

خبرنامه گداخت هسته‌ای



شماره ۷



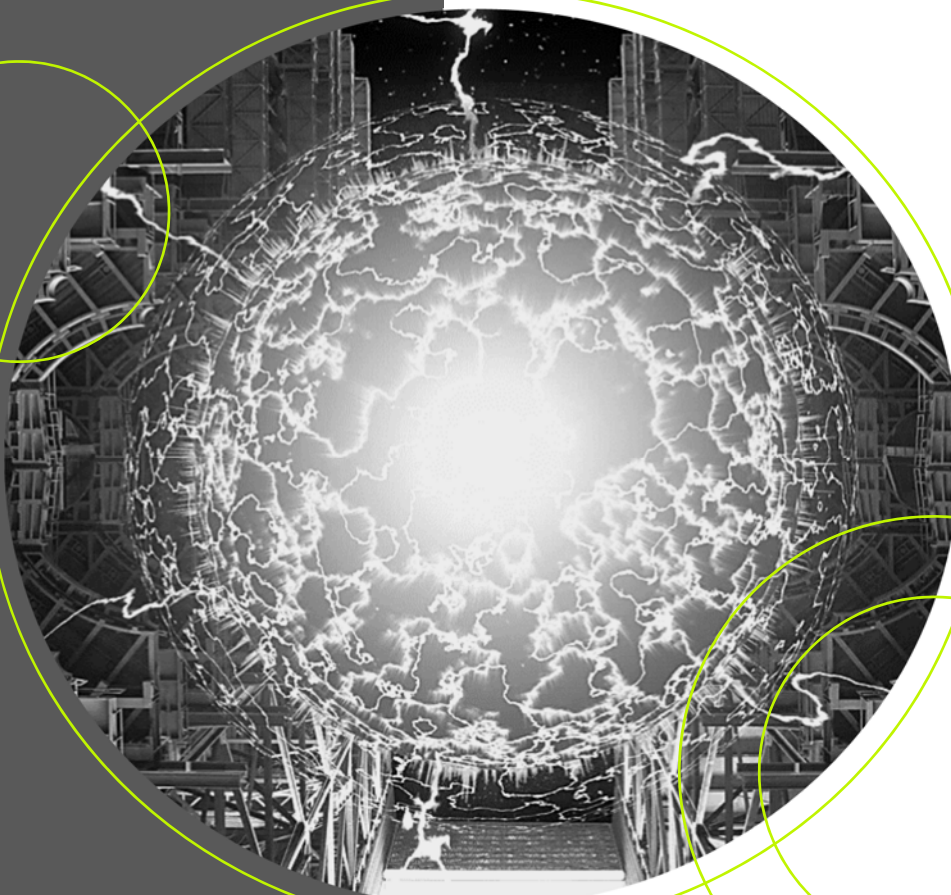
شرکت فناوری های پیشرفته ایران



مروری بر گام‌های ایران

در دستیابی به گداخت هسته‌ای

(بومی‌سازی تجهیزات – بخش اول)



طراحی و ساخت:

- ست آپ سامانه تشخیصی تبادل بار
- پوشش‌دهی پلاسمایی سطوح

نقش و لزوم پرداختن به سامانه‌های تشخیصی

سامانه‌ی تشخیصی لازمه‌ی اندازه‌گیری‌های موردنیاز برای **کنترل، ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد پلاسما** در یک توکامک هستند که به **درک بیشتر فیزیک پلاسما** منجر می‌شوند چندین دلیل وجود دارد که لزوم پرداختن به سامانه‌های تشخیصی در یک توکامک را توجیه می‌کند:

۱. **بهینه‌سازی عملکرد:** سامانه‌های تشخیصی اطلاعات ارزشمندی در مورد رفتار و عملکرد یک توکامک ارائه می‌دهند. آنها به متخصصین گداخت کمک می‌کنند تا خواص پلاسما مانند: دما، چگالی و محتوای ناخالصی را درک کنند. این اطلاعات برای بهینه‌سازی و کنترل شرایط پلاسما برای دستیابی و حفظ واکنش‌های گداخت پایدار و کارآمد حیاتی است.

