پلاسمای سرد و کاربردهای آن در صنایع غذایی

عاطفه علیایی[۱]، شیلا برنجی[۲]، زهره یحیایی صوفیانی[۱]، لیلا ناطقی[۲*]

دریافت: ۱۴۰۰/۸/۳۰ **پذیرش:۱۴۰۱/۳/۵**

چکیده

فناوری پلاسما یکی از فناوری‌های نوین است که امروزه کاربردهای زیادی در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی پیدا کرده است. پلاسما در واقع به حالت چهارم ماده گفته می‌شود که از آن در سترون سازی لوازم و تجهیزات پزشکی، تجهیزات مورد استفاده در صنایع غذایی و فرآوری مواد غذایی استفاده کرد. پلاسمای سرد یک فناوری غیرحرارتی خشک و بدون نیاز به مواد شیمیایی است که قادر به کار کردن به صورت مداوم در فشار اتمسفر می‌باشد و با توجه به غیرحرارتی بودن آن می‌تواند جایگزین مناسبی برای سایر روشهای شیمیایی و فیزیکی مورد استفاده برای استرلیزاسیون و پاستوریزاسیون مواد غذایی باشد. تکنیک‌های استرلیزاسیون پلاسمایی، مؤثر، ساده و سریع (از چند ثانیه تا یک ساعت) و دارای دمای پایینتر (کمتر از ۷۰ درجه) می‌باشد. پژوهش‌های انجام شده در رابطه با پلاسمای سرد نشان داده است که قابلیت کشتن میکروب‌ها را دارد و همچنین می‌تواند فرم‌های رویشی، اسپورها و قارچ‌ها را از بین ببرد. همچنین این مطالعات نشان می‌دهند که نوع محصول غذایی، منبع تولید پلاسما، حالت مواجه پلاسما (مستقیم یا غیرمستقیم) با ماده موردنظر، در کنترل اثرات پلاسمای سرد روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش تغذیه‌ایی و ویژگی‌های ارگانولپتیکی محصولات غذایی حیاتی هستند. بنابراین آشناسازی با این روش به منظور استفاده از تکنولوژی پلاسما در صنعت غذا می‌تواند گام مهمی در پیشرفت علوم و صنایع غذایی باشد.

کلمات کلیدی: پلاسمای سرد، پاستوریزاسیون، صنایع غذایی، ارزش تغذیه‌ای.

مقدمه

با تغییر نیازهای مصرف کننده و مسائل مربوط به سلامت مواد غذایی، تکنولوژی‌های فرآیند مواد غذایی برای اطمینان از سلامت ماده غذایی هم تغییر کرده است. به علاوه موارد متعدد دیگری در ارتباط با کیفیت مواد غذایی که به صورت حرارتی فرآیند شده‌اند مانند از دست رفتن کیفیت تغذیه‌ای و تاثیر نامطلوب بر خواص ارگانولپتیک به وجود آمده است که منجر به ضروری بودن تکنولوژی‌های غیرگرمایی می‌گردد (Misra *et al.*, 2011). تکنولوژی‌های غیرگرمایی عبارت از عملیات نگهداری هستند که در دمای اتاق و یا در دماهای کمتر از دمای مورد نیاز برای از میان بردن میکروارگانیسم‌ها، موثر واقع می‌شوند و بنابراین تاثیرات منفی گرما بر پارامترهای تغذیه‌ای و کیفیتی ماده غذایی را به حداقل می‌رسانند (Tiwari *et al.*, 2009). اینها شامل کاربرد اشعه گاما، اشعه بتا (پرتو الکترون)، اولتراسوند، ازن، پالس‌های نوری، اشعه ماورای بنفش، میدان الکتریکی پالسی (PEF)، فشارهیدرواستاتیک بالا و امثالهم می‌شوند. با این وجود، حتی برخی از این روش‌های مناسب غیر فعال سازی، از آنجایی که در ارتباط با آنها تصورات عکس وجود دارد (مثلا در مورد کاربرد اشعه گاما و یا پرتوهای الکترونی) و یا سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز برای آنها زیاد است و یا به دلیل محدودیت‌های دیگر، در عمل محدود می‌شوند. تکنیک‌های کاملا فیزیکی مانند فشار هیدرواستاتیک بالا، از نظر شیمیایی سالم هستند اما نیاز به تجهیزات پیچیده و یا گران دارند و همچنین بر کیفیت فرآورده تاثیر می‌گذارند (Rastogi *et al.*, 2007; Kruk *et al.*, 2009) و معمولا با تیمار مواد به صورت آن لاین (مداوم) قابلیت تطابق ندارند. برای تیمار غذاهای جامد به خصوص میوه‌ها و سبزی‌ها، تیمارهای مناسب، بسیار کم در دسترس

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین-پیشوا، ایران.

[۲] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ورامین-پیشوا، ورامین، ایران.

[*]ایمیل نویسنده مسئول: leylanateghi@yahoo.com

است. اخیرا پلاسمای غیرگرمایی به لیست موجود فرآیندهای غیرگرمایی برای آلودگی زدایی از مواد تازه، افزوده شد و توجه دانشمندان مواد غذایی و محققان را بسیارجلب نموده است (Basaran *et al.*, 2008; Selcuk *et al.*, 2008). در این مطالعه به بررسی چگونگی تولید پلاسمای سرد، کاربردهای آن در صنایع غذایی، مکانیسم‌های غیرفعال سازی میکرواورگانیسم‌ها و استفاده از آن در صنایع مختلف غذایی، مزایا و معایب استفاده از این فرایند پرداخته شد.

۱-تعریف علم پلاسما

در سال ۱۹۲۲ دانشمند آمریکایی Irving Langmuir پیشنهاد کرد که الکترون‌ها، یون‌ها و مواد بی اثر در یک گاز یونیزه شده، می‌توانند به عنوان ماده ذره دار در نظر گرفته شوند که در بعضی از انواع محیط سیالی حمل می‌شوند و این محیط حامل را پلاسما نامید که مشابه پلاسما بود که یک فیزیولوژیست چک به نام Jan Evangelista Purkinje معرفی کرده بود و یک سیال شفاف بود که پس از خارج کردن همه مواد ذره دار از خون، به جا می‌ماند. با اینکه بعد مشخص شد که هیچ محیط سیال سبب حمل شدن الکترون‌ها، یون‌ها و مواد بی اثر در یک گاز یونیزه شده نمی‌شود، اما این نام باقی ماند (Anonymous, 2010). اصطلاح پلاسما به گازهایی اطلاق می‌شود که به صورت جزئی یا کلی یونیزه شده باشند و ضرورتا از فوتون‌ها، یون‌ها و الکترون‌های آزاد و همچنین اتم‌ها در حالت‌های اساسی یا برانگیخته خود تشکیل شده‌اند و دارای شارژ خنثی خالص هستند. پلاسما دارای شارژ خالص و خنثی است چون تعداد شارژهای مثبت و منفی که حمل می‌کند با هم برابرند. الکترون‌ها و فوتون‌های موجود در گازها اغلب با عنوان گونه‌های سبک و بقیه اجزاء به عنوان گونه‌های سنگین، نامیده شده‌اند (Kudra & Mujumda 2009).

۲- انواع پلاسما

عبارت پلاسما به چهارمین حالت ماده و فقدان تعادل ترمودینامیکی بین الکترون‌های پرانرژی 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 (کمتر از ۷۰ درجه سانتیگراد) می‌شود (Schlüter *et al.*, 2013).

