یازدهمین کنگره ملی سراسری
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران
11th National Congress of
the New Technologies in Sustainable Development of Iran
senaconf.ir

مروری بر روش‌های تولید پلاسما جهت کاربرد در صنایع غذایی

هاجر زارعی (نویسنده مسئول)[1]، مهدیه قمری، آسیه حسن زاده

[1]دانشگاه امیرکبیر، تهران zareyi.h@aut.ac.ir

[2]موسسه آموزش عالی بصیر، آبیک، قزوین m_ghamary۸۵@yahoo.com

[3] موسسه آموزش عالی بصیر، آبیک، قزوین asiehhasanzadeh@gmail.com

چکیده

هدف از این مقاله بررسی روش‌های تولید پلاسما و کاربردها و اثرات کلی آن در صنایع غذایی می‌باشد. پلاسما از جمله نوآوری‌هایی است که در صنعت غذا شکل گرفته است که فرآیند میکروب‌زدایی و غیرفعال سازی میکروارگانیسم‌ها را در دماهای پایین برای حفظ کیفیت غذا و مواد مغذی آن انجام می‌دهد، بدون اینکه خواص آن تحت تاثیر قرارگیرد. پالسما حالت چهارم ماده و گاز یونیزه شده است که شامل الکترون‌ها، بارهای مثبت و یون‌های منفی، رادیکال‌های آزاد و اتم‌های گازی است که توسط محدوده وسیعی از دما و فشار در شرایط مورد نیاز صنایع مختلف تولید می‌شود. دراین ارایه، مباحث انواع پلاسماهای سرد از جمله تخلیه سد دی الکتریک(DBD) و پلاسماجت پلاسما با امواج ماکرویو و رادیویی و تابان مورد بررسی قرار گرفته اند و نگاهی کوتاه به روش‌های تولید و شرایط آن انداخته شده است.

واژه‌های کلیدی

پلاسمای سرد، غذا، تولید پلاسما

۱. پلاسما

پلاسما گازی یونیزه و مملو از ذرات باردار و خنثی است که در مجموع شبه خنثی است و در عین حال با توجه به نیروهای الکترومغناطیسی مابین ذرات، رفتار جمعی از خود بروز می‌دهد. . وقتی انرژی کافی به گاز وارد شود یونیزه می‌گردد، آن گاز از یک عایق به یک هادی تغییر پیدا می‌کند. یون‌ها امکان واکنش با سطوح مختلف را دارند و که می‌توانند خواص ضدمیکروبی و اصلاح سطح پیدا کنند[۱].

در حال حاضر از فناوری پالسما در بازارهای تجاری در صنعت دارویی (انعقاد پلاسمایی آرگون)، دفع زباله، برش دادن و اصلاح عملکردی سطوح مواد مختلف به منظور افزایش خاصیت چسبندگی جوهرهای ساده و چندلایه استفاده می‌شود[۲]. در بسیاری از این کاربردهای از پالسمای حرارتی استفاده می‌کنند، ولی کاربردهای مربوط به سطوح، غذا و دارو عموماً به صورت غیرحرارتی عمل می‌کنند. به دلیل پتانسیل بالای کاربرد پلاسمای سرد در صنایع غذایی، در این مقاله به مروری بر روش‌های مختلف تولید پلاسما جهت کاربرد در صنایع غذایی خواهیم پرداخت.

۲. پلاسمای سرد

پلاسما به دو صورت سرد و گرما وجود دارد. اما جهت کاربرد در صنایع غذایی تنها از پلاسمای سرد استفاده می‌شود. ظرفیت حرارتی پایین پلاسمای سرد، تنوع کاربردهای آن و هزینه تولید آن، باعث افزایش علاقه دانشمندان به استفاده از این فناوری شده است. به طور کلی می‌توان گفت پلاسما در محدوده وسیعی از دما و فشار تولید می‌شود و می‌توان با توجه به شرایط ایجاد پلاسما آن را به روش‌های مختلف تولید و به مواد مختلف اعمال نمود. پلاسمای سرد اتمسفری از جمله فناوری‌های نوظهور و نویدبخشی به شمار می‌رود که به علت کار در فشار اتمسفری و دمای محیط در کاربردهای بسیاری مورد استقبال قرار گرفته است. پلاسمای سرد جهت آلودگی زدایی از دستگاه‌های گران قیمت و حساس پزشکی، استریلیزاسیون بافت‌های زنده و بهبود زخم کاربرد دارد. یکی از عرصه‌های به روز این نوآوری در صنایع بسته بندی و پردازش سطوح پلیمری است[۳, ۴].

