

## Enhancing Image Accuracy and Clarity through Combined Neutron and Gamma Radiography for Internal Material Structure Analysis Using MCNP Simulation

Maryam Farajpour<sup>1</sup> , Mehdi Zehtabian  

1. Department of Mechanical Engineering, Nuclear Engineering Division, Shiraz University, Iran. E-mail: [m.farajpour@shirazu.ir](mailto:m.farajpour@shirazu.ir)
2. Department of Mechanical Engineering, Nuclear Engineering Division, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: [mehdizehtabian@yahoo.com](mailto:mehdizehtabian@yahoo.com)

### Article Information:

#### Research Article

Receive 16 August 2024

Revised 27 April 2025

Accepted 30 May 2025

#### Keywords:

Gamma Radiography,  
Neutron Radiography,  
Non-Destructive Testing  
(NDT), Internal Structure  
Analysis, Material  
Properties

Radiography with gamma and neutron rays are two important methods for examining objects that cannot be observed with the naked eye. These include internal anatomy, airplane parts, and nuclear reactor fuels. Neutron and gamma radiography are both non-destructive testing techniques used to inspect the internal structure of objects, but they have key differences. Neutron radiography uses thermal neutrons to penetrate materials, interacting with atomic nuclei rather than electrons. This method is beneficial for detecting light elements like hydrogen and materials with high atomic numbers, making it valuable in aerospace, nuclear, and materials science fields for identifying defects in components. In contrast, gamma radiography uses high-energy photons known as gamma rays that interact with both atomic nuclei and electrons. This technique is effective for inspecting thicker and denser materials and is commonly used in industrial radiography for inspecting welds, detecting corrosion, and examining castings. This research aims to determine whether combining images can provide a better understanding of the object. Radiography images of 11 samples from 11 different materials were taken: Uranium-238 (238U), Natural Uranium (U Nat), Uranium-235 (235U), Lead (82Pb), Silver (47Ag), Copper (29Cu), Nickel (28Ni), Tin (50Sn), Carbon (C 6), Polyethylene (C2H4), and Water (H2O). The study utilized a high-energy gamma source (Cobalt-60Co), a low-energy gamma source (Iridium-192Ir), and a thermal neutron source (energy 0.025 eV). The research was conducted using the MCNP code, and the output data were converted into images using MATLAB software. The results indicate that combining neutron and gamma radiography images provides more information about the object under radiography. This combination enhances the clarity and contrast of the images, enabling more precise identification of the internal structures and features of the material. By integrating these two methods, more comprehensive information about the material's properties can be obtained, allowing for more accurate analysis and aiding in the detection of defects and internal characteristics.

**Cite this article:** Zehtabian, M. & Farajpour, M. (2024). Enhancing Image Accuracy and Clarity through Combined Neutron and Gamma Radiography for Internal Material Structure Analysis Using MCNP Simulation. *Journal of Nondestructive Testing Technology*, 4 (1), 38-46.



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.473653.1152>

Publisher: Iranian Society for Nondestructive Testing

## بهبود دقت و وضوح تصاویر با ترکیب رادیوگرافی نوترونی و گاما در شناسایی ساختارهای داخلی مواد به روش شبیه سازی به کمک کد MCNP

مریم فرج پور<sup>۱</sup>، مهدی زهتابیان<sup>۲</sup>

۱. دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز، بخش مهندسی هسته‌ای، شیراز، ایران. رایانامه: [m.farajpour@shirazu.ir](mailto:m.farajpour@shirazu.ir)  
 ۲. دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز، بخش مهندسی هسته‌ای، شیراز، ایران. رایانامه: [mehdizehtabian@yahoo.com](mailto:mehdizehtabian@yahoo.com)

