

امکان باز استفاده از محلول اسمزی در فرآیند آبگیری اسمزی سیب زرد لبنانی و بررسی خصوصیات کیفی محصول

حمید توکلی پور^{۱*}، حامد فاطمیان^۲، آرزو فتح آبادی^۳

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۲- گروه تکنولوژی پس از برداشت، موسسه فنی و مهندسی کرج، سازمان تحقیقات کشاورزی، کرج، ایران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۸

چکیده

فرایند آبگیری اسمزی در تولید مواد غذایی با رطوبت متوسط به عنوان یک فرآیند مقدماتی در فرآوری میوه و سبزی‌ها، به منظور اصلاح کیفیت، کاهش هزینه انرژی و ساماندهی محصول نهایی به کار می‌رود. در این مطالعه اثر تعداد دفعات آبگیری (از صفر تا چهار مرتبه) و غلظت محلول اسمزی ساکارز (۵۰ و ۶۰ %W/W) بر ویژگی‌های کیفی سیب رقم گلدن دلشس شامل pH، محتوای ویتامین C، سختی بافت، میزان چروکیدگی بافت، بازآب‌پوشی، میزان قهوه‌ای شدن و شاخص رنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد دفعات آبگیری اسمزی از ۱ مرتبه به ۴ مرتبه، pH و تغییرات رنگ نمونه‌های سیب آبگیری شده افزایش و شاخص‌های بازآب‌پوشی (در محلول ۶۰ %W/W)، چروکیدگی، شاخص قهوه‌ای شدن (در محلول ۵۰ %W/W)، ویتامین C و بافت کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که روند تغییرات شاخص‌های کیفی سیب آبگیری شده بر حسب تابعی از دفعات آبگیری، از تابع درجه دوم تبعیت می‌نماید که مقدار ضریب تبیین بدست آمده بیشتر از ۰/۶۵ بدست آمد. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد دفعات آبگیری تا ۴ مرتبه و استفاده از غلظت ۵۰ %W/W محلول اسمزی ساکارز می‌تواند به منظور پیش تیمار آبگیری اسمزی در صنعت تولید برگه سیب استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آبگیری اسمزی، ویتامین ث، باز استفاده از محلول اسمزی، ویژگی‌های کیفی، سیب.

۱- مقدمه

آبزدایی محلول تغییر چندانی نمی کند ولی برای افزایش مدت ماندگاری محصول نهایی بهتر است هر بار محلول اسمزی پاستوری شود (۴). ویلا و همکاران (۲۰۰۹) طی پژوهشی که بر روی آبزدایی اسمزی گوجه فرنگی درختی توسط محلول اسمزی ساکارز (بریکس ۶۵) و نسبت محلول به محصول ۵ به ۱ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که هفت بار استفاده پیاپی از محلول اسمزی بدون تغلیظ تأثیری بر روی توان اسمزی محلول نمی گذارد و محلول اسمزی تا نه بار استفاده از نظر میکربی پایدار است (۵). در پژوهش دیگری که بر روی قطعات مکعبی سیب توسط محلول اسمزی ساکارز (بریکس ۶۰) در یک واحد پیش‌تاز کوچک^۴ انجام گردید، محلول اسمزی تا بیست بار با استفاده از یک تبخیرکننده تحت خلاء تغلیظ و بازیافت گردید. اتلاف رطوبت، جذب مواد جامد و رنگ سیب‌های خشک شده بعد از بیست بار استفاده با محلول اسمزی تازه تفاوت چندانی نداشت (۶). گارسیا مارتینز و همکاران (۲۰۰۲) در پژوهشی تأثیر ۱۰ بار استفاده از محلول اسمزی و نسبت محلول اسمزی به میوه (از ۱ به ۵ تا ۱ به ۲۰) را بر روی آبگیری اسمزی کیوی مورد مطالعه قرار دادند و تغییرات مواد جامد محلول، فعالیت آبی، pH، هدایت الکتریکی، چگالی، ویسکوزیته، رنگ و تغییرات میکروبیولوژیکی محلول اسمزی را پایش نمودند. با توجه به نتایج فوق مشاهده شد که بکارگیری مجدد محلول اسمزی تا ۱۰ بار، هیچ تأثیری بر روی نرخ آبگیری میوه، رنگ میوه یا آلودگی میکروبی قابل ملاحظه ندارد (۷). هدف اصلی از این پژوهش بررسی امکان باز استفاده از محلول اسمزی ساکارز در فرآیند آبگیری اسمزی سیب است. پایش تغییرات خواص فیزیکوشیمیایی سیب و محلول ساکارز پس از استفاده‌های متوالی از محلول اسمزی و تأثیر آن بر روی ویژگی‌های کیفی محصول نهایی نیز از اهداف فرعی این پژوهش است.

