



تعیین محدوده فشار گاز و ولتاژ بهینه دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1 برای گازهای آرگون، نئون و هیدروژن

بابک شیرانی- فریدون عباسی دوانی* - محمد نوروزی- بهجت قاسمی

دانشکده مهندسی هسته ای دانشگاه شهید بهشتی، گروه کاربرد پرتوها

چکیده

دستگاه پلاسمای کانونی نوع مژده SBUMTPF1 طراحی و با امکانات داخلی ساخته شد. با حصول اطمینان از پایداری و تکرار پذیری، گازهای آرگون، نئون و هیدروژن به محفظه تزریق شد و در فشارهای مختلف گاز و تغیری در انرژی، داده های لازم ثبت گردید. با اندازه گیری جریان تخلیه، فاصله زمانی بینج تا رسیدن جریان به مقدار بیشینه برای هر یک از شرایط کاری اندازه گیری و با استفاده از مجموعه آزمایش ها، محدوده فشار و ولتاژ بهینه برای هر یک از این گازها تعیین گردید. برای گاز آرگون، قوی ترین بینج ها در فشارهای ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ میلی بار و در ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت بدست آمد. برای گاز نئون، در ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت، و در فشارهای ۲، ۳ و ۴ میلی بار، بینج های قوی مشاهده شد. برای گاز هیدروژن، در فشارهای بالاتر و انرژی کمتر شرایط تشکیل پینج فراهم شد. ولتاژهای ۲۰ و ۲۱ کیلو ولت و فشارهای ۵ و ۶ میلی بار به عنوان شرایط مناسب برای کار با گاز هیدروژن تعیین شدند.

کلید واژه ها:

۱. پلاسمای کانونی ۲. جریان تخلیه ۳. پینج ۴. فشار بهینه ۵. ولتاژ بهینه

۱. مقدمه

دستگاه پلاسمای کانونی (PF)^{۱۵} یک وسیله مناسب برای بررسی پدیده های گوناگون از قبیل حرکت لایه جریان در اثر نیروی $\vec{J} \times \vec{B}$ ، تشکیل پینج، تولید نوترون و تولید اشعه ایکس می باشد. این دستگاه در اوائل دهه ۱۹۶۰ به طور مستقل توسط J.W.MATHER [۱] و FILIPOV [۲] ساخته شد. دستگاه های پلاسمای کانونی کم انرژی (1-10 KJ)، به دلیل سادگی نسبی در طراحی و ساخت و همچنین هزینه مناسب آنها، به عنوان ابزارهایی مفید جهت آموزش دینامیک پلازما و مطالعه گداخت هسته ای، مورد توجه فراوان قرار

^۱ Plasma Focus

گرفته اند. تا کنون نمونه های زیادی از این دستگاه در آزمایشگاه های مختلف در سراسر جهان ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته اند. [۳]

در هر دستگاه پلاسمای کانونی، با توجه به پارامتر های دستگاه از قبیل ساختار و ابعاد الکتروود ها و عایق، ظرفیت خازن و اندوکتانس مداری سیستم، باید ولتاژ اولیه خازن و فشار گاز داخل محفظه دستگاه، به طور همزمان کنترل شوند به طوری که پارامتر راه انداز دارای مقدار مناسبی باشد. با افزایش فشار گاز، به علت سنگین تر شدن لایه جریان، لازم است که انرژی سیستم زیاد تر شود تا این لایه جریان، نزدیک بیشینه جریان به نوک آند برسد. همچنین چنانچه از گازهای با جرم اتمی بالاتر استفاده شود، برای رسیدن به شرایط مناسب تشکیل پینچ، لازم است که دستگاه را در فشارهای پایین تر مورد استفاده قرار دهیم.

