

## استفاده از فناوری پلاسمای سرد به عنوان روشی در جهت اصلاح ساختاری نشاسته ذرت و بررسی عملکردی آن در مدل غذایی

حنانه بهمن پور<sup>۱</sup>، نارملا آصفی<sup>۲</sup>، آیناز علیزاده<sup>۳</sup>

- ۱- دانش آموخته دکترای علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
- ۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
پست الکترونیکی: n.asefi@iaut.ac.ir
- ۳- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** پلاسمای سرد به عنوان راه حلی نوآورانه در تولید و توزیع مواد غذایی سالم و با کیفیت به کار می‌رود. این پژوهش با هدف استفاده از فناوری پلاسمای سرد به عنوان روشی در جهت اصلاح ساختاری نشاسته ذرت و بررسی عملکردی آن در مدل غذایی انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** گرانول‌های نشاسته تحت تیمار پلاسما با دو گاز مختلف به شکل تیمار ۱ (گاز آرگون ۹۵٪ و گاز هیدروژن ۵٪) تیمار ۲ (گاز آرگون ۹۰٪ و گاز اکسیژن ۱۰٪) به مدت ۱۰ دقیقه انجام گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از آزمون میکروسکوپ الکترونی روبشی و قدرت تورم نشاسته، در تیمار ۲ تغییرات بیشتری نسبت به تیمار ۱ و شاهد نشان داد. در نمونه‌های تیمار شده شکاف یا حفره‌های بیشتری نسبت به نمونه‌ی شاهد روی سطح مشاهده می‌شود. pH نمونه‌های تیمار شده کمتر از نمونه شاهد و رطوبت نمونه‌های تیمار شده بیشتر از نمونه شاهد بود با افزایش رطوبت میزان ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های تیمار شده و زمان پخت کاهش یافت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد که پلاسمای سرد دی‌الکتریک را می‌توان برای تولید نشاسته اصلاح شده با ویسکوزیته ظاهری کم در سطح بالا استفاده کرد. توسعه حوزه مطالعات با فناوری پلاسما برای تولید محصولات طبیعی و عاری از افزودنی‌های شیمیایی امکان پذیر می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** پلاسمای سرد، نشاسته ذرت، دسر شیری

### ● مقدمه

را موجب شده است تا خصوصیات جدید یا بهتری بدست آید (۱، ۲). در سال‌های اخیر، توجه بسیاری در استفاده از فرایندهای غیر حرارتی برای پژوهش‌های اصولی در حوزه غذا و کاربردهای تجاری وجود داشته است که از جمله آنها فن‌آوری پلاسمای غیر تعادلی می‌باشد (شکل ۱). عبارت پلاسما به چهارمین حالت ماده و عدم تعادل ترمودینامیکی بین الکترون‌های پراثری و اتم‌ها یا مولکول‌های در حالت پایه (هسته‌های ساکن) برمی‌گردد. این پدیده منجر به تشکیل یک سیستم آدیاباتیک با محتوای بالای انرژی جنبشی در دماهای پایین‌تر از  $70^{\circ}\text{C}$  می‌شود (۳). همچنین پلاسمای سرد ذرات

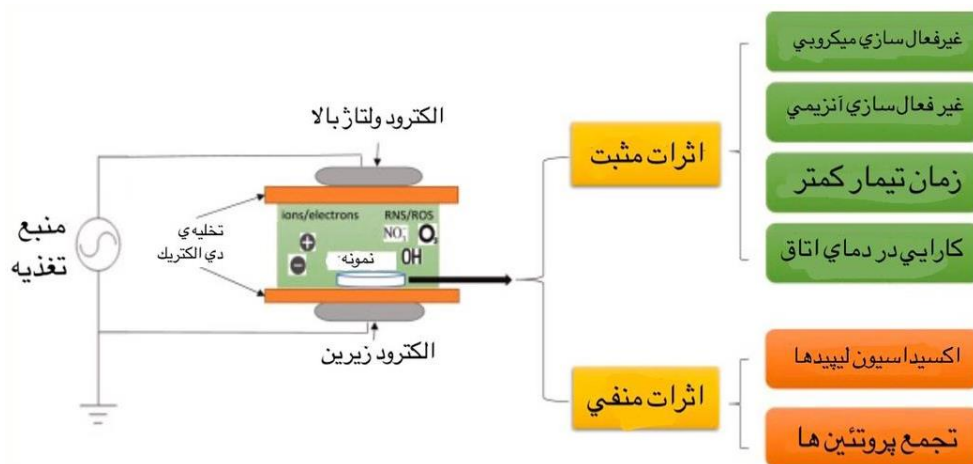
فراوانی زیاد و قیمت نسبتاً پایین باعث شده که نشاسته در بسیاری از فرآورده‌های غذایی و کاربردهای صنعتی استفاده شود. یکی از مهم‌ترین خواص کاربردی نشاسته قابلیت ژلاتینه شدن آن می‌باشد که در بسیاری از محصولات غذایی که تحت فرایندهای حرارتی قرار می‌گیرند، اتفاق می‌افتد. محدودیت‌هایی مانند تورم نامطبوع خمیر نشاسته، نداشتن حالت تغلیظ کنندگی مطلوب، حساسیت بالا به رتروگراداسیون، کدورت درژل ایجاد شده، سینرسیس، نداشتن پایداری انجماد و رفع انجماد و نداشتن تحمل حرارتی در طول فرایندهای غذایی، نیاز به اصلاح نشاسته از نوع ژنتیکی، شیمیایی، فیزیکی، و یا آنزیمی

نتایج حاکی از کاهش درجه اتصال متقاطع مولکول‌های نشاسته در رطوبت نسبی بالا نسبت به نشاسته تحت تیمار با رطوبت نسبی کم است (۸). روشی جدید برای اصلاح نشاسته با پلاسما حاکی از تولید محصولی با اتصالات عرضی بالا است. اصلاحاتی مانند اکسیداسیون و جایگزینی می‌تواند در صورت استفاده از گاز مناسب به سادگی انجام گیرد (۹).

