

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۲۳

کاربردهای فناوری پلاسمای قوسی خزنده در صنایع

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مِهروِژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرا بلو report@nano.ir	نماینده:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه‌کننده:	مبنای پژوهان فناوری‌های نوین آتیه composite@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
		صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	مقدمه
۳	پلاسمای چیست؟
۳	منشأ پلاسمای
۳	اهمیت کاربردی پلاسمای
۳	پلاسمای قوسی خزنده
۴	کاربردهای فناوری پلاسمای قوسی خزنده
۴	تولید و تبدیل مواد شیمیایی، سوخت و پتروشیمی
۶	محیط زیست
۸	پردازش سطحی فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها
۱۰	کشاورزی
۱۱	صنایع غذایی
۱۲	پزشکی
۱۳	شرکت‌های فعال در زمینه فناوری پلاسمای قوسی خزنده
۱۳	نتیجه‌گیری

پلاسما چیست؟

ماده در حالت‌های مختلف در طبیعت یافت می‌شود و هنگامی که انرژی کافی در اختیارش قرار گیرد، از حالتی به حالت دیگر تبدیل می‌شود. اگر به یک ماده در حالت جامد انرژی داده شود، به مایع تبدیل می‌شود و اگر مایع باشد به گاز تبدیل می‌شود. حال اگر مقدار انرژی کافی در اختیار یک گاز قرار گیرد به پلاسما تبدیل می‌شود. از این رو به پلاسما شکل چهارم ماده می‌گویند. پلاسما را می‌توان مجموعه‌ای از یون‌ها و الکترون‌ها و ذرات خنثی تعریف کرد.

منشا پلاسما

پلاسما به صورت طبیعی در محیط اطراف ما یافت می‌شود. برای نمونه بادهای خورشیدی و جو ستارگان از پلاسما تشکیل شده است. درصد زیادی از جهان را پلاسما تشکیل داده که خارج از جو کره زمین است. پلاسما را در آزمایشگاه به منظور استفاده در صنایع مختلف به صورت مصنوعی از روش‌های مختلف می‌توان ایجاد نمود. از جمله پلاسما را می‌توان به وسیله یک منبع انرژی الکتریکی و با ایجاد تخلیه الکتریکی در آزمایشگاه تولید کرد.

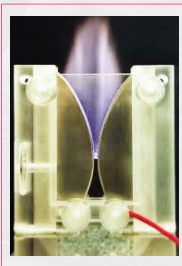
اهمیت کاربردی پلاسما

به طور کلی پلاسما با داشتن اتم‌ها، مولکول‌ها، یون‌ها و الکترون‌های پراثری و فعال می‌تواند در برهم کنش با مواد گوناگون، اعم از مواد زیستی، مایعات و سطوح مختلف سبب تغییر در ویژگی آن‌ها شده و از این رو می‌تواند خاستگاه کاربردهای وسیعی در صنایع مختلف باشد. انواع گوناگونی از پلاسما در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و پارامترهای مربوط به آن‌ها با توجه کاربرد در هر زمینه متفاوت است.

پلاسمای قوسی خزنده

تخلیه قوسی خزنده یکی از منابع تولید پلاسماست که در فشار اتمسفر و دمای محیط صورت می‌گیرد. این تخلیه، پلاسمایی بین دو حالت تعادلی و غیر تعادلی تولید می‌کند و قادر به تولید پلاسمایی با چگالی بالا، دمای الکترونی بالا و دمای گاز پایین است.

شکل ۱ تصویری از پلاسمای تخلیه قوسی خزنده را نشان می‌دهد که در آن پلاسمای قوسی بین دو الکترود تشکیل می‌شود و به وسیله شارش گاز به سمت محلی که در آنجا فاصله الکترودها بیشتر است، هدایت می‌شود.

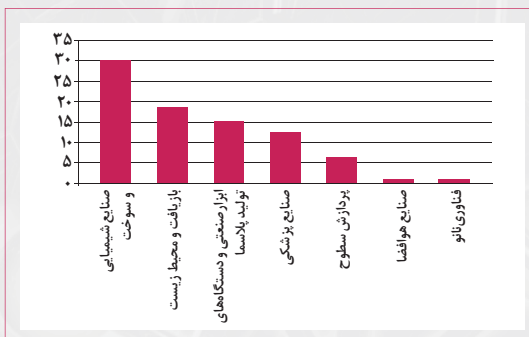


» شکل ۱. تصویری از
پلاسمای تخلیه قوسی
خزنده [۱]

پلاسمای قوسی خزنده کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف صنعتی پیدا کرده است که از آن میان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- تولید و تبدیل مواد شیمیایی، سوخت و پتروشیمی
- محیط‌زیست (آلودگی آب و هوا)
- پردازش سطحی مواد و پلیمرها
- کشاورزی
- صنایع غذایی
- پزشکی

در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری از منظر آزمایشگاهی و تئوری بر روی پلاسمای قوسی خزنده انجام شده است و مقالات علمی و اختراعات بسیاری نیز از کاربردهای این فناوری منتشر شده است. تا کنون نزدیک به ۵۰۰ عنوان اختراع ثبت شده از بیش از ۱۰ کشور دنیا در ارتباط با این موضوع در پایگاه‌های معتبر ثبت اختراعات مشاهده شده است. این اختراعات، موضوعات متنوعی از ساخت دستگاه پلاسمای قوسی خزنده گرفته تا کاربردهای مختلف این فناوری را مورد اشاره قرار داده‌اند (نمودار ۱). تعداد اختراعات در این زمینه تنها در سال ۲۰۱۴ بیش از ۲۰ مورد بوده است و روند رو به رشدی در تعداد ثبت اختراعات در این حوزه به چشم می‌خورد.



