

## Evaluation of Plasma Gliding-Arc Discharges Electrode Defects by Positron Annihilation Life-Time Spectroscopy

M. Bakhtiari Ramezani<sup>1</sup>, E. Yahaghi<sup>2\*</sup>, A. Biganeh<sup>3</sup>, S. M. Nori Dogahi<sup>4</sup>

1- Assistant Professor, Fusion research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- Expert, Physics and Accelerators Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran

4- Expert, Department of Physics, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

\*yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

### Abstract

Plasma gliding-arc discharges is a non-equilibrium plasma that has many applications in research and industrial laboratories. Gliding plasma can be hot or cold plasma depending on the discharge power and gas flow rate, which leads to its various applications such as disinfection of fruits and vegetables, elimination of pollutant gases, increasing the staining of plastic surfaces. Plasma has been formed of ions, high-energy electrons, UV rays, and oxidants such as free radicals. In gliding reactors, a high voltage electrical discharge is applied between the two electrodes. Various species produced in plasma, including high-energy electrons, are effective in destroying and altering the atomic structure of copper electrodes. Changes in the structure of the electrodes in the long run will cause changes in temperature, density, and the type of species formed in the plasma. Therefore, in order to replace the reactor electrodes in a timely manner, it is necessary to evaluate the amount of structural changes in the electrodes over time. In this paper, changes in the structure of copper electrodes with a thickness of 4 mm and an effective length of 10 cm, which was used in a gliding arc research reactor for 80 hours to evaluate the effect of produced plasma on decontamination of agricultural products by the positron annihilation life-time spectroscopy has been investigated as a non-destructive test. The results show that the distance between the layers in the copper lattice has changed and the empty space between the atomic lattices has decreased and their number has increased.

**Keywords:** Copper electrode, Gliding arc discharge, Non-equilibrium plasma, positron annihilation life-time spectroscopy.

## ارزیابی آسیب الکترودهای تخلیه تابان به روش طیف‌سنجی طول عمر نابودی پوزیترون

مهديه بختیاری رمضانی<sup>۱</sup>، عفت یاحقی<sup>۲\*</sup>، علی بیگانه<sup>۳</sup>، سیده مریم نوری دوگاهی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه گداخت، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس گروه پژوهشکده فیزیک و شتابگرها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

<sup>۴</sup> کارشناس گروه فیزیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

\*yahaghi@sci.ikiu.ac.ir

### چکیده

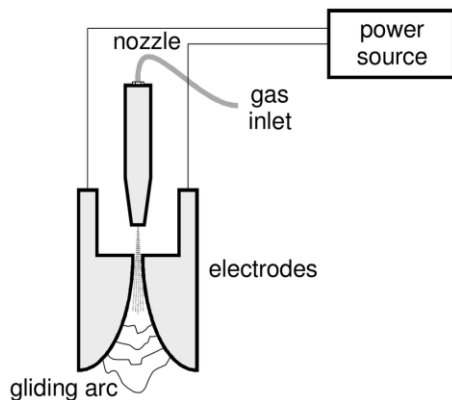
پلاسمای حاصل از تخلیه الکتریکی به روش تابان یک پلاسمای غیرتعادلی است که کاربردهای زیادی در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و صنعتی دارد. پلاسمای تابان بسته به قدرت تخلیه و میزان جریان گاز می‌تواند پلاسمای حرارتی یا سرد باشد که همین امر به کاربردهای مختلف آن از جمله ضدعفونی کردن میوه و سبزیجات، از بین بردن گازهای آلاینده و افزایش رنگ پذیری سطوح پلاستیکی منجر می‌شود. پلاسمای یون‌ها، الکترون‌های پرانرژی، اشعه‌ی ماوراء بنفش و گونه‌های اکسنده همچون رادیکال‌های آزاد تشکیل شده است. در راکتورهای تابان یک تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا بین دو الکترودهای عمل می‌شود. گونه‌های مختلف تولید شده در پلاسمای از جمله الکترون‌های پرانرژی عامل موثر در تخریب و تغییر ساختار اتمی الکترودهای مسی می‌باشند. تغییرات ساختار الکترودها در دراز مدت باعث تغییرات دما، چگالی و نوع گونه‌های تشکیل شونده در پلاسمای خواهد شد. بنابراین لازم است جهت تعویض به موقع الکترودهای راکتور، میزان تغییرات ساختاری الکترودها در طی زمان ارزیابی شود. در این مقاله، تغییرات ساختار الکترودهای مسی به ضخامت ۴ میلی‌متر و طول موثر ۱۰ سانتی‌متر که در یک راکتور تحقیقاتی قوس تابان به مدت ۸۰ ساعت برای ارزیابی اثر پلاسمای تولیدی در آلودگی‌زدایی از محصولات کشاورزی استفاده شده بود با روش طیف‌سنجی طول عمر نابودی پوزیترون به عنوان یک آزمون غیرمخرب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که فاصله لایه‌ها در شبکه مسی تغییر کرده و فضای خالی میان شبکه‌های اتمی کم‌تر و تعداد آن‌ها بیش‌تر شده است.

