



## بررسی تغییر سیگنالهای ولتاژ پروب و مشتق جریان با ولتاژ و فشار گاز اعمالی و تأثیر جنس و طول عایق در دستگاه پلازما فوکوس (TAUPF)

احمدی، محمدرضا<sup>۱</sup>؛ ذوقی، فرشاد<sup>۲</sup>؛ سبحانیان، صمد<sup>۲</sup>

Experimental investigation of the variations of voltage and current derivative signals in TAUPF plasma focus with gas pressure and the applied voltage and the role of material and length of the insulator

Ahmadi, Mohamadreza<sup>1</sup>; Zoghi, Farshad<sup>2</sup>; Sobhanian, Samad<sup>2</sup>

Email: mohamadreza\_ahmadi168@yahoo.com

### چکیده

در این مقاله هدف بررسی تجربی تأثیرات تغییرات فشار گاز و ولتاژ اعمالی بین الکترودهای دستگاه پلازمای فوکوس TAUPF انرژی پایین (۴KJ) بر روی سیگنالهای مشتق جریان و همچنین تأثیر جنس و طول عایق بر روی این سیگنالها برای یافتن شرایط بهینه کار از لحاظ فشار و ولتاژ اعمالی و طول عایق می باشد. همچنین تأثیر این تغییرات بر روی کیفیت پینچ و طول زمان پینچ در این دستگاه مورد بررسی قرار می گیرد. برای اینکار ما از گاز کاری آرگون برای پر کردن محفظه دستگاه استفاده نموده ایم، آزمایش برای فشارهای ۳، ۲/۵، ۲، ۱/۵، ۱،  $10^{-1}$  و ۸ mbar و ولتاژهای ۱۳ KV و ۱۲/۵، ۱۲، ۱۱/۵، ۱۱ تکرار گردیده اند. پیرکس و تفلون در طولهای ۷ و ۶/۵، ۶، ۵ سانتیمتری به عنوان عایق مورد استفاده قرار گرفته اند.

### کلمات کلیدی

پلازما فوکوس، مشتق جریان، پینچ، عایق.

### ۱. مقدمه

یکی از مناسب ترین و ساده ترین و در عین حال ارزانترین سیستم تولید پلازما که می تواند پلازمای بسیار فشرده (پلازمای چگال) و با دمای بالایی را بدون نیاز به میدان مغناطیسی خارجی تولید کند دستگاه پلازمای کانونی یا پلازما فوکوس است. [۱]

دستگاه پلازما فوکوس وسیله ای است که در مدت زمان کوتاهی یک تخلیه الکتریکی در آن انجام گرفته و پلازمای گرم با طول عمر بسیار کوتاه و با چگالی بالا ایجاد می شود. طول عمر پلازما در پلازما فوکوس نوعی در حدود چندین ده نانو ثانیه و چگالی آن در حدود  $10^{19} \text{cm}^{-3}$  و دمای آن در حدود چند KeV است. [۲]

<sup>۱</sup>. گروه فیزیک، واحد علوم و تحقیقات آذربایجان شرقی، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۲</sup>. گروه فیزیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران



دستگاه پلازما فوکوس (PF) وسیله ای برای تولید پرتوهای یونی پالسی (PIB) با جریان بالا و انرژی بالا است که انرژی تولید شده از آن تا حدود چندین MeV میرسد. چنانچه چگالی جریان یونی بالا باشد، با انتخاب مناسب گاز پرکننده، محدوده وسیعی از گونه های یونی می توانند تولید شوند، بنابراین از این نظر پلازما فوکوس PF به عنوان منبع پرتوهای یونی پالسی (PIB) شناخته شده است.