اساس فرآیند خشک کردن به روش اسمزی، قرار دادن قطعات مواد غذایی مانند میوه و سبزی در یک محلول هایپرتونیک است. این محلول‌ها دارای فشار اسمزی بالاتر و فعالیت آبی کمتری در مقایسه با سلول‌های مواد غذایی هستند (۱). با توجه به اینکه دیواره سلول‌های مواد غذایی می‌تواند به عنوان یک غشاء نیمه تراوا عمل کند، لذا یک نیروی محرکه مؤثر جهت حرکت آب بین ماده غذایی و محلول اسمزی ایجاد می‌شود و چون این دیواره کاملاً انتخابی عمل نمی‌کند، لذا همواره نفوذهایی از مواد حل شده محلول به درون ماده غذایی و بالعکس اتفاق می‌افتد (۱، ۲). مطالعات متعددی در زمینه امکان باز استفاده از محلول اسمزی در فرآیند اسمزی محصولات مختلف به عنوان یک مرحله مقدماتی قبل از خشک کردن تکمیلی گزارش شده است. دالیوریا و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای، باز استفاده از محلول اسمزی سوربیتول را جهت فرآیند آبگیری اسمزی یاکون^۲ (*Smallanthus sonchifolius*) تحت شرایط خلاء ضربانی^۳ مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه محلول اسمزی سوربیتول (۳۵ kg/۱۰۰ kg)، ۱۵ بار پیاپی برای آبگیری یاکون استفاده شد (دمای آبگیری ۳۵ درجه سانتیگراد و مدت آبگیری ۳۰۰ دقیقه) و تغییرات مواد جامد محلول، فعالیت آبی، pH، کدورت، هدایت الکتریکی، چگالی، ویسکوزیته، رنگ و پایداری میکروبیولوژیکی محلول اسمزی مورد ارزیابی قرار گرفت. در میان ویژگی‌های محلول اسمزی، فقط رنگ، هدایت الکتریکی و کدورت محلول به طور معنی‌دار تغییر نمود که این تغییرات با صاف کردن محلول اسمزی می‌تواند کاهش یابد. اما تغییرات ویژگی‌های ماده غذایی تحت تأثیر قرار نگرفت. همچنین آنها گزارش نمودند که محتوای میکروبیولوژیکی محلول اسمزی در یک سطح قابل قبول باقی‌ماند (۳). موراگا و همکاران (۲۰۱۱) خشک کردن اسمزی گریپ فروت را توسط محلول ساکارز (بریکس ۵۵) در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد پس از ۵ بار استفاده پیاپی از محلول اسمزی و بدون تغلیظ و پاستوری کردن انجام دادند و نتیجه گرفتند که قدرت

1 - Hypertonic Solution

2 - Yacon

3 - Pulsed vacuum osmotic dehydration (PVOD)

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- انتخاب واریته و آماده‌سازی ماده اولیه

تقریباً ۲۵ درصد (بر مبنای خشک) خشک و نمونه‌های خشک شده نهایی به منظور تعیین میزان pH، بریکس، ویتامین ث، درصد چروکیدگی، میزان سختی بافت، میزان بازآب‌پوشی، رنگ و میزان قهوه‌ای شدن مورد ارزیابی دقیق آزمایشگاهی قرار گرفتند.

این مطالعه بر روی سیب رقم گلدن دلشس نگهداری شده در سردخانه در دمای صفر درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۸۶-۸۳ درصد انجام شده است. عملیات آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشی شامل شستشو با آب، پوست‌گیری با پوست‌گیر دستی، هسته‌گیری با لوله استیل (به قطر ۱۶ میلی‌متر) و قطعه کردن توسط چاقو به ضخامت ۱۰ میلی‌متر و حلقه کردن به وسیله یک حلقه برش‌دهنده است. در نتیجه حلقه‌های سیب به ضخامت (z=10 mm) و قطر خارجی (D_o=56 mm) و قطر داخلی (D_i=16 mm) بدست آمدند.

۲-۳- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و تغذیه‌ای نمونه‌های آزمایشی

جهت ارزیابی روند تغییرات pH در نمونه‌ها آزمایشی پس از اتمام فرآیند تکمیلی خشک کردن (استفاده از جریان هوای گرم) از دستگاه pH متر دیجیتال مدل ۶۹۱ Metrohm استفاده گردید.

۲-۲- آزدایی اسمزی

۲-۳-۲- اندازه‌گیری میزان ویتامین C
به منظور بررسی اثرات فرآیند بر ارزش تغذیه‌ای محصول نهایی، مقدار ویتامین ث به عنوان شاخصی از کیفیت تغذیه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین مقدار ویتامین ث در نمونه‌های آزمایشی پس از اتمام فرآیند تکمیلی خشک کردن با استفاده از روش شیمیایی ۲،۶-دی کلروفنل ایندوفنل اندازه‌گیری گردید (۸).

پس از آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشی، نمونه‌ها توزین شد. سپس حلقه‌ها با سیم‌های رنگی علامت‌گذاری شده و به بشرهای حاوی محلول اسمزی ساکارز با غلظت‌های ۵۰ و ۶۰ درصد (وزنی/وزنی) با رعایت نسبت محلول اسمزی به نمونه معادل ۴ به ۱ منتقل شدند. برای ثابت نگه داشتن دما در طول آزمایشات، بشرهای حاوی محلول اسمزی و نمونه‌ها در داخل حمام آب (Lauda، مدل E۲۰۰، آلمان) قرار گرفته و تمام آزمایشات در دمای ثابت ۳۰ درجه سانتیگراد ادامه یافتند. به منظور جلوگیری از یکنواختی غلظت محلول اسمزی در اطراف نمونه‌ها در فواصل زمانی منظم (۲ rev/h) با فواصل زمانی ۳۰ دقیقه) محلول به وسیله یک همزن دستی از قسمت پایین به آرامی بهم‌زده و در انتهای فرآیند آبیگری اسمزی بعد از ۱۸۰ دقیقه نمونه‌ها از محلول اسمزی خارج شده و با یک آبکشی سریع سطح آنها با آب مقطر شسته شد. سپس رطوبت سطحی نمونه‌ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن خشک گردید. سپس جهت باز استفاده از محلول اسمزی، نمونه‌های جدیداً مجدداً به محلول اسمزی اضافه و مراحل فرآیند مشابه روش یاد شده در بالا تکرار گردید. ضمناً لازم به ذکر است که نمونه‌های اسمزی شده به منظور تکمیل فرآیند خشک کردن، از طریق جریان هوای گرم با دمای $50^{\circ}\text{C} \pm 1$ و سرعت جریان هوای 1/5 m/s تا رسیدن به محتوای رطوبت نهایی 20 ± 0.5 درصد (بر مبنای مرطوب) معادل

