

# بررسی و محاسبه آسیب پرتویی ناشی از طیف پرتوهای خورشیدی بر ساختار کریستالی قطعات نیمه‌هادی

ابوالفضل اسماعیلیان<sup>۱</sup>، سید امیرحسین فقهی<sup>۲\*</sup>، حمید جعفری<sup>۳</sup> و علی پهلوان<sup>۴</sup>

۱ و ۴- دانشکده فیزیک، دانشگاه علوم و تحقیقات مازندران

۲ و ۳- گروه کاربرد پرتوها، دانشکده مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی

\* تهران، ولنجک

a\_fegghi@sbu.ac.ir

محیط فضایی به علت وجود گستره وسیعی از تشعشعات فضایی نگرانی‌هایی را در کارکرد صحیح سیستم‌های الکترونیکی و تجهیزات مورد استفاده در فضا ایجاد کرده است. بنابراین با توجه به حساسیتی که این قطعات به تشعشعات دارند، برای تمام قطعات این سیستم‌ها یا در مرحله ساخت یا در فاز طراحی، نکات و تکنیک‌های مقاوم‌سازی در برابر اثرات تابشی صورت می‌گیرد که نیازمند مطالعات دقیق در زمینه ساز و کار آسیب در این سیستم‌هاست. یکی از تکنیک‌های مقاوم‌سازی ایجاد حفاظ روی قطعات الکترونیکی و بررسی اثرات تابشی روی آن با استفاده از نرم‌افزارهایی است که قادر به شبیه‌سازی آسیب است. در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار TRIM مقادیر آسیب جابه‌جایی، تهی‌جا، برخوردهای جایگزین و یونیزاسیون به‌وجود آمده در قطعات الکترونیکی گالیوم آرسنید و سیلیکونی و همچنین همراه با لایه‌ای از فلزات به عنوان حفاظ محاسبه و بررسی شده‌اند. نتایج خروجی نشان می‌دهد که هر چه حفاظ‌ها ضخامت بیشتر داشته باشند و متشکل از تعداد عناصر بیشتر با عدد اتمی بالا باشند، مقاومت آنها در برابر پرتوهای تابشی بیشتر می‌شود و آسیب‌های به‌وجود آمده در قطعات الکترونیکی کمتر خواهد بود. همچنین آسیب‌های حاصل از پرتوهای فرودی یون‌های هلیوم بسیار بیشتر از یون‌های هیدروژن است.

واژه‌های کلیدی: آسیب پرتویی، جابه‌جایی اتم‌ها، نرم‌افزار TRIM، یونیزاسیون، قطعات نیمه‌هادی

## مقدمه

پارامترهای وابسته به آسیب پرتویی در مواد یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی و مقاوم‌سازی مواد در محیط‌های تابشی است. اطلاع از تغییرات ایجاد شده بر اثر تابش می‌تواند موجب پیشرفت در طراحی سیستم‌های تابشی و انتخاب مناسب مواد به‌کار رفته در ساختارهای تشکیل‌دهنده شود. تابش در هر یک از این محیط‌های تابشی می‌تواند به‌صورت پرتوهای گاما، ایکس، الکترون‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها، یون‌های سیک و سنگین و پالس‌های الکترومغناطیس یا ترکیبی از این‌ها باشد. ذرات موجود در محیط تابش فضایی شامل ذرات به دام افتاده در میدان مغناطیسی زمین (عمدتاً الکترون‌ها و پروتون‌ها)، پرتوهای کیهانی کهکشانی و

محیط‌های تابشی مختلفی وجود دارد که عملکرد مواد را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این محیط‌ها شامل راکتورهای شکافت، راکتورهای گداخت، انبارهای ذخیره پس‌مانده‌های هسته‌ای، شتاب‌دهنده‌های ذرات، آزمایشگاه‌های فیزیک ذرات، بعضی سیستم‌های تاکتیکی نظامی و فضای بین سیاره‌ای یا مگنتوسفر هستند. بررسی

۱. کارشناس ارشد
۲. دانشیار (نویسنده مخاطب)
۳. کارشناس ارشد
۴. استادیار

می‌تواند انواع مختلفی از آسیب شامل، توزیع یون و محاسبه سریع از آسیب، جزئیات محاسبات با آبشار آسیب کامل، مراحل برخورد تک‌لایه، محاسبه سطح بیرون‌اندازی، آبشار نوترون، الکترون و فوتون، انرژی مختلف یون‌ها، زاویه و موقعیت، و نهایتاً آسیب‌های ویژه اهداف چند لایه زیستی را انجام دهد [۸].