طبق آخرین گزارش‌های علمی، تیمار پلاسما می‌تواند در سه مکانیسم متفاوت مانند اتصال متقاطع، دپلمیریزاسیون و فرورفتگی سطح باعث اصلاح گرانول‌های نشاسته شود. این مکانیسم‌های مختلف منجر به تغییر مکان‌های مختلف پلیمرهای تخریب پذیر می‌شوند (۱۰). محققان گزارش کرده‌اند در تیمار پلاسما با اکسیژن به دلیل تعامل بین گونه‌های فعال شیمیایی، گروه‌های آلدوست قطبی بر روی بیوپلیمر تشکیل می‌شوند و در پلاسما با گاز CO<sub>2</sub> گروه‌های هیدروکسیل‌ها، کتون‌ها، آلدیدها و استرها و در پلاسما ازت و آمونیاک، گروه‌های مختلف آمین از طریق مکانیسم‌های دگرگونی گروه‌های عملکردی ایجاد می‌شوند (۱۱-۱۲).

امروزه بسیاری از کشورهای پیشرفته برای گسترش کاربرد پلاسما سرد در صنایع غذایی، کشاورزی و صنایع وابسته به آن سرمایه‌گذاری کرده‌اند. افزایش روز افزون و چشمگیر مطالعات، طرح‌های تحقیقاتی و تجاری در سال‌های اخیر بر موضوعات متعدد مربوط به این حوزه دلیل روشنی بر این ادعا است. به علت اینکه پلاسما سرد به عنوان راه حلی نوآورانه در تولید و توزیع مواد غذایی سالم و با کیفیت مطلوب معرفی شده است، هدف از پژوهش حاضر استفاده از فناوری پلاسما سرد به عنوان روشی در جهت اصلاح ساختاری نشاسته ذرت و بررسی عملکردی آن در مدل غذایی می‌باشد.

باردار و پیرانرژی (الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی)، رادیکال‌ها، گونه‌های خنثی (اتم‌ها و مولکول‌های برانگیخته) و فوتون‌ها (مرئی و فرابنفش) را منتشر می‌کند. این ذرات، قادر به شکستن پیوندهای کووالانسی می‌باشند که منجر به آغاز واکنش‌های شیمیایی متعدد که اهمیت بالایی در کاربردهای گوناگون تکنولوژیکی دارند، می‌شود (۴). از میان انواع مختلف پلاسما، تخلیه سد دی‌الکتریکی (DBD) یک سیستم پلاسما غیر تعادلی و غیر حرارتی در فشار اتمسفری را بدست می‌دهد که نسبت به تمام سیستم‌های پلاسمایی علاوه بر نداشتن پیچیدگی‌های تحت خلاء با صرف انرژی مصرفی کمتر قادر به فرو شکست گاز و ایجاد پلاسما می‌باشد (۵). از جمله تحقیقات انجام شده بر روی تأثیر استفاده از پلاسما در مواد غذایی، تولید نانوذرات نشاسته‌ای (SNP- Starch nanoparticle) از نشاسته ذرت مومی (Waxy corn starch) WCS و نشاسته سیب زمینی (Potato starch) PS با استفاده از پلاسما تحت خلاء همراه با فراصوت بود و نتایج FTIR، نشان داد که نانوذرات نشاسته‌ای تیمار شده با گروه‌های کربوکسیل منفی پوشش یافته و آنتالپی ژلاتینه شدن و میزان تبلور آنها نسبت به نشاسته سیب زمینی شاهد به طور قابل توجهی کاهش یافت (۶). مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر تیمار پلاسما سرد بر خصوصیات رئولوژیکی نشاسته برنج در دو ولتاژ ورودی مختلف (۴۰ و ۶۰ وات) حاکی از کاهش کدورت و pH بعد از تیمار نشاسته با پلاسما می‌باشد. خواص هیدراتاسیون و بررسی سینرسیس ژل نشان‌دهنده افزایش تراوش آمیلوز بعد از تیمار است (۷). مطالعه‌ای در مورد اصلاح تاپوکا با استفاده پلاسما سرد با جت آرگون اتمسفری نشان داد که مولکول‌های آب در ساختار نشاسته وارد می‌شوند. دو نوع پیوند بین مولکول‌های نشاسته ایجاد می‌شود و درجه اتصال متقاطع را می‌توان از شدت نسبی پیک مشخص کرد.