۲. ۱. کاربرد پلاسمای سرد در صنایع غذایی

پلاسمای سرد یک فناوری جدید غیر حرارتی است که به عنوان جایگزینی برای روش های سنتی جهت حذف آلودگی ها و ماندگاری مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. پلاسمای سرد جهت غیرفعال‌سازی طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌های گرم مثبت، باکتری‌های گرم منفی، قارچ‌ها، اسپورها و ویروس‌ها به کارمی‌رود. از کاربردهای پلاسمای سرد در صنایع غذایی می‌توان به ضدعفونی کردن موادغذایی، غیرفعال کردن آنزیم، حذف سموم، اصلاح بسته بندی مواد غذایی اشاره نمود[۵].

استریل و ضدعفونی کردن، از کاربردهای این پلاسما می‌باشد. پلاسمای سرد با تغییر در اسیدهای دیواره سلولی باکتری‌ها، قارچ‌ها و ویروس‌ها موجب تخریب این میکروارگانیسم‌ها شده و باعث استریل سطحی و عمقی مواد می‌گردد. پلاسما با تغییر در ساختار پروتئین و تخریب جایگاه فعال سبب غیر فعال سازی آنزیم‌ها شده و در حفظ کیفیت مواد غذایی از این طریق موثر می‌باشد. سموم وجود در مواد غذایی، به ویژه افلاتوکسین توسط پلاسما از بین می‌رود.

استفاده از سیستم‌های پالسمای سرد اتمسفری بیشتر به عنوان یک رویکرد نوآورانه و سازگار با محیط زیست ظاهر می‌شوند. که عامل سازگاری آن با محیط می‌توان عاری بودن از مواد شیمیایی و استفاده از انرژی سبز الکتریکی اشاره کرد. تصفیه آب توسط پالسما، که به آن آب فعال شده توسط پالسما گفته می‌شود، باعث کاهش PH آب شده و محیطی اسیدی ایجاد می‌کند که منجر به تغییر پتانسیل اکسایش، هدایت الکتریکی و در شکل گیری گونه های اکسیژن فعالROS و گونه‌های ازت RNS می شود[۶].

