بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مکانیک

بهینه سازی و طراحی روش اسکن x-ray برای کنترل ابعادی و عیب یابی اتوماتیک قطعات متقارن پرتیراژ

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

محمدحسن کریمی

استاد راهنما

دکتر سید محسن صفوی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته طراحی کاربردی آقای محمدحسن کریمی

تحت عنوان

بهینه سازی و طراحی روش اسکن x-ray برای کنترل ابعادی و عیب یابی اتوماتیک قطعات متقارن پرتیراژ

در تاریخ ۱۳۹۰/۵/۲ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان نامه دکتر سیدمحسن صفوی

۲. استاد مشاور پایان نامه دکتر علیرضا فدایی تهرانی

۳. استاد داور دکتر محسن اصفهانیان

۴. استاد داور دکتر ناصر نهضت

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکترمحمدرضا سلیم‌پور

تشکر و قدردانی

حمد وسپاس خداوند منان را که با لطف بیکرانش در همه مراحل زندگی مرا از فیض خود بهره‌مند ساخته. در ابتدا بر خود لازم میبینم که از زحمات و فداکاریهای بی دریغ پدر و مادر مهربانم که در تمام طول زندگی یار و یاور من بودند کمال تشکر و سپاس‌گذاری را داشته باشم. همچنین از زحمات کلیه عزیزانی که اینجانب را در مراحل انجام پروژه یاری رساندند به‌خصوص استاد راهنما آقای دکتر سیدمحسن صفوی، استاد مشاور آقای دکتر علیرضا فدایی تهرانی همچنین آقای مهندس کامیار ثابت‌قدم و مرکز تصویربرداری جم، کمال تشکر را دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- راه‌های موجود ۳

۱-۲-۱- مقایسه گر بادی(Air Comparator) ۳

۱-۲-۲- پردازش تصویر(Image Processing) ۳

۱-۲-۳- سنسورهای فاصله سنج لیزری ۳

۱-۲-۴- سنسور التراسونیک ۴

۱-۲-۵- رادیوگرافی ۴

۱-۳- تعریف دقیق مساله و فرضیات و مرحله بندی کارهای پروژه ۵

۱-۳-۱- تغذیه کننده ۶

۱-۳-۲- مخزن پرکننده ۷

۱-۳-۳- سیستم انتقال ۷

۱-۳-۴- تصویربرداری ۷

۱-۳-۵- واحد پردازنده‌ی مرکزی ۷

۱-۳-۶- جداساز ۸

۱-۴- تاریخچه‌ی تحقیقات انجام شده ۸

۱-۴-۱- تاریخچه‌ی کدهای مبتنی بر روش تعقیب اشعه و کاربرد آن‌ها ۸

۱-۴-۲- کدهای مبتنی بر روش مونته کارلو ۹

۱-۵- نحوه تدوین پروژه ۱۱

فصل دوم اجزای دستگاه

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- تغذیه کننده ارتعاشی کاسه‌ای ۱۲

۲-۲-۱- تاریخچه مختصر: ۱۳

۲-۲-۲- مباحث مطرح در تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه‌ای: ۱۳

۲-۲-۳- تعیین متغیرهای تغذیه کننده ۱۴

۲-۲-۴- مکانیک انتقال ارتعاشی ۱۴

۲-۲-۵- اثر فرکانس ۱۶

۲-۲-۶- اثر شتاب مسیر ۱۷

۲-۲-۷- اثر زاویه ارتعاش ۱۸

۲-۲-۸- اثر زاویه مسیر ۱۸

۲-۲-۹- اثر ضریب اصطکاک ۱۹
۲-۲-۱- تخمین سرعت انتقال متوسط ۲۰
۲-۲-۲- آنالیز راندمان جهت‌دهی ۲۰
۲-۲-۳- تله‌های جهت‌دهی ۲۳
۲-۳- مخزن پرکننده ۲۶
۲-۴- مکانیزم انتقال قطعات جهت‌دهی شده به واحد عکس‌برداری و مکانیزم خروج قطعه‌ی عکس‌برداری شده ۲۸
۲-۵- جداساز ۳۱
۲-۶- نتیجه‌گیری ۳۳

فصل سوم عکس‌برداری

۳-۱- مقدمه ۳۴
۳-۲- اشعه ایکس ۳۴
۳-۲-۱- تولید پرتو ایکس ۳۴
۳-۲-۲- طیف پرتو ایکس ۳۵
۳-۲-۳- توزیع زاویه‌ای پرتو ایکس ۳۶
۳-۲-۴- جذب نمایی فوتون‌ها و ضریب تضعیف خطی ۳۷
۳-۳- منابع جذب اشعه ۳۹
۳-۳-۱- فوتوالکتریک ۳۹
۳-۳-۲- پراکنش کمپتون ۳۹
۳-۳-۳- پراکنش ریلی ۴۱
۳-۳-۴- تولید جفت ۴۲
۳-۳-۵- ضریب تضعیف کل ۴۲
۳-۴- منابع اشعه ایکس ۴۳
۳-۵- انواع آشکارسازها ۴۴
۳-۵-۱- مروری بر آشکارسازهای CR و DR ۴۵
۳-۵-۲- آشکارسازهای CR ۴۵
۳-۵-۳- رادیوگرافی دیجیتال ۴۷
۳-۵-۴- آشکارسازهای دیجیتال غیرمستقیم ۴۷
۳-۵-۵- آشکارسازهای دیجیتال مستقیم ۴۸
۳-۶- انتخاب نوع منبع و آشکارساز ۵۰
۳-۶-۱- سایه‌روشن ۵۰
۳-۶-۲- انتخاب منبع و آشکارساز ۵۱
۳-۷- شبیه‌سازی تصویر ۵۲

۳-۷-۱- روش تعقیب اشعه ۵۳
۳-۷-۲- روش مونته‌کارلو ۵۳
۳-۸- تایید عملکرد شبیه‌سازی تصاویر توسط کد MCNPX ۵۹
۳-۸-۱- عکس‌برداری عملی ۵۹
۳-۸-۲- مقایسه نتایج ۶۲
۳-۹- نتیجه‌گیری ۶۵