شکل ۱. برخی از اثرات مثبت و منفی پلاسما در مواد غذایی

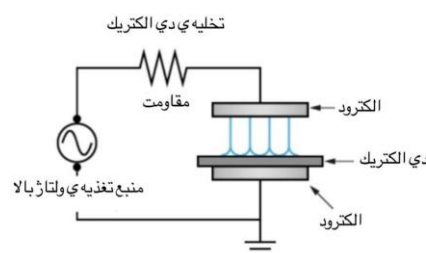
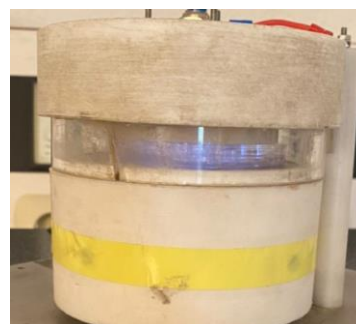
## • مواد و روش‌ها

### مواد

نشاسته‌ی خوراکی ذرت از پالایشگاه غلات زر، گروه صنعتی و پژوهشی فرهیختگان زرنام، واقع در هشتگرد تهیه شد. آزمون‌های رطوبت، و pH نشاسته قبل از تیمار با پلاسما با استفاده از روشهای معتبر AACC تعیین شد (۱۳).

### روش کار

تیمار با پلاسما سرد: DBD یک روش آسان و ایمن برای تولید تخلیه تعادل غیر حرارتی در فشار اتمسفر است. در DBD، یک لایه دی الکتریک یک یا هر دو الکترود را می‌پوشاند یا می‌تواند بین دو الکترود معلق شود. بنابراین، جریان هدایت و انتقال بار محدود است. جهت آماده سازی نمونه‌ها برای تیمار پلاسما دستگاه پلاسما DBD دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد تهران در این فرآیند مورد استفاده قرار گرفت. نشاسته‌ی ذرت به مقدار ده گرم در محفظه دستگاه قرار گرفت (شکل ۲). فاصله‌ی بین دو الکترود ۳ سانتی متر و سرعت جریان گاز ۰/۱۵ میلی بار بوده و ولتاژ به میزان ۶ کیلوولت و فرکانس ۱۶ کیلو هرتز بوده، تابش پلاسما به مدت زمان ۱۰ دقیقه با استفاده از سه نوع گاز شامل آرگون - هیدروژن و اکسیژن انجام شد. نمونه در طول تیماردهی بارها همزده شد (۱۴).



شکل ۲. تصویر شماتیک و اصلی فرایند تخلیه سد دی الکتریک. عمل پلاسما DBD در حالت رشته‌ای

نمونه اول: اعمال پلاسما با گاز آرگون با میزان ۹۵٪ و گاز هیدروژن با میزان ۵٪

نمونه دوم: اعمال پلاسما با گاز آرگون به میزان ۹۰٪ و گاز اکسیژن به میزان ۱۰٪

نمونه سوم: شاهد که هیچ گونه تیماری روی آن انجام نگرفته است.

### آزمون‌های مربوط به نشاسته تیمار شده

**تعیین مشخصات به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM):** ویژگی‌های مورفولوژی نمونه‌های نشاسته با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VP 1450 LEO ساخت آلمان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌های تیمار شده پس از خشک کردن و آسیاب شدن به پایه آلومینیومی منتقل و توسط دستگاه پوشش دهنده مدل SC7620 ساخت انگلستان تحت پوشش طلا- پالادیوم قرار گرفتند. عکس برداری از نمونه‌ها با ولتاژ شتاب دهنده ۲۰ kV صورت گرفت (۱۵).

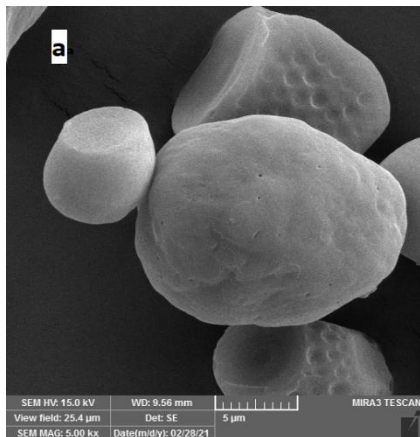
**اندازه‌گیری قدرت تورم گرانول نشاسته:** بدین منظور ۰/۱ گرم نمونه براساس وزن خشک در لوله‌های آزمایش دارای درب پیچی توزین و ۱۰ سی سی آب به آن اضافه گردید. بعد از مخلوط نمودن محتوای درون ظرف، لوله‌های آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای ۹۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و مجهز به شیکر قرار گرفت که با سرعت ثابت در حال تلاطم بود. سپس لوله‌های آزمایش از حمام آب خارج شدند و بلافاصله تا دمای اتاق سرد شد. لوله‌های آزمایش در ۲۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه سانتریفیوژ و فاز روی را خارج کرده و لوله‌ی حاوی رسوب مجدداً توزین شد. درصد فاکتور تورم از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید (۱۶).

وزن نشاسته خشک / وزن لوله و رسوب بعد از سانتریفیوژ = فاکتور تورم

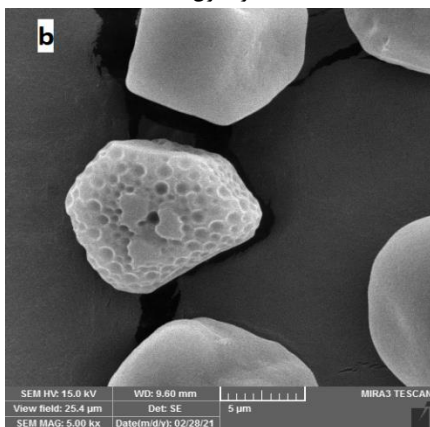
### تهیه مدل غذایی

جهت تهیه‌ی ۹۰۰ گرم دسر شیری، ۷۵۰ گرم شیر کم چرب، ۴۵ گرم خامه با ۳۰٪ چربی مخلوط شده محصول حاصل در حمام آب به دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. سپس ۵۴ گرم شکر و ۳۰ گرم پودر نشاسته تیمار شده اضافه گردید مخلوط حاصل ۱۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. جهت مرطوب شدن ذرات جامد مخلوط پیوسته همزده شد. سپس در یک فلاسک سرد کننده قرار گرفته تا دمای محصول به ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد و سپس ۱ گرم وانیل و ۲۰ گرم گلاب افزوده و ۱ دقیقه همزده شده و سپس دمای محصول به ۴ درجه سانتی‌گراد رسانده شده و تا انجام آزمون‌ها