۳. انواع روش های تولید پلاسما در صنایع غذایی

پلاسما در اثر وارد کردن انرژی به اتم‌ها و یونیزاسیون آن ایجاد می‌شود. بسته به اعمال این انرژی با اختلاف پتانسیل یا پرتودهی و یا با اعمال ولتاژ متناوب و یا پالسی می‌توان مشخصات متفاوتی از پلاسما را ایجاد کرد که جدول ۱ به عناوین مختلف این روش‌های تولید پرداخته است. از طرف دیگر بسته به شرایط اعمال و محیط اتم‌ها، پلاسما به انواع مختلفی دسته بندی می‌شود. فرآیندهای پلاسمایی که انرژی الکتریکی خود را از منابع DC، AC وRF به دست می‌آورند، قدیمی‌ترین و عمومی‌ترین این فرآیندها هستند. در اکثر موارد، آنها در فشار اتمسفر به کار می‌روند؛ بنابراین، دمای عملیاتی بسیار بالا است. تخلیه الکتریکی در پلاسما به دلیل شرایط و چگونگی تخلیه، می‌تواند منبع ایجاد الکترون‌ها، یون‌های مثبت و تابش فرابنفش باشد و تنوع بالایی از لحاظ انرژی، فشار، فرکانس داشته باشد[۷]. همچنین در شرایط پلاسماهای پایدار، حداقل توان برای حفظ پلاسمای القایی به فشار، فرکانس و ترکیب گاز بستگی دارد. تنظیم توان پایدار کمتر با فرکانس های رادیویی RF[۱] به دست می‌آید. هنگامی که گازهای دو اتمی وارد پلاسما می شود، قدرت نگهداری به شدت افزایش می‌یابد، زیرا انرژی تفکیک اضافی برای شکستن پیوندهای مولکولی گازی در ابتدا لازم است، بنابراین تحریک بیشتر برای حالت پلاسما امکان پذیر است. مولکول های دیاتومیک شامل دو اتم با هم هستند. در مقابل، عناصر تک هسته‌ای شامل اتم‌های تک (به عنوان مثال، Ar، He). بسیاری از ترکیبات دو اتم، مانند HCl، NaCl و KBr هستند. در این بین، گاز دو اتمی خنثی نیتروژن یکی از گازهای پر مصرف در تولید پلاسما ست، مولکول‌های موجود در نیتروژن فشرده‌تر هستند، بنابراین فضای کمتری برای انبساط/انقباض وجود دارد که تغییرات گرم و سرد را تحمل می‌کند و همچنین واکنش با مواد دیگر در آن کمتر رخ می‌دهد. به طور کلی، دلایل اصلی استفاده از گازهای دو اتمی در پردازش پلاسما عبارتند از: (۱) برای بدست آوردن پلاسمایی با محتوای انرژی بالا و هدایت حرارتی خوب و (۲) توانایی پایدار شدن برای پردازش سطوح.

در تخلیه‌های گازی با فشار پایین، آهنگ برخورد بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز به اندازه کافی نیست، بنابراین یک تعادل غیردمایی بین الکترون‌ها و مولکول‌های گاز وجود دارد. اگر ذرات پرانرژی بیشتر الکترون باشند، این الکترون‌ها انرژی بیشتری نسبت به هسته و یون‌های سنگین دیگر ماده ی تشکیل دهنده پلاسما خواهند داشت. در این حالت ممکن است قسمت‌های یونی و هسته همچنان دارای انرژی کمتر باقی بمانند و حالت غیر تعادل حرارتی مابین الکترون و یون‌های پایه ایجاد شود. در این نوع پلاسما، دمای الکترون برای مثال می‌تواند تا ۲۰۰۰ درجه کلوین برسد اما دمای گاز نزدیک به دمای اتاق باقی می‌ماند. این نوع پلاسما را پلاسمای سرد می‌نامند که گستره‌ی دمایی آن بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه کلوین است. آرک حاصل از پلاسمای سرد بدلیل کوتاهی و سطح وسیع انتشار (طول کوتاه و قطر پهن آرک) دمای زیادی را منتقل نمی‌کند و از آنجا که این نوع پلاسما دمایی در حدود دمای اتاق دارد به آن پلاسمای سرد یا NTP[۲] گفته می‌شود.

جدول۱: انواع پلاسما از لحاظ روش تولید، مشخصات تخلیه و نوع برهمکنش

برهم کنش با شاره	مشخصات تخلیه	تحریک انرژی با
•مستقیم با آب •به طور غیر مستقیم بالای آب •ایروژل •ایجاد حباب	•DBD •تخلیه کرونا •تخلیه جزیی •پلاسما جت •تخلیه تابان	•ولتاژ مستقیم •ولتاژ متناوب •امواج رایویی •ولتاژ پالسی •امواج ماکروویو

۱. Radio Frequency
۲. NTP: Non-Thermal Plasma

۳. ۱. جت پلاسما

پلاسما جت سرد در نتیجه اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی به جریان گاز بی اثر مانند هلیوم که در حال عبور از نازل پلاسما جت است، تشکیل می‌شود. دو نوع سیستم پلاسما جت وجود دارد که در فشار کم یا فشار اتمسفر کار می‌کنند. سیستم‌های پلاسما جت با استفاده از کاتد توخالی برای کاربردهایی تکنولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند که می‌توان با توجه به فشار عملیات، آنها را به دو گروه اصلی تقسیم شوند:

