بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم و فناوریهای نوین

گروه مهندسی هسته‌ای

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته مهندسی هسته‌ای گرایش کاربرد پرتوها

اندازه‌گیری و بهینه سازی تابش‌های ایکس سخت و نرم دستگاه پلاسمای کانونی UIPF1

استاد راهنما:

دکتر مهدی نصری نصرآبادی

استاد مشاور:

مهندس بابک شیرانی

پژوهشگر:

ابوالفضل کنعانی

بهمن ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم و فناوریهای نوین

گروه مهندسی هسته‌ای

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته مهندسی هسته‌ای گرایش کاربرد پرتوهاآقای ابوالفضل کنعانی تحت عنوان

اندازه‌گیری و بهینه سازی تابش‌های ایکس سخت و نرم دستگاه پلاسمای کانونی UIPF1

در تاریخ / / توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مهدی نصری نصرآبادی با مرتبه ی علمی دانشیار امضا

۲- استاد مشاور پایان نامه مهندس بابک شیرانی با مرتبه ی علمی مربی امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر ایرج جباری با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر بهزاد تیموری سیچانی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درخشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

به مصداق "من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق"، به پاس تعبیر عظیم و انسانی از کلمه "ایثار" و به پاس محبت‌های بی دریغی که هرگز فروکش نکرد، بسی شایسته است از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر مهدی نصری نصرآبادی و جناب آقای مهندس بابک شیرانی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور ساختند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد صبور و باتقوا، جناب آقای دکتر ایرج جباری که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در عرصه علم و دانش بر من دریغ ننمودند و همواره امیدبخش مراحل مختلف زندگی‌ام بوده و هستند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از دوستان عزیزم آقایان جواد مختاری، محمدرضا مردانه، حشمت الله جمالی، رضا جعفری و امیر بهشتی که در نگارش و ویرایش این اثر مرا یاری نمودند؛ تشکر می‌نمایم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و

همه ی کسانی که عاشقانه دوستشان دارم

چکیده:

در این پایان نامه، تابش‌های ایکس گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر دانشگاه اصفهان (UIPF1) مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی دینامیک پلاسما و اندازه‌گیری تابش‌های ایکس گسیلی از دستگاه پلاسمای کانونی در حین تخلیه با گاز آرگون و نئون در شرایط مختلف فشار گاز و ولتاژ اعمالی است؛ پس از بررسی نتایج، شرایط بهینه کاری برای داشتن بیشترین شدت ایکس گسیلی در مورد هر گاز تعیین شده است.

از پیچه روگوفسکی به عنوان ابزار تشخیصی برای بررسی دینامیک پلاسما استفاده شد. دینامیک پلاسمای کانونی توسط ارتباط جریان تخلیه بدست آمده با پارامترهایی نظیر زمان کانونی شدن، نوع گاز و ویژگی‌های جزئی تابش ایکس مورد بررسی قرار گرفت.

اندازه‌گیری تابش‌های ایکس سخت و نرم گسیلی از دستگاه توسط آشکارسازهای سوسوزن و پین دیود با فیلترهای مناسب مورد بررسی قرار گرفت. با اندازه‌گیری تابش‌های ایکس سخت و نرم گسیلی از دستگاه، در محدوده فشارهای ۰/۱ تا ۲/۵ mbar گازهای آرگون و نئون و ولتاژهای اعمالی ۱۹ تا ۲۳ kV، شرایط بهینه گسیل ایکس سخت و نرم برای گاز آرگون به ترتیب در فشارهای ۱/۱ و ۰/۷ mbar و ولتاژ ۲۳ kV مشاهده شد. همچنین شرایط بهینه برای گسیل تابش‌های ایکس سخت و نرم دستگاه در مورد گاز نئون در فشار ۱/۱ mbar و ولتاژ ۲۳ kV است. توزیع دز چشمه ایکس دستگاه نیز در شرایط مختلف فشار گاز آرگون مورد بررسی قرار گرفت که بیشترین مقدار دز دستگاه در داخل و خارج از محفظه به ترتیب حدود ۱۷ و ۰/۴ mGy بدست آمد. همچنین مشاهده شد که توزیع زاویه‌ای دز چشمه ایکس، متقارن نبوده و در مخروطی با زاویه‌ی رأس حدود ۱۵ درجه نسبت به آند، بیشترین مقدار خود را دارد و در فشارهای مختلف توزیع دز رفتار متفاوتی دارد. در ادامه، بهینه سازی شدت ایکس سخت و نرم دستگاه با قرار دادن قرص‌هایی از جنس سرب و تنگستن روی آند انجام شد و شدت ایکس سخت و نرم گسیلی با این روش به ترتیب، تا ۵۰۰ و ۶۰ درصد افزایش یافت.

