



Research article

Investigating the improvement of the quality of CT scan images in the presence of metal implants in the body¹

Jalal Amin-Rezaei-Astaneh

M.Sc. Student, Department of Medicalradiation, Faculty of Basic Science, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran. jalalaminrezaei85@gmail.com

Fataneh Taghizadeh-Farahmand

Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Science, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran (**Corresponding author**). fataneh_farahmand@yahoo.com

Abstract

Objective: CT scan imaging is one of the imaging methods for better diagnosis of some diseases. But in this imaging method, there is a possibility of correct diagnosis of diseases due to the presence of metal plates. The presence of such false images mostly occurs in the images of the pelvis and head, which causes the lack of correct and early diagnosis of diseases such as colon cancer, cerebral hemorrhage, and stroke. In this regard, the aim of the present study is to investigate the improvement of the quality of CT scan images in the presence of metal implants in the body.

Materials and methods: In this research, the basis of the proposed method is based on interpolation and segmentation, which is achieved through nine stages of image processing with high quality compared to previous methods. The steps are as follows: improving image quality, removing regions of metal parts, segmenting metal parts, transferring the image to the sinogram area, linear interpolation of paths, normalizing the sinogram, interpolating paths, filtering, adding metal parts.

Findings: The present study showed that the effectiveness of the proposed method on large and small implants has a higher quality than the two methods of interpolation of general changes and linear interpolation, and it has a more suitable quality than the method of removing metal parts for large implants.

Conclusion: The proposed method has a more acceptable and more efficient performance in the pelvic region than the two linear and elimination interpolation methods compared.

Keywords: CT scan, Metal orthography, Implant, Sinogram, Metal implant, Pelvis.

1. Received: 2022/04/05 ; Received in revised form: 2022/05/10 ; Accepted: 2022/06/16 ; Published online: 2022/09/23

© the authors

Publisher: Qom Islamic Azad University



<http://sjoapb.journal.qom-iau.ac.ir>



مقاله پژوهشی

بررسی بهبود کیفیت تصاویر سی تی اسکن در صورت وجود نماهای کاشت فلز در بدن^۱

جلال امین رضایی آستانه^۱ | دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه پروتوزشی، دانشکده علوم پایه، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران.
jalalaminrezaei85@gmail.com
دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران (نویسنده مسئول).
fataneh_farahmand@yahoo.com

چکیده

هدف: تصویربرداری سی تی اسکن یکی از روش‌های تصویربرداری برای تشخیص بهتر بعضی از بیماری‌ها است. اما در این روش تصویربرداری نیز احتمال تشخیص صحیح بیماری‌ها به علت وجود درست‌نماهای فلزی وجود دارد. وجود اینگونه درست‌نماها بیشتر در تصاویر لگن و سر رخ می‌دهد که باعث عدم تشخیص صحیح و زود هنگام بیماری‌هایی چون سرطان روده بزرگ، خونریزی مغزی و سکتة مغزی می‌شود. در این راستا، هدف پژوهش حاضر بررسی بهبود کیفیت تصاویر سی تی اسکن در صورت وجود نماهای کاشت فلز در بدن است.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق اساس روش پیشنهادی بر پایه درونیابی و قطعه‌بندی می‌باشد که طی نُه مرحله پردازش تصویر با کیفیت نسبت به روش‌های قبلی، به دست می‌آید. مراحل بدین شرح هستند: ارتقاء کیفیت تصویر، خارج کردن نواحی قطعات فلزی، قطعه‌بندی قطعات فلزی، انتقال تصویر به حوزه سینوگرام، درون‌یابی خطی مسیرها، نرمال کردن سینوگرام، درون‌یابی مسیرها، فیلتر کردن، اضافه کردن قطعات فلزی.

یافته‌ها: مطالعه حاضر نشان داد که میزان تأثیرگذاری روش پیشنهادی بر روی ایمپلنت‌های بزرگ و کوچک، نسبت به دو روش درون‌یابی تغییرات کلی و درون‌یابی خطی، دارای کیفیت بالاتر و نسبت به روش حذف قطعات فلزی برای ایمپلنت‌های بزرگ دارای کیفیت مناسب‌تری بوده است.