» نمودار ۱. زمینه کاربردی تخلیه قوسی خزنده در صنایع مختلف در تحلیل ۱۲۰ اختراع مرتبط

در این گزارش به اختصار به شش مورد از کاربردهای مطرح فناوری پلاسمای قوسی خزنده می‌پردازیم.

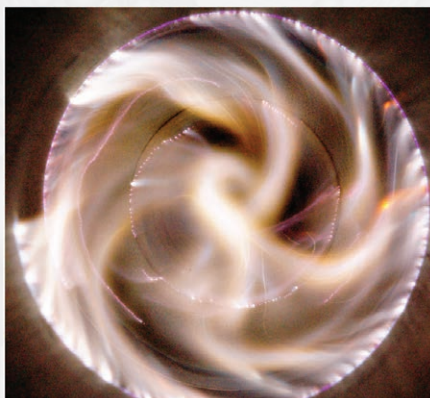
کاربردهای فناوری پلاسمای قوسی خزنده

■ تولید و تبدیل مواد شیمیایی، سوخت و پتروشیمی

با توجه به اینکه بیشترین تعداد اختراع مربوط به حوزه صنایع شیمیایی بوده است، طبیعتاً پرکاربردترین حوزه نیز برای استفاده از تکنولوژی پلاسمای قوسی الکتریکی خزنده همین حوزه است. در زمینه صنایع شیمیایی اهمیت پلاسمای قوسی خزنده در تجزیه گازها (مثلاً حذف هیدروکربن‌ها) و کمک به تولید سوخت‌های گازی دارای هیدروژن و مونوکسید کربن است. رآکتورهایی که در این زمینه طراحی شده‌اند، بسیار زیاد و دارای قابلیت‌های

متفاوت‌اند. با روند رو به رشد مصرف انرژی و افزایش نگرانی در مورد مسائل و آلودگی‌های زیست‌محیطی، فرآیندهایی مانند تولید سوخت گاز غنی از هیدروژن (به عنوان یک منبع انرژی پاک و کارا) و همچنین تبدیل سوخت‌های هیدروکربنی سنگین‌تر از متان و متانول نیازمند فناوری‌های جدیدتر هستند و توسعه سیستم‌های تولید انرژی پاک و کارآمدتر اهمیت بیشتری یافته است. این فرآیندها امروزه با استفاده از کاتالیزورها که معمولاً کُند پاسخ و گران هستند، انجام می‌شوند. فناوری پلاسمای تخلیه قوسی خزنده در این شرایط یک فناوری قابل اطمینان است.

از پلاسمای قوسی خزنده می‌توان برای اکسیداسیون جزئی هیدروکربن‌های سبک توسط اکسیژن استفاده نمود. به این ترتیب امکان تولید گازهای غنی از CO و H_2 بدون تشکیل دوده یا کک وجود خواهد داشت. گرچه ممکن است در محصول این فرآیند C_2H_4 و C_2H_2 نیز وجود داشته باشد. استفاده از پلاسمای قوسی خزنده با ساختار گردابی (شکل ۲) می‌تواند سوخت‌های هیدروکربنی سنگین را با بیش از ۸۰ درصد بازده تبدیل کند [۲]. جدول ۱ نمونه‌ای از میزان تأثیرگذاری پلاسمای قوسی خزنده در تبدیل گاز ورودی H_2/CO به گاز سنتزی را ارائه می‌دهد.



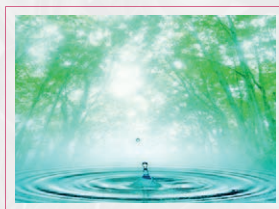
» شکل ۲. نمای جلویی
از پلاسمای قوسی خزنده
با ساختار گردابی در گاز
هوا [۲]

این فناوری کاربرد جانبی جذابی دارد. علاوه بر کاربرد مستقیم آن در حذف هیدروکربن‌ها، گاز نهایی حاصل که معروف به «گاز سنتزی» (مخلوط هیدروژن و مونوکسید کربن) است، منبع تولید انرژی در بسیاری از موتورهای احتراق و نیروگاه‌های تولید برق است. پلاسمای قوسی خزنده با انرژی اندکی (۵-۲ درصد از ارزش حرارتی سوخت) می‌تواند برای تجزیه طیف گسترده‌ای از سوخت‌های هیدروکربنی و هیدروکربن‌های سنگین به خصوص دیزل، JP8، بنزین و روغن‌های سنگین به گاز سنتزی بدون استفاده از کاتالیزور استفاده شود. از پلاسمای قوسی خزنده می‌توان برای تجزیه محصولات گازی آلوده کننده هوا ناشی از سوختن زغال سنگ، ضایعات شهری، و همچنین برای تجزیه سولفید هیدروژن (H_2S که یکی محصولات پالایش نفت است) و زدودن گازهای خروجی اگزوز دیزل از NO_x استفاده نمود.