در نهایت، برای نشان دادن قابلیت تابش‌های ایکس دستگاه پلاسمای کانونی، رادیوگرافی‌های متنوعی با استفاده از UIPF1 انجام گرفت که تصاویری با تفکیک پذیری مطلوب بدست آمد.

کلید واژه‌ها: دستگاه پلاسمای کانونی، تابش ایکس، فشار گاز، ولتاژ، رادیوگرافی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: درآمدی بر دستگاه پلاسمای کانونی

۱-۱ تاریخچه..... ۲

۱-۲ ساختار دستگاه پلاسمای کانونی..... ۴

۱-۳ اهمیت دستگاه پلاسمای کانونی..... ۵

۱-۴ دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان چشمه‌ای از تابش‌های ایکس..... ۶

۱-۵ کاربردهای دستگاه پلاسمای کانونی..... ۶

۱-۵-۱ کاربرد پلاسمای کانونی برای لیتوگرافی..... ۶

۱-۵-۲ استفاده از تابش‌های ایکس دستگاه پلاسمای ۸

فصل دوم: دینامیک دستگاه پلاسمای کانونی و فرآیند گسیل تابش‌های ایکس

۲-۱ دینامیک دستگاه پلاسمای کانونی..... ۱۰

۲-۱-۱ فاز شکست..... ۱۲

۲-۱-۲ فاز شتاب محوری..... ۱۴

۲-۱-۳ فاز شعاعی..... ۱۵

۲-۱-۳-۱ فاز فشردگی..... ۱۶

۲-۱-۳-۲ فاز خاموشی..... ۱۷

۲-۱-۳-۳ فاز ناپایداری..... ۱۷
۲-۱-۳-۴ فاز فروپاشی..... ۱۸
۲-۲ ناپایداری‌ها در دستگاه پلاسمای کانونی..... ۱۸
۲-۲-۱ ناپایداری ریلی- تیلور..... ۱۹
۲-۲-۲ ناپایداری $m = 0$..... ۱۹
۲-۲-۳ ناپایداری $m = 1$..... ۲۰
۲-۲-۴ ریز ناپایداری‌ها و جریان‌های گردابی..... ۲۱
۲-۳ تابش‌های ایکس دستگاه پلاسمای کانونی..... ۲۲
۲-۳-۱ فرآیندهای گسیل پرتو ایکس در پلاسما..... ۲۲
۲-۳-۱-۱ کلیات..... ۲۲
۲-۳-۱-۲ فرآیندهای گسیل تابش ایکس..... ۲۳
۲-۳-۱-۳ طبقه بندی چشمه‌های تابش ایکس..... ۲۶
۲-۳-۱-۴ پلاسما، به عنوان چشمه‌ای از تابش‌های ایکس..... ۲۷
۲-۳-۲ دستگاه پلاسمای کانونی به عنوان چشمه‌ی تولید ایکس..... ۲۸
۲-۴ پارامترهای تأثیرگذار بر تابش پرتو ایکس دستگاه پلاسمای کانونی..... ۳۰
۲-۴-۱ اهمیت اندازه‌گیری جریان تخلیه..... ۳۰
۲-۴-۱-۱ نقش خازن..... ۳۱
۲-۴-۱-۲ اندوکتانس..... ۳۲
۲-۴-۱-۳ انرژی و توان ورودی به درون پلاسما..... ۳۲

۲-۴-۱-۴ تأثیر قطبیت الکترودها..... ۳۳
۲-۴-۱-۵ تأثیر نوع گاز استفاده شده..... ۳۴
۲-۴-۲ پارامترهای هندسی دستگاه و جنس الکترودها..... ۳۵
۲-۴-۲-۱ آند..... ۳۵
۲-۴-۲-۲ عایق..... ۳۷

