

## خواص فیزیکوشیمیایی آب فعال شده با پلاسما (PAW) و کاربردهای آن در کشاورزی و صنایع غذایی

INC29-1372

مجتبی کردرستمی<sup>۱\*</sup>، علی اکبر قاسمی سلوکلویی<sup>۱</sup> و ابوالفضل مازندرانی<sup>۲</sup>

۱. پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، کرج، ایران

۲. پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

چکیده:

فناوری پلاسمای سرد یک روش اکولوژیکی، بدون نیاز به مواد شیمیایی و غیرحرارتی برای ضدعفونی سطوح است. در نتیجه فعال شدن پلاسما، آب اسیدی می‌شود که این عامل باعث تغییر در پتانسیل اکسیداسیون و احیا، رسانایی و ایجاد گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) و نیتروژن (RNS) می‌شود. در نتیجه، آب فعال شده با پلاسما (PAW) از نظر شیمیایی با آب متفاوت است و می‌تواند برای ضدعفونی میکروبی، به‌عنوان جایگزین، استفاده شود. در این مقاله، تولید آب فعال شده با پلاسما به همراه خواص فیزیکی و شیمیایی و کاربردهای بالقوه آن بررسی می‌شود. PAW با توجه به اسیدیته، رسانایی، پتانسیل احیا، و ایجاد ROS و RNS در آب تیمار شده بررسی می‌شود. در این مطالعه، PAW از نظر کاربردهای آن برای ضدعفونی میکروبی نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت. بخش آخر نقش PAW را در موارد مرتبط با به‌زراعی، مانند بهبود جوانه‌زنی بذر مورد بحث قرار می‌دهد.

**کلیدواژه‌ها:** جوانه‌زنی، گونه‌های فعال اکسیژن، اکسیداسیون و پلاسما

## Physicochemical properties of plasma-activated water (PAW) and its uses in agriculture and food

M. Kordrostami\*, A. A. Ghasemi, A. Mazandarani

Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), P.O.BOX: 31485498, Karaj, Iran

### Abstract:

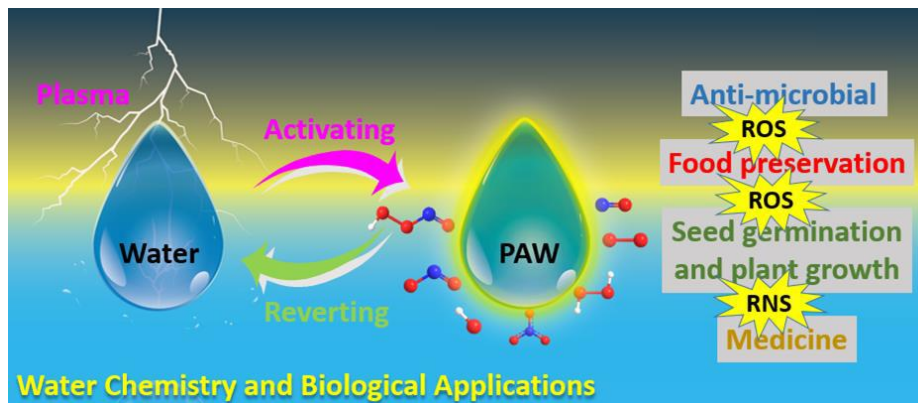
Cold plasma technology is an ecological, chemical-free, and non-thermal method of disinfecting and treating surfaces. As a result of plasma activation, water becomes acidic, which causes changes in redox potential, conductivity, and reactive oxygen species (ROS) and nitrogen species (RNS). Consequently, PAW is chemically different from water and can be used for microbial disinfection as an alternative. PAW generation is reviewed in this paper, along with its physicochemical properties and potential applications. PAW is analyzed with respect to its acidity, conductivity, redox potential, ROS, and RNS concentration in the treated water. In this review, PAW is also discussed in terms of its applications for microbial disinfection. A final section discusses the role of PAW in improving agricultural practices, such as promoting seed germination.