در یک شراره خورشیدی پروتون‌های پرنرژتی، ذرات آلفا و یون‌های سنگین گسیل می‌شوند. در اکثر شراره‌های خورشیدی، ذرات گسیل‌شده شامل پروتون‌ها (۹۰ تا ۹۵ درصد) و ذرات آلفا هستند. یون‌های سنگین تنها کسر کوچکی از ذرات گسیل‌شده را تشکیل می‌دهند. تعداد یون‌های سنگین در این رویدادها معمولاً در مقایسه با چگالی زمینه یون‌های سنگین از پرتوهای کیهانی کهکشانی، اهمیت کمتری دارند. در یک شراره خورشیدی بزرگ تعداد پروتون‌ها و ذرات آلفا می‌تواند  $10^4$  بار بیشتر از طیف پرتوهای کیهانی کهکشانی زمینه باشد. بنابراین در این کار طیف پروتون‌ها (هسته هیدروژن) و ذرات آلفا (هسته هلیوم) برای بررسی آسیب‌های پرتویی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

سیلیکون یکی از پرکاربردترین مواد به‌کاررفته در نیمه‌رساناهای الکترونیکی است. گالیوم آرسنید نیز یک نیمه‌رسانای مهم است که در ICها به کار می‌رود. مدارهایی که از این ترکیب ساخته شده‌اند، نسبت به نوع سیلیکونی بسیار سریع‌تر و البته گرانتر هستند. گالیوم آرسنید می‌تواند در دیودهای لیزری و LEDها برای تبدیل مستقیم الکتریسته به نور به کار رود.

پرتوهای ورودی یون‌های هیدروژن و هلیوم که درصد بیشتری از پرتوهای خورشیدی را تشکیل می‌دهند با انرژی‌های مختلف موجود در طیف پرتوهای خورشیدی (از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت تا ۴۰۰ مگا الکترون ولت)، در مرحله اول به قطعات نیمه‌هادی گالیوم آرسنید و سیلیکون با ضخامت ثابت ۲ میکرومتر به طور عمود تابیده می‌شوند. مقدار آسیب‌های جابه‌جایی، تهی‌جا، برخوردی جایگزین و یونیزاسیون ناشی از یون‌ها و پس‌زده شده محاسبه می‌شوند. در مرحله بعد لایه از فلزات شامل آلومینیوم، تانتالیوم پنتوکسید و آلیاژ ۳۳۰ به عنوان حفاظ به لایه نیمه‌هادی اضافه می‌شود و محاسبات آسیب پرتویی برای ضخامت‌های حفاظ‌ها از ۱۰۰ میکرومتر تا ۳۰۰ میلی‌متر تکرار می‌شود.

## نتایج

شکل‌های (۱) و (۲) نشان‌دهنده آسیب جابه‌جایی و تهی‌جا ناشی از پرتوهای ورودی یون هیدروژن و هلیوم در نیمه‌های سیلیکونی و گالیوم آرسنید هستند. آسیب‌ها ناشی از یون هیدروژن چه در قطعه الکترونیکی سیلیکون و چه در قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید از آسیب جابه‌جایی و تهی‌جا ناشی از پرتوی ورودی یون هلیوم کمتر

رویدادهای ذرات خورشیدی است. از جمله مواد تشکیل‌دهنده این سیستم‌ها، قطعات الکترونیکی و نیمه‌هادی‌هایی از جنس سیلیکون و یا گالیوم آرسنید است. مثال‌هایی از این سیستم‌ها، سیستم‌های الکترونیکی به کار رفته در فضاپیماها، ماهواره‌ها، هواپیماهایی که در ارتفاع بالا پرواز می‌کنند و آشکارسازهای مورد استفاده در شتاب‌دهنده‌های ذرات پرنرژتی هستند.

اثر اصلی تابش بر قطعات الکترونیکی، ایجاد تهی‌جای شبکه و اتم‌های درون شبکه‌ای در بلورهای کامل است. این عوامل باعث کاهش چگالی و تغییر خواص پلاستیکی فلزات به اندازه قابل توجهی می‌شود. به‌طور کلی تابش می‌تواند باعث ازدست‌رفتن خواص پلاستیکی و شکل‌پذیری و افزایش خواص سختی شود. در پی اندرکنش‌های پرتوها با مواد، تغییراتی در خواص ذاتی مواد مانند خواص مکانیکی، رسانایی، ساختار بلوری، مشخصات پیوند اتمی، دمای ذوب، خواص مغناطیسی و حتی رنگ مواد نیز رخ می‌دهد. اثرات در برخی موارد گذرا و در برخی حالات با توجه به نوع اندرکنش و انرژی پرتوها و حساسیت و مقاومت مواد دائمی خواهد بود [۱].

