای فرآیند خشک کردن به $0/2 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ رسید و به مقدار $89/13\%$ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد، غلظت اولیه ویتامین ث قرص‌های فشرده گوجه‌فرنگی (قبل از آغاز فرآیند خشک شدن) که در

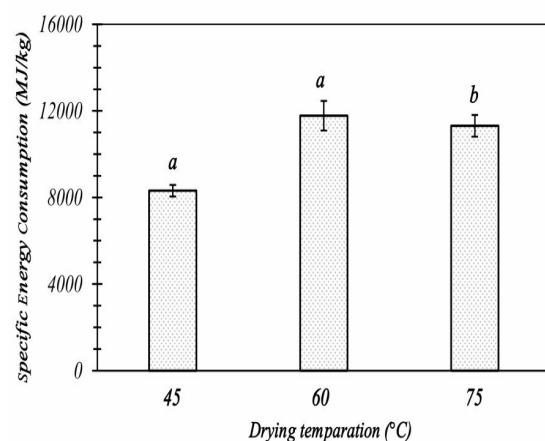


Fig 7 Effect of drying temperature on specific energy consumption for drying operation of tomatoes slice (The means followed by the common lowercase letters do not differ significantly at 1% probability level according to Duncan's test).

با توجه به اینکه طی فرآیند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی در دمای ۴۵ °C مقدار انرژی مصرفی ویژه نسبت به دیگر دماهای مورد مطالعه پایین‌تر بود، تغییرات رنگ محصول نهایی کمتر و مقدار تخریب ویتامین ث (به عنوان شاخصی برای حفظ ارزش غذایی) نیز کمتر بود، بنابراین دمای ۴۵ °C به عنوان دمای بهینه برای خشک کردن گوجه‌فرنگی‌های تازه انتخاب شد و گوجه‌فرنگی‌های خشک‌شده در این دما برای انجام فرآیند قرص‌سازی تا اندازه ذرات کمتر از $0/4 \text{ mm}$ پودر شدند.

۳-۶- غلظت ویتامین ث قرص فشرده

غلظت ویتامین ث قرص‌های فشرده بلافاصله بعد از اتمام فرآیند قرص‌سازی اندازه‌گیری شد که مقدار آن برای قرص‌های تشکیل‌شده از پودر گوجه‌فرنگی در محتوای رطوبتی ۲۵، ۴۰ و $50\% \text{ d.b.}$ به ترتیب برابر با $2/01$ ، $1/96$ و $1/84 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ درحالی‌که این مقدار برای پودر گوجه‌فرنگی خشک‌شده $2/97 \text{ mg}_{\text{ascorbic}}/\text{gDM}$ به دست آمد.

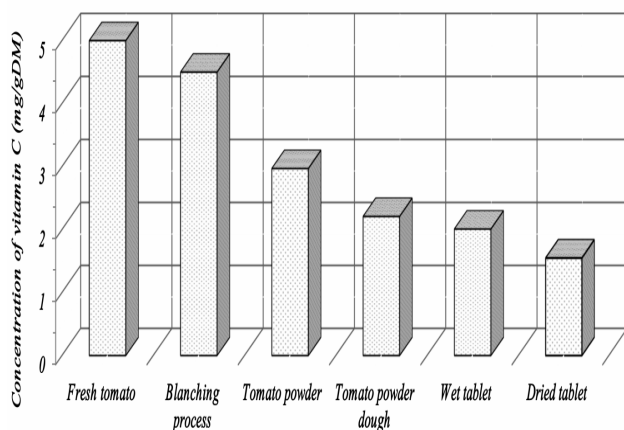


Fig 8 The concentration of vitamin C at the end of each production process of the tomato tablet under optimum conditions.