فصل سوم: مروری بر تحقیقات انجام گرفته بر تابش ایکس دستگاه پلاسمای کانونی

۳-۱ تحقیقات صورت گرفته در مورد تابش‌های ایکس دستگاه پلاسمای کانونی..... ۳۹
۳-۲ مواردی از کاربرد دستگاه پلاسمای کانونی در رادیوگرافی..... ۴۴
۳-۲-۱ رادیوگرافی از نمونه‌های بیولوژیکی و فلزی..... ۴۴
۳-۲-۲ رادیوگرافی از نمونه‌های متحرک..... ۴۸

فصل چهارم: تکنیک‌های تشخیصی پلاسما

۴-۱ ابزارهای تشخیصی الکتریکی..... ۴۹
۴-۱-۱ پیچه روگوفسکی..... ۵۰
۴-۱-۱-۱ جریان تخلیه..... ۵۰
۴-۱-۱-۲ ساختار پیچه روگوفسکی..... ۵۲
۴-۱-۱-۳ طراحی پیچه روگوفسکی مناسب..... ۵۵
۴-۱-۱-۴ کالیبراسیون پیچه روگوفسکی..... ۵۶

۴-۲ ابزارهای اندازه‌گیری تابش ایکس دستگاه پلاسمای کانونی..... ۵۹
۴-۲-۱ اندازه‌گیری تابش ایکس سخت دستگاه پلاسمای کانونی..... ۶۰
۴-۲-۲ اندازه‌گیری تابش ایکس نرم دستگاه پلاسمای کانونی..... ۶۱
۴-۲-۲-۱ معرفی پین دیود (PIN Diode) ۶۲
۴-۲-۲-۲ حساسیت پین دیود..... ۶۳
۴-۲-۳ فیلم رادیوگرافی..... ۶۴
۴-۲-۳-۱ فیلم و اجزاء آن..... ۶۴
۴-۲-۳-۲ تصویر پنهان..... ۶۷
۴-۲-۳-۳ انواع فیلم..... ۶۷
۴-۲-۳-۴ پردازش فیلم..... ۶۸
۴-۲-۴ دزیمترهای گرمالیانی (TLD) ۷۰
۴-۲-۴-۱ مکانیزم گرمالیانی..... ۷۰
۴-۲-۴-۲ مواد گرمالیان..... ۷۱
۴-۲-۴-۳ قرائت دزیمترها توسط قرائت‌گر (TLD Reader) ۷۲

فصل پنجم: آشکارسازهای مورد استفاده، چیدمان آزمایشگاهی و روش کار

۵-۱ دستگاه پلاسمای کانونی UIPF1..... ۷۵
۵-۱-۱ معرفی برخی اجزاء دستگاه UIPF1..... ۷۷
۵-۱-۱-۱ مشخصات هندسی و الکتریکی دستگاه..... ۷۷

۵-۱-۱-۲ الکترودها و عایق..... ۷۹
۵-۱-۱-۳ سیستم راه انداز دستگاه..... ۷۹
۵-۲ ابزارهای تشخیصی مورد استفاده و چیدمان آنها در آزمایشات..... ۸۰
۵-۲-۱ پیچه روگوفسکی..... ۸۰
۵-۲-۲ سوسوزن پلاستیک BC-400..... ۸۱
۵-۲-۳ پین دیود BPX-65..... ۸۳
۵-۲-۴ فیلم رادیوگرافی..... ۸۶
۵-۲-۵ دزیمترهای گرمالیانی GR-200A..... ۸۶
۵-۲-۵-۱ فاکتور کالیبراسیون هر دزیمتر (ECC) ۸۷
۵-۲-۵-۲ مشاهده خطی بودن پاسخ، فاکتورهای انرژی و محوشدگی..... ۸۸
۵-۲-۵-۳ آرایش دزیمترها در آزمایشات..... ۹۰