فصل چهارم پردازش تصویر

۴-۱- مقدمه ۶۶
۴-۲- روش‌های تشخیص لبه ۶۶
۴-۲-۱- عملگرهای گرادیانی ۶۷
۴-۲-۲- لاپلاسین تابع گوسی دو بعدی ۶۸
۴-۳- ضرایب اصلاح ۶۹
۴-۳-۱- ضریب اصلاح استوانه‌ای ۶۹
۴-۳-۲- ضریب اصلاح خطی ۷۰
۴-۳-۳- ضریب اصلاح زاویه‌ای ۷۱
۴-۴- تاثیر عوامل مختلف روی تصویر و بهینه سازی آن‌ها ۷۱
۴-۴-۱- معیار بهینه‌سازی ۷۲
۴-۴-۲- انرژی الکترون منبع ۷۲
۴-۴-۳- فاصله‌ی منبع تا قطعه ۷۹
۴-۴-۴- اجزای سیستم ۸۶
۴-۴-۵- فیلتر ۸۷
۴-۵- تشخیص عیوب ۸۹
۴-۵-۱- عیوب ساختاری ۸۹
۴-۵-۲- عیوب هندسی ۹۱
۴-۶- اندازه‌گیری زاویه ۹۲
۴-۷- پیاده‌سازی الگوریتم پردازش تصویر و انجام اندازه‌گیری ۹۳
۴-۷-۱- پیاده‌سازی الگوریتم روی تصویر گرفته شده ۹۶
۴-۸- نتیجه‌گیری ۹۶

فصل پنجم: . نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۸

۵-۲- پیشنهادات ۹۹
پیوست الف فایل‌های ورودی نرم‌افزار MCNPX ۱۰۱
مراجع ۱۰۵

چکیده

در این پژوهش به بررسی امکان کنترل ابعادی اتوماتیک قطعات متقارن با رادیوگرافی و پردازش تصویر پرداخته شده است. جهت کاربردی کردن پژوهش، بررسی‌ها روی قطعه‌ای صورت پذیرفته که در تیراژ ۲۰۰۰۰۰ عدد در سال تولید می‌شود و از حساسیت بسیار بالایی در مجموعه‌ی خود برخوردار است.

به منظور اتوماسیون فرایند کنترل ابعادی برای تغذیه‌ی اتوماتیک قطعات، تغذیه کننده‌ی ارتعاشی کاسه‌ای با تعبیه‌ی تله‌های مناسبی برای جهت‌دهی مطلوب قطعات در مسیر خروجی تغذیه‌کننده طراحی شده است. همچنین مکانیزم‌های آزادکننده، انتقال قطعات جهت‌دهی شده به صورت تک‌تک به قسمت تصویربرداری و خروج قطعه‌ی اندازه‌گیری شده به سمت مکانیزم جداساز با ادغام در یکدیگر طراحی شده است. مکانیزم جداساز ی نیز طراحی شده که قطعات را در سه دسته‌ی سالم، قابل اصلاح و معیوب از هم جدا می‌کند.

برای بررسی اثر عوامل مختلف روی تصویر رادیوگرافی، از شبیه‌سازی این تصاویر توسط نرم‌افزار MCNPX که مبتنی بر روش مونته کارلو می‌باشد، استفاده شده است. برای تایید عملکرد نرم‌افزار شبیه‌سازی، از قطعه‌ی موجود توسط دستگاه ماموگرافی دیجیتال مرکز رادیوگرافی جم اصفهان تصاویر رادیوگرافی تهیه شده است. با پیاده‌سازی کامل شرایط تصویربرداری و مدل‌سازی متغیرهای منبع، جسم، چیدمان و آشکارساز دستگاه ماموگرافی در نرم‌افزار MCNPX، تصاویر گرفته شده شبیه‌سازی شده‌اند که تطابق بسیار خوب بین آن‌ها بررسی و تایید شده است. همچنین با بررسی اثر اندازه‌ی نقطه‌ی کانونی، نوع منبع و نوع آشکارساز روی وضوح و دقت تصویر، حداقل‌های لازم برای دسترسی به دقت کنترل ابعادی ۰/۰۱ میلی‌متری معرفی شده‌اند.

الگوریتم شناسایی لبه‌های تصویر به کمک لاپلاسین تابع گوسی دو بعدی تعریف شده است. مقدار شیب عبور از صفر نمودار مشتق دوم هر سطر از تصویر به عنوان معیاری برای قدرت شناسایی لبه معرفی شده و متغیرهای موثر در تصویر قطعه مانند انرژی الکترون منبع، فاصله‌ی محور قطعه تا نقطه‌ی کانونی مولد اشعه ایکس و فیلترهای ثانویه شبیه‌سازی شده است و مقدار بهینه‌ی آن‌ها برای قطعه‌ی نمونه و برای اولین بار در این پژوهش، به دست‌آمده است. جهت تشخیص عیوب هندسی عدم هم‌مرکزی و بیضوی بودن سطوح به همراه عیوب ساختاری مانند ترک، حفره و ناخالصی، الگوریتمی بر مبنای شناسایی محل لبه‌ها، تعیین ضخامت دیواره‌ها در هر مقطع و مقایسه‌ی تصویر گرفته شده با تصویر ذخیره‌شده برای اندازه‌هایی که از قطعه به دست آمده است، معرفی شده و عملکرد آن بررسی تایید شده است.

الگوریتم تشخیص لبه‌ها در نرم‌افزار صنعتی Labview پیاده‌سازی شده است و عملکردآن روی تصاویر تهیه شده از قطعه بررسی شده و اندازه‌های قطعه پس از اعمال ضرایب اصلاح استوانه‌ای و زاویه‌ای از تصویر استخراج شده است. با وجود اینکه تصویر قطعه در آشکارساز تنها از دقتی ۴۲۲×۵۲۸ پیکسلی برخوردار بود، دقت اندازه‌های محاسبه شده توسط الگوریتم پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار به ۰/۰۳ میلی‌متر رسیده است. نشان داده شده که دسترسی به هدف پژوهش که اندازه‌گیری با دقت ۰/۰۱ میلیمتر است در صورت استفاده از مولد اشعه ایکس مناسب و تهیه‌ی تصاویر با دقت بالاتر، به راحتی محقق می‌شود. دقت خروجی برنامه‌ی پردازش تصویر در محاسبه‌ی زاویه‌ی داخلی قطعه از تصاویری که با آشکارساز ۴۰۹۶×۳۳۲۸ پیکسلی و شرایط بهینه‌ی پیشنهاد شده برای منبع و فاصله‌ها، شبیه‌سازی شده‌اند نیز کمتر از ۰/۱ درجه و در محاسبه‌ی قطرها کمتر از ۰/۰۰۵ میلی‌متر به دست آمده است. این دقت‌ها محدوده‌ی وسیعی از قطعات صنعتی را پوشش می‌دهد، که اتوماسیون فرآیند کنترل ابعادی قطعات متقارن، با استفاده از رادیوگرافی و پردازش تصویر را امکان‌پذیر می‌کند. همچنین معیار بهینه‌سازی معرفی شده در این پژوهش قابلیت استفاده برای قطعات دیگر را فراهم کرده است.