بر اساس شرایطی که پلاسما در آن تولید می‌شود، دو طبقه بندی برای آن به نام حرارتی و غیرحرارتی (Non thermal plasma =NTP)وجود دارد. طبقه‌بندی پلاسما بر اساس سطوح دارای انرژی نسبی در الکترون‌ها و گونه‌های سنگین پلاسما است. NTP (در دماهای نزدیک به دمای اتاق در حدود ۶۰-۳۰ درجه سانتیگراد) که پلاسمای سرد نیز نامیده می‌شوند، در فشارهای اتمسفری یا فشارهای کاهش یافته (خلاء) به دست می‌آید و نیاز به قدرت کمتر دارد. وجه مشخصه NTPها در این است که دمای الکترون بسیار بالاتر از گاز (دمای ماکروسکوپیک) است و در نتیجه یک تعادل ترمودینامیکی محلی(منطقه ای) ارائه نمی‌دهند. NTP می‌تواند بوسیله یک دشارژ الکتریکی در یک گاز در فشار پایین و یا با استفاده از مایکروویو تولید شود (Yun *et al.*, 2010; Misra *et al.*, 2011). همچنین، پلاسمای سرد ذرات باردار و پرانرژی (الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی)، رادیکال‌ها، گونه‌های خنثی (اتم‌های و مولکول‌های برانگیخته) و فوتون‌ها (مرئی و فرابنفش) را منتشر می‌کند. این ذرات، گونه‌ها و فوتون‌ها قادر به شکستن پیوندهای کووالانسی می‌باشند که منجر به آغاز واکنش‌های شیمیایی متعدد که اهمیت بالایی در کاربردهای گوناگون تکنولوژیکی دارند، می‌شود (Arjunan *et al.*, 2015).

از نظر انرژی ذرات، پلاسما به دو دسته پلاسماهای تعادلی و غیر تعادلی طبقه‌بندی می‌شود. در پلاسماهای تعادلی ذرات به دمای واحدی دست می‌یابند. حال آنکه پلاسماهای غیرتعادلی توسط دو نوع دما توصیف می‌شوند؛ دمای الکترونی و دمای ذرات سنگین (Colagar *et al.*, 2013; Omran *et al.*, 2017). علی رغم بالا بودن دمای الکترونی در این نوع پلاسماها، دمای کلی گاز پایین است. الکترون‌های پرانرژی، از طرفی باعث یونیزاسیون محیط و تولید ذرات باردار می‌شوند که شرایط را برای دوام

پلاســـما ایجاد می‌کنند و از طرف دیگر با تولید رادیکال‌های آزاد در واقع فعالیت شـــیمیایی محیط را افزایش می‌دهند (Mortazavi *et al*., 2016). به دلیل فعالیت شیمیایی بالا اما دمای پایین گاز، پلاسماهای غیرتعادلی بسیار مورد اقبال واقع شده اند و استفاده از آنها در مواجهه با مواد حساس به گرما بسیار مناسب است. لازم به ذکر است، امکان ایجاد پلاسمای سرد غیرتعادلی در فشـــار پایین به دلیل نیاز به تجهیزات خلا پرهزینه اســـت. به دلیل کاهش هزینه‌ها و عدم نیاز به تجهیزات خلا، استفاده از منابع پلاسمای سرد که در فشار اتمسفر کار کند، مطلوب به نظر می‌رسد. تاکنون گزارش‌های مختلفی از تاثیر این پلاسما بر میکروارگانیسم‌های پاتوژن‌زای مواد غذایی گزارش شده است (Colagar *et al*., 2013).

۳- منابع پلاسما

قبلا، تیمار با پلاسما در شرایط خلاء انجام می‌شد اما محققان یک سیستم پلاسما در فشار اتمسفری تولید کرده‌اند که منتج به کاهش قیمت، افزایش سرعت تیمار و قابلیت کاربرد در صنعت شد (Yun *et al*., 2010). توانایی تولید دشارژهای غیرگرمایی پلاسما در فشار اتمسفری، فرآیند آلودگی‌زدایی را آسان‌تر و ارزان‌تر می‌نماید (Kim *et al*., 2011). اما تا همین اواخر بیشتر تجهیزات پلاسما سرد که به صورت تجاری دردسترس هستند برای تحقیقات و به خصوص برای کاربردهای پزشکی زیستی تغییر و بهبود یافته بودند. بنابراین، برای کاربردهای غذایی، امکان دارد که این تجهیزات نیاز به تغییر داشته باشند. دشارژ سد تابش که در بین دو الکترود موازی تولید می‌شود، یک سیستم NTP است که کاربرد وسیعی دارد. برای نصب در مقیاس صنعتی برای رسیدن به آلودگی زدایی میکروبی غذا، می‌تواند از طریق دشارژ انتقال یابد. شکل دیگر آن مداد یا جت پلاسما است که در آن جریانی از گازها می‌توانند به ماده‌ای که قرار است تیمار شود به طور مستقیم داده شود. بیشترین مشخصه متغیر در بیشتر سیستم‌های پلاسما، آزادی انتخاب گاز یا مخلوط گازی است. پیشرفت‌هایی در سیستم‌های پلاسمای موجود و تجهیزات جدیدتر که برای تیمار سیستم‌های غذایی واقعی انجام شود احتمالا توجه محققان و مهندسان را در آینده نزدیک به خود جلب نماید (Kim *et al*., 2010).

۴- کاربردهای پلاسما

NTP کاربردهای بالقوه بسیار زیادی برای صنعت غذا دارد که شامل ضدعفونی خشک سطوح غذایی (مانند گوشت، طیور، ماهی و محصولات تازه برداشت شده)، غذاهای گرانوله و ریز شده (شیر خشک، علوفه خشک و ادویه جات) و بذرهای جوانه زده می‌شود (Dobrynin *et al*., 2009). در ذیل به کاربرد پلاسما در صنایع غذایی پرداخته شده است.

۴-۱- کاربرد پلاسما در غیرفعالسازی میکروارگانیسم‌ها

امروزه به دلیل ضرورت حفاظت از محیط زیست و صرفه‌جویی در انرژی، تمایل به استفاده از تکنولوژی‌های جدید غیر حرارتی به منظور کنترل میکروبی مواد غذایی در مقایسه با روش‌های سنتی نظیر استفاده از حرارت، بیش از پیش افزایش یافته است (Yun *et al*., 2010; Hou *et al*., 2019).

پلاسما یک گاز شبه خنثی است که از ذرات باردار (الکترون‌ها، یون‌ها)، شبه پایدار، رادیکال‌های آزاد و فوتون‌ها تشکیل شده و نیروی بلند برد کولنی بر ذرات آن حاکم (UV) است، و رفتار جمعی از خود نشان می‌دهند. این روش نیازی به مواد شیمیایی و آب ندارد و نیز از روش‌های خشک کنترل رادیکال‌ها و ذرات ،UV میکروبی بشمار می‌رود. فوتون‌های فعال تولید شده در این روش به طور موثر تمام نمونه را در برگرفته و باعث غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها می‌شوند (Surowsky *et al*., 2014; Fernandez *et al*., 2012; Gurol *et al*., 2012).

یکی از عوامل از بین بردن میکروارگانیسم‌ها، حمله مستقیم گونه‌های ضدمیکروبی است. تجمع ذرات باردار پلاسما بر روی سطح غشای سلولی میکروب، باعث تخریب دیواره و کشته شدن آن‌ها می‌گردد. از طرفی اکسیداسیون لیپیدها، آمینواسیدها و اسیدهای

نوکلئیک توسط اکسیژن و نیتروژن فعال، باعث تغییراتی در غشای سلولی و جراحت و مرگ می‌شود. همچنین گونه‌های فعال فوتون‌های فرابنفش ماده ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها را به گونه ای تغییر می‌دهند که در تقسیم سلولی تداخل ایجاد می‌کنند و سبب مرگ سلول می‌شوند. مکانیسم عمل به ویژگی‌های پلاسمای به کار رفته و نوع میکروب بستگی دارد. ویژگی پلاسما، به ولتاژ مورد استفاده در تولید پلاسما، گاز مورد استفاده، رطوبت نسبی محیط و فاصله میکروب‌ها از جرقه پلاسما بستگی دارد. همچنین نوع میکروارگانیسم به گرم مثبت و گرم منفی بودن و وجود اسپورها بستگی دارد (Ozen & Singh, 2020).