جدول ۱. خروجی دستگاه و نسبت گازهای متفاوت تحت تأثیر پلاسمای قوسی خزنده (O_2/HC) نسبت حجمی گاز ورودی به راکتور، H_2/CO نسبت حجم گاز خروجی از راکتور، SG/HC مقدار نسبی گاز سنتز ($H_2 + CO$) به ازای واحد حجم HC های ورودی، EC مقدار انرژی الکتریکی (در کیلووات ساعت) مصرف شده برای تولید یک متر مکعب گاز سنتز، $CONV. C$ درصد تبدیل کربن موجود در گاز طبیعی اولیه به شکل آلی اشباع به CO و CO_2 و یا شکل آلی غیر اشباع [۲]

O_2/HC	H_2/CO	SG/HC	EC	$CONV. C$ (%)
۰/۶۵	۱/۹۵	۲/۸	۰/۱۲	۱۰۰

محیط زیست



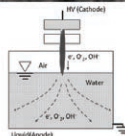
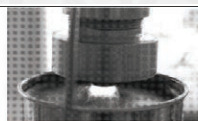
در حوزه محیط زیست و صنایع بازیافت بیشترین کاربرد پلاسمای قوسی خزننده در زمینه تصفیه آب و فاضلاب (صنعتی، دامی و کشاورزی) به وسیله نابودی میکروارگانیسم‌ها، آلودگی‌ها و مواد شیمیایی مضر و همچنین در تصفیه هوا از طریق تجزیه و غیرفعال کردن گازهای سمی یا نابودی میکروارگانیسم‌ها است. تصفیه و کاهش سختی آب و حذف مواد معدنی نیز با استفاده از این فناوری قابل دستیابی است.

کاهش سختی آب

گاز شیل^۱ در حال حاضر به طور گسترده‌ای در ایالات متحده تولید می‌شود. این گاز به عنوان یک منبع دارایی کلیدی محسوب می‌شود. به منظور تولید گاز طبیعی شیل، سنگ‌های شیل به روش‌های هیدرولیکی شکسته می‌شوند. بنابراین تولید این گاز، حامیان محیط زیست را نگران کرده است. مصرف بسیار زیاد آب و مهم‌تر از آن، آلودگی آب که ممکن است به منابع آب محلی سرازیر شود، دلیل این نگرانی‌ها هستند. این ملاحظات زیست محیطی، توسعه روش‌های مختلف بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی را برای تصفیه آب امری ضروری ساخته است.

از فناوری پلاسمای قوسی خزننده می‌توان به منظور پیش تصفیه آب و حذف مواد معدنی و کاهش سختی آب قبل از مرحله تقطیر و افزایش بهره‌وری استفاده نمود (شکل ۳). به عنوان مثال با این فناوری می‌توان میزان اولیه یون بی‌کربنات (در طیف وسیعی از حدود ۲۵۰ ppm تا حدود ۵۰۰۰ ppm) و میزان یون کلسیم (در طیف وسیعی از حدود ۵۰۰ ppm تا حدود ۵۰۰۰ ppm) را به طرز قابل توجهی تا زیر ۱۰۰ ppm کاهش داد. اصولاً میزان یون‌های بی‌کربنات و کلسیم در آب‌هایی که در حفاری چشمه‌های گاز استفاده می‌شوند، زیاد است و قبل از تقطیر باید میزان آن‌ها را کاهش داد. البته مرحله تقطیر برای آب تصفیه شده با پلاسما کاملاً اختیاری است. بر اساس مطالعه صورت گرفته، میزان سختی آب پس از گذشت نیم ساعت از این فرآیند، به حد ناچیزی رسیده است (جدول ۲) [۳].

کاهش سختی آب، مشکلات بعدی در استفاده در فرآوری مواد غذایی، مانند جرم‌گیری و خوردگی ماشین‌آلات و ایجاد خواص نامطلوب یا کیفیت پایین در مواد غذایی را کاهش می‌دهد.



» شکل ۳. شماتیکی
از فرآیند تصفیه آب با
پلاسمای قوس خزنده [۳]

جدول ۲. تغییر میزان سختی آب بر حسب مقدار کربنات کلسیم و تغییر میزان یون‌های بی‌کربنات در طول زمان اعمال پلاسمای قوسی خزنده [۳]

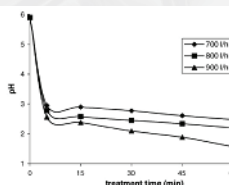
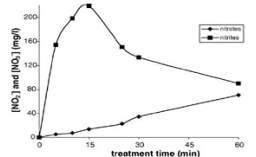
زمان اعمال پلاسما (دقیقه)

۰	۱۰	۲۰	۳۰	
۵۶۱	۲۳۹	۶۸	۰	کربنات کلسیم، CaCO_3 (ppm)
۶۸۵	۲۹۲	۸۳	۰	یون بی‌کربنات، HCO_3^- (ppm)

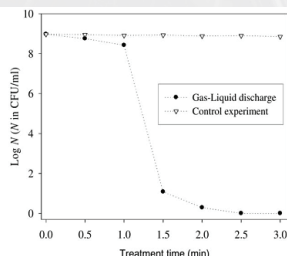
■ میکروبی‌زدایی آب

با اعمال پلاسما در آب، گونه‌هایی شیمیایی با خاصیت ضد میکروبی از قبیل نیتريت، نیترات و H_2O_2 در آب تشکیل می‌شود (شکل ۴) و میزان pH آب به شدت افت می‌کند (شکل ۵). به وجود آمدن این شرایط در آب باعث از بین رفتن باکتری‌ها و آلودگی آب می‌شود (شکل ۶) [۴].