علاوه بر این کاربرد، پلازما فوکوس وسیله ای ارزشمند و مقرون به صرفه برای تولید اشعه X (نرم و سخت) و ذراتی مانند نوترون و الکترون است. همچنین می توان از آن برای تحقیقات در زمینه فیزیک پلازما سود جست. چنانچه گاز مورد استفاده در آن دوتریم D2 باشد. محیطی مناسب برای ایجاد همجوشی هسته ای است و می توانیم شاهد تولید نوترونها باشیم. [۳]

ویژگی های خاص پرتوهای گسیل شده از دستگاه های پلاسمای کانونی نیز باعث کاربرد متنوع و وسیع این دستگاه ها در فیزیک کاربردی و فیزیک بنیادی شده است. برخی از این شاخه های متنوع عبارتند از: فیزیک انرژی بالا (شبیه سازی پدیده های اخترشناسی) راکتورهای شکافت، گداخت به روش محصور سازی لختی، لیتوگرافی، مطالعه فیزیک مواد، طیف نگاری با پرتو ایکس، و رادیوگرافی با نوترون های پرانرژی. [۴ و ۵]

در رابطه با پلاسمای کانونی و نقاط عطف آن در طول زمان، به دو سال ۱۹۶۰ و ۱۹۶۵ می توان اشاره کرد. در این سالها فیلیپوف در روسیه تیوب جدیدی طراحی نمود که آنرا پلازما فوکوس نام نهاد به طور همزمان در آمریکا نیز مدر نتایج کارهایش را که به طور مستقل از فیلیپوف انجام می داد، منتشر کرد و دو ساختار مختلف پلاسمای کانونی نوع فیلیپوف و نوع مدر مطرح شد. [۶ و ۷]

## ۲. روشهای آزمایش

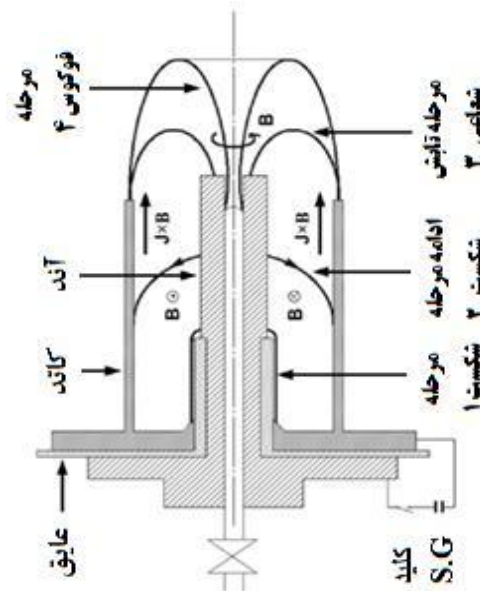
دستگاه پلازما فوکوس دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز در مرداد ماه ۱۳۹۳ در این دانشگاه راه اندازی شد. این دستگاه از نوع مدر و دارای انرژی بانک خازنی ۴ KJ می باشد. تصویری از این دستگاه در (شکل شماره ۱) آورده شده و طرحواره مربوط به مراحل مختلف تولید، رانش و پینچ پلاسمایی نیز در (شکل شماره ۲) نشان داده شده است.

در این مقاله هدف بررسی تاثیرات تغییرات فشار و ولتاژ بر روی سیگنالهای مشتق جریان و تاثیرات تغییرات جنس و طول عایق در دستگاه پلاسمای کانونی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز که از نوع مدر می باشد تا بتوانیم شرایط بهینه کار از لحاظ فشار و ولتاژ اعمالی و همچنین تاثیر این تغییرات بر روی کیفیت پینچ و طول زمان پینچ در این دستگاه را برای اولین بار تعیین نماییم که نتایج بدست آمده می تواند برای کاربردهای خاص و دانشگاهها و مراکز تحقیقاتی در زمینه پلازما سودمند باشد.

برای اینکار ما از گاز کاری آرگون برای پر کردن محفظه دستگاه در فشارهای ۳، ۲/۵، ۲، ۱/۵، ۱، ۱-، ۱۰×۸ و ولتاژهای تخلیه اعمالی ۱۳، ۱۲/۵، ۱۲، ۱۱/۵، ۱۱ استفاده نموده ایم. همچنین به بررسی تاثیر نوع جنس عایق و طول آن بر کیفیت سیگنالها و عمل پینچ شدن و مخصوصاً زمان تشکیل پینچ پرداخته ایم.