**واژگان کلیدی:** تخلیه تابان، پلاسمای غیرتعادلی، الکترودهای مسی، طیف‌نگاری عمر سنج پوزیترون.

### ۱- مقدمه

پلاسمای هیچ مرز مشخصی وجود ندارد. محیط پلاسمای شامل ذرات باردار مثبت و منفی، اتم‌های خنثی و اتم‌های برانگیخته می‌باشد، به همین دلیل پلاسمای می‌تواند تحت تاثیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی قرار بگیرد [۱-۲]. بسته به تراز چگالی انرژی، دما و چگالی الکترون، پلاسمای ایجاد شده برای تولید هیدروژن به دو دسته پلاسمای غیرتعادلی ترمودینامیکی و پلاسمای تعادلی ترمودینامیکی تقسیم‌بندی می‌شود. پلاسمای غیرتعادلی ترمودینامیکی پلاسمای سرد نیز نامیده می‌شود، که در آن انرژی جنبشی حرارتی الکترون بسیار بیشتر از ذرات سنگین است و دمای متوسط حجم کلی پلاسمای نزدیک به دمای اتاق است [۳]. واکنش شیمیایی در پلاسمای سرد عمدتاً توسط الکترون‌های پرانرژی انجام می‌شود. به دلیل اعمال میدان

در توالی جامد، مایع و گاز حالت دیگری به نام پلاسمای وجود دارد، از این‌رو آن را "حالت چهارم ماده" می‌نامند. پلاسمای نسبت به سایر حالت‌ها، رفتاری متفاوت از خود نشان می‌دهد. این تفاوت از آن جهت است که برخی یا تمام اتم‌ها ممکن است الکترون یا الکترون‌هایی را از دست بدهند یا تراز آن‌ها تغییر نماید. حال آنکه در سایر حالت‌های ماده (جامد، مایع و گاز) چنانچه انرژی کافی دریافت شود فقط پیوند میان اتم‌ها یا مولکول‌ها دستخوش تغییر می‌شود. تفاوت دیگر میان سه حالت نخست و "حالت چهارم" را می‌توان این‌گونه توصیف نمود که در گذار از فاز جامد به مایع و از فاز مایع به گاز، نقطه‌ی بحرانی و مشخص وجود دارد. در این نقطه دما ثابت می‌ماند و انرژی دریافتی صرف شکستن پیوندها می‌شود، حال آنکه در گذار از فاز گاز به



شکل ۱- طرح شماتیکی از تخلیه تابان [۶]

از طرفی هندسه، ساختار و جنس الکترودها در شکل‌گیری خواص پلاسما تاثیر قابل‌توجهی دارند. رایج‌ترین هندسه برای این نوع از تخلیه‌ها، استفاده از الکترودهای میله‌ای واگرا می‌باشد. بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که علاوه بر هندسه قرارگیری الکترودها و فاصله بین آن‌ها که در طیف و نوع پلاسما تولیدی موثرند، طول عمر آن‌ها نیز از پارامترهای مهمی است که هم در طیف پلاسما تاثیر دارد و هم لازم است از نظر اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد. ساختار مورد تحقیق در این مقاله، شامل دو الکتروود میله‌ای از جنس مس به ضخامت ۴ میلی‌متر و طول موثر ۱۰ سانتی‌متر بوده است. دو الکتروود در نزدیک‌ترین نقطه فاصله‌ی ۱ میلی‌متر از یکدیگر داشته‌اند. هندسه مذکور به کمک یک منبع تغذیه با ولتاژ خروجی ۱۵ کیلوولت، فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و توان ۱۳۰ وات به مدت ۸۰ ساعت برای تحقیقات در زمینه تاثیر پلاسما تولیدی در آلودگی‌زدایی از محصولات کشاورزی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

روش طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون یک روش طیف نگاری غیرمخرب است [۹-۱۱] که می‌تواند ابعاد آسیب‌ها را در حد ۰/۱ نانومتر تا چند میکرومتر در فلزات و پلیمرها را مشخص کند. این روش بر اساس ترکیب پوزیترون با الکترون‌های مواد کار می‌کند و بسته به ابعاد تخلخلی که در مواد وجود دارد عمر پوزیترون می‌تواند تغییر کند. از مزایای این روش عمقی بودن آزمون و غیرمخرب بودن آن است. با این روش می‌توان به اطلاعاتی در مورد حفره‌ها در حد انگستروم در مواد دست پیدا کرد