۴-۲- کاربرد پلاسما در کنترل بیوفیلم‌ها

از دیگر کاربردهای پلاسمای سرد، می‌توان به کنترل بیوفیلم‌ها و آلودگی از سطوح فرایند نیز اشاره کرد. بیوفیلم‌ها در صنایع غذایی به خصوص در بخش‌هایی مانند تهیه آبجو، فرآیندهای لبنی، مواد تازه، فرآیندهای طیور و فرآیندهای گوشت قرمز بسیار مشکل آفرین هستند (Simoes *et al*., 2010). تکنولوژی پلاسما می‌تواند به‌عنوان یکی از کاربردهای ممکن برای مبارزه با بیوفیلم‌ها که بر سطوح فرآیند تشکیل می‌شوند، به کار گرفته شود. یک پتنت در آمریکا، اختراع دانشمندان برای غیرفعال کردن بیوفیلم‌های باکتریال در سطوحی که در معرض عملیات پلاسما سرد قرار گرفته بودند، را توصیف کرد. این پتنت ادعا نمود که اگر سطوح فرآیند مواد غذایی که دارای آلودگی بیولوژیکی است در معرض پلاسما اکسیژن قرار بگیرد سبب استریلیزاسیون خواهد شد و آلودگی بیولوژیکی به شکلی در خواهد آمد که بعد مقاوم به چسبیدن باکتری‌ها و سایر مواد زیستی خواهد شد و تمیز کردن و استریلیزاسیون در سطوحی انجام خواهد شد که با بیوفیلم‌ها پوشیده نخواهند بود. این مخترعین سپس پیشنهاد نمودند که مرحله بعدی می‌تواند اینطور ادامه یابد که پلاسما واسطه ایجاد یک فیلم ضد کف گردد و با استفاده از اجزائی یک شبکه‌ای از ماکرومولکول‌ها با ساختمان مطلوب که مقاوم به چسبیدن باکتری‌ها است فراهم نماید (Dasan & Boyaci, 2018).

۴-۳- کاربرد پلاسما در استریلیزه کردن مواد بسته بندی

استریلیزه کردن مواد بسته بندی به روش پلاسمای سرد می‌تواند یکی از روش‌های مورد استفاده در بسته‌بندی قرار مواد غذایی باشد. مواد بسته‌بندی مواد غذایی هم به عنوان نگهدارنده و هم به عنوان محافظت کننده از فساد و آلودگی خارجی یا صدمه در طی توزیع و انبارداری در نظر گرفته می‌شوند. اگر مواد بسته بندی در شرایط مناسب نگهداری نشوند، می‌توانند با میکروارگانیسم‌ها آلوده شوند. این مواد آلوده‌کننده از طریق بسته بندی به ماده غذایی منتقل می‌شوند و رشد آنها در ماده غذایی به دلیل فساد می‌تواند منتج به ضایعات اقتصادی گردد (Turtoi & Nicolau, 2007). کاربردهای اخیر پلاسما بیشتر محدود به صنایع بسته بندی می‌شود و شامل استریلیزاسیون سطوح غیرتاشونده و قابل چاپ و کاهش نفوذپذیری پلیمرها برای دی‌اکسید کربن و اکسیژن است (Basaran *et al*., 2008). استریلیزاسیون با پلاسمای گازی با دمای پایین سبب استریلیزاسیون سریع و ایمن در مواد بسته‌بندی مانند شیشه‌های پلاستیکی، درب‌ها و فیلم‌ها می‌شود بدون این که تاثیر معکوس بر خواص مواد بگذارد و هیچ گونه باقیمانده‌ای به جا بگذارد (Misra *et al*., 2011).

۴-۴- کاربرد پلاسما در صنعت گوشت و فراورده‌های آن

یکی از مهمترین صنایع در بخش تولید و فراوری مواد غذایی صنعت گوشت می‌باشد، در دهه‌های اخیر مصرف گو شت و فرآورده‌های گوشتی افزایش یافته است (Misra & Jo, 2017). گوشت و فراورده‌های گوشتی به علت فراوانی مواد مغذی دارای فساد پذیری بالایی هستند، که فساد گوشت در اثر سه مکانیسم اصلی رخ می‌دهند که عبارتند از رشد میکروبی، اکسیداسیون چربی و اتولایز آنزیمی است (Gok *et al*., 2019). تحقیقات اخیر این اطمینان را به ما می‌دهد که پلاسمای سرد توانایی حفظ ایمنی را در گو شت خوک، مرغ و گو شت گاو را دارد (Peng *et al*., 2018). پلاسمای سرد موجب از بین بردن گسترده میکروارگانیسم‌ها اعم از اسپورها، بیوفیلم‌ها، باکتری‌های بیماری زا و گاهی اوقات ویروس‌ها می‌شود. رنگ و بافت از مهمترین

خواص فیزیکی در گوشت و فراورده‌های گوشتی می‌باشد، بر اساس گزارشات افزایش مدت زمان تیماردهی با پلاسما زمانی که منبع تولید کننده پلاسما لایه نازک باشد باعث کاهش رنگ قرمز در گوشت خوک و گاو می‌شود (Misra & Jo, 2017). در مطالعه ای تاثیر پلاسمای سرد در غیر فعال سازی دو میکروارگانیسم بیماری‌زا *استافیلوکوکوس اورئوس* و *لیستریامونوسایتوژنز* که به گوشت گاو خشک شده تلقیح شده مورد بررسی قرار گرفته است که پلاسما تاثیر مثبت در غیر فعال سازی دو میکروارگانیسم دارد (Gok *et al*., 2019). در مطالعه دیگری تاثیر تیمار با پلاسمای حاصل از تخلیه سد دی الکتریک بر روی باکتری‌های *اشریشیاکلای*، سالمونلا و *لیستریامونوسایتوژنز* در سینه مرغ آب پز با روکش پروتئین آب پنیر مورد بررسی قرارگرفت. در ولتاژ ۳۹ کیلوولت و زمان ۳/۵ دقیقه به ترتیب باعث غیرفعال سازی سالمونلا به مقدار ۳/۷ Log cfu/ml، *اشریشیاکلای* به مقدار ۳/۹ Log cfu/ml، *لیستریا مونوسایتوژنز* به مقدار ۳/۵ Log cfu/ml می‌شود (Roh *et al*., 2020).

۴-۵-کاربرد پلاسما در میوه‌ها و سبزیجات

از روش‌های فراوری میوه‌جات و سبزیجات می‌توان خشک کردن، استفاده از گاز دی اکسیدگوگرد، کنسرو و کمپوت کردن و استفاده از فرایندهای غیر حرارتی نوظهور مثل استفاده از پلاسمای سرد را نام برد (Pan *et al*., 2019).