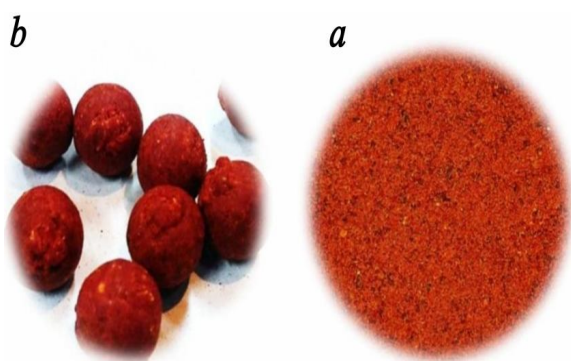


Fig 9 (a) Tomato powder produced under drying temperature 45 °C with particle size less than 0.4 mm and (b) Compressed tablets produced from tomato powder in optimum moisture content 25 %d.b., dried at 30 °C.

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش های خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی، پودر سازی، قرص سازی و خشک کردن نهایی قرص فشرده نتایج زیر از این پژوهش قابل استنتاج هستند: ۱- افزایش دمای هوای ورودی به خشک کن از ۴۵ به ۶۰ °C سبب کاهش غلظت ویتامین ث ورقه های گوجه فرنگی شد هرچند مقدار این کاهش معنی دار نبود و افزایش دمای خشک کردن از ۶۰ به ۷۵ °C سبب کاهش معنی دار غلظت نهایی ویتامین ث شد، به طوری که پس از اتمام فرآیند خشک کردن در دمای ۷۵ °C کمتر از ۹٪ غلظت ویتامین ث حفظ شد. ۲- دمای خشک کردن اثر معنی داری بر تغییرات رنگ گوجه فرنگی های خشک شده نسبت به گوجه فرنگی های تازه داشت که مقدار آن به نوعی بیانگر شدت تخریب مواد مغذی گوجه فرنگی طی عملیات فرآوری آن بود. ۳- کاهش دمای

محتوای رطوبتی کمتر تشکیل شده اند، نسبت به قرص های فشرده گوجه فرنگی که در محتوای رطوبتی بالاتر تشکیل شدند بیشتر بود، دلیل احتمالی این امر افزایش نرخ انجام واکنش های اکسیداسیون (واکنش تجزیه شیمیایی بین ویتامین ث با اکسیژن موجود در محیط) بود.

۳-۷- شرایط مناسب تولید قرص فشرده گوجه فرنگی

به منظور بررسی اثر هر یک از مراحل تولید قرص فشرده گوجه فرنگی بر غلظت ویتامین ث (به عنوان شاخصی برای حفظ مواد مغذی)، غلظت نهایی ویتامین ث اندازه گیری شده در پایان هر یک از مراحل تولید قرص در شرایط مناسب در شکل ۸ آورده شده است. فرآیندهای قرص سازی در شرایط مناسب شامل تهیه و آماده سازی گوجه فرنگی های تازه (شست و شو و درجه بندی)، پوست گیری توسط عملیات بلانچینگ در آب نمک داغ، ورقه ورقه کردن گوجه فرنگی های پوست کنی شده، خشک کردن آنها به شیوه همرفت هوای داغ در دمای ۴۵ °C، پودر کردن آن توسط آسیاب، تهیه خمیر با محتوای رطوبتی ۲۵ %d.b. از پودر گوجه فرنگی با اضافه کردن محلول فروکتوز و آب، فرآیند تولید قرص گوجه فرنگی و در پایان خشک کردن قرص گوجه فرنگی فشرده شده در دمای ۳۰ °C به شیوه هوای داغ بودند که در هر یک از این مراحل به دلیل در معرض حرارت، رطوبت، اکسیژن و نور قرار گرفتن محصول، مقداری از ویتامین ث آن تجزیه شده و تخریب می گردد. درصد تخریب ویتامین ث در هر یک از مراحل پوست کنی، پودر سازی (خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی و خرد کردن آنها)، رطوبت دهی (تولید خمیر گوجه فرنگی)، قرص سازی و خشک کردن قرص به ترتیب برابر با ۱۰، ۳۴، ۲۸/۹۵، ۳/۳۶ و ۲۲/۸۸٪ به دست آمد. همان طور که مشاهده می شود، بیشترین درصد تخریب ویتامین ث طی فرآیند خشک کردن ورقه های گوجه فرنگی در دمای ۴۵ °C به دست آمد که دلیل اصلی آن رطوبت بالای گوجه فرنگی تازه و در معرض حرارت و اکسیژن قرار گرفتن آن به مدت طولانی (حدود ۸۸۰ min) می باشد، همچنین کمترین درصد تخریب ویتامین ث مربوط به مرحله قرص سازی بود. شکل ۹ پودر گوجه فرنگی و قرص فشرده تولید شده از آن را تحت شرایط بهینه ذکر شده نشان می دهد.