**Keywords:** Germination, Reactive oxygen species, Oxidation, Plasma

## ۱. مقدمه

تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت روی زمین به ۱۰ میلیارد نفر برسد که این امر نیاز به رویکردهای نوآورانه برای تولید و فرآوری مواد غذایی جهت پاسخگویی به تقاضای جهانی برای دریافت مواد غذایی بیشتر را آشکار می‌سازد. هم‌اکنون بزرگ‌ترین چالش کشاورزی و صنایع غذایی، تولید غذای ایمن و با کیفیت بالا با وجود خطرات جدیدی است که در طول تولید مواد غذایی، به دلیل وجود عوامل بیماری‌زای در حال ظهور با آن مواجه می‌شویم. شیوع باکتری اشرشیاکلی تولیدکننده شیگا توکسین (STEC) سروتپ O104:H4 نمونه‌ای است که منجر به ۷۸۲ مورد سندرم همولیتیک اورمیک (HUS) و ۳۱۲۸ مورد اسهال شد که ۴۶ مورد آن کشنده بود [۱]. مصرف‌کنندگان به‌طور فزاینده‌ای خواهان غذاهای کم‌فرآوری شده با مواد نگهدارنده کمتر و کیفیت بالاتر هستند. روش‌های جایگزین برای نگهداری مواد غذایی می‌توانند اثرات سوء تغذیه‌ای فرآوری غیرحرارتی مواد غذایی را به حداقل برسانند. در صنعت فرآوری مواد غذایی، فناوری‌های پردازش غیرحرارتی برای افزایش ماندگاری شامل تابش، فرآوری پرفشار، فرآوری با استفاده از اشعه UV و ازن‌زنی است [۲]. انواع آب میوه و سرکه سیب توسط محققین مختلف با اشعه ماوراءبنفش تیمار شده است. استخراج ترکیبات فعال زیستی از میوه‌ها و سبزیجات با سایر فناوری‌های فرآوری غیرحرارتی مانند میدان‌های الکتریکی پالسی و امواج فراصوت افزایش یافته است. در سال‌های اخیر علاقه به فناوری پلاسمای اتمسفر سرد برای کاربردهای غذایی افزایش یافته است.

