مروری بر تولید و کاربرد پلاسمای سرد در کشاورزی

محسن فریدونی* [۱]، حسین حاجی‌آقاعلیزاده [۲]

۱. دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان، m.fereydooni@agr.basu.ac.ir
۲. دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان، h-alizade@basu.ac.ir

چکیده

پلاسمای سرد یک فناوری جدید و نوظهور است، که به طور بالقوه در مراحل فرآوری مواد غذایی و کشاورزی مفید است و از آن به عنوان حالت چهارم ماده یاد می‌شود. این حالت از ماده برای ضدعفونی کردن بذرها و آب مورد نیاز گیاهان زراعی، افزایش جوانه‌زنی، اصلاح خاک زراعی، دفع آفات و قارچ‌های گیاهی و افزایش قابلیت نگهداری مواد غذایی و بافتهای زنده از طریق غیرفعال سازی میکروبی و آنزیمی به کار می‌رود بدون اینکه باعث آسیب شود. در این تحقیق انواع روش‌های تولید و کاربرد پلاسمای سرد مورد توجه قرار گرفته است. در روش‌های تولید پلاسمای سرد که بر پایه تخلیه الکتریکی انجام می‌شود، از تخلیه تابان، ریزپلاسما، تخلیه کرونا، تخلیه سد دی‌الکتریک و منبع جریان سریع استفاده می‌گردد. با توجه به سهولت و سرعت در استفاده از پلاسمای سرد، کاربرد این فنآوری در بخش‌های مختلف کشاورزی و مواد غذایی رو به افزایش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *پلاسمای سرد، کشاورزی، تخلیه الکتریکی، مواد غذایی*

*نویسنده مسئول: m.fereydooni@agr.basu.ac.ir

مروری بر تولید و کاربرد پلاسمای سرد در کشاورزی

مقدمه

فناوری پلاسمای سرد یک فرآیند سبز و در حال ظهور است که بسیاری از برنامه‌های بالقوه برای بسته‌بندی مواد غذایی را ارائه می‌دهد[۵]. پلاسماهای سرد در بسیاری از تحقیقات به دلیل پتانسیل آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. موفقیت چنین تحقیقاتی باعث شده است که امکان‌سنجی این فناوری به عنوان یک سیستم پردازش جایگزین نسبت به تکنیک‌های حرارتی فعلی که می‌تواند برای کیفیت محصول غذایی ضرر داشته باشد، به وجود آورد [۲].

معرفی پلاسما

طبق برنامه‌ای که بیانگر افزایش سطح انرژی از جامد به مایع، از مایع به گاز و در نهایت تبدیل به حالت یونیزه شده، پلاسما گازی است که خاصیت‌های منحصر به فردی را نشان می‌دهد، پلاسما اغلب به عنوان حالت چهارم ماده شناخته می‌شود. هر منبع انرژی که می‌تواند یک گاز یونیزه کننده را تولید کند می‌تواند برای تولید پلاسما استفاده شود. پلاسما از چندین گونه اتمی، مولکولی، یونی و دارای رادیکال آزاد تحریک شده تشکیل شده است که با گونه های واکنش‌پذیر متعددی از جمله الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، رادیکال‌های آزاد، اتم‌های گازی، مولکول‌های موجود در زمین یا حالت تحریک شده، و تعداد پرتوهای الکترومغناطیسی (فوتون UV و نور مرئی) مواجهه هستند. پلاسما را می‌توان به پلاسما تعادلی (حرارتی) و نامتعادل (کمترین دما) تقسیم کرد. در پلاسمای حرارتی، دما بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ درجه کلوین تغییر می‌کند در حالی که در پلاسمای سرد دما بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه کلوین می‌باشد [۴].