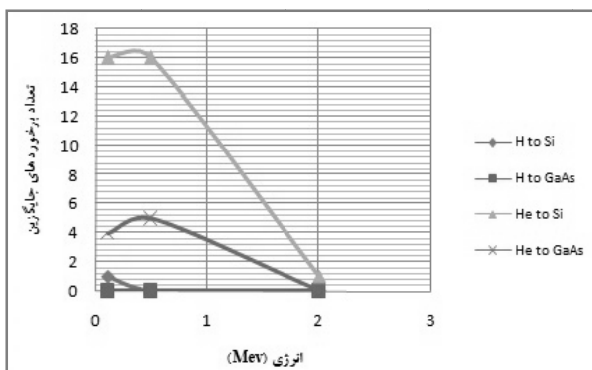
اثرات تک‌اتفاقی، دز یونیزان کل و آسیب جابه‌جایی از مهم‌ترین آسیب‌های پرتویی هستند [۷-۲]. با استفاده از نرم‌افزارهای محاسباتی ترابرد پرتوها می‌توان آسیب‌های جابه‌جایی، تهی‌جا، یونیزاسیون کل و برخوردهای جایگزین را در قطعات الکترونیکی و همچنین مواد فلزی که برای حفاظ به کار می‌روند، شبیه‌سازی و محاسبه کرد. در این کار آسیب‌های نامبرده شده در ابتدا به‌طور جداگانه قطعات الکترونیکی شامل سیلیکون و گالیوم آرسنید بررسی می‌شوند و سپس لایه‌ای از فلزات شامل آلومینیوم، آلیاژ ۳۳۰ و تانتالیوم پنتوکسید به عنوان حفاظ به این قطعات اضافه می‌شوند و سپس اثرات آسیب پرتویی با استفاده از نرم‌افزار ترابرد پرتویی TRIM محاسبه و تحلیل می‌شود.

## روش کار

نرم‌افزار TRIM به‌منظور ترابرد پرتویی از برخورد یک پرتوی فرودی در ماده هدف، طراحی شده است. این نرم‌افزار قادر به تعیین ویژگی برخورد بین پرتابه (یون‌ها یا اتم‌ها) با اتم‌های هدف است. ورودی‌های TRIM نوع، انرژی، موقعیت‌های مختلف یون‌های فرودی، هدف و دیگر پارامترها را شامل می‌شود. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان مقادیر تهی‌جا، آسیب جابه‌جایی، برخوردهای جایگزین<sup>۵</sup>، یونیزاسیون کل ناشی از یون‌ها و پس‌زده‌شده‌ها و ... را محاسبه کرد. این نرم‌افزار قابلیت نشان‌دادن نمودارها و مقادیر عددی آسیب را، به‌صورت سه بعدی نیز دارد. همچنین TRIM

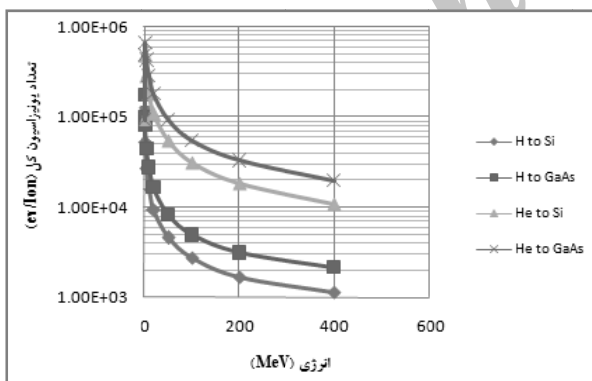
5. Replacement collisions

الکترون ولت برخورد جایگزین داریم و در پرتوی ورودی یون هلیوم از ۲ مگا الکترون ولت به بالا صفر می‌شود.



شکل ۳- برخوردهای جایگزین ناشی از پرتوی ورودی یون هیدروژن و هلیوم در قطعات الکترونیکی

