

## مطالعه تجربی گسیل ناهمسان اشعه ایکس سخت از آند تخت با جنس های مختلف در دستگاه پلاسمای کانونی امیر کبیر

مرتضی حبیبی\*، رضا امراللهی، غلامرضا اطاعتی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هسته ای و فیزیک

### چکیده

در این مقاله اثر جنس نوک آند مرکزی بر گسیل ناهمسانگرد تابش اشعه ایکس سخت دستگاه پلاسمای کانونی امیرکبیر بطور تجربی مطالعه شده است. بیشترین شدت اشعه ایکس سخت در آند با نوک تنگستنی و کمترین شدت برای آند با نوک آلومینیومی ثبت شد. با گذاشتن نوک آلومینیومی بجای آند توخالی از جنس مس، شدت اشعه ایکس سخت افزایش یافته و ناهمسانگردی بزرگی بین زوایای ۲۲/۵ درجه و ۲۲/۵- مشاهده شد. با استفاده از نوک تنگستنی آند، شدت اشعه ایکس در اطراف الکتروود مرکزی دستگاه، به سمت تقارن بیشتر تمایل داشت. در این مقاله، مشاهده شد که نه تنها شدت اشعه ایکس، بلکه ناهمسانگردی تابش اشعه ایکس سخت نیز به جنس الکتروود مرکزی وابسته است. همچنین مواد با عدد اتمی بالاتر نظیر تنگستن شدت متقارن تری از اشعه ایکس سخت را نتیجه می دهند.

کلید واژه ها: دستگاه پلاسمای کانونی - اشعه ایکس سخت - ناهمسانگردی تابش

### ۱- مقدمه

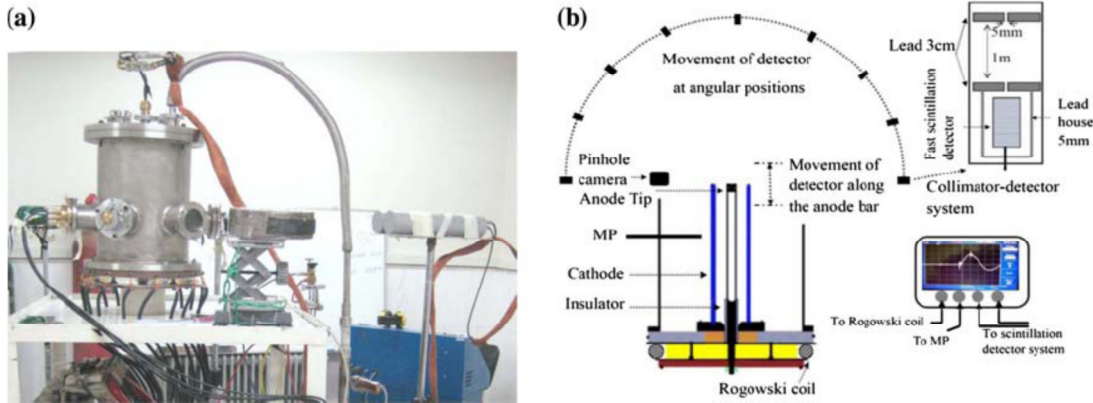
دستگاه پلاسمای یکی از مولدهای چگالنده پلازما در مد پالسی است [۱]. در این سیستم، تخلیه الکتریکی توسط بانک خازنی با اندوکتانس پائین بر روی عایق بین دو الکتروود هم محور اعمال می شود. پس ایجاد شکست الکتریکی، لایه جریان پلازما به سمت انتهای الکتروودها شتاب می گیرد و یک ستون چگال پلازما با عمر حدود ۱۰۰ ns، چگالی حدود  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  و دمای چند کیلو الکترون ولت تولید می کند [۲]. در نتیجه رشد ناپایداری  $m=0$  میدان الکتریکی القایی الکترون ها را به سمت الکتروود مرکزی دستگاه (آند) و یون ها را در جهت مخالف شتاب می دهد. اغتشاش در ستون پینچ پلازما تا تخریب کامل پینچ ادامه می یابد. پلاسمای کانونی علاوه بر تولید نوترون های حاصل از گداخت هسته ای هسته های دوتریون، منبع سرشاری از اشعه های ایکس سخت و نرم نیز هست [۳]. طیف تابشی گسیل شده از پلاسمای کانونی محدوده انرژی کمتر از ۱ keV تا بیش از ۵۰۰ keV را در