نتیجه‌گیری: روش پیشنهادی از دو روش درون‌یابی خطی و حذفی مقایسه شده، عملکرد قابل قبول‌تر و با کارآمدی بیشتری در ناحیه لگن داشته است.

کلیدواژه‌ها: سی تی اسکن، درست‌نمای فلزی، ایمپلنت، سینوگرام، کاشت فلز، لگن.

۱. تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶؛ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۷/۰۱
پژوهش حاضر مستخرج از: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، جلال امین رضایی آستانه، دانشجوی مهندسی هسته‌ای دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم می‌باشد.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم

© نویسندگان



۱. مقدمه

اصطلاح سی تی اسکن، روشی نوینی است که در علوم تشخیصی در فیزیک پزشکی، کاربرد تحقیقاتی و درمانی فراوانی دارد. فناوری سی تی اسکن در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی در سراسر دنیا و در ایران کاربرد وسیعی دارند. تصویربرداری سی تی اسکن از بهترین روش‌های تشخیص بعضی از بیماری‌ها است (۲). همچنین تصاویر سی تی اسکن در مطالعات آناتومی استفاده می‌شود، مانند تصویربرداری مغز، اسکن تمام بدن، بزرگ شدن بطن‌ها و... در این روش، کالبد انسان یا دیگر جانوران به صورت لایه‌به‌لایه اسکن می‌شود و بدین ترتیب بخش‌های درونی بدن بدون نیاز به شکافتن بدن نیز برای پزشکان قابل رؤیت می‌گردد. در تصاویر سی تی اسکن اصطلاحی به نام درست‌نما وجود دارد که به منظور بیان اختلاف بین عدد سی تی اسکن واقعی و عدد سی تی اسکن ثبت شده توسط آشکارسازها بکار می‌رود. تصاویر سی تی اسکن به طور ذاتی بیشتر از تصاویر رادیوگرافی مستعد درست‌نما هستند که این موضوع به دلیل بازسازی تصویر از روی تعداد میلیون‌ها و کسل مستقل می‌باشند (۳). وجود درست‌نماها در تصاویر سی تی اسکن احتمال تشخیص صحیح بیماری‌ها را کاهش می‌دهد. یکی از مهم‌ترین درست‌نماها در تصاویر سی تی اسکن، درست‌نمای فلزی می‌باشد. وجود درست‌نمای فلزی در تصاویر سی تی اسکن لگن و مغز، تشخیص صحیح بیماری‌هایی نظیر سرطان روده بزرگ، خون‌ریزی مغزی و سگته مغزی را با مشکل روبرو می‌کند. به همین دلیل تاکنون برای کاهش این درست‌نما روش‌های مختلفی ارائه شده است، که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشند. بعضی از این محدودیت‌ها عبارتند از عدم توانایی روش برای کاهش درست‌نمای انواع ایمپلنت‌ها، زمان اجرای بالا، پیچیده بودن و... (۶).

کاشت‌های فلزی به دلیل عدد اتمی مؤثر بالا و متفاوت با بافت بدن، باعث ایجاد آرتیفکت‌های فلزی در تصاویر سی تی می‌شوند. وجود این لکه‌های روشن و سخت شدن پرتو در تصاویر سی تی این بیماران در حقیقت به دلیل بالا بودن ضریب تضعیف جرمی این فلزات است که سبب می‌شود اندام‌های حیاتی مانند مثانه، رکتوم و پروستات به طور واضح دیده نشوند و بر همین اساس ناحیه تومور و بخش‌هایی که باید تحت پرتو قرار گیرند، به طور دقیق مشخص نباشند. از دیگر تأثیرات مهم آرتیفکت‌های فلزی بر تصاویر سی تی، تأثیر بر محاسبات دوز سیستم‌های طراحی درمان در بخش‌های رادیوتراپی است. این آرتیفکت‌ها از لحاظ چگالی الکترونی در تصاویر سی تی، مانند یک استخوان و یا فلز ظاهر می‌شوند، درحالی که در واقعیت ممکن است اطراف این کاشت‌های فلزی، بافت نرم وجود داشته باشد. از آنجایی که طراحی درمان با توجه به تصاویر سی تی انجام