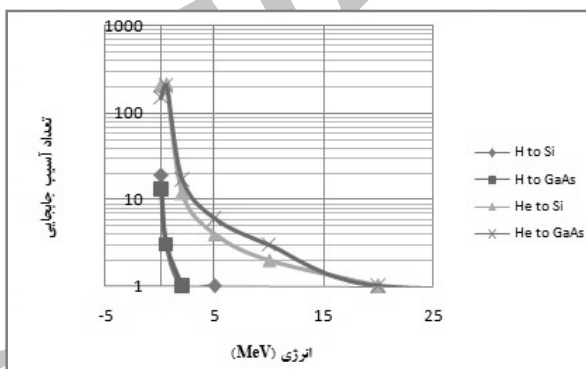
مقدار مجموع یونیزاسیون سیلیکون و گالیوم آرسنید برای پرتوی ورودی یون‌های هیدروژن و هلیوم در شکل (۴) نشان داده شده است. مجموع یونیزاسیون بیشتر ناشی از یون‌هاست. بیشترین مقدار یونیزاسیون سیلیکون و گالیوم آرسنید برای پرتوی ورودی یون هیدروژن در ۵۰۰ کیلو الکترون ولت و برای پرتوی ورودی یون هلیوم در ۲ مگا الکترون ولت است. یونیزاسیون پرتوی ورودی یون هلیوم از هیدروژن بیشتر است در واقع در انرژی‌های پایین، یونیزاسیون هلیوم ۳ برابر هیدروژن و در انرژی‌های بالاتر ۱۰ برابر هیدروژن می‌شود، که این مسئله به دلیل سنگین بودن یون هلیوم است که باعث برخورد بیشتری با اتم‌های هدف می‌شود.



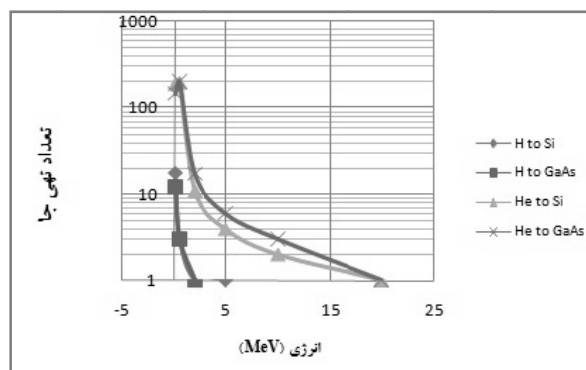
شکل ۴- مجموع یونیزاسیون ناشی از یون‌ها و پس‌زده شده‌ها، برای پرتوهای ورودی یون هیدروژن و هلیوم در قطعات الکترونیکی

در مرحله دوم تهی جا و یونیزاسیون کل ناشی از یون و پس‌زده شده‌ها را روی قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید که به وسیله فلزات آلومینیوم، آلیاژ ۳۳۰ و تانتالیوم پنتوکسید حفاظ‌سازی شده است، به صورت نمودارهایی از تعداد تهی جا و یونیزاسیون کل ناشی از یون‌ها و پس‌زده شده‌ها بر حسب ضخامت حفاظ‌ها آورده شده‌اند. در شکل‌های

هستند. بیشترین آسیب جابه‌جایی و تهی جا در پرتوی ورودی یون هیدروژن در ۱۰۰ کیلو الکترون ولت و در پرتوی ورودی یون هلیوم در ۵۰۰ کیلو الکترون ولت است. از انرژی ۱۰۰ و ۵۰۰ کیلو الکترون ولت به بالا مقادیر تهی جا کاهش پیدا می‌کند تا برای قطعه سیلیکون در پرتوی ورودی یون هیدروژن در انرژی ۱۰ مگا الکترون ولت و در پرتوی ورودی یون هلیوم در ۵۰ مگا الکترون ولت و برای قطعه گالیوم آرسنید در پرتوی ورودی یون هیدروژن در انرژی ۵ مگا الکترون ولت و در پرتوی ورودی یون هلیوم در ۵۰ مگا الکترون ولت، تهی جا صفر می‌شود. در ۱۰۰ کیلو الکترون ولت آسیب جابه‌جایی و تهی جا در پرتوی ورودی یون هلیوم ۱۰ برابر پرتوی ورودی یون هیدروژن، در ۵۰۰ کیلو الکترون ولت ۶۵ برابر، در ۲ مگا الکترون ولت ۱۱ برابر و در ۵ مگا الکترون ولت ۴ برابر است.



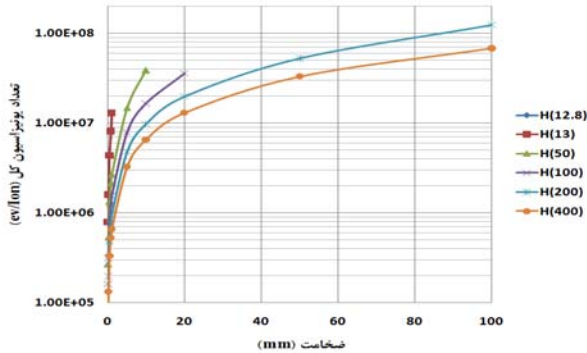
شکل ۱- آسیب جابه‌جایی ناشی از پرتوی ورودی یون هیدروژن و هلیوم در قطعات الکترونیکی