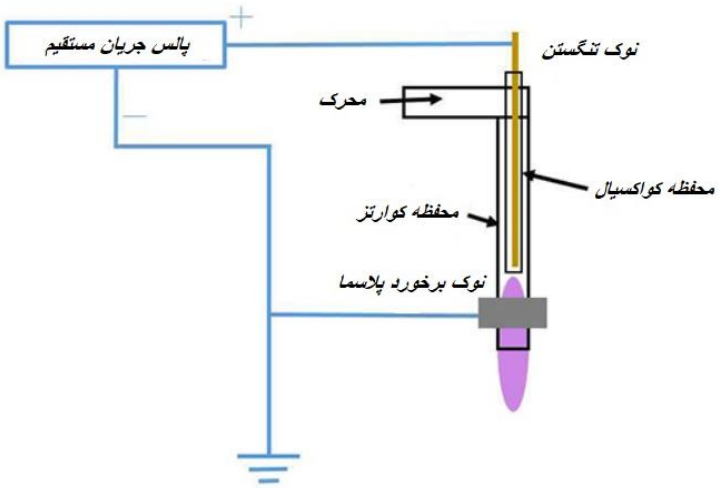
الف) راکتورهای شیمیایی پلاسمایی کم فشار

ب) راکتورهای شیمیایی پلاسمایی فشار بالا/اتمسفری

در این روش که کاربردهای زیادی می‌تواند در صنایع غذایی داشته باشد، این فناوری از توان پالسی برای یونیزه کردن یک گاز در فشار اتمسفر کمک می‌گیرد و ولتاژ اعمال شده به آزاد کردن رادیکال‌های هیدروکسیل منجر می‌شود. در نتیجه این عمل آب تصفیه شده و یا میوه‌ها و سبزیجات موجود در ظرف ضدعفونی می‌شود. در کاربردی که برای دستگاه خانگی ضد عفونی میوه ها استفاده شده است، از یک جت پلاسما برای ایجاد یک سری واکنش‌هایی استفاده می‌کند که آب را در کسری از ثانیه تصفیه می‌کند. همچنین این واکنش‌ها تاثیری بر درجه حرارت یا ترکیب آب نمی‌گذارد. نکته مهم دیگری که در مورد جت‌های پلاسما باید بدانیم این است که بسیار ایمن هستند و براحتی می‌توان آنها را با دست لمس کرد [۸].

این فناوری به تولید رادیکال‌هایی مانند هیدروکسیل کمک می‌کند تا بدون استفاده از دستگاه‌های تصفیه کننده، مواد معدنی، فیلترها یا مواد ضدعفونی کننده میوه‌ها و سبزیجات را فوراً برای شما تمیز کند. این فناوری برای اولین بار توسط محققان دانشگاه آلاباما به عنوان روشی برای تصفیه فوری آب مورد مطالعه قرار گرفته بود و در ادامه گزینه‌های جدیدی مثل تمیز کردن میوه و سبزیجات هم به آن اضافه شد. این دانشگاه نوع جدیدی از مولد پلاسما را برای تصفیه‌ی آب توسعه داده‌اند که از طریق سیگنال‌های پالسی ولتاژ باعث یونیزاسیون گاز در فشار اتمسفری می‌شود و محصولات جانبی مفیدی مانند رادیکال‌های هیدروکسیل را تولید می‌کند. این رادیکال‌ها منجر به وقوع مجموعه‌ای از واکنش‌ها شده که در نهایت باعث تصفیه آب می‌شوند.

در این سیستم همانطور که به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است با تزریق یک گاز محرک به داخل لوله و یونیزه شده آن، جت پلاسما شکل می‌گیرد. گونه‌های موجود در پلاسما (الکترون‌ها) با ملکول‌های آب واکنش داده و منجر به تولید رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شوند و به دنبال آن فرآیند تصفیه انجام می‌شود.