می‌گیرد و با توجه به عدد سی تی بسیار متفاوتی که فلز نسبت به بافت‌های اطراف دارند، توزیع دوز و محاسبات سیستم طراحی درمان در حضور این آرتیفکت‌های فلزی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. مزیت اصلی سی تی اسکن، تصویربرداری همزمان از استخوان، بافت نرم و عروق خونی است. در مقایسه با MRI، سی تی اسکن حساسیت کمتری به حرکات بیمار دارد. علاوه بر این، سی تی اسکن حتی با وجود دستگاه پزشکی در داخل بدن هم قابل انجام است (۶). سی تی اسکن تصاویر واقعی از داخل بدن را نیز ارائه می‌دهد.

محققان متعددی روی بهبود تصاویر سی تی مطالعاتی انجام داده‌اند (۵، ۴، ۱، ۶، ۷). پژوهش حاضر درصدد بررسی نماهای کاشت فلز در بدن با استفاده از تصاویر سی تی اسکن بوده و تأثیر آنها را بر روی کیفیت تصاویر سی تی بررسی کرده و روشی برای بهبود تصاویر سی تی در صورت وجود کاشت فلز در بدن ارائه می‌دهد.

۲. اهمیت و ضرورت پژوهش

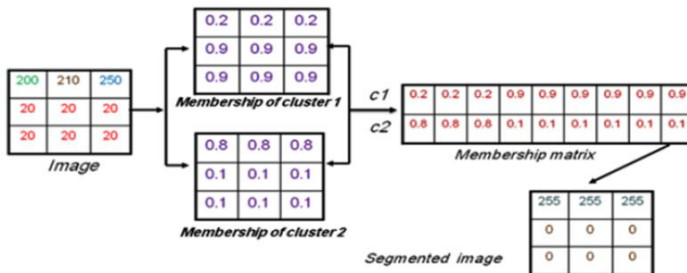
با توجه به اهمیت این موضوع که پزشکان از سی تی اسکن یا همان توپوگرافی کامپیوتری برای بررسی ساختارهای درون بدن استفاده می‌کنند و در سی تی از اشعه ایکس و کامپیوتر برای تولید تصاویری از مقطع عرضی بدن استفاده می‌شود، لذا بررسی نماهای کاشت فلز در بدن با استفاده از تصاویر سی تی اسکن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این روش عکس‌هایی از مقطع‌های بسیار نازکی از استخوان‌ها، عضلات، اندام‌ها و رگ‌های خونی ثبت می‌شود تا متخصص رادیولوژی بتواند درون بدن را با جزئیات بهتری بررسی کنند (۶). دستگاه سی تی اسکن مدرن دارای یک لوله دونات شکل است که اشعه ایکس را به صورت ۳۶۰ درجه به دور بدن می‌تاباند. در نهایت با استفاده از اطلاعات ثبت شده، یک نمای سه‌بعدی با جزئیات از درون بدن ایجاد می‌شود و بررسی درست‌نماها در سی تی اسکن از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است و همین موضوع اهمیت و ضرورت تحقیق را مشخص می‌نماید.

۳. مواد و روش‌ها

این پژوهش با استفاده از الگوریتم پیشنهادی شامل ۴ مرحله انجام شده است. مراحل اجرای پژوهش به این شرح است: ارتقاء کیفیت تصویر، خارج کردن نواحی قطعات فلزی، قطعه‌بندی قطعات فلزی، انتقال تصویر به حوزه سینوگرام، درون‌یابی خطی مسیرها، نرمال کردن سینوگرام، درون‌یابی مسیرها، فیلتر کردن، اضافه کردن قطعات فلزی.

برای تقسیم بندی بهتر، با استفاده از روش تطابق هیستوگرام، سطح روشنایی تصویر کاهش داده می شود تا جزئیات تصویر کاهش یافته و قطعات فلزی، بهتر قابل تقسیم بندی باشند. به منظور تقسیم بندی بهتر، می توان ناحیه های مربوط به قطعات فلزی را از تصویر ارتقاء یافته استخراج نمود. در صورتی که قطعات فلزی دور از هم باشند، از این قسمت صرف نظر می شود.