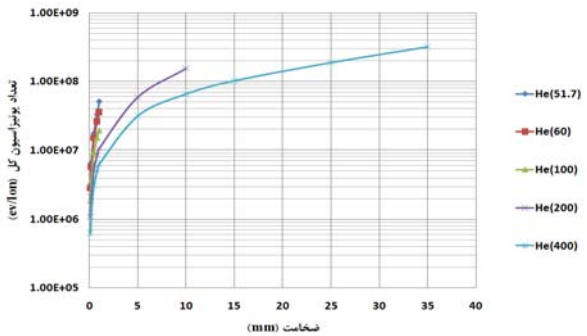
شکل ۲- تهی جا ناشی از پرتوی ورودی یون هیدروژن و هلیوم در قطعات الکترونیکی

برخوردهای جایگزین در شکل (۳) برای قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید در پرتوی ورودی یون هیدروژن در تمام انرژی‌ها صفر است و در پرتوی ورودی یون هلیوم از انرژی ۵۰۰ کیلو الکترون ولت به بالا صفر می‌شود. برای قطعه الکترونیکی سیلیکون در پرتوی ورودی یون هیدروژن فقط در ۱۰۰ کیلو

حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید ۱۵ برابر مقادیر یونیزاسیون کل ناشی از پرتو ورودی یون هیدروژن است.



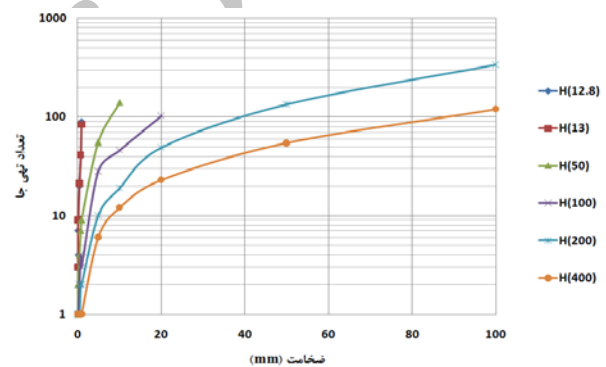
شکل ۷- یونیزاسیون کل ناشی از یون‌ها و پس‌زده شده‌های پرتو ورودی یون هیدروژن در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



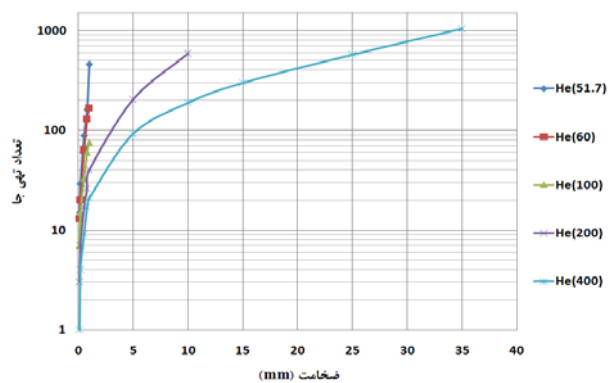
شکل ۸- یونیزاسیون کل ناشی از یون‌ها و پس‌زده شده‌های پرتو ورودی یون هلیوم در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید

نمودار تهی جا ناشی از پرتوهای ورودی یون هیدروژن و هلیوم در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید برحسب ضخامت حفاظ در شکل‌های (۹) و (۱۰) آورده شده است. در این نمودارها با افزایش انرژی پرتوهای ورودی یون‌های هیدروژن و هلیوم و افزایش ضخامت حفاظ تانتالیوم پنتوکسید مقادیر تهی جا افزایش پیدا می‌کند، البته زمانی که پرتوی ورودی یون هیدروژن ۲۰۰ مگا الکترون ولت انرژی دارد و ضخامت حفاظ تانتالیوم پنتوکسید ۵۰ میلی‌متر است، بیشترین مقدار تهی جا را داریم. چراکه پرتوی ورودی یون هیدروژن می‌تواند تمام انرژی خود را در ضخامت ۵۰ میلی‌متری از حفاظ بگذارد و باعث به‌وجود آمدن برخورد بیشتر با اتم‌های حفاظ و جابه‌جا کردن آنها و عدم تعادل در شبکه، که نهایتاً منجر می‌شود تا تهی جای بیشتری به‌وجود آید. مقدار تهی جا در پرتوهای ورودی یون هلیوم در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید، از مقدار تهی جا در پرتوی ورودی یون هیدروژن بیشتر است، این مقدار در حدود ۲۰ برابر است.