۲. **حفظ ایمنی و محافظت از توکامک:** توکامک تحت شرایط شدید، از جمله دماهای بالا و میدان‌های مغناطیسی شدید عمل می‌کند. سامانه‌های تشخیصی نقش حیاتی در نظارت و اطمینان از ایمنی دستگاه و اجزای آن را ایفا می‌کنند. آنها می‌توانند شرایط غیرعادی مانند اختلالات یا ناپایداری‌های پلاسما را تشخیص دهند و اقدامات حفاظتی خود را برای جلوگیری از آسیب به توکامک آغاز کنند.

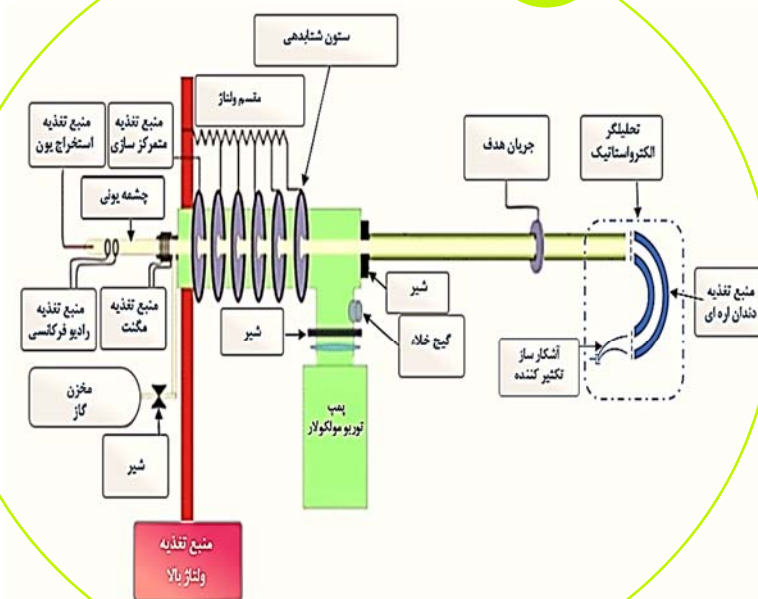
۳. **درک فیزیک پلاسما:** تشخیص اطلاعات دقیقی را در مورد خواص پلاسما از جمله دما، چگالی و توزیع ذرات آن ارائه می‌دهد. این داده‌ها کمک می‌کند تا بتوان رفتار پلاسما را درک و مدل‌های نظری آن را تأیید کرد. همچنین به شناسایی و مشخص کردن ناپایداری‌ها یا ناهنجاری‌هایی که ممکن است بر عملکرد پلاسما تأثیر بگذارد کمک می‌کند.

۴. **اعتبارسنجی راکتور گداخت:** سامانه‌های تشخیصی برای اعتبارسنجی عملکرد یک توکامک به عنوان یک راکتور گداخت قابل دوام ضروری هستند. با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف پلاسما، تشخیص به ارزیابی کارایی راکتور، محصورسازی انرژی و تولید توان گداخت کمک می‌کند. این اندازه‌گیری‌ها یک بازخورد حیاتی برای پالایش و بهبود طرح‌های راکتور آینده ارائه می‌کنند.

۵. **تحقیق و توسعه:** سامانه‌های تشخیصی محققان را قادر می‌سازد تا پدیده‌های جدید و فیزیک پلاسما را در یک توکامک بررسی و کشف کنند. آنها امکان تجزیه و تحلیل دقیق رفتار پلاسما، از جمله مطالعه تلاطم، میدان‌های مغناطیسی و برهمکنش‌های ذرات را فراهم می‌کنند. با ارائه اندازه‌گیری‌های دقیق و قابل اعتماد، تشخیص به پیشرفت درک ما از علم گداخت و تسهیل توسعه راکتورهای گداخت کارآمدتر کمک می‌کند.

به طور خلاصه، سامانه‌های تشخیصی ابزارهای ضروری در یک توکامک هستند. آنها داده‌های حیاتی را برای بهینه‌سازی عملکرد پلاسما، اطمینان از ایمنی، اعتبارسنجی طراحی راکتور، و پیشرفت تحقیقات گداخت ارائه می‌کنند. بدون این قابلیت‌های تشخیصی، دستیابی و حفظ واکنش‌های گداخت کنترل شده در یک توکامک چالش برانگیز خواهد بود.