کلمات کلیدی: کنترل ابعادی، اتوماسیون، رادیوگرافی، شبیه‌سازی تصویر، MCNPX، مولد اشعه ایکس، پردازش تصویر، قدرت لبه

فصل اول:
مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

امروزه با توجه به پیشرفت های حاصل در صنعت اتوماسیون و ابزارهای پیشرفته ساخت و بازرسی و همچنین تولید قطعات با دقت های بیشتر و ابعاد کوچک تر نیاز به استفاده از روش های اندازه گیری مختلف برای کنترل ابعاد قطعات ساخته شده احساس می شود. در صورت داشتن قطعات کنترل شده و استاندارد، هزینه های بعدی مانند هزینه‌ی کنترل کیفی، خدمات پس از فروش و ضمانت های بعدی به دلیل استفاده از قطعات سالم و در محدوده استاندارد به شدت کاهش می‌یابد. همچنین اگر قطعات دارای عیوبی چون خلل و فرج یا ترک و یا حفره‌های درونی باشند امکان ردیابی و تشخیص آن‌ها با روش‌های معمول وجود ندارد. اگر قطعاتی که ساخته شده‌اند از درجه اهمیت بالایی برخوردار باشند و نیاز به کنترل ابعادی و کنترل عیوب آن ها حتی پس از ساخت نیز احساس شود یا امکان کنترل دقیق فرآیند ساخت برای رسیدن به بازده‌ی بالا در حین ساخت مقدور نباشد یا مستلزم هزینه‌های بالایی باشد استفاده از روش‌های اندازه گیری متداول در موارد زیر بازده‌ی مناسبی نخواهد داشت:

- تیراژ قطعات زیاد باشد
- ابعاد قطعات کوچک باشد
- قطعات دارای زوایایی با اندازه های کوچک و دور از دسترس وسایل اندازه‌گیری معمول باشند
- تعداد بعدهای اندازه‌گیری زیاد و زمان بر باشد
- دقت قطعات بالا باشد
- امکان وجود ترک و عیوب مختلف و اثرات ناشی از آن‌ها در قطعه بالا باشد

در صورت واقع شدن موارد فوق، اندازه گیری و کنترل ابعادی قطعات توسط اپراتور با توجه به تیراژ بالا، کوچکی قطعات و ابعاد داخلی، کاری سخت و پرهزینه خواهد شد ضمن آنکه عیوب نیز قابل تشخیص نیستند.

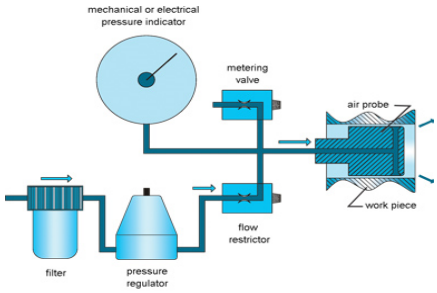
۱-۲- راه‌های موجود

مهندسان برای رفع نیاز کنترل ابعادی روش‌های زیر را توسعه داده‌اند:

۱-۲-۱- مقایسه گر بادی(Air Comparator)

اساس این روش مستقیماً به تغییرات فشار و دبی جریان هوا نسبت به میزان تغییرات فاصله سطح تا نازل باز می‌گردد. براین اساس مقایسه‌گرهای بادی با دو روش فشاری و جریانی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

استفاده از این روش مزایای زیر را دارد:



Back Pressure Comparator Circuit

- اندازه‌گیری بدون تماس (Non-contact Inspection)
- دقت و بزرگنمایی بالا (High Magnification)
- تمیز کاری اتوماتیک سطح (Self-cleaning)
- عمر طولانی (Long Life)
- اندازه‌گیری مرکب (Multiple Inspections)
- حسگر قابل تعویض (Interchangeable Tooling)
- تکرارپذیری و تکثیرپذیری بسیار مطلوب

در این روش با وجود مزایایی که نام برده شد بازهم با محدودیت‌هایی روبه‌رو هستیم مانند :

- قیمت بالای المان های اندازه گیری
- محدوده پایین اندازه گیری
- محدودیت ساخت المان های اندازه گیری
- حساسیت به صافی سطح
- نیاز به مسترهای گران قیمت
- صورت وجود سوراخ ها و قطرهای خارجی و یا مخروطهای داخلی و خارجی در طول‌های کم‌تر از ۵ میلی‌متر دچار محدودیت و در طول های کم‌تر از ۱ میلی متر این روش دچار ناتوانی می‌شود.

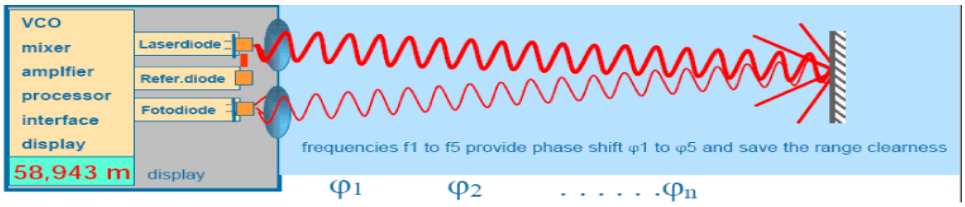
۱-۲-۲- پردازش تصویر(Image Processing)

در این روش با عکس برداری در محدوده نور مرئی از قطعات، اندازه‌های ابعادی آن‌ها را استخراج می‌کنند. با استفاده از این روش می‌توان ابعاد خارجی قطعه را، با پردازش تصویر پیدا کرد ولی از آنجا که نور مرئی قادر به عبور از قطعه و نفوذ در آن نیست با این روش نمی‌توان ابعاد داخلی قطعه را اندازه‌گیری کرد.

۱-۲-۳- سنسورهای فاصله سنج لیزری

در این سنسورها فاصله پرتوی لیزر خروجی از سنسور تا مانع روبه‌رو با استفاده از پرتوی بازتابی قابل اندازه‌گیری است و می‌توان با این سنسورها ابعاد خارجی قطعه را اندازه‌گیری کرد ولی اندازه‌گیری ابعاد داخلی قطعه از دسترس این سنسورها خارج است.