شکل ۱. تولید پلاسما جت در آب برای تصفیه آب

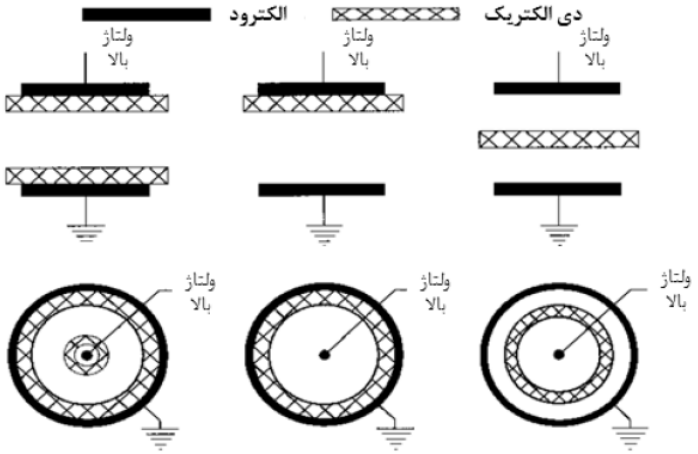
۲،۳. تخلیه اتمسفری DBD

تخلیه سد دی الکتریک (DBD) روشی جدید و خلاقانه برای تولید پلاسمای غیر حرارتی است که اخیراً به طور گسترده‌ای درشاخه‌های مختلف علم و تکنولوژی مورد توجه قرار گرفته است. اخیرا تلاش‌های زیادی بر روی کاربرد این فناوری در بخش کشاورزی و صنایع غذایی متمرکز شده است. میکروب زدایی سطح مواد غذایی و جوانه زنی بذر، دو کاربرد جذاب پلاسمای DBD است که می‌تواند تغییرات بزرگی در صنعت آینده به بار آورد. تخلیه سد دی الکتریک، یک تخلیه الکتریکی بین دو الکترود است که حداقل یکی از الکترودها با یک لایه دی الکتریک پوشانده شده است. اعمال ولتاژ متناوب بر الکترودها منجر به ایجاد پلاسمای غیر حرارتی سد دی الکتریک در فشار اتمسفری می‌شود. با توجه به دمای پایین پلاسما و کار در فشار اتمسفری این پلاسما کاربرد فراوانی در زمینه‌های مختلف علم و فناوری پیدا کرده است.

پلاسمای DBD نیاز به جریان گاز ندارد و در نتیجه‌ی اعمال اختلاف پتانسیل الکتریکی به الکترودی که توسط یک لایه دی الکتریک پوشانده شده است، بین سطح دی الکتریک و سطح مد نظر ایجاد می‌شود. یعنی انواع مختلف روش تولید میتواند بر روی یک لایه اضافه دی الکتریک،متفاوت از سطح الکترود ولتاژ بالا و الکترود زمین که در همه سیستم های تولید پلاسما مشترک است، ایجاد شود. از آنجایی که دمای پلاسمای ایجاد شده در پلاسما جت و پلاسمای DBD در حدود دمای اتاق است (۲۵-۳۵ درجه سانتیگراد) و نسبت به سایر انواع پلاسما، افزایش دمایی ندارد به آن پلاسمای سرد گفته می شود. این پلاسما قابلیت صنعتی سازی دارد چون در فشار اتمسفریک انجام می‌شود و نیاز به پمپ‌های خلاء نیست و همچنین با استفاده از این تکنولوژی می‌توان خیلی از مسائل مصرف انرژی را کاهش دهیم و یا از گازهای مختلفی استفاده کنیم بدون آنکه تاثیر زیادی بگذاریم. همچنین می‌توانیم از هوا استفاده کنیم که به وفور یافت می‌شود.

در کاری که توسط محققین دانشگاه بابلسر بر روی آب زرشک با پلاسمای اتمسفری صورت گرفته بود، کاهش بسیار زیاد میکروب ها به اثبات رسیده بود. قدرت پلاسما در غیر فعال سازی میکروارگانیسم‌ها به خوبی روش پاستوریزاسیون به اثبات رسیده است. از طرفی، نشان داده شده است که 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 و حتی بهتر برای عمل پاستوریزاسیون حرارتی باشد [۹].