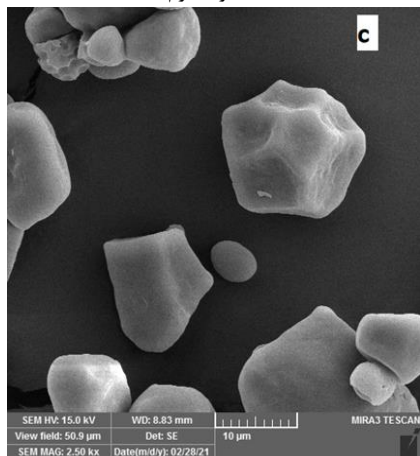
نشاسته تیمار شده با استفاده از DBD تغییرات ساختاری دیده می‌شود شکل (c-3 و b-3). با اعمال پلازما شکاف یا حفره‌های بیشتری نسبت به نمونه‌ی شاهد روی سطح مشاهده می‌شود. ضمناً اثر تفاوت گاز نیز از تصاویر داده شده مشهود است. اثر گاز آرگون با اکسیژن بیشتر از اثر آرگون با هیدروژن می‌باشد. نتایج مشابهی از شکاف‌های روی سطح دانه‌های نشاسته پس از تیمار پلازما گزارش شده است (۲۱).



نمونه اول a



نمونه دوم b



شاهد c

شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) a = نمونه با گاز آرگون ۹۵٪ و گاز هیدروژن ۵٪ b = نمونه با گاز آرگون ۹۰٪ و گاز اکسیژن ۱۰٪ c = نمونه شاهد

در این دما نگهداری گردید (۱۷). دسر شیری دیگر با نمونه شاهد تهیه شد.

### آزمون‌های مدل غذایی

رطوبت با استفاده از روش‌های استاندارد AACC 2003 اندازه‌گیری گردید. تعیین pH با سوسپانسیون ۰/۵٪ نشاسته (۱۷) و میزان ویسکوزیته ظاهری با استفاده از دستگاه ویسکومتر چرخشی (550model Haake, Germany) در نرخ‌های برشی ۲،۵، ۳ و ۴ (RPM) تعیین شد (۱۸) و بریکس با استفاده از رفرکتومتر دستی (model MT-098, Taiwan) اندازه‌گیری شد (۱۹).

### ارزیابی حسی

ارزیابی خصوصیات حسی دسر با قضاوت ۲۰ ارزیاب غیرآموزش دیده انجام شد. صفات مورد بررسی شامل ظاهر، سفتی و نرمی بافت، بو، طعم و میزان آب اندازی که به ترتیب دارای ضریب رتبه ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ بودند، با روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱ بسیار نامطلوب، ۲ نامطلوب، ۳ مطلوب، ۴ بسیار مطلوب، ۵ بسیار بسیار مطلوب) ارزیابی گردید و سپس پذیرش کلی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده و نتایج بر اساس پذیرش کلی گزارش گردید (۲۰).

$$Q = \sum (P * G) / \sum P$$

$P =$  ضریب رتبه صفات  $G =$  ضریب ارزیابی صفات  $Q =$  پذیرش کلی

### طرح آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، با استفاده از رگرسیون مدل خطی (G.L.M) Generalized Linear Model که یک رویکرد بین متغیر وابسته با یک یا چند متغیر مستقل می‌باشد انجام گرفته است و میزان خطا به عنوان نماینده عوامل تصادفی دیگری که قابل شناسایی نبودند در نظر گرفته که انتظار است کمتر در تغییرات متغیر وابسته نقش داشته باشند. نرم‌افزار آماری SPSS در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد.

### • یافته‌ها

ویژگی‌های ریخت شناسی نشاسته طبیعی و تیمار شده با پلازما حاصل از نتایج میکروسکوپ الکترونی در شکل ۳ و نتایج حاصل از اندازه‌گیری فاکتور تورم در جدول ۱ نشان داده شده است.

گرانول‌های نشاسته طبیعی ذرت دارای ابعادی به اندازه تقریبی بین ۴-۲۱ μm و با اشکال کروی، بیضی و چند وجهی با سطحی صاف و در تعداد محدودی از گرانولها با سطوح دارای حفرات و فرورفتگی می‌باشند (a-3). در حالی که در ساختار

عنوان یک پارامتر در تعیین کنترل کیفیت نقش دارد. ویسکوزیته ظاهری مواد غذایی بستگی به ترکیب و شرایط فرآیند دارد. در مطالعه حاضر در میزان ویسکوزیته ظاهری نمونه دسر شیری تهیه شده با نشاسته تحت تیمار با گاز آرگون ۹۰٪ و گاز اکسیژن ۱۰٪ به نسبت تیمار شاهد کاهش قابل توجهی دیده می‌شود و با افزایش سرعت برش، مقدار ویسکوزیته ظاهری نیز افزایش یافته است. ویسکوزیته ظاهری با افزایش دما و رطوبت کاهش و با افزایش محتوی چربی، لاکتوز، پروتئین و مواد معدنی افزایش می‌یابد (۲۵). جذب آب افزایش یافته در اثر پلاسما در نمونه‌های دسر شیری باعث کاهش ویسکوزیته ظاهری گردیده است.