استفاده از این سنسورها به دلیل عدم توانایی ذاتی در اندازه‌گیری ابعاد داخلی، تنها برای اندازه‌گیری ابعاد بیرونی قطعه کاربرد دارد.



۱-۲-۴- سنسور التراسونیک

در این سنسورها از امواج صوتی با فرکانسی حدود 0.1-25 MHz استفاده می‌کنند که با توجه به سرعت صوت در جامدات 1000-6000 m/s طول موجی برابر با 0.1-10 mm خواهند داشت. با برخورد موج التراسونیک با جسم و همچنین خروج آن از جسم پیک‌هایی در گیرنده‌ی سنسور ایجاد می‌شود که برای مثال در قطعه‌ی مورد نظر ما ۴ پیک خواهیم داشت که با داشتن سرعت صوت در قطعه و هوا می‌توان قطر خارجی و داخلی قطعه را محاسبه کرد.

البته چون سرعت صوت در هوا تابع عواملی چون دما، رطوبت وچگالی است و هوا نوعی عایق صوتی محسوب می‌شود برای دقیق بودن اندازه‌گیری‌ها، این اندازه‌گیری‌ها بایستی در شرایط کنترل شده صورت بگیرد و همچنین طول موج این امواج از دقت اندازه‌گیری‌ها که معمولا 0.5 mm است بیشتر بوده و استفاده از این روش به دلیل تاثیرپذیری اندازه‌گیری‌ها از شرایط محیطی و کاهش در دقت اندازه‌گیری پیشنهاد نمی‌شود.

۱-۲-۵- رادیوگرافی

بازرسی و تست غیر مخرب با استفاده از رادیوگرافی از همان ابتدای کشف اشعه ایکس توسط کنراد رنتگن در سال ۱۹۸۵ که منجر به دریافت جایزه نوبل سال ۱۹۰۱ شد مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. همچنین برای برطرف کردن موانع فوق و یکپارچه کردن کنترل ابعادی و عیب‌یابی، روش اسکن اشعه ایکس (رادیوگرافی) توسعه داده شده است، که مزایای زیر را به همراه دارد:

- امکان مشاهده کلیه وجوه داخلی و خارجی قطعه
- امکان نمایش همزمان عیوب داخلی (ترک، حفره و ...) که با روش‌های معمول غیر ممکن است
- انعطاف‌پذیری در اندازه‌گیری قطعات مختلف با همان سیستم

مبنای تشکیل تصویر x-ray به این صورت است که بخشی از طیف اشعه ایکس با عبور از ماده جذب می شود . هر چه ماده‌ای که اشعه باید از آن عبور کند به دلیل چگالی ماده یا طول پیموده شده در ماده بیشتر باشد، میزان اشعه جذب شده بیشتر می‌شود. اشعه‌ای که از ماده عبور می‌کند با یک آشکارساز برخورد می‌کند که تصویری در طیف خاکستری تشکیل می‌دهد، قسمت‌هایی که چگالی بیش‌تر یا طول بیش‌تری در مسیر اشعه داشته‌اند در تصویر به صورت تیره‌تر ظاهر می‌شوند و در غیر این صورت به صورت نقاط روشن در تصویر پدیدار خواهند شد.

موضوع اصلی در رادیوگرافی دستیابی به بهترین تصویر برای مشاهده‌ی جزییات مطلوب از جسم مورد نظر است. بنابراین سیستم رادیوگرافی باید تصاویری با بالاترین نسبت سیگنال به نویز را در زمان کوتاهی فراهم کند. علاوه بر این سیستم‌های مدرن بازرسی باید توانایی انجام فرایندها به طور کاملا اتوماتیک و با قدرت و قابلیت اعتماد بالا را دارا باشند.

بازرسی توسط اشعه ایکس روشی است که در آن تصویری دو بعدی از جسم سه بعدی روی صفحه‌ی آشکارساز تشکیل می‌شود و بنابراین جزییات داخلی و خارجی جسم در تصویر ایجاد شده نیز منتقل می‌شود. پس می‌توان ابعاد داخلی را چون ابعاد خارجی قطعه مورد بررسی قرار داد.

هزینه‌ی اولیه بالا و نیاز به تدابیر ایمنی اصلی‌ترین عیب روش رادیوگرافی است که استفاده از این سیستم‌ها را در صنایع نظامی و بسیار حساس توجیه‌پذیر می‌کند.

۱-۳- تعریف دقیق مساله و فرضیات و مرحله بندی کارهای پروژه

طی مذاکراتی که با شرکت فراکوش سپاهان واقع در شهرک علمی تحقیقاتی استان اصفهان صورت گرفت پروژه‌ای با عنوان کنترل ابعادی اتوماتیک قطعه‌ی نشان داده شده در شکل ۱-۱ معرفی گردید که پس از بررسی‌های اولیه دو روش ۱- کنترل ابعادی با مقایسه‌گرهای بادی و ۲- کنترل ابعادی با رادیوگرافی و پردازش تصویر پیشنهاد گردید. قطعه ی مذکور از قطعات پرتیراژ (۲۰۰۰۰۰ قطعه در سال) و بسیار حساس است که با وجود کنترل روند ساخت، ابعاد قطعه‌ی تولید شده به صورت دستی کنترل می‌شود. جنس قطعه از آلیاژ آلومینیوم ۷۰۷۵ است و حول محورش تقارن دارد. هم‌اکنون از سنجه‌های برو – نرو[1] برای کنترل حد بالا و پایین اندازه‌ی هر یک از سوراخ‌های داخلی استفاده می‌شود و از سنجه‌های نعلی شکل برو - نرو[2] نیز برای کنترل حد بالا و پایین قطرهای خارجی قطعه و بهره می‌برند. همچنین برای اندازه‌گیری زاویه‌ی داخلی با وارد کردن دوگوی کروی با اندازه‌ی متفاوت و اندازه‌گیری ارتفاعی که گوی‌ها با لبه‌ی قطعه پیدا می‌کنند، زاویه‌ی داخلی را کنترل می‌نمایند.کنترل اندازه‌ها برای سه قطر داخلی، دو قطر داخلی و زاویه‌ی داخلی فرایندی زمان‌بر و مشکل است که به همراه تیراژ بالای قطعات، اتوماسیون کنترل ابعادی را برای سازنده جذاب کرده است.