فرآیند شکست[1] فرآیندی است که در آن یک گاز خنثی از طریق یونیزاسیون به پلاسما تبدیل می‌شود. شکست با استفاده از میدان الکتریکی دارای قدرت کافی، برای یونیزاسیون گاز به کار می‌رود. به این منظور دو الکترود با فاصله مشخص از هم می‌توانند حداقل ولتاژ لازم برای شروع شکست را ایجاد نمایند. در این سیستم معیار جرقه‌زنی به وسیله رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\int_0^{x_1}[\alpha(x)-a(x)]dx = Ln(1+\gamma^{-1}) \quad (۱)$$

که در آن:

x_1: بیشینه فاصله کاتد از آند، $\alpha(E)$: ضریب یونیزاسیون ضربه‌ای الکترون، $a(E)$: ضریب وابستگی و γ: ضریب انتشار الکترون ثانویه می‌باشند که همگی تابعی از نسبت میدان الکتریکی و فشار هستند. از طرفی ولتاژ بحرانی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$V_B = \frac{APd}{Ln(BPD)+C} \quad (۲)$$

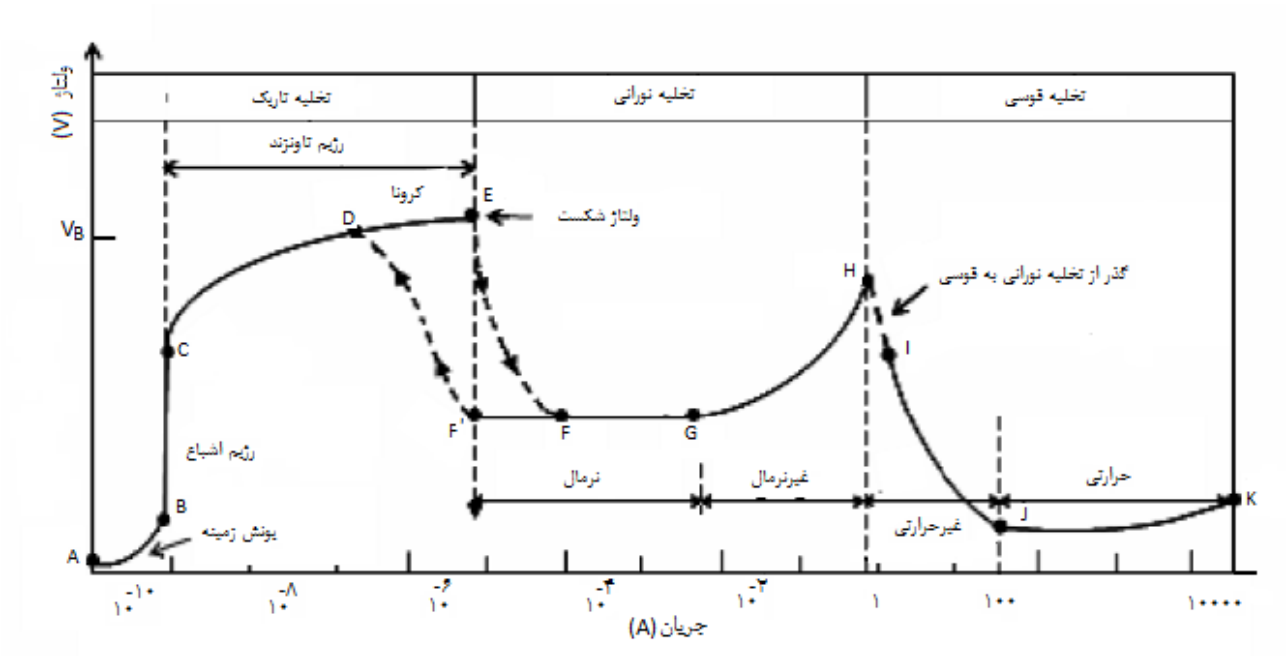
که در آن:

VB: ولتاژ شکست، P: فشار بر حسب پاسکال، d: فاصله بر حسب متر، A، B و C ضرایب وابسته به گاز و جنس الکترودها می‌باشند.