**رطوبت:** نتایج داده‌ها نشان داد که تیمارهای تحت پلاسما دارای رطوبت بالاتری نسبت به تیمار شاهد می‌باشند و جذب آب بالاتری دارند. علت آن را می‌توان به حکاکی سطح نشاسته (Surface Etching)، ناشی از پلاسما نسبت داد که به دلیل تکه تکه شدن نشاسته افزایش اتصال آب صورت می‌گیرد (۲۶).

**بریکس:** در این تحقیق نمونه تیمار شده با پلاسما دارای بریکس پایین نسبت به شاهد می‌باشد. مبنای نشاسته به کمک یونهای پرانرژی ناشی از پلاسما باعث دپلمیریزاسیون زنجیره‌های جانبی آمیلوز و آمیلوپکتین در مولکول نشاسته می‌شود که نتیجه آن ایجاد بخش‌های کوچک‌تر است. یونیزاسیون مهم‌ترین نقش را در مکانیسم دپلمیریزاسیون ایفا می‌کند. به این ترتیب باعث اصلاح خصوصیات نشاسته از جمله تغییر در بریکس می‌شود. این فرآیند حتی در سطح انرژی پایین نیز ممکن است به میزان کمی باعث دپلمیریزاسیون شود، به این ترتیب پس از دپلمیریزاسیون نشاسته به طور معمول مالتوز، مالتوتریوز و مالتوتتروز تولید می‌شود که این خود باعث تغییر در درصد مواد جامد محلول در آب یا همان بریکس می‌شود (۲۷-۲۸).

جدول ۱. مقایسه‌ی قدرت تورم نشاسته

| نوع نشاسته  | قدرت تورم %             |
|-------------|-------------------------|
| (a) طبیعی   | ۱۱/۳ <sup>c</sup> ±۰/۱۱ |
| (b) نمونه ۱ | ۱۸/۶ <sup>a</sup> ±۰/۳۵ |
| (c) نمونه ۲ | ۱۳/۲ <sup>b</sup> ±۰/۱۵ |

نتایج به صورت میانگین ۳ تکرار ± انحراف از میانگین گزارش شده است. حروف غیرمشترک بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح (p<۰/۰۵)

با توجه به افزایش قدرت تورم در نمونه یک نتیجه گرفته می‌شود اتصالات عرضی با ایجاد شکاف در سطح کاهش یافته است و به علت هم زدن نشاسته در طول پلاسما شکاف ایجاد شده به درون مولکول راه یافته است. این موضوع نیاز به انجام مطالعات بیشتر در خصوص نسبت آمیلوز به آمیلو پکتین و بررسی تغییرات ساختاری در اثر پلاسما را دارد (۲۲).

### نتایج تغییرات شیمیایی و فیزیکی دسر شیری

**PH دسر شیری:** نتایج مطالعه حاضر تغییرات جزئی ولی معنی دار در نمونه‌های دسر شیری تیمار شده در مقایسه با شاهد را نشان می‌دهد. وجود گاز اکسیژن در نمونه شماره ۲ باعث افزایش گروه‌های تولید کننده اسید مانند NOx می‌شود که معمولاً در پلاسمای اکسیژن دار تولید می‌شوند. احتمال می‌رود که تغییر pH در اثر برهمکنش گاز فعال پلاسما با رطوبت موجود در محصول باشد. در مواد غذایی جامد گونه پلاسما با آب سطحی واکنش داده و ایجاد ترکیبات اسیدی در سطح محصول را می‌نمایند. در محصولات مایع اثرات بارزتر است. تولید اسید نیتریک ناشی از گونه‌های فعال نیتروژن مانند NO در اثر پلاسما اتمسفری در مطالعات Oehmigen گزارش شده است (۲۳). نتایج نشان می‌دهد که اثر پلاسما بر pH ماتریکس‌های غذایی پیچیده متأثر از عواملی مانند ظرفیت بافری، فعالیت فیزیولوژیکی بافت‌های زنده و احتمال خروج مایع از بافت‌های آسیب دیده است (۲۴).

**ویسکوزیته ظاهری:** ویسکوزیته ظاهری به عنوان یک ویژگی فیزیکی مهم که با احساس دهانی ارتباط مستقیم دارد و به

جدول ۲. مقایسه‌ی نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

| نوع نشاسته           | رطوبت %               | pH                     | بریکس                 | ویسکوزیته (Pa.s) خصوصیات حسی |
|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| طبیعی (شاهد)         | ۷۵ <sup>c</sup> ±۰/۰۱ | ۶/۴ <sup>c</sup> ±۰/۰۲ | ۱۸ <sup>c</sup> ±۰/۰۲ | ۶/۵ <sup>c</sup> ±۰/۰۳       |
| تیمار با DBD نمونه ۲ | ۷۸ <sup>b</sup> ±۰/۰۲ | ۵ <sup>a</sup> ±۰/۰۴   | ۱۴ <sup>b</sup> ±۰/۰۱ | ۶/۱ <sup>a</sup> ±۰/۰۴       |

ورودی، زمان، توان و نوع گاز در حال کار) عوامل تغییر رنگ محصول تحت تیمار پلاسما محسوب می‌شوند. افزایش درخشندگی و شاخص سفیدی در برنج قهوه‌ای تیمار شده با پلاسما گزارش گردیده است (۳۲).