در مذاکرات اولیه به دلیل آشنایی بیشتر مذاکره‌کنندگان با مقایسه‌گرهای بادی و عدم اطمینان از کارا بودن روش کنترل ابعادی با رادیوگرافی و پردازش تصویر، روش اول برای فاز بعدی انتخاب شد. اما با توجه به طولانی شدن زمان مذاکرات، از دست رفتن زمان و عدم امضای قرارداد برای کنترل ابعادی اتوماتیک با روش مقایسه‌گرهای بادی ادامه‌ی مطالعات در آن زمینه متوقف گشت. اما پس از مشورت با استاد راهنما، کارایی و بهینه‌سازی متغیرهای روش کنترل ابعادی اتوماتیک قطعات متقارن با رادیوگرافی و پردازش تصویر به عنوان مساله‌ی اصلی پژوهش تعریف شد تا ضمن معرفی روش جدیدی در کنترل ابعادی قطعات متقارن، عملکرد این روش بررسی و از کارایی آن اطمینان حاصل شود.

مساله‌ای که در این پژوهش مطرح شده، بهینه سازی و طراحی روش رادیوگرافی برای کنترل ابعادی و عیب یابی اتوماتیک قطعات متقارن پرتیراژ است. برای کاربردی‌تر کردن پژوهش از همان قطعه‌ای که در شکل ۱-۱ معرفی شده است به عنوان قطعه مرجع استفاده شده است. بنابراین هدف پژوهش به صورت زیر تعریف می‌شود.

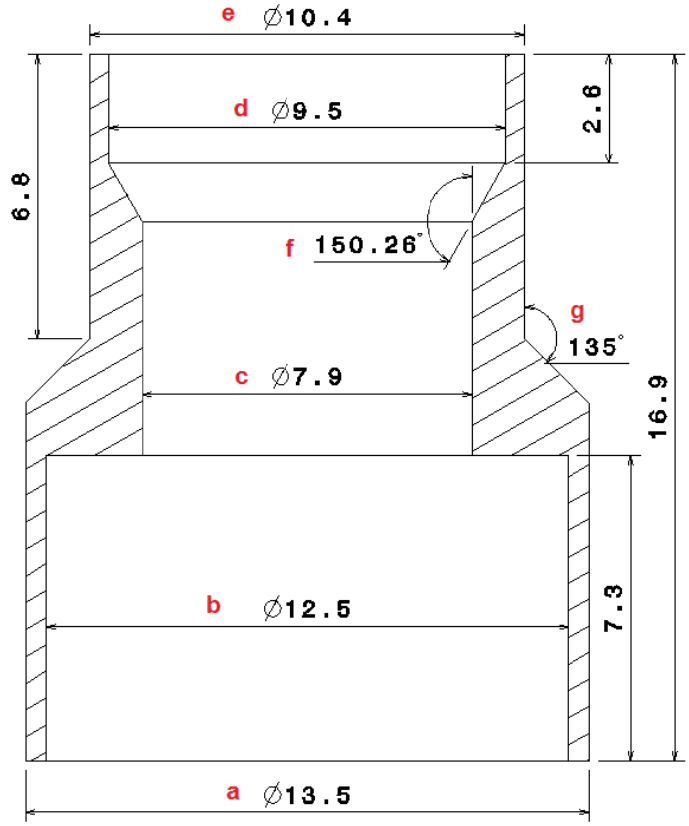
طراحی مکانیزم‌های لازم برای تغذیه، انتقال و جداسازی قطعات معرفی شده به صورت کاملا اتوماتیک، معرفی روش کنترل ابعادی با رادیوگرافی و پردازش تصویر، بررسی متغیرهای موثر روی تصویر و معرفی بهترین ترکیب برای دسترسی به نتیجه‌ی مطلوب.

بدین منظور ابتدا سیستمی طراحی می‌شود که قطعات ساخته شده‌ای را که به صورت نامنظم و روی هم انباشته تحویل می‌گیرد پس از جهت دهی و تغذیه‌ی اتوماتیک، وارد قسمت تصویربرداری کند. پس از تصویر برداری و استخراج ابعاد قطعه با پردازش تصویر، در صورت واقع شدن ابعاد قطعه در محدوده‌ی مطلوب، قسمت جداساز آن را به عنوان قطعه‌ی سالم به سبد مخصوص قطعات سالم هدایت کند و در غیر این صورت قطعات در سبد قطعات معیوب جمع‌آوری گردند. برای بررسی کارایی روش و تاثیر متغیرهای مختلفی از جمله دقت و نوع آشکارساز، اندازه و قدرت مولد اشعه ایکس، فیلترها، اجزای مکانیزم و چیدمان تصویربرداری روی تصویر، از شبیه‌سازی تصاویر رادیوگرافی به روش مونته کارلو و کد MCNPX استفاده می‌شود. در ادامه با معرفی معیاری برای قدرت شناسایی

---

1 Go/no go *gauge*
2 Snap gauge

اندازه‌ها در تصاویر، متغیرهای تاثیرگذار روی تصویر با توجه به این معیار شبیه‌سازی و بررسی می‌شوند. در آخر نیز ضمن عکس‌برداری عملی، عمل‌کرد کد شبیه‌ساز بررسی می‌شود.



شکل ۱-۱ تصویر قطعه‌ی آلومینیومی مورد نظر برای کنترل ابعاد و عیوب اتوماتیک

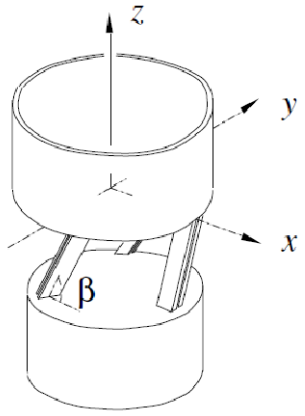
اتوماتیک کردن تمام مراحل کنترل ابعادی از تغذیه‌ی اتوماتیک تا عکس‌برداری و جداسازی، به مکانیزم‌های مناسب نیاز دارد. در ادامه مکانیزم‌های لازم برای این‌کار معرفی شده است که بررسی و طراحی آن‌ها در فصل‌های بعدی به انجام می‌رسد.

۱-۳-۱- تغذیه کننده

تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه ای نقش بسیار مهمی را در تغذیه قطعات خط تولید انبوه بازی می‌کند. تغذیه‌کننده ارتعاشی کاسه ای سیستمی اتوماتیک است که معمول‌ترین مکانیزم در تغذیه قطعات و مواد در مقدار مناسب و مکان درست به منظور مونتاژ و بسته بندی است.