بر می گیرد. با وجود مطالعات زیادی که بر روی اشعه ایکس سخت انجام شده است، سازوکار گسیل آن در دستگاه پلاسمای کانونی به درستی شناخته شده نیست [۸-۴]. در این مقاله جهت شناخت بیشتر تابش اشعه ایکس سخت قصد داریم اثر نوک الکتروود آند سیستم را بر شدت اشعه ایکس بطور تجربی سخت بررسی کنیم. نتایج نشان می دهند که نوک مخروطی شکل از جنس تنگستن دارای بالاترین شدت و نوک تخت از جنس آلومینیم دارای کمترین شدت اشعه ایکس سخت بوده اند. این نتایج نشان می دهند که هندسه، جنس و ساختار الکتروود آند می تواند بر شدت اشعه ایکس سخت گسیل شده از دستگاه پلاسمای کانونی اثرگذار باشد و منشاء گسیل این تابش پراثری را می توان به نوک الکتروود آندی نسبت داد.

## ۲- چیدمان آزمایش ها

دستگاه پلاسمای کانونی امیرکبیر با ساختار مدر دارای خازنی با ظرفیت الکتریکی  $36 \mu\text{f}$  و انرژی بیشینه  $4/5 \text{ kJ}$  (در ولتاژ بیشینه  $16 \text{ kV}$ )، به جریان تخلیه بیشینه  $220 \text{ kA}$  در بازه زمانی حدود  $2/5 \mu\text{s}$  می رسد. آند دستگاه به قطر  $2/78 \text{ cm}$  و طول  $14/8 \text{ cm}$  بوده و کاتدها نیز از شش میله به فاصله  $4/47 \text{ cm}$  از محور دستگاه تشکیل شده اند. عایق بین الکتروودها نیز از جنس پیرکس به طول  $5/2 \text{ cm}$  و ضخامت  $0/3 \text{ cm}$  می باشد [۹]. در شکل (۱) چیدمان ابزار تجربی برای مطالعه ناهمسانگردی اشعه ایکس سخت نشان داده شده است. سیستم آشکارساز بر اساس مدل هرزیگر [۱۰] انتخاب شده و از آشکارساز سوسوزن پلاستیکی سریع برای ثبت سیگنال اشعه ایکس سخت استفاده کرده ایم. آشکارسازهای سوسوزن در فاصله یک متری از الکتروود مرکزی دستگاه قرار داده شد و کالیبره شدند. سپس از آشکارساز اول به عنوان مرجع و از آشکارساز دوم برای اندازه گیری شدت اشعه ایکس در زوایای صفر،  $22/5 \pm$ ،  $45 \pm$ ،  $67/5 \pm$  و  $90 \pm$  نسبت به آشکارساز اول استفاده شده است. در هر نقطه زاویه ای، ۲۵ شات زده شد و میانگین داده های تجربی مورد مطالعه قرار گرفت. نسبت سیگنال حاصل از آشکارساز متحرک به آشکارساز مرجع نیز برای هر شات بدست آمد و نتایج شدت ها به عدد یک نرمال شد [۱۱]. خطوط خطا در شکل های نمودارهای تجربی معرف مقادیر بیشینه و کمینه شدت ها نسبت به مقادیر میانگین گیری شده هستند. سیگنال های پروب مغناطیسی، پیچه روگوفسکی و سوسوزن پلاستیکی توسط اسپلوسکوپ های حافظه دار سریع تکترونیکس ثبت و ذخیره می شوند. پروب مغناطیسی شامل سه دور حلقه به قطر  $3 \text{ mm}$  است و هنگامی که لایه جریان پلازما از درون حلقه ها عبور می کند، افزایش ناگهانی در میدان سمتی حلقه از مقدار اولیه صفر به مقدار ثانویه ای که متناسب با جریان گذرنده و عکس فاصله شعاعی از آن است را شاهد هستیم. آزمایش برای نوک آند از جنس های آلومینیم، مس و تنگستن تخت انجام شده است. برای هر جنس، داده برداری برای ۲۵ شات صورت گرفته است. تصویر دوربین روزنه سوزنی با استفاده از فیلترهای آلومینیم ( $15 \mu\text{s}$ ) و نقره ( $50 \mu\text{s}$ ) بر روی فیلم دندانپزشکی ثبت شده است. روزنه پوشیده شده با فیلتر آلومینیومی پنجره ای برای ورود اشعه

ایکس با انرژی در محدوده keV ۱/۵-۱/۲ فراهم می کند و فیلتر نقره نیز انرژی های اشعه ایکس در محدوده انرژی keV ۱۳-۲۵ را عبور می دهد.