روش‌های تولید پلاسمای سرد

پلاسما بر پایه تخلیه‌های الکتریکی[2] مختلفی شکل می‌گیرد که از آن به منابع پلاسما یاد می‌شود عبارتند از[۹]:

1 Breakdown
2 Electrical Discharge



شکل ۱: نمودار منحنی تغییرات جریان بر حسب ولتاژ[۱]

۱-تخلیه تابان[۳]

در این حالت شکست از طریق مکانیسم تاونزند[۴] اتفاق می افتد، بنابراین وابستگی مشخصه ولتاژ تخلیه به جریان وجود دارد. تخلیه در این محدوده از چگالی جریان را تخلیه تاریک می‌نامند.

۲-ریزپلاسما[۵]

ایده اصلی ریزپلاسما این است که از ایجاد قوس با اندازه مشخص و به اندازه کافی کوچک جلوگیری شود به طوری که شکست توسط مکانیسم تاونزند اتفاق افتد و منجر به تخلیه تابان افشانده گردد. به عنوان مثال، با کاهش ابعاد فضایی، مقدار مطلق میدان الکتریکی افزایش می‌یابد و این می‌تواند بر رفتار الکترودها تأثیر بگذارد.

۳-تخلیه کرونا[۶]

تخلیه کرونا زمانی تشکیل می‌شود که ناهمگونی‌های مکانی در میدان الکتریکی وجود داشته باشد، به ویژه هنگامی که میدان الکتریکی از آستانه شکست در یک منطقه محدود مکانی فراتر رود. این معمولاً هنگامی اتفاق می‌افتد که الکترودهای بسیار نامتقارن مانند نقطه و صفحه بکار رود.

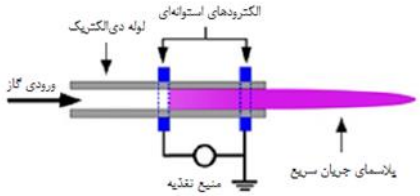
۴-تخلیه سد دی‌الکتریک[۷]

تخلیه سد دی الکتریک، که گاهی اوقات تخلیه خاموش نامیده می شود، روشی برای تولید پلاسمای افشانده است که در آن حالت طبیعی شکست شامل جریان دهنده‌ها است، بدون اینکه نیاز به یک میدان الکتریکی ناهمگن باشد. ایده اصلی تحریک پلاسما توسط یک جریان نوسان کننده با استفاده از یک مدار با یک خازن بزرگ است. با پوشاندن یک یا هر دو الکترود با ماده دی‌الکتریک، از این رو به این نام معرفی می شود.

۵-منبع جریان سریع[۸]

3 Glow Discharge
4 Townsend
5 Microplasma
6 Corona Discharge
7 Dielectric Barrier Discharge
8 Jet Source

منبع جریان سریع، دسته‌ای از منبع پلاسمای فشار اتمسفری است که می‌تواند در رابطه با هر یک از چندین طرح تولید پلاسما اتخاذ شود[۴].



شکل ۱: طرحواره تولید پلاسمای سرد جریان سریع

برخی از کاربردهای پلاسمای سرد در کشاورزی و مواد غذایی

استریلیزاسیون و میکروب‌زدایی

قبلاً نشان داده شده است که پلاسمای سرد می‌تواند با موفقیت، آلودگی را در شیر از بین ببرد. این مطالعه به بررسی تغییرات بیوشیمیایی احتمالی پروتئین، اسیدهای چرب آزاد و پروفایل‌های نمونه‌های شیر خام پس از استفاده از پلاسمای سرد پرداخته است. شیر خام با یک سیستم پلاسمای سرد در فواصل ۰ ، ۳ ، ۶ ، ۹ ، ۱۲ ، ۱۵ و ۲۰ دقیقه مورد مواجهه قرار گرفت. مواجهه پلاسما منجر به تغییرات معنی داری در ترکیب چربی شیر خام نشد. با این حال، قرار گرفتن در معرض پلاسمای سرد به طور قابل توجهی کل محتوی آلدئید[۹] پس از ۲۰ دقیقه مواجهه افزایش یافته است[۲]. یک سامانه پلاسمای سرد جریان مستقیم با فشار هوا برای ضد عفونی سالمونلا[۱۰] به طور مستقیم بر روی میوه و سبزیجات تازه استفاده شد. در این بررسی غیرفعال کردن مؤثر در میوه و سبزیجات خرد شده پس از ۱ ثانیه مواجهه با پلاسما انجام شد. خصوصیات فیزیولوژیکی برش‌ها، از جمله میزان آب، پارامترهای رنگی و محتوای غذایی قبل و بعد از مواجهه پلاسما مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که تغییرات خصوصیات فیزیولوژیکی ناشی از پلاسما در یک حد قابل قبول بوده است[۸].