(۵) و (۶) که مربوط به تهی جا ناشی از پرتوهای ورودی یون‌های هیدروژن و هلیوم در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید است نشان داده شده که، تهی جا در پرتوی ورودی یون هلیوم در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید مطابق با نمودار شکل (۶)، ۳۰ برابر پرتوی ورودی یون هیدروژن در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید مطابق با نمودار شکل (۵) است که این بیانگر بالابودن تهی جا در پرتو ورودی یون هلیوم نسبت به پرتوی ورودی یون هیدروژن است. در نمودار شکل (۵) زمانی که پرتوی ورودی یون هیدروژن ۲۰۰ مگا الکترون ولت انرژی دارد در ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر از آلومینیوم بیشترین تهی جا را ناشی می‌شود، حتی این مقدار از زمانی که پرتوی ورودی یون هیدروژن ۴۰۰ مگا الکترون ولت انرژی دارد نیز بیشتر است، دلیل این مسئله آن است که در انرژی ۴۰۰ مگا الکترون ولت پرتوی ورودی یون هیدروژن نمی‌تواند تمام انرژی خود را در ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر از حفاظ آلومینیوم بگذارد و از آن خارج می‌شود.

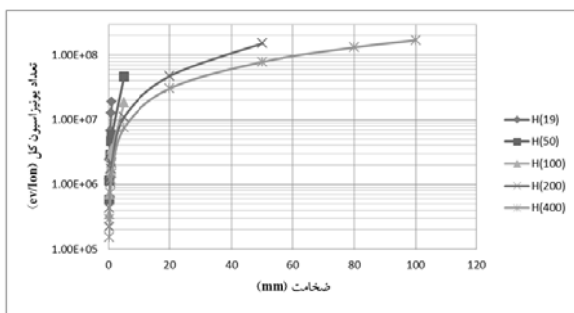


شکل ۹- تهی جا پرتو ورودی یون هیدروژن در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید

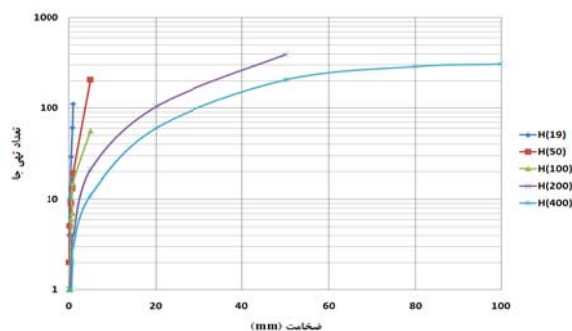


شکل ۱۰- تهی جا پرتو ورودی یون هلیوم در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید

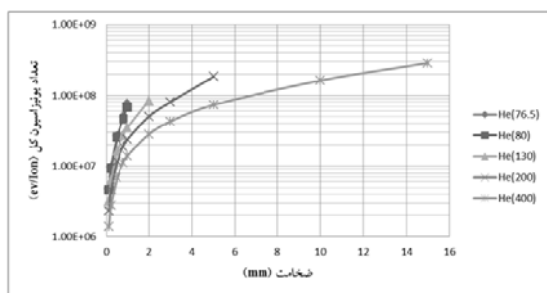
در شکل‌های (۷) و (۸)، یونیزاسیون کل ناشی از پرتوهای ورودی یون هیدروژن و هلیوم در حفاظ آلومینیوم و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید بر حسب ضخامت حفاظ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که مقادیر یونیزاسیون کل ناشی از پرتو ورودی یون هلیوم در



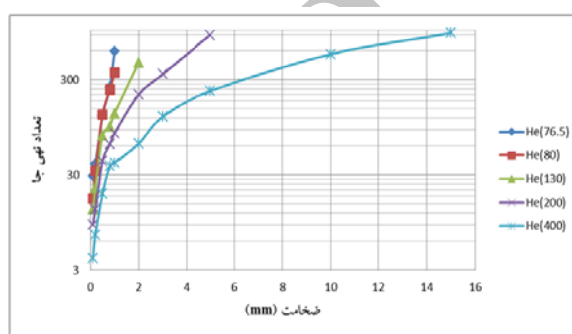
شکل ۱۱- یونیزاسیون کل ناشی از یون‌ها و پس‌زده‌شده‌های پرتو ورودی یون هیدروژن در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



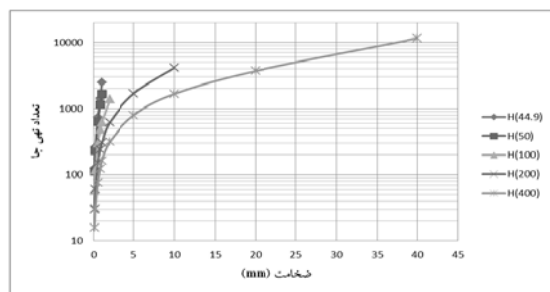
شکل ۹- تهی جا پرتو ورودی یون هیدروژن در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