### چکیده:

رادیوگرافی با پرتو گاما و نوترون دو روش مهم در بررسی اجسامی هستند که امکان مشاهده آنها با چشم غیر مسلح وجود ندارد. برخی از این موارد شامل آناتومی داخل بدن، قطعات داخل هواپیما و سوخت‌های راکتورهای هسته‌ای است. رادیوگرافی نوترونی و رادیوگرافی گاما هر دو تکنیک‌های آزمایش غیرمخرب هستند که برای بازرسی ساختار داخلی اجسام استفاده می‌شوند، اما تفاوت‌های کلیدی دارند. رادیوگرافی نوترونی از نوترون‌های حرارتی برای نفوذ به مواد استفاده می‌کند و به جای الکترون‌ها با هسته‌های اتمی تعامل دارند. این روش برای تشخیص عناصر سبک مانند هیدروژن و مواد با اعداد اتمی بالا سودمند است و آن را در زمینه‌های هوافضا، هسته‌ای و علم مواد برای تشخیص عیوب در اجزای سازنده ارزشمند می‌سازد. برعکس، رادیوگرافی گاما از فوتون‌های پرانرژی معروف به پرتوهای گاما استفاده می‌کند که هم با هسته‌های اتمی و هم با الکترون‌ها تعامل دارند. این تکنیک برای بازرسی مواد ضخیم‌تر و متراکم‌تر، که معمولاً در رادیوگرافی صنعتی برای بازرسی جوش، تشخیص خوردگی و بررسی قطعات ریخته‌گری استفاده می‌شود، موثر است. در این پژوهش با هدف بررسی اینکه آیا میتوان از ترکیب تصاویر به درک بهتری از جسم رسید، تصاویر رادیوگرافی ۱۱ قطعه از ۱۱ ماده مختلف: اورانیوم-۲۳۸ (U<sup>238</sup>)، اورانیوم طبیعی (U Nat)، اورانیوم-۲۳۵ (U<sup>235</sup>)، سرب (Pb<sup>82</sup>)، نقره (Ag<sup>47</sup>)، مس (Cu<sup>29</sup>)، نیکل (Ni<sup>28</sup>)، قلع (Sn<sup>50</sup>)، کربن (C<sup>6</sup>)، پلی‌اتیلن (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) و آب (H<sub>2</sub>O). در این مطالعه از یک چشمه گامای پرانرژی (کبالت-۶۰ (Co<sup>60</sup>))، یک چشمه گامای کم‌انرژی (ایریدیم-۱۹۲ (Ir<sup>192</sup>)) و یک چشمه نوترون حرارتی (انرژی ۰.۰۲۵ eV) استفاده شد.

انجام پژوهش با استفاده از کد MCNP انجام شده و داده‌های خروجی توسط نرم افزار مطلب تبدیل به تصویر شده است. نتایج بدست‌آمده نشان می‌دهد که با ادغام تصاویر رادیوگرافی نوترونی و گاما می‌توان اطلاعات بیشتری در مورد جسم تحت رادیوگرافی به دست آورد. این ادغام باعث افزایش وضوح و کنتراست تصاویر شده و امکان شناسایی دقیق‌تر ساختارها و ویژگی‌های داخلی ماده را فراهم می‌کند. با ترکیب این دو روش، اطلاعات جامع‌تری از خصوصیات ماده به دست می‌آید که تحلیل‌های دقیق‌تری را ممکن می‌سازد و به شناسایی نقص‌ها و ویژگی‌های داخلی ماده کمک می‌کند

استناد: فرج پور، مریم و زهتابیان، مهدی. (۱۴۰۳). بهبود دقت و وضوح تصاویر با ترکیب رادیوگرافی نوترونی و گاما در شناسایی ساختارهای داخلی مواد به روش شبیه سازی به کمک کد MCNP. *مجله فناوری آزمون‌های غیرمخرب*، ۴ (۱)، ۳۸-۴۶.

© نویسندگان

ناشر: انجمن آزمون‌های غیرمخرب ایران

DOI: <http://doi.org/10.30494/jndt.2025.473653.1152>



## ۱- مقدمه

تصویربرداری از مواد متراکم مانند فلزات برتری دارد و آن را برای بازرسی جوش، ریخته‌گری و سایر سازه‌های فلزی مناسب می‌کند. کاربرد گسترده‌ای در صنایعی مانند ساخت و ساز، تولید و پتروشیمی برای ارزیابی خطوط لوله، مخازن تحت فشار و زیرساخت‌های حیاتی پیدا می‌کند [۸، ۱].