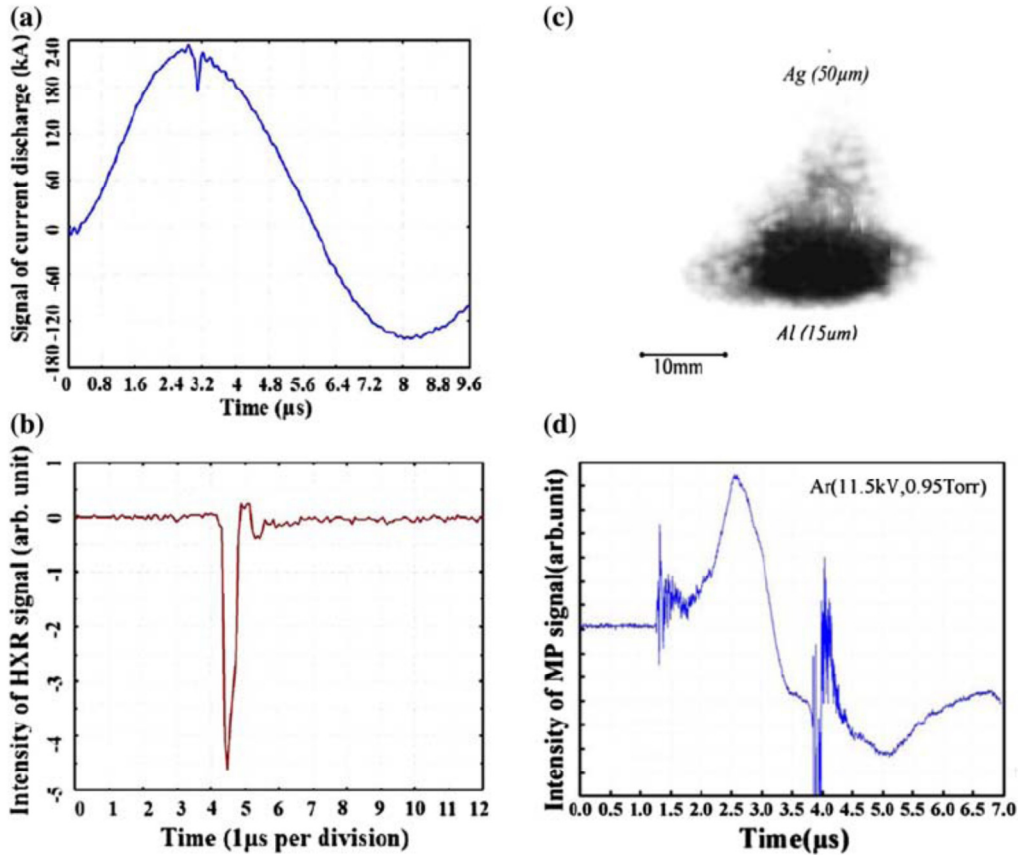


شکل (۱): (a) دستگاه پلاسمای کانونی امیرکبیر و (b): چیدمان آزمایش

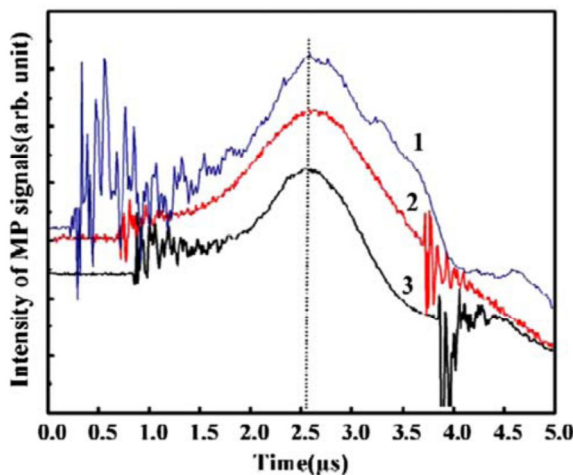
فشار بهینه آرگون در ولتاژ ۱۱/۵kV در آزمایشات برابر با ۰/۹۵torr بدست آمد [۹]. برای اطمینان از داده های تجربی دقیق، چند شات قبل از ثبت داده های مورد تحلیل در این مطالعه زده شد. پس از حدود ده شات، گاز محفظه تخلیه شده و گاز جدید تزریق شد. نخست از آند از جنس مس بدون گذاشتن قطعه نوک آند استفاده شد. سپس از قطعه های از جنس مس، آلومینیم و تنگستن استفاده کردیم.