فصل ششم: نتایج آزمایشگاهی و تحلیل

۶-۱ نتایج و تحلیل داده‌ها..... ۹۲
۶-۱-۱ نتایج گاز آرگون..... ۹۲
۶-۱-۱-۱ مشخصات کلی جریان تخلیه گاز آرگون..... ۹۲
۶-۱-۱-۲ زمان کانونی شدن..... ۹۴
۶-۱-۱-۳ کیفیت کانونی شدن..... ۹۶
۶-۱-۱-۴ تابش ایکس سخت گاز آرگون..... ۹۷

۶-۱-۱-۵ تابش ایکس نرم گاز آرگون..... ۱۰۲
۶-۱-۱-۶ توزیع دز چشمه ایکس دستگاه UIPF1 در فشارهای مختلف گاز آرگون..... ۱۰۴
۶-۱-۲ نتایج گاز نئون..... ۱۱۱
۶-۱-۲-۱ مشخصات کلی جریان تخلیه، زمان کانونی شدن و کیفیت کانونی شدن گاز نئون..... ۱۱۱
۶-۱-۲-۲ تابش ایکس سخت گاز نئون..... ۱۱۴
۶-۱-۲-۳ تابش ایکس نرم گاز نئون..... ۱۱۶
۶-۱-۳ مقایسه چشمه ایکس گازهای آرگون و نئون..... ۱۱۸
۶-۲ بهینه سازی گسیل تابش‌های ایکس دستگاه UIPF1..... ۱۲۲
۶-۳ رادیوگرافی با استفاده از تابش‌های ایکس دستگاه پلاسمای کانونی..... ۱۲۴

فصل هفتم: بحث و نتی‌جه گی‌ری

۷-۱ بحث و نتی‌جه گی‌ری..... ۱۲۷
۷-۲ پیشنهادات..... ۱۳۱
مراجع..... ۱۳۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: نمایی ساده از دستگاه پلاسمای کانونی نوع مدر..... ۲

شکل ۱-۲: نمایی ساده از دستگاه پلاسمای کانونی نوع فیلیپوف..... ۳

شکل ۱-۳: شمای کلی دستگاه پلاسمای کانونی..... ۴

شکل ۲-۱: نمایشی از فازهای تخلیه دستگاه پلاسمای کانونی..... ۱۱

شکل ۲-۲: سیگنال نوعی از جریان (منحنی بالایی) و ولتاژ (منحنی پایینی)..... ۱۳

شکل ۲-۳: گسیل تابش‌های متفاوت از دستگاه پلاسمای کانونی..... ۱۷

شکل ۲-۴: ناپایداری m = 0..... ۲۰

شکل ۲-۵: ناپایداری m = 1..... ۲۱

شکل ۲-۶: گذارهای مقید- مقید، آزاد- مقید و آزاد- آزاد..... ۲۴

شکل ۲-۷: انرژی و توان منتقل شده به درون پلاسما در دستگاه NX2..... ۳۳

شکل ۲-۸: سیگنال‌های مشتق جریان برای گازهای دوتریم و نئون با چگالی‌های جرمی یکسان در NX2..... ۳۴

شکل ۳-۱: آندهای استفاده شده در آزمایشات محمدی و همکارانش در سال ۲۰۰۹..... ۴۱

شکل ۳-۲: تصویر رادیوگرافی تک شات از فیلترهای مختلف به منظور تعیین طیف تابشی..... ۴۲

شکل ۳-۳: طیف پیوسته ایکس سخت توسط آنالیز رادیوگرافی‌های مختلف در شرایط آزمایشگاهی..... ۴۲

شکل ۳-۴: تصویر گرفته شده از یک موش با تک شات دستگاه PF توسط کاستیلو و همکارانش..... ۴۵

شکل ۳-۵: تصویر گرفته شده از ماهی، شمع ماشین، مدار مجتمع و خازن توسط حسین و همکارانش با استفاده از دستگاه PF در فشار mbar ۰/۵ و قرارگیری نمونه‌ها خارج از محفظه خلأ در فاصله cm ۲۷ از نوک آند.....۴۶