۲-۳-۲- بازآب‌پوشی (RR)

برای اندازه‌گیری ظرفیت جذب مجدد آب در نمونه‌های خشک شده با کمک فرآیند آبیگری اسمزی از روش زیر استفاده شد. ابتدا مقدار مشخصی از هر نمونه (حدوداً ۱۰ گرم) دقیقاً توزین شده و سپس در ارلن‌های محتوی ۱۰۰ گرم آب مقطر (نسبت ۱ به ۱۰) در دمای محیط (۲۵ درجه سانتیگراد) غوطه‌ور و پس از گذشت ۶ ساعت، هر نمونه بعد از آب‌چک کردن دقیقاً توزین و میزان بازآب‌پوشی آن براساس رابطه (۱) تعیین گردید:

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

که در آن، RR میزان بازآب‌پوشی یا نسبت مقدار آب جذب شده در محصول به مقدار وزن اولیه (گرم/گرم)، W_r وزن نمونه بازآب‌پوشی شده (گرم) و W_d وزن نمونه خشک شده قبل از جذب مجدد آب (گرم) می‌باشند (۹). بدیهی است که این نسبت هر قدر بیشتر باشد نشان‌دهنده مطلوبیت شرایط فرآیند خشک

$$BI = \frac{(100(x-0.31))}{0.17}$$

که در آن x از رابطه (۵) بدست می آید:

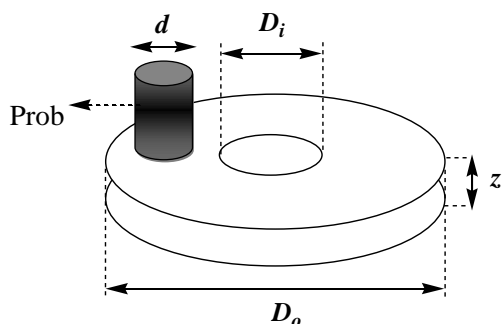
$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

۲-۳-۶- ارزیابی میزان سختی بافت

به منظور اندازه گیری میزان سختی بافت نمونه های آزمایشی در طی فرآیند خشک کردن تکمیلی با استفاده از دستگاه اندازه گیری ویژگی های رئولوژیکی مواد غذایی (مدل Hounsfield-H5KS)، میزان مقاومت بافت هر نمونه از محصول نهایی در مقابل نیروی برشی وارده بر واحد سطح نمونه ای با ضخامت مشخص، اندازه گیری و بر مبنای رابطه تنش برشی با نیرو و سطح تماس به عنوان معیاری از سختی محصول براساس رابطه (۶) اندازه گیری شد (۲).

$$SS = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot l}$$

که در آن، SS مقاومت بافت در مقابل نیروی برشی (N/m²)، F نیروی عمودی وارد بر واحد سطح نمونه آزمایشی (N)، d قطر سطح مورد اثر نیرو (شکل ۱) معادل با قطر پروب دستگاه (در شرایط انجام آزمایش معادل ۰/۰۰۸ متر بود) و l ضخامت نمونه در نقطه وارد آمدن نیرو (m) می باشد.



شکل (۱) ابعاد ظاهری نمونه (سیب) حلقه ای شکل و آزمون بافت سنجی.

کردن و کاهش پدیده پسماند (هیستریزس) می باشد. لازم به یادآوری است که پدیده هایی نظیر چروکیدگی و از بین رفتن سلول ها و مجاری مؤثرین درون بافت مواد غذایی، از دلایل عمده کاهش قابلیت جذب مجدد آب توسط نمونه های خشک شده می باشند (۲).

۲-۳-۴- میزان چروکیدگی بافت

جهت اندازه گیری میزان چروکیدگی بافت نمونه ها در طی فرآیند مطابق شکل (۱) ابعاد ظاهری نمونه های حلقه ای شامل قطرهای خارجی و داخلی و ضخامت آنها با استفاده از کولیس (Vertex، مدل M502، ساخت چین) در ابتدا و انتهای فرآیند خشک کردن تکمیلی (با استفاده از جریان هوای گرم) دقیقاً اندازه گیری و درصد کاهش حجم و به تعبیری میزان چروکیدگی بافت در مرحله خشک کردن تکمیلی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید (۲).

$$SH_T = \frac{V_i - V_f}{V_i} \times 100$$

که در آن، SH_T میزان چروکیدگی در کل فرآیند تولید از ابتدا تا محصول نهایی (درصد)، V_i بیانگر حجم قطعه حلقه مانند در نمونه اولیه (متر مکعب) و V_f بیانگر حجم قطعه حلقه مانند در محصول نهایی پس از عملیات خشک کردن تکمیلی (متر مکعب) می باشند. با توجه به شکل (۱) و براساس روابط هندسی حجم هر قطعه حلقه ای شکل میوه سیب از رابطه (۳) محاسبه می گردد:

$$V = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) z$$

که در آن، V حجم نمونه (متر مکعب)، π ثابت هندسی (معادل ۳/۱۴۱۵۹)، z ضخامت قطعه حلقه ای شکل (متر)، D_o و D_i به ترتیب قطرهای داخلی و خارجی قطعه حلقه ای شکل (متر) می باشند.

۲-۳-۵- میزان قهوه ای شدن نمونه ها

به منظور اندازه گیری تغییرات رنگ و میزان قهوه ای شدن نمونه های مورد آزمایش در طی فرآیند خشک کردن تکمیلی از روش پیشنهادی زیر استفاده گردید. شاخص میزان قهوه ای شدن (BI) با استفاده از رابطه (۴) اندازه گیری شد (۷).