» شکل ۴. افزایش گونه‌های نیترات و نیتريت در آب تحت فرآوری با پلاسمای قوسی خزنده (بعد از زمان ۱۵ دقیقه، نیتريت در طی اکسید شدن به نیترات تبدیل می‌شود و مقدار نیتريت کاهش می‌یابد). [۴]



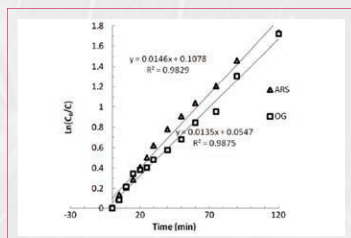
» شکل ۵. کاهش شدید میزان pH آب تحت فرآوری با پلاسمای قوسی خزنده در شارهای مختلف آب [۴].



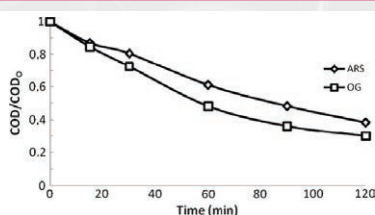
» شکل ۶. کاهش شدید
جمعیت باکتری اشریشیا
کلائی^۲ [۵]

تصفیه فاضلاب‌های صنعتی

امروزه آلودگی منابع آب و کیفیت آن‌ها مشکلی حاد محسوب می‌شود. استفاده گسترده از آلاینده‌های آلی و معدنی در صنایع کشاورزی، غذایی، نساجی و غیره منجر به انتشار آلاینده‌های بسیاری به منابع آب می‌شود که عوارض جانی و متنوع بسیاری دارند. تخلیه قوسی خزنده را می‌توان به عنوان ابزاری برای حذف این آلاینده‌ها ارائه نمود. (شکل‌های ۷ و ۸) نتایج استفاده از پلاسمای قوسی برای تجزیه و تغییر رنگ دو ماده شیمیایی رنگی ARS^{+} و OG^{+} را نشان می‌دهد [۶]. این مواد سمی و سرطان‌زا هستند و به طور گسترده در صنعت نساجی استفاده می‌شوند و در فاضلاب‌های نساجی وجود دارند.



» شکل ۸. بررسی میزان بی‌رنگ شدن آب
دارای OG و ARS [۶]



» شکل ۷. بررسی COD ناشی از OG و ARS [۶]

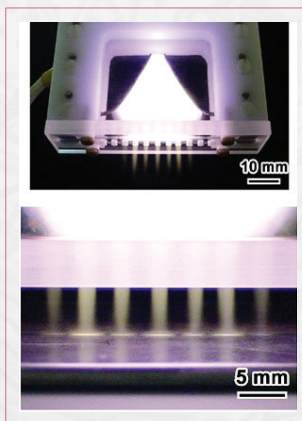
پردازش سطوح فلزات، سرامیک‌ها و پلیمرها

پلاسماهای غیرتعادلی به طور گسترده‌ای برای پردازش سطوح در صنعت استفاده می‌شوند. به منظور افزایش بهره‌وری در پردازش سطح، می‌توان از پلاسمای قوسی خزنده استفاده کرد. زیرا با نگه داشتن پلاسما در شرایط غیرتعادلی، قدرت پلاسما بسیار بالا خواهد بود. در حوزه پردازش سطوح، استفاده از پلاسمای قوسی خزنده اغلب برای پردازش سطوح آلیاژهای فلزی و سنگ‌های معدنی جهت بالا بردن کیفیت آن‌ها است؛ گرچه استفاده از این فناوری استعداد بسیار بالایی در زمینه مواد پلیمری دارد. برای تخلیه الکتریکی و پردازش سطوح مختلف در این فناوری از گازهای هوا، N_2 ، O_2 ، Ne ، CO_2 ، H_2O ، نفت و گاز (مانند متان، اتان، پروپان، بوتان، الکل‌ها، و غیره)، و یا مخلوطی از این موارد استفاده می‌شود. چنین دستگاه‌هایی دارای الکترودهای متحرک

هستند که این امر موجب پوشش‌دهی یکنواخت سطح برای پردازش می‌شود. در این فناوری تنظیم جریان گاز بسیار مهم است. اگرچه جریان گاز کم، منجر به حفظ درجه حرارت بالای تخلیه قوسی خزنده می‌شود، اما می‌تواند منجر به خوردگی الکترودها گردد. میزان انرژی سطحی به دست آمده روی سطوح نیز با تغییر این جریان متغیر است.

■ سطوح رسانا

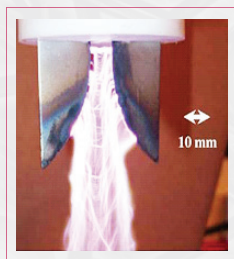
پلاسمای قوسی خزنده قابلیت بهبود خواص آب‌دوستی سطوح رسانا را دارد. استفاده از این فناوری موجب کاهش چشم‌گیر زاویه ترشوندگی آب بر روی آلومینیوم، مس و فولاد شده است. افزایش آب‌دوستی فلزات می‌تواند سبب از افزایش چسبندگی آن‌ها، زیست‌سازگاری آن‌ها در ایمپلنت‌ها و بهبود خاصیت انتقال حرارت در آن‌ها گردد که در زمینه‌های مختلف صنعتی مورد علاقه است (شکل ۹) [۷].