هدف این مطالعه، بررسی و تحلیل نمونه‌های مختلف مواد با بهره‌گیری از دو روش تصویربرداری متفاوت و پیشرفته، یعنی رادیوگرافی نوترونی و رادیوگرافی گاما، است. این تحقیق به منظور ترکیب تصاویر حاصل از هر دو روش و دستیابی به درک عمیق‌تر و دقیق‌تری از ویژگی‌ها و ماهیت مواد انجام می‌گیرد.

## ۲- مواد مورد آزمایش و روش انجام کار

ابتدا نمونه‌ها انتخاب می‌شوند (۱۱ نمونه)، سپس هر نمونه با استفاده از روش رادیوگرافی نوترونی تصویربرداری می‌شود که اطلاعات سطحی و ساختاری دقیقی ارائه می‌دهد. در مرحله بعد، همان نمونه‌ها با روش رادیوگرافی گاما تصویربرداری می‌شوند که می‌تواند ویژگی‌های مختلفی را از مواد آشکار سازد.

تصاویر به‌دست‌آمده از هر دو روش، که با استفاده از کد MCNP انجام شده، تحلیل و ترکیب می‌شوند تا نمایی جامع و کامل از ماهیت مواد به‌دست آید. تحلیل این تصاویر با استفاده از رسم پروفایل تصویر بدست آمده و با نسخه ۲۰۱۵ نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده با هم مقایسه می‌شوند تا ارزیابی شود که آیا ترکیب این دو روش تصویربرداری به درک بهتری از ماهیت مواد منجر شده است یا خیر؟

### ۲-۱ مواد مورد مطالعه

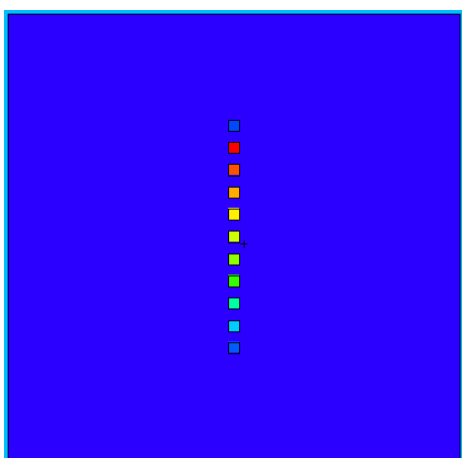
در شبیه‌سازی MCNP، نمونه‌هایی از مواد زیر به ابعاد  $10 \times 10$  سانتی‌متر و با ضخامت ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌اند. جدول مشخصات این مواد به صورت زیر است. در ادامه لیست مواد مورد بررسی به همراه اطلاعات مهم مانند نام، فرمول شیمیایی، جرم مولی، چگالی و تعیین اینکه

رادیوگرافی نوترونی، در اصول، کاملاً شبیه رادیوگرافی گاما است، زیرا هدف هر دو روش ایجاد تصاویری از ساختار داخلی یک جسم با بررسی تغییرات شدت تابش هنگام عبور از جسم است. با این حال، نحوه برخورد پرتوهای نوترون و گاما با مواد مختلف منجر به تصاویر متمایز می‌شود. برخلاف ضرایب میرایی پرتوهای گاما که با افزایش عدد اتمی و چگالی ماده کاهش می‌یابد، ضرایب تضعیف پرتوهای نوترونی در مواد مختلف کاملاً تصادفی است و از قانون خاصی پیروی نمی‌کند. از این رو، برای دستیابی به رادیوگرافی نوترونی موفق، در نظر گرفتن این تفاوت‌ها بسیار مهم است. نوترون‌ها با هسته اتم‌ها به جای الکترون‌های مداری برهم کنش دارند. در نتیجه، احتمال برهم‌کنش به انرژی نوترون‌های ورودی و ساختار داخلی هسته هدف بستگی دارد. این تفاوت در نحوه اندرکنش منجر به تغییرات قابل توجهی در تصاویر تولید شده توسط رادیوگرافی نوترونی و گاما می‌شود که هر روش مزایای منحصر به فردی را برای کاربردهای خاص مانند تشخیص پزشکی، بازرسی‌های صنعتی و تحقیقات علمی ارائه می‌دهد.