الکتريکی، الکترون‌ها شتاب گرفته و پرنرزی می‌شوند. الکترون‌های پرنرزی، به‌واسطه‌ی تجزیه ناشی از برخورد الکترون، تحریک و یونیزاسیون، انرژی‌شان را به مولکول‌های گاز تشکیل شده در اثر برخورد غیرالاستیک، گونه‌های برانگیخته، رادیکال‌های آزاد، یون‌ها، و هم‌چنین الکترون‌های اضافی تولید شده انتقال می‌دهند، بنابراین انواع مختلفی از واکنش‌های شیمی- پلاسما رخ می‌دهد [۱،۳]. در پلاسما حرارتی، دمای ذرات سنگین نزدیک به دمای الکترون و در محدوده هزار درجه کلوین است. از آن‌جا که تراکم الکترون‌ها در پلاسما حرارتی بالاتر از پلاسما سرد است، به‌دلیل مقدار زیاد برخورد بین الکترون‌ها و ذرات سنگین، انرژی حاصل از میدان الکتريکی الکترون صرف گرم شدن ذرات سنگین می‌شود تا تعادل ترمودینامیکی بین الکترون‌ها و ذرات سنگین برقرار شود. واکنش‌های شیمیایی در پلاسما حرارتی عبارتند از: واکنش‌های ناشی از الکترون و واکنش‌های حرارتی - شیمیایی.

تاکنون انواع مختلفی از راکتورهای پلاسما سرد مانند تخلیه کرونا، تخلیه سدیدی‌الکتريک (DBD<sup>۱</sup>)، تخلیه مایکروویو، تخلیه تابان فشار اتمسفری و انواع مختلفی از دستگاه‌های پلاسما حرارتی هم‌چون مشعل قوسی با جریان مستقیم (DC)، مشعل قوسی با جریان الکتريکی متناوب (AC)، مشعل کوپل شده القایی با فرکانس رادیویی (RF) برای تولید هیدروژن آزمایش شده است [۴].

اصل تخلیه تابان در سال ۱۹۸۸ توسط لسور<sup>۲</sup> و همکارانش ثبت اختراع شد و توسط زرنیکووسکی<sup>۳</sup> و دیگران توسعه داده شد [۵]. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، راکتور از دو یا چند الکتروود فلزی تشکیل شده است. هنگامی که ولتاژ بالا اعمال می‌شود، تخلیه قوسی کم جریان در الکترودها ایجاد می‌شود [۶]. تخلیه تابان عمدتاً توسط قوس شعله مشخص می‌شود. در ابتدا، تخلیه در نزدیک‌ترین شکاف تشکیل می‌شود، سپس ریشه قوس به واسطه سرعت شار گاز، در امتداد سطح الکترودها کشیده می‌شود. پلاسما تابان بسته به قدرت تخلیه و میزان جریان گاز می‌تواند پلاسما حرارتی یا سرد باشد [۱، ۸-۷].

<sup>3</sup>Czernichowski

<sup>1</sup>Dielectric Barrier Discharge

<sup>2</sup>Lesueur

نشان داده شده‌اند. پوزیترونیم که یک اتم اگزاتیک<sup>۲</sup> است، از پوزیترون به جای الکترون در اتم خود استفاده می‌کند. اتم اگزاتیکی به اتمی گفته می‌شود که به جای ذرات بنیادی که اتم‌ها را می‌سازند، ذرات دیگری آنها را بسازد، مثلاً به جای الکترون، پوزیترون در ساختار آنها به کار رفته باشد. اینگونه اتم‌ها غالباً عمر بسیار کوتاهی دارند، ولی پوزیترونیم عمری نسبتاً طولانی دارد و می‌تواند یک طیف را تولید کند. نابودی پارا و ارتوپوزیترونیم به ترتیب هنگامی اتفاق می‌افتد که ذرات دارای جهت چرخش ناموازی و موازی باشد.

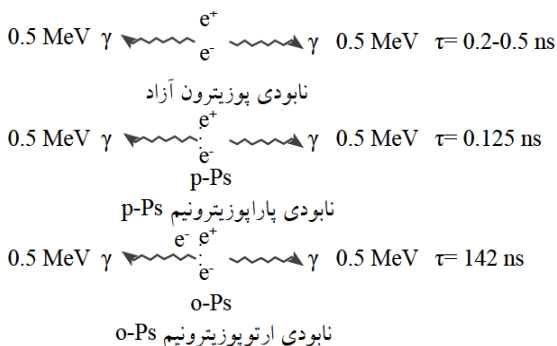
جدول ۱- اندازه نقص‌های مواد مختلف [۹].