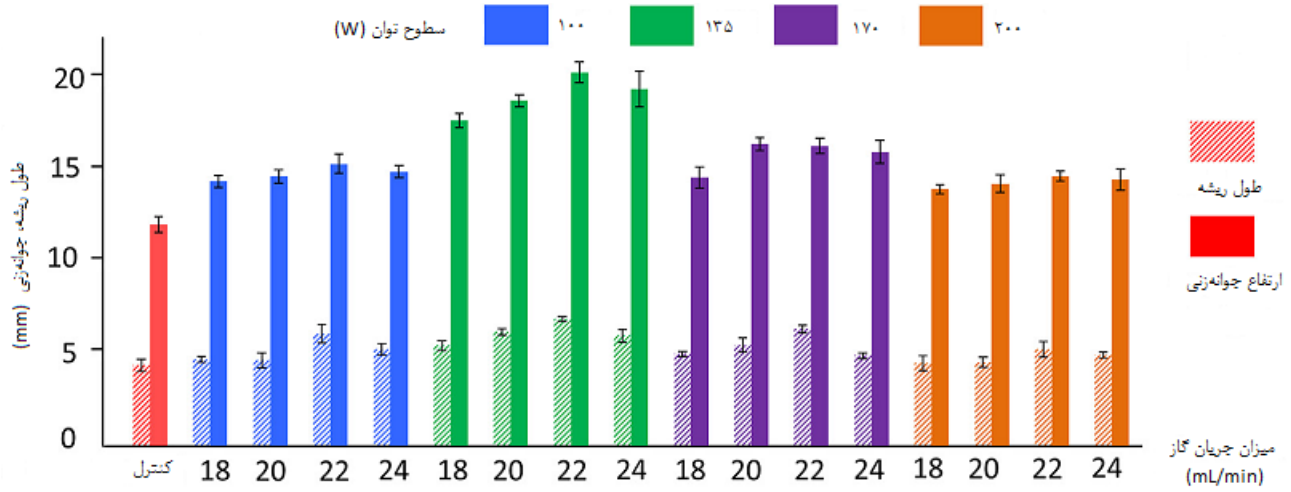
شکل ۲: غیرفعال سازی پلاسما: الف-برش خیار، ب-برش هویج و ج-برش گلابی

پلاسمای سرد فشار اتمسفری، در ضد عفونی گوشت بریده شده خوراکی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها در داخل کیسه‌های بسته شده حاوی ۳۰٪ اکسیژن و ۷۰٪ آرگون تحت تأثیر قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که پلاسما ممکن است در ضدعفونی سطح محصولات غذایی قبل از بسته‌بندی قابل استفاده باشد. با این حال، اکسیداسیون ممکن است در برخی از محصولات مسئله‌ای ایجاد کند[۶]. اسپورهای باکتریایی در برابر شرایط مقاوم بوده و برای ریشه‌کن کردن آنان در بسته‌بندی مواد غذایی از فنآوری پلاسمای سرد استفاده گردید[۷]. پلاسمای سرد میکروارگانیسم‌های موجود در زغال‌اخته را غیرفعال می‌کند و می‌تواند در جهت افزایش ایمنی و کیفیت تولید بهینه شود[۳].