برای مثال کارخانجات تولید پیچ گوشتی اتوماتیک با بهره گیری از تغذیه کننده ارتعاشی کاسه ای اتصالات را جهت دهی می‌کنند و در آزاد کننده‌ای خاص نگه‌داری می‌کنند تا در زمان نیاز آن‌ها را آزاد کنند. موارد دیگری را نیز می‌توان مثال زد از جمله تغذیه قطعات الکترونیکی مانند مقاومت‌ها و خازن‌ها روی بردهای الکترونیکی که به طور معمول از تغذیه‌کننده ارتعاشی استفاده می‌شود[۱].

تغذیه کننده ارتعاشی کاسه ای شامل پلتفورم (کاسه) و پایه است همان‌طور که در شکل ۱-۲ دیده می‌شود. درون کاسه مسیری مارپیچ مانند وجود دارد که روی دیواره ی آن بالا می‌رود. با به ارتعاش در آوردن کاسه به صورت مارپیچی قطعاتی که درون کاسه ریخته شده‌اند در یک ردیف تکی شروع به بالا آمدن می‌کنند بین پلتفورم و پایه سه یا چهاردسته فنر تخت وجود دارد که به صورت مایل و با پیچ به پایه و پلتفورم در هر انتها متصل شده‌اند .



شکل ۱-۲ نمای یک تغذیه‌کننده کاسه‌ای ارتعاشی

تغذیه کننده ارتعاشی کاسه ای با نیروی هارمونیک ارتعاشی سه الکترومغناطیس که به طور منظم روی پایه کار گذاشته شده‌اند کار می‌کند. نیروی سینوسی ایجاد شده از سه الکترومغناطیس گشتاوری حول مرکز دوران پلتفورم اعمال می‌کند. بنابراین سه پایه فنری تخت پلتفورم را قادر به حرکت ارتعاشی مارپیچی می‌کند.حرکت قطعات و جهت‌گیری آن‌ها در کاسه به مقدار زیادی تحت اثر فرکانس‌ها و مودهای ارتعاشی است.

۱-۳-۲- مخزن پرکننده

در صورت استفاده از تغذیه‌کننده‌ی ارتعاشی کاسه‌ای می‌توان از یک مخزن پرکننده استفاده کرد. به دلیل ظرفیت محدود کاسه‌های تغذیه‌کننده ازمخزن پرکننده ای با ظرفیت بالا که با خالی شدن کاسه آن را پر می‌کند در طرح استفاده می‌شود.

۱-۳-۳- سیستم انتقال

این قسمت از دستگاه وظیفه‌ی انتقال قطعات تغذیه شده به قسمت تصویربرداری را برعهده دارد. این سیستم باید به نحوی طراحی شود تا اثر آن روی تصویر رادیوگرافی با عث اخلال در عملکرد الگوریتم پردازش تصویر و استخراج ابعاد و عیوب نشود.

۱-۳-۴- تصویربرداری

این قسمت از مولد پرتو ایکس و آشکارساز تشکیل می‌شود که از قطعه تصویر اشعه ایکس تهیه می‌کند. تهیه‌ی تصویری که گویای تمامی جزییات داخلی و خارجی قطعه باشد و بهترین شرایط را برای شناسایی آن‌ها ایجاد کند، به انتخاب مناسب متغیرهای و عواملی چون: دقت و نوع آشکارساز، اندازه و قدرت مولد اشعه ایکس، فیلترها، اجزای مکانیزم و چیدمان تصویربرداری نیازمند است. بدین منظور به کمک نرم‌افزار MCNPX که شبیه‌سازی تصاویر رادیوگرافی را به روش مونته‌کارلو انجام می‌دهد، اثر این عوامل بررسی می‌شود.

۱-۳-۵- واحد پردازنده‌ی مرکزی

در این قسمت تصویر تهیه شده از قطعه به الگوریتم پردازش تصویر وارد شده و ابعاد و عیوب احتمالی آن شناسایی می‌شوند. اصلی‌ترین قسمت کار پژوهش در این قسمت و در ارتباط تنگاتنگی با قسمت تصویربرداری انجام می‌شود که با معرفی الگوریتم پردازش تصویر و نحوه‌ی تشخیص ابعاد قطعه روی تصویر، معیاری برای بهینه‌سازی همراه می‌شود. در ادامه بهترین انتخاب برای متغیرهای موثر روی تصویر رادیوگرافی با توجه به این معیار و به کمک

شبیه‌سازی تصاویر، بررسی و معرفی می‌شوند. درنهایت ابعاد و عیوب احتمالی قطعه از تصویر استخراج می‌شود و ضمن مقایسه با محدوده‌ی قابل قبول وضعیت سلامت آن را مشخص می‌نماید که در صورت سالم بودن قطعه دستوری به واحد جداساز مبنی بر سالم بودن قطعه ارسال می‌شود.

۱-۳-۶- جداساز

واحد جداساز قطعات سالم را از ناسالم با توجه به نوع عیب آن‌ها جدا خواهد کرد. از آن‌جایی که اشعه ایکس برای بدن انسان مضر است، اتوماتیک شدن فرایند کنترل و بازرسی می‌تواند از در معرض اشعه قرارگرفتن کارگران به مقدار بسیار زیادی بکاهد. همچنین به دلیل طراحی مخزن پرکننده در سیستم تعداد دفعات لازم برای مراجعه به سیستم و پر کردن کاسه‌ی تغذیه کننده، به مراتب کاهش می‌یابد.

هدف در این پروژه طراحی تمام قسمت‌های لازم برای این سیستم اتوماتیک است. در قسمت رادیوگرافی برای کاهش هزینه‌ها، انتخاب بهینه‌ی منبع اشعه تولید ایکس، اجزای انتقال دهنده‌ی قطعه به قسمت عکس‌برداری، فاصله منبع تا آشکارساز، فاصله‌ی قطعه تا آنها و دقت[1] آشکارساز پس از شبیه‌سازی در نرم‌افزار MCNPX و معرفی معیار بهینه‌سازی است.