نتایج این تحقیق بیانگر آن بود اثر تیمار بر روی تغییرات سینرسیس معنادار نمی‌باشد ( $p > 0/05$ ). در بسیاری از مطالعات انجام شده، حفظ بافت محصولات غذایی پس از پردازش پلاسما سرد گزارش شده است (۳۳-۳۲).

طی پژوهشی تأثیرات جهت پلاسما فشار اتمسفری را بر خصوصیات مختلف فیزیکیوشیمیایی نشاسته ذرت پس از تیمار با جت پلاسما به مدت ۳۰ دقیقه در توان‌های مختلف (۴۰۰ وات - ۸۰۰ وات) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنها نشان داد که پس از تیمار با پلاسما، با افزایش شدت پلاسما، کاهش قابل توجهی در خواص چسبندگی، ویسکوزیته نهایی نمونه‌های نشاسته مشاهده می‌شود (۳۳). پارامترهایی مانند زمان اعمال پلاسما (بالاتر از ۵ دقیقه)، ولتاژ بالا و سرعت پلاسما باعث تغییر ویسکوزیته می‌شوند بنابراین با تغییر این پارامترها قابلیت بهینه سازی وجود دارد. ظاهراً نوع پلاسما در این امر اثرگذار است. در نمونه‌های تیمار شده با پلاسما با سرعت ۳ و ۶ میلی‌لیتر در دقیقه، اثر فرایند پلاسما در کاهش ویسکوزیته ظاهری هر چند به میزان کم، مشاهده می‌شود (۳۴).

در خصوص نتایج بدست آمده از ارزیابی حسی، فرآیند پلاسما سرد در چند مطالعه باعث تغییر معنی‌داری بر روی خصوصیات عطر و طعم و رنگ در نظر ارزیابان شده است. این اثر معنادار می‌تواند ناشی از تأثیر ولتاژ پلاسما و گازهای بکار گرفته شده بر روی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی فرآورده پلاسمایی شده و واکنش‌هایی از قبیل دپلمیریزاسیون نشاسته، تغییر در ساختار کریستالی، اتصالات عرضی نشاسته، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۳۴) و سایر واکنش‌های دیگر باشد که می‌توانند در طعم و عطر، رنگ و پذیرش کلی دسر شیری تهیه شده از نشاسته‌ی تعیین شده، مؤثر باشند در حالیکه مشابه پژوهش حاضر عدم معنی‌داری در خواص حسی در پژوهش‌های متعدد بدست آمده است.

#### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که تیمار پلاسما و تغییر درصد آرگون از ۹۰ به ۹۵ درصد و جایگزینی ۵ درصدی و ۱۰ درصدی عناصر هیدروژن و اکسیژن به جای همدیگر می‌تواند در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و مورفولوژی نشاسته ذرت اثر معنادار داشته باشد ( $p < 0/05$ ). با توجه به مورفولوژی سطح گرانول‌های نشاسته و نتایج آزمون‌ها نمونه‌ی شماره ۲ (تیمار شده با گاز آرگون ۹۰٪ و گاز اکسیژن ۱۰٪) تغییرات بسیاری را به خود

ارزیابی حسی: نتایج نشان داده اند که نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد عطر و طعم بهتر و پذیرش کلی بیشتری دارند و نتایج بررسی رنگ دسرهای شیری تهیه شده با پلاسما و نمونه شاهد تفاوت معنی‌داری را در پژوهش حاضر نشان نداد. بدیهی است که رنگ محصولات غذایی به عنوان یک پارامتر تأثیر گذار در انتخاب محصول از طرف مصرف کننده نقش مهمی دارد. هرگونه تغییر نامطلوب در رنگ مواد غذایی به دلیل تکنیک فراوری مانع بزرگی در مقبولیت ماده غذایی محسوب می‌شود. با توجه به اینکه میوه و سبزیجات دارای رنگهای جذاب می‌باشد در پژوهش‌های انجام یافته با پلاسما بر توت فرنگی، سیب، گوجه فرنگی، گیلاس، کاهو و هویج کاهش قابل توجهی در اثر پلاسمادیده نشده و یا با چشم غیر مسلح قابل درک نیست (۲۹-۳۰).

#### • بحث

گونه‌های واکنشگر پلاسما به عنوان اصلی‌ترین عامل تغییرات در ویژگی‌های کیفی شیمیایی محصولات تیمار شده محسوب می‌شوند. شایان ذکر است که گونه‌های واکنش پذیر پلاسما تا حد زیادی وابسته به گازی است که برای تولید پلاسما استفاده می‌شود و این امر را به یکی از حیاتی‌ترین عوامل برای تغییرات شیمیایی تبدیل می‌کند. طی مطالعه‌ی انجام شده بر روی نشاسته‌ی برنج، اثر تیمار پلاسمای سرد با هوا بر روی گرانول‌های نشاسته با ایجاد شکاف‌های سطحی مشاهده شده است (۳۱). همچنین طی مطالعه‌ی ای که بر روی نشاسته ذرت با پلاسمای سرد با هوا انجام شده ایجاد سوراخ‌هایی بر روی گرانول‌های نشاسته توسط رادیکال‌های آزاد گزارش شده است (۳۲). به دلیل ایجاد شکاف در سطح، یون‌های پلاسما به سطح مولکولی نفوذ کرده و منجر به دپلمیریزاسیون دانه‌های نشاسته می‌شود که این نیز باعث حلالیت بالاتر، سینرسیس و تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی در نمونه‌ی تیمار شده شوند.