نوع نقص	اندازه	مواد
تهی‌جاها <sup>۱</sup> اتمی	۰/۱ mm	فلزات
ناجایی‌ها	۱ mm-۱۰ mm	فلزات
فضاهای خالی	۰/۱ mm-۱ mm	فلزات
سوراخ‌ها	۰/۱ mm-۱۰ mm	پلیمرها

<sup>۱</sup> - atomic vacancies

به عبارت دیگر، در پاراپوزیترونیم‌ها پوزیترون و الکترون مقید دارای اسپین مخالف و در ارتوپوزیترون پوزیترون و الکترون مقید دارای اسپین هم جهت‌اند. این موضوع باعث می‌شود، عمر ارتوپوزیترونیم‌ها صد برابر بیشتر از عمر پاراپوزیترونیم‌ها باشد [۹-۱۱].

انواع روش نابودی‌های پوزیترون ساطع شده از ماده پرتوزای  $^{22}\text{Na}$  [۹] در ادامه آورده شده‌اند.



که با سایر روش‌های طیف سنجی امکان ندارد. در این تحقیق هدف، بررسی میزان و چگونگی آسیب این الکترودها است. برای این منظور دو الکتروده سالم و کارکرده توسط روش طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون، PALS<sup>۱</sup>، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای این آزمایش از دستگاه طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون دانشگاه بین‌المللی امام خمینی ساخت شرکت نوین طیف پرتو گستر استفاده شده است.

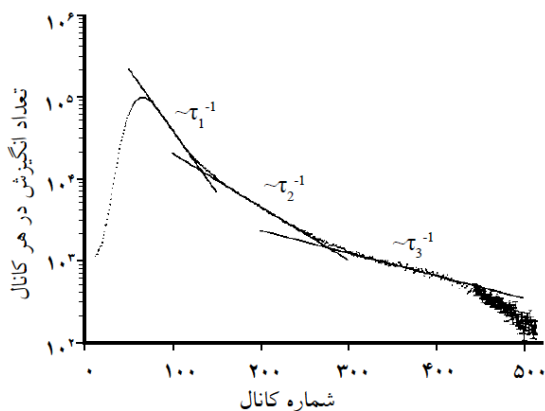
## ۲- روش‌ها

در طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون، مدت زمان لازم برای نابودی پوزیترون پس از ورود آن به درون ماده به وسیله واکنش‌های پوزیترونیم اندازه‌گیری می‌شود. استفاده از این روش در علم فیزیک حالت جامد، شیمی و پلیمر امری نو و در حال پیشرفت است. این طیف سنجی روشی غیرمخرب برای شناسایی تخلخل مواد، حفره‌ها و نقص‌های جامدات است. امروزه، PALS تنها روش تجربی است که می‌تواند حجم آزاد موضعی را در مقیاس اتمی محاسبه کند و در مواد مختلفی مثل فلزات، نیمه رساناها، دی‌الکتریک‌ها و پلیمرها کاربرد دارد. در این طیف سنجی پوزیترون که یک ذره تک بار و خیلی سبک مانند الکترون است به داخل نقص‌ها و حفره‌های مواد نفوذ کرده و درون آن‌ها گیر می‌افتد. اندازه و ابعاد نقص‌های موجود در مواد مختلف در جدول ۱ آورده شده است [۹]. هنگامی که پوزیترون درون ماده نفوذ می‌کند، درون حفره‌ها و نقص‌ها آنقدر باقی می‌ماند تا با یک واکنش نابودی مانند برخورد مستقیم با الکترون و یا تولید پوزیترونیم، که یک پیوند شبه هیدروژنی بین یک الکترون و یک پوزیترون است، از بین برود. شکل ۲ نحوه نفوذ پوزیترون به درون حفره‌های مواد و سیر حرکت تصادفی آن پیش از واکنش پوزیترونیم را نشان می‌دهد. واکنش یک پوزیترون با یک الکترون به سه حالت اتفاق می‌افتد. نابودی پوزیترون می‌تواند به‌طور آزاد باشد (ترکیب مستقیم با الکترون و از بین رفتن آن‌ها) یا این‌که در اثر واکنش یک پوزیترون با یک الکترون یک ذره پوزیترونیم نیمه پایدار تولید شود که خود می‌تواند دارای جهت چرخش پارا یا ارتو باشد. در شکل ۲ این ساختارها

