

رادیوگرافی با استفاده از تابش‌های ایکس دستگاه پلاسمای کانونی

ابوالفضل کنعانی^۱ - بابک شیرانی^{۲*} - ایرج جباری^۱

^۱دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای

^۲دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای، گروه کاربرد پرتوها

چکیده

در این پژوهش، قابلیت یک دستگاه پلاسمای کانونی $۵/۴ \text{ kJ}$ به عنوان چشمه‌ای پالسی و با شدت بالا از تابش‌های ایکس برای رادیوگرافی از نمونه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا مقدار دز تابش ایکس گسیلی دستگاه در شرایط مختلف و موقعیت‌های مکانی متفاوت توسط دزیمترهای گرمالیانی GR-200A اندازه‌گیری شد. مقادیر دز بدست آمده نشان داد که شدت تابش دستگاه حتی در یک شات و دوره‌ی زمانی کوتاه پرتوگیری (حدود چند ده نانو ثانیه) برای رادیوگرافی کافی است؛ همچنین قابلیت دستگاه برای رادیوگرافی از نمونه‌های متنوع با استفاده از فیلم‌های رادیوگرافی دندان‌پزشکی بررسی شد که تصاویری با وضوح بالا همراه با تفکیک پذیری مناسب بدست آمد.

کلید واژه: دستگاه پلاسمای کانونی، تابش ایکس، رادیوگرافی، دزیمتر گرمالیانی، فیلم

مقدمه

پلاسمای کانونی (PF)، دستگاهی توان پالسی است که توسط تخلیه الکتریکی بین دو الکترود هم محور در یک گاز، پلاسمایی چگال تولید می‌کند که در آن الکترودها به یک مولد توان پالسی متشکل از یک بانک خازنی و یک کلید ولتاژ بالا متصل شده‌اند. نیروی لورنتس لایه جریان ایجاد شده را در امتداد محور الکترودها شتاب می‌دهد. لایه پلاسمای پس از رسیدن به انتهای الکترود مرکزی به صورت شعاعی فشرده شده و پلاسمایی داغ و چگال تشکیل می‌دهد. این ناحیه به چشمه‌ای قوی از الکترون‌ها، یون‌ها، طیف وسیعی از تابش‌های الکترومغناطیسی و نوترون‌ها (در صورت استفاده از گاز دوتریم) مبدل می‌گردد [۱، ۲]. سه مکانیزم عامل اصلی گسیل تابش‌های ایکس دستگاه هستند. اولین مکانیزم مربوط به برخورد بیم الکترون‌های پرنرژی به سطح آند

و تولید ایکس‌هایی سخت (HXR^1) تا انرژی‌های چند صد keV می‌باشد (تابش ترمزی). قسمت دوم مربوط به گسیل تابش ترمزی از نواحی داغ ستون پلاسما می‌باشد که سهم عمده‌ای در ایکس‌های نرم (SXR^2) با انرژی‌هایی در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۱ keV دارند. مکانیزم سوم به تولید گسیل خطی سری K در عناصر با عدد اتمی بالا مربوط است که این فرآیند هم در ستون پلاسما (خطوط مشخصه گاز آرگون و نئون) و هم در مورد بیم برخوردی به آند (خطوط مشخصه جنس آند) مشاهده می‌شود. شدت بسیار بالا، مدت زمان بسیار کوتاه پالس و طیف گسترده انرژی، از مشخصه‌های بارز تابش‌های ایکس این دستگاه هستند. تاکنون، قابلیت استفاده از تابش‌های ایکس دستگاه پلاسما کانونی در زمینه‌های متنوعی نظیر لیتوگرافی [۳، ۴]، میکروسکوپی [۵] و رادیوگرافی [۶] مورد بررسی قرار گرفته است.

گرچه استفاده از تابش‌های ایکس پلاسما کانونی برای تصویربرداری رادیوگرافی به سال ۱۹۷۶ برمی‌گردد [۷]، اما در حال حاضر نیز این زمینه‌ی جذاب، توجه و مطالعات زیادی را به خود معطوف کرده است. ایکس‌های تولید شده توسط تابش برمشترلانگ و نقاط داغ پلاسما کانونی، گزینه‌هایی بسیار خوب برای رادیوگرافی از نمونه‌های بیولوژیکی [۸] یا نمونه‌های کوچک دیگر هستند. [۹، ۱۰].