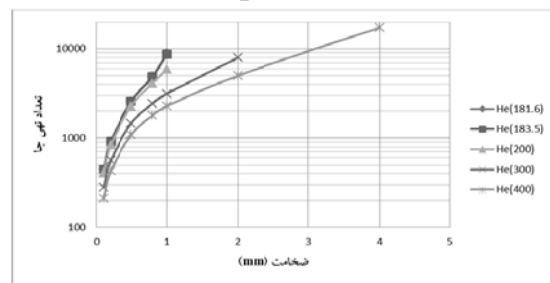
شکل ۱۲- یونیزاسیون کل ناشی از یون‌ها و پس‌زده‌شده‌های پرتو ورودی یون هلیوم در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



شکل ۱۰- تهی جا پرتو ورودی یون هلیوم در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



شکل ۱۳- تهی جا پرتو ورودی یون هیدروژن در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



شکل ۱۴- تهی جا پرتو ورودی یون هلیوم در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید

ورودی یون هلیوم در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ در حدود ۱۵ برابر یونیزاسیون کل ناشی از پرتو ورودی یون هیدروژن است.

در شکل‌های (۱۱) و (۱۲)، یونیزاسیون کل ناشی از پرتوهای ورودی یون هیدروژن و هلیوم در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید بر حسب ضخامت حفاظ نشان داده شده‌اند. در این نمودارها، با افزایش انرژی پرتوهای ورودی یون هیدروژن و هلیوم و ضخامت حفاظ تانتالیوم پنتوکسید مقادیر یونیزاسیون کل نیز افزایش می‌یابد. مقادیر یونیزاسیون کل ناشی از پرتوی ورودی یون هلیوم در حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید ۱۰ برابر یونیزاسیون کل ناشی از پرتوی ورودی یون هیدروژن است.

در شکل‌های (۱۳) و (۱۴)، تهی‌جا‌های ناشی از پرتوهای ورودی یون‌های هیدروژن و هلیوم در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید بر حسب ضخامت حفاظ نشان داده شده‌اند. در اینجا مانند حفاظ‌های قبل یعنی آلومینیوم و تانتالیوم پنتوکسید، تهی‌جا پرتوی ورودی یون هلیوم در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید در حدود ۲۰ برابر بیشتر از تهی‌جا پرتو ورودی یون هیدروژن است.

یونیزاسیون کل پرتوهای ورودی یون‌های هیدروژن و هلیوم در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده است. یونیزاسیون کل ناشی از پرتو

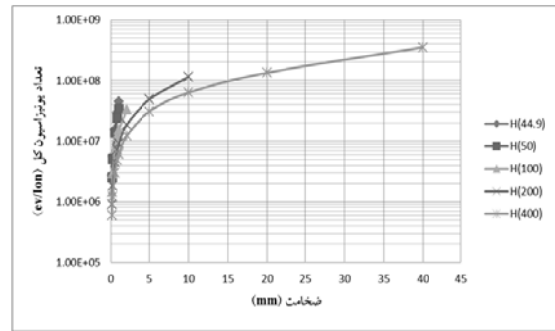
پنتوکسید، ۲ برابر حفاظ آلومینیوم، حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۴ برابر حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۹ برابر حفاظ آلومینیوم است.

مقدار تهی جاهای به وجود آمده ناشی از یون های هلیم فرودی در قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید و حفاظ تانتالیوم پنتوکسید ۳ برابر حفاظ آلومینیوم، حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۷۱ برابر حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۱۵۸ برابر حفاظ آلومینیوم هستند. مقدار یونیزاسیون در قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید و حفاظ تانتالیوم پنتوکسید ۲ برابر حفاظ آلومینیوم، حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۶ برابر حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۱۲ برابر حفاظ آلومینیوم است.