<sup>۲</sup> exotic

<sup>۱</sup> Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy

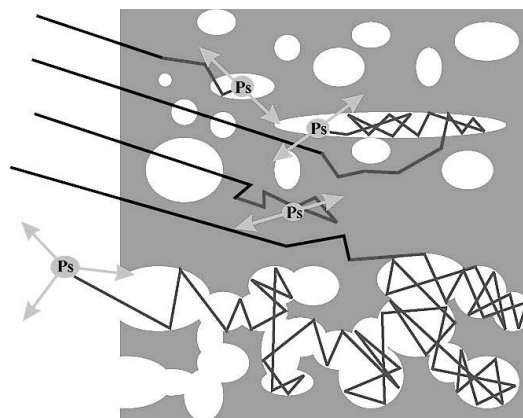
هر یک از مقادیر  $\tau_1$ ،  $\tau_2$  و  $\tau_3$  در مواد مختلف دارای تعبیر جداگانه‌ای هستند. برای مثال در شیشه‌های متخلخل،  $\tau_1$  نشان دهنده نابودی پاراپوزیترونیم،  $\tau_2$  نشان دهنده نابودی آزاد پوزیترون و  $\tau_3$  و  $\tau_4$  به ترتیب بیانگر نابودی ارتوپوزیترونیم در نواحی بی شکل و نیز تخلخل‌های شیشه است.



شکل ۳- نمونه‌ای از طیف سه جزئی حاصل از آزمون طیف سنجی طول عمر پوزیترون [۹].

### ۳- نتایج

در هنگام تولید پلاسما ذرات بوجود آمده در آن مانند یون‌ها، الکترون‌ها و رادیکال‌های آزاد سطح الکتروود را بمباران کرده، الکتروودها اکسید شده و در دراز مدت تغییراتی در الکتروود ایجاد می‌کنند. بررسی تغییرات عمقی و ساختار شبکه الکتروودها می‌تواند به روش PALS انجام شود. در این تحقیق، ابتدا سیستم طیف سنجی کالیبره شده و مقدار رزولوشن آن نیز تعیین می‌شود. سپس دو نمونه سالم و آسیب دیده الکتروودهای دستگاه پلاسما به صورت ساندویچی در دو طرف چشمه قرار گرفته و به مدت ۷۲ ساعت در دمای حدود ۲۳ درجه سانتی گراد دستگاه داده‌های مورد نظر را جمع‌آوری نموده است. بعد از تهیه طیف مورد نظر با استفاده از نرم افزار LT10 که برای استخراج اطلاعات مورد نظر از طیف است اطلاعات مربوط به نابودی پوزیترون، و پارا پوزیترون استخراج شده است. در این نرم افزار برای فلزات از مدل چند نمایی با ۲ بخشی استفاده شده که شامل  $\tau_1$  و  $\tau_2$  است. بعد از اجرای برنامه طیف باز شده و با اجرای نرم افزار مدل مورد نظر برای برازش منحنی روی طیف انجام شده است. مقدار درجه برازش منحنی بر روی داده‌ها باید بین ۱ تا ۲ باشد. نرم افزار بعد از برازش، اطلاعاتی مانند شدت آسیب و مقادیر  $\tau$  را



شکل ۲- نحوه گیرافتادن پوزیترون در فضاهای خالی [۹].

نابودی پوزیترون به سه طریق آزاد، ارتوپوزیترونیم و پارا پوزیترونیم انجام می‌شود. هر کدام از این نابودی‌ها زمان عمر متفاوتی در مواد دارند که در حد نانو ثانیه است. در حالت نابودی ارتوپوزیترونیم زمان نابودی از همه بیشتر است. روش PALS بر اساس اندازه‌گیری این زمان‌ها عمل می‌کند.

عمر پوزیترون در نواحی نقص افزایش می‌یابد که این موضوع به علت کاهش چگالی الکترونی در محل نقص است. طول عمر بیشتر مقیاسی از اندازه حجم نقص است. طیف حاصل از آزمون طیف سنجی طول عمر پوزیترون را می‌توان به تناسب شکل آن به سه یا چهار قسمت تقسیم و بر هر بخشی خطی منطبق کرد که با نرم افزارهای مخصوص LT9 ، LT10 انجام شده و  $\tau$  هر قسمت بدست می‌آید. این دو نرم افزار که بوسیله کانسی و همکارانش [۱۱] نوشته شده‌اند می‌توانند با برازش منحنی‌های گوسین اندازه و  $\tau$ های مختلف مقادیر شدت و  $\tau$  هر بخش و آسیب را محاسبه کنند. ورودی این نرم افزار طیف بدست آمده از دستگاه PALS است. با تنظیم تعداد بخش‌های مورد نظر که برای فلزات دو بخش در نظر گرفته می‌شود و مقادیر اولیه، برازش منحنی انجام شده و خروجی که مقادیر شدت و  $\tau$  هر بخش است نمایش داده می‌شوند. با داشتن  $\tau$  می‌توان با استفاده از رابطه تجربی زیر مقدار ابعاد حفره‌ها را مشخص کرد [۱۲]:

$$\tau_3 = 0.5x \left[ 1 - \frac{R}{R+\Delta R} + \frac{1}{2\pi} \sin \left( \frac{2\pi R}{R+\Delta R} \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

که در آن با در نظر گرفتن  $\Delta R = 1/656 \text{ \AA}$  و داشتن  $\tau$  مقدار  $R$  محاسبه می‌شود.

شکل ۳ نمونه‌ای از نمودار سه جزئی را نشان می‌دهد که از آزمون طیف سنجی طول عمر پوزیترون به دست آمده است.



سالم است و لیکن شدت آن بیشتر از الکتروود سالم است. کوچکتر بودن  $\tau_2$  به ابعاد حفره بستگی دارد هر چه حفره کوچکتر باشد پوزیترون زمان کمتری برای ترکیب با الکترون‌های مداری داشته و زودتر از بین می‌رود. همچنین مقدار  $\tau$  الکتروود سالم حدود  $1/363$  نانو ثانیه محاسبه شده که با مقدار داده شده برای مس خالص که حدود  $1/22$  نانو ثانیه است تطابق دارد [۱۴-۱۳]، که علت تفاوت، ناخالصی مس و تفاوت در رزولوشن دو دستگاه اندازه‌گیری می‌تواند باشد. نتایج نشان می‌دهد که حفره‌های داخل فلز مس بر اثر بمباران ذرات پلاسمای تولید شده کوچکتر شده ولی تعداد آن‌ها بیشتر شده است. با توجه به رابطه (۱) مقدار شعاع حفره‌ها برای الکتروود سالم  $2/1 \text{ \AA}$  و برای الکتروود آسیب دیده  $1/45 \text{ \AA}$  به دست می‌آید. قابل توجه است که آزمایش PALS یک آزمایش مقایسه‌ای است که در آن حالت اولیه و ثانویه ماده با هم مقایسه می‌شود و این نشان می‌دهد که ابعاد حفره‌ها حدود  $1/5$  برابر کمتر شده‌اند. حساسیت دستگاه در حد تعیین ابعاد حفره در حد آنگسترم است. مواردی مانند خطاهای آماری، خطاهای تنظیماتی الکترونیک دستگاه و خطای برازش روی آن تاثیرگذار هستند، ولی چون در این آزمایش روش بر مبنای مقایسه دو وضعیت از یک ماده است، می‌توان به نتایج مناسبی دست یافت.

آزمایش XRD نیز روی نمونه‌ها انجام شد. تبدیل پیک پراش به  $d - \text{spacing}$  (یا فاصله) الکتروود آسیب دیده و سالم به ترتیب  $2/09255 \text{ \AA}$  و  $2/09344 \text{ \AA}$  هستند. نتایج این تحلیل نشان داد که فاصله‌ی بین صفحات کریستالی در مس بهم نزدیک‌تر شده و شدت آنها بیشتر شده است که تائید کننده نتایج قبلی می‌باشد.



شکل ۵- الکتروودها (الف) قبل و (ب) بعد از استفاده در پلاسمای سرد

می‌دهد که از روی آن می‌توان مقدار و قطر حفره‌ها و تغییرات شبکه را بررسی کرد.

