

## طراحی و شبیه سازی سیستم استخراج چشمه یونی پنینگ

ندا فتحی امین<sup>۱</sup>، احسان ابراهیمی بسابی<sup>۱\*</sup>، سید مصطفی ساداتی<sup>۲</sup> و مظهر فتحی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود ([neda.fathi.am@gmail.com](mailto:neda.fathi.am@gmail.com))

<sup>۱\*</sup>دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود ([ehsan.eb.64@gmail.com](mailto:ehsan.eb.64@gmail.com))

<sup>۲</sup>دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته‌ای ([s.mo.sadati@gmail.com](mailto:s.mo.sadati@gmail.com))

<sup>۱</sup>دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود ([mazhar.fathii@gmail.com](mailto:mazhar.fathii@gmail.com))

کلید واژه: چشمه یونی پنینگ، سیستم استخراج، هندسه الکترو

### چکیده

در این مقاله تأثیر هندسه و ابعاد الکترودهای مختلف سیستم استخراج چشمه یونی پنینگ با استفاده از نرم افزار شبیه سازی CST مطالعه شده است. اثر هندسه‌های مختلف بر روی شعاع و انرژی باریکه و همچنین شدت جریان استخراج بررسی و مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سیستم استخراج چهارالکترودی در مقایسه با سیستم استخراج دو و سه الکترودی، اپتیک باریکه را در شرایط بهینه تری انجام می‌دهد.

## Design and Simulation of Ion Beam Extraction System for a Penning Ion Source

Neda Fathi Amin<sup>1</sup>, Ehsan Ebarhimibasabi<sup>1\*</sup>, S. Mostafa Sadati<sup>2</sup>, Mazhar Fathi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics and Nuclear Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

<sup>2</sup> Nuclear Engineering Department of University of Shahid Beheshti

\* Corresponding e-mail: [ehsan.eb.64@gmail.com](mailto:ehsan.eb.64@gmail.com)

### Abstract

In this paper, the effect of geometry and dimensions of different electrodes on the Penning ion source extraction system has been studied using CST simulation software. The effect of different geometries on the radius and energy of the beam as well as the intensity of the current extraction have been studied and compared. The results show that the four-electrode extraction system performs beam optics in more optimal conditions compared to the two- and three-electrode extraction systems.

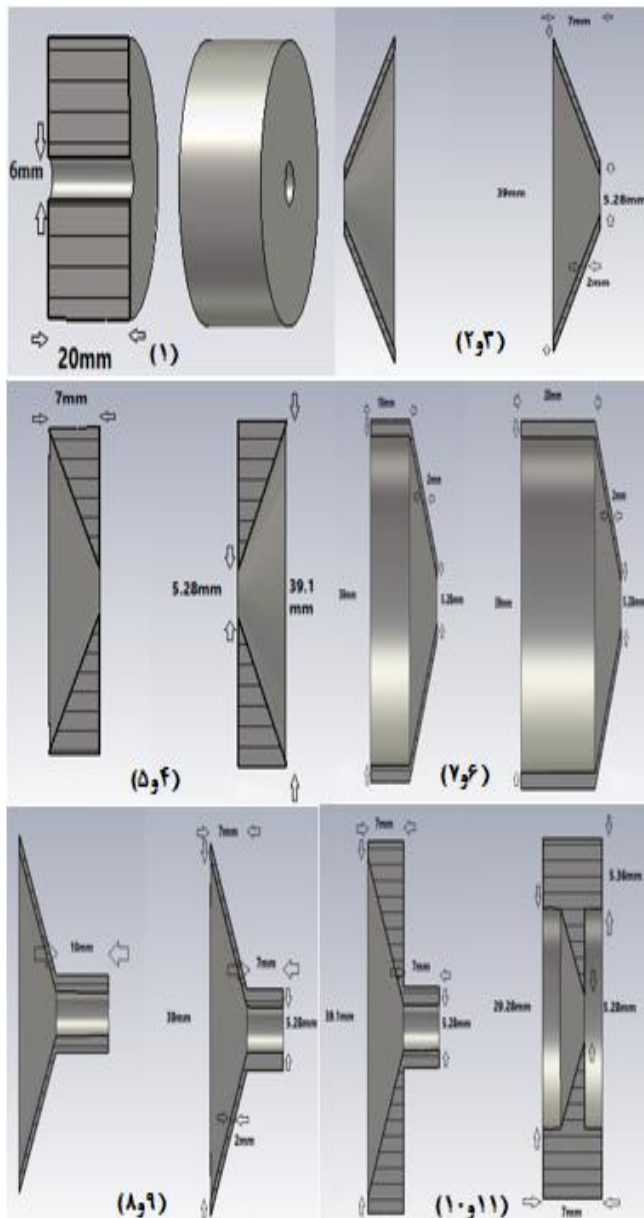
**Keywords:** Penning Ion Source, Extraction System, Electrode Geometry