۲. مشخصات دستگاه و تجهیزات مورد استفاده

دستگاه پلاسمای کانونی SBUMTPF1 با استفاده از یک خازن هم محور استوانه ای ساخت جمهوری اسلامی ایران با ظرفیت $8/6$ میکرو فاراد که تا 25 کیلو ولت شارژ می شود کار می کند. اندوکتانس کل سیستم شامل اندوکتانس خازن، تیوب تخلیه و اندوکتانس کابل های مدار، 190 نانو هانری می باشد. انرژی ذخیره شده در خازن از طریق یک گاف جرقه^۱ از نوع صفحه موازی روی آند تخلیه می شود. شروع عمل تخلیه توسط یک مدار تریگر تایروترونی انجام می شود. پالس خروجی مدار تریگر از طریق یک الکتروود باریک که در مرکز یکی از صفحات گاف جرقه قرار گرفته است به فضای بین دو صفحه اعمال می شود. برای تخلیه محفظه دستگاه، از یک پمپ روتاری با تله ازت استفاده می شود که با این کار، خلأ اولیه داخل محفظه سیستم، قبل از تزریق گاز تا 4×10^{-3} میلی بار می رسد. برای اندازه گیری جریان تخلیه از یک پیچه روگوفسکی دارای 30 دور سیم پیچ و یک مدار انتگرال گیر با ثابت زمانی 60 میکرو ثانیه استفاده شده است. ضریب کالیبراسیون برای مجموعه پیچه روگوفسکی و انتگرال گیر مورد استفاده برابر 55 کیلو آمپر بر ولت است.

سیگنال های روگوفسکی از طریق کابل RG58 به نوسان نمای^۲ Tektronix دو کاناله 60MHz منتقل می شدند و به طور همزمان، جریان تخلیه و مشتق جریان را روی دو کانال نوسان نما مشاهده کردیم. بیشینه جریان تخلیه در شرایط بهینه کار دستگاه، 164 کیلو آمپر بدست آمد.

۳. روش کار

^۱ Spark gap

^۲ Oscilloscope

اساسی ترین اندازه گیری جهت مطالعه هر دستگاه پلاسمای کانونی ، اندازه گیری جریان تخلیه است. زیرا در این دستگاه ها ، حرکت پلازما در واقع بوسیله نیروی $\vec{J} \times \vec{B}$ که توسط جریان اعمال می شود راه اندازی خواهد شد و همچنین جریان تخلیه ، از طریق پلازما برقرار می شود. با استفاده از سیگنال جریان می توان اطلاعات مفیدی در مورد دینامیک پلازما در موقع تخلیه دستگاه پلاسمای کانونی بدست آورد. جریان تخلیه دستگاه پلاسمای کانونی ، عموماً با استفاده از یک پیچه روگوفسکی اندازه گیری می شود. از آنجا که عمل تخلیه انرژی خازن در یک مدار RLC انجام می شود ، سیگنال جریان مشاهده شده به شکل یک سینوسی با دامنه میرا شونده است. که البته سیکل اول این سیگنال حاوی اطلاعات اصلی شامل ماکزیمم جریان ، زمان کانونی شدن پلازما و زمان صعود جریان می باشد. نوسانات فرکانس بالا در ابتدای سیگنال جریان و همچنین در طی فاز پینچ ، به خاطر نویز ایجاد شده در خط انتقالی است که خازن را به الکتروود ها متصل می کند. پدیده کانونی شدن پلازما در PF می توان از روی لبه تیز مشاهده شده روی سیگنال جریان مشاهده کرد چرا که در لحظه پینچ ، مقاومت الکتریکی ستون پلازما افزایش زیادی خواهد داشت. به منظور تعیین شرایط کار بهینه دستگاه، برای هر گاز در هر یک از شرایط مشخص ولتاژ و فشار ، ۸ شات^۱ زدیم. با ثبت سیگنال های جریان تعیین کردیم که در چه شرایطی پلاسمای کانونی تشکیل می شود و در این شرایط ، فاصله زمان پینچ تا زمان بیشینه جریان تخلیه را با میانگین گیری از ۸ سیگنال دریافت شده بدست آوردیم. قدرت کانونی کردن پلازما را می توان از عمق لبه تیز ایجاد شده در پالس جریان تعیین کرد. علاوه بر پارامتر های فیزیکی دستگاه ، با تغییرات فشار گاز و ولتاژ خازن می توان جریان پینچ را برای رسیدن به شرایط بهینه و تشکیل پینچ قوی تر افزایش داد.