شکل ۱: تصویر کلی از دستگاه پلاسما فوکوس دانشگاه آزاد واحد تبریز



شکل ۲: طرحواره پلاسما فوکوس نوع مدر دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

در دستگاههای پلاسما فوکوس کاتد از آند توسط یک عایق الکتریکی از همدیگر جدا می شوند که جنس و طول عایق بسته به نوع دستگاه پلاسما فوکوس تغییر می کند که عمدتاً از سه نوع عایق در دستگاههای پلاسما فوکوس استفاده می شود، پیرکس، سرامیک و تفلون و طول این عایقها در تخلیه الکتریکی تاثیر بسزایی می گذارد.



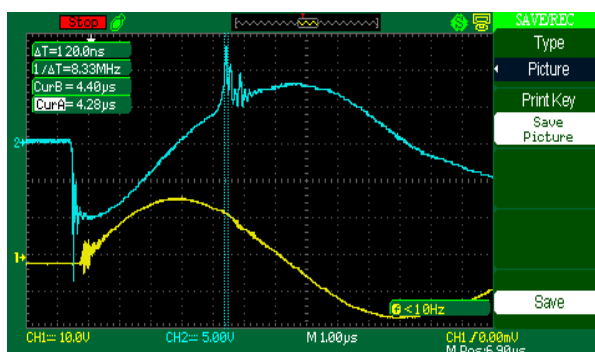
از جمله کمیات بکار برده شده و یا اندازه گیری شده می توان به مدت زمان طول پینچ (tp-pinch)، مدت زمانی که طول می کشد تا پدیده پینچ در دستگاه رخ دهد اشاره کرد. در منحنی مشتق جریان زمان تشکیل پینچ از ابتدای شروع تخلیه الکتریکی تا ابتدای شکست (تشکیل پینچ) را (t) تعیین نموده ایم. در این آزمایشات ما از دو نمودار مشتق جریان و ولتاژ بهره گرفته ایم. برای بدست آوردن نمودار مشتق جریان از پیچه رگوفسکی استفاده نموده ایم که ولتاژ دو سر آن پارامتر ولتاژ پینچ (Vp) را بیان می کند. مشخصات هندسی و الکتریکی ظرف تخلیه و بانک خازنی دستگاه پلاسما فوکوس دانشگاه آزاد در (جدول شماره ۱) آورده شده است:

جدول ۱: مشخصات هندسی و الکتریکی ظرف تخلیه و بانک خازنی دستگاه پلاسما فوکوس TAUPF

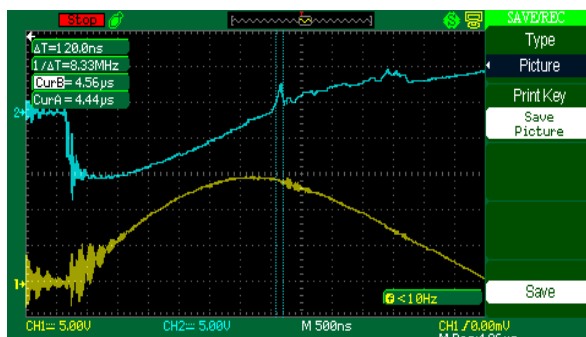
| مشخصات مخزن |                     | مشخصات محفظه |                        |
|-------------|---------------------|--------------|------------------------|
| ۲۰ KV       | ولتاژ شارژ          | ۴ KJ         | انرژی                  |
| ۳۶ μF       | ظرفیت خازنی +/- ۱۰٪ | ۳۶ μF        | ظرفیت خازنی +/- ۵٪     |
| ۵۰ nH       | اندوکتانس           | ۱۲۰ nH       | اندوکتانس              |
| ۲۰۰ KA      | ماکزیمم جریان       | ۳۵۰ KA       | ماکزیمم جریان          |
| ۲۰٪         | حداکثر ولتاژ معکوس  | ۱۵ KV        | حداکثر ولتاژ شارژ      |
| ۱۰۴ nsec    | طول عمر (C/DNo)     | ۱۳/۳ cm      | طول آند                |
|             |                     | ۲-۳ Torr     | D2 فشار گاز بهینه برای |