» شکل ۹. تصویری از مولد پلاسمای قوسی خزنده با جت‌های متعدد برای سطوح فلزی رسانا [۷]

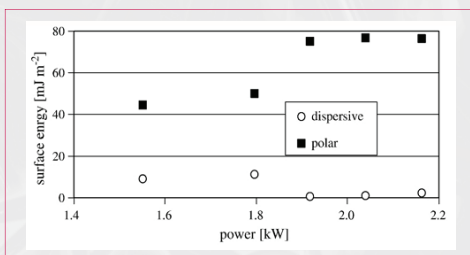
■ بهبود خواص سطحی پلیمرها

پلاسمای قوسی خزنده برای بهبود خواص سطحی پلیمرها استفاده می‌شود. (شکل ۱۰) نمونه‌ای از پلاسمای که در اصلاح سطوح پلیمر استفاده می‌شود را نشان می‌دهد [۸]. در (شکل ۱۱) میزان انرژی سطحی پلی‌استر پس از اعمال پلاسمای قوسی خزنده در جریان گاز مختلف آورده شده است. مقدار اولیه مولفه قطبی انرژی سطحی پلی‌استر معادل با $12/1 \text{ mJ/m}^2$ بوده است. بنابراین، این عملیات امکان افزایش مقدار انرژی سطحی را تا چند برابر دارد. در اثر این عملیات، میزان گونه‌های شیمیایی فعال بر روی سطح افزایش پیدا می‌کند. با این تغییر در میزان انرژی سطحی و شرایط شیمیایی سطح پلیمرهایی مانند الیاف و صفحات پلی‌استر، قابلیت‌های لایه‌نشانی، رنگ‌آمیزی و چاپ سطوح بر آن‌ها بهبود می‌یابد.



» شکل ۱۰. نمای دستگاه پردازش سطح با دستگاه قوس الکتریکی خزنده در حال کار [۹]

» شکل ۱۱. انرژی سطح
الیاف پلی استر پس از عملیات
سطحی با پلاسمای قوسی
خزنده برای مقدارهای متفاوتی
از جریان گاز [۹]



آب‌بندی از نکات بسیار ضروری در وسایل نقلیه است. این مسئله در محفظه موتور، درب، پنجره‌ها، محفظه باتری و غیره بسیار حائز اهمیت است. شرکت Hutchinson یکی از تولیدکنندگان پیشرو در جهان و تولیدکننده محصولات الاستومر با کیفیت، از اواخر دهه ۹۰ پروفیل‌های EPDM خود را برای صنعت خودرو با پلاسمای فعال می‌کند (شکل ۱۲) [۱۰].

افزایش انرژی سطح یک پیش‌نیاز برای فرایندهای پس از آن مانند رنگ و یا آب‌بندی است. استفاده از اسپری و قلم‌مو برای فعال کردن سطح پیش از فرآیند دارای مشکلات بسیاری مانند بالا بودن آلودگی سطح، پایین بودن سطح چسبندگی و غیره بود. هم‌اکنون این دو روش با پردازش سطح توسط فن‌آوری پلاسمای فشار اتمسفری شامل جت‌های پلاسمایی و پلاسمای قوسی خزنده جایگزین شده است و نسبت به دو روش پیشین سطح رضایت‌مندی بالایی را ایجاد کرده است.

» شکل ۱۲. پردازش سطح
EPDM توسط پلاسمای
قوسی خزنده [۱۱]



کشاورزی

پلاسمای قوسی خزنده کاربردهای بالقوه بسیاری در کشاورزی دارد. از جمله این کاربردها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- استریل کردن دانه در زمان ذخیره‌سازی
- افزایش جوانه‌زنی بذر
- گیراندازی نیتروژن اتمسفر در آب، به منظور افزایش رشد و نمو
- اضافه کردن گونه‌های اکسیژن فعال و دیگر اکسیدکننده‌ها، همراه با کاهش pH، به منظور کاهش حمله پاتوژن‌های خاک
- تمیز کردن هوا، استریل، حذف ترکیبات آلی فرار در امکانات گلخانه‌ای
- استریل و تمیز کردن آب پس از برداشت
- تصفیه، گندزدایی و کاهش سختی آب

■ تأثیر آب فرآوری شده با پلاسما بر نرخ رشد و عملکرد تغذیه‌ای گیاه

فناوری پلاسمای قوسی خزنده به شکل‌های مختلف بر افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. از این میان می‌توان به افزایش نرخ رشد و عملکرد تغذیه‌ای گیاه آبیاری شده با آب فرآوری شده با پلاسما و همچنین افزایش رشد و جوانه‌زنی دانه‌های فرآوری شده با پلاسما اشاره نمود. پلاسمای قوسی خزنده باعث ایجاد گونه‌های نیتروژن فعال در آب می‌شود. در مطالعه انجام شده در آمریکا از تأثیر پلاسما بر بهبود سرعت جوانه‌زنی و سپس تولید و بهبود سرعت رشد و محتوای تغذیه‌ای محصولات کشاورزی استفاده شده است. تأثیر این عملیات بر طول و وزن ریشه و ساقه نمونه‌های مختلف گیاهی مانند آহারی، یونجه، هندوانه، تربچه، فلفل سبز، گوجه و غیره امیدوار کننده ارزیابی شده است. با توجه به نتایج قابل رقابت با نتایج حاصل از گیاهان تغذیه شده با کودها، به نظر می‌رسد این فناوری می‌تواند مصرف کودهای شیمیایی را به طور چشم‌گیری کاهش دهد. در حالی که اعمال پلاسما به آب آثار شناخته شده‌ای نظیر از بین بردن فعالیت میکروبی (عمدتاً به دلیل تولید ترکیبات ناپایدار پراکسید هیدروژن، نیتريت، نیترات و غیره) از خود نشان می‌دهد، شناخته شدن سایر آثار آن بر سیستم‌های طبیعی مستلزم عزم عملی صنایع به استفاده از این فناوری و انجام پژوهش‌های کاربردی است [۱۲].