۲-۳-۷- ارزیابی رنگ

قبل و بعد از تمام فرآیندها رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه هانتربل ارزیابی شد. میزان رنگ با استفاده از پارامترهای هانتربل بر حسب روشنی یا سفیدی (L^*)، قرمزی-سبزی (a^*) و زردی-آبی (b^*) بیان گردید. تغییرات کلی رنگ (ΔE) با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد و برای برآورد تغییر رنگ طی خشک کردن مورد استفاده قرار گرفت.

$$\Delta E = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2}$$

که در آن، زیرنویس «صفر» نشان‌دهنده پارامترهای رنگی نمونه‌های سیب تازه است.

۲-۳-۸- تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد. جهت مقایسات میانگین تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد و اثرات متقابل تیمارهای گوناگون بر هر یک از متغیرهای اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزار آماری SAS بررسی گردید.

۳- نتایج و بحث

عمر ماندگاری میوه‌های تازه (به‌خصوص سیب) پس از برداشت نسبتاً کوتاه می‌باشد. بنابراین لزوم ارائه راهکارهایی ارزان و ساده و یا حتی توسعه سایر روش‌های مصرف (مربا، آمبویه، کمپوت و غیره)، از جمله روش‌هایی است که برای جلوگیری از فساد این محصولات پیشنهاد می‌گردد. یکی از این روش‌ها که اغلب بدین منظور استفاده می‌شود، آبیگری اسمزی است. با این وجود، با توجه به اینکه بخش اعظم هزینه‌ها در این فناوری مربوط به ترکیب اسمزی‌کننده (نظیر شکر و غیره) می‌باشد، لذا در این مطالعه امکان باز استفاده از محلول اسمزی جهت صرفه‌جویی در هزینه‌ها و بررسی تأثیر تعداد دفعات آبیگری بر روی خصوصیات کیفی سیب مورد ارزیابی قرار گرفت. از مشاهده جدول ۱ و شکل ۲ می‌توان دریافت که با افزایش تعداد دفعات آبیگری، pH نمونه‌ها افزایش می‌یابد. همچنین روند افزایشی pH نمونه‌های اسمزی در محلول‌های ۶۰ درصد ساکارز دارای شیب بیشتری نسبت به

نمونه‌های اسمزی شده در محلول‌های رقیق‌تر است (به شیب خط رگرسیون مراجعه شود). همچنین نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که تعداد دفعات آبیگری و غلظت محلول اسمزی تأثیر معنی‌داری ($p < 0.05$) بر روی pH نمونه‌ها داشته است و بیشترین مقدار آن بعد از ۴ مرتبه آبیگری و غلظت ۶۰٪ ساکارز مشاهده می‌شود. احتمالاً این امر بدلیل افزایش خروج اسیدهای آلی از درون بافت نمونه‌های غوطه‌ور شده در محلول اسمزی است. نتایج مشابه توسط گارسیا مارتینز و همکاران (۲۰۰۲) مشاهده شد. این محققین تأثیر ۱۰ بار تغلیظ محلول اسمزی را بر روی pH محلول اسمزی مطالعه نمودند. نتایج گزارشات نشان داد که با افزایش تعداد دفعات استفاده از محلول اسمزی میزان pH محلول اسمزی کاهش می‌یابد که به علت خروج اسیدهای آلی موجود در بافت نمونه به درون محلول اسمزی می‌باشد (۷). جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر شرایط فرآیند اسمز بر روی قدرت جذب مجدد آب (بازآب‌پوشی) بر گره‌های سیب در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده است ($p < 0.05$). در بررسی قابلیت جذب مجدد آب محصول نهایی بدست آمده از نمونه‌های اسمزی مشاهده می‌شود (شکل ۲) که اولاً نمونه‌های اسمزی شده در محلول رقیق‌تر (۵۰ درصد) دارای میزان بازآب‌پوشی بیشتری بوده و نیز میزان قابلیت جذب مجدد آب در نمونه‌های اسمزی شده در محلول رقیق‌تر با افزایش تعداد دفعات آبیگری به نحو محسوسی افزایش می‌یابد در حالی که این روند برای نمونه‌های اسمزی شده در محلول‌های غلیظ‌تر (۶۰ درصد) کاملاً از روند نزولی تبعیت می‌نماید. شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت محلول اسمزی از میزان قدرت جذب آب کاسته می‌شود. چرا که در محلول‌های غلیظ‌تر میزان جذب و ورود ماده خشک از محلول اسمزی به بافت میوه‌ها و دیواره سلولی آنها (یعنی فضاهای بین سلولی و لوله‌های مؤتین) بیشتر بوده که این امر سبب می‌شود که فضای بین سلولی و مجاری خالی بافت میوه‌ها توسط مواد جامد پُر شده و عملاً فضای کمتری در اختیار آب قرار گیرد. با مشاهده شکل ۲ و جدول ۱، نمونه‌هایی که در محلول غلیظ‌تر اسمزی شده‌اند میزان چروکیدگی بافت آنها با افزایش تعداد دفعات آبیگری کاهش یافته است. بطوریکه پس از چهار بار

سوبسترا در کنار یکدیگر شده و بدین ترتیب واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی تسریع می‌یابد. البته لازم به ذکر است که با تعدیل شرایط درونی سیب و افزایش pH، احتمال بهبود شرایط برای فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (PPO) نیز مهیاتر می‌شود (۱۲).

جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان می‌دهد که اثر شرایط فرآیند اسمزی بر روی مقدار ویتامین C برگه‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده است ($p < 0.05$). این نتایج نشان می‌دهد که افزایش میزان غلظت محلول‌های اسمزی از ۵۰٪ به ۶۰٪ سبب اُفت بیشتر ویتامین C نمونه‌ها می‌گردد. احتمالاً این حالت به دلیل نیروی محرکه بیشتر محلول اسمزی غلیظ‌تر در خروج ویتامین C (به دلیل محلول در آب بودن) از نمونه‌های تحت آَبگیری می‌باشد. شکل ۲ بیانگر آن است که فرآیند آَبگیری اسمزی نمونه‌ها در محلول رقیق‌تر ساکارز (۵۰ درصد) که مرتباً آَبگیری می‌شود، محتوای ویتامین C را به مقدار قابل ملاحظه‌ای حفظ می‌کند بطوریکه میزان ویتامین C در طی استفاده‌های مجدد از این محلول روندی صعودی دارد. این در حالی است که در محلول‌های غلیظ‌تر (۶۰ درصد) محتوای ویتامین C محصول نهایی با هر بار آَبگیری مجدد، با شیب نسبتاً ملایمی کاهش پیدا می‌کند. همانطور که از شکل ۲ استنباط می‌شود، استفاده از محلول‌های تغلیظ شده اسمزی و افزایش تعداد دفعات آَبگیری میزان سختی بافت محصول نهایی را کاهش می‌دهد. احتمالاً جذب مولکول‌های ساکارز می‌تواند یکی از عوامل مهم در افزایش استحکام بافت نمونه‌های سیب باشد. با توجه به اینکه با افزایش تعداد تغلیظ‌های محلول اسمزی، میزان جذب ساکارز به بافت نمونه‌ها کاهش می‌یابد، انتظار می‌رود که میزان استحکام بافت در مقابل نیروهای برشی وارده کاهش یابد. رحیمی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تأثیر بکارگیری پوشش خوراکی کربوکسی متیل سلولز (CMC) و آَبگیری اسمزی را بر روی خصوصیات کیفی سیب خشک شده به روش انجمادی مطالعه نمودند. آنها گزارش نمودند که با افزایش غلظت محلول اسمزی میزان جذب مواد جامد افزایش می‌یابد (حدوداً از ۲۰٪ به ۶۰٪) که با افزایش میزان انرژی لازم (حداکثر نیرو) برای رسیدن به نقطه شکست در آزمون بافت‌سنجی، همراه است (۱۱). بنابراین با

آَبگیری به میزان حداقل رسیده است. این حالت احتمالاً به دلیل کاهش نیروی محرکه محلول اسمزی در خروج آب از بافت نمونه بوده که سبب شده است بافت نمونه‌ها کمتر چروکیده شوند (۱۰). این پدیده در نمونه‌هایی که در محلول رقیق‌تر (۵۰ درصد) اسمزی شده‌اند کاملاً معکوس بوده و بیشترین میزان چروکیدگی پس از چهار بار آَبگیری متوالی در محلول ۵۰ درصد حاصل شده است. همچنین نتایج تجزیه واریانس نیز نشان می‌دهد که اثر شرایط فرآیند اسمز بر روی چروکیدگی برگه‌های سیب در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده ($p < 0.05$) و بیشترین مقدار چروکیدگی مربوط به نمونه شاهد (محلول اولیه) است. رحیمی و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی تأثیر بکارگیری پوشش خوراکی کربوکسی متیل سلولز (CMC) و آَبگیری اسمزی را بر روی خصوصیات کیفی سیب خشک شده به روش انجمادی مطالعه نمودند. نتایج آنها نشان داد که افزایش غلظت محلول اسمزی (ساکارز) از ۳۰ تا ۶۰٪، سبب افزایش میزان چروکیدگی به میزان ۳۳/۳۳٪ در نمونه‌های آَبگیری شده گردید (۱۱). از شکل ۲ می‌توان دریافت که نمونه‌های اسمزی شده در محلول اسمزی رقیق‌تر (۵۰ درصد) دارای میزان قهوه‌ای شدن کمتری بوده و با افزایش تعداد دفعات آَبگیری میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های آَبگیری شده در هر دو محلول اسمزی رقیق و غلیظ، با شیب نسبتاً ملایمی کاهش می‌یابد (البته این روند کاهشی در مورد محلول اسمزی رقیق‌تر بارزتر است). این امر می‌تواند از تغییرات pH محصول نهایی بدست آمده از نمونه‌های اسمزی شده و شدت فرآیند آَبگیری تبعیت نماید، بطوریکه در نهایت منجر به کاهش پدیده قهوه‌ای شدن بافت نمونه اسمزی در طی آَبگیری‌های متوالی گردد. مطالعات انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش تعداد دفعات آَبگیری، شاخص تغییرات رنگ (ΔE) محصول نهایی بدست آمده از نمونه‌های اسمزی شده افزایش می‌یابد (جدول ۱) لیکن شدت این افزایش در نمونه‌هایی که در محلول‌های غلیظ‌تر ساکارز آَبگیری اسمزی شده‌اند بیشتر است (شکل ۲). جهت انجام واکنش قهوه‌ای شدن آنزیمی به حضور سه سوبسترای اولیه (ترکیبات پلی فنلی، اکسیژن و آنزیم PPO) نیاز می‌باشد. استفاده از محلول اسمزی غلیظ‌تر (۶۰٪ ساکارز) با تلاشی کردن هرچه بیشتر بافت سیب، سبب قرار گرفتن این سه