شبیه‌سازی بایستی از بالاترین دقت و کیفیت برخوردار باشد تا امکان پردازش تصویر به دست آمده که توسط پدیده‌هایی چون پراکنش کمپتون[2]، پراکنش ریلی[3]، پراکنش‌های ثانویه[4] و پراکنش‌های مربوط به اجزای سیستم (انتقال دهنده‌ها، دیواره‌ها و ...)با کاهش کنتراست و وضوح همراه خواهد شد، به نحوی صورت بگیرد تا کنترل ابعاد مورد نظر ما که دقتی به اندازه‌ی ۰/۰۱ میلی‌متر دارد، میسر باشد.

۱-۴- تاریخچه‌ی تحقیقات انجام شده

از زمان کشف اشعه ایکس، قابلیت این اشعه در عبور از اجسام و امکان بررسی داخل آن‌ها همواره موضوع جذابی برای صنعت‌گران و پژوهش‌گران بوده است. کاربردهای مختلفی بر مبنای این خاصیت اشعه ایکس توسعه داده شده است که می‌توان به تصویربرداری‌های پزشکی (که پرکاربردترین نیز هست)، تست‌های غیر مخرب، CT Scan و بررسی عیوب قطعات ریخته‌گری اشاره کرد. به منظور بررسی و پیش‌بینی تصاویر رادیوگرافی کدها و نرم‌افزارهایی توسط پژوهشگرن بر مبنای دو روش تعقیب اشعه و مونته‌کارلو توسعه داده شده است.

۱-۴-۱- تاریخچه‌ی کدهای مبتنی بر روش تعقیب اشعه و کاربرد آن‌ها

کدهای مبتنی بر روش تعقیب اشعه به علت دقت پایین در پیش‌بینی دقیق تصویر بیشتر جهت تخمین شمای کلی تصویر و میزان نمایش جزییات جسم به کار می‌روند که به تعدادی از این کدها و کاربردهایی که برای آن‌ها ایجاد شده است اشاره می‌شود.

یکی از قدیمی‌ترین کدهای شبیه‌سازی بر مبنای این روش، کد XRSIM است [۲،۳،۴،۵،۶،۷]. سابقه‌ی پایه گذاری این کد به پروژه‌ای که NIST در آمریکا بنیان نهاد، باز می‌گردد. از چندین فایل CAD می‌توان برای رادیوگرافی قطعات مختلف با سری‌های مختلف ضرایب تضعیف، در این کد استفاده کرد.

انستیتو تحقیقاتی مواد و بازررسی BAM نیز گروهی برای توسعه کدهای شبیه‌سازی رادیوگرافی تشکیل داده‌اند[۸،۹و۱۰]. اگرچه که کارهای اولیه آن‌ها روی شبیه‌سازی و بیان قطعات با فرمت مکعبی[5]، بود ولی در

1- Resolution
2- Compton scattering
3- Rayleigh scattering
4- Pair production
5- Voxel

نسخه‌های جدیدتری که ارائه داده‌اند توانایی قبول انواع فایل‌های CAD را دارد. کد آن‌ها می‌تواند تصویر عیوب مختلف و قطعات نامتقارن را شبیه‌سازی کند. اغتشاشات تصویر در این کد از طریق توزیع نویز گاوسی مدل می‌شود.
کد شبیه‌سازی دیگر از گروه CNDRI در فرانسه است[۱۱-۱۲]. شبیه‌سازی‌هایی که آن‌ها انجام داده‌اند از پراکنش‌ها صرف‌نظر شده است. آن‌ها از آشکارسازهای خطی استفاده کرده‌آند که به هر صورتی می‌تواند قرار بگیرد. فرض شده که آشکارساز ، ایده‌آل است و تمامی فوتون‌های ورودی را جذب می‌نماید و تشخیص می‌دهد. طیف منبع اشعه ایکس از پایگاه داده‌های تجربی استخراج شده است و برهم کنش‌ها به عنوان تابعی از انرژی محاسبه شده‌اند. ابزار توسعه یافته‌ی آن‌ها توانایی پردازش برخی از بیان‌های معروف CAD را دارد.
RADICAD حاصل پروژه‌ی مشترک اروپایی است که شامل موسسه هوافضای بریتانیا و LETICEA فرانسه می‌شود[۱۳]. هدف توسعه این کد شبیه‌سازی تصویر برای تفریق آن از تصویرهای واقعی به‌دست آمده برای شناسایی عیوب ساختاری قطعات بوده است. کد آنها نیز با صرف‌نظر از پراکنش‌های ثانویه به دست آمده است. نسخه‌ی جدیدتر RADICAD، SINDBAD است [۱۴،۱۵،۱۶]. SINDBAD از رابطه‌های نیمه تجربی برای مدل‌سازی طیف انرژی فوتون‌ای اولیه استفاده کرده است. همچنان اثری از محاسبه فوتون‌های پراکنش یافته دیده نمی‌شود.
کار دیگر که در اینجا به آن اشاره می‌کنیم از موسسه ENEA ایتالیا می‌باشد[۱۷]. در این کد نیز مانندRADICAD به دنبال توسعه‌ی شبیه‌سازی تصویر برای تفریق آن از تصویرهای واقعی به دست آمده برای شناسایی عیوب قطعه، هستند. آن‌ها از منبع نقطه‌ای به همراه گسسته سازی انرژی در شبیه‌سازی‌های خود استفاده کرده‌اند و همچنان مانند دیگران پراکنش‌ها را به حساب نیاورده‌اند. کد شبیه‌سازی دیگر، HADES است که در لابراتوار ملی لورنس لیورمور توسعه داده شده است[۱۸] و از روش تعقیب اشعه استفاده می‌کند. قطعه در این کد با عملگرهای ساده‌ی بولی و اجزایی ابتدایی مانند صفحات ، کرات، استوانه‌ها و مخروط‌ها شبیه‌سازی می‌شود. در این کد نیز تنها شار اولیه فوتون‌ها محاسبه می‌شود و جزء پراکنش یافته باید به طور جداگانه محاسبه شود. HADES از سطح مقطع‌های پایگاه داده‌ی LENDL [۶۴] برای این کار سود می‌برد. HADES می‌تواند علاوه بر فوتون‌ها ،شبیه‌سازی رادیوگرافی را بر مبنای پروتون‌ها به انجام برساند. اینانس، ابزار شبیه‌سازی‌ای توسعه داده است که[۱۹،۲۰،۲۱،۲۲،۲۳،۲۴] می‌توان آن را از محصولات جانبی پروژه‌ی XRSIM دانست. این کد از روش انتقال انتگرالی که فرآیندهای فوتوالکتریک، پراکنش کمپتون و ریلی را شامل می‌شود، استفاده می‌کند. آقای لی و همکاران [۲۵] در مقاله‌ی خود با توسعه‌ی الگوریتمی بر مبنای تعقیب اشعه به شبیه‌سازی تصاویر قطعات ریخته‌گری پرداخته است و تنها تخمینی از تصویر قطعه را ارائه داده است.
به طور کلی در کدهای مبتنی بر روش تعقیب اشعه برای وارد کردن اثرات برهم کنش‌های فوتون با ماده از فاکتورهای حالت[1] و فاکتورهای پراکنش غیر همگن[2] که در پایگاه داده‌های برخی از موسسات پژوهشی اتمی موجود است استفاده می‌کنند.
به اذعان نویسندگانی که از این کدها برای شبیه‌سازی استفاده کرده‌اند دقیق‌ترین و واقعی‌ترین شبیه‌سازی‌ها، با کدهای مبتنی به روش مونته کارلو حاصل می‌شوند.