### مقدمه

پلاسما منجر به جریانی از ذرات باردار از پلاسما می‌شود که از این پس می‌توان از آن به عنوان باریکه یونی نام برد. جریان باریکه یونی استخراج شده از چشمه یونی به وسیله چگالی پلاسما، دمای الکترون پلاسما، ولتاژ استخراج کننده و هندسه استخراج کننده مشخص می‌شود. شدت باریکه نیز به پارامترهایی از قبیل توزیع چگالی پلاسما، دمای یونی پلاسما و هندسه استخراج کننده وابسته می‌باشد [۱-۳]. چشمه‌های یونی انواع مختلفی دارد که یکی از مهمترین آنها چشمه یونی پنینگ است. در این مقاله هدف ما انتخاب هندسه مناسب سیستم استخراج یون است که بتواند باریکه‌ای با

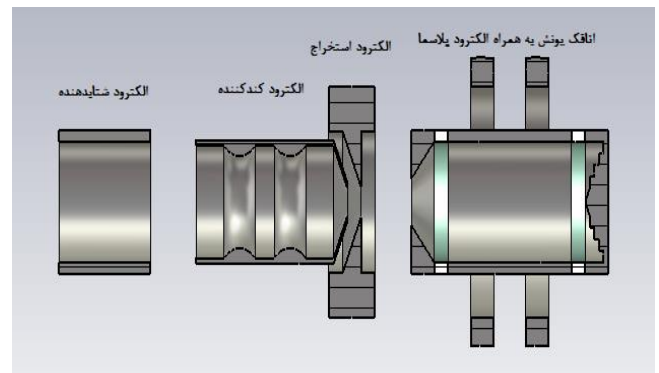
چشمه یونی درحقیقت یک سیستم تولیدکننده پلاسما می‌باشد که تولید پلاسما را برپایه تخلیه‌الکتریکی انجام می‌دهد. این چشمه با اضافه کردن روزنه یا روزنه‌هایی در یک کاتد این اجازه را خواهد داد که یون‌ها با استفاده از اعمال گرادیان میدان الکتریکی بین سطح محفظه تخلیه که حاوی روزنه استخراج است، به راحتی از داخل پلاسما خارج شوند که بطور کلی به آنها الکتروود پلاسما و الکتروود استخراج کننده گفته می‌شود و در مجموع به این سیستم الکتروودی سیستم استخراج کننده گفته می‌شود. استخراج مداوم یون‌ها از

کمینه در برخورد به فارادی کاپ در عین داشتن انرژی مناسب از مهمترین اهداف طراحی سیستم اپتیک باریکه خروجی می باشد (شکل ۴). با توجه به نتایج به دست آمده در شکل های ۳ و ۴ می توان نتیجه گرفت، هندسه استوانه ای با روزنه مخروطی زاویه دار (شکل ۲ مدل ۱۱) به عنوان هندسه مطلوب نسبت به سایر مدل ها حالت بهینه تری دارد.



شکل ۲. هندسه های مختلف الکترودهای استخراج

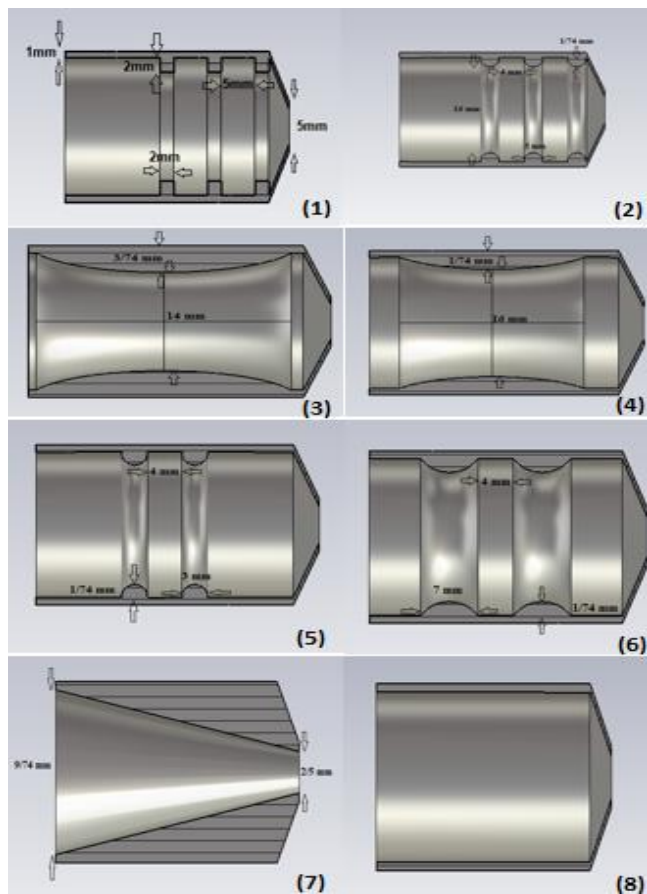
بیشترین جریان و بهترین شدت نشر را از آن بدست آورد و رسیدن به این مقصود خود مستلزم طراحی و شبیه سازی و در نهایت ساخت سیستم استخراج چشمه یونی پنینگ است. شبیه سازی ها با استفاده از برنامه شبیه سازی STUDIO SUITE CST نسخه ۲۰۱۵ در محیط PARTICLE STUDIO صورت گرفته است. طراحی اتاقک یونش چشمه یونی پنینگ [۴] به همراه سیستم استخراج چهارالکترودی محوری در شکل ۱ نشان داده شده است. در ادامه به ترتیب به معرفی الکترود استخراج، الکترود کند کننده و الکترود شتاب دهنده و یافتن بهینه ترین حالت (بیشینه جریان و کمینه شعاع برخوردی به فارادی کاپ) برای سیستم های پیشنهادی می پردازیم.



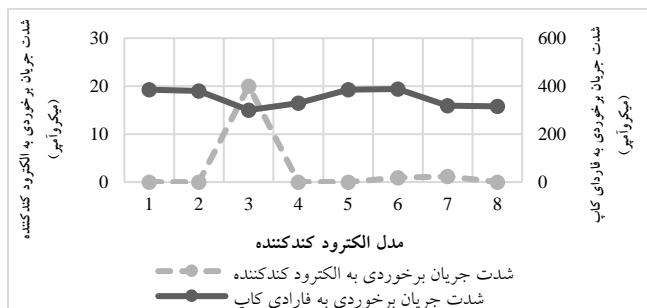
شکل ۱. نمایی از چشمه یونی پنینگ با سیستم استخراج

#### چهارالکترودی [۴]

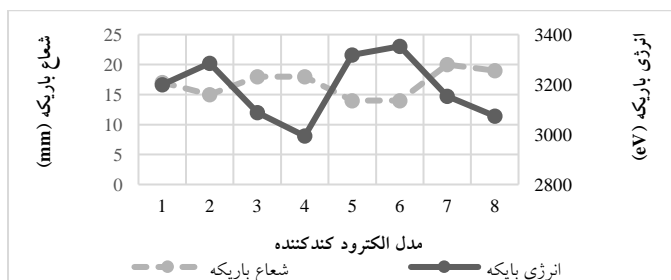
حجم پلاسما، یونها را تأمین می کند، در حالی که سیستم استخراج خواص باریکه یونی استخراج شده را تعیین می کند. ذراتی که از سیستم استخراج عبور می کنند انرژی و سرعت مستقیمی را در میدان های مغناطیسی یا الکتریکی سیستم استخراج به دست می آورند، از این رو درک فیزیک سیستم استخراج چشمه یونی برای تولید باریکه های با کیفیت بسیار مهم است. در شکل ۲ هندسه الکترودهای استخراج طراحی شده مختلف و نتایج شبیه سازی های صورت گرفته در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است. پتانسیل پیش فرض برای این الکترود ۱۰۰۰- ولت و فاصله بین الکترود استخراج و الکترود پلاسما ۸ mm در نظر گرفته شده است. شکل ۳ شدت جریان برخوردی به الکترود استخراج را نشان می دهد، کمینه جریان برخوردی به این الکترود نشان دهنده بهینه تر بودن ساختارهای پیشنهادی (مطابق با شکل ۲) می باشد. رسیدن به شعاع



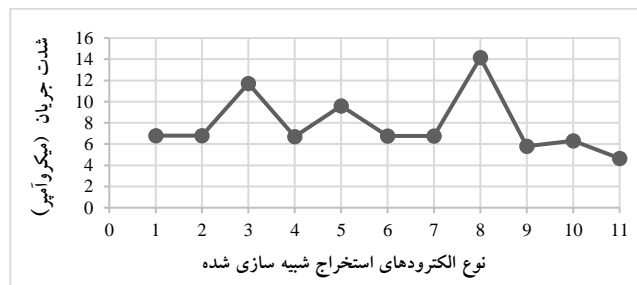
شکل ۵. هندسه های مختلف الکترود کندکننده



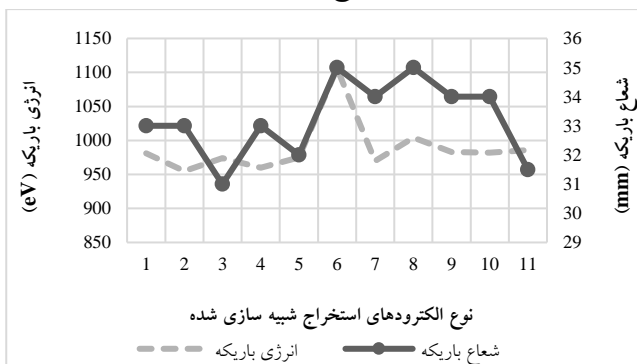
شکل ۶. نمودار شدت جریان برخوردی به الکترود کندکننده و فارادی کاپ



شکل ۷. نمودار شعاع و انرژی باریکه در محل قرارگیری فارادی کاپ

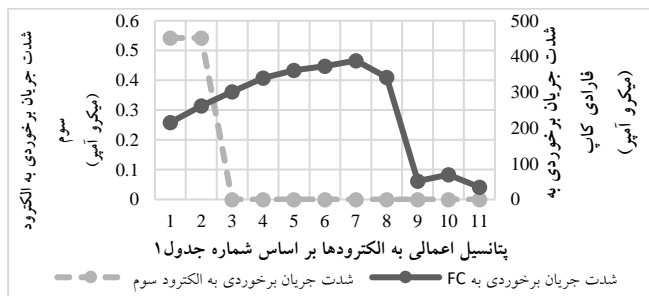


شکل ۳. نمودار شدت جریان برخوردی به الکترود استخراج برحسب نوع الکترود استخراج شبیه سازی شده

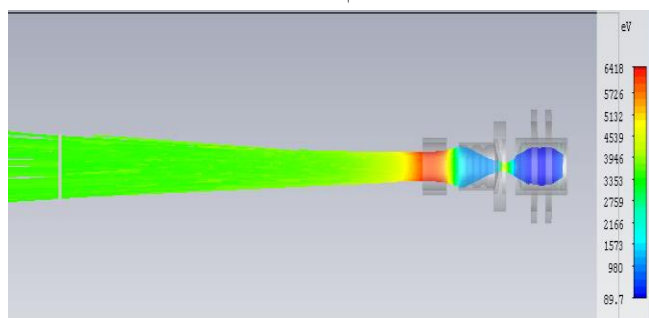


شکل ۴. نمودار انرژی و شعاع باریکه برحسب نوع الکترود استخراج شبیه سازی شده در محل قرارگیری فارادی کاپ

در گام بعدی هندسه های مختلف برای الکترود کندکننده (شکل ۵) را با ولتاژ پیش فرض ۶۰۰- ولت، فاصله روزنه الکترود استخراج و کندکننده ۳ mm، قطر روزنه ۵ mm و ارتفاع استوانه ۳۰ mm مورد بررسی قرار خواهیم داد. پس از بررسی نتایج بدست آمده (شکل ۶ و ۷)، مدل مخروطی استوانه ای دو کوهانی با شعاع قوس ۱/۷۴ mm و طول ۷ mm به عنوان هندسه نهایی برای طراحی الکترود کندکننده انتخاب گردید (مدل ۶ شکل ۵). این مدل در مقایسه با سایر مدل های طراحی شده انرژی و شعاع باریکه و همچنین شدت جریان برخوردی به فارادی کاپ بهینه تری دارد، میزان شدت جریان برخوردی به الکترود نیز بسیار کم و حدود  $0.18 \mu A$  است که می توان از آن صرف نظر کرد. الکترود چهارم (الکترود شتابدهنده) را نیز به صورت استوانه ای ساده با قطر خارجی ۲۰ mm، قطر روزنه ۱۵ mm، ارتفاع استوانه ۲۰ mm، فاصله تا الکترود کندکننده ۱۰ mm و پتانسیل پیش فرض ۵۵۰۰- ولت شبیه سازی می کنیم.



شکل ۹. پتانسیل اعمالی به الکتروودها برحسب شدت جریان برخوردی به الکتروود سوم و فارادی کاپ



شکل ۱۰. مسیر حرکت باریکه در چشمه یونی طراحی شده

### نتیجه گیری

در این پژوهش نشان داده شد که با طراحی جدید و اعمال پتانسیل مناسب به الکتروودها و شبیه سازی الکتروودهای استخراج، کندکننده و شتابدهنده یک سیستم استخراج چهار الکتروودی نسبت به سایر سیستم‌های استخراج، اپتیک باریکه را در شرایط بهینه و مناسب تری انجام می‌دهد.

### مرجع ها

[1] Sy, A. (2013). *Advanced Penning-type ion source development and passive beam focusing techniques for an associated particle imaging neutron generator* (Doctoral dissertation, UC Berkeley)

[2] Brown, I. G. (1989). *The Physics and Technology of Ion Sources* John Wiley & Sons. INC, New York.

[3] Chen, F. F. (1984). *Introduction to plasma physics and controlled fusion* (Vol. 1 pp.1-8). New York: Plenum press.

[۴] فتحی م ، (۱۳۹۹) ، پایان نامه کارشناسی ارشد: " طراحی و ساخت

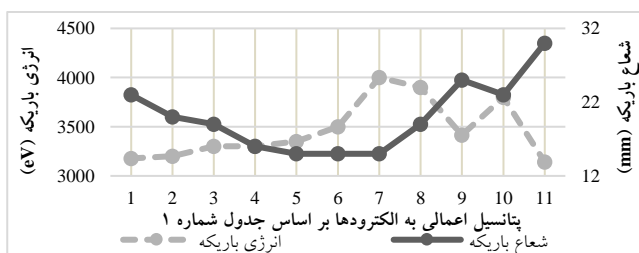
چشمه یونی پنینگ " دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه

صنعتی شاهرود

از Zoom Lens ها برای طراحی و شبیه سازی و ساخت الکتروودها استفاده می‌کنیم. در این مدل الکتروودها در پتانسیل‌های مختلفی قرار دارند و هرچه نسبت  $\left| \frac{V_i}{V_1} \right|$  بیشتر باشد، ضرایب انحراف کروی و کروماتیک که خصوصیات کانونی یک عدسی را بیان می‌کنند، کمتر و بهینه تر خواهند بود. در نتیجه ما در این بخش ولتاژ الکتروودها را به گونه ای انتخاب می‌کنیم که  $\left| \frac{V_2}{V_1} \right| > 1$  باشد. طبق نتایج جدول ۱ و شکل‌های ۸ و ۹ به این نتیجه رسیدیم که پتانسیل الکتروود استخراج در  $-۵۰۰۰$  ولت، پتانسیل الکتروود کندکننده در  $-۶۰۰$  ولت و پتانسیل الکتروود شتابدهنده در  $-۵۵۰۰$  ولت (مدل شماره ۷) و بهینه ترین شرایط اپتیک باریکه را به ما می‌دهند (شکل ۱۰).

جدول ۱. نتایج بررسی پتانسیل‌های اعمالی به الکتروودها

شماره	$V_2$ (V)	$V_3$ (V)	$V_4$ (V)
۱	-۲۰۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰۰
۲	-۲۵۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰۰
۳	-۳۰۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰۰
۴	-۳۵۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰۰
۵	-۴۰۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰۰
۶	-۴۵۰۰	-۶۰۰	-۵۰۰۰
۷	-۵۰۰۰	-۶۰۰	-۵۵۰۰
۸	-۵۰۰۰	-۶۰۰	-۶۰۰۰
۹	-۵۰۰۰	-۱۲۰۰	-۵۵۰۰
۱۰	-۵۰۰۰	-۱۲۰۰	-۶۰۰۰
۱۱	-۴۵۰۰	-۱۲۰۰	-۵۰۰۰



شکل ۸. پتانسیل اعمالی به الکتروودها برحسب شعاع و انرژی باریکه