شکل ۳-۶: تصاویر گرفته شده توسط روات از یک حشره توسط تابش‌های ایکس نرم دستگاه

پلاسمای کانونی سه کیلو ژول.....۴۷

شکل ۳-۷: تصاویر گرفته شده توسط راسپا از تی کانکتور و پیچ‌های فلزی از یک دستگاه

پلاسمای کانونی kJ ۵/۷ در سال ۲۰۰۷.....۴۷

شکل ۳-۸: تصویر گرفته شده توسط راسپا از یک قفل در توسط دستگاه PF با انرژی kJ ۴/۷ در سال ۲۰۱۰....۴۷

شکل ۳-۹: تصاویر رادیوگرافی گرفته شده توسط پاوز و همکارانش با استفاده از یک پلاسمای کانونی

مینیاتوری تصاویر (a) دندان با استفاده از ۱۵ شات، (b) نمونه‌های آلومینیومی با ۷ شات،

(c) مدار مجتمع با ۱۲ شات، (d) دست انسان با استفاده از ۱۶ شات.....۴۸

شکل ۳-۱۰: چیدمان تصویربرداری از توربین آلومینیومی و تصاویر گرفته شده در حالت دینامیک

و استاتیک با استفاده از پرتو ایکس PF توسط راسپا و همکارانش.....۴۹

شکل ۴-۱: مدار الکتریکی معادل دستگاه پلاسمای کانونی.....۵۱

شکل ۴-۲: نمونه‌ای از سیگنال جریان تخلیه و مشتق آن.....۵۲

شکل ۴-۳: نمایشی از پیچه روگوفسکی.....۵۳

شکل ۴-۴: مدار معادل از پیچه روگوفسکی.....۵۴

شکل ۴-۵: مدار انتگرال گیر نوعی.....۵۵

شکل ۴-۶: شماتیکی طرح‌وار از فیلم (الف) با دانه بندی سطحی و (ب) امولسیون ضخیم.....۶۴

شکل ۴-۷: نمودار نوار- انرژی یک بلور گرمالیان (الف)- در حین تابش، (ب)- پدیده گرمالیانی..... ۷۱
شکل ۴-۸: یک منحنی تابانی نوعی برای یک TLD پس از پرتوگیری..... ۷۱
شکل ۴-۹: نمایی شماتیکی از دستگاه قرائت‌گر TLD..... ۷۳
شکل ۴-۱۰: مراحل مختلف قرائت دزیمترهای گرمالیانی..... ۷۴
شکل ۵-۱: نمایی کلی از دستگاه پلاسمای کانونی UIPF1 و سیستم آشکارسازی..... ۷۶
شکل ۵-۲: محفظه‌ی اصلی دستگاه پلاسمای کانونی UIPF1..... ۷۷
شکل ۵-۳: الکترودهای نصب شده در دستگاه UIPF1 به همراه عایق..... ۷۹
شکل ۵-۴: تصویر پیچه روگوفسکی استفاده شده و نحوه‌ی نصب آن بر روی دستگاه UIPF1..... ۸۰
شکل ۵-۵: طیف تابشی سوسوزن BC-400..... ۸۱
شکل ۵-۶: آشکارساز BC-400 و نمونه‌ای از سیگنال پرتو ایکس سخت دستگاه UIPF1
در فشار ۰/۸ mbar و ولتاژ ۲۳ kV گاز آرگون..... ۸۲
شکل ۵-۷: حساسیت پین دیود بدون محافظ کوارتزی برای انرژی‌های مختلف..... ۸۳
شکل ۵-۸: منحنی عبور فیلترهای مایلار ۱۲۰ µm و بریلیوم ۲۳۰ µm..... ۸۴
شکل ۵-۹: حساسیت آشکارساز پین دیود با فیلترهای بکارگرفته شده در انرژی‌های مختلف..... ۸۴
شکل ۵-۱۰: چیدمان آزمایشگاهی BPX65 در آزمایش‌ها..... ۸۵
شکل ۵-۱۱: مدار راه انداز آشکارساز پین دیود مورد استفاده..... ۸۵
شکل ۵-۱۲: نمونه‌ای از سیگنال ایکس نرم دستگاه UIPF1 در ولتاژ ۲۱ kV و فشار ۰/۹ mbar گاز آرگون..... ۸۶
شکل ۵-۱۳: دزیمترها تحت تابش دز یکنواخت ۱ Gy چشمه ^{60}Co..... ۸۸
شکل ۵-۱۴: پاسخ دزیمترهای GR-200A نسبت به دزهای مختلف..... ۸۹