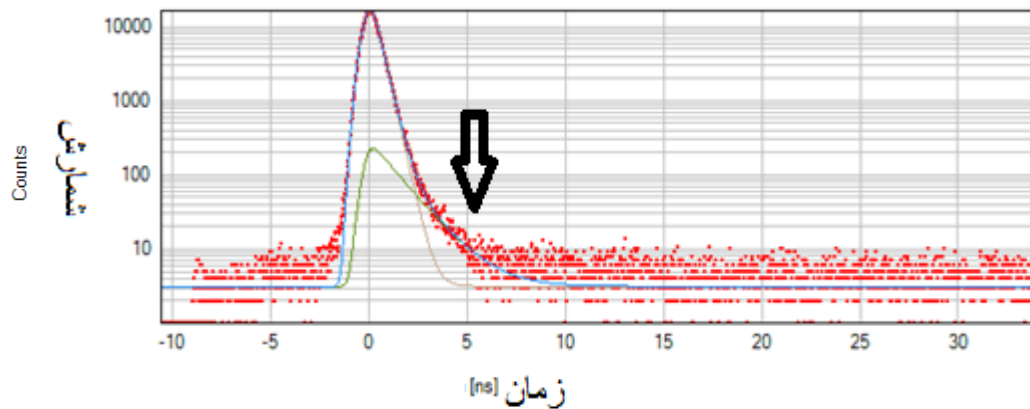
در شکل ۴ طرح چینش دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری طیف حاصل از نابودی پوزیترون نشان داده شده و در شکل ۵ شکل الکتروودهای مسی سالم و آسیب دیده نشان داده شده‌اند. شکل ظاهری الکتروودها نشان می‌دهد که بعد از قرار گرفتن در معرض تابش‌های پلاسما سطح مس کدر و دانه دانه شده که نشان دهنده آسیب وارد شده به شبکه مسی بر اثر بمباران ذرات ناشی از پلاسما و ولتاژ اعمال شده به آن است. برای بررسی تغییرات الکتروودهای مسی از دستگاه طیف سنجی با رزولوشن  $360$  نانو ثانیه استفاده شده است.

نمونه طیف الکتروود سالم و آسیب دیده در شکل ۶ نشان داده شده است. این دو طیف در ناحیه صعودی شبیه هم هستند ولی در قسمت نزولی منحنی، تغییراتی به چشم می‌خورد که با علامت پیکان نشان داده شده‌اند و تغییرات  $\tau$  را نشان می‌دهد. این طیف‌ها با مدل گوسین دو بخشی تحلیل شده و منحنی‌های برازش شده در روی شکل با رنگ های آبی و قهوه‌ای دیده می‌شوند. رنگ قهوه‌ای دو تابع گوسین با  $\tau$ های مختلف و رنگ آبی جمع این دو تابع را که بر داده‌های اصلی برازش شده را نمایش می‌دهد.

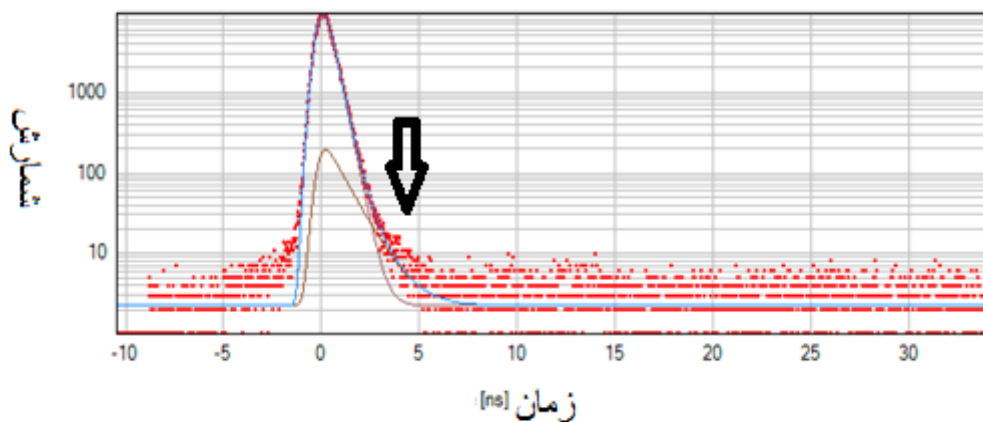


شکل ۴- چینش دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری طیف حاصل از نابودی پوزیترون

نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل طیف‌ها برای الکتروود سالم و آسیب دیده با استفاده از نرم افزار در جدول ۲ نشان داده شده است. در این جدول  $\chi$  درجه برازش منحنی بر داده‌های بدست آمده از طیف نگاری است. در نرم‌افزارهای LT9 و LT10 مقادیر زیر ۲ برای این پارامتر نشان می‌دهد که برازش مناسبی انجام شده است. برای بررسی نتایج نشان می‌دهد مقدار  $\tau_2$  در الکتروود آسیب دیده کمتر از الکتروود



(الف)



(ب)

شکل ۶- طیف به دست آمده برای (الف) الکترون سالم، (ب) الکترون آسیب دیده

جدول ۲- نتایج حاصل از بررسی الکترونها با طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون

الکترون	$\chi$	$\tau_1$	$I_1$	$\tau_2$	$I_2$
سالم	۱/۵۹۲	$۰/۳۶۷ \pm ۰/۰۰۲$	۹۷/۲۳۵	$۱/۳۶۳ \pm ۰/۰۳۵$	$۲/۷۴۶ \pm ۰/۲۷$
آسیب دیده	۱/۲۷۹	$۰/۳۶۶ \pm ۰/۰۰۲$	۹۶/۶۷۳	$۰/۹۶۹ \pm ۰/۰۲۶$	$۳/۳۲۶ \pm ۰/۸۰۱$

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق الکترودهای مسی سالم و آسیب دیده که در پلاسمای سرد به کار رفته‌اند، با طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون مورد ارزیابی قرار گرفته و تغییرات ساختاری و کریستالی آنها در بمباران توسط ذرات پلاسما بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که قرار گرفتن الکترودهای مسی در معرض ذرات باعث تغییرات در شبکه مسی شده و در الکترون آسیب دیده توسط بمباران ذرات پلاسما ساختار شبکه مسی، حفره‌ها و تعداد آنها بتدریج تغییر کرده است. در این الکترون حفره‌ها کوچکتر شده و تعداد آنها بیشتر شده‌اند.

این تغییرات می‌تواند به تغییرات طیف پلاسمای دستگاه در دراز مدت منجر شود و در کارایی دستگاه تاثیر گذارد.

#### ۶- تشکر و قدردانی

از مسئولین آزمایشگاه هسته‌ای دانشگاه بین المللی امام خمینی و آزمایشگاه پلاسمای پژوهشکده فیزیک و شتابگرهای پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای که در امر آماده‌سازی داده‌ها همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۷- منابع

- [۹] اسمی زاده ا.، رضوی نوری م.، کلاتی وحید ع. (۱۳۹۱). طیف سنجی طول عمر نابودی پوزیترون - ۱-مقدمه‌ای بر روش و کاربردهای آن در علم پلیمر، بسپارش، فصلنامه پژوهشی-آموزشی، سال دوم، شماره ۱، صفحه ۱۲-۴، ISSN: 2252-0449
- [10] Mehmandoost-Khajeh-Dad A. A., Mahjour-Shafiei, M. and Khaghani, M., (2011). Development of a Doppler Broadening Positron Spectroscopy Setup and Relative Positron-Electron Momentum Distribution Measurement for Commercial Al, *Journal of Theoretical and Applied Physics*, Vol. 4, No. 4, pp. 9-12.
- [11] Kansy, J., Suzuki, T., Ogawa, T., Murakami, M. and Ito, Y., (2000). Study of poly(methylphenylsilenemethylene) by elastic thermalization lifetime analysis, *Radiation Physics and Chemistry* 58 545-550
- [12] Biganeh A., Kakuee O., Rafi-Kheiri H., Lamahi-Rachti M., Sheikh N., Yahaghi E., (2020) Positron Annihilation Lifetime and Doppler Broadening Spectroscopy of polymers, *Radiation Physics and Chemistry* 166, 108461.
- [13] ORTEC, ORTEC Application note: Experiment 27, Positron Annihilation Lifetime Spectrometry.
- [14] Paulus T. J., (1991). Performance Characteristics of Eighteen Positron Lifetime Spectrometers, 9th International Conference on Positron Annihilation, Available at <http://www.ortec-online.com/Service-Support/Library.aspx>.
- [1] Fridman A. (2008). *Plasma chemistry*. New York: Cambridge University Press.
- [2] Langmuir I. (1928). Oscillations in ionized gases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*; 14: 627e37.
- [3] Goossens M. (2003). *An introduction to plasma astrophysics and magnetohydrodynamics*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- [4] K. Randolph, U.S. DOE, (2013). Hydrogen production - Session introduction, 2013 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, May 16.
- [5] Moreau M, Orange N, Feuilloley MGJ. (2008). Non-thermal plasma technologies: new tools for biodecontamination. *Biotechnology Advances*; 26(6):610e7
- [6] Bo Z., Yan J., Li X., Chi Y., Cen K., (2009). Plasma assisted dry methane reforming using gliding arc gas discharge: effect of feed gases proportion. *International Journal of Hydrogen Energy*; 33(20):5545e53.
- [7] Shang C.Z., Chen G.M., Zhang H.Y., Zeng Y., (2012). Analyses on antigen epitopes and drug resistance mutations of HIV-1 gag and pol genes, *Chinese Journal of Virology*, 28 351-357.
- [8] Benetoli L.O. de B., Cadorn B.M., Baldissarelli V.Z., Geremias R., Souza I.G. de, Debacher N.A., (2012). Pyrite-enhanced methylene blue degradation in non-thermal plasma water treatment reactor, *J. Hazard. Mater.*, 237-238 55-62.