به عبارت دیگر رادیوگرافی نوترونی و رادیوگرافی گاما هر دو روش‌های تست غیر مخرب ارزشمندی هستند که هر کدام دارای مجموعه‌ای از مزایای خاص خود هستند. رادیوگرافی نوترونی از تشعشعات نوترونی استفاده می‌کند که معمولاً در راکتورهای هسته‌ای یا شتاب دهنده‌های ذرات تولید می‌شود. نوترون‌ها به ویژه در نفوذ به مواد متراکم و ضخیم که پرتوهای گاما برای عبور از آنها تلاش می‌کنند، موثر هستند. این امر رادیوگرافی نوترونی را برای بازرسی موادی مانند ساختارهای کامپوزیتی، تشخیص خوردگی و بررسی اجزای داخلی در زمینه‌هایی مانند هوافضا، خودروسازی و علم مواد ایده‌آل می‌کند [۱۱].

از سوی دیگر، رادیوگرافی گاما از پرتوهای گامای ساطع شده از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو مانند ایریدیم-۱۹۲ یا کبالت-۶۰ استفاده می‌کند. پرتوهای گاما با الکترون‌های اتم‌ها برهم‌کنش می‌کنند و با افزایش عدد اتمی و چگالی مواد، توانایی نفوذ آن‌ها کاهش می‌یابد. رادیوگرافی گاما در

امکان محاسبه دقیق شار را در هر نقطه از شبکه فراهم می‌کنند [۲۱، ۱۰].



تصویر ۱) هندسه فانتوم شبیه سازی شده شامل مواد مختلف از پایین به بالا به ترتیب عبارتند از اورانیوم ۲۳۸- اورانیوم طبیعی - اورانیوم ۲۳۵ - سرب - نقره - مس - نیکل - قلع - کربن - پلی اتیلن - آب

### ۲-۳ تابش های مورد استفاده

در این تحقیق، از سه نوع چشمه برای تصویربرداری استفاده شده است: نوترون حرارتی، گامای پرنرژی و گامای کم انرژی. چشمه گامای پرنرژی، کبالت-۶۰، دارای دو پرتو گاما با انرژی‌های ۱.۱۷ MeV و ۱.۳۳ MeV است که هر کدام دارای فراوانی ۱۰۰ درصد هستند و برای شبیه‌سازی، میانگین این دو انرژی یعنی ۱.۲۵ MeV در نظر گرفته شده است. چشمه گامای کم انرژی، ایریدیم-۱۹۲، دارای طیف گسترده‌ای از انرژی‌های پرتو گاما است که انرژی فوتون‌های آن به همراه فراوانی‌هایشان در جدول ۱ ارائه شده است [۶، ۷، ۱۲].

جدول ۱) انرژی فوتون‌های چشمه ایریدیم (Ir) گامای کم انرژی

فراوانی	انرژی بر حسب MeV
۰/۴۵	۰/۶۳۴
۰/۱۸	۰/۱۰۹۹
۰/۱۱	۰/۱۳۰۶
۰/۲۲	۰/۱۷۶۹

کدام روش تصویربرداری (راديوگرافي نوتروني يا گاما) برای هر ماده بهتر است، در قالب یک جدول آورده شده است:

نام ماده	فرمول شیمیایی	جرم مولی (g/mol)	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )	روش تصویربرداری بهتر
اورانیوم ۲۳۸	U-238	238.05	19.1	نوترونی
اورانیوم طبیعی	NatU	تقریباً ۲۳۸	19.1	نوترونی
اورانیوم ۲۳۵	U-235	235.04	19.1	نوترونی
سرب	Pb-82	207.2	11.34	گاما
نقره	Ag-47	107.87	10.49	گاما
مس	Cu-29	63.55	8.96	گاما
نیکل	Ni-28	58.69	8.9	گاما
قلع	Sn-50	118.71	7.31	گاما
کربن	C-6	12.01	2.267	نوترونی
پلی اتیلن	C2H4	28.05 (per unit)	0.94	نوترونی
آب	H2O	18.02	1.0	نوترونی