کاستیلو و همکارانش، قابلیت استفاده از تابش‌های ایکس سخت گسیلی از یک دستگاه پلاسما کانونی ۲ kJ (در حین فعالیت با گاز دوتریم) را برای رادیوگرافی از نمونه‌های بیولوژیکی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که شدت تابش در یک شات در محدوده‌ای است که می‌تواند تصاویر رادیوگرافی با تفکیک پذیری مناسب ارائه دهد [۸]. مورنو و همکارانش با استفاده از یک دستگاه پلاسما کانونی با انرژی ۴/۷ kJ تصاویری با تفکیک پذیری خوب از نمونه‌هایی فلزی نظیر پیچ گرفتند [۱۱]. اما شاید جالب‌ترین رادیوگرافی انجام شده با استفاده از یک دستگاه پلاسما کانونی، توسط راسپا انجام شده باشد. او و همکارانش توانستند تصویری بسیار واضح از یک قفل در با تمام جزئیات بگیرند [۱۲].

در این پژوهش، ابتدا به اندازه‌گیری مقدار دز دستگاه پلاسما کانونی در شرایط مختلف پرداخته شده است و سپس با تصویربرداری از نمونه‌های متنوع، قابلیت دستگاه PF برای رادیوگرافی نشان داده شده است.

روش کار

^۱ Hard X-Ray

^۲ Soft X-Ray

دستگاه پلاسمای کانونی: آزمایشات با استفاده از دستگاه پلاسمای کانونی UIPF1 (نوع مدر) انجام شد. انرژی دستگاه توسط یک عدد خازن هم محور با ظرفیت $12 \mu\text{F}$ و ولتاژ 30 kV (معادل با انرژی $5/4 \text{ kJ}$) تأمین می‌شود. این دستگاه دارای اندوکتانس کل 169 nH ، دامنه جریان 191 kA با دوره تناوب $8/96 \mu\text{s}$ است.

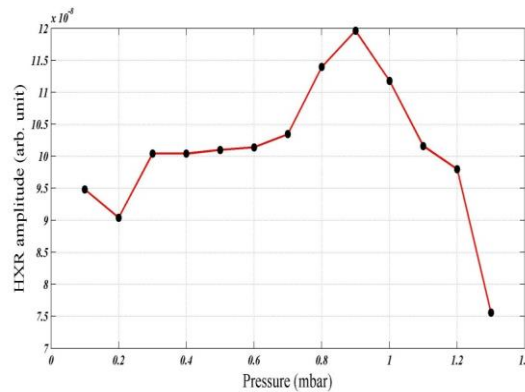
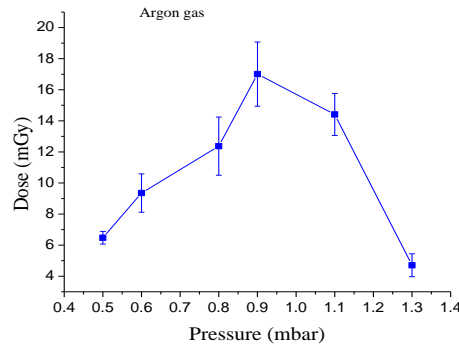
پیچه روگوفسکی به منظور مشاهده‌ی مشتق جریان و دریافت اطلاعات از چگونگی تشکیل پیچ مورد استفاده قرار گرفته است. ضریب کالیبراسیون برای این پیچه حدود 12 kA/V است. افت شدید مشاهده شده در سیگنال مشتق جریان، گواهی بر تشکیل ستون پلاسما است. برای اطمینان از گسیل تابش ایکس در هر شات و پرتو گیری فیلم‌ها و دزیمترها، یک آشکارساز سوسوزن پلاستیکی (BC-400، با طول و قطر ۲ اینچ) در فاصله یک متری از آند (چشمه ایکس) قرار داده شد.

اندازه گیری مقدار دز: برای بررسی مقدار دز اشعه ایکس دستگاه پلاسمای کانونی و اطمینان از مناسب بودن آن برای رادیوگرافی، دو آرایه ۶ تایی از دزیمترهای GR-200A داخل و بیرون از محفظه قرار داده شد. تمامی فاکتورهای کالیبراسیون مربوط به دزیمترها با استفاده از چشمه‌های استاندارد ^{60}Co و ^{137}Cs بدست آمدند. آزمایشات برای فشارهای مختلف گاز (از $0/5$ تا $1/3 \text{ mbar}$) در ولتاژ 25 kV ، پنج مرتبه تکرار شد تا خطای آماری ناشی از انجام آزمایشات کاهش یابد.