■ تأثیر پلاسمای قوسی خزنده بر جوانه‌زنی بذرها

افزایش جوانه‌زنی و رشد دانه‌ها که مستقیماً با پلاسما فرآوری شده‌اند، نیز از تأثیرات این فناوری بر افزایش تولید محصولات کشاورزی است. این فرآیند دمای دانه‌ها را به کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رساند. بر اساس نتایج به دست آمده، میزان جوانه‌زنی، طول و وزن ریشه گیاه گندم با اعمال پلاسما به مدت زمان بهینه بر روی دانه‌های گندم بهبود یافته است [۱۳].

■ صنایع غذایی

پلاسمای قوسی خزنده می‌تواند در برخی از زمینه‌های صنایع غذایی نیز مورد استفاده قرار گیرد. از جمله این زمینه‌ها عبارتند از:

■ ضد عفونی کردن محصولات قبل از بسته‌بندی

■ تمیز کردن هوا، استریل، حذف و ترکیبات آلی فرار در فرآیند بسته‌بندی در تأسیسات ذخیره‌سازی

■ حمل و نقل

■ کنترل آفات و عوامل بیماری‌زا در فروشگاه‌ها و محل‌های ذخیره‌سازی

■ حذف اتیلن از هوا به منظور افزایش زمان پیری

■ استریل تخته برش، چاقو و تجهیزات پردازش مواد غذایی

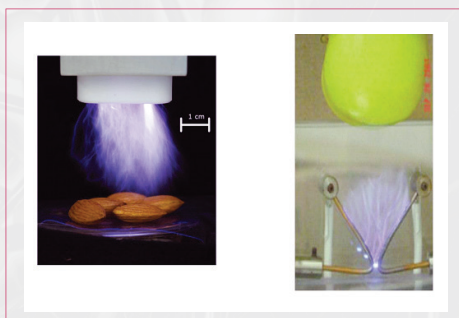
■ نابودی زیاده‌های خطرناک یا تبدیل زیاده به انرژی و ضایعات غیر خطرناک

■ کاهش بار میکروبی عرق‌جات

■ میکروبی‌زدایی مواد غذایی

به این منظور روش‌های مختلفی مانند استفاده از مواد شیمیایی ضد عفونی کننده مورد استفاده قرار گرفته است. نگرانی از سلامت ماده غذایی پس از استفاده از مواد شیمیایی ضد عفونی کننده و محدودیت‌های اعمال شده در

قالب استانداردهای مرسوم در دنیا، منجر به تلاش‌های زیادی برای یافتن روشی مناسب‌تر برای میکروپزدایی محصولات غذایی شده است. از طرفی پلاسمای قوسی خزنده امکان کاهش بار میکروبی از محیط‌های مختلف، از سطوح مواد جامد گرفته تا مایعات و گازها را دارد. بر اساس تجربیات به دست آمده، اعمال پلاسمای قوسی خزنده بر روی محصولات غذایی آلوده به باکتری‌های مختلف (شکل ۱۳) منجر به کاهش جمعیت این باکتری‌ها شده است. درحالی‌که این فرآیند دمای سطح این محصولات را به مقدار کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌دهد، رنگ، بو و بافت این محصولات تغییر محسوسی نمی‌کند.



» شکل ۱۳. استفاده از پلاسمای

قوسی خزنده برای میکروپزدایی

سیب زرد [۱۴] و بادام [۱۵]

پزشکی

در حوزه صنایع پزشکی بیشتر اختراعاتی مرتبط به پلاسمای قوسی خزنده در زمینه استریل کردن هوای بیمارستان‌ها یا استریل کردن تجهیزات پزشکی است.

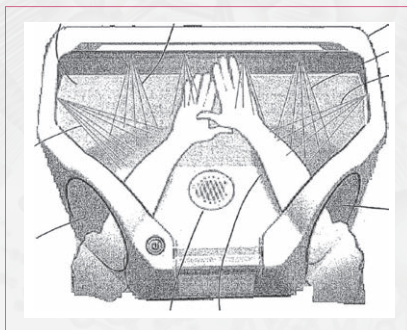
استریل کردن قطعات و تجهیزات پزشکی

به عنوان مثال در یک فناوری، به روش‌های مختلف امکان فعال کردن یک مایع با استفاده از عوامل فعال میکروپزدا از طریق اعمال پلاسمای وجود دارد. زیرا میزان الکترون زیادی در پلاسمای وجود دارد و در نتیجه قابلیت ایجاد گونه‌ها و مولکول‌های فعال شیمیایی در این روش دور از انتظار نیست. مایع دارای عوامل فعال که به این روش به دست می‌آید، قابلیت بالایی در استریل کردن قطعات دیگر دارد و می‌توان آن را روی قطعه مورد نظر اسپری کرد. در این روش قابلیت تنظیم عوامل فعال و ایجاد رادیکال‌های مد نظر با انتخاب گاز موجود در بین الکترودهای پلاسمای وجود دارد. بر اثر وجود عوامل شیمیایی مختلف مقدار pH آب تنظیم می‌شود. در مواردی دیده شده است که می‌توان آب فعال شده با پلاسمای با pH معادل ۲ تا ۳/۵ به دست آورد.