خشک کردن از قدیمی‌ترین روش‌های نگهداری سبزی‌های خوراکی و میوه جات می‌باشد، اما متاسفانه منجر به تخریب اسیدآسکوربیک می‌شود. استفاده از گاز دی اکسیدگوگرد موجب ازبین رفتن تیامین می‌شود. کنسرو و کمپوت کردن میوه‌ها و سبزیجات تا حدی موجب از بین رفتن ویتامین‌ها می‌شود، هر چه مدت نگهداری محصولات کنسرو شده طولانی تر باشد، ویتامین‌های بیشتری از دست می‌رود. در این خصوص اتلاف اسید آسکوربیک شدیدتر است و با بالا رفتن دما تشدید می‌شود. استفاده از پلاسمای سرد به عنوان یک روش جدید و کارآمد برای کاربردهای بهداشتی و ضدمیکروبی استفاده می‌شود اگر چه تابش پلاسما برروی میوه‌ها و سبزیجات می‌تواند باعث ایجاد خواص مطلوبی شود در عین حال تابش طولانی مدت آن ممکن است منجر به کاهش ماندگاری آنها شود که باید زمان بهینه تابش به دست آورده شود (Pan *et al*., 2019). پلاسمای سرد می‌تواند جایگزین سایر روش‌های ضدعفونی مانند استفاده از کلر در سبزیجات برگی‌شکل در مقیاس بزرگ شود. در مطالعه‌ای اثر پلاسمای سرد حاصل از دستگاه سد دی الکتریک به ولتاژ ۱۵ کیلوولت را بر روی فعالیت آنتی اکسیدانی و ویژگی‌های کیفی و میکروبی در کاسنی قرمز (Radicchio) بعد از ۱۵ الی ۳۰ دقیقه تیمار بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که باکتری *اشریشیاکلای* بعد از ۱۵دقیقه تیمار با پلاسمای سرد از بین می‌رود، در حالی که باکتری *لیستریامونوسایتوژنز* بعد از ۳۰ دقیقه تیمار از بین می‌رود، همچنین بلافاصله بعد از تیمار تغییر قابل توجهی در فعالیت آنتی اکسیدانی مشاهده نشده است (Pasquali *et al*., 2016). تیمار مناسب میوه‌جات وسبزیجات تازه‌ای که بر روی آنها بیوفیلمی از باکتری پاتوژن *اشریشیاکلای* تشکیل شده است بسیار حائز اهمیت است که یکی از تیمارهای مناسب استفاده از پلاسمای نیتروژن سرد می‌باشد، که جز روش‌های استرلیزاسیون مواد غذایی می‌باشد و هیچ گونه پسماندی تولید نمی‌کند (Cui *et al*., 2018).

۴-۶- کاربرد پلاسما در صنعت آبمیوه

آگاهی مردم نسبت به فواید میوه‌ها در جلوگیری از بروز برخی بیماری‌ها نظیر سرطان‌ها و بیماری‌های قلبی و عروقی، روزبه روز در حال گسترش است و میوه جات در این امر نقش اساسی دارند. از طرف دیگر ایمنی مواد غذایی که شامل از بین بردن باکتری‌های بیماری زا در مواد غذایی است، از مهمترین چالش‌های هر صنعت به شمار می‌رود. روش‌های سالم سازی مختلفی وجود دارد که از یکی از معمول‌ترین این روش‌ها، فرآیندهای حرارتی مثل پاستوریزاسیون توسط بخار و اتوکلاو می‌باشد. روش‌های حرارتی علاوه بر ایجاد قابلیت نگهداری در آبمیوه‌ها، دارای اثرات منفی بر روی مواد مغذی، خواص حسی و ویژگی‌های دیگر می‌باشند. مطالعات مختلف زیادی نشان دهنده موفقیت پلاسمای سرد در از بین بردن میکروارگانیسم‌ها در

سال‌های اخیر است. توانایی اجرای پلاسمای سرد در فشار اتمسفر و دمای پایین به ما این امکان را می‌دهد که کاهش در بار میکروبی محصول بدون آسیب به خواص فیزیکو شیمیایی محصول ایجاد کنیم (Coskun & Pazir, 2013).

در مطالعه‌ای آب زرشک تحت تاثیر پلاسمای سرد اتمسفری قرار گرفت و مشخص گردید که در شمارش کل میکروارگانیسم‌ها، کپک و مخمر، باکتری‌های اسید لاکتیک و باکتری‌های مقاوم به اسید بین ۸ ، ۱۰ و ۱۲دقیقه پلاسما با پاستوریزاسیون اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین میزان اسیدیته نمونه تحت تاثیر تابش پلاسما کاهش می‌یابد، که البته این کاهش در روش پاستوریزاسیون هم دیده می‌شود. تغییرات رنگ نمونه نیز در روش تابش پلاسما نسبت به روش پاستوریزاسیون حرارتی کمتر است. بنابراین می‌تواند مقبولیت بیشتری برای مصرف داشته باشد (Gok *et al*., 2019).

۴-۷- کاربرد پلاسما در صنعت شیر و فرآورده‌های آن

فرآوری‌های مختلفی در صنعت لبنیات عبارت از: پاستوریزاسیون، استرلیزاسیون، استفاده از فشار بالا و استفاده از پلاسمای سرد می‌باشد. از معایب تکنولوژی‌های حرارتی در صنعت لبنیات می‌توان به طعم گچی (Chakly taste) که در اثر بی ثباتی پروتئین‌ها در حرارت‌های بالا ایجاد می‌گردد و همچنین ایجاد رنگ تیره و تولید رنگ‌های کاراملە و قهوه‌ای و یا طعم پختگی در شیر اشاره کرد. از معایب استفاده از فشار بالا می‌توان به عدم کفایت در غیرفعال کردن برخی اسپورها و هزینه ساخت بالا اشاره کرد. استفاده از پلاسما بسته به شرایط و چگونگی تخلیه الکتریکی می‌تواند منبع خوبی از الکترون‌ها، یون‌ها، پرتوفرابنفش و رادیکال‌های آزاد باشد. این خصوصیت پلاسما توانایی آنها را در غیر فعال کردن باکتری‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌دهد، لذا در استرلیزاسیون موادی که دارای محدودیت در استفاده از اتوکلاو، حرارت، اشعه و یا مواد شیمیایی دارند قابل استفاده است. به منظور آلودگی‌زدایی موادغذایی به وسیله پلاسما، به طوریکه تغییرات نامطلوب در آن ایجاد نشود، باید گاز پلاسما در دمای اتاق یا نزدیک به آن باشد که امروزه یکی از روش‌های نوین، استفاده از پلاسمای سرد فشار اتمسفری در استریل سازی و فرآوری محصولات لبنی است(A *et al*., 2017).

کرونوباکترساکازاکی (*Cronobacter sakazakii*) عامل عفونت در نوزادان است و اکثرا در پودرها و به ویژه در شیر خشک یافت می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که، تاثیر تیمار با پلاسمای سرد به مدت زمان ۲۰ تا ۱۲۰ ثانیه باعث کاهش لگاریتمی از ۱/۱۷ تا ۳/۲۷ در شمارش *کرونوباکترساکازاکی* می‌شود (Ng *et al*., 2021).

کازئین، بتا لاکتوگلوبولین و آلفا لاکتوآلبومین از مهترین پروتئین‌های آلرژن‌زای شیر هستند که باعث ایجاد مشکلات عدیده ای می‌شود. در مطالعه‌ای تغییرات ساختاری و پاسخ‌های آلرژیک پروتئین‌های شیرگاو تحت تاثیر فرایند غیرحرارتی پلاسمای سرد که از تخلیه جرقه‌ای (SD) یا از تخلیه درخشی (GD) به دست می‌آید، مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان داد که شدت باندهای کازئین و آلفا لاکتوآلبومین بعد از تیمارهای مربوطه کاهش می‌یابد، اما شدت باندهای بتا لاکتوگلوبولین بدون تغییر باقی می‌ماند. مطالعات FTIR نشان دهنده تغییر در ساختار پروتئین بعد از تیمار با پلاسما است. در حالت کلی نتایج حاکی از این است که تیمار با پلاسما مواد حساسیت زا را در شیر کاهش دهد (Ng *et al*., 2021).