از پلاسمای سرد در ماندگاری در میوه، چای و پسته استفاده می شود. در بسته‌بندی چای افزایش رنگ دهی چای حاصل می‌گردد و می-تواند مصرف چای را به یک سوم برساند. یک شرکت ایرانی، با ساخت دستگاهی با پلاسمای DBD، توانسته است ثبت بین المللی و نمونه نیمه صنعتی این محصول را ایجاد کند، مثلا در کاربرد پردازش سطح چای، به لحاظ فیزیکی فقط کیفیت سطح را زیاد می‌کند و خلل و فرجی که بعداً قرار بود درمرحله دم کشیدن چای اتفاق بیفتد و چیز نهفته‌ای که در داخل برگ چای وجود دارد، با استفاده از این فناوری بیرون می‌آید و در نتیجه میزان مصرف کاهش می‌یابد [۱۰].



شکل ۲. تخلیه سد دی الکتریک

۳،۳. تخلیه تابان فشار پایین

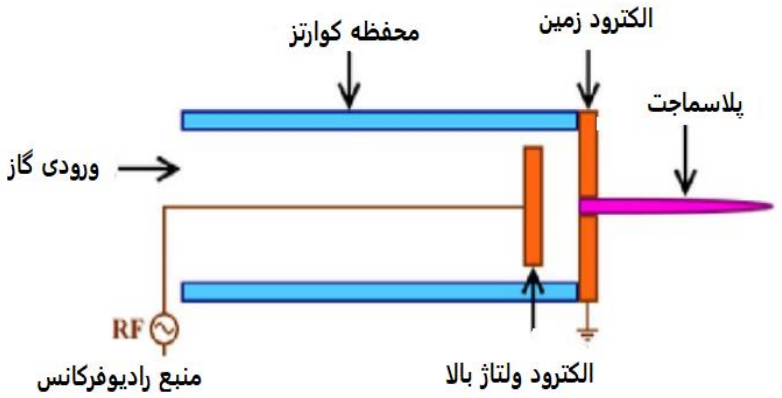
پلاسمای است که با عبور جریان الکتریکی از طریق یک گاز ایجاد می‌شود. اغلب با اعمال ولتاژ بین دو الکترود در یک لوله شیشه‌ای حاوی یک گاز کم فشار ایجاد می‌شود. هنگامی که ولتاژ از مقداری به نام ولتاژ شکست تجاوز کند، یونیزاسیون گاز به خود پایدار می‌شود و لوله با یک نور رنگی می‌درخشد و رنگ به گاز مورد استفاده بستگی دارد. بر خصوصیات این نوع پلاسما در جدول ۱ مشاهده می‌شود.
تخلیه‌های تابان به عنوان منبع نور در دستگاه‌هایی مانند چراغ‌های نئونی، لامپ‌های فلورسنت و تلویزیون‌های صفحه پلاسما استفاده می‌شوند. تجزیه و تحلیل نور تولید شده با طیف‌سنجی می‌تواند اطلاعات مربوط به فعل و انفعالات اتمی در گاز را نشان دهد، بنابراین تخلیه‌های تابشی در فیزیک پلاسما و شیمی تجزیه استفاده می‌شوند. به عنوان مثال در مورد پکتین هتروپلی ساکاریدی با بار منفی ا ست که بطور گسترده‌ای در صنایع غذایی و دارویی بعنوان عامل ژل کننده و بافت دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرد همچنین اخیرا در طراحی سامانه‌های حامل برای ریزپو شانی ترکیبات زیست فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه پکتین با درجه استریفیکاسیون بالا تحت فرایند پلاسمای تخلیه تابان فشار پایین (زمان و فشار و گازهای N_2 و O_2 قرار گرفت و ویژگی‌های ساختاری، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی آن توسط دستگاه‌های ویسکومتر، رئومتر، پرتو ایکس، آنالیز حرارتی، FTIR و کروماتوگرافی تعیین وزن مولکولی اندازه‌گیری شد که نتیجه تاثیر بسیار زیادی بر خواص مختلف این ماده پرکاربرد داشت [۱۱].