شکل ۵-۱۵: پاسخ دزیمترهای GR-200A در انرژی‌های مختلف.....۸۹

شکل ۵-۱۶: آرایش TLDها داخل محفظه دستگاه در فاصله ۱۵ cm از آند در ۴ فاصله شعاعی "a, b, c, d"..۹۰

شکل ۶- ۱: جریان تخلیه UIPF1 در ولتاژهای متفاوت و فشار یکسان ۰/۷ میلی بار گاز آرگون.....۹۲

شکل۶- ۲: جریان تخلیه UIPF1 در فشارهای متفاوت گاز آرگون و ولتاژ یکسان ۱۹ kV.....۹۳

شکل ۶-۳: زمان کانونی شدن در شرایط مختلف گاز آرگون در دستگاه UIPF1.....۹۴

شکل ۶-۴: زمان کانونی شدن در شرایط مختلف گاز آرگون در دستگاه UIPF1.....۹۵

شکل ۶-۵: اختلاف زمانی بین زمان کانونی شدن تا زمان بیشینه جریان تخلیه در ولتاژهای مختلف

و فشارهای متنوع گاز آرگون.....۹۵

شکل ۶-۶ عمق تنگش بر حسب فشارهای مختلف گاز آرگون در ولتاژهای ۱۹ تا ۲۳ kV دستگاه UIPF1.....۹۶

شکل ۶-۷: شدت تابش ایکس سخت (سطح زیر ناحیه منحنی بدست آمده توسط سوسوزن) بر حسب

فشارهای مختلف گاز آرگون در ولتاژهای ۱۹، ۲۱ و ۲۳ kV.....۹۸

شکل ۶-۸: نمودارهای دو و نیم بعدی (الف): شدت تابش ایکس سخت و (ب): عمق تنگش بر حسب

ولتاژهای اعمالی و فشارهای مختلف گاز آرگون در دستگاه UIPF1.....۹۹

شکل ۶-۹: بررسی همزمان شدت ایکس سخت و مشتق جریان در ولتاژ ۲۳ kV و فشار ۰/۳ mbar

گاز آرگون (الف): تأخیر زمانی ایکس سخت نسبت به زمان کانونی شدن، (ب): همزمانی ایکس

سخت و زمان کانونی شدن.....۱۰۰

شکل ۶-۱۰: سیگنال‌های ایکس سخت و مشتق جریان در دستگاه UIPF1 در ولتاژ ۲۱ kV (الف): فشار