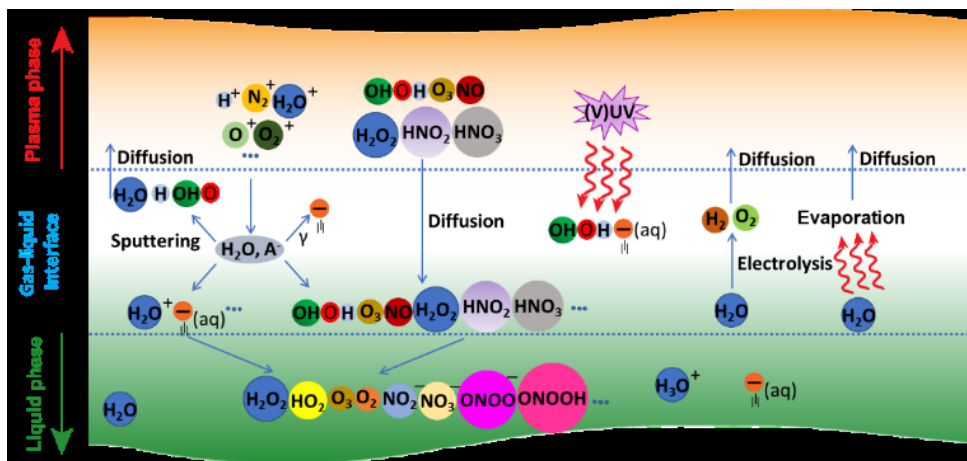
طبق گفته فریدمن [۳]، پلازما چهارمین حالت ماده است که از یون‌های منفی و مثبت، الکترون‌ها، اتم‌های برانگیخته و خنثی، رادیکال‌های آزاد، مولکول‌های موجود در زمین و حالت‌های برانگیخته و فوتون‌های UV تشکیل شده است [۳]. بسته به تعادل ترمودینامیکی اجزای تشکیل‌دهنده، پلازما را می‌توان به دو دسته حرارتی (گرم) یا غیرحرارتی (سرد) طبقه‌بندی کرد [۴]. به جز چند جت پلازما، پلاسمای سرد هرگز به دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتی‌گراد نمی‌رسد. تخلیه‌های سد دی‌الکتریک (DBD)، جت‌های پلازما و تخلیه‌های کرونا در اطراف خطوط فشار قوی که جریان متناوب دارند باعث مقداری تلفات الکتریکی و در شدیدترین حالت منجر به قوس الکتریکی و تخلیه کامل می‌شود، برخی از رایج‌ترین منابع پلازما در فرآوری مواد غذایی هستند. محققان و دانشمندان در سال‌های اخیر از پلاسمای سرد برای اهداف مختلف در صنایع غذایی و کشاورزی از جمله ضدعفونی میکروارگانیسم‌ها، غیرفعال‌سازی آنزیمی، بهبود کیفیت پخت انواع برنج، اصلاح نشاسته و افزایش جوانه‌زنی بذر استفاده کرده‌اند [۵]. برای به دست آوردن حداکثر بازده غیرفعال‌سازی میکروبی، پلاسمای گاز مستقیماً روی مواد غذایی برای مطالعه فعالیت ضد میکروبی پلازما استفاده شده است. با این حال، تعداد کمی از محققان اثرات منفی مانند از دست دادن رنگ، تغییرات توپوگرافی سطح به دلیل زدایش یا اچینگ و تخریب ترکیبات فعال زیستی پس از تیمار سطحی را گزارش کرده‌اند [۶]. به‌عنوان جایگزینی برای این مشکلات، آب فعال شده با پلازما (PAW) که عمدتاً حاوی گونه‌های فعال است می‌تواند برای ضدعفونی غذاها استفاده شود [۷]. آب فعال شده با پلازما (PAW) به دلیل توانایی آن در غیر فعال کردن باکتری‌ها و کنترل موثر رشد آن‌ها، مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). علاوه بر استفاده آسان، آب فعال شده با پلازما (PAW) می‌تواند جایگزین محلول‌های ضدعفونی‌کننده سنتی شود. با این حال، این فناوری باید در یک محیط صنعتی در مقیاس بالا از طریق ارزیابی چرخه حیات، مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- طرحی از آب فعال شده با پلازما و کاربردهای زیست‌شناختی آن

## ۲- نحوه تولید آب فعال شده با پلاسما (PAW)

نوع جدیدی از آب که فاقد مواد شیمیایی، نمک و فرآیندهای مضر می‌باشد و به نام آب فعال پلاسما (PAW) معروف است، از فعال شدن آب تحت تأثیر پلاسما تولید می‌شود. آب حاصل از تکنولوژی پلاسما دارای مقدار بالای pH بوده و از گونه‌های رادیکال O، رادیکال H، رادیکال OH، نیتروژن واکنش‌پذیر و اکسیژن تشکیل شده است [۸]. ارتباط مستقیمی بین نوع و غلظت گونه‌های فعال موجود در پلاسما و گازها و مایعات مورد استفاده برای تولید پلاسما وجود دارد [۹، ۱۰]. ROS و RONS (که در مجموع به آن‌ها RONS گفته می‌شود) ممکن است بسته به محیط شیمیایی، ولتاژ تحریک‌شده و حالت تولید، تشکیل شوند. گونه‌ها در مایع یا در فصل مشترک مایع و گاز تشکیل می‌شوند. بدیهی است که جدای از منابع پلاسمایی مورد استفاده، زمان تصفیه و گازهای مورد استفاده، فاصله مایعات و ستون پلاسما و ماهیت الکترودها مسائل مهمی هستند که نباید دست کم گرفته شوند. به‌عنوان مثال، استفاده از اکسیژن، نیتروژن و آب به‌عنوان مولکول‌های مادر برای تولید آب فعال شده با پلاسما (PAW) منجر به تشکیل تعدادی از گونه‌های اولیه (شامل اکسیژن اتمی، اکسیژن منفرد، سوپراکسید، ازن، رادیکال‌های هیدروکسیل و نیتروژن برانگیخته و اتمی) می‌شود که سپس به واکنش برای تشکیل گونه‌های ثانویه (شامل پراکسید هیدروژن، پراکسی نیتريت، اکسید نیتريك، نیترات‌ها و یون‌های نیتريت) ادامه می‌دهد [۱۰، ۱۱] (شکل ۲).