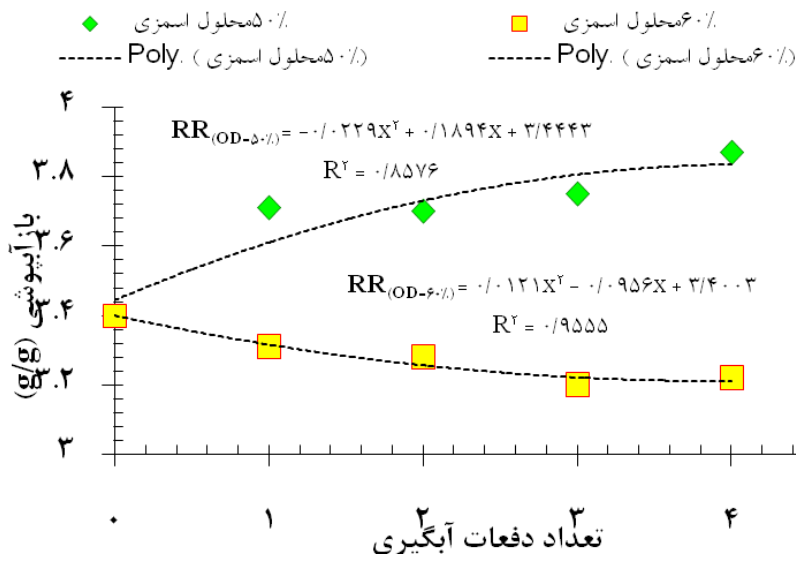
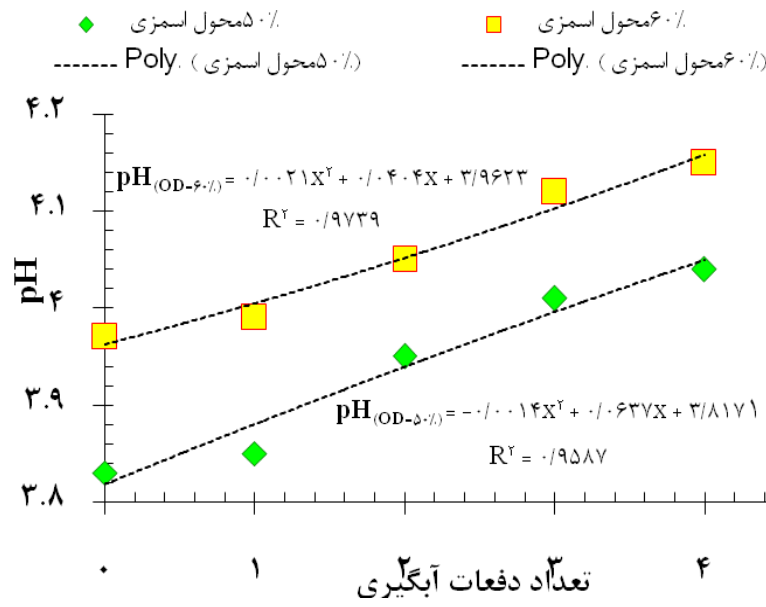
محلول اسمزی (محلول اسمزی رقیق‌تر) عمل نموده و به تعبیری بهتر میزان جذب مواد جامد نمونه نهایی را کاهش دهد که نتایج ارزیابی بافت را به همراه دارد.

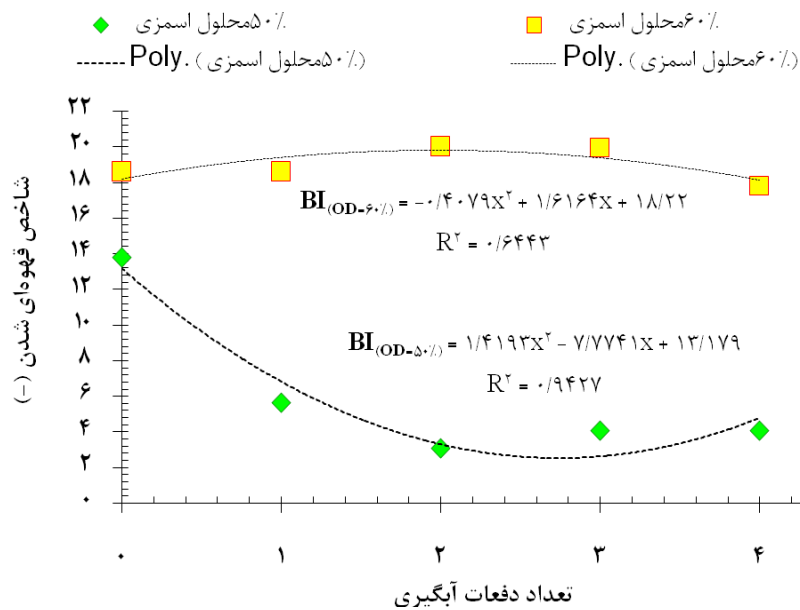
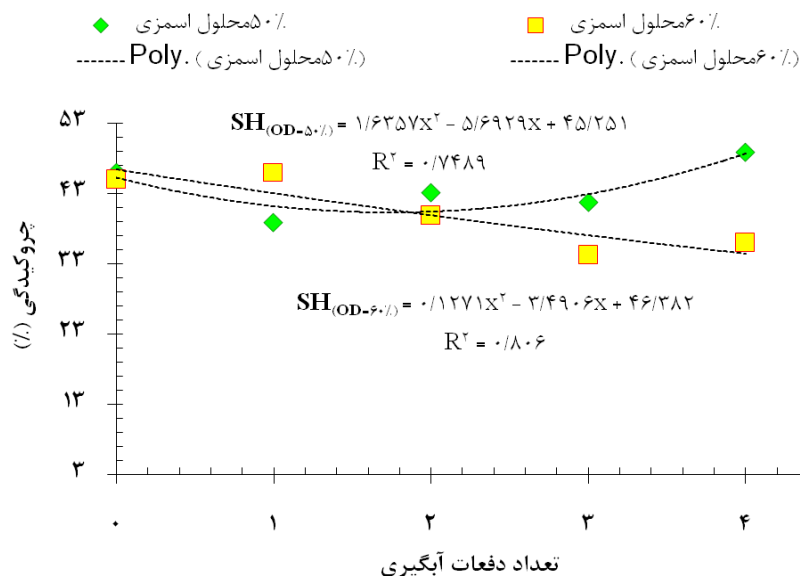
توجه به نتایج این مطالعه می‌توان چنین ادعان داشت که افزایش تعداد دفعات آبگیری به دلیل رقیق کردن محلول اسمزی و اُفت قدرت آبگیری محلول اسمزی، می‌تواند مشابه با کمتر بودن غلظت