در تقسیم بندی قطعات فلزی، ناحیه فلزی خارج شده یا تصویر ارتقاء یافته تقسیم بندی می شود و سرانجام کلاس مربوط به قطعات فلزی خارج می گردد. روش تقسیم بندی فازی یکی از مهم ترین و پرکاربردترین مدل های تقسیم بندی می باشد که در شکل شماره (۱) به صورت شماتیک مراحل فازی نمایش داده شده است. هر چقدر تعداد کلاس ها بیشتر باشد، در تصویر سی تی جزئیات بیشتری قابل رویت است. پس از اینکه تصویر قطعات فلزی تقسیم بندی شد، باید مکان اعداد سی تی مربوط به قطعات فلزی در سینوگرام تصویر اولیه جهت درون یابی، معلوم شود. برای مشخص کردن سینوگرام قطعات فلزی و تصویر اولیه، از تبدیل رادون استفاده شده است. سپس مسیرهای قطعات فلزی توسط روش درون یابی خطی در حوزه سینوگرام درون یابی می شود تا تصویر درون یابی اولیه بدست آید. سپس در مرحله بعد تصاویر سینوگرام نرمال می شوند که تصویر اصلاح شده اولیه بدست آید. تصاویر اصلاحی اولیه با استفاده از روش تقسیم بندی فازی به دو قسمت بافت و هوا تقسیم بندی می شود. تصویر تقسیم بندی شده حالت کلی تصویر که شامل بافت و هوا است را نشان می دهد.



شکل ۱- روند تقسیم بندی با روش کلاس بندی فازی

در ادامه، تصویر اصلی و تصویر بافت با استفاده از تبدیل تصویر برگردان فیلتر شده^۱ به حوزه سینوگرام انتقال داده شده و مقدار سینوگرام هر یک از تصاویر نرمال می شوند. در این مرحله

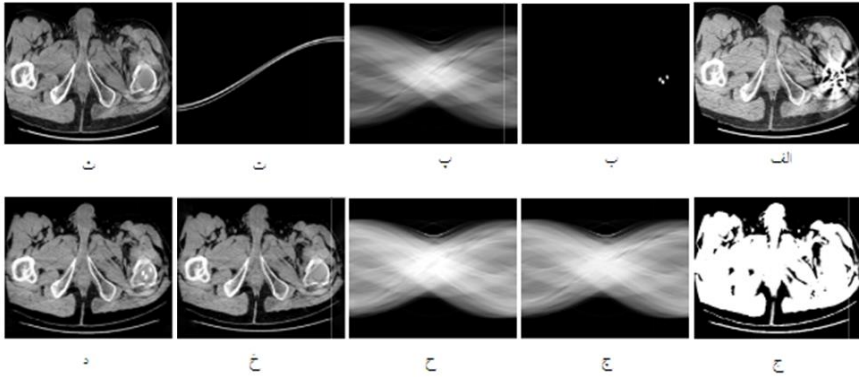
1. Filtered Back Project

مسیرهای فلزی در سینوگرام نرمال شده به وسیله روش درون‌یابی تغییرات کلی^۱ که روشی برای بدست آوردن پیکسل‌های از دست رفته در تصاویر می‌باشد، صورت می‌گیرد.

در تصویر بدست آمده از مرحله درون‌یابی، هنوز خطوطی ناشی از اعمال درون‌یابی وجود دارد که باعث کاهش کیفیت تصویر درون‌یابی شده‌اند. برای کاهش این خطوط، از یک فیلتر دو طرفه استفاده شده است که مزیت آن نسبت به فیلتر گوسی آن بوده که تغییرات کلی تغییری نمی‌کند و کیفیت تصویر بیشتر بهبود می‌یابد. در آخرین مرحله از پردازش، قطعات فلزی تقسیم‌بندی شده به صورت خطی به تصویر فیلتر شده اضافه می‌گردد تا تصویر نهایی اصلاح شده بدست آید.