جدول۲. خصوصیات پلاسمای تخلیه تابان فشار پایین

پارامترهای تخلیه نوردار	مقادیر معمول
شعاع لوله تخلیه	۰-۳/۳ سانتی متر
طول لوله تخلیه	۱۰-۱۰۰ سانتی متر
حجم پلاسما	حدود ۱۰۰ سانتی متر مربع
فشار گاز	۰-۳۰/۰۳ Torr
ولتاژ بین الکترودها	۱۰۰-۱۰۰۰ ولت
جریان الکترود	۰/۵- ۱۰$^{-۴}$ آمپر
سطح توان	حدود ۱۰۰ وات
دمای الکترون	۱-۳ eV
تراکم الکترون	۱۰^{۹}-۱۰^{۱۱} cm$^{-۳}$

۴،۳. تخلیه فرکانس رادیویی

پلاسماهای فرکانس رادیویی (پلاسمای RF) در جریان گاز توسط یک میدان فرکانس رادیویی توسط یک منبع خارجی تشکیل می‌شوند (شکل ۳) و می‌توانند انواع مختلف پلاسما را از جمله پلاسماجت و پلاسمای سد دی الکتریک را ایجاد کنند. استفاده از حرارت بالا برای فراوری مواد غذایی امری متداول است. مدت زمان حرارت‌دهی زیاد در روش‌های مرسوم حرارت دهی اثرات نامطلوب روی کیفیت محصول نهایی دارد. گرمایش با امواج رادیویی برخلاف سیستم‌های گرمایشی متداول و حتی پلاسماهای مرتبط با سطح، امواج رادیویی به داخل ماده غذایی نفوذ کرده و حرارت در تمام مواد غذایی منتشر می‌شود. بنابراین سرعت گرمایش بسیار سریعتر خواهد بود. مکانیزم حرارت دهی RF از برخوردهایی بین یون‌ها و تغییر جهت مولکول‌های قطبی مطابق قطبیت میدان که موجب ایجاد اصطکاک می‌گردد، گرما تولید می‌کند. امروزه کاربرد گرمکن‌های فرکانس رادیویی به خاطر سرعت بالا یکنواختی گرمایش و حفظ کیفیت مواد از اهمیت بالایی برخوردار است. از این کاربردها می توان به پخت پاستوریزه کردن و یخزدایی از مواد غذایی اشاره نمود[۱۲].



شکل۳. استفاده از منبع رادیوفرکانسی برای ایجاد پلاسما جت رادیوفرکانس

۳. ۵. تخلیه ماکروویو

این روش تولید پلاسما از جمله روش‌های معدود پلاسمای گرم برای کاربرد صنایع غذایی است و زیرمجموعه پلاسمای سرد می‌باشند. فرکانس $\omega/2\pi$ که در آن تخلیه فرکانس بالا (HF) برانگیخته می شود، تأثیر قابل توجهی بر خواص پلاسما دارد. به عنوان مثال، چگالی الکترونی n بدست آمده برای PA[۳] با چگالی توان HF در پلاسما معمولاً در مایکروویو (MW) بیشتر از فرکانس‌های رادیویی است. این، به نوبه خود، به شدت بر نتیجه یک فرآیند پلاسما تأثیر می‌گذارد و می‌تواند حرارت بسیار بالاتری را به طور یکنواخت در ماده ایجاد نماید که کاربرد های خاص خود را دارد. از لحاظ شکل مدار و نحوه اعمال این نوع پلاسما، کاملا شبیه شکل ۳ عمل می‌شود اما به جای منبع رادیویی، از منابع مولد با فرکانس بالاتر و در نتیجه تغییرات شدید تر حرکت الکترون در محیط و افزایش حرارت بیشتر استفاده می‌شود [۱۳]. مسلما با منبع ماکروویو در دستگاه‌های خانگی آشنایی دارید که از آن برای حرارت دهی و پخت غذا نیز استفاده می‌شود. استفاده از این امواج در کاربردهای مختلف غذایی قابل استفاده و توسعه صنعتی است.