pH یک ویژگی کمی کاملاً تنظیم شده در اکثر محصولات غذایی فراوری شده است. هرگونه تغییر شدید می‌تواند منجر به تأثیر نامطلوب بر طعم و بافت و ماندگاری غذا شود. کاهش pH نشاسته پس از قرارگیری در معرض پلاسما به علت تشکیل گروه‌های با خصوصیات اسیدی می‌باشد و این نشان می‌دهد که گرانول‌های نشاسته در معرض پلاسما اکسید می‌شوند. لی و همکاران کاهش ۲/۴ برابر pH نشاسته سیب زمینی تیمار یافته با پلاسما را گزارش کرده‌اند (۳۲).

در بیشتر گزارش‌ها شدت پایین پلاسما عدم ایجاد تغییر رنگ بیان گردیده است در حالی که با تغییر نوع محصول (جامد و مایع - کامل یا برش داده شده، پارامترهای ورودی (ولتاژ

در سطح مولکولی برای بررسی بیشتر اثر فرایند پلاسما بر ویژگی‌های کیفی مواد غذایی وجود دارد. تفاوت در مطالعات گزارش شده نیاز به مطالعات مکانیکی برای درک تعامل گونه‌های فعال پلاسما با ترکیبات غذایی را نشان می‌دهد. مطالعات بهینه سازی به منظور جلوگیری از تأثیرات منفی بر کیفیت مانند تسریع اکسیداسیون، از دست دادن ویژگیهای حسی و تغییرات فیزیکی مواد غذایی مورد نیاز است. ولتاژ اعمال شده، گاز مصرفی و زمان، از عوامل تعیین کننده نحوه اصلاح نشاسته با پلاسما می‌باشند.

اختصاص داده است و از آن در تهیه دسر شیری به عنوان مدل غذایی استفاده شد و نتایج اثر تیمار پلاسما بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در مقایسه با نمونه شاهد بر روی میزان رطوبت، خصوصیات حسی (رنگ و پذیرش کلی) معنادار نبود ( $p > 0.05$ ). اما pH، بریکس و ویسکوزیته تحت تاثیر فرآیند پلاسما قرار گرفته به طوری که بیشترین بریکس با pH بالا و ویسکوزیته پایین در محصول نهایی بدست آمد.

برای افزایش خواص عملکردی نیاز به اصلاح نشاسته می‌باشد تا بازده آنها در مواد دیگر به عنوان مواد افزودنی غذایی افزایش یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد شیمی پلاسما مهمترین پایه برای اصلاح نشاسته است. در حال حاضر فرصت تحقیقاتی

## • References

- Giuberti G, Rochetti G, Lucini, L. Interactions between phenolic compounds, amylolytic enzymes and starch: An updated overview. *Current Opinion in Food Science* 2020; 31: 102-113.
- Basiak E, Lenart A, Debeaufort F. How glycerol and water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films. *Polymers* 2018;10(4): 412.
- Oliver Schlütter, Ehlbeck J, Hertel C, Habermeyer M, Roth A, Engel KH, Holzhauser T, Knorr D, Eisenbrand G. Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods *Molecular nutrition food research* 2013; 57(5): 920-927.
- Arjunan KP, Jones B, Ptasinska S. Reactive species profile in an atmospheric pressure plasma jet ignited in He and He/O<sub>2</sub> mixture - implications for surface sterilization. *APS Gaseous Electronics Conference* 2015; 1(002).
- Massines F. Glow and Townsend dielectric barrier discharge in various atmosphere. *Plasma physics and controlled fusion* 2005; 47(12).
- Chang CL, Hsieh T, Yang T, Rothberg K, Azizoglu D, Volk E, Liao J, Liou J. Feedback regulation of receptor-induced Ca<sup>2+</sup> signaling mediated by E-Syt1 and Nir2 at endoplasmic reticulum-plasma membrane junctions 2013; 5(3): 813-825.
- Thirumdas R, Kadam D, Annapure U. Cold plasma: An alternative technology for the starch modification. *Food Biophysics* 2017; 12(1): 129-139.
- Deeyai P, Suphantharika M, Wongsagonsup R, Dangtip S. Characterization of modified tapioca starch in atmospheric argon plasma under diverse humidity by FTIR spectroscopy. *Chinese Physics Letters* 2013; 30(1):103-108.
- Zhu F. Starch based aerogels: Production, properties and applications. *Trends in Food Science & Technology* 2019; 89: 1-10.
- Bazaka K, Jacob M, Crawford R, Ivanova P. Plasma-assisted surface modification of organic biopolymers to prevent bacterial attachment. *Actabiomaterialia* 2011; 7(5): 2015-2028.
- Ilic V, Šaponjić Z, Vodnik V, Lazović S, Dimitrijević S, Jovancić P, Nedeljković J, Radetić M. Bactericidal efficiency of silver nanoparticles deposited onto radio frequency plasma pretreated polyester fabrics. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2010; 49(16): 7287-7293.
- Banura S, Thirumdas R, Kaur A, Deshmukh R, Annapur U. Modification of starch using low pressure radio frequency air plasma 2018; 89: 719-724.
- American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of AACC*, The Association: St. Paul, MN; 2003.
- García A, Martínez-Alonso A, Leon C, Tascón J. Modification of the surface properties of an activated carbon by oxygen plasma treatment. *Fuel* 1998; 77(6): 613-624.
- Lopez-Llorca LV, Valiente MFC. Study of biodegradation of starch-plastic films in soil using scanning electron microscopy. *Micron* 1993; 24(5): 457-463.
- Mirmoghtadaie L, Kadivar M, Shahedi M. Effects of cross-linking and acetylation on oat starch properties. *Food Chemistry* 2009; 116(3): 709-713.
- Rapaille A, Vanhemelryck J. *Milk based desserts. The technology of dairy products* 1998; 327-352.
- Jyothi A, Moorthy K, Rajasekharan N. Effect of cross linking with epichlorohydrin on the properties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) starch. *Starch/ Stärk* 2006; 58: 292-299.
- Pimm S, Rosenzweig M, Mitchell W. Competition and food selection: field tests of a theory. *Ecology* 1985; 66(3): 798-807.
- Kemp S, Hort J, Hollowood T. *Descriptive analysis in sensory evaluation*; 2018.
- Lii C, Liao C, Stobinski L, Tomasik P. *Carbohydr. Polym* 2002; 49: 499-507.
- Lee K, Kim H, Woo K, Jo C, Kim J, Kim S, Park H, Oh S, Kim W. Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT-Food Sci. Technol* 2016; 73: 442-447.
- Oehmigen K, Hähnel M, Brandenburg R, Wilke C, Weltmann K, Woedtke T. The role of acidification for antimicrobial activity of atmospheric pressure plasma in liquids. *Plasma Process. Polym*; 2010.
- Misra N. Quality of cold plasma treated plant foods. *Cold plasma food agriculture. Elsevier* 2016; 253-271.