- Dokhani, S. and Sadeghi, M., 2009, Study of Water Loss Kinetics and Quality Characteristics of The Tomato Slices During Drying by Three Methods: Solar Drying, Open-Sun Drying and Hot Air Drying. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 13(47), 445-459.
- [8] Marfil, P., Santos, E. and Telis, V., 2008, Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1642-1647.
- [9] Figiel, A., 2010, Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*, 98(4), 461-470.
- [10] Fernandes, F.A., Rodrigues, S., García-Pérez, J.V. and Cárcel, J.A., 2016, Effects of ultrasound-assisted air-drying on vitamins and carotenoids of cherry tomatoes. *Drying technology*, 34(8), 986-996.
- [11] Goula, A. and Adamopoulos, K., 2006, Retention of ascorbic acid during drying of tomato halves and tomato pulp. *Drying Technology*, 24(1), 57-64.
- [12] Jin, X., Oliviero, T., van der Sman, R.G.M., Verkerk, R., Dekker, M., 2014, Impact of different drying trajectories on degradation of nutritional compounds in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *LWT - Food Science and Technology*, 59(1), 189-195.
- [13] Vega-Gálvez, A., Scala, A.D., 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 annum*, L. var. *Hungarian*). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653.
- [14] Lemus-Mondaca, R., Ah-Hen, K., ega-Gálvez, A., Honores, C. and Moraga, N.O., 2016, Stevia rebaudiana leaves: effect of drying process temperature on bioactive components, antioxidant capacity and natural sweeteners. *Plant foods for human nutrition*, 71(1), 49-56.
- [15] Fellows, P.J., 2009, Food processing technology: principles and practice. Elsevier.
- [16] Yousuf, B., Gul, K., Wani, A.A. and Singh, P., 2016, Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: a review. خشک شدن ورقه‌های گوجه‌فرنگی از ۶۰ به ۴۵ °C علیرغم افزایش زمان خشک‌شدن (کاهش ظرفیت تولید) سبب کاهش انرژی ویژه مصرفی خشک کردن شد. ۴- محتوای رطوبتی اولیه محصول اثر معنی‌داری بر غلظت ویتامین ث داشت به طوری که بیشترین نرخ تخریب ویتامین ث در ابتدای فرآیند خشک کردن که محصول بیشترین محتوای رطوبتی را داشت اتفاق افتاد.
- ## ۵- سپاسگزاری
- بدین وسیله از دانشگاه بوعلی سینا برای تأمین مالی هزینه‌های این پژوهش و همچنین از آزمایشگاه گروه مهندسی صنایع غذایی دانشگاه تربیت مدرس که در انجام برخی آزمایش‌های این پژوهش با ما همکاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.
- ## ۶- منابع
- [1] Dezyani, A., Jafari, S.M., Ziyaeifar, A.M., Ghorbani, M. and Sadeghi Mahoonak A.R., 2018, Optimization of spray drying process of tomato paste by using response surface methodology, *Journal of Food Science and Technology*, 72(14), 47-65.
- [2] FAOSTAT (2014). Global tomato production in 2012. Rome, FAO. (www.fao.org).
- [3] Emam jome, Z., Tahmasbi, M., Piroozii Fard, M. and Asgari, G.R., 2009, Study on the Effect of Osmotic Pretreatment on the Structural and Microstructural Properties of Air-Dried Tomato, *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 39(1), 133- 139.
- [4] Phisut, N., 2012, Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of , 19(4), 1297-1306.
- [5] Aziz, M., Yousf, Y.A., Blanchard, C., Saifullah, M., Farahnaky, A. and Scheiling G., 2018, Material Properties and Tableting of Fruit Powders. *Food Engineering Reviews*, p. 1-15.
- [6] Latapi, G. and Barrett, D.M., 2006, Influence of Pre - drying Treatments on Quality and Safety of Sun - dried Tomatoes. Part I: Use of Steam Blanching, Boiling Brine Blanching, and Dips in Salt or Sodium Metabisulfite. *Journal of food science*, 71(1), 24-31.
- [7] Akbari, M., SHahedi, M., Hmadami, N.,

- Technology Research Journal, 4(4), 355-364.
- [26] Du Toit, R., Volstedt, Y. and Apostolides, Z., 2001, Comparison of the antioxidant content of fruits, vegetables and teas measured as vitamin C equivalents. *Toxicology*, 166(1), 63-69.
- [27] Spínola, V., Llorent-Martínez, E.J., and Castilho, P.C., 2014, Determination of vitamin C in foods: Current state of method validation. *Journal of Chromatography A*, 1369, 2-17.
- [28] Drewnowski, A., 2010, The Nutrient Rich Foods Index helps to identify healthy, affordable foods-. *The American journal of clinical nutrition*, 91(4), 1095-1101.
- [29] Jin, X., Van Boxtel, A., Gerkema, E., Vergeldt, F.J., Van As, j., Van Straten, G., Boom, R.M. and van der Sman, R., 2012, Anomalies in moisture transport during broccoli drying monitored by MRI? *Faraday discussions*, 158(1), 65-75.
- [30] Wongsiriamnuay, T. and Tippayawong, N., 2015, Effect of densification parameters on the properties of maize residue pellets. *Biosystems Engineering*, 139, 111-120.
- [31] Ghasemi, A. and Chayjan, R.A., 2018, Optimization of Pelleting and Infrared-Convection Drying Processes of Food and Agricultural Waste Using Response Surface Methodology (RSM). *Waste and Biomass Valorization*, p. 1-19.
- [32] Abushita, A., Daood, H. and Biacs, P., 2000, Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(6), 2075-2081.
- [33] Sablani, S., Opara, L. and K., Al-Balushi, 2006, Influence of bruising and storage temperature on vitamin C content of tomato fruit. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 4(1), 54-57.
- [34] Toor, R.K. and Savage, G.P., 2005, Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food research international*, 38(5), 487-494.
- [35] Khraisheh, M., McMinn, W. and Magee, T., 2004, Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. *Food research international*, 37(5), 497-503.
- [36] Erenturk, S., Gulaboglu, M.S. and Gultekin, S., 2005, The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Critical reviews in food science and nutrition*, 56(13), 2223-2230.
- [17] Ghasemi, A., Chayjan, R.A. and Najafabadi, H.J., 2018, Optimization of granular waste production based on mechanical properties. *Waste Management*, 75, 82-93.
- [18] Munyaka, A.W., Oey, I., Van Loey, A. and Hendrickx, M., 2010, Application of thermal inactivation of enzymes during vitamin C analysis to study the influence of acidification, crushing and blanching on vitamin C stability in Broccoli (*Brassica oleracea L var. italica*). *Food Chemistry*, 120(2), 591-598.
- [19] Yusof, Y.A., Mohd Salleh, F.S., Chin, N.L., Talib, R. A., 2012, The drying and tableting of pitaya powder. *Journal of Food Process Engineering*, 35(5), 763-771.
- [20] Ong, M., Yusof, Y.A., Aziz, M.j., Chin, M.L. and Amin, N.M., 2014, Characterisation of fast dispersible fruit tablets made from green and ripe mango fruit powders. *Journal of Food Engineering*, 125, 17-23.
- [21] Zea, L.P., Yusof, Y.A., Aziz, M.j., Ling, C.N., Amin, N.M., 2013, Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. *Powder technology*, 247, 112-119.
- [22] Adiba, B.D., Salem, B., Nabil, S. and Abdelhakim, M., 2011, Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera L.*) and spirulina (*Spirulina sp.*) powders. *Powder Technology*, 208(3), 725-730.
- [23] Davoodi, M.G., Vijayanad, P., Kulkarni, S.G. and Ramana, K.V.R., 2007, Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. *LWT-Food Science and Technology*, 40(10), 1832-1840.
- [24] Chayjan, R.A., Salari, K., Abedi, Q. and Sabziparvar, A.A., 2013, Modeling moisture diffusivity, activation energy and specific energy consumption of squash seeds in a semi fluidized and fluidized bed drying. *Journal of food science and technology*, 2013. 50(4), 667-677.
- [25] Yeganeh, F.A., 2015, Compare the results of the three methods, optical spectroscopy, voltammetry and titration in the measurment of vitamin c in friut sampels distributed in qom market. *Iranian Food Science and*

- [39] Bluestein, P.M. and Labuza, T.P., 1988, Effects of moisture removal on nutrients, in Nutritional evaluation of food processing, Springer, 393-422.
- [40] Oliviero, T., Verkerk, R., Van Boekel, M. and Dekker, M., 2014, Effect of water content and temperature on inactivation kinetics of myrosinase in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). Food chemistry, 163, 197-201.
- [41] Maskan, M., 2000, Microwave/air and microwave finish drying of banana. Journal of food engineering, 44(2), 71-78.
- Engineering, 68(4), 513-518.
- [37] Wang, B., Jin, X. and Chen, X.D., 2017, Investigation on the relationship between the integrity of food matrix and nutrient extraction yield of broccoli. LWT-Food Science and Technology, 85, 170-174.
- [38] Kajiyama, T., Hubinger, M. and Menegalli, F, 1988, Food quality degradation in co-current and counter-current moving bed dryers. in Proceedings of the 11th International Drying Symposium IDS.

Study on Drying, Powdering and Compression Processes to produce Healthy Tablet from Fresh Tomatoes

Ghasemi, A. ¹, Amiri Chayjan, R. ^{2*}, Azizi Tabriz zad, M. H. ³

1. Ph.D. student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Associate professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

(Received: 2019/06/02 Accepted:2019/08/05)

Degradation of nutrients and change in the food quantity occur during the food processing; so, the food quality and retention nutrients are of the most important aspects of food processing. In this research, the effect of tomato slices drying process on the kinetics of vitamin C (ascorbic acid) degradation, color changes (L^* , a^* and b^*) and the specific energy consumption in order to produce tomato powder was investigated during the hot air drying at 45, 60 and 75 °C. This tomato powder was used to produce tomato compact tablets. Also, the effect of tomato dough moisture content (25, 40 and 55 %d.b.) and drying temperature of wet tomato tablet (30, 40 and 50 °C) on vitamin C concentration (as an indicator for retain nutritional) was investigated during the compression and convective drying processes. The results showed that the drying temperature and moisture content had a significant effect on the retention of vitamin C concentration (product health) when the fresh tomato processing and the production of compact tablet were going on. Drying under lower temperatures and moisture contents helps to retain quality and nutritional value (less degradation of vitamin C) of tomato tablets.

Keywords: Tomato powder, Temperature, Compact tablet, Moisture content, Vitamin C

* Corresponding Author E-mail Address: amirireza@basu.ac.ir