۴. نتایج آزمایش ها

۴-۱ نتایج آزمایش های انجام شده با گاز نئون

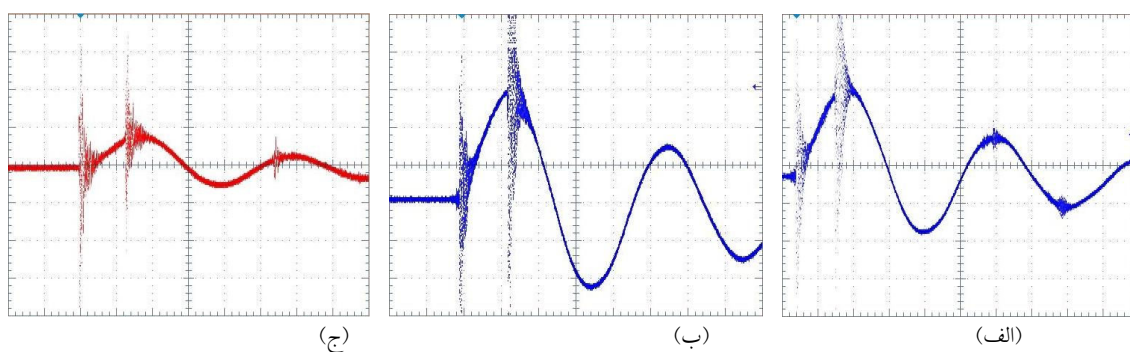
ابتدا در ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت که مبنای طراحی اولیه سیستم بود ، در فشار های ۰/۰۸ میلی بار تا ۶ میلی بار شات زدیم. از فشار ۰/۲ میلی بار تا ۴ میلی بار ، پلاسمای کانونی تشکیل شد. فاصله زمانی پینچ تا بیشینه جریان (Δt) در فشارهای مختلف برای گاز نئون در ولتاژ بهینه ۲۳/۵ کیلو ولت در جدول (۱) مشاهده می شود. خانه هایی از جدول که با علامت "-" مشخص شده اند نشان دهنده فشارهایی هستند که در آنها ، پلاسمای کانونی تشکیل نشده است. با افزایش فشار ، موقعیت زمانی پینچ به بیشینه جریان نزدیک می شود. و در ۴ میلی بار ، پینچ ، ۰/۲ میکرو ثانیه قبل از بیشینه جریان تشکیل می شود. همچنین قوی ترین پینچ ها از ۱ تا ۴ میلی بار بدست

^۱Shot

آمدند. معیار بررسی قدرت پینچ، عمق شکاف ایجاد شده در سیگنال جریان در لحظه پینچ یا مقدار $\frac{dI}{dt}$ می باشد. در شکل شماره (۱- الف)، سیگنال جریان را در شرایط $V=23.5KV$ و $P=4mbar$ مشاهده می کنید. برای گاز نئون در فشارهای ۵ و ۶ میلی بار پینچ تشکیل نشد. سپس به منظور تعیین محدوده‌های ولتاژ، برای فشارهای ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۲ و ۴ میلی بار در ولتاژهای ۱۵ تا ۲۴ کیلو ولت دستگاه را مورد آزمایش قرار دادیم. در همه فشارهای ذکر شده برای ولتاژهای ۱۷ تا ۲۵ کیلو ولت، پینچ مشاهده شد.