۰/۱ mbar، (ب): فشار ۰/۷ mbar و (ج): فشار ۱/۳ mbar گاز آرگون.....۱۰۱

شکل ۶-۱۱: شدت تابش ایکس نرم (سطح زیر ناحیه منحنی بدست آمده توسط BPX-65) بر حسب

فشارهای مختلف گاز آرگون در ولتاژهای ۱۹، ۲۱ و ۲۳ kV.....۱۰۲
شکل ۶-۱۲: نمودار دو و نیم بعدی شدت تابش ایکس نرم بر حسب ولتاژ و فشارهای متفاوت گاز آرگون.....۱۰۳
شکل ۶-۱۳: بررسی همزمان ایکس سخت و مشتق جریان در ولتاژ ۲۱ kV و فشار ۰/۵ mbar آرگون.....۱۰۳
شکل ۶-۱۴: بررسی همزمان ایکس سخت و نرم UIPF1 در ولتاژ ۲۱ kV و فشار ۰/۵ mbar آرگون.....۱۰۴
شکل ۶-۱۵: (الف): میانگین شدت دز داخل محفظه بر حسب فشار گاز آرگون، (ب): تغییرات شدت
HXR بدست آمده از سوسوزن بر حسب فشار گاز آرگون در ولتاژ ۲۵ kV.....۱۰۵
شکل ۶-۱۶: (الف): مقدار دز تابش ایکس بر حسب فاصله شعاعی از آند در فشارهای مختلف آرگون،
(ب): منحنی دو نیم بعدی مقدار دز بر حسب فشار آرگون و فاصله شعاعی از آند در
ولتاژ ۲۵ kV دستگاه UIPF.....۱۰۷
شکل ۶-۱۷: آرایش جدید تحلیلی برای بحث در مورد نتایج.....۱۰۷
شکل ۶-۱۸: توزیع زاویه‌ای تابش‌های ایکس بدست آمده از دزیمترهای GR-200A در ولتاژ ۲۵ kV
و (الف): فشار ۰/۶ mbar و (ب): ۰/۸ mbar گاز آرگون.....۱۰۸
شکل ۶-۱۹: توزیع زاویه‌ای تابش‌های ایکس بدست آمده از دزیمترهای GR-200A در ولتاژ ۲۵ kV
و (الف): فشار ۰/۹ mbar و (ب): ۱/۱ mbar گاز آرگون.....۱۰۸
شکل ۶-۲۰: پاسخ آشکارساز سوسوزن بر حسب پاسخ دزیمترهای گرمالیانی.....۱۱۰
شکل ۶-۲۱: (الف): جریان تخلیه UIPF1 در ولتاژهای متفاوت و فشار یکسان ۰/۵ میلی بار گاز نئون،
(ب): جریان تخلیه UIPF1 در فشارهای متفاوت گاز نئون و ولتاژ یکسان ۲۱ kV.....۱۱۱
شکل ۶-۲۲: (الف) و (ب) زمان کانونی شدن در شرایط مختلف آزمایشگاهی گاز نئون در دستگاه UIPF1.....۱۱۲

شکل ۶-۲۳: فاصله زمانی بین مرکز تنگش تا بیشینه جریان تخلیه در ولتاژهای مختلف و فشارهای متنوع گاز نئون.....۱۱۳
شکل ۶-۲۴: نمودار دو و نیم بعدی عمق تنگش بر حسب ولتاژهای اعمالی و فشارهای مختلف گاز نئون.....۱۱۳
شکل ۶-۲۵: (الف): شدت تابش ایکس سخت دستگاه بر حسب فشارهای مختلف گاز نئون در ولتاژهای ۱۹، ۲۱ و ۲۳ kV، (ب): منحنی دو نیم بعدی تابش ایکس سخت دستگاه بر حسب ولتاژ و فشارهای مختلف.....۱۱۵
شکل ۶-۲۶: بررسی همزمان سیگنال‌های ایکس سخت و مشتق جریان در ولتاژ ۲۳ kV و ۰/۷ mbar گاز نئون.....۱۱۶
شکل ۶-۲۷: شدت تابش ایکس نرم بر حسب فشارهای مختلف گاز نئون در ولتاژهای ۱۹، ۲۱ و ۲۳ kV.....۱۱۷
شکل ۶-۲۸: منحنی دو و نیم بعدی شدت ایکس نرم UIPF1 بر حسب ولتاژ و فشارهای متفاوت گاز نئون.....۱۱۸
شکل ۶-۲۹: بررسی همزمان سیگنال مشتق جریان و ایکس نرم در ولتاژ ۲۳ kV و فشار ۰/۵ mbar نئون.....۱۱۸
شکل ۶-۳۰: سیگنال مشتق جریان گازهای آرگون و نئون در ولتاژ ۲۳ kV و چگالی‌های جرمی مشابه (فشارهای ۰/۳ mbar گاز آرگون و ۰/۶ mbar گاز نئون) ۱۲۰
شکل ۶-۳۱: سیگنال جریان در ولتاژ ۲۳ kV و فشارهای ۰/۳ و ۰/۵ mbar گازهای آرگون و نئون.....۱۲۰
شکل ۶-۳۲: ضریب گرمایی ویژه برای گازهای آرگون و نئون در دماهای مختلف.....۱۲۱
شکل ۶-۳۳ (الف): مرحله اول- قرار گیری نمونه‌ها، (ب): مرحله دوم- پرتودهی برای گرفتن تصویر.....۱۲۵
شکل ۶-۳۴: تصاویر گرفته شده از نمونه‌های متنوع نظیر فلش USB، مدار مجتمع، پیچ‌های مختلف و نمونه‌های فلزی دیگر روی پنجره‌ی شیشه‌ای محفظه در دو شات.....۱۲۶