نتیجه گیری

بسته به کاربرد مورد نظر برای تغییر در خصوصیات مواد و یا پردازش سطح مواد، می‌توان از تنوع بالای پلاسماهای اشاره شده در کاربردهای مختلف استفاده نمود. این تنوع باعث افزایش کاربردها و نیز کنترل خصوصیات و اثرات بر روی مواد غذایی می‌شود. از آنجا که کارکردن با مواد غذایی، حساسیت‌های ویژه خود را دارد، این تنوع، می‌تواند بسیار موثر وکارکشا باشد. در این پژوهش به انوع مختلف پلاسمای سرد(DBD، اتمسفری، جت پلاسما و..) و همچنین پلاسمای ماکروویو اشاره شده و کاربردهای مرتبط ارایه گردید.

منابع

[۱] کوشکی، م.ر.، نیکمرام، ح.، قرآن نویس، ق. تاثیر غلظت پراکسید هیدروژن تولید شده توسط پلاسمای سرد اتمسفری در نابود سازی باکتری اشرشیا کلی تلقیح شده به آب. نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی, ۲۰۱۷. ۹(۱): صفحه: ۱۳.-۲۲.

[۲] Umair, M., et al., *Recent advances in plasma technology: Influence of atmospheric cold plasma on spore inactivation.* Food Reviews International, ۲۰۲۱: p.۱-۲۳.

---

[۳] . Pulse Amplification

[۳] López, M., et al., *A review on non-thermal atmospheric plasma for food preservation: Mode of action, determinants of effectiveness, and applications.* Frontiers in microbiology, ۲۰۱۹. ۱۰: p. ٦۲۲-٦۳۰.

[٤] Warne, G.R., et al., *Impact of cold plasma on the biomolecules and organoleptic properties of foods: A review.* Journal of Food Science, ۲۰۲۱. ۸٦(۹): p. ۳۷۷۷-۳۷٦۲.

[۵] شتاب بوشهری, س.، عباس زاده, ر. بررسی اثر آب فعال شده با پلاسما بر جوانه زنی بذر و رشد گیاهچه خیار. یازدهمین کنگره علوم باغبانی ایران. ۱۳۹۸.

[٦] کریمیان, س.، و همکاران. استفاده از پلاسما به عنوان روش جدید برای تنظیم *pH* آب برای مصارف کشاورزی. پنجمین کنگره بین المللی توسعه کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری ایران. ۱۴۰۰.

[۷] زرشناس, پ. فناوری پلاسما؛ قلب تپنده تکنولوژی زندگی مدرن آینده. پنجمین کنفرانس بین المللی فناوری های نوآورانه در زمینه علوم، مهندسی و تکنولوژی. ۱۳۹۹.

[۸] احمدنیا, م و همکاران. تأثیر جت پلاسمای سرد بر عمر ماندگاری و ویژگیهای کیفی توت فرنگی. دهمین کنگره ملی مهندسی ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران. ۱۳۹۵.

[۹] سیادتی، سیده ندا و همکاران. استفاده از پلاسمای غیر حرارتی فشار اتمسفری به عنوان روش جایگزین در غیر فعال سازی میکروارگانیسم های موجود در آب زرشک. علوم و صنایع غذایی ایران, ۲۰۱۸. ۱۵(۷۷)، صفحه: ۲۲۸-۲۱۹.

[۱۰] بهروزیان, آ. و همکاران. تاثیر میدان پالس الکتریکی بر پاستوریزاسیون گلاب. اولین همایش ملی کشاورزی، منابع طبیعی و دامپزشکی. ۱۳۹۶.

[۱۱] مومنی، مجتبی. بررسی اثر پلاسما بر ساختار شیمیایی و ویژگی‌های رئولوژیکی پکتین. رساله کارشناسی ارشد،دانشگاه علوم پزشکی تبریز، دانشکده تغذیه و علوم غذایی. سال۱۳۹۷.

[۱۲] حسین پور, ر.، آریایی، پ. مروری بر کاربرد پلاسمای سرد در صنایع غذایی. اولین همایش ملی تکنولوژی های نوین در علوم و صنایع غذایی و گردشگری ایران. ۱۳۹۶.

[۱۳] Onyshchenko, I., *Atmospheric Pressure Plasma Jet for Multipurpose Plasma Activation of Polymeric Substrates*. ۲۰۱۷ Ghent University