### ۳- نتایج تجربی

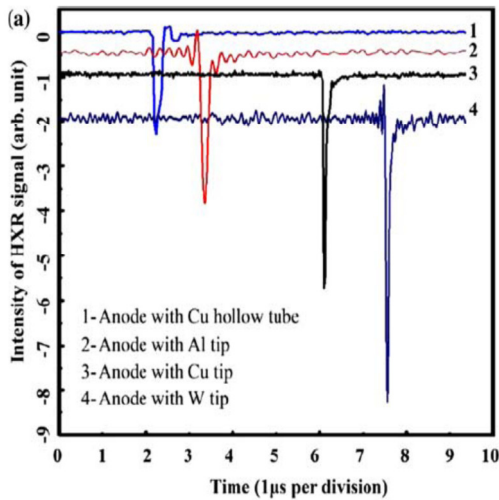
در شکل (۲) سیگنال های نوعی جریان تخلیه (پس از عبور از فیلتر ۴/۸MHz)، سیگنال اشعه ایکس سخت، تصویرهای دوربین روزنه سوزنی و سیگنال پروب مغناطیسی نشان داده شده است. پیک سیگنال پروب مغناطیسی نشان دهنده زمان رسیدن لایه جریان پلازما به این پروب می باشد. در نتیجه برای کاهش خطای تجربی می توانیم سیگنال هایی که در یک زمان به پروب می رسند را انتخاب کنیم. در شکل (۳) سه سیگنال نوعی مربوط به جنس های مختلف نوک آند ارائه شده است. در شکل (۴) نیز سیگنال های نوعی اشعه ایکس سخت حاصل از این سه جنس مختلف ارائه شده است. توزیع زاویه ای تجربی شدت اشعه ایکس سخت با استفاده از نوک الکتروود آند از جنس های مختلف در این مطالعه در شکل (۵) خلاصه شده است.



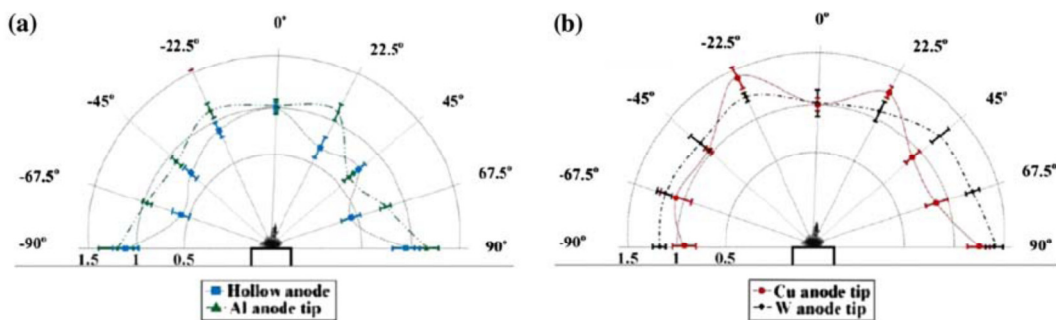
شکل (۲): سیگنال های نوعی (a): جریان تخلیه (b): اشعه ایکس سخت (c): تصویرهای دوربین روزنه سوزنی و (d): سیگنال پروب مغناطیسی برای تخلیه با مشخصات (Ar, 11.5kV, 0.95Torr)



شکل (۳): سیگنال های نوعی پروب مغناطیسی با استفاده از (۱): نوک آند مسی، (۲): نوک آند آلومینیومی و (۳): نوک آند تنگستن برای تخلیه با مشخصات (Ar, 11.5kV, 0.95Torr)



شکل (۴): (a): سیگنال های نوعی اشعه ایکس سخت برای حالت های (۱): آند مسی توخالی، (۲): آند با نوک آلومینیومی، (۳): آند با نوک مس و (۴): آند از جنس تنگستن و (b): تصویرهای دوربین روزنه سوزنی پوشیده شده با فیلتر نقره برای حالت های (۱): آند با نوک از جنس آلومینیوم، (۲): آند با نوک مسی و (۳): آند با نوک تنگستنی