برای اعمال تغییرات فشار در دستگاه و ثابت نگه داشتن فشار گاز داخل محفظه از روش ورود مداوم گاز به داخل محفظه و تخلیه همزمان آن توسط پمپ تخلیه برای ثابت نگه داشتن فشار، در فشار دلخواه بهره گرفته ایم. هر چند در این روش تنظیم فشار گاز ورودی و میزان تخلیه آن قدری سخت بوده ولی برای بدست آوردن نتایج دقیق این روش مناسب می باشد. برای تغییرات ولتاژ دستگاه نیز با استفاده از بانک خازنی و سیستم کنترل دستگاه می توان به راحتی ولتاژ دلخواه را برای دستگاه تنظیم نمود.

در (شکلهای شماره ۳ و ۴) دو نمونه از نمودارهای، سیگنالهای مشتق جریان و ولتاژ از آزمایشات را که توسط یک اسیلوسکوپ ۵۰ MHz ذخیره سازی شده اند نشان داده ایم. نمودار کانال ۲ (منحنی بالایی) مربوط به مشتق جریان که توسط پیچه رگوفسکی اندازه گیری شده و نمودار کانال ۱ (منحنی پایینی) مربوط به ولتاژ پینچ می باشد.

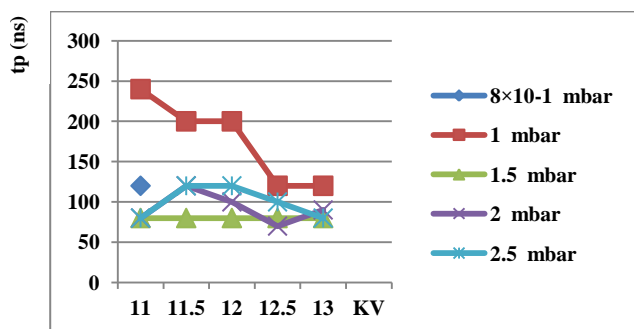


شکل ۳: مدت زمان تنگش tp مربوط به فشار ۲/۵mbar در ولتاژ ۱۲ KV

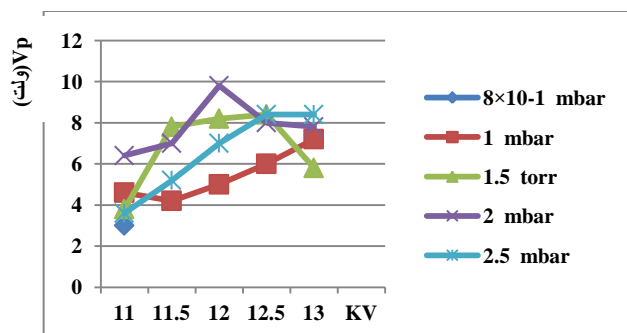


شکل ۴: مدت زمان تنگش tp مربوط به فشار ۱mbar- $8 \times 10^{-1}$  در ولتاژ ۱۱ KV

در زیر جمع بندی کلی اطلاعات آزمایشات بر روی نمودار نشان داده شده است. (شکل شماره ۵) مدت زمان طول پینچ (tp) و (شکل شماره ۶) ولتاژ پینچ (Vp) در فشار و ولتاژهای مختلف را نشان می دهد و در (جدول شماره ۲) نیز تاثیر جنس و طول عایق بر روی این پارامترها را آورده ایم.



شکل ۵: مدت زمان طول پینچ (tp) در فشار و ولتاژهای مختلف



شکل ۶: ولتاژ پینچ (Vp) در فشار و ولتاژهای مختلف



جدول ۲: تغییرات متغیرهای مدت زمان پینچ  $t_p$ ، زمان تشکیل پینچ  $t$  و  $V_p$

| $V_p$<br>(V) | زمان تشکیل<br>پینچ<br>$t(\mu S)$ | مدت زمان<br>پینچ<br>$t_p(nS)$ | طول<br>(سانتیمتر) | جنس عایق | $\hat{q}_0$ |
|--------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------|-------------|
| ۸/۴۰         | ۴/۵۶                             | ۱۲۰                           | ۵                 | پیرکس    | ۱           |
| ۹/۶۰         | ۴/۴۰                             | ۱۰۰                           | ۶                 | پیرکس    | ۲           |
| ۳            | ۴/۳۶                             | ۱۶۰                           | ۶/۵               | پیرکس    | ۳           |
| ۳/۸          | ۴/۲۰                             | ۲۰۰                           | ۷                 | پیرکس    | ۴           |
| ۱            | ۳/۲۵                             | ۲۵۰                           | ۶                 | تفلون    | ۵           |
| ۰/۵          | ۲                                | ۲۵۰                           | ۶/۵               | تفلون    | ۶           |

### ۳. نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات و نمودارها می توان گفت که بهترین محدوده فشار برای گاز کاری آرگون جهت مشاهده پینچ در دستگاه پلاسما فوکوس واحد دانشگاه آزاد واحد تبریز بین فشار ۲/۵ mbar - ۱ mbar می باشد که در فشار ۲ mbar بهینه کیفیت پینچ در آزمایشات مشاهده گردید.

با توجه به نمودار می توان گفت که مدت زمان تشکیل پینچ در فشارهای بالا نسبتاً ثابت و در فشارهای پایین روند نزولی را نشان می دهد. همچنین مدت زمان طول پینچ در فشار ۱ mbar کاهش و در فشار ۱/۵ mbar تغییر پیدا نمی کند و در فشارهای ۲ mbar و ۲/۵ حالت نوسانی داشته سیر منظمی ندارد.

با افزایش فشار گاز و ولتاژ دستگاه ، ولتاژ پینچ  $V_p$  نیز افزایش یافته و سیر صعودی دارد. همچنین جریان مورد اندازه گیری طبق رابطه (۱) مستقیماً متناسب با ولتاژ خروجی مدار پیچ روگوسکی است.

$$I(MA) = \alpha U(Volt) \quad (1)$$

که در آن  $\alpha$  ضریب کالیبراسیون است و مقدار آن برای دستگاه ما برابر است با:

$$\alpha = \frac{U_0}{I_0} = 0.083 \frac{MA}{V}$$

بنابراین با توجه به نتایج بالا که بر طبق آن ولتاژ خروجی با افزایش فشار ، افزایش می یابد در نتیجه به تبع آن جریان پینچ نیز افزایش خواهد داشت.

ضمناً نتیجه گرفته می شود که با انتخاب پیرکس به عنوان جنس عایق ، کیفیت پینچ نسبت به حالت تفلون بسیار بهتر می باشد.



#### ۴. مراجع

- [۱] V. Siahpoush, M. A. Tafreshi, S. Sobhanian and S. Khorram, "Adaptation of Sing Lee's model to the Filippov type plasma focus geometry", *Plasma Physics and Controlled Fusion* (2005) Volume 47.
- [۲] S. Patricio and S. Leopoldo, "Pinch evidence in a fast and small plasma focus... ,*Plasma source Sci technol*" (2004) 13, 329-332.
- [۳] M.A.Mohammadi, S. Sobhanian, R.S. Rawat, "Neutron production with mixture of deuterium and krypton in Sahand Filippov type plasma focus facility", *Physics Letters A*, Volume 375, Issue 33, ( 2011) 3002-3006.
- [۴] R. S. Rawat, W. M. Chew ,P. Lee, White T and S," *Lee Surf Coat Technol*", (2003) 173 276.
- [۵] R. S. Rawat, P. Arun, A. G. Vedeshwar , P. Lee and S. Lee, " *Journal of applied physics* ", (2004) 95 ,7725.
- [۶] N. V. Filippov , T. I. Filipova , V. P. Vinogradov , *Nucl Fusion* (1962) suppl Pt2, 577.
- [۷] J. W. Mather , " *Phys Fluids* "(1964) suppl .S28 .