9 Total aldehyde content
10 Salmonella

جوانه‌زنی[11]

تغییرات فوتوشیمیایی زیست فعال شش رقم برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تایلندی[12] به طور موازی با ارقامی که تحت مواجهه با پلاسمای سرد قرار گرفتند، مورد بررسی قرار داده شد. پس از تیمار با شرایط بهینه‌ی پلاسما، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و اندازه ارتفاع گیاهچه حساس‌ترین رقم برنج به ترتیب ۸۴٪ ، ۵۷٪ و ۶۹٪ افزایش یافت[۱۰].



نتیجه‌گیری

آثار متعددی تا به امروز برای توصیف نحوه تولید و اثربخشی حوزه‌های مختلف کشاورزی، مواد غذایی، پزشکی، صنعت و خدمات با استفاده از پلاسمای سرد گزارش شده است، در این بررسی به طور ویژه به بخش کشاورزی و مواد غذایی پرداخته شد. با توجه به سهولت و تسریع در بکارگیری این فنآوری و از سوی دیگر عدم آسیب به بافت محصولات و مواد غذایی، کاربرد آن در بخش‌های مختلف کشاورزی و مواد غذایی از جمله اصلاح خاک‌های زراعی، تصفیه و ضدعفونی آب مورد نیاز بخش کشاورزی، میکروب‌زدایی و قارچ‌کشی گیاهان زراعی، افزایش جوانه‌زنی و عملکرد محصولات زراعی، بسته‌بندی و نگهداری مواد غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند.

مراجع

1. Foest, R., Schmidt, M. and Becker, K., 2006. “Microplasmas, an emerding field of low temperature plasma science and technology”. International Journal of Mass Spectrometry, 248, pp. 87–102.
2. Korachi, M., Ozen, F., Aslan, N., Vannini, L., Cuerzoni, M., Gottardi, D., and Ekinci, F., 2015. “Biochemical changes to milk following treatment by a novel, cold atmospheric plasma system”. International Dairy Journal, 42, pp. 64–69.
3. Lacombe, A., Niemira, B., Gurtler, J., Fan, X., Sites, J., Boyd, G. and Chen, H., 2015. “Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes”. Food microbiology, 46, pp. 479–484.
4. Misra, N., Schluter, O. and Cullen, P., 2016. Cold plasma in food and agriculture. Niki Levy, Academic press is an imprint of Elsevier, Chap. 4, pp. 83– 112 & Chap. 8, pp. 205-219. URL http://www.elsevier.com/permissions.

11 Germination
12 Thai germinated brown rice

5. Pankaj, S., Bueno-Ferrer, C., Misra, N., Milosavljevic, V., Donnell, C., Bourke, P., Keener, K. and Cullen, P., 2014. "Applications of cold plasma technology in food packaging". Trends in food Science and Technology, 35, pp. 5–17.
6. Rod, S., Hansen, F., Leipold, F. and Knochel, S., 2012. "Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready to eat meat: inactivation of listeria innocua and changes in product quality". Food microbiology, 30, pp. 233–238.
7. Veen, H., Xie, H., Esveld, E., Abee, T., Mastwijk, H., and Groot, M., 2015. "Inactivation of chemical and heat resistant spores of Bacillus and Geobacillus by nitrogen cold atmospheric plasma evokes distinct changes in morphology and integrity of spores". Food microbiology, 45, pp. 26–33.
8. Wang, R., Nian, W., Wu, H., Feng, H., Zhang, K., Zhang, J, Zhu, W., Becker, K., and Fang, J., 2012. "Atmospheric pressure cold p;asma treatment of contaminated fresh fruit and vegetable slice: inactivation and physiochemical properties evaluation". Eur. Phys. J.D., 66: 276.
9. Wu, T., Sun, N., and Chau, Ch., 2018. "Application of corona electrical discharge plasma on modifying the physicochemical properties of banana starch indigenous to Taiwan". Journal of Food and Drug analysis, 26, pp. 244–251.
10. Yodpitak, S., Mahatheeranont, S., Boonyawan, D., Sookwong, Ph., Roytrakwl, S., and Norkaew, O., 2019. "Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice". Food chemistry Journal, 289, pp. 328–339.