جدول (۱) فاصله زمانی پینچ تا بیشینه جریان (Δt) در فشارهای مختلف گاز نئون

P (mbar)	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱	۱/۵	۲	۳	۴	۵	۶
$\Delta t (\mu s)$	-	۱/۸	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۴۵	۱/۲	۱	۱	۰/۸	۰/۶۵	۰/۶	۰/۴	۰/۲	-	-



شکل (۱) جریان تخلیه برای (الف) گاز نئون در فشار ۴ میلی بار و ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت (ب) گاز آرگون در فشار ۰/۶ میلی بار و ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت (ج) گاز هیدروژن در فشار ۰/۶ میلی بار و ولتاژ ۲۰ کیلو ولت

۲-۴ نتایج آزمایش‌های انجام شده با گاز آرگون

برای آرگون از ۰/۰۱ میلی بار تا ۳ میلی بار در ولتاژهای ۱۷ تا ۲۴ کیلو ولت شات زده شد. از فشار ۰/۰۸ میلی بار تا ۱ میلی بار در ولتاژهای ۱۸ تا ۲۴ کیلو ولت، پینچ مشاهده شد. قوی‌ترین پینچ‌ها در فشارهای ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ میلی بار در ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت بدست آمد. در فشار ۰/۵ میلی بار و ولتاژ ۲۴ کیلو ولت، پینچ دقیقاً در بیشینه جریان رخ داد. فاصله زمانی پینچ تا بیشینه جریان (Δt) در فشارهای مختلف برای گاز آرگون در ولتاژ بهینه ۲۳/۵ کیلو ولت در جدول (۲) مشاهده می شود. یک نمونه از سیگنال‌های جریان که در فشار ۰/۶ میلی بار و ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت با گاز آرگون بدست آمده است در شکل (۱- ب) قابل مشاهده است. همانطور که برای گاز نئون ذکر شد، حتی در فشارهای بالا، موقعیت زمانی پینچ، قبل از بیشینه جریان است ولی در مورد

گاز آرگون، برای فشارهای بیشتر از ۰/۵ میلی بار در ولتاژ ۲۳/۵ کیلو ولت، پینچ، بعد از بیشینه جریان رخ می دهد.

جدول (۲) فاصله زمانی پینچ تا بیشینه جریان (Δt) در فشارهای مختلف گاز آرگون

P (mbar)	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱	۲
$\Delta t (\mu s)$	—	—	—	—	۰/۸	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۴	—

۳-۴ نتایج آزمایش های انجام شده با گاز هیدروژن

برای گاز هیدروژن، محدوده فشار برای کانونی کردن پلاسما، ۱/۵ تا ۷ میلی بار است. همچنین قوی ترین پینچ ها در ولتاژ ۲۰ و ۲۱ کیلو ولت بدست آمدند. اما لازم به ذکر به ذکر است که در مقایسه با گاز آرگون، پینچ، با لبه های کم عمق تری در سیگنال جریان همراه است. قوی ترین پینچ در گاز هیدروژن، در فشار ۵ و ۶ میلی بار بدست آمد. همه پینچ های بدست آمده با گاز هیدروژن، قبل از بیشینه جریان رخ می دهد. در بهترین شرایط، فاصله پینچ تا بیشینه جریان، ۰/۴ میکرو ثانیه است. شکل (۱-ج) نشان دهنده سیگنال جریان برای گاز هیدروژن در فشار ۶ میلی بار و ولتاژ ۲۳ کیلو ولت است. در این سیگنال، وقوع پینچ ثانویه را مشاهده می کنید.

۵. بحث و نتیجه گیری

۱. با توجه به نتایج آزمایش های انجام شده روی دستگاه SBUMTPF1 بهترین شرایط برای تشکیل پلاسما کانونی را به شکل جدول (۳) پیشنهاد می کنیم.

جدول (۳)

ولتاژ شارژ خازن (KV)	فشار گاز (mbar)	نوع گاز
۲۳/۵	۰/۴ تا ۰/۷	آرگون
۲۳/۵	۱ تا ۴	نئون
۲۰ و ۲۱	۵ و ۶	هیدروژن

۲. با مقایسه فشار های بهینه در جدول ۳ واضح است که هر چه عدد اتمی گازی که دستگاه پلاسمای کانونی با آن کار می کند ، بالاتر باشد ، لازم است که در فشار های پایین تر کار کنیم . این مورد با استفاده از مفهوم فشار پیستون مغناطیسی راه انداز ستون پلاسمای توجیه می شود . برای گاز های با عدد اتمی بالاتر برای اینکه لایه جریان در زمان مناسب و با سرعت مناسب به نوک آند برسد ، باید برای کاهش جرم لایه جریان ، فشار گاز را کمتر انتخاب کنیم .
۳. وقتی دستگاه برای کار با یک گاز مشخص و در یک انرژی ثابت مورد استفاده قرار می گیرد ، همانطور که در جداول ۱ و ۲ مشاهده می شود ، با افزایش فشار گاز ، زمان وقوع پینچ به تاخیر می افتد .
۴. فشار گاز بهینه ، ولتاژ بهینه و ابعاد هندسی الکتروود ها ، پارامتر هایی هستند که ارتباط نزدیکی با هم دارند . بنابراین برای اینکه با یک گاز مشخص بتوانیم به نتایج بهتری برسیم لازم است که ابعاد هندسی الکتروود ها به خصوص طول آند ، کمی تغییر کنند.
۵. چنانچه سطح داخلی محفظه تخلیه کاملاً تمیز باشد ، هر بار که گاز هیدروژن تزریق می شود می توان برای چندین شات ، همان گاز داخل محفظه را مورد استفاده قرار داد . زیرا فشار گاز پس از هر شات مقدار ناچیزی (تا ۰/۲ میلی بار) افزایش خواهد یافت . پس از کار با گاز هیدروژن و ثبت نتایج ذکر شده در این مقاله ، با دستگاه SBUMTPF1 در هوا و آرگون ، حدود ۱۵۰ شات زده شد . سپس همان آزمایش ها برای گاز هیدروژن تکرار شد و مشاهده کردیم که این بار در فشار های ۴ و ۵ میلی بار ، پینچ در بیشینه جریان رخ می دهد . در واقع محدوده فشار بهینه به سمت فشار های پایین تر کشیده شد . توجیه این پدیده به این علت است که آلودگی های روی سطح داخلی محفظه و روی سطح الکتروود ها در موقع تخلیه وارد گاز اصلی می شوند و لایه جریان را سنگین تر می کنند . در نتیجه لازم است که فشار گاز اصلی کمتر باشد . همچنین در این شرایط ، پس از هر شات ، فشار گاز داخل محفظه تا ۱۴۰ میلی بار افزایش می یابد و به همین علت پس از هر بار شات زدن لازم بود که گاز داخل محفظه تعویض شود . بنابراین برای اینکه بتوان از داده های جدول ۳ به عنوان مرجعی قابل اعتماد استفاده کرد ، پیشنهاد می شود که حداکثر پس از هر ۲۰۰ شات و چنانچه گاز های سنگین تر و به خصوص هوا تزریق شوند ، حداکثر پس از ۱۰۰ شات ، سطح داخلی محفظه تمیز شود .



دانشگاه ساری

چهاردهمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۱ و ۲ اسفند ماه ۱۳۸۶، یزد



انجمن هسته‌ای ایران

۶. مراجع

[1] Mather J.W.: *Phys. Fluids*, vol. 8(2), (1965) 366

[2] Filippov N. Filipova T.. and Vinogradov V.: *N. Fusion Suppl. Pt. 2*, (1962) 577

[1] M ZAkallah et al. "Comparative study of low energy Mather-type plasma focus devices"
Plasma sources sci. Technol. 4 (1995) 117-124.