استریل کردن دست‌افزار تیم جراحی

همان‌گونه که بیان شد، امکان فعال کردن یک مایع با استفاده از عوامل فعال میکروپزدا از طریق اعمال پلاسمای وجود دارد. پیشنهاد شده است که از این روش برای استریل کردن دست و بازو و همچنین نواحی که باید تحت عمل قرار بگیرند، قبل از عمل جراحی استفاده شود (شکل ۱۴) [۱۶]. چنین فعالیتی مزایای زیادی مانند عدم

استفاده از مواد شیمیایی شوینده و به تبع آن کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی و همچنین کاهش زمان لازم برای شستشو را در پی خواهد داشت.



» شکل ۱۴. شماتیک دستگاه و روش استفاده از پلاسما برای استریل کردن دست [۱۶]

شرکت‌های فعال در زمینه فناوری پلاسمای قوسی خزنده

شرکت‌های زیادی در دنیا در زمینه تولید منابع مختلف پلاسما فعالیت دارند. برخی از این شرکت‌ها محصولاتی برای پلاسمای قوسی خزنده ارائه کرده‌اند و برخی نیز خدمات مهندسی را در این زمینه ارائه می‌دهند. در ایران نیز علاوه بر نمایندگی‌های شرکت‌های خارجی و یا شرکت‌هایی که این فناوری را از شرکت‌های خارجی خریداری کرده‌اند و خدماتی را به صنایع ارائه می‌دهند، شرکت‌های دانش‌بنیان نیز به تولید دستگاه‌ها و ارائه خدمات لازم مشغول هستند. برخی از این شرکت‌ها عبارتند از:

ردیف	نام شرکت	زمینه فعالیت
۱	Tantec	تولید دستگاه‌های اعمال عملیات‌های سطحی
۲	3DT	تولید دستگاه‌های اعمال عملیات‌های سطحی
۳	Eltech Engineers	تولید دستگاه‌های اعمال عملیات‌های سطحی
۴	کاوش یاران	تولید دستگاه‌های اعمال عملیات‌های سطحی

نتیجه‌گیری

امروزه توسعه سریع کاربردهای پلاسمای قوسی خزنده توسط کشورهای پیشرو در حوزه‌های مختلف علم و صنعت به وضوح دیده می‌شود. پلاسمای قوسی خزنده به عنوان یکی از منابع تولید پلاسمای غیر حرارتی و حرارتی کاربردهای بسیار متنوعی دارد. عمده کاربردهای سهل‌الوصول این فناوری، تجزیه و شکستن ترکیبات

شیمیایی (تجزیه هیدروکربن‌ها و تولید گاز سنتزی)، فرآوری سطوح و اصلاح ویژگی‌های سطحی مواد (تمیزکاری و فعال کردن سطوح به منظور افزایش قابلیت چاپ و رنگ‌پذیری، استریل کردن و غیره) است. هم‌اکنون صنایع خودروسازی و بسته‌بندی این فناوری را در تولید محصولات خود برای افزایش میزان چسبندگی، رنگ و چاپ‌پذیری به خدمت گرفته‌اند.

دیگر صنایع و بخش‌ها نیز به تازگی استقبال چشم‌گیری از این فناوری داشته‌اند. از این میان می‌توان به حوزه کشاورزی و صنایع غذایی (میکروب‌زدایی سطوح مواد غذایی نظیر سیب و بادام، افزایش قدرت جوانی بذرها و تغییر ترکیب شیمیایی آب آبیاری محصولات کشاورزی به منظور افزایش بهره‌وری آن‌ها و غیره)، پزشکی (استریلیزاسیون) و محیط‌زیست اشاره نمود.

امروزه در کشور ایران شرکت‌های دانش‌بنیان مشغول به تولید دستگاه‌های ایجاد پلاسمای قوسی خزنده و اعمال عملیات‌های سطحی و ارائه خدمات فنی و مشاوره در این زمینه نموده‌اند. گرچه به دلیل شناخته‌نبودن قابلیت‌های قطعی این فناوری در جامعه صنعتی و عدم شناخته‌شدن توانمندی‌های شرکت‌های ایرانی، این فناوری بازار مناسبی را به خود اختصاص نداده است. اخیراً با تلاش‌های صورت گرفته توسط شرکت‌های خصوصی داخلی و همچنین دولت، زیرساخت‌های این فناوری در ایران در حال توسعه است و به تبع آن بازار استفاده از این فناوری نیز در حال آماده‌سازی و توسعه می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| ۱ Shale | ۴ azo dye Orange G |
| ۲ Escherichia coli | ۵ Chemical oxygen demand |
| ۳ Alizarin red S | ۶ Zinnia |

مراجع

- ۱ <http://www.pages.drexel.edu/~rpg32/Research.htm>
- ۲ Gallagher, M.J., et al., On-board plasma-assisted conversion of heavy hydrocarbons into synthesis gas. *Fuel*, 2010. 89(6): p. 1187-1192.
- ۳ Cho, Y.I., et al., Pre-treating water with non-thermal plasma. 2013, Google Patents.
- ۴ Marouf-Khelifa, K., et al., Reduction of nitrite by sulfamic acid and sodium azide from aqueous solutions treated by gliding arc discharge. *Separation and purification technology*, 2006. 50(3): p. 373-379.
- ۵ Du, C.M., et al., The application of a non-thermal plasma generated by gas-liquid gliding arc discharge in sterilization. *New Journal of Physics*, 2012. 14(1): p. 013010.
- ۶ Merouani, D., et al., Plasma treatment by gliding arc discharge of dyes/dye mixtures in the presence of inorganic salts. *Arabian Journal of Chemistry*, 2011.

- ۷ Shiki, H., et al., Development of split gliding arc for surface treatment of conductive material. Thin Solid Films, 2008. 516(11): p. 3684-3689.
- ۸ Kusano, Y., et al., Gliding arc discharge—Application for adhesion improvement of fibre reinforced polyester composites. Surface and Coatings Technology, 2008. 202(22): p. 5579-5582.
- ۹ Kusano, Y., Apparatus and a method and a system for treating a surface with at least one gliding arc source. 2010, Google Patents.
- ۱۰ http://www.plasmatreat.com/company/partners_references/industrial-partners/hutchinson.html.
- ۱۱ <https://www.youtube.com/watch?v=terHitiX1oA>.
- ۱۲ 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.
- ۱۳ Šerá, B., et al. How various plasma sources may affect seed germination and growth. in Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012 13th International Conference on. 2012. IEEE.
- ۱۴ Niemira, B.A. and J. Sites, Cold plasma inactivates Salmonella Stanley and Escherichia coli O157: H7 inoculated on golden delicious apples. Journal of Food Protection®, 2008. 71(7): p. 1357-1365.
- ۱۵ Deng, S., et al., Inactivation of Escherichia coli on almonds using nonthermal plasma. Journal of food science, 2007. 72(2): p. M62-M66.
- ۱۶ Pelfrey, K.A., et al., Sanitization station using plasma activated fluid. 2014, Google Patents.

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»



مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت و گاز»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - www.nanosun.ir

از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



■ کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمز معکوس

■ فناوری‌های نوین در استفاده از آب‌های تخریب شده به عنوان منبع آب مصرفی صنایع مختلف

■ مدخل هوا-نانو الیاف

■ رنگ‌های محافظ در برابر امواج الکترومغناطیس

■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌ها و پوشش‌های آب‌گریز

■ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌فولینگ

■ کاربرد نانورنگ‌ها، نانو پوشش‌ها و سازه‌های ضدحریق در صنعت ساختمان

■ کاربرد سامانه‌های رنگ‌سنجی مبتنی بر اسپکترو فتومتری در صنایع رنگ

■ نانو حسگرهای تشخیص تهدیدات بیولوژیکی

■ نانو حسگرهای تشخیص سرطان

■ کاربرد فناوری نانو در صنعت کفپوش‌های نساجی

■ کاربرد فناوری نانو در صنعت ترانزیستور و مدارهای مجتمع

■ پوشش‌ها، کفپوش‌ها و سازه‌های مقاوم در برابر لغزش

■ بررسی و کاربرد نانوفوتوکاتالیست‌ها در حوزه‌های مختلف

■ کاربرد فناوری نانو در روش فیلتراسیون اسمز مستقیم

■ آزمایشگاه روی تراشه

■ کاربرد نانولوله‌های کربنی در فلزات

■ کاربردهای نانومواد سلولز در صنایع مختلف، حوزه کامپوزیت و پلیمر

■ کاربرد فناوری نانو در خازن‌ها

■ کاربرد نانوکاتالیست‌ها در بهبود عملکرد پیل‌های سوختی

■ سلول‌های خورشیدی شفاف

■ فناوری نانو و محیط‌های کنترل شده کشت (CEA)

■ نانو حسگرهای تشخیص سموم کشاورزی

■ کاربرد فناوری نانو در شیشه‌های هوشمند (۱)

■ نانو آفت‌کش و اثر آن در کنترل آفات

■ کاربرد فناوری نانو در صنعت مفره

■ کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی

■ کاربرد فناوری نانو در روغن‌های روان‌کننده

■ نانو افزودنی‌های سوخت

■ کاربرد نانوالیاف در کشاورزی

■ کاربرد فناوری نانو در سیمان و سیال حفاری

■ کاربرد نانوساختارها در فناوری‌های جداسازی غشایی

■ نانوفیلترهای لیفی

■ فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌وری آب در نیروگاه‌های گرمایی

■ فولاد نانو ساختار Sandvik Nano flex

■ کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل

■ کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان LED

■ کاربردهای فناوری نانو در تولید انرژی الکتریکی

■ کاربردهای نانومواد سلولز در صنعت خودرو

■ کاربرد نانو کامپوزیت‌های پلیمری در صنعت خودرو

■ کاربرد فناوری نانو در پوشاک

■ کاربرد فناوری نانو در رنگرزی منسوجات

■ کاربرد فناوری نانو در منسوجات ورزشی / بیرونی

■ کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات خود تمیزشونده

■ سلول‌های خورشیدی رنگ‌دانه‌ای

■ نانو حسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در هوا

■ نانو حسگرهای تشخیص دهنده پاتوژن‌های میکروبی

■ در مواد غذایی

■ کاربردهای فناوری نانو در چاه ارت

■ کاربرد نانو حسگرها در تشخیص و کنترل رطوبت خاک

■ کاربردهای فناوری نانو در خنک‌کاری قسمت‌های مختلف نیروگاه

■ درخت‌سان: نانوحاملی در عرصه سلامت