شکل (۵): ناهمسانگري زاويه ای شدت اشعه ایکس سخت در اطراف الكتروود مرکزی سیستم برای حالت های (a): الكتروود توخالی مسی و نوک آلومینیومی و (b): آند با نوک مسی و تنگستنی

#### ۴- نتیجه گیری

طبق شکل (۴)، بیشترین شدت اشعه ایکس سخت در آند با نوک تنگستنی و کمترین شدت برای آند با نوک آلومینیومی ثبت شد. در نتیجه برای داشتن شدت بهینه بهتر است از آند با نوک تنگستن بجای مس که بیشتر متداول است، استفاده شود. همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود، شدت اشعه ایکس سخت در آند توخالی از جنس مس رفتار ناهمسانگردی شدیدتری دارد. با گذاشتن نوک آلومینیومی شدت اشعه ایکس سخت افزایش یافته و ناهمسانگردی بزرگی بین زوایای  $22/5^\circ$  درجه و  $22/5^\circ -$  مشاهده شد. نوک مسی آند نیز رفتار ناهمسانگردی قابل توجهی را نشان می دهد. طبق شکل (۵) می بینیم که بیشترین ناهمسانگري در زوایای بین صفر و  $22/5^\circ \pm$  درجه و همچنین در زوایای بین  $22/5^\circ \pm$  و  $45^\circ \pm$  درجه مشاهده می شود. با گذاشتن نوک تنگستنی آند، شدت اشعه ایکس در اطراف الكتروود مرکزی دستگاه، به سمت تقارن بیشتر تمایل داشت. سازوکار اصلی گسیل اشعه ایکس سخت از دستگاه

پلاسمای کانونی برخورد الکترون های غیر گرمایی و پراثرژی شتاب یافته در اثر فروپاشی ستون پینچ پلاسمای چگال با سطح الکتروود مرکزی دستگاه می باشد [۱۲]. در این مقاله، مشاهده شد که نه تنها شدت اشعه ایکس، بلکه ناهمسانگردی تابش اشعه ایکس سخت نیز به جنس الکتروود مرکزی وابسته است. همچنین مواد با عدد اتمی بالاتر نظیر تنگستن شدت متقارن تری از اشعه ایکس سخت را نتیجه می دهند که البته مطالعات بیشتری از جنبه های تجربی و نظری برای فهم دقیق ماهیت اشعه ایکس سخت لازم است که در برنامه های آتی انجام خواهد شد.

#### ۵- مراجع

- J. W. Mather, *Methods of Experimental Physics*, P. 187(1971), 9B, Academic Press, New York [۱]
- J. W. Mather, Formation of high density deuterium plasma focus, *Physics of Fluid*, 8, 2, 366-377, (1965) [۲]
- Mather J. W., Characteristic of the dense plasma focus discharge, *Physics of Fluid*, 11, 3, 611-618, (1968) [۳]
- Leopoldo Soto, New trends and future perspectives on plasma focus research, *Plasma Physics and Control Fusion*, 47, 361-381 (2005) [۴]
- J. O. Pouzo, et al, Applications of the Dense Plasma Focus to Nuclear Fusion and Plasma Astrophysics, *IEEE transactions on plasma science*, 31, 1237-1242 (2003) [۵]
- Zakaullah, et al, Scope of plasma focus with argone as a soft X-ray source, *IEEE Trans. On Plasma Sci.*, 6, 2089 (2002) [۶]
- F. Castillo, et al, High contrast radiography using a small dense plasma focus, *Appl. Phys. Lett.* 92, 051502 (2008) [۷]
- J. O. Pouzo, et al, Applications of the Dense Plasma Focus to Nuclear Fusion and Plasma Astrophysics, *IEEE transactions on plasma science*, 31, 1237-1242 (2003) [۸]
- M. Habibi, et al, Experimental Study of Current Discharge Behavior and Hard X-ray Anisotropy by APF Plasma Focus Device, *Journal of Fusion Energy*, vol.28 no.1 130-134 (2009) [۹]
- G. Herziger, et al, Hard x-ray emission from the plasma focus, *Physics Letters*, V.69A, N.1, 1978 [۱۰]
- Jalufka N. W., Lee J. H., Current sheet collapse in a plasma focus, *The physics of fluid*, 15, 11, 1954-1958, (1972) [۱۱]
- M. Zakaullah et al, Low-Energy Plasma Focus as a Tailored X-Ray Source, *Journal of Fusion Energy*, 19, 2, 143-157 (2000) [۱۲]