### ۲-۲ هندسه برنامه

برای ایجاد تصویر راديوگرافي، نمونه‌ها درون یک مکعب بزرگ قرار داده شده‌اند که میان آن‌ها هوا قرار دارد. این مکعب به عنوان محیط حفاظتی عمل می‌کند و باعث می‌شود تا تابش‌های اضافی از محیط اطراف حذف شوند و فقط تابش‌هایی که از نمونه‌ها عبور کرده‌اند، محاسبه شوند. چشمه راديوگرافي به فاصله ۱.۵ سانتی‌متر از نمونه‌ها قرار دارد و به صورت یک صفحه بی‌نهایت مدل‌سازی شده است که فوتون‌ها و نوترون‌ها را به صورت موازی ساطع می‌کند. این تنظیم باعث می‌شود تا توزیع یکنواختی از ذرات بر روی نمونه‌ها به دست آید و دقت تصویر افزایش یابد.

با توجه به اینکه چشمه مدل‌سازی شده تابش‌ها را به صورت موازی ساطع می‌کند، فاصله بین نمونه و چشمه فاقد اهمیت است. این بدان معناست که حتی اگر فاصله میان آن‌ها بیشتر یا کمتر شود، تأثیری بر نتایج نهایی نخواهد داشت. برای محاسبه مقدار شار در هر نقطه و ایجاد تصویر راديوگرافي، از کارت‌های مش تالی (FMESH) استفاده شده است. این کارت‌ها با ایجاد یک شبکه منظم از وکسل‌ها،

### ۲-۴ اجرای برنامه

با استفاده از مشخصاتی که در قبل شرح داده شده است برنامه MCNP را نوشته و با استفاده از نسخه 6 از کد مونت کارلو MCNP ران می‌شود.

برای گرفتن تصاویر رادیوگرافی مقدار شار رسیده به هر قسمت به کمک مش تالی (mesh tally) حساب شده است. تبدیل داده‌های موجود در فایل mesh tally به تصویر رادیوگرافی به کمک یک برنامه متلب انجام شده است. این برنامه داده‌های موجود در تصاویر را فراخوانی و به صورت یک تصویر نمایش می‌دهد [۲۲، ۱۹].

### ۳- تحلیل نتایج

به منظور تحلیل نتایج بدست آمده ابتدا به رسم پروفایل هر یک از تصاویر پرداخته میشود.

پروفایل تصویر به نموداری اطلاق می‌شود که توزیع شار یا کمیت‌های فیزیکی دیگر در طول یک خط خاص در تصویر را نمایش می‌دهد. این خط می‌تواند به صورت مستقیم یا منحنی باشد و از نواحی مختلف تصویر عبور کند، که معمولاً از مناطق مهم یا مورد علاقه انتخاب می‌شود. پروفایل تصویر به ما امکان می‌دهد تا تغییرات شار یا سایر کمیت‌ها را در طول این مسیر مشاهده کنیم و اطلاعات دقیق‌تری درباره ویژگی‌ها و خصوصیات مواد به دست آوریم.

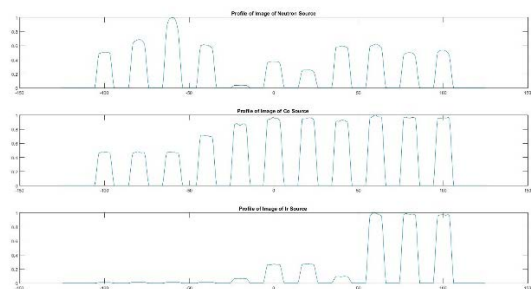
برای رسم پروفایل تصویر، ابتدا خط پروفایل مشخص می‌شود و سپس شار یا کمیت فیزیکی در نقاط مختلف این خط محاسبه می‌شود. این مقادیر بر روی محور عمودی و موقعیت نقاط بر روی خط پروفایل بر روی محور افقی قرار می‌گیرند تا نموداری ایجاد شود که تغییرات شار در طول خط را نمایش دهد. این نمودار می‌تواند نواقص و ویژگی‌های خاص مواد را آشکار کند و به ما کمک کند تا تفاوت‌ها و شباهت‌های مواد مختلف یا تغییرات ناشی از شرایط مختلف را تحلیل کنیم.

پروفایل تصویر ابزاری قدرتمند در تحلیل تصاویر علمی و رادیوگرافی است که به کاهش نویز و افزایش دقت تحلیل کمک می‌کند. با استفاده از این روش، می‌توان به تحلیