

## شبیه‌سازی و ساخت یک تفنگ الکترونی با کاتد ترمیونیکی برای جوشکاری الکترونی در خلا

مقبل الحسین، مجتبی؛ عاتبار، محمدتقی؛ بازوند، احسان

گروه فیزیک، دانشگاه شهید چمران، اهواز

### چکیده

در این مقاله گزارشی از شبیه‌سازی و ساخت یک گسیل کننده ترمیونیکی الکترونی همراه با سامانه‌های الکترونیکی شامل لنزهای الکتروستاتیک ضروری برای شتاب دادن به الکترونها، عبور آنها از درون روزنه‌ها و تشکیل پرتو الکترونی و لنزهای مغناطیسی متمرکز کننده برای افزایش دانسیته توان پرتو الکترونی ارائه می‌شود. از کد محاسباتی SIMION3D8.0 برای تصحیح خصوصیات کانونی لنزهای الکتروستاتیک و محاسبه ولتاژهای اعمال شده به آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تفنگ از یک سیم تنگستن به قطر ۰/۳ میلی‌متر به شکل نوک تیز خم شده به عنوان کاتد و از جریان مستقیم برای گرم کردن آن و از یک سیم پیچ الکترومغناطیسی برای متمرکز کردن پرتوها در محل مورد نظر استفاده شده است. در این حالت جریان نهایی پرتو تولید شده در این سامانه به ۲۱۲ میلی آمپر و شعاع نهایی این پرتو ۱/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد.

## simulation and construction of an electron gun with a thermionic cathode for electron beam welding in vacuum

Moghbelhosein, Mojtaba; Eatebar, Mohamad taghi; Bazvand, Ehsan

Department of Physics, Shahid Chamran University, Ahwaz

### Abstract

In this paper a report of simulation and construction and early developmental stages of a thermionic electron emitter along with accompanying electron optics including electrostatic lenses necessary for accelerating electrons, passing them through apertures and forming an electron beam as well as magnetic focusing lenses for increasing power density of the beam is given. The computational code SIMION3D8.0 may be used to correct the canonical properties of electrostatic lenses and calculate the imposed voltages on optical components of the electron gun. In these gun a 0.3 mm tungsten wire having a sharp emitting area at the top is used as a cathode. A direct current was used to heat the cathode. An electromagnetic coil is used for focusing the beam onto the work piece. We achieved to a beam with final emission current of 212 mA and final raduse of 1.5 mm.

### مقدمه

می‌گیرند داری قطر پرتویی در حدود میکرومتر هستند [۴]. در طراحی و ساخت تفنگ‌های الکترونی معمولاً از فلز تنگستن بدلیل تابع کار پایین آن به عنوان کاتد استفاده می‌شود [۵، ۶]. جوشکاری با پرتو الکترونی در خلا یکی از روش‌های پیشرفته جوشکاری است. از جوشکاری با پرتو الکترونی برای جوش‌های با مشخصه‌های خاص، که با دیگر روش‌های جوشکاری قابل دستیابی نیست استفاده می‌شود. مهمترین کارکرد آن ایجاد جوش‌های عمیق و باریک و با دقت بالا است [۷]. در این روش پرتو الکترونی در خلا تولید می‌شود که از تولید گازهای مزاحم جلوگیری می‌شود، و

توسعه و گسترش تجهیزات و سامانه‌های اپتیک الکترونی دارای پیشینه زیادی است [۱]. از پرتوهای الکترونی برای مقاصد مختلفی استفاده می‌شود که برخی کاربرد علمی و برخی کاربرد صنعتی دارند [۲]. تفنگ‌های الکترونی با انرژی و جریان بالا بیشتر برای استفاده در زمینه‌های صنعتی مانند جوشکاری و برشکاری ساخته می‌شوند که دارای قطر پرتویی از مرتبه میلی‌متر می‌باشند [۳]. بیشتر تفنگ‌های الکترونی که برای مقاصد علمی مورد استفاده قرار

توسط لنزهای الکتروستاتیکی تولید شده، در سه بعدی تعیین کرد. در شبیه سازی و ساخت این تفنگ، الکترون ها از یک کاتد ترمیونیکی از جنس تنگستن که دارای قطر  $0.3$  میلی متر می باشد گسیل می شوند. در ساخت آزمایشگاهی، کاتد را به صورت  $V$  شکل قرار داده ایم. الکترون های گسیل شده از فیلمان وارد یک دو قطبی تشکیل شده از الکتروود پیرس که دارای انحراف ساختاری  $67/5$  درجه با محور اپتیکی می باشد، و الکتروود استخراج کننده به نام گرید می شود، ولتاژ اعمالی به پیرس  $V = 30$  - می باشد. الکتروود پیرس با شکل دهی میدان های الکتریکی، باعث کانونی شدن پرتوها در نزدیکی کاتد می گردد، و باعث خنثی کردن نیروی واگرایی لبه باریکه می شود. الکتروود استخراج کننده نیز که در یک ولتاژ مثبت قرار گرفته است، الکترون ها را از صفحه ساطع کننده بیرون می کشد و باعث تولید پرتوی از الکترون های استخراج شده می شود. قطر روزنه گرید شبیه سازی و ساخته شده  $4$  میلی متر می باشد. در ادامه برای شتاب دادن به الکترون ها از دو لنز الکتروستاتیکی استفاده نموده ایم. قطر روزنه این لنزها به ترتیب  $5$  و  $6$  میلی متر انتخاب شد. کار این لنزها شتاب دادن به الکترون های خروجی از گرید می باشد. پرتو الکترونی شتاب داده شده در ادامه مسیر برای متمرکز شدن باید از یک لنز الکترومغناطیسی عبور داده شود. برای این منظور از یک کوئل که دارای  $2200$  دور بود و جنس سیم پیچ آن از مس بود استفاده نمودیم. قطر روزنه این کوئل  $8$  میلی متر انتخاب شد. تعیین مقدار جریان پرتو الکترون های شتاب داده شده و متمرکز شده توسط ابزاری به نام فارادی کاپ انجام می گیرد که در انتهای مسیر قرار گرفته است. در شکل ۱ نمایش عبور پرتو الکترونی از تفنگ الکترونی شبیه سازی شده با نرم افزار سیمیون مشاهده می شود.

جوش حاصل دارای استحکام و تمیزی زیادی است [۸،۹]. در این مقاله شبیه سازی و ساخت یک تفنگ الکترونی با کاتد شبه مویی و انرژی بالا و مناسب برای فرایند جوشکاری با پرتو الکترونی ارائه شده است.

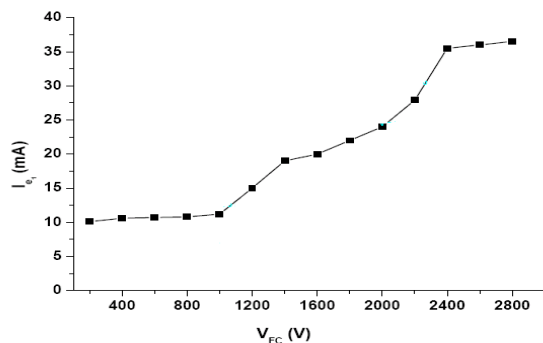
## توصیف روش

فرایند جوشکاری با پرتو الکترونی یک فرایند اتصال ذوبی است که در آن الکترون های خارج شده از کاتد با انرژی جنبشی بسیار بالا و در حالتی متراکم و متمرکز به قطه مورد نظر برخورد می کنند و انرژی جنبشی این الکترون ها به انرژی درونی تبدیل و خود را به صورت گرما نشان می دهد. این حرارت باعث ذوب کردن لبه ها و اتصال آن ها به هم می شود. الکترون ها در این روش باید درون محفظه خلأ تولید شوند تا در مسیر خود به مولکول های هوا برخورد نکرده و دارای جریان پرتو، بالایی باشند. در این نوع جوشکاری، متمرکز پرتو و بالا بودن جریان پرتو نقش اساسی دارد. در این فرآیند کوچک بودن ضخامت کاتد که معمولا از نوع ترمیونیکی است نقش بسزایی در بیشتر بودن متمرکز پرتو دارد. برای ایجاد شتاب در الکترون ها از الکتروودهای الکتروستاتیکی استفاده می گردد. الکترون های شتاب گرفته در طول مسیر خود دچار واگرایی می شوند و بنابراین باید آن ها را متمرکز نمود. برای متمرکز نمودن پرتو از لنز مغناطیسی (کوئل) استفاده می گردد.

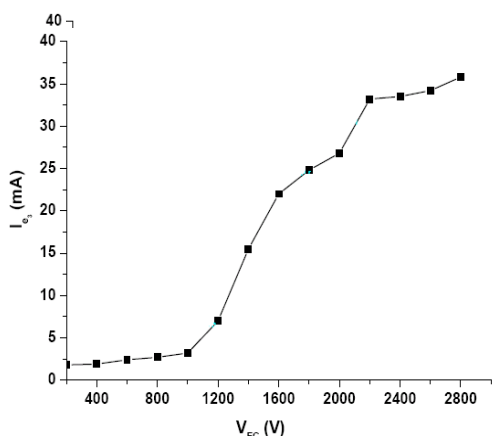
## شبیه سازی و ساخت

برای شبیه سازی این تفنگ الکترونی از کد محاسباتی SIMION3D8.0 استفاده می کنیم. اساس روش محاسباتی این کد بر روش تفاضل محدود است. می توان با استفاده از این نرم افزار، مسیر پرتو الکترونی را در میان میدان الکتروستاتیکی که

باشد. همچنین قطر روزنه های لنزها و گرید و نیز اختلاف پتانسیل اعمال شده بین المان های مختلف الکترون اپتیکی نیز برای تمرکز پرتو و جلوگیری از ایجاد بار فضایی بسیار مهم و حیاتی است. در نمودارهای ۱ و ۳ نمایش تغییرات جریان برخوردی به الکترودهای تعبیه شده در مسیر پرتو الکترونی با تغییرات ولتاژ فارادی کاپ مشاهده می شود.

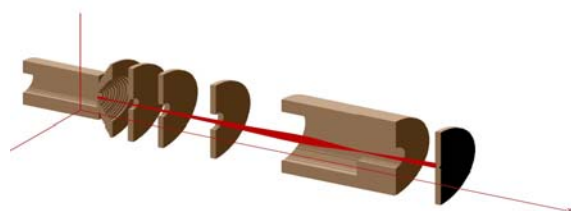
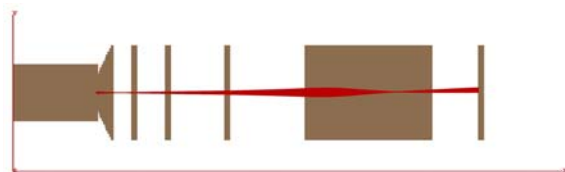


نمودار ۱: تغییرات جریان برخوردی به الکترودها با تغییر ولتاژ فارادی کاپ



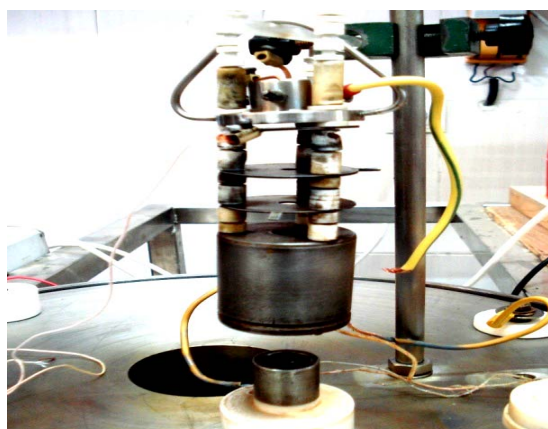
نمودار ۲: تغییرات جریان برخوردی به الکترودها با تغییر ولتاژ فارادی کاپ

ولتاژ اعمال شده به آخرین المان تاثیر زیادی در افزایش جریان خروجی از تفنگ الکترونی طراحی شده دارد و می تواند تعیین کننده انرژی نهایی الکترون های خروجی باشد. نمودار جریان نهایی الکترون های برخوردی به فارادی کاپ با تغییرات ولتاژ فارادی کاپ در نمودار ۴ آمده است.



شکل ۱: نمایش عبور پرتو الکترونی از تفنگ الکترونی شبیه سازی شده.

در این کار بیشینه پتانسیل اعمال شده ۳۵۰۰ ولت می باشد که به سطح قطعه کار یا فارادی کاپ اعمال شده است. البته در کاربردهای صنعتی و حتی آزمایشگاهی می توان این بیشینه ولتاژ را تا مقداری بیش از ۶۰ کیلو ولت برای شتاب دادن بیشتر به الکترون های پرتو الکترونی بالا برد. در شکل ۲ نمایش اجزاء تفنگ الکترونی ساخته شده مشاهده می شود.



شکل ۲: نمایش تفنگ الکترونی ساخته شده.

هرچه جریان پرتو خروجی افزایش پیدا کند نمایانگر این است که الکترون های بیشتری به قطعه کار برخورد کرده اند. همان طور که از قانون چایلد پیداست با تغییر فاصله آند و کاتد به میزان بسیار کم، تغییرات زیادی در شدت پرتو خروجی حاصل خواهد شد. لذا تعیین فواصل بین قطعات عاملی مهم و تعیین کننده می

شده و شعاع آنها به اندازه ای کمتر از نصف شعاع سیم پیچ رسیده است که این بیانگر عملکرد موفق سیم پیچ و قرار گرفتن آن در جای مناسب درون این تفنگ الکترونی است. در شکل ۴ نمایش محل برخورد پرتو الکترونی بر روی صفحه فلزی مشاهده می شود.



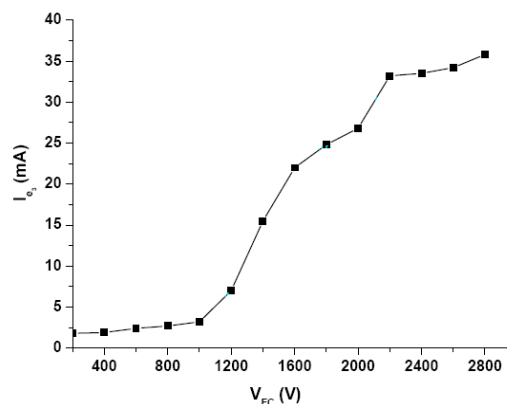
شکل ۴: نمایش محل برخورد پرتو الکترونی

### نتیجه گیری

در این کار موفق به طراحی شبیه سازی و ساخت یک تفنگ الکترونی با جریان نهایی فارادی کاپ برابر ۲۱۲ میلی آمپر شده ایم که شعاع پرتو خروجی ۱/۵ میلی متر می باشد. همچنین توان جریان برخوردی به قطعه کار  $10^3 \times 742212 \text{ W}$  می باشد که این نتایج مناسب فرآیند جوشکاری با پرتو الکترونی است.

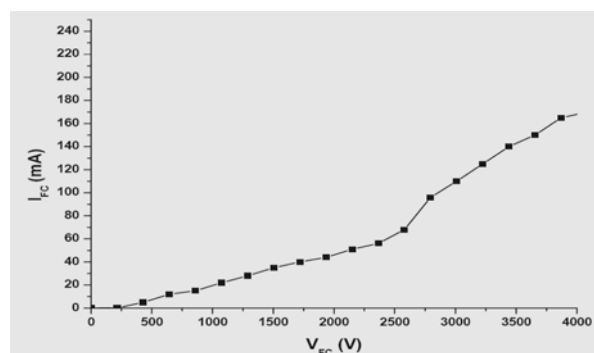
### مرجع ها

- [۱] R. Bakish, "Electron Beam Technology", Wiley, New York, (1962)
- [۲] J. Moore, C. Davis, M. Coplan, and S. Greer, "Building Scientific Apparatus." 4<sup>th</sup> edition, Cambridge university press, (2009).
- [۳] S. K. Mahapatra, S. D. Dhole, V. N. Bhoraskar, *Nucl. Instrum. Method*, **536** (2005) 222-225.
- [۴] S. P. Sabchevski, G. M. Mladenov, S. Wojcicki, S. Dabek, *J. Phys. D*, **29** (1996) 1446-53.
- [۵] Howard B. Cary, "Modern Welding Technology", Prentice-Hall, 4<sup>th</sup> edition, (1998).
- [۶] I. Munawar, M. Rafiq, B. Sarfraz, A. Fazel, *Vacuum*, **77**, (2004) 19-26.
- [۷] A. Meleka, "Electron beam welding: principle and practice", McGraw-Hill press, (1971)
- [۸] M. Dogan, A. Crowe, K. Bartschat, P. J. Marchalant, *J. Phys. B* **31** (1998) 1611-1624
- [۹] A. Chong-Yu Runa, A. Manfred Flink, *Rev. Sci. Instrum.* **70**, (1999) 4207-4221.



نمودار ۳: تغییرات جریان برخوردی به الکتروود ۳ با تغییر ولتاژ فارادی

توان جریان برخوردی به قطعه کار از  $P = V I$  محاسبه می شود، که در این رابطه  $V$  اختلاف پتانسیل نهایی بین کاتد و فارادی کاپ و  $I$  نیز جریان نهایی پرتو برخوردی به فارادی کاپ می باشد.



نمودار ۴: تغییرات جریان برخوردی به فارادی کاپ با تغییر ولتاژ فارادی کاپ

بنابراین برای پرتو تولید شده توان برخوردی برابر است با:

$$P = 3/5 \times 10^3 \times I = 742212 \times 10^3 \text{ W}$$

هرچه قطر پرتو کمتر باشد بیانگر این است که الکترون ها به محل کوچکتری برخورد کرده اند. در این حالت شعاع پرتو خروجی از سیم پیچ مغناطیسی ساخته شده ۱/۵ میلی متر اندازه گیری شد، که بیانگر این است که الکترونهای تولید شده پس از عبور از این سیم پیچ که دارای شعاع ۴ میلی متر می باشد متمرکز