

بررسی تأثیر شرایط مختلف پیش تیمار ترکیبی اسمز - فراصوت بر میزان آب ازدست‌رفته، دریافت مواد جامد و فرایند بازجذب آب ورقه‌های گوجه‌فرنگی

لیمو صالح‌نژاد^۱، روزین رحیمی^۱، عزیز باباپور^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۸/۰۱

پیام‌نگار: bobapoor2006@yahoo.com

چکیده

هدف از این پژوهش، بهره‌گیری از پیش تیمار ترکیبی اسمز-فراصوت و بررسی اثر آن در شرایط مختلف عملیاتی بر میزان آب ازدست‌رفته، میزان دریافت مواد جامد و فرایند بازجذب آب توسط نمونه‌ها پس از خشک‌کردن است. ورقه‌های گوجه‌فرنگی با ضخامت‌های مختلف ۴ و ۸ میلی‌متر برش داده شد و در محلول‌های اسمزی با غلظت‌های مختلف سدیم کلرید در معرض امواج فراصوت با مدت زمان‌های مختلف قرار گرفتند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش زمان پیش تیمار، میزان بازجذب آب کاهش یافت؛ همچنین، با افزایش زمان تابش فراصوتی و غلظت محلول اسمزی، افزایش در میزان آب ازدست‌رفته و جذب مواد جامد مشاهده شد. با افزایش ضخامت ورقه‌ها، میزان آب ازدست‌رفته و جذب مواد جامد کاهش می‌یابد. بنابراین، پیش تیمار ترکیبی اسمز-فراصوت سبب بهبود فرایند خشک‌کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی شد.

کلیدواژه‌ها: گوجه‌فرنگی، اسمز - فراصوت، فرایند بازجذب آب، خشک‌کردن.

۱. مقدمه

گوجه‌فرنگی یکی از سبزیجات پرمصرف است که سطح زیرکشت آن در جهان در مرتبه دوم قرار دارد. گوجه‌فرنگی، هم تازه و هم فرآوری شده در برخی محصولات نظیر عصاره، پوره، سس و کنسروهای گوناگون مصرف می‌شود [۱]. مصرف گوجه‌فرنگی به دلیل

لیکوپن موجود در آن، در پیشگیری از بیماری سرطان مفید است. لیکوپن فراوان‌ترین کاروتن موجود در گوجه‌فرنگی است که یکی از مواد مغذی مهم به شمار می‌رود و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن زیاد است [۲]. با این حال، گوجه‌فرنگی تازه به سرعت فاسد می‌شود که این موضوع در طی دوره برداشت، خسارتهای زیاد وارد می‌آورد. پیشگیری از این خسارات، یکی از مسائل مهم است، بخصوص وقتی بین عرضه و تقاضا در خارج از فصل برداشت عدم تعادل برقرار باشد.

* اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی شیمی

سفید و خودسبز را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در ۴ ساعت اولیه میزان اتلاف آب و جذب مواد جامد در تمام نمونه‌ها افزایش و سپس تارسیدن به حد تعادل به تدریج کاهش یافت [۱۰].

افزون بر آبیگری اسمزی، فراصوت نیز به عنوان پیش‌تیمار قبل از فرایند خشک‌کردن با هدف بهبودبخشی خواص کیفی محصول نهایی خشک شده به کار می‌رود. بهره‌گیری از امواج فراصوت در صنایع غذایی امری جدید است و مطالعات مختصری در این باره صورت گرفته است. پیش‌تیمار فراصوت یک مرحله غوطه‌وری در آب یا محلول آبی آب‌شور با وارد آمدن امواج فراصوت انجام می‌شود [۱۱]. امواج فراصوت باعث ایجاد حباب‌های ریز هوا در داخل محیط مایع و سپس ترکیدن آن‌ها می‌شوند که به این پدیده کاواک‌سازی^۲ می‌گویند. این پدیده با اعمال یک رشته تغییرات در انرژی، منجر به انقباض و انبساط‌های پی در پی می‌شود و در نتیجه کانال‌های میکروسکوپی تشکیل و به سهولت خروج آب از داخل محصول در طی خشک شدن منجر می‌شود [۱۲ و ۱۳]. همچنین، امواج فراصوت با ایجاد حفره باعث حرکت سریع‌تر رطوبت می‌شوند. تغییر شکل مواد جامد متخلخل ناشی از تأثیر امواج فراصوت سبب کاهش انتشار لایه‌های مرزی و افزایش انتقال جرم بر روی ماده غذایی می‌شود [۱۴]. مزیت به‌کارگیری فراصوت این است که می‌توان در دمای محیط و بدون نیاز به گرم کردن آن را انجام داد که احتمال افت مواد مغذی میوه را کاهش می‌دهد. از این رو می‌تواند به عنوان یک پیش‌تیمار در خشک‌کردن محصولات غذایی حساس به گرما به‌کار رود، زیرا به افزایش سرعت و کاهش دمای مورد نیاز برای خشک‌کردن می‌انجامد [۱۵].

نواکا و همکارانش (۲۰۰۷) در تحقیق خود به بررسی چگونگی تأثیر پیش‌تیمار فراصوتی قبل از فرایند آبیگری اسمزی و ریز ساختار ورقه‌های کیوی پرداختند. نتایج نشان دادند که وارد آوردن امواج تابش فراصوتی به مدت بیش از ۱۰ دقیقه، تأثیر مثبتی بر تبادل جرمی ناشی از فرایند آبیگری اسمزی دارد. همچنین، با اعمال فراصوتی قبل از فرایند اسمزی، تشکیل ریزکانال‌ها و افزایش سطح مقطع سلول‌ها مشاهده شد [۱۶]. همچنین، در تحقیقی دیگر توسط جمبرک و همکارانش (۲۰۰۷)، تأثیر پیش‌تیمار فراصوت بر میزان انتقال جرم و ویژگی آبیگری مجدد در طی خشک‌کردن نمونه‌های

فرایند خشک‌کردن گوجه‌فرنگی یکی از راه‌حلهای مناسب برای افزایش ماندگاری این محصول برای تجاری‌سازی به‌شمار می‌آید [۱]. محبوب‌ترین روش خشک‌کردن گوجه‌فرنگی در مناطق استوایی، خشک‌کردن آن با هوای گرم است. این روش به پدید آمدن آثار نامطلوبی بر کیفیت محصول می‌انجامد، که در این میان می‌توان به جمع‌شدگی و سخت شدن محصول، از دست رفتن مواد فرار و معطر و آلودگی فرآورده‌های خشک شده به گرد و غبار اشاره کرد [۳]. اخیراً، گرایش به خشک‌کردن سریع و با کیفیت بالا در مواد غذایی پیدا شده است. دستیابی به یک فرایند کوتاه‌مدت به منظور به حداقل رساندن افت مواد مغذی و ویژگیهای نامطلوب در خلال فرایند خشک‌کردن، مورد نظر است [۴]. روش خشک‌کردن معمولی با هوا، انرژی زیادی می‌طلبد در نتیجه هزینه‌بر است، زیرا انتقال همزمان جرم و حرارت همراه با تغییر فاز اتفاق می‌افتد. پیش‌تیمارها می‌توانند برای کاهش مقدار آب اولیه و تغییر ساختار بافت محصول به کار روند. این کار راهی برای کوتاه کردن مدت زمان خشک شدن و انجام سریع‌تر این فرایند است. فرایندهای سنتی، مانند خشک‌کردن اسمزی، اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و عمدتاً به عنوان یک پیش‌تصفیه در ترکیب با روشهای دیگر به کار گرفته می‌شوند [۵]. این روش شامل غوطه‌ور کردن میوه در یک محلول آب‌شور^۱ به منظور حذف بخشی از آب محصول است. نیروی محرکه برای حذف آب، اختلاف فشار اسمزی بین محصول و محلول آب‌شور است. ساختار سلولی پیچیده ماده غذایی به عنوان یک غشاء نیمه‌تراوا، با ایجاد یک مقاومت اضافی از انتشار آب در آن جلوگیری می‌کند [۶]. محلول قندی در فرایند اسمز بافت را به نحو چشمگیری محافظت می‌کند و به کاهش گسیختگی سلول‌ها، چروکیدگی و نیز بهبود باز جذب آب طی آبیگری مجدد منجر می‌شود [۷].

رائولت (۱۹۹۴) گزارش کرد که معمولاً در اغلب شرایط خشک‌کردن اسمزی، بیشترین میزان انتقال جرم در جهت اتلاف آب در ۲ ساعت اولیه و جذب مواد جامد در ۵۰ دقیقه نخست اتفاق می‌افتد [۸]. نتایج تحقیقات خین و همکارانش (۲۰۰۵) در زمینه خشک‌کردن اسمزی قطعات سیب زمینی نشان داد که با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان اتلاف رطوبت و میزان جذب نمک افزایش یافت [۹]. شوکلا و سینگ (۲۰۰۷) خشک‌کردن اسمزی گل کلم، قارچ خوراکی دکمه‌ای

2. Cavitation

1. Hypertonic

جنی پاپ^۴ حین خشک کردن با هوا پرداختند. نتایج نشان داد که نفوذ آب پس از کاربرد پیش تیمار فراصوتی بر نمونه‌ها افزایش و مدت زمان خشک شدن نهایی آنها کوتاه می‌شود. طی فرایند خشک کردن جنی پاپ، محتوای قند آن کاهش یافت و این نشان می‌دهد که پیش تیمار فراصوتی می‌تواند فرایندی با ارزش در تولید میوه‌های خشک با محتوای قند پایین‌تر باشد [۲۱]. در تحقیقی دیگر، نوکا و همکارانش (۲۰۱۳) به بررسی ریزساختار ورقه‌های کیوی در معرض امواج فراصوتی با استفاده از روش (SEM) میکروسکوپ الکترونی روبشی پرداختند. نتایج نشان دادند که فراصوتی با ایجاد کانال‌های میکروسکوپی باعث تغییر ساختار ورقه‌ها می‌شود. علاوه بر این، در فرایند آبیگری اسمزی نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت، در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارای بافت نامنظم‌تری بودند [۲۲]. کواسکی و همکارانش (۲۰۱۵) به بررسی اثر فراصوتی در پیش تیمار اسمزی و سنتیک خشک شدن با جریان پیوسته و متناوب بر کیفیت نمونه‌های هویج پرداختند. نتایج نشان دادند که خشک کردن متناوب - همرفتی سبب تسریع روند خشک شدن و کیفیت بهتر محصول می‌شود [۲۳]. دهقانیان و همکارانش (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر آبیگری اسمزی به کمک فراصوت بر چروکیدگی آلو به عنوان تابعی از رطوبت و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی به منظور به حداقل رساندن این چروکیدگی پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از آبیگری اسمزی به کمک امواج فراصوتی منجر به کاهش معنی‌داری در میزان چروکیدگی آلو می‌شود و رابطه خطی بین میزان آب ازدست‌رفته و میزان چروکیدگی نمونه برقرار است [۲۴].

برای کمینه‌سازی احتمال تخریب مواد غذایی در دماهای بالا، ترکیبی از فرایند اسمزی و فراصوتی در شرایط محیطی انجام می‌شود [۲۵]. با توجه به این‌که، بر اساس اطلاعات موجود، تاکنون تأثیر به کارگیری هم‌زمان پیش تیمارهای فراصوت و آبیگری اسمزی برای گوجه‌فرنگی به هنگام خشک شدن بررسی نشده، هدف از این تحقیق، مطالعه تأثیر دو پیش تیمار یادشده بر میزان آب ازدست‌رفته، میزان دریافت مواد جامد و قابلیت جذب آب مجدد نمونه‌ها پس از خشک کردن است. نتایج بهینه‌سازی شده می‌تواند به عنوان الگوی مناسب در طراحی سیستم‌های خشک‌کن نسل جدید به کار گرفته شود.

قارچ دکمه‌ای، کلم بروکلی و گل کلم بررسی شد. بنابر نتایج به‌دست آمده، زمان خشک شدن در نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت کاهش یافت. نمونه‌های خشک شده با خشک‌کن انجمادی به همراه نمونه‌های تحت تأثیر فراصوت، بیشترین قابلیت را در آبیگری مجدد بروز دادند. این نتیجه، بیانگر جرم حجمی و آسیب بافتی کمتر و تخلخل بیشتر ناشی از فراصوت و قابلیت بالای این نمونه‌ها در طی آبیگری مجدد است [۱۷]. فرناندس و همکارانش (۲۰۰۸) در تحقیقی تأثیر آبیگری اسمزی به کمک فراصوت را بر روی ورقه‌های آناناس بررسی کردند. بنابر نتایج به‌دست آمده، با افزایش مدت زمان و افزایش بریکس محلول اسمزی، مقدار آب و قند ازدست‌رفته و نیز ضریب نفوذ مجدد آب در ورقه‌های آناناس، به دلیل تشکیل کانال‌های میکروسکوپی افزایش می‌یابد [۱۲]. در تحقیقی دیگر فرناندس و همکارانش (۲۰۰۹) به بررسی تغییرات بافت سلولی آناناس در خلال خشک کردن آن به روش اسمز و فراصوت پرداختند. بنابر نتایج به‌دست آمده، امواج فراصوتی به ایجاد کانال‌های میکروسکوپی در ساختار میوه می‌انجامد. در نتیجه، این امواج باعث کاهش قند و افزایش نفوذ آب به دلیل شکل‌گیری این کانال‌ها می‌شوند [۱۸]. رودریگوس و همکارانش (۲۰۰۹) اثر آبیگری اسمزی با فراصوت را بر ساختار سلولی ساپوتا^۱ بررسی کردند؛ نتایج حاصل از بررسی و آنالیز کاربرد اسمز همراه با فراصوت با عکس‌های میکروسکوپی، حاکی از تغییرات تدریجی در شکل سلول‌ها، جدا شدن سلول‌ها و ایجاد کانال‌های میکروسکوپی است که به بهبود از دست دادن آب^۲ و دریافت مواد جامد^۳ منجر می‌شود [۱۹]. نوکا و همکارانش (۲۰۱۲)، طی تحقیقی اثر شدت‌های مختلف پیش تیمار فراصوت بر خصوصیات فیزیکی نمونه‌های سیب طی خشک کردن با جریان هوای داغ را بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که با وارد آمدن فراصوت و افزایش زمان اثر آن، میزان انتقال جرم در نمونه‌های پیش تیمار شده با فراصوت نسبت به تیمار شاهد، بیشتر شده و زمان خشک شدن در آنها کاهش یافته است و در نتیجه میزان جرم حجمی ظاهری کاهش و به دنبال آن، میزان تخلخل نمونه‌ها افزایش پیدا کرده است [۲۰]. فرناندس و همکارانش (۲۰۱۲) به بررسی اثر پیش تیمار فراصوتی بر میزان آب ازدست‌رفته میوه

1. Sapota
2. Water Loss (WL)
3. Solid Gain (SG)

4. Genipap



شکل ۲. غلظت‌های مختلف محلول اسمزی.

بشرهای کدگذاری شده به منظور پیش‌تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت، با مدت زمانهای مختلف ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه در معرض امواج فراصوت قرار داده شد. امواج فراصوتی به محلول‌های اسمزی حاوی نمونه‌ها اعمال شد، که در شکل (۳) نمونه‌ها را در پیش‌تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت مشاهده می‌کنیم.



شکل ۳. محلول اسمزی حاوی نمونه‌ها در حمام فراصوت.

۲-۳ خشک کردن نهایی

نمونه‌های پیش‌تیمار شده با محلول اسمزی و فراصوت پس از سپری کردن مدت زمان‌های مشخص، از دستگاه فراصوتی و محلول اسمزی بیرون آورده و روی کاغذ صافی قرار داده شد تا رطوبت سطحی آنها گرفته شود. نمونه‌ها را دوباره با ترازوی دیجیتال وزن کردیم و وزن هر نمونه را بعد از پیش‌تیمار آنها یادداشت کردیم. برای خشک کردن نهایی، نمونه‌ها روی صفحات شیشه‌ای کدگذاری شده قرار گرفتند و در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت، قرار داده شد. سپس نمونه‌های خشک شده را

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ آماده‌سازی نمونه‌ها

برای انجام این کار، گوجه‌فرنگی تازه از بازار اردبیل خریداری و به منظور کاهش شدت تنفس و تغییرات فیزیولوژیکی و شیمیایی، آنها را در یخچال نهادیم. نمونه‌های یکسان گوجه‌فرنگی‌ها از لحاظ رنگ، قطر و بافت دسته‌بندی و برای کارهای پژوهشی انتخاب شدند. پس از شستشو و خشک کردن، با استفاده از کولیس و چاقو به صورت ورقه‌های به ضخامت، ۴ و ۸ میلی‌متری برش داده و ورقه‌های با قطر و وزن یکسان انتخاب شدند (دانه‌های گوجه‌فرنگی برای جلوگیری از خطا و کاهش وزن نمونه بر اثر جدا شدن آنها حین کار، با استفاده از چاقو جدا شدند). رطوبت سطحی برش‌ها با کاغذ صافی گرفته شد. وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری و یادداشت شد. در شکل (۱) برش‌های آماده شده نمونه به منظور پیش‌تیمار را مشاهده می‌کنید.

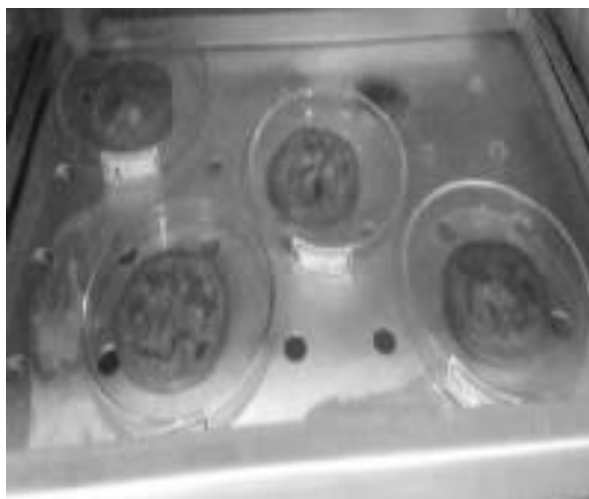


شکل ۱. نمونه‌های آماده شده برای پیش‌تیمار.

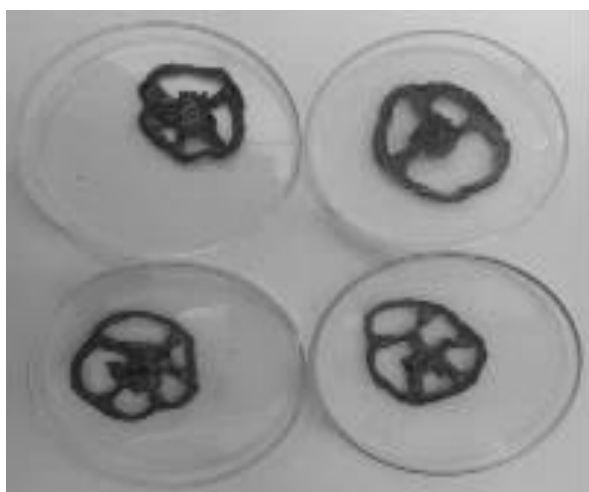
۲-۲ پیش‌تیمار اسمز- فراصوت

سدیم کلرید و گلوکز از شرکت مرک آلمان خریداری و با استفاده از آنها و آب مقطر، محلول‌های اسمزی (۱۰ درصد سدیم کلرید و ۱۰ درصد گلوکز، ۱۵ درصد سدیم کلرید و ۱۰ درصد گلوکز، ۲۰ درصد سدیم کلرید و ۱۰ درصد گلوکز) (وزنی/حجمی) تهیه شد؛ نسبت ۱ به ۴ محلول اسمزی به نمونه، اضافه شد. مطابق شکل (۲)، نمونه‌ها در بشر حاوی محلول اسمزی قرار داده شدند.

بیرون آورده و وزن آنها یادداشت شد. در شکل (۴-الف) نمونه پیش تیمار شده قبل از خشک کردن نهایی و در شکل (۴-ب) نمونه پس از خشک کردن نهایی را مشاهده می کنید.



(الف)



(ب)

شکل ۴. (الف) قرار دادن نمونه‌ها در آون به منظور خشک شدن؛ (ب) نمونه‌های خشک شده.

۴-۲ میزان از دست دادن آب و دریافت مواد جامد

با استفاده از روابط (۱) و (۲)، میزان از دست رفتن آب و دریافت مواد جامد نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

$$\%SG = \left(\frac{W_s - W_t}{W_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$\%WL = \left(\left(\frac{W_0 - W_{0s}}{W_0} \right) \times 100 \right) + SG \quad (2)$$

که در این روابط:

SG%: درصد جذب مواد جامد

W_t : وزن خشک شاهد

W_{0s} : وزن نمونه بعد از پیش تیمار

W_s : وزن خشک نمونه بعد از پیش تیمار

W_0 : وزن اولیه نمونه

WL%: درصد آب از دست رفته

۲-۵ قابلیت جذب مجدد آب

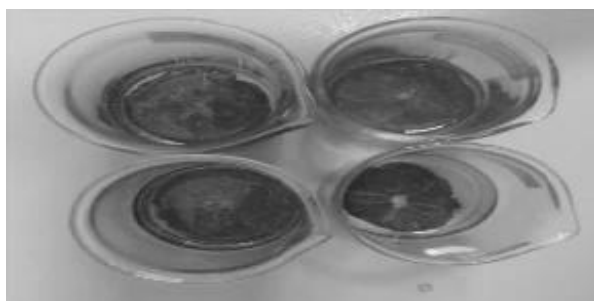
برای اندازه‌گیری قابلیت جذب مجدد آب، ابتدا نمونه‌های خشک شده در آون، وزن شدند. سپس مطابق شکل (۵)، نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت (تا رسیدن به وزن ثابت) در آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰ قرار داده شدند. نمونه‌ها از آب مقطر بیرون و روی کاغذ صافی قرار داده شد تا آب سطحی آنها گرفته و دوباره وزن شدند. با استفاده از رابطه (۳) قابلیت بازجذب آب نمونه‌های خشک شده محاسبه شد.

$$W_g = \frac{W_T}{W_S} \quad (3)$$

در این رابطه:

W_T : وزن نهایی نمونه بعد از جذب آب

W_S : وزن خشک نمونه بعد از پیش تیمار



شکل ۵. قرار دادن نمونه‌های خشک در آب مقطر به منظور اندازه‌گیری قابلیت بازجذب آب.

۳. نتایج و بحث

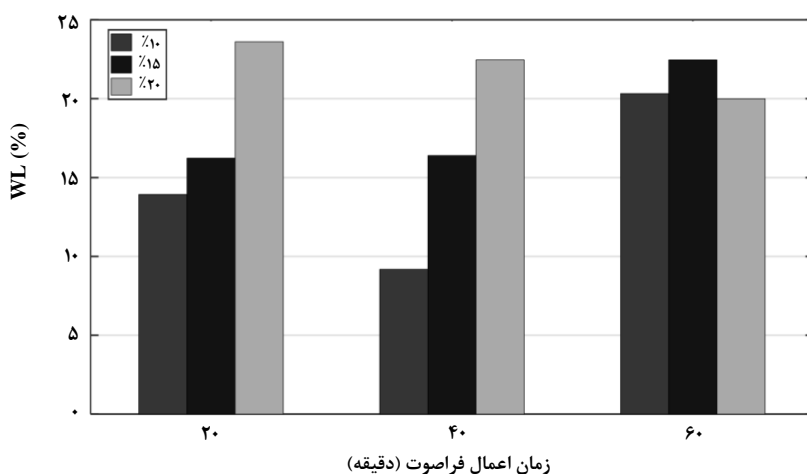
در پژوهش انجام شده، انتقال جرم در طی فرایند خشک کردن ورقه‌های گوجه‌فرنگی به صورت تجربی، با بررسی تأثیر متغیرهای

باید مسیر طولانی تری را در نمونه طی کنند تا به سطح برسند و مقاومت در برابر انتقال جرم بیشتر خواهد بود. با افزایش زمان پیش تیمار، امواج فراصوت با ایجاد حباب‌های ریز و ترکیدن آن‌ها سبب ایجاد پدیده کاواک‌سازی می‌شوند که در نمونه‌ها، به تشکیل کانال‌های میکروسکوپی و سهولت و تسریع خروج آب از داخل آنها انجامید. در نتیجه، مطابق شکل‌های (۶) و (۷)، درصد آب از دست‌رفته افزایش یافت. افزایش غلظت محلول اسمزی در نمونه‌ها سبب ایجاد اختلاف غلظت بیشتر در خارج و داخل نمونه شده (نیروی محرکه انتقال جرم) در نتیجه، درصد رطوبت از دست‌رفته افزایش یافت.

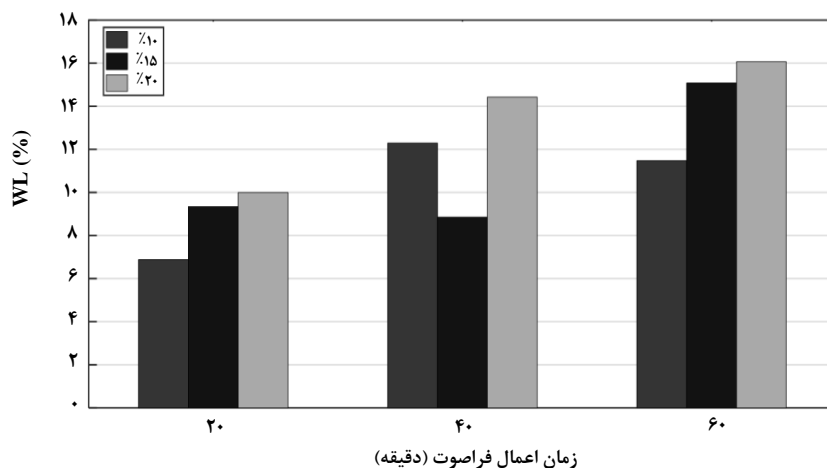
مختلف (ضخامت ورقه‌ها، زمان پیش تیمار و غلظت محلول اسمزی) پیش تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت بر میزان آب گرفته شده و مواد جامد جانشین شده مطالعه شد. سپس میزان بازجذب آب نمونه‌های خشک شده در شرایط مختلف یادشده، بررسی شد.

۳-۱ بررسی نتایج درصد آب گرفته شده و درصد جذب مواد جامد در نمونه‌ها

همان طور که از شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت نمونه‌ها از ۴ میلی‌متر به ۸ میلی‌متر، درصد آب گرفته شده از نمونه‌ها کاهش می‌یابد زیرا با افزایش ضخامت مولکول‌های آب



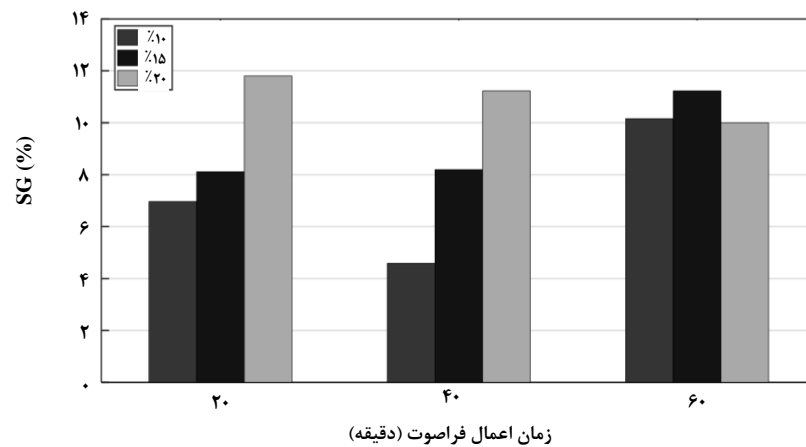
شکل ۶. نمودار درصد آب از دست‌رفته (%WL) ورقه‌های با ضخامت ۴ میلی‌متر تحت پیش تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت.



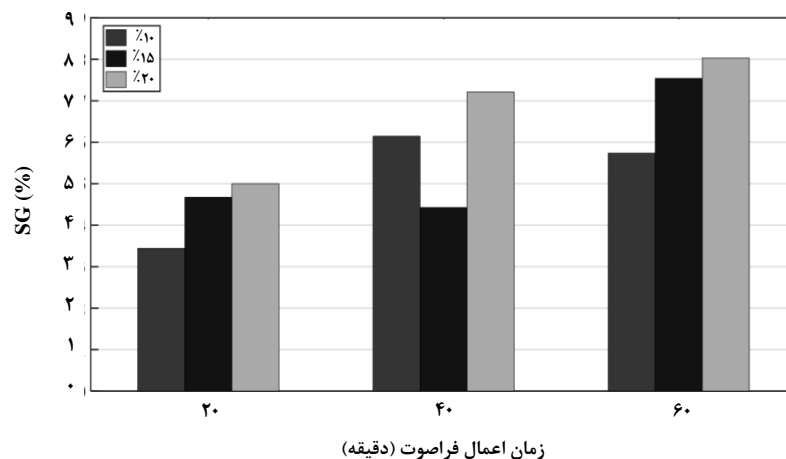
شکل ۷. نمودار درصد آب از دست‌رفته (%WL) ورقه‌های با ضخامت ۸ میلی‌متر تحت پیش تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت.

بنابر نتایج به دست آمده، با افزایش زمان ماندگاری در پیش تیمار اسمز- فراصوت درصد جذب مواد جامد و آب ازدست رفته افزایش یافت. بهره گیری از فراصوت نفوذ موثر آب از درون گوجه فرنگی را افزایش می یابد و در نتیجه زمان مورد نیاز برای خشک کردن کوتاه می شود. این نتیجه مشاهدات بلانکو و همکارانش (۲۰۰۶) را تایید می کند [۱۴]. نتایجی که فرناندس و همکاران (۲۰۰۹) و رودریگوس و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی تأثیر آبگیری اسمزی به کمک فراصوت در آناناس و ساپوتا به دست آوردند [۱۸ و ۱۹]، نتایج به دست آمده در این پژوهش را تأیید می کنند.

با توجه به شکل های (۸) و (۹)، با افزایش ضخامت نمونه ها از ۴ میلی متر به ۸ میلی متر، درصد جذب مواد جامد نمونه ها کاهش می یابد. همان طور که گفته شد با افزایش ضخامت، مقاومت در برابر انتقال جرم افزایش می یابد و انتقال جرم کمتری انجام می شود. با افزایش زمان پیش تیمار و تشکیل کانال های ریز بیشتر در اثر پدیده کاواک سازی، مسیرهای انتقال جرم بیشتر شد؛ در نتیجه همان طور که درصد رطوبت ازدست رفته افزایش یافت، درصد جذب مواد جامد نیز بیشتر شد. تقریباً در همه نمونه ها با افزایش غلظت محلول اسمزی، ناشی از ایجاد اختلاف غلظت بیشتر (نیروی محرکه بیشتر)، درصد جذب مواد جامد افزایش یافت.



شکل ۸. نمودار درصد جذب مواد جامد (SG%) ورقه های با ضخامت ۴ میلی متر تحت پیش تیمار ترکیبی اسمز - فراصوت.



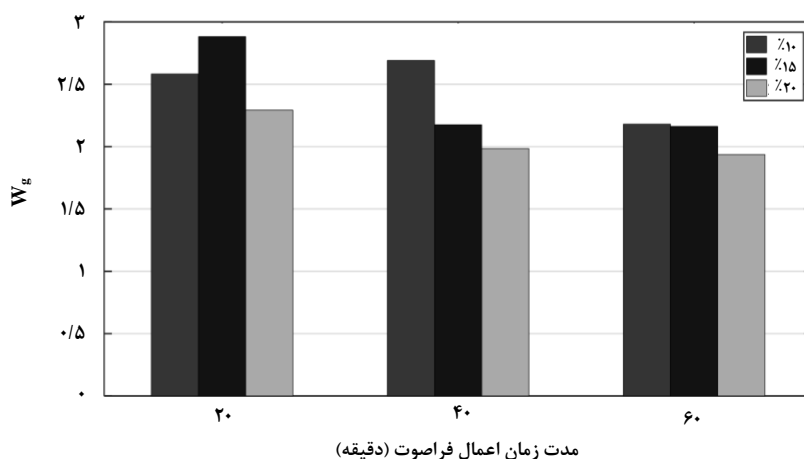
شکل ۹. نمودار درصد جذب مواد جامد (SG%) ورقه های با ضخامت ۸ میلی متر تحت پیش تیمار ترکیبی اسمز - فراصوت.

۲-۳ بررسی نتایج آزمون بازجذب آب

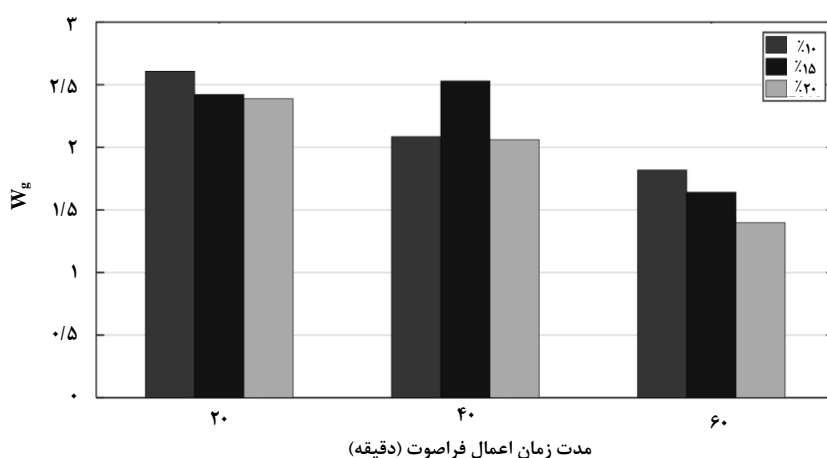
بنابر شکل‌های (۱۰) و (۱۱) قابل مشاهده است، نمونه‌های با ضخامت ۴ میلی‌متر نسبت به نمونه‌های ۸ میلی‌متری قابلیت جذب مجدد آب بهتری دارند. با افزایش غلظت محلول اسمزی درصد بازجذب آب کاهش می‌یابد. علت آن است که با افزایش درصد نمک در محلول، پوششی لزج و چسبناک به صورت یک لایه بر سطح تشکیل می‌شود و در نتیجه درصد بازجذب آب نمونه کاهش می‌یابد. با افزایش زمان قرار گرفتن نمونه‌ها در محلول اسمزی- فراصوت، میزان جذب مجدد آب کاهش یافته است. با توجه به آنکه با گذشت زمان میزان کانال‌های میکروسکوپی تشکیل شده در نمونه، افزایش یافته و در نتیجه آب‌گیری نمونه افزایش و میزان دریافت مواد جامد

نمونه از محلول اسمزی به خلل و فرج آن افزایش می‌یابد، لایه لزج تشکیل شده بر روی سطح نمونه ضخیم‌تر خواهد شد و در نتیجه نمونه بازجذب آب کمتری خواهد داشت.

می‌توان نتیجه گرفت که تابش امواج فراصوت به مدت ۶۰ دقیقه، به دلیل تشکیل کانال‌های میکروسکوپی بیشتر و بافت متخلخل‌تر در نمونه، قابلیت آب‌گیری و دریافت مواد جامد بهتری نسبت به زمان ۲۰ و ۴۰ دقیقه داشته باشد. در حالی که با وارد آمدن فراصوت به مدت ۲۰ دقیقه، در هر یک از محلول‌های اسمزی به دلیل جذب مواد جامد کمتر از محلول اسمزی و نبود لایه‌های لزج، قابلیت بازجذب آب بیشتری مشاهده شد.



شکل ۱۰. نمودار بازجذب آب (Wg) ورقه‌های با ضخامت ۴ میلی‌متر تحت پیش‌تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت.



شکل ۱۱. نمودار بازجذب آب (Wg) ورقه‌های با ضخامت ۸ میلی‌متر تحت پیش‌تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت.

- A., "Effect of osmosis and ultrasound pretreatment on the moisture adsorption isotherms of quince", *Food and Bioproducts Processing*. 90, 266-74, (2012).
- [8] Raoult-Wack, A. L., "Recent advances in the osmotic dehydration of foods", *Trends in Food science & technology*. 5, 255-60, (1994).
- [9] Khin, M. M., Zhou, W., Perera, C., "Development in the combined treatment of coating and osmotic dehydration of food-a review", *International Journal of Food Engineering*. 1, (2005).
- [10] Yadav, A. K., Singh, S. V., "Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review", *Journal of Food Science and Technology*. 51, 1654-73, (2014).
- [11] Chemat, F., Khan, M. K., "Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction", *Ultrasonics sonochemistry*. 18, 813-35, (2011).
- [12] Fernandes, F. A., Gallão, M. I., Rodrigues, S., "Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration", *LWT-Food Science and Technology*. 41, 604-10, (2008).
- [13] Soria, A. C., Villamiel, M., "Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review", *Trends in Food science & technology*. 21, 323-31, (2010).
- [14] De la Fuente-Blanco, S., De Sarabia, E. R. F., Acosta-Aparicio, V., Blanco-Blanco, A., Gallego-Juárez, J., "Food drying process by power ultrasound", *Ultrasonics*. 44, e523-e7, (2006).
- [15] Alamilla-Beltrán, L., Welti-Chanes, J., Chanona-Pérez, J. J., Perea-flores, M. d. J., Gutierrez-López, G. F., "Emerging technologies for food processing", *Food processing handbook*, 205-24, (2011).
- [16] Fernandes, F. A., Rodrigues, S., "Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana", *Journal of food engineering*. 82, 261-7, (2007).
- [17] Jambak, A. R., Mason, T. J., Paniwnyk, L., Lelas, V., "Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties", *Journal of food engineering*. 81, 88-97, (2007).
- [18] Fernandes, F. A., Gallão, M. I., Rodrigues, S., "Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration", *Journal of food engineering*. 90, 186-90, (2009).
- [19] Rodrigues, S., Gomes, M. C., Gallão, M. I., Fernandes, F. A., "Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration on cell structure of sapotas", *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89, 665-700, (2009).
- [20] Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., Witrowa-Rajchert, D., "Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties", *Journal of food engineering*. 113, 427-33, (2012).

۴. نتیجه‌گیری کلی

بنابر نتایج به دست آمده، پیش تیمار ترکیبی اسمز- فراصوت می‌تواند در فرایند خشک کردن نهایی و میزان بازجذب آب ورقه‌های گوجه‌فرنگی نقش مطلوبی ایفا کند. با افزایش غلظت محلول اسمزی، درصد آب ازدست‌رفته و درصد جذب مواد جامد نمونه‌ها افزایش و میزان بازجذب آب نمونه‌ها به دلیل تشکیل پوششی لزج و چسبناک بر روی سطح نمونه درصد بازجذب آب کاهش یافت. با افزایش زمان قرار گرفتن ورقه‌های تحت پیش تیمار اسمزی- فراصوت، میزان جذب مجدد آب کاهش و میزان جذب مواد جامد و میزان آب ازدست‌رفته افزایش یافته است. ضخامت ورقه‌های مورد آزمایش نیز یکی از عوامل تأثیرگذار در فرایند خشک کردن است بررسی شد. مشاهده شد که با کاهش ضخامت ورقه‌ها، میزان آب ازدست‌رفته، قابلیت جذب مجدد آب و درصد جذب مواد جامد افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش ضخامت مدت زمان بیشتری برای بالا آمدن آب به سطح و تبخیر آن لازم است. همچنین، مواد جامد باید عمق بیشتری را برای نفوذ در نمونه طی کنند. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان پارامتر مهم فنی و اقتصادی در صنایع غذایی به کار گرفته شوند.

مراجع

- [1] Akanbi, C. T., Adeyemi, R. S., Ojo, A., "Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices", *Journal of food engineering*. 73, 157-63, (2006).
- [2] Shi, J., Le Maguer, M., Kakuda, Y., Liptay, A., Niekamp, F., "Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration", *Food Research International*. 32, 15-21, (1999).
- [3] Andritsos, N., Dalampakis, P., Kolios, N., "Use of geothermal energy for tomato drying". (2003).
- [4] Orikasa, T., Wu, L., Shiina, T., Tagawa, A., "Drying characteristics of kiwifruit during hot air drying", *Journal of food engineering*. 85, 303-8, (2008).
- [5] Stojanovic, J., Silva, J., "Influence of osmoconcentration, continuous high-frequency ultrasound and dehydration on properties and microstructure of rabbiteye blueberries", *Drying Technology*. 24, 71-165, (2006).
- [6] Simal, S., Benedito, J., Sánchez, E. S., Rosselló, C., "Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration", *Journal of food engineering*. 36, 323-36, (1998).
- [7] Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., Mortazavi, S.

- [21] Fernandes, F. A., Rodrigues, S., "Ultrasound as pre-treatment for drying of genipap (*Genipa americana* L.) ", *International Journal of Food Engineering*. 8, (2012).
- [22] Nowacka, M., Tylewicz, U., Balestra, F., Rosa, M., Witrowa-Rajcherta, D., "Microstructure changes of osmodehydrated kiwifruit sliced pretreated with ultrasound", In: *Inside food symposium, Materiały Konferencyjne*. Vol. 16, (2013).
- [23] Kowalski, S., Szadzińska, J., Pawłowski, A., "Ultrasonic-assisted osmotic dehydration of carrot followed by convective drying with continuous and intermittent heating", *Drying Technology*. 33, 1570-80, (2015).
- [24] Dehghannya, J., Gorbani, R., Ghanbarzadeh, B., "Shrinkage of Mirabelle plum during hot air drying as influenced by ultrasound-assisted osmotic dehydration", *International journal of food properties*. 19, 1093-103, (2016).
- [25] Nowacka, M., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla Rosa, M., Witrowa-Rajchert, D., "Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration", *Food Chemistry*. 144, 18-25, (2014).