روند الگوریتم پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده است. در قسمت (الف) از شکل (۲) تصویر سی‌تی‌اسکن از ناحیه لگن یک بیمار به همراه درست‌نمای فلزی که ناشی از جایگزینی مفصل ران با ایمپلنت فلزی می‌باشد، نشان داده شده است. پس از کاهش جزئیات تصویر با استفاده از روش تطابق هیستوگرام و اعمال روش قطعه‌بندی FCM بر روی این تصویر، تصویر قسمت (ب) از شکل (۲)، تصویر قطعات فلزی، بدست می‌آید. با اعمال تبدیل BP به ترتیب بر روی تصویر قطعات فلزی و تصویر اصلی، سینوگرام‌های قسمت‌های (پ) و (ت) از شکل (۲) به ترتیب با نام‌های سینوگرام قطعات فلزی و سینوگرام تصویر اصلی بدست می‌آید. با توجه به مقادیر این دو سینوگرام، سینوگرام الگو حاصل می‌شود که براساس مقادیر این سینوگرام، مسیرهای قطعات فلزی با استفاده از روش درون‌یابی خطی، درون‌یابی می‌شوند تا تصویر اصلاحی اولیه بدست آید (شکل ۲ «ث»). نتایج اعمال قطعه‌بندی روش کلاس‌بندی فازی در دو دسته بر روی تصویر اصلاحی اولیه مشاهده می‌شود، به این تصویر، تصویر بافت گفته می‌شود (شکل ۲ «ج»). برای درون‌یابی بهتر، نیاز به سینوگرام نرمال که از تقسیم سینوگرام تصویر اصلی بر سینوگرام بافت بدست می‌آید، است (شکل ۲ «چ»). سپس از روی سینوگرام نرمال بدست آمده، سینوگرام الگو جهت درون‌یابی مسیرهای فلزی ایجاد می‌شود و در نهایت سینوگرام درون‌یابی شده با روش درون‌یابی TV در شکل (۲) قسمت (ح) نشان داده شده است. پس از انتقال سینوگرام درون‌یابی شده به حوزه تصویر، با انجام فیلتر دو طرفه، درست‌نماهای باقیمانده در تصویر درون‌یابی شده حذف می‌شود (شکل ۲ «خ»). سرانجام، قطعات فلزی و تصویر اصلاح شده، در کنار هم قرار گرفته تا تصویر نهایی در شکل (۲) قسمت «د»، بدست آید. همان‌طور که در تصویر

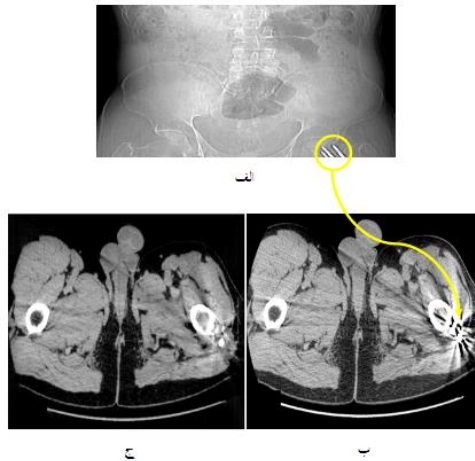
نهایی مشاهده می شود، درست نمای فلزی به خوبی کاهش پیدا کرده است.



شکل ۲- تصویر سی تی اسکن از ناحیه لگن از نماهای متنوع. (الف) تصویر سی تی از ناحیه لگن به همراه درست نمای فلزی ناشی از ایمپلنت فلزی؛ (ب) تصویر فلزات قطعه بندی شده؛ (پ) سینیوگرام تصویر اصلی؛ (ت) سینیوگرام تصویر قطعات فلزی؛ (ث) تصویر درون یابی شده اولیه؛ (ج) تصویر بافت و هوا؛ (چ) سینیوگرام نرمال شده؛ (ح) سینیوگرام درون یابی شده؛ (خ) تصویر درون یابی و فیلتر شده؛ (ذ) تصویر اصلاحی نهایی.