۴-۸- کاربرد پلاسما در صنعت روغن‌های خوراکی

وجود چربیها در غذا باعث بهبود عطر و طعم غذا می‌شود. مراحل تولید روغن در کارخانجات عبارتند از: صمغ گیری، خنثی سازی، خشک کردن، بی‌رنگ سازی، هیدروژناسیون، بی‌رنگ سازی مجدد، فرمولاسیون روغن و بی‌بوسازی که برای تهیه روغن مایع مراحل هیدروژناسیون و بی‌رنگ سازی مجدد حذف می‌شود. هیدروژناسیون یک واکنش شیمیایی می‌باشد که در آن روغن‌های مایع با تغییر در ساختار در حضور کاتالیزور پودر نیکل در دمای بالا و فشار گاز هیدروژن به روغن‌های نیمه‌هیدروژنه تبدیل می‌شود و واکنش تا جایی ادامه می‌یابد که تمام باندهای دوگلنه موجود در روغن‌ها با هیدروژن وارد واکنش شود و

درنهایت روغن هیدروژنه جامد تولید شـود (Hughes *et al*., 2009). هیدروژناسـیون باعث افزایش کیفیت نگهداری روغن‌ها می‌شـود و عملکرد فیزیکی روغن‌ها را بهبود می‌دهد. در طی فرایند هیدروژناسـیون با روش‌های قدیمی یکسـری ایزومرهای ترانس ایجاد می‌شـود که دارای خواص نامطلوب از لحاظ تغذیه‌ای اسـت. اسـتفاده از روش‌های نو که خواص مطلوبی به فرآورده می‌دهد می‌تواند جایگزین روش‌های قدیمی شـود. محققین اخیرا از پلاسـما به عنوان فرآیند جایگزین در تولید روغن‌های نیمه هیدروژنه بدون ایزومر ترانس اسـتفاده کرده‌اند. نتایج نشـان داده اسـت تیمار روغن سـویا با پلاسـما باعث کاهش ارزش یدی از ۱۳۱ به ۹۲ در طی ۱۲ ساعت شده و در عین حال میزان اسیدهای چرب اشباع تا ۳۲/۳ درصد افزایش می‌یابد. قابل ذکر است در رابطه با استفاده از پلاسما جهت هیدروژناسیون روغن‌ها مطالعات زیادی صورت نگرفته است و لازم است سایر خصو صیات روغن‌های تیمار شده و به ویژه مدت زمان نگهداری اینگونه روغن‌ها مورد بررسی قرارگیرد (Chizoba Ekezie *et al*., 2017).

۴-۹- کاربرد پلاسما بر غلات

غلات به‌عنوان مهمترین منبع انرژی، پروتئین، نشاسته، فیبر، موادمعدنی و ویتامین‌ها در رژیم غذایی محسوب می‌شود. گروه غلات که شـامل مواد غذایی مختلفی نظیر: نان، برنج، ماکارونی، گندم، جو و ذرت می‌باشـد، در قاعده هرم قرارگرفته اسـت، که نشان دهنده اهمیت آنها در تغذیه و تامین انرژی روزانه است (Ng *et al*., 2021). یکی ازمشکلات بالقوه در برداشت و ذخیره سـازی دانه‌ها و غلات آلودگی میکروبی آنها از منابع مختلفی نظیر هوا، گرد و غبار، خاک، آب، حشـرات و پرندگان می‌باشـد. باکتری‌های سودوموناس، میکروکوکاسه‌آ، لاکتوباسیلاسه و باسیلاسه توانایی آلودگی غلات و مشتقات آنها را دارد. باکتری‌های بیماری زا شامل: سالمونلا، *اشریشیاکلای* و باسیلوس و همچنین طیف وسیعی از قارچها توانایی آلودگی غلات در مزرعه را دارد. قارچهای آلترناریا و فوزاریوم باعث آلودگی غلات در زمان ذخیره سـازی می‌شـود. متابولیسـم‌های ثانویه برخی از قارچها نظیر: آسپرژیلوس و پنی سیلیوم در زمان ذخیره‌سازی باعث تولید یکسری مواد مضر و مقاوم به نام مایکوتوکسین‌ها می‌شود که دارای خطرات سلامتی برای انسان و حیوانات هستند. استفاده از حرارت و استرلیزاسیون توسط مواد شیمیایی از روش‌های مرسوم برای کنترل فساد در دانه‌های غلات می‌باشد که علاوه بر تاثیر منفی که بر خواص فیزیکوشیمیایی دانه‌ها می‌گذارد باعث نابودی کامل مایکوتوکسین‌ها نمی‌شود، بنابراین استفاده ازروش‌های نوین مانند: تیمار با ازن، میکروویو، نورفرابنفش و پلاسمای سرد که محدویت‌های روش‌های سنتی را ندارند می‌توان استفاده نمود (Los *et al*., 2018). در مطالعه‌ای استفاده از پلاسمای سرد با توان ۱۲۰ یا صـفر وات در اصـلاح برنج مومی، ذرت و سـیب زمینی مورد بررسـی قرار گرفته اسـت، که منجر به افزایش قابل توجه ژلاتینی شدن نشاسته مومی و افزایش قابل توجه در محتوای نشاسته مقاوم در ذرت، سیب زمینی و برنج بعد از تیمار با گاز می‌شود، ترکیب تیمار پلاسـما وگاز منجر به کاهش ۵/۵ درصـدی و ۲/۸ درصـدی تبلور در نشاسـته سـیب زمینی شـد، اما تاثیری بر برنج و نشاسته ذرت نداشت (Peng *et al*., 2018). در مطالعه دیگری تیمار با پلاسمای سرد بر روی طیف وسیعی از باکتری‌هایی که بر روی سطح دانه گندم به طور مصنوعی تلقیح شده است موثر واقع شده است (Ng *et al*., 2021).

۴-۱۰- کاربرد پلاسما در صنعت ادویه‌جات

از فاکتورهای کیفی بسـیار مهم در ادویه‌ها آلودگی میکروبی اسـت. فلور میکروبی ادویه‌جات به عواملی نظیر: مواد گیاهی مشـتق شـده از آنها، شـرایط آب و هوایی، منطقه کشـت، نحوه کشـت شـرایط حمل و نقل و نحوه ذخیره‌سـازی بسـتگی دارد. از گاز اکسـیداتیلن و پروپیلن برای کاهش آلودگی میکروبی در ادویه جات اسـتفاده می‌شـود که اسـتفاده از این روش در خیلی از کشـورها از سـالها پیش به دلیل باقیمانده‌های اکسـیداتیلن موجود درموادغذایی که باعث ایجاد و تحریک تومورهای سـرطانی از راه دهانی و اسـتنشـاق در حیوانات آزمایشـگاهی می‌شـود، ممنوع شـده‌است. پلاسـمای سـرد در تیمار ادویه جات بسـیار مورد استفاده قرار گرفته است. در مطالعه ای ترکیب تیمارهای مایکروویو و پلاسمای سرد برای غیرفعال کردن اسپورهای *باسیلوس*

سرئوس موجود در پوسته‌های آلوده فلفل قرمز مورد بررسی قرارگرفت، نتایج نشان داد تاثیرغیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها با MCPT بیشتر از روش مایکروویو است (Kim *et al.*, 2017).

زعفران با نام علمی(*Crocus Sativus* L.) یکی ازگران ترین ادویه‌ها است و مانند سایرگیاهان و ادویه‌ها یک محصول کشاورزی می‌باشد که به دلیل تماس مستقیم با خاک در معرض آلودگی میکروبی قرار دارد لذا انتخاب یک روش مناسب جهت حذف و یا کاهش آلودگی‌ها ضرورت دارد. روش‌های حرارتی به دلیل اثرات سوئی که به رنگ، عطر و طعم زعفران می‌گذارد، توصیه نمی‌شود. در مطالعه‌ای اثر پلاسمای سرد با دو منبع گازی نیتروژن و هوا بر ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی زعفران بررسی شد و نتایج حاصل نشان داد که پلاسما با منبع گازی نیتروژن، اثر میکروب‌کشی کمتری نسبت به پلاسما هوا دارد و با افزایش زمان تابش پلاسما میزان غیرفعالسازی میکروارگانیسم‌ها افزایش یافته و با افزایش تابش پلاسما میزان سافرانال، کروسین و پیکروکروسین به طور معنی داری کاهش می‌یابد (Maryam *et al.*, 2020).