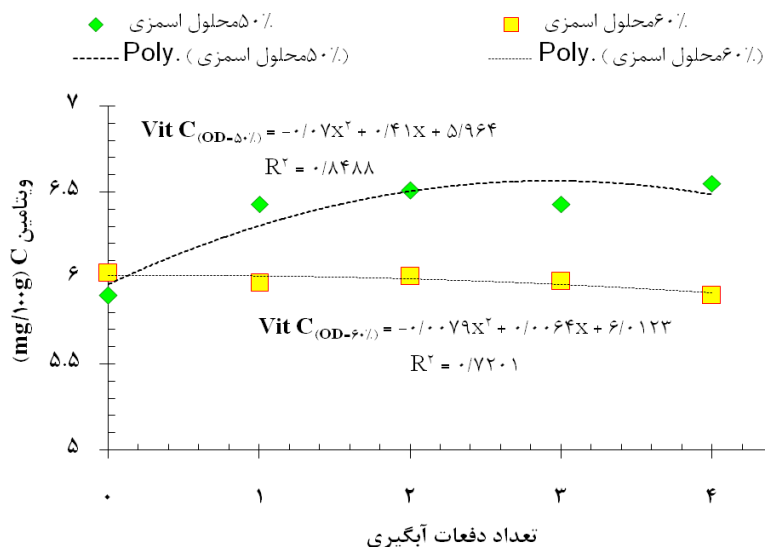
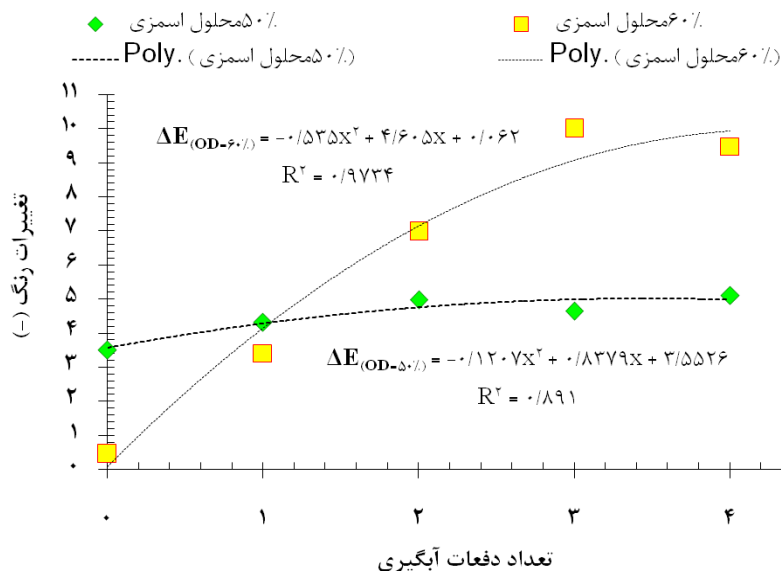
جدول (۱) تأثیر غلظت محلول اسمزی و تعداد دفعات آبگیری بر روی خصوصیات کیفی سیب زرد لبنانی آبگیری شده.

شاخص‌های کیفی*							غلظت محلول اسمزی (%w/w)	دفعات آبگیری
سختی بافت (N/m ²)	ویتامین C (mg/۱۰۰g)	تغییرات رنگ (-)	شاخص قهوه‌ای شدن (-)	چروکیدگی (%)	بازآب‌پوشی (g/g)	pH		
شاهد (محلول اولیه)								
۱/۰۲ ^a	۵/۹۰ ^e	۳/۵۰ ^d	۱۳/۸۰ ^d	۴۶/۰۵ ^a	۳/۴۰ ^{cd}	۳/۸۲ ^e	۵۰	
-	۶/۰۲ ^c	۰/۴۵ ^{۱e}	۱۸/۶۱ ^b	۴۴/۹۰ ^{ab}	۳/۴۰ ^{cd}	۳/۹۶ ^{cde}	۶۰	
یک مرتبه								
۰/۸۶ ^{۳b}	۶/۴۳ ^b	۴/۳۱ ^{cd}	۵/۶۴ ^e	۳۶/۲۰ ^{cd}	۳/۷۵ ^{ab}	۳/۸۴ ^{de}	۵۰	
-	۵/۹۷ ^d	۳/۴۰ ^d	۱۸/۶۰ ^b	۴۸/۰۲ ^a	۳/۱۷ ^e	۴/۰۰ ^{bcd}	۶۰	
دو مرتبه								
۰/۸۱ ^{۱c}	۶/۵۴ ^a	۴/۹۶ ^c	۳/۳۰ ^g	۴۳/۱۵ ^{ab}	۳/۷۰ ^{ab}	۴/۰۷ ^{abc}	۵۰	
-	۶/۰۰ ^{cd}	۶/۹۶ ^b	۲۰/۰۰ ^a	۳۹/۸۰ ^{bc}	۳/۳۴ ^{de}	۴/۰۰ ^{bcd}	۶۰	
سه مرتبه								
۰/۶۹ ^{۲e}	۶/۴۲ ^b	۳/۶۵ ^d	۴/۰۷ ^f	۳۶/۶۷ ^{cd}	۳/۵۹ ^{bc}	۴/۰۰ ^{bcd}	۵۰	
-	۵/۹۸ ^{cd}	۱۰/۰۰ ^a	۱۹/۹۷ ^a	۳۳/۲۱ ^d	۳/۱۴ ^e	۴/۲۲ ^a	۶۰	
چهار مرتبه								
۰/۷۳ ^{۶d}	۶/۵۲ ^a	۵/۱۱ ^c	۴/۱۱ ^f	۴۸/۸۰ ^a	۳/۹۰ ^a	۴/۰۴ ^{bc}	۵۰	
-	۵/۹۰ ^e	۹/۴۷ ^a	۱۷/۸۴ ^c	۳۶/۹۰ ^{cd}	۳/۲۱ ^{de}	۴/۱۴ ^{ab}	۶۰	