رادیوگرافی: به منظور بررسی توانایی دستگاه برای انجام رادیوگرافی در موقعیت‌های مکانی مختلف، فیلم‌ها در دو موقعیت خارج محفظه عمود بر محور آند، روی پنجره‌ی شیشه‌ای در فاصله 23 cm از آند و درون محفظه روی محور آند و با فاصله‌ای تقریباً مشابه قرار گرفتند. در همه موارد نمونه‌ها مستقیماً به فیلم متصل شدند.

نتایج آزمایشگاهی

مقدار دز: ابتدا مقادیر دز دستگاه در موقعیت‌های مکانی ذکر شده در فشارهای مختلف اندازه‌گیری شد. شکل ۲-الف، مقدار متوسط دز تابشی را در فشارهای متفاوت درون محفظه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین دز (17 mGy) در فشار $0/9 \text{ mbar}$ رخ می‌دهد؛ همچنین می‌توان دریافت که مقدار دز با افزایش فشار، به تدریج زیاد می‌شود و از فشار بهینه به بعد شروع به افت می‌کند. این نتایج با اطلاعات بدست آمده از اندازه‌گیری شدت پرتو ایکس در سوسوزن مطابقت دارد. شکل ۲-ب، شدت تابش ایکس بدست آمده از سوسوزن را بر حسب فشارهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲. (الف): مقدار دز درون محفظه بر حسب فشار گاز آرگون، شکل ۲. (ب): تغییرات شدت HXR بر حسب فشار گاز آرگون

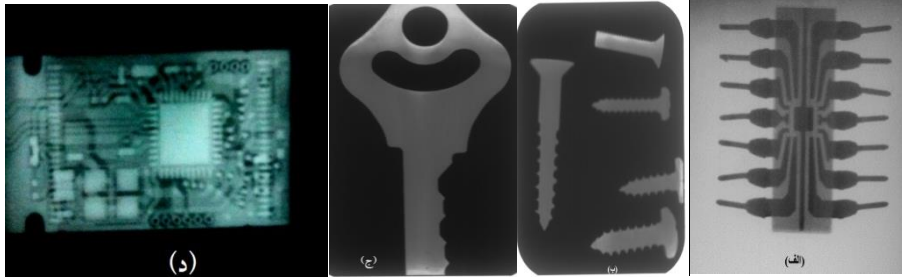
جدول ۱ مقدار دز تابش‌های ایکس را در خارج از محفظه و چسبیده به پنجره محفظه نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار دز در فشار بهینه، ۰/۴۳ mGy است. همچنین نتایج این جدول نشان می‌دهد که مقدار دز در تمامی فشارها برای انجام رادیوگرافی با فیلم مناسب است [۸].

جدول ۱: مقادیر دز در فشارهای متفاوت گاز آرگون در خارج محفظه روی پنجره‌ی شیشه‌ای دستگاه

فشار (mbar)	۰/۵	۰/۶	۰/۸	۰/۹	۱/۱	۱/۳
مقدار دز روی پنجره محفظه (mGy)	۰/۱۹۸	۰/۲۱۵	۰/۲۲۷	۰/۴۳۸	۰/۳۹۷	۰/۲۴۵

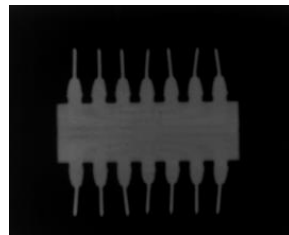
رادیوگرافی: به منظور بررسی قابلیت استفاده از دستگاه PF برای رادیوگرافی، از نمونه‌های متنوعی نظیر مدار مجتمع، پیچ‌های فلزی مختلف، کلید و USB فلش برای انجام رادیوگرافی استفاده گردید. شکل ۳ مجموعه‌ای از رادیوگرافی‌های انجام شده با استفاده از دستگاه UIPF1 را در خارج از محفظه نشان می‌دهد. لازم به یادآوری

است که فلش واقع در تصویر دارای مداری دو سوپه با ساختاری بسیار ریز می‌باشد که برخی از نقاط غیر واضح موجود در تصویر به علت همین دو سوپه بودن مدار است.



شکل ۳. تصاویر بدست آمده از قرارگیری نمونه‌ها روی پنجره‌ی شیشه‌ای محفظه در دو شات - (الف): مدار مجتمع، (ب): انواع پیچ‌ها، (ج): کلید و (د): USB فلش

استفاده از تابش‌های ایکس دستگاه در بالای آند و داخل محفظه باعث کاهش تفکیک‌پذیری تصاویر شد. در شکل ۴ نمونه‌ای از تصویر مدار مجتمع گرفته شده در این موقعیت مکانی مشاهده می‌گردد. البته این تابش‌ها برای رادیوگرافی از اجسام چگال و یا ضخیم مناسب‌تر خواهد بود.



شکل ۴. تصویر یک مدار مجتمع قرار گرفته در راستای محور آند و داخل محفظه در تک شات

در نهایت تأثیر عوامل مختلفی نظیر قرارگیری قرص سربی روی آند و فیلترگذاری فیلم‌ها نیز صورت پذیرفت که در تصاویر گرفته شده توسط دستگاه تغییر محسوسی حاصل نشد.

بحث و نتیجه گیری

مقادیر دز اندازه‌گیری شده توسط دزیمترها علاوه بر نشان دادن مقادیر دز بیشینه ۱۷ و 0.43 mGy به ترتیب در داخل و خارج محفظه در فشار 0.9 mbar و ولتاژ 25 kV ، گواه بر کافی بودن این مقادیر دز برای رادیوگرافی با استفاده از دستگاه پلاسمای کانونی است. در مورد قابلیت استفاده دستگاه برای رادیوگرافی نیز، تصاویر بدست آمده، توانایی دستگاه را برای نشان دادن تصاویری با وضوح بالا و جزئیات مناسب به خوبی نشان می‌دهد. در این پژوهش همچنین اثر آندهای با جنس مختلف برای رادیوگرافی با استفاده از PF انجام شد که

تأثیر خاصی در تصاویر مشاهده نشد. با توجه به پهنای کوتاه پالس ایکس دستگاه (در حد چند ده نانو ثانیه)، می‌توان قابلیت دستگاه را در تصویربرداری از نمونه‌های متحرک مورد بررسی قرار داد.

مراجع

- [1] A. Bernard, H. Bruzzone, P. Choi et al., "Scientific Status of Dense Plasma Focus Research", J. Moscow Phys Society 8: 1-93 (1998)
- [2] L. Soto, "New trends and future perspectives on plasma focus research", Plasma Phys. And Control. Fusion 47, A361 (2005)
- [3] E.P. Bogolyubov, V.D. Bochkov, V.A. Veretennikov et al., "A Powerfull Soft X-Ray Soure for X-ray Lithography Based on Plasma Focusing", Phys. Scr. 57, 488 (1988)
- [4] D. Wong, A. Patran, T.L. Tan et al., "Soft X-Ray Optimization Studies on a Dense Plasma Focus Device Operated in Neon and Argon in Repetitive Mode", Plasma Sci. 32, 2227 (2004)
- [5] R. Lebert, W. Neff, D. Rotherweiler, "Pinch Plasma Source for X-Ray Microscopy with Nanosecond Exposure Time", J. X-Ray Sci. Technol. 6, 107 (1996)
- [6] S. Hussain, M. Shafiq, M. Zakaullah, "Tailoring a Plasma Focus as Hard X-Ray Source for Imaging", Appl. Phys. Lett. 96, 031501 (2010)
- [7] G. Decker and R. Wienecke, "Plasma Focus Devices", Physica B & C, 155 (1976)
- [8] F. Castillo-Mejia, M. Milanese, R. Moroso et al., "Small Plasma Focus Studied as a Source of Hard X-Ray", IEEE Trans. Plasma Sci. 29, 921 (2001)
- [9] S. Hussain, M. Zakaullah, S. Ali et al., "X-Ray Enhancement from a Plasma Focus by inserting Lead at the Anode Tip", Phys. Lett. A, 319, 181 (2003)
- [10] S. Hussain, M. Zakaullah, S. Ali et al., "Plasma Focus as a Possible X-Ray Source for Radiography", Plasma Source Sci. Technol. 14, 61 (2005)
- [11] C.H. Moreno, A. Clausse, J. F. Martinez et al., "Ultrafast X-Ray Introspective Imaging of Metallic Objects Using a Plasma Focus", NUKLEONIKA 46, S x-Sy (2001)
- [12] V. Raspa, P. Knoblauch, F. Di Lorenzo et al., "Plasma Focus Based Flash Hard X-Ray Source in the 100 keV Region with Reproducible Spectrum", Phys. Lett. A 374, 4675-4677 (2010)