۴. یافته ها

مراحل پردازش توضیح داده شده با استفاده از شبیه سازی به کمک کدنویسی در نرم افزار متلب^۱ برای یک فانتوم در ناحیه لگن انجام شد. مطابق آنچه در شکل (۳) دیده می شود.



شکل ۳- تصویری از ناحیه لگن یک بیمار

در تصویر سی تی اسکن یک بیمار وجود سه ایمپلنت فلزی برای اتصال ایمپلنت مفصل ران به لگن باعث ایجاد درست‌نمای فلزی در تصویر بیمار گردیده است (شکل ۳ «الف و ب»). وجود درست‌نمای فلزی در تصویر این بیمار باعث شد اگر مشکلی در ناحیه لگن وجود دارد، تشخیص داده نشود.

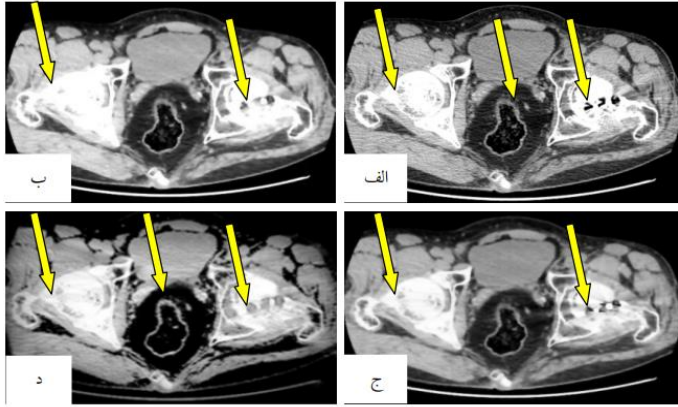
از جمله بیماری‌هایی که ممکن است در ناحیه لگن رخ دهد، سرطان روده بزرگ است، با استفاده از روش پیشنهادی، درست‌نمای فلزی موجود در تصویر سی تی اسکن به خوبی کاهش پیدا کند، بدون اینکه جزئیات بافت‌های دیگر را تحت تاثیر قرار دهد، کیفیت و وضوح و قدرت تفکیک مکانی تصویر نیز بهبود یافت.

۵. نتیجه‌گیری

با استفاده از پردازش نه مرحله‌ای در این تحقیق، تصاویر واضحی از سی تی اسکن در نقاطی که درست‌نمای فلزی وجود دارد، تهیه شد. همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، روش این پژوهش با روش‌های درون‌یابی خطی LI و روش درون‌یابی تغییر کلی TV در صورت وجود درست‌نمای فلزی در ناحیه لگن مقایسه شده است.

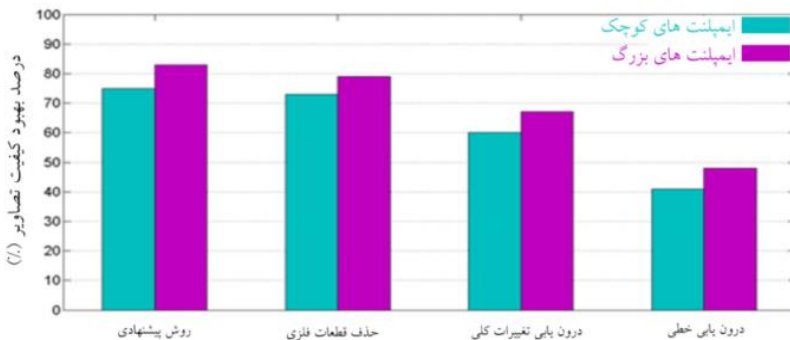
در قسمت (۴-الف) وجود ایمپلنت‌ها باعث ایجاد درست‌نمای فلزی در تصویر سی تی گرفته شده از ناحیه لگن شده که می‌توان آن را مشاهده کرد. همچنین با استناد به نتیجه حاصل از انجام روش درون‌یابی TV خطی که در (شکل ۴ «ب، ج، د») نشان داده شده است، می‌توان گفت بر روی تصاویر ایجاد شده توسط درست‌نمای فلزی، مبتنی بر تصویر قسمت‌های «ب و ج»، کارایی روش درست‌نمای فلزی بهتر از روش درون‌یابی خطی بوده است.