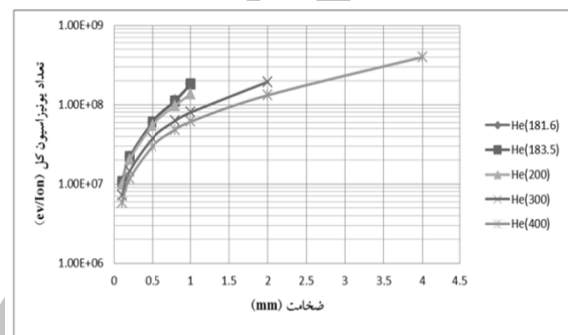
همچنین محاسبات نشان می دهد، مقادیر آسیب در سیلیکون چه برای پرتوی ورودی یون هیدروژن و چه برای پرتوی ورودی یون هلیم کمتر از مقادیر آسیب در گالیوم آرسنید است. حفاظ آلومینیومی بهترین حفاظ در میان فلزات بررسی شده برای کم کردن مقدار آسیب های یونیزاسیون و جابه جایی است. مقدار بهینه این حفاظها را می توان با لحاظ کردن مقدار بار بحرانی برای ایجاد خطا در قطعه الکترونیکی به دست آورد. همچنین هر چه حفاظها ضخامت بیشتر و از تعداد عناصر بیشتر با عدد اتمی بالا باشند، مقاومت آن در برابر پرتوهای تابشی بیشتر است و آسیب های به وجود آمده در قطعات الکترونیکی کمتر خواهد بود. آسیب های حاصل از پرتو ورودی یون هلیم بسیار بیشتر از پرتو ورودی یون هیدروژن است.

## مراجع

- [1] Holmes-Iedle, A. G., *Handbook of Radiation Effect*, 2<sup>nd</sup> Edition, Oxford University Press, USA, 2002.
- [2] Leroy, C. and Rancoita, P. G., "Particle Interaction and Displacement Damage in Silicon Devices Operated in Radiation Environments," *Report on Progress Physics*, Vol. 70, No. 493, 2007, pp. 493-625.
- [3] Messenger, G. and Ash, M., *The Effects of Radiation on Electronic Systems*, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New-York, 1992
- [4] Jun, I., "Effects of Secondary Particles on Total Dose and the Displacement Damage in Space Proton Environments," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 48, No. 1, 2001, pp. 162-175.
- [5] Johnston, A. H., "Radiation Damage of Electronic and Optoelectronic Devices in Space," *4<sup>th</sup> International Workshop on Radiation Effects on Semiconductor Devices for Space Application*, Tsukuba, Japan, 2000.
- [6] ESA Standard, Division Space Engineering, *Methods for The Calculation of Radiation Received and Its Effects, and a Policy for Design Margins*. *Space Engineering*, ECSS-E-10-12 Draft 0.11. 30, 2008.
- [7] Messenger, G. C., "A Summary Review of Displacement Damage from High Energy Radiation in Silicon Semiconductors and Semiconductor Devices," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 39, No. 3, 1992, pp. 468-473.
- [8] Ziegler, J. F., *The Stopping and Ranges of Ions in Matter ("SRIM-2011")*, Computer Software Package, <http://www.SRIM.org>.



شکل ۱۵- یونیزاسیون کل ناشی از یون ها و پس زده شده های پرتو ورودی یون هیدروژن در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید



شکل ۱۶- یونیزاسیون کل ناشی از یون ها و پس زده شده های پرتو ورودی یون هلیم در حفاظ آلیاژ ۳۳۰ و قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید

## نتیجه گیری

در مرحله اول این کار آسیب های پرتویی برای قطعات نیمه هادی الکترونیکی شامل سیلیکون و گالیوم آرسنید با استفاده از نرم افزار ترابرد پرتویی TRIM محاسبه و تحلیل شده است. پرتوهای ورودی شامل یون های هیدروژن و هلیم هستند که بیشترین درصد پرتوهای خورشیدی را با انرژی های مختلف که از ۱۰۰ کیلو الکترون ولت تا ۴۰۰ مگا الکترون ولت است، تشکیل می دهند. در مرحله دوم این کار آسیب های پرتویی برای یکی از پرکاربردترین مواد قطعات الکترونیکی یعنی گالیوم آرسنید که توسط فلزاتی همچون آلومینیوم، آلیاژ ۳۳۰، تانتالیوم پنتوکسید حفاظ شده است، با استفاده از نرم افزار ترابرد پرتویی TRIM محاسبه و تحلیل شده است. ضخامت قطعات الکترونیکی، ۲ میکرومتر ثابت است و ضخامت حفاظها از ۱۰۰ میکرومتر تا ۳۰۰ میلی متر تغییر پیدا می کند.

محاسبات نشان می دهد که مقدار تهی جاهای به وجود آمده ناشی از یون های هیدروژن فرودی در قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید و حفاظ تانتالیوم پنتوکسید ۲ برابر حفاظ آلومینیوم، حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۷۶ برابر حفاظ تانتالیوم پنتوکسید و حفاظ آلیاژ ۳۳۰، ۱۵۲ برابر حفاظ آلومینیوم هستند. مقدار یونیزاسیون در قطعه الکترونیکی گالیوم آرسنید و حفاظ تانتالیوم