۱-۴-۲- کدهای مبتنی بر روش مونته کارلو

در این روش مبنای کار، انجام محاسبات آماری و احتمالی روی هر یک از ذرات است. تمامی ذارت تک تک دنبال می‌شوند و مسیرحرکت آن‌ها با توابع توزیع احتمال فرآیندهای مختلف و برهم کنش‌های مختلف تخمین زده

1- form factor
2- incoherent scattering factor

می‌شود و در نهایت اطلاعات مربوط به برهم‌کنش‌ها، تولید ذرات ثانویه و مسیر ذرات ذخیره می‌شوند که با تحلیل این داده‌ها اطلاعات مطلوب استخراج خواهند شد.

تا کنون کدهای متعددی بر پایه‌ی روش مونته کارلو انتشار یافته است که می‌توان به کدهای ETRAN [۲۶] (برگر و سلتزر، ۱۹۸۶)، ITS3 [۲۷] (هالبلیب و همکاران، ۱۹۹۲)، EGS4 [۲۸] (نلسون و همکاران، ۱۹۸۵)، GEANT3 [۲۹] (بورن و همکاران، ۱۹۸۶)، EGSnrc [۳۰] (کاراکو و روجرز، ۲۰۰۱)، MCNP4C و MCNPX [۳۱و۳۲] (X-5 Monte Carlo Team، ۲۰۰۳)، GEANT4 [۳۳] (آگوستینلی و همکاران، ۲۰۰۳، آلیستون و همکاران، ۲۰۰۶)، FLUKA [۳۴] (فراری و همکاران،۲۰۰۵) و EGS5 [۳۵] (هیرایاما و همکاران، ۲۰۰۵) اشاره کرد.کدهای اشاره شده به طور مستمر توسط نویسندگان آن‌ها در حال توسعه و بهبود هستند و در اینجا اشاره‌ی مختصری به آن‌ها شده است. بسیاری از کدهای معرفی شده تنها چند ذره خاص را مورد بررسی قرار داده‌اند، بیشتر این کدها در طراحی راکتورهای هسته‌ای و بررسی مسائل ایمنی آنها، حفاظ سازی، طراحی و تجزیه تحلیل آشکارسازها، چاه‌پیمایی هسته‌ای[1]، طراحی هدف در شتابدهنده‌ها، پرتوپزشکی و پسمانداری سوخت‌های هسته‌ای.کاربرد دارند. ولی تنها در نسخه‌های جدید کد MCNP امکان ترابرد فوتون‌های اشعه ایکس با انرژی‌های مختلف و آشکارسازی آن‌ها فراهم شده و در نتیجه امکان شبیه‌سازی تصاویر رادیوگرافی در آن ایجاد شده است.

آقای دنس و همکارانش [۳۶] با استفاده از روش مونته کارلو تاثیر جنس آند و فیلتر و ولتاژ مولد اشعه ایکس را روی کنتراست تصویر، نسبت اشعه‌های پراکنش یافته به اشعه‌های اولیه و دوز میانگینی که بیمار در تصویربرداری ماموگرافی دریافت می‌کند را بررسی کرده است و بهترین ترکیب جنس آند-فیلتر و ولتاژ تیوب را برای ضخامت‌های مختلف بافت عضو، ارائه کرده است. آقای ماکسیمین و همکاران [۳۷] با استفاده از کد GEANT4 نمودار پاسخ صفحات فسفری (آشکارساز فیلم اسکرین) را در رادیوگرافی شبیه‌سازی کرده است و ضمن مقایسه‌ی نتایج با تصاویر عملی انطباق بسیار خوب شبیه‌سازی با واقعیت را گزارش کرده است. آقای سوزا و همکاران [۳۸] با استفاده از کد MCNPX عملکرد آشکارساز صفحه‌ای پوشیده شده با BaFBr را شبیه‌سازی کرده است و ضمن شبیه‌سازی تصویر رادیوگرافی لوله‌ای از جنس استیل با ترک و حفره‌های کروی درون آن، نتایج را با تصاویر واقعی گرفته شده مقایسه کرده و تطابق خوب دو تصویر را گزارش نموده است. آقای عدالتی و همکاران [۳۹] با استفاده از کدی که خودشان بر مبنای روش مونته کارلو توسعه داده‌اند تصویربرداری با اشعه گاما ازلوله‌های انتقال مواد را شبیه‌سازی نموده‌اند و به بررسی امکان تشخیص عیوب ولی و عرضی پرداخته‌اند. آقای میسلی و همکاران [۴۰] با شبیه‌سازی کامل منبع و قطعه با استفاده از کد GEANT4 تصاویری از یک لوله و پله‌ی آلومینیومی به دست آورده‌اند که با مقایسه‌ی نتایج با تصاویر گرفته شده عملکرد عالی شبیه‌ساز را گزارش نموده‌اند. همچنین نسبت اشعه‌های ثانویه (پراکنش یافته) به اشعه‌های اولیه را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند. آقای آدیتوره و همکاران [۴۱] توسط کد MCNP4C طیف اشعه ایکس را برای چند ترکیب مختلف از جنس آند و فیلتر استخراج کرده و با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه کرده است. ایشان هم به مانند دیگر پژوهش‌گران تطابق خوب نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌ها را گزارش کرده است.

گفتنی است که تاکنون کاری روی کنترل ابعادی قطعات متقارن با یک تصویر و بهینه‌سازی متغیرهای موثر روی تصویر رادیوگرافی انجام نشده است که این پژوهش به آن می‌پردازد.

1- Well Logging