25. Alcántara L, Da Costa Ilh'eu Fontan R, Cristina R, Bonomo F, De Souza E, Sampaio V. Density and dynamic viscosity of bovine milk affect by temperature and composition. *International Journal of Food Engineering* 2012; 8(1): 556-568.
26. Manoharan D, Stephen J, Radhakrishnan M. Study on low-pressure plasma system for continuous decontamination of milk and its quality evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation* 2020; 45(2).
27. Thirumdas R, Saragapani C, Ajinkya M, Deshmukh R, Annapure U. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol* 2016; 37: 53-60.
28. Pankaj S, Wan Z, Keener K. Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods* 2018; 7(1): 4.
29. Misra N, Patil S, Moiseev T, Bourke P, Mosnier J, Keener K, Cullen, P. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *J. Food Eng* 2014; 125: 131-138.
30. Ramazzina I, Tappi S, Rocculi P, Sacchetti G, Berardinelli A, Marseglia A, Rizzi F. Effect of cold plasma treatment on the functional properties of fresh-cut apples. *J. Agric. Food Chem* 2016; 64: 8010-8018.
31. Tappi S, Gozzi G, Vannini L, Berardinelli A, Romani S, Ragni L, Rocculi P. Cold plasma treatment for fresh-cut melon stabilization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2016; 33: 225-233.
32. Ziuzina D, Misra N, Cullen P, Keener K, Mosnier J, Vilaró I, Gaston E, Bourke P. Demonstrating the potential of industrial scale in-package atmospheric cold plasma for decontamination of cherry tomatoes. *Plasma Medicine* 2016; 6: 3-4.
33. Wu T-Y, Chang C-R, Chang T, Chang Y, Liew Y, Chau C. Changes in physicochemical properties of corn starch upon modifications by atmospheric pressure plasma jet. *Food chemistry* 2019; 283: 46-51.
34. Shan B, Cai Y, Sun M, Corke H. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of agricultural and food chemistry* 2005; 53(20): 7749-7759.

## Using Cold Plasma Technology as a Method for the Structural Modification of Corn Starch and Its Functional Assessment in Food Models

*Bahmanpour H, Asefi N<sup>2\*</sup>, Alizadeh A<sup>3</sup>*

1- Ph.D. Student of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2- \* Corresponding author: Associate Prof, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran, Email: n.asefi@iaut.ac.ir

3- Associate Prof, Department of Food Science and Technology, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Received 7 Jun, 2022

Accepted 27 Sep, 2022

**Background and Objectives:** Cold plasma is used as an innovative solution in production and distribution of healthy and high-quality foods. Objectives of this study were to use cold plasma technology as a method for the structural modification of corn starch and its functional assessment in food models.

**Materials & Methods:** Starch granules were treated with plasma with two various gases in the form of Treatment 1 (argon gas of 90% and oxygen gas of 10%) and Treatment 2 (argon gas of 95% and hydrogen gas of 5%) for 10 min.

**Results:** Results of scanning electron microscopy and starch swelling power showed more changes in Treatment 1 than Treatment 2 and control. In treated samples, more cracks or cavities on the surfaces were seen, compared to the control sample. The pH of the treated samples was lower than the pH of the control sample and humidity of the treated samples was higher than that of the control sample. Viscosity of the treated samples and the cooking time decreased with increasing humidity.

**Conclusion:** Results showed that dielectric barrier plasma could be used to produce low modified viscosity starch. Further studies with plasma technology are necessary to produce natural products free of chemical additives.

**Keywords:** Cold plasma, Corn starch, Milk dessert