دلیل این نتیجه‌گیری آن بوده که در روش درون‌یابی خطی، جزئیاتی از بافت‌ها از بین رفته و نویزهای مزاحم به تصویر اضافه شده است. با بررسی قسمت‌های «ج و د» تصویر مذکور نتیجه‌گیری می‌شود که درست‌نمای فلزی در روش پیشنهادی، عملکرد بهتری از روش درون‌یابی TV داشته؛ زیرا توانسته بین ناحیه بافت و هوا وضوح خوبی ایجاد کند و نواحی بافت را به خوبی از هم قابل تشخیص نماید.



شکل ۴- تصویر سی تی از ناحیه لگن به همراه درست‌نمای فلزی و تصاویر اصلاح شده آن

در شکل (۴ «الف») تصویر سی تی از ناحیه لگن به همراه درست‌نمای فلزی ناشی از تعویض مفصل ران (ب)، تصویر اصلاح شده با روش درون‌یابی خطی (ج)، تصویر اصلاحی با روش TV (د)، تصویر اصلاح شده با روش پیشنهادی در این تحقیق ارائه شده است. در نهایت می‌توان گفت که روش پیشنهادی از دو روش درون‌یابی خطی و حذفی مقایسه شده، عملکرد قابل قبول‌تر و با کارآمدی بیشتری در ناحیه لگن داشته است. در ادامه نتیجه‌گیری از یافته‌های به دست آمده مبتنی بر میزان تاثیرگذاری روش پیشنهادی بر روی ایمپلنت‌های بزرگ و کوچک مطابق با نمودار (۱) نیز می‌توان گفت روش پیشنهادی نسبت به دو روش درون‌یابی تغییرات کلی و درون‌یابی خطی، دارای کیفیت بالاتر و نسبت به روش حذف قطعات فلزی (MDT) برای ایمپلنت‌های بزرگ دارای کیفیت مناسب‌تری بوده است.



نمودار ۱- نمایش درصد بهبود درست‌نمای فلزی تصاویر سی تی اسکن ناشی از ایمپلنت‌های بزرگ و کوچک

References

1. Baratlo AR. *Determining the accuracy of interpretation of non-contrast brain CT scans performed in the emergency department between emergency medicine doctors and radiologists*. PhD. Thesis. Shahid Beheshti University of Medical Sciences, 2011. [in persian]
2. Eftekhari S, Masoudifard M, Nasiri M, Rostami A, Bayat Sarmadi S, Mohseni Z & Yahyaei A. Quantitative CT Analysis of Pulmonary Pattern in Dogs Affected by Pneumonia, Before and After Intravenous Contrast Medium Administration. *J.Vet Res.* 2019; 74(1): 105-115. **DOI:** 10.22059/jvr.2018.208990.2486. [in persian]
3. Farzad-Mohajeri S, Dehghan MM, Sharifi D, Molazem M, Mokhtari R, Sorouri S & Tavasoli A. A New Technique of Percutaneous Needle Placement Using Computed Tomography for Injection and Aspiration of the Canine Lumbar Intervertebral Disc. *J. Vet Res.* 2019, 74(4): 520-526. **DOI:** <https://doi.org/10.22059/jvr.2019.262925.2831>. [in persian]
4. Morozov SP & et al. *MosMedData: Chest CT Scans With COVID-19 Related Findings Dataset*. 2020. **DOI:** <https://doi.org/10.1101/2020.05.20.20100362>
5. Olfat Sh & Banaee N. The effects of metal implant and metal artifact on the dose distribution during radiation therapy of the pelvic region. *Studies in Medical Sciences.* 2021; 31(12): 934-943. [in persian]
6. Ranjbar S & Jamshidi H. Modeling of the data taken from the CT scan machine with the help of Inosalius medical engineering software. *Scientific Journal of Mechanical Engineering.* 2020; 2: 34-46. [in persian]
7. Son SH, Kang YN & Ryu MR. The Effect of metallic implants on radiation therapy in spinal tumor patients with metallic spinal implants. *Med Dosim.* 2012; 37(1): 98-107012.