۵- مزایا و معایب کاربرد پلاسما در صنایع غذایی

در گذشته پلاسما برای استریل کردن مواد حساس استفاده می‌شد و اکنون به عنوان یک فناوری جدید در صنایع غذایی گسترش یافته است. در سالهای اخیر پردازش با پلاسمای سرد برای غیرفعال کردن میکروب‌ها ضمن حفظ کیفیت محصولات تازه استفاده می‌شود. با این حال، این فرآیند برای سیستم‌های غذایی در مدل آزمایشگاهی برای غیرفعال‌کردن میکروبها یا آنزیم‌هایی که در بافت‌های دست نخورده حضور دارند، مؤثر نیست، زیرا پلاسما یک پردازش سطحی است. تحقیقات متعدد نشان داده است که رشد میکروارگانیسم‌ها از طریق عملکردهای مختلف با ایجاد پدیده ایچینگ (Eching phenomenon) اختلال در سلول توسط الکتروفورز و غیره کاهش می‌یابد. کاربرد کلی پلاسمای سرد برای از بین بردن میکروب‌ها روی بسترهای مختلف غذایی مانند میوه، فرآورده‌های گوشتی، پنیر و غیره است (Sarangapani *et al.*, 2017).

تیمار مواد غذایی با پلاسمای سرد یک تکنولوژی امیدبخش است که به سرعت عمل می‌کند، بر روی بخش‌های فرآیند شده و در گازهای خارج شده از خود باقیماندههای سمی به جای نمی‌گذارد و افزایش دما می‌تواند در سطح قابل قبول نگه داشته شود (Selcuk *et al.*, 2008). به علاوه، بر خلاف پالس‌های نوری و اشعه گاما، با استفاده از گاز پلاسما تاثیر تدریجی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد چون نمونه‌های واکنش دار در کل محفظه تولید می‌شوند. اما مطالعات در مورد تاثیر پلاسما غیر حرارتی بر اجزاء مواد غذایی در منابع بسیار کم است. برای ارزیابی کامل این روش، باید مسائلی در مورد کیفیت ماده غذایی مانند تغییرات در مواد مغذی، رنگ، کیفیت بافتی، باقیماندههای سمی و سایر تغییرات شیمیایی در نظر گرفته شود (Vleugels *et al.*, 2005).

طبق تحقیقات انجام شده، مشخص گردیده که اسید اسکوربیک به طور قابل توجهی در طول کاربرد پلاسما تجزیه نمی‌شود و فقط حداقل تلفات گزارش شده است. از سوی دیگر، برخی از مطالعات افزایش قابل توجه ویتامین C را در میوه‌های تازه و آب میوه‌ها گزارش کرده‌اند (Sarangapani *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2020). مکانیسم فروپاشی اسید اسکوربیک با پروتونه‌زدایی مولکول تشکیل دهنده آسکوربات - رادیکال آسکوربات - و به تشکیل دهیدروآسکوربات ختم می‌شود. پروتون زدایی اسید اسکوربیک می‌تواند با واکنش با هیدروژن، سوپراکسید، پراکسید هیدروژن یا رادیکال توکوفروکسیل رخ دهد. در سلول‌های زنده، دهیدروآسکوربات توسط آنزیم دهیدروآسکوربات ردوکتاز بازسازی می‌شود و اسید اسکوربیک را تشکیل می‌دهد. فناوری پلاسما که هیدروژنه شدن مولکول‌ها را القا می‌کند، می‌تواند دهیدروآسکوربات را از نظر شیمیایی به اسید اسکوربیک تبدیل کند، مکانیسم پوسیدگی را معکوس کرده و محتوای ویتامین C را حتی در محصولاتی که حاوی سلول‌های زنده نیستند، افزایش دهد. محتوای اسید اسکوربیک می‌تواند به دلیل واکنش با ازن، یا با واکنش مستقیم یا مکانیسم کریگی

کاهش یابد (Misra *et al*., 2015). بنابراین، شرایط عملیاتی که مقادیر زیادی ازن تولید می‌کنند برای محصولات میوه‌ای غنی از ویتامین C توصیه نمی‌شود. کاهش اسید اسکوربیک می‌تواند در طول ذخیره‌سازی به دلیل تجمع ازن در ماتریکس غذایی و سایر گونه‌های پلاسمای فعال نیمه عمر طولانی رخ دهد (Sarangapani *et al*., 2017; Castro *et al*., 2020; De Castro *et al*., 2020).

تأثیر مثبت کاربرد پلاسما بر ویتامین C عمدتاً به ولتاژ و زمان قرار گرفتن در معرض پلاسما بستگی دارد. ولتاژهای بزرگتر (۸۰ کیلو ولت) ممکن است محتوای ویتامین C را افزایش دهند اما فقط زمانی که برای مدت کوتاهی (کمتر از ۵ دقیقه) اعمال شوند. به نظر می‌رسد کاهش ولتاژ اعمال شده (۲۰ تا ۲۵ کیلو ولت) منجر به افزایش بیشتر ویتامین C حتی پس از دوره‌های طولانی قرار گرفتن در معرض (۱۵ تا ۳۰ دقیقه) می‌شود (De Castro *et al*., 2020).

همچنین از مزایای استفاده از تکنولوژی پلاسمای سرد جهت استفاده برای میوه‌ها و آبمیوه‌ها، می‌توان به بهبود ظرفیت فنولیک، ویتامین C، کاروتنوئیدی و آنتی اکسیدانی و از معایب آن می‌توان به تجزیه آنتوسیانین‌ها اشاره نمود (Fernandes & Rodrigues, 2021).

در حالی که پلاسما توانایی کمی در نفوذ به عمق مواد غذایی جامد مانند پنیر دارد. توانایی پلاسما و گونه‌های فعال تولید شده توسط آن برای نفوذ به عمق مواد غذایی جامد به ترکیب فیزیکوشیمیایی ماده غذایی، مقدار آب ماده غذایی و تخلل ماده غذایی جامد بستگی دارد ولی به طور کلی پلاسمای سرد در نفوذ به عمق مواد غذایی جامد با محدودیت روبه رو می‌باشد. در مواد غذایی مایع مانند شیر، ماست و آبمیوه‌ها، حجم ماده غذایی مایع با پلاسمای سرد و گونه‌های تولید شده توسط آن در تماس است و عمق نفوذ در این دسته از مواد غذایی از اهمیت کمتری برخوردار می‌باشد. با استفاده از یک همزن می‌توان عملکرد پلاسمای سرد را در رابطه با مواد غذایی مایع بهبود بخشید (Coutinho *et al*., 2017).

یکی دیگر از محدودیت‌های استفاده از فرآیند پلاسمای سرد، تیمار کردن مواد غذایی با چربی بالا می‌باشد که در صورت بهینه نبودن شرایط فرآیند از جمله انرژی ورودی به سامانه، اکسیداسیون لیپیدها اتفاق می‌افتد و باعث افت محسوس کیفیت ماده غذایی تیمار شده می‌شود. اگر گازی که برای تولید پلاسمای استفاده می‌شود دارای اکسیژن باشد با تولید گونه‌های فعال اکسیژن، اکسیداسیون لیپیدها در مواد غذایی چرب اتفاق می‌افتد. هنگامی که ترکیب گازی مورد استفاده برای تولید پلاسمای سرد شامل نیتروژن و اکسیژن باشد گونه‌های فعال ازون، NxOy و رادیکال‌های پروکسی ایجاد می‌شوند. ازون و اکسیژن یگانه ایجاد شده علی رغم اینکه اینکه خاصیت ضدمیکروبی زیادی دارند، باعث اکسیداسیون لیپیدها در مواد غذایی می‌شوند. به نحو تشکیل اوزون در طی تولید پلاسمای سرد در رابطه زیر اشاره شده است که M می‌تواند O، O2 و O3 باشد (Gavahian *et al*., 2018).

$$e^- + O_2 \longrightarrow 2O + e^-$$

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M$$

گونه‌های فعال اکسیژن در لیپیدهای مواد غذایی، گروه متیل دارای پیوند دوگانه را هدف قرار می‌دهند و سبب بروز پدیده اکسیداسیون می‌شوند. حساسترین اسید چرب‌ها به فرآیند پلاسمای سرد، اسید لینولئیک و اسید آلفا لینولئیک می‌باشند. با کنترل زمان فرآیند و همچنین انرژی ورودی به سامانه می‌توان از انجام اکسیداسیون جلوگیری کرد به این صورت که هرچه زمان تیمار کمتر و ولتاژ ورودی کمتر باشد اکسیداسیون کمتر اتفاق می‌افتد. در پژوهش‌های انجام شده مشخص گردیده است که اثر تیمار کنترل نشده پلاسمای سرد بر روی مواد غذایی مانند برنج، آرد گندم، گوشت، مرغ، غذاهای دریایی، سوشی، شیر، پنیر و روغن زیتون باعث اکسیداسیون چربی‌ها می‌شود و کیفیت ماده غذایی را به وطور منفی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Gavahian *et al*., 2018).