انحراف مسیر حرکت یونها (در داخل تحلیل‌گر)، با استفاده از میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و یا هر دو صورت می‌پذیرد و به این ترتیب سرعت و یا به بیانی دیگر دما و انرژی یون‌های پلازما مشخص می‌گردد.



کاربردهای سامانه‌ی تبادل بار

سامانه تبادل بار به عنوان یک سامانه غیرتماسی قادر به اندازه‌گیری دمای یون‌های پلاسما از طریق تحلیل انرژی اتم‌های خنثی خارج شده از محیط پلاسما است. محدوده انرژی باریکه یونی قابل اندازه‌گیری، نوع تحلیل گر و دیگر اجزای سامانه را تعیین می‌کند. در نتیجه این سامانه بر اساس تحلیل گر مورد استفاده در آن به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

- تحلیل گر الکترواستاتیک
- تحلیل گر الکترومغناطیسی

در محدوده انرژی‌های کم و تا حدود ۳۰ کیلو الکترون عمدتاً از تحلیل گر الکترواستاتیک و در محدوده انرژی‌های بالاتر، از تحلیل گر الکترومغناطیسی استفاده می‌شود.

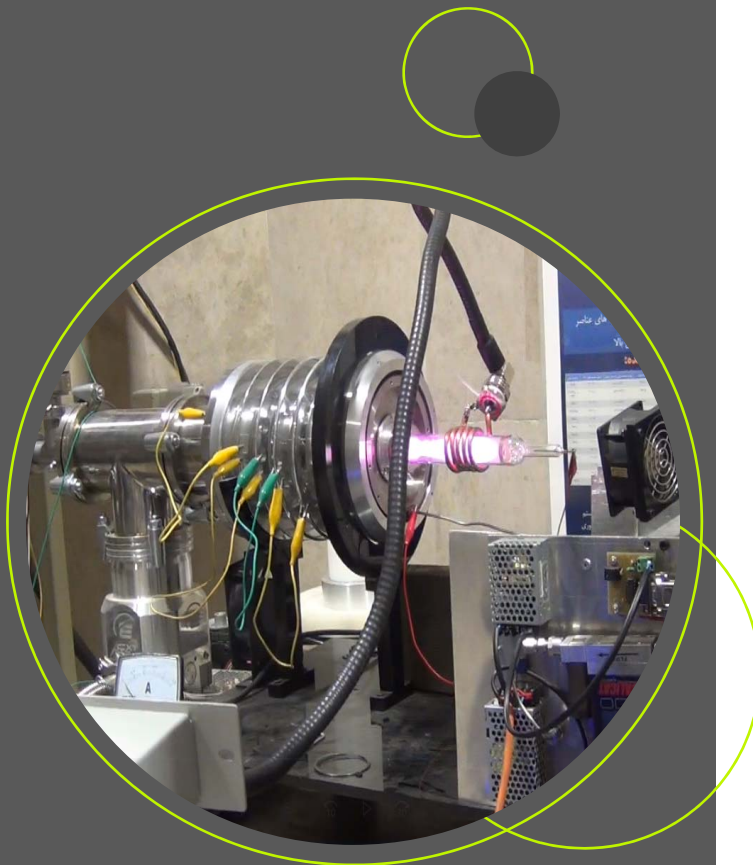
با توجه به اندازه‌گیری انرژی باریکه یونی و الکترونی توسط تحلیل گرهای الکترواستاتیکی، این نوع تحلیل گر برای سایر زمینه‌های تحقیقاتی نیز مفید خواهد بود. یکی از این کاربردها، استفاده از تحلیل گر در طیف‌سنج فوتوالکترون است. بدین ترتیب که پرتو X، لیزر، تابش UV و یا سینکروترونی بر روی نمونه مورد آزمایش تابیده می‌شود، الکترونی از نمونه جدا شده و وارد تحلیل گر الکترواستاتیکی می‌گردد. با توجه به انرژی گذر تحلیل گر، انرژی الکترون جدا شده محاسبه و به تبع آن عنصر نمونه شناسایی می‌شود.

مشخصات سامانه تشخیصی تبادل بار:

- تحلیل گر الکترواستاتیک
- بازه پارامتر هدف (دمای یون): ۱۰۰ eV - ۱۰ keV
- رزولوشن بالای انرژی: ۱۰ eV
- رزولوشن زمانی: ۲۵۰ ns
- نرخ نمونه برداری: ۱ MS/s
- مقاوم در شرایط محیطی انواع نویزهای الکتریکی و مغناطیسی

کاربردهای این سامانه در حوزه‌های صنعتی، تجاری و تحقیقاتی:

- اندازه‌گیری انرژی یون‌ها در مرکز پلاسما توکامک
- اندازه‌گیری انرژی یون‌ها در پیشران‌های فضایی
- استفاده از تحلیل گر الکترواستاتیک در سامانه فوتوالکترون



دیواره اول نقش تعیین کننده‌ای را در عملکرد کلی توکامک ایفا می‌کند. دیواره اول که داخلی‌ترین لایه‌ی محفظه‌ی توکامک است مستقیماً رو به پلاسما قرار دارد و چندین عملکرد مهم از جمله مهار پلاسما، استخراج گرما و محافظت در برابر تشعشع را بر عهده دارد.

یکی از وظایف اصلی دیواره اول این است که پلاسما را در خود جای دهد و از تعامل آن با مواد اطراف جلوگیری نماید. دمای پلاسما در یک توکامک معمولاً از مرتبه‌ی صدها میلیون درجه سانتیگراد است. دیوار اول باید بتواند در برابر گرمای شدید و بمباران ذرات پلاسما بدون ذوب یا تخریب مقاومت و به عنوان یک مانع عمل کند که پلاسما را در یک منطقه خاص محصور می‌نماید تا واکنش‌های گداخت صورت پذیرد.

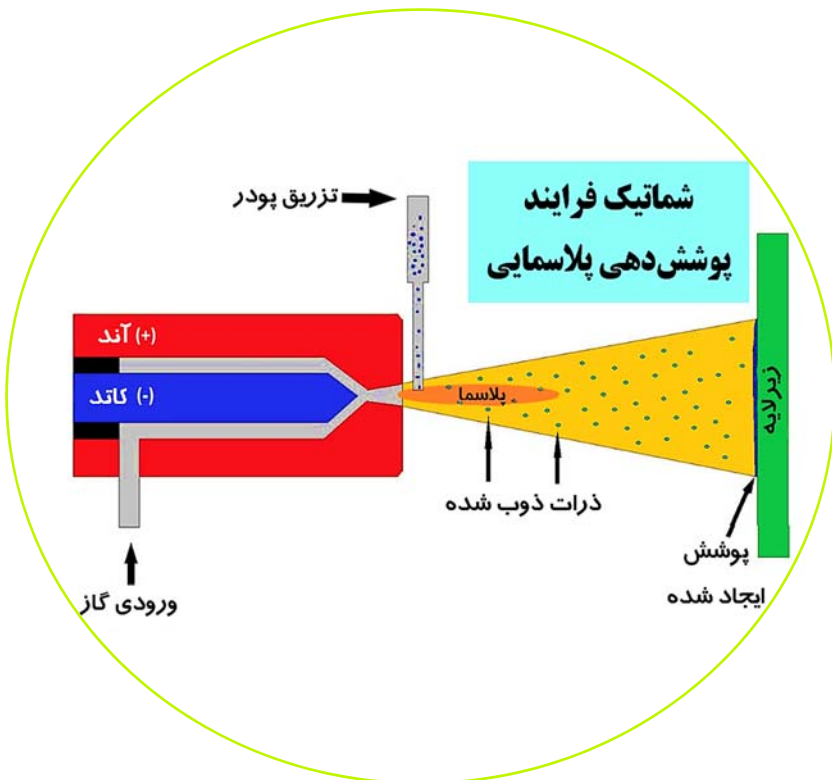
استخراج حرارتی یکی دیگر از نقش‌های مهم دیوار اول است. واکنش‌های گداخت مقدار زیادی گرما ایجاد می‌کنند. دیوار اول برای جذب این گرما و انتقال آن به خنک‌کننده یا سیستم تبادل حرارت طراحی شده است. استخراج گرمای کارآمد برای جلوگیری از آسیب به اجزای راکتور و حفظ پلاسما در دماهای لازم برای واکنش‌های گداخت پایدار ضروری است.

علاوه بر این، دیوار اول به عنوان سپر تشعشع عمل می‌کند. فرآیند گداخت نوترون‌های پرنرژی تولید می‌کند که می‌تواند به مواد راکتور آسیب برساند و رادیواکتیویته القا کند. اولین ماده دیواره باید مقاومت تابشی خوبی داشته باشد تا تاثیر تابش نوترون را به حداقل برساند و خطر ضایعات رادیواکتیو طولانی مدت را کاهش دهد.

وقتی صحبت از مصالح به کار رفته در دیوار اول می‌شود، باید چندین فاکتور را در نظر گرفت که شامل مقاومت در برابر درجه حرارت بالا، هدایت حرارتی خوب، استحکام مکانیکی، مقاومت در برابر تشعشع و فعال شدن کم تحت بمباران نوترونی است. در حال حاضر، مواد مبتنی بر کربن، مانند کامپوزیت‌های گرافیت، به دلیل توانایی مقاومت در برابر دمای بالا و عدد اتمی کم که باعث کاهش فعال شدن نوترون می‌شود معمولاً در دیوار اول استفاده می‌گردند. آنها همچنین خواص حرارتی خوبی دارند و ساخت آنها نسبتاً آسان است.

با این حال مواد مبتنی بر کربن دارای محدودیت‌های خاصی هستند، مانند حساسیت به فرسایش و حفظ تریتیوم. در طرح‌های پیشرفته توکامک، تلاش‌هایی برای کشف مواد جایگزین مانند فلزات نسوز (به عنوان مثال تنگستن)، که نقطه ذوب بالاتر و مقاومت در برابر فرسایش بهتری دارند، انجام می‌شود. این مواد عملکرد بهبود یافته‌ای را از نظر تحمل گرما و مقاومت در برابر تشعشع ارائه می‌دهند، اما از نظر ساخت و سازگاری با سایر اجزای راکتور نیز چالش‌هایی را ایجاد می‌کنند.

به طور کلی اولین دیوار در یک توکامک برای عملکرد موفقیت آمیز یک راکتور گداخت از اهمیت بالایی برخوردار است. باید در شرایط شدید مقاومت کند، گرما را به طور موثر استخراج کند، محافظ تشعشع ایجاد کرده و خطر ضایعات رادیواکتیو طولانی مدت را به حداقل برساند. انتخاب مواد برای دیوار اول یک چالش مهندسی پیچیده است که به تعادل دقیق خواص مختلف برای اطمینان از عملکرد ایمن و کارآمد توکامک نیاز دارد.



این مشعل پلاسمای حرارتی که قادر به تولید دمای بالاتر از ۱۰۰۰۰ درجه سانتی‌گراد است، امکان لایه‌نشانی طیف وسیعی از مواد به ویژه انواع فلزات، مواد نسوز و سرامیک را بر روی سطوح مختلف فراهم می‌کند. به عنوان مثال می‌توان از این سامانه برای تولید لایه‌ی تنگستن بر روی مس به منظور پوشش دیواره اول توکامک، که به طور ویژه‌ای در حوزه‌ی فناوری گداخت هسته‌ای مورد توجه است، بهره برد.

مشخصات مشعل پلاسمای حرارتی:

- بیشینه توان پلازما 33 kW
- دمای مرکز پلازما 10000 K
- جریان کاری: $20\text{--}150 \text{ A}$
- گاز مصرفی: هوا
- طول جت پلازما 15 cm

پوشش دهی پلاسمایی سطوح

پوشش دهی سطوح با استفاده از پلاسمای حرارتی یکی از رایج‌ترین روش‌ها در صنعت بشمار می‌آید که سرعت بالای لایه‌نشانی در کنار صرفه اقتصادی فرایند، آن را به مناسب‌ترین گزینه برای ایجاد انواع پوشش‌های دیرگداز، مقاوم به سایش و خوردگی با کیفیت بالا مبدل می‌سازد.

سامانه اسپری پلازما از الحاق یک دستگاه تزریق پودر به مشعل پلاسمای حرارتی که از مرسوم‌ترین منابع تولید پلازما است، پدید می‌آید. در حال حاضر نمونه 30 کیلو وات این مشعل به عنوان یکی از محصولات جانبی پرکاربرد در حوزه‌ی پلازما و گداخت طراحی و ساخته شده و آزمون‌های اولیه را با موفقیت پشت سر گذاشته است.



کاربردها

باتوجه به مشخصات ذکر شده برای مشعل پلاسمای حرارتی، می‌توان از آن برای اهداف زیر بهره برد:

- پردازش مواد

- سنتز مواد

- از بین بردن انواع پسماند

(بیمارستانی، رادیواکتیو، پتروشیمی، صنعتی و ...)

- گازی‌سازی

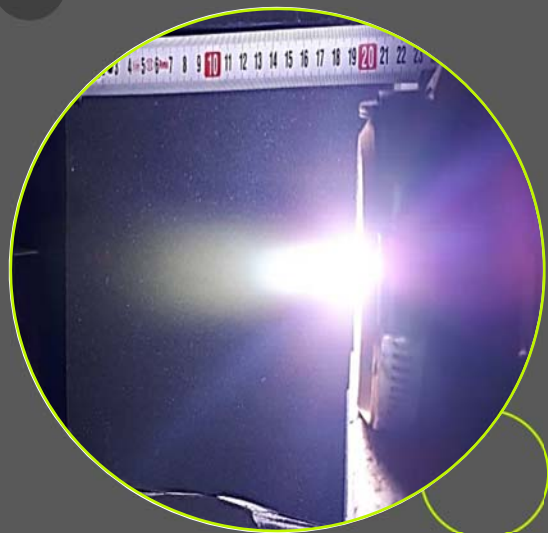
به طور خاص، در زمینه‌ی پسماند هسته‌ای استفاده از فناوری پلاسمای حرارتی که امکان پردازش با ضریب تراکم بالا را فراهم می‌کند، منجر به کاهش چشم‌گیر حجم این نوع از پسماند می‌شود. با توجه به محدودیت ظرفیت مخازن این پسماندها که تابع پروتکل‌های خاصی نیز می‌باشند، پلاسمای حرارتی می‌تواند در ارتقای ظرفیت مراکز دفع پسماند رادیواکتیو نقش مهمی را ایفا کند. این امر مزایای منحصر به فردی را در زمینه‌ی اقتصادی و زیست محیطی به وجود می‌آورد.

گازی‌سازی پلاسمایی از دیگر کاربردهای مشعل پلاسمای حرارتی به شمار می‌آید که محصول ارزشمندی موسوم به گاز سنتز را بدست می‌دهد. این گاز علاوه بر این که در درجه‌ی اول می‌تواند به عنوان یک ترکیب سوختی به منظور تولید برق مورد استفاده قرار گیرد، یک ماده اولیه در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی محسوب می‌شود که به منظور تولید طیف وسیعی از فرآورده‌های شیمیایی از جمله متانول، آمونیاک و هیدروکربن مایع به کار می‌رود.

نظرات خود را در ارتباط با سایر کاربردهای دستگاه پوشش‌دهی پلاسمایی سطح و

مشعل پلاسما با ما در میان بگذارید

fusion_ati@aeoi.org.ir



شرکت فناوری‌های پیشرفته ایران

آمادگی دارد تا با همکاری دانشگاه‌ها، مراکز

تحقیقاتی و صنعتی و شرکت‌های دانش‌بنیان

طرح‌های مشترک در حوزه

گداخت هسته‌ای و فناوری‌های وابسته به آن

را تعریف و اجرا نماید.

برای ساختن آینده‌ای امن و پاک، با ما همراه شوید:

fusion_ati@aeoi.org.ir

۸۲۰۶-۰۲۱