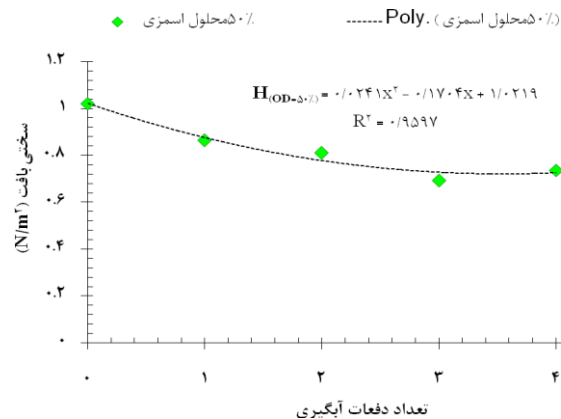
* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵٪ نیستند.







- Nanjundaswamy, A.M. 1989. Advances in dehydration processes for fruits, vegetables and their products. In Trend in Food Science and Technology. M.R. Rao (Editor). IBH Publication.
- De Oliveria, L.F., Correa, J.L.G., Botrel, D.A., Vilela, M.B., Batista, L.R., Freire, L. 2017. Reuse of sorbitol solution in pulsed vacuum osmotic dehydration of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). Journal of Food Processing and Preservation, DOI: 10.1111/jfpp.13306.
- Moraga, M., Moraga, G., Martinez-Navarrete, N. 2011. Effect of the re-use of the osmotic solution on the stability of osmodehydro-refrigerated grapefruit. Journal of LWT- Food Science and Technology, 44(1): 35-41.
- Villa, C.C., Nieto, J.A., Pinzon, M.A. 2009. Compositional and microbiological changes associated with successive osmodehydration cycles of tree tomato. Journal of Biotechnology in the Agricultural and Agro-industrial Sector, 7(1): 29-35.
- Valdez-Fragozo, A., Mujica-Paz, H., Giroux, F., Welte-Chanes, J. 2002. Reuse of sucrose syrup in pilot-scale osmotic dehydration of apple cubes. Journal of Food Process Engineering, 25(2): 125-139.
- García-Martínez, E., Martínez-Monzó, J., Camacho, M.M., Martínez-Navarrete, N. 2002. Characterisation of reused osmotic solution as ingredient in new product formulation. Journal of Food Research International, 35: 307-313.
- Sereno, A.M., Hubinger, M.D., Comesana, J.F., Correa, A. 2001. Prediction of water activity of osmotic solution. Journal of Food Engineering, 49: 103-114.
- Van Arsdel, W.B., Copley, M.G. 1963. Food Dehydration (Vol. 1). AVI Publishing Co., Inc., Westport, Connecticut.
- Mokhtarian, M., Daraei Garmakhany, A. 2017. Prediction of ultrasonic osmotic dehydration properties of courgette by ANN. Journal of Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 9(2): 161-169.
- Rahimi, J., Singh, A., Adewale, P.O., Adedeji, A.A., Ngadi, M.O., Raghavan, V. 2013. Effect of carboxymethyl cellulose coating and osmotic dehydration on freeze



شکل (۲) منحنی‌های تغییرات پارامترهای کیفی سیب زرد لبنانی بر حسب تابعی از تعداد دفعات آبگیری.

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه تیمارهای غلظت محلول اسمزی ساکارز در دو سطح ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی به همراه تعداد دفعات آبگیری متوالی (از یک تا چهار مرتبه) به عنوان متغیرهای اصلی تحقیق بر ویژگی‌های کیفی نمونه آبگیری شده به روش اسمزی نظیر pH، شاخص رنگ و شاخص قهوه‌ای شدن، ویتامین C، میزان چروکیدگی، سختی یافت، قابلیت جذب مجدد آب) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد دفعات آبگیری اسمزی از ۱ مرتبه به ۴ مرتبه، pH و تغییرات رنگ نمونه‌های سیب آبگیری شده افزایش و شاخص‌های، چروکیدگی، ویتامین C و سختی یافت کاهش یافت. همچنین با افزایش تعداد دفعات استفاده از محلول اسمزی، میزان بازآب‌پوشی محصول در محلول ۵۰ و ۶۰٪ وزنی به ترتیب افزایش و کاهش یافت. در خصوص میزان قهوه‌ای شدن نمونه سیب، نتایج حاکی از آن بود که روند تغییرات این شاخص بر حسب تابعی از دفعات آبگیری در نمونه‌های آبگیری شده در محلول ۵۰٪ ساکارز، نزولی می‌باشد.

۵- منابع

- توکلی‌پور، ح. (۱۳۸۶). اصول خشک کردن مواد غذایی و محصولات کشاورزی (ویرایش دوم). انتشارات آبیژ.

drying kinetics of apple slices. *Journal of Foods*, 2: 170-182.

12. Fennema, O.R. 1996. *Food Chemistry*, Marcel Dekker, Inc., New York, NY.