نتیجه گیری

کاربرد فناوری پلاسمای سرد به عنوان ابزاری جایگزین برای حذف آلودگی مواد غذایی و افزایش ماندگاری آن اثبات شده است. تأثیر پلاسمای سرد بر کیفیت مواد غذایی برای پذیرش آن به عنوان یک فناوری جایگزین در فرآوری مواد غذایی بسیار مهم است. با توجه به ماهیت غیر حرارتی، فراوری با پلاسمای سرد تأثیر کمتری بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، تغذیه‌ای و حسی محصولات مختلف نشان داده است که با توجه به غیرحرارتی بودن آن می‌تواند جایگزین مناسبی برای سایر روش‌های مورد استفاده برای استرلیزاسیون و پاستوریزاسیون مواد غذایی باشد. از طرفی، به دلیل عدم تولید ضایعات، انرژی مصرفی پایین و کم هزینه بودن و همچنین حفظ مواد مغذی و نیز به دلیل انجام آن در دمای اتاق می‌تواند جایگزینی مناسب وحتی بهتر برای عمل پاستوریزاسیون حرارتی باشد. با این حال، فراوری با پلاسمای سرد هنوز در شکل نوپای خود است و برای دستیابی به پتانسیل بیشتر استفاده خود، نیاز به تحقیقات بیشتر دارد و بهینه سازی فرایند برای کاهش اثرات منفی بر ویژگیهای ظاهری، شیمیایی، تغذیه‌ای و کارایی محصولات غذایی در تحقیقات باید مورد توجه قرار بگیرد. تطبیق پذیری طراحی، غیر حرارتی بودن، اقتصادی بودن و طبیعت سازگار با محیط زیست پلاسمای سرد مزایای منحصر به فردی نسبت به فناوری‌های سنتی می‌باشد.

منابع

1. **Anonymous. 2010.** Technologies: cool plasma for surface decontamination. www.foodscience.afisc.csiro.au/cool-plasma.htm. Accessed 1st July 2010
2. **Arjunan, K.P., Sharma, V.K. and Ptasinska, S. 2015.** Effects of Atmospheric Pressure Plasmas on Isolated and Cellular DNA-A Review. International Journal of Molecular Sciences, 16(2), 2971-3016.
3. **Basaran, P., Basaran-Akgul, N. and Oksuz, L. 2008.** Elimination of Aspergillus parasiticus from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. Food Microbiol, 25(4), 626–632.
4. **Castro, D.R.G., Mar, J.M., Da Silva, L.S., Da Silva, K.A., Sanches, E.A., Bezerra, J.D.A., Rodrigues, S., Fernandes, F.A.N. and Campelo, P.H. 2020.** Improvement of the Bioavailability of Amazonian Juices Rich in Bioactive Compounds Using Glow Plasma Technique. Food Bioprocess Technol, 13, 670–679.
5. **Chizoba Ekezie, F.G., Sun, D.W. and Cheng, J.H. 2017.** A review on recent advances in cold plasma technology for the food industry: Current applications and future trends. In Trends in Food Science and Technology, 69, 46–58.
6. **Colagar, A.H., Memariani, H., Sohbatzadeh, F. and Omran, A.V. 2013.** Nonthermal atmospheric argon plasma jet effects on Escherichia coli biomacromolecules. Applied biochemistry and biotechnology, 171(7), 161- 167.
7. **Çoşkun, F. and Pazir, F. 2013.** Impact of non-thermal processing technologies on quality of some fruit juices. Undefined.
8. **Coutinho, N.M., Silveira, M.R., Rocha, R.S., Moraes, J., Ferreira, M.V.S., Pimentel, T.C. 2018.** Cold plasma processing of milk and dairy products. Trends in Food Science & Technology, 74, 56-64.
9. **Cui, H., Bai, M., Yuan, L., Surendhiran, D. and Lin, L. 2018.** Sequential effect of phages and cold nitrogen plasma against Escherichia coli O157:H7 biofilms on different vegetables. International Journal of Food Microbiology, 268, 1–9.
10. **Dasan, B.G. and Boyaci, I.H. 2018.** Effect of Cold Atmospheric Plasma on Inactivation of Escherichia coli and Physicochemical Properties of Apple, Orange, Tomato Juices, and Sour Cherry Nectar. Food and Bioprocess Technology, 11, 334–343.
11. **De Castro, D.R.G., Mar, J.M., da Silva, L.S., da Silva, K.A., Sanches, E.A., Bezerra, J.D.A., Rodrigues, S., Fernandes, F. and Campelo, P.H. 2020.** Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency. Food Resercg International, 131, 109044.
12. **Dobrynin, D., Fridman, G., Friedman, G. and Fridman, A. 2009.** Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue. New J Phys. 11: 115020.
13. **Fernandez, A., Shearer, N., Wilson, D.R. and Thompson, A. 2012.** Effect of microbial loading on the efficiency of cold atmospheric gas plasma inactivation of Salmonella enterica serovar Typhimurium. International journal of food microbialgy, 152(3), 175- 180.
14. **Fernandes, F.A.N. and Rodrigues, S. 2021.** Cold plasma processing on fruits and fruit juices: A review on the effects of plasma on nutritional quality. Process, 9, 1-24.
15. **Gavahian, M., Chu, Y.H., Mousavi Khaneghah, A., Barba, F.J. and Misra, N.N. 2018.** A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. In Trends in Food Science and Technology, 77, 32–41.
16. **Gök, V., Aktop, S., Özkan, M. and Tomar, O. 2019.** The effects of atmospheric cold plasma on inactivation of Listeria monocytogenes and Staphylococcus aureus and some quality characteristics of pastırma-A dry-cured beef product. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 56, 102188.

17. **Gurol, C., Ekinci, F.Y., Aslan, N. and Korachi, M. 2012.** Low temperature plasma for decontamination of E. coli in milk. International journal of food microbiology, 157(1), 1-5.
18. **Hou, Y., Wang, R., Gan, Zh., Shao, T., Zhang, X., He, M. 2019.** Effect of cold plasma on blueberry juice quality. Food Chemistry, 290, 79-86.
19. **Hughes, N.E., Marangoni, A.G., Wright, A.J., Rogers, M.A. and Rush, J.W.E. 2009.** Potential food applications of edible oil organogels. In Trends in Food Science and Technology, 20(10), 470–480.
20. **Kim, B., Yun, H., Jung, S., Jung, Y., Jung, H., Choe, W. and Jo, C. 2011.** Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. Food Microbiol, 28(1), 9–13.
21. **Kim, K., Kim, G., Hong, Y.C. and Yang, S.S. 2010.** A cold micro plasma jet device suitable for bio-medical applications. Microelectron Eng, 87(5–8), 1177–1180.
22. **Kim, J.E., Choi, H.S., Lee, D.U. and Min, S.C. 2017.** Effects of processing parameters on the inactivation of Bacillus cereus spores on red pepper (Capsicum annum L.) flakes by microwave-combined cold plasma treatment. International Journal of Food Microbiology, 263, 61–66.
23. **Kruk, Z.A., Yun, H.J., Rutley, D.L., Lee, E.J., Kim, Y.J. and Jo, C. 2009.** The effect of high pressure on microbial population and sensory characteristics of chicken meat. In: Proceedings of the 55th international congress of meat science and technology. Bella Center, Copenhagen, pp 26–30.
24. **Kudra, T. and Mujumdar, A.S. 2009.** Advanced drying technologies. CRC Press, Boca Raton.
25. **Los, A., Ziuzina, D., Akkermans, S., Boehm, D., Cullen, P.J., Van Impe, J. and Bourke, P. 2018.** Improving microbiological safety and quality characteristics of wheat and barley by high voltage atmospheric cold plasma closed processing. Food Research International, 106, 509–521.
26. **Maryam, A., Fakhri, S., Mohammad Javad, V., Arash, K. and Sahar, R. 2020.** Effect of Cold Plasman on Microbial and Chemical Properties of Saffron. Saffron Agronomy and Technology, 7(4), 425–439.
27. **Misra, N.N., Kaur, S., Tiwari, B.K., Kaur, A., Singh, N. and Cullen, P. 2015.** Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. Food Hydrocolloid, 44, 115–121.
28. **Misra, N.N., Tiwari, B.K, Raghavarao, K.S.M.S. and Cullen, P.J. 2011.** Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. Food Engineering Reviews, 3(3-4), 159-170.
29. **Misra, N.N. and Jo, C. 2017.** Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. In Trends in Food Science and Technology, 64, 74–86.
30. **Mortazavi, S.M., Hosseinzadeh Colagar, A. and Sohbatzadeh, F. 2016.** The Efficiency of the Cold Argon-oxygen Plasma jet to reduce Escherichia coli and Streptococcus pyogenes from solid and liquid ambient. Iranian Journal of Medical Microbiology, 10(3), 19-30.
31. **Ng, S.W., Lu, P., Rulikowska, A., Boehm, D., O'Neill, G. and Bourke, P. 2021.** The effect of atmospheric cold plasma treatment on the antigenic properties of bovine milk casein and whey proteins. Food Chemistry, 342.
32. **Omran, V., Sohbatzadeh, F., Siadati, S., Colagar, A.H., Akishev, Y. and Arefi- Khonsari, F. 2017.** Single channel atmospheric pressure transporting plasma and plasma stream demultiplexing: physical characterization and application to E. coli bacteria inactivation. Journal of Physics D: Applied Physics, 24(8), 434-448.
33. **Ozen, E. and Singh, R.K. 2020.** Atmospheric cold plasma treatment of fruit juice: A review. Trends in Food Science & Technology, 103, 144-151.
34. **Pan, Y., Cheng, J. and Sun, D. 2019.** Cold Plasma-Mediated Treatments for Shelf Life Extension of Fresh Produce: A Review of Recent Research Developments. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18(5), 1312–1326.
35. **Pasquali, F., Stratakos A. C., Koidis, A., Berardinelli, A., Cevoli, C., Ragni, L., Mancusi, R., Manfreda G. and Trevisani, M. 2016.** Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, Cichorium intybus L.). Food Control, 60, 552-559.
36. **Peng, P., Chen, P., Schiappacasse, C., Zhou, N., Anderson, E., Chen, D., Liu, J., Cheng, Y., Hatzenbeller, R., Addy, M., Zhang, Y., Liu, Y. and Ruan, R. 2018.** A review on the non-thermal plasma-assisted ammonia synthesis technologies. In Journal of Cleaner Production, 177, 597-609.
37. **Rastogi, N., Raghavarao, K., Balasubramaniam, V., Niranjan, K. and Knorr, D. 2007.** Opportunities and challenges in high pressure processing of foods. Crit Rev Food Sci Nutr, 47(1), 69–112.
38. **Roh, S.H., Oh, Y.J., Lee, S.Y., Kang, J.H. and Min, S.C. 2020.** Inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella, Listeria monocytogenes, and Tulane virus in processed chicken breast via atmospheric inpackage cold plasma treatment. LWT, 127, 109429.
39. **Sarangapani, C., O'Toole, G., Cullen, P.J. and Bourke, P. 2017.** Atmospheric cold plasma dissipation efficiency of agrochemicals on blueberries. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 44, 235–241.
40. **Schlüter, O., Ehlbeck, J., Hertel, C., Habermeyer, M., Roth, A., Engel, K.H. and Eisenbrand, G. 2013.** Opinion on the use of plasma processes for treatment of foods. Molecular nutrition & food research, 57(5), 920-927.
41. **Selcuk, M., Oksuz, L. and Basaran, P. 2008.** Decontamination of grains and legumes infected with Aspergillus spp. and Penicillum spp. by cold plasma treatment. Bioresour Technol, 99(11), 5104–5109
42. **Simoes, M., Simoes, L.C. and Vieira, M.J. 2010.** A review of current and emergent biofilm control strategies. LWT Food Science Technology, 43(4), 573–583.
43. **Surowsky, B., Fröhling, A., Gottschalk, N., Schlüter, O. and Knorr, D. 2014.** Impact of cold plasma on Citrobacter freundii in apple juice: Inactivation kinetics and mechanisms. International journal of food microbiology, 174, 63-71.

44. **Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P. and Cullen, P.J. 2009.** Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices. Trends Food Sci Technol, 20(3–4), 137–145.
45. **Turtoi, M. and Nicolau, A. 2007.** Intense light pulse treatment as alternative method for mould spores' destruction on paper-polyethylene packaging material. Journal Food Engerring, 83(1), 47–53.
46. **Vleugels, M., Shama, G., Deng, X.T., Greenacre, E., Brocklehurst, T. and Kong, M.G. 2005.** Atmospheric plasma inactivation of biofilmforming bacteria for food safety control. Plasma Sci IEEE Trans, 33(2), 824–828.
47. **Yun, H., Kim, B., Jung, S., Kruk, Z.A., Kim, DB., Choe, W. and Jo, C. 2010.** Inactivation of Listeria monocytogenes inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. Food Control, 21(8), 1182- 1186.

Cold plasma and its applications in food industry

Atefeh Olyaee[1], Shila Berengy[2], Zohreh Yahyaei Sooyani[1], Leila Nateghi[2] *

Received: 2021/11/21 **Accepted:2022/05/26**

ABSTRACT

Plasma technology is one of the new technologies that has found many applications in various industries, including the food industry. Plasma is actually called the fourth state of matter, which is used in sterilization of medical supplies and equipment, equipment used in food industry and food processing. Cold plasma is a dry, non-thermal technology without the need for chemicals, which is able to work continuously at atmospheric pressure, and due to its non-thermal nature, it can be a suitable alternative to other chemical and physical methods used for sterilization and Pasteurization of food. Plasma sterilization techniques are effective, simple and fast (from a few seconds to an hour) and have a lower temperature (less than 70 degrees). The research done in relation to cold plasma has shown that it has the ability to kill microbes and can also destroy vegetative forms, spores and fungi. Also, these studies show that the type of food product, the source of plasma production, the state of exposure of the plasma (direct or indirect) to the desired substance are vital in controlling the effects of cold plasma on antioxidant activity, nutritional value and organoleptic characteristics of food products. Therefore, getting acquainted with this method in order to use plasma technology in the food industry can be an important step in the advancement of science and food industry.

Keywords: cold plasma, pasteurization, food industry, nutritional value.

[1] M Sc. student, Department of Food Science and Industry, Varamin Pishva Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[2] Department of Food Science and Technology, Varamin-Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

***Corresponding authors email: Leylanateghi@yahoo.com**