شکل ۲- مکانیسم‌های تحویل گونه‌های اکسیژن و نیتروژن فعال (RONS) تولید شده در فاز گاز به یک محلول در سیستم پلاسما جهت تولید آب فعال شده با پلاسما [۱۲].

در آب فعال شده با پلاسما (PAW) دارای فعالیت ضد میکروبی، ROS<sup>۱</sup> و RNS توسط این واکنش‌ها تشکیل می‌شوند. به‌منظور تولید آب فعال شده با پلاسما (PAW)، دو رویکرد عمده وجود دارد. اولی شامل تماس جریان پلاسما با آب است، در حالی که دومی شامل تزریق مستقیم پلاسما به آب است. شیمی و محصولات واکنش آب فعال شده با پلاسما (PAW) تولید شده در بالای سطح آب با محصولات تولید شده در مایعات به‌طور مستقیم متفاوت است.

## ۳. کاربرد آب فعال شده با پلاسما (PAW) در کشاورزی و صنایع غذایی

غیرفعال‌سازی میکروبی را می‌توان با استفاده مستقیم از پلاسمای سرد روی محصولات غذایی افزایش داد. استفاده از گازها و ولتاژهای اعمال شده مختلف، حیاتی‌ترین عامل برای فعالیت ضد میکروبی در آزمایشات انجام شده بر روی غیرفعال‌سازی میکروبی است. از طریق آب فعال شده با پلاسما، محصولات تازه به‌طور غیرمستقیم در معرض پلاسمای سرد قرار می‌گیرند [۱۳]. اخیراً کاربرد آب فعال شده با پلاسما (PAW) به‌عنوان منبع ضد میکروبی یا ضد عفونی‌کننده در بین محققان اهمیت پیدا کرده است. پس از برداشت محصولات زراعی و باغی، شستن محصولات خام و برش‌های میوه تازه با آب یا محلول‌های ضد عفونی‌کننده دیگر برای افزایش ماندگاری، جزء مهم برنامه‌های ایمنی غذا از مزرعه تا سفره است. یکی از راه‌حل‌های ضد عفونی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده از آب با پتانسیل

<sup>1</sup> Reactive oxygen species

کاهش اکسیداسیون بالا (ORP) است. استفاده از آب فعال شده با پلاسما مزیت جایگزینی آب با پتانسیل کاهش اکسیداسیون بالای تولید شده توسط مواد شیمیایی را دارد. رشد گیاه و جوانه‌زنی بذر از دیگر کاربردهای بالقوه آب فعال شده با پلاسما است. طبق گفته جی و همکاران [۱۴]، گونه‌های واکنش‌پذیر تشکیل شده در نتیجه اهداکنندگان شیمیایی نقش مهمی در جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه دارند. استفاده از پلاسمای سرد برای اصلاح خواص آب ممکن است کیفیت محصولات کشاورزی را افزایش داده و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد [۱۵].

گونه‌های ROS و RNS تولید شده در آب فعال شده با پلاسما مسئول غیرفعال‌سازی میکروبی هستند [۱۶]. تشکیل این گونه‌های شیمیایی در آب فعال شده با پلاسما اثر هم‌افزایی پتانسیل کاهش اکسیداسیون بالا و pH پایین را نشان می‌دهد و ثابت شده است که دارای فعالیت ضد میکروبی است [۱۷]. لوکس و دولزکووا [۱۸] گزارش کردند که هوای مرطوب یا تماس با مایع به‌طور چشمگیری گونه‌های فعال و مکانیسم غیرفعال شدن میکروبی را تغییر می‌دهد. شیمی آب فعال شده با پلاسما تولید شده در زیر آب بسیار پیچیده‌تر است. علاوه بر گونه‌های شیمیایی، پارامترهای فیزیکی مانند میدان‌های الکتریکی جامد، تابش UV و امواج ضربه‌ای نیز در غیرفعال‌سازی میکروبی نقش دارند [۱۹]. ما و همکاران [۲۰] آخرین کاربرد آب فعال شده با پلاسما را برای غیرفعال کردن میکروبی روی محصولات تازه مانند توت‌فرنگی گزارش کردند. برای ۱۵ دقیقه تیمار آب فعال شده با پلاسما، نویسندگان کاهش  $\log_{10}$  CFU/mL ۳٫۵ را در تعداد باکتری مشاهده کردند. در آزمایشی با استفاده از جت‌های پلاسمای اتمسفری در ولتاژ بالای ۱۸ کیلوولت برای زمان‌های مختلف تیمار (۵، ۱۰، ۱۵ دقیقه)، آب فعال شده رشد باکتری را حتی در روز هفتم ذخیره‌سازی به میزان  $\log_{10}$  CFU/mL ۱٫۵ کاهش داد. در مطالعه تیان و همکاران [۲۱] مشخص گردید که PAW (تولید شده با تخلیه مستقیم پلاسما در آب) از نوع مشابهی از مکانیسم غیرفعال‌سازی میکروبی استفاده می‌کند.

از فناوری پلاسمای سرد می‌توان در مراحل مختلف تولید گیاهان زراعی استفاده کرد، از جمله تیمار بذر برای افزایش سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاه، که می‌تواند عملکرد گیاه زراعی را افزایش داده و زمان برداشت را کوتاه کند. میزان تأثیر تیمار بستگی به نوع بذر و عوامل محیطی مانند آب و هوا، در دسترس بودن آب و شرایط خاک دارد؛ بنابراین، زمان تیمار با پلاسما باید برای هر نوع بذر به‌صورت جداگانه بهینه‌سازی شود [۲۲]. به‌طور کلی مقالات متعدد و جامعی در زمینه بررسی اثر پلاسما بر بذر گزارش شده است [۲۳، ۲۴]. اجزاء پلاسمای سرد اتمسفری در ارتباط با مایع، شامل زمینه الکتریکی، الکترون‌ها، UV/VUV، و بسیاری از گونه‌های فعال نیتروژنه (RNS) و اکسیژنه (ROS) با عمر طولانی مدت همچون آب اکسیژنه ( $H_2O_2$ )، آمونیم ( $NH_4^+$ )، نیترات ( $NO_3^-$ )، نیتريت ( $NO_2^-$ )، ازن ( $O_3$ ) و گونه‌های واکنشی با عمر نسبتاً کوتاه همانند رادیکال‌های هیدروکسیل ( $OH^\bullet$ )، نیترو اکسید ( $NO^\bullet$ )، سوپراکسید ( $O_2^\bullet$ )، پیروکسی نیترات ( $OONO_2$ ) و پیروکسی نیتريت ( $ONOO^-$ ) و غیره می‌باشند. اثربخشی همه یا برخی از این عوامل در تحریک‌پذیری جوانه‌زنی در برخی از گیاهان گزارش شده است [۲۵]. دلایل متعددی برای کاهش عملکرد گیاه زراعی وجود دارد، از جمله آلودگی، سرعت جوانه‌زنی پایین و زمان جوانه‌زنی طولانی [۲۶]. جوانه‌زنی گیاهچه شامل دو مرحله کلیدی است: اول، طولی شدن سلول اولیه در جنین، و دوم، تقسیم سلولی هم‌زمان یا تأخیری در مریستم انتهایی ریشه [۲۷]. میزان تأثیر تیمار بستگی به نوع بذر و عوامل محیطی مانند آب و هوا، در دسترس بودن آب و شرایط خاک دارد؛ بنابراین، زمان تیمار با پلاسما باید برای هر نوع بذر به‌صورت جداگانه بهینه‌سازی شود [۲۲]. از دهه ۱۹۹۰ منابع مختلف نشان داده است که با تیمار پلاسمای سرد، جوانه‌زنی بذر افزایش یافته و تحقیقات در این رابطه هنوز ادامه دارد [۲۸]. بهبود جوانه‌زنی، رشد و عملکرد بیشتر دانه در گیاهان تیمار شده با پلاسما در گوجه‌فرنگی [۲۸]، سویا [۲۹]، و ذرت [۳۰] گزارش شده است.

رویکرد جالب دیگر استفاده از "آب تیمار شده با پلاسما" (PAW)، برای آبیاری بذر است- این نوع محلول ممکن است به‌عنوان کود موثر عمل کند. چیارا لاپورتو از دانشگاه باری، میزان افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاه سویا را با استفاده از PAW نشان داد [۳۱]، ایشان در این مطالعه نشان داد که به کمک تیمار بذر با PAW (که با گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن (RONS) غنی شده است)، افزایش قابل توجهی در رشد و عملکرد گیاه اتفاق افتاد. در میان این گونه‌ها، نیترات و پراکسید هیدروژن تأثیر فوق‌العاده‌ای بر رشد گیاهان داشتند. آن‌ها همچنین نشان دادند که تیمار با PAW واکنش شیمیایی و هورمونی را در بذر تحریک نموده و با تضعیف اندوسپرم (پوشش بذر) و انتقال منابع ذخیره شده بذر به مکان موردنظر، خواب را از بین می‌برد. این کار اجازه می‌دهد تا گیاهچه به راحتی از دانه بیرون زده و سریع‌تر و سالم‌تر رشد کند. اگرچه بسیاری از مطالعات اثرات پلاسما را روی بذر بررسی کرده‌اند، اما مکانیسم‌های افزایش جوانه‌زنی و

افزایش رشد گیاه کاملاً مشخص نیست- نتیجه کلی می‌تواند ترکیبی از عوامل ذیل باشد: الف- تغییرات در قابلیت خیس شدن سطح بذر و افزایش جذب آب [۳۲, ۳۳] باعث می‌شود آب آبیاری کمتری برای رشد گیاه موردنیاز باشد؛ این امر به‌ویژه در کشورهایی که منابع آب آن‌ها محدود است بسیار مهم است. ب- شکستن خواب بذر: در هنگام تخلیه پلاسما، گونه‌های فعال اکسیژن و نیتروژن (مانند اکسید نیتریک) ایجاد می‌شوند، که می‌توانند خواب بذر را بشکنند و منجر به جوانه‌زنی سریع‌تر شوند [۲۷]. ج- فرسایش پوشش بذر: برخی از بذرها نیاز به خراشیدن لایه سخت بذر دارند تا رطوبت به بذر وارد شود و فرآیند جوانه‌زنی آغاز شود. مشاهده شده که در نتیجه تیمار با پلاسما اغلب سطح کمی از بذر آسیب می‌بیند [۳۴]. د- حذف میکروارگانیسم‌ها [۳۴]. تیمار با پلاسما سرد، باکتری‌ها و قارچ‌های موجود در بذور را غیرفعال می‌کند، به این معنی که بذره‌ای تحت تیمار با پلاسما کمتر احتمال دارد خطرات آلودگی میکروبی را به همراه داشته باشند و ضررهای اقتصادی ایجاد کنند.

### نتیجه‌گیری:

در میان روش‌ها و کاربردهای متعددی که تا به امروز گزارش شده‌اند، خواص فیزیکی و شیمیایی منحصربه‌فرد PAW و فعالیت‌های بیوشیمیایی و بیولوژیکی عالی آن توجه روزافزونی را در جوامع دانشگاهی و صنعتی به خود جلب کرده است. در این مقاله مروری، مبانی خصوصیات PAW به ویژه منشأ RONS، شیمی تحلیلی مرتبط و کاربردهای اخیر گزارش شده آن‌ها در بیوتکنولوژی (بیشتر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲) به صورت سیستمی بررسی و موردبحث قرار گرفت. مکانیسم‌های مختلفی که زیست‌فعال PAW را در کاربردهای مختلف تنظیم می‌کند نشان داده شد. به‌طور کلی، این بررسی درک به‌روز و واضح‌تری از فرآیندهای شیمیایی اساسی که بر تکامل زمانی شیمی واکنشی در PAW حاکم است، ارائه می‌دهد. با توجه به پتانسیل کاربرد زیاد پلاسما اتمسفر سرد برای فعال‌سازی آب، با تحقیق و توسعه بیشتر، PAW می‌تواند برای استفاده موفق صنعتی و بالینی در آینده بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

### ۶. مراجع

1. Rasko, D.A., et al., *Origins of the E. coli strain causing an outbreak of hemolytic-uremic syndrome in Germany*. New England Journal of Medicine, 2011. **365**(8): p. 709-717.
2. Koutchma, T., *UV light for processing foods*. Ozone: Science and Engineering, 2008: (1) 30 p. 93-98.
3. Fridman, A., *Plasma chemistry*. 2008: Cambridge university press.
4. Bogaerts, A., et al., *Gas discharge plasmas and their applications*. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2002. **57**(4): p. 609-658.
5. Thirumdas, R., C. Sarangapani, and U.S. Annature, *Cold plasma: a novel non-thermal technology for food processing*. Food biophysics, 2015. **10**(1): p. 1-11.
6. Misra, N., et al., *In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries*. Journal of Food Engineering, 2014. **125**: p. 131-138.
7. Adamovich, I., et al., *The 2017 Plasma Roadmap: Low temperature plasma science and technology*. Journal of Physics D: Applied Physics, 2017. **50**(32): p. 323001.
8. Zhou, R., et al., *Plasma-activated water: Generation, origin of reactive species and biological applications*. Journal of Physics D: Applied Physics, 2020. **53**(30): p. 303001.
9. Lukes, P., B.R. Locke, and J.-L. Brisset, *Aqueous-phase chemistry of electrical discharge plasma in water and in gas-liquid environments*. Plasma chemistry and catalysis in gases and liquids, 2012. **1**: p. 243-308.
10. Lukes, P., et al., *Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water: evidence for the formation of peroxyxynitrite through a pseudo-second-order post-discharge reaction of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and HNO<sub>2</sub>*. Plasma Sources Science and Technology, 2014. **23**(1): p. 015019.
11. Brisset, J.-L. and J. Pawlat, *Chemical effects of air plasma species on aqueous solutes in direct and delayed exposure modes: discharge, post-discharge and plasma activated water*. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2016. **36**(2): p. 355-381.
12. Zhou, R., et al., *Plasma-enabled catalyst-free conversion of ethanol to hydrogen gas and carbon dots near room temperature*. Chemical Engineering Journal, 2020. **382**: p. 122745.



13. Scholtz, V., et al., *Nonthermal plasma—A tool for decontamination and disinfection*. Biotechnology advances, 2015. **33**(6): p. 1108-1119.
14. Ji, S.H., et al., *Assessment of the effects of nitrogen plasma and plasma-generated nitric oxide on early development of Coriandum sativum*. Plasma Processes and Polymers, 2015. **12**(10): p. 1164-1173.
15. Park, D.P., et al., *Reactive nitrogen species produced in water by non-equilibrium plasma increase plant growth rate and nutritional yield*. Current Applied Physics, 2013. **13**: p. S19-S29.
16. Sarangapani, C., et al., *Recent advances in the application of cold plasma technology in foods*. Annual review of food science and technology, 2018. **9**: p. 609-629.
17. Zhang, Q., et al., *Sterilization efficiency of a novel electrochemical disinfectant against Staphylococcus aureus*. Environmental Science & Technology, 2016. **50**(6): p. 3184-3192.
18. Dolezalova, E. and P. Lukes, *Membrane damage and active but nonculturable state in liquid cultures of Escherichia coli treated with an atmospheric pressure plasma jet*. Bioelectrochemistry, 2015. **103**: p. 7-14.
  19. Li, Z., et al., *A method of water-bloom prevention using underwater pulsed streamer discharge*. Journal of Environmental Science and Health ,Part A, 2008. **43**(10): p. 1209-1214.
  20. Ma, R., et al., *Non-thermal plasma-activated water inactivation of food-borne pathogen on fresh produce*. Journal of hazardous materials, 2015. **300**: p. 643-651.
  21. Tian, Y., et al., *Assessment of the physicochemical properties and biological effects of water activated by non-thermal plasma above and beneath the water surface*. Plasma processes and polymers, 2015. **12**(5): p. 439-449.
  22. Bourke, P., et al., *The potential of cold plasma for safe and sustainable food production*. Trends in biotechnology, 2018. **36**(6): p. 615-626.
  23. Adhikari, B., M. Adhikari, and G. Park, *The effects of plasma on plant growth, development, and sustainability*. Applied Sciences, 2020. **10**(17): p. 6045.
  24. Waskow, A., A. Howling, and I. Furno, *Mechanisms of plasma-seed treatments as a potential seed processing technology*. Frontiers in Physics, 2021: p. 174.
  25. Rifna, E., K.R. Ramanan, and R. Mahendran, *Emerging technology applications for improving seed germination*. Trends in Food Science & Technology, 2019. **86**: p. 95-108.
  26. Mitra, A., et al., *Inactivation of surface-borne microorganisms and increased germination of seed specimen by cold atmospheric plasma*. Food and Bioprocess Technology, 2014. **7**(3): p. 645-653.
  27. Šírová, J., et al. *The role of nitric oxide in the germination of plant seeds and pollen*. Plant Science, 2011. **181**(5): p. 560-572.
  28. Ito, M., et al., *Current status and future prospects of agricultural applications using atmospheric-pressure plasma technologies*. Plasma Processes and Polymers, 2018. **15**(2): p. 1700073.
  29. Ling, L., et al., *Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean*. Scientific reports, 2014. **4**(1): p. 1-7.
  30. Sidik, M.A.B., et al. *Effects of cold plasma treatment on the growth rate of corn and eggplant plants*. in *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*. 2018. IEEE.
  31. Porto, C.L., et al., *Plasma activated water and airborne ultrasound treatments for enhanced germination and growth of soybean*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018. **49**: p. 13-19.
  32. Bormashenko, E., et al., *Cold radiofrequency plasma treatment modifies wettability and germination speed of plant seeds*. Scientific reports, 2012. **2**(1): p. 1A-
  33. Dobrin, D., et al., *The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015. **29**: p. 255-260.
  34. Zahoranová, A., et al., *Effect of cold atmospheric pressure plasma on the wheat seedlings vigor and on the inactivation of microorganisms on the seeds surface*. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2016. **36**(2): p. 397-414.

# بیست و نهمین کنفرانس ملی هسته‌ای ایران

ایران، تهران، دانشگاه شهید بهشتی

۷ اسفندماه ۱۴۰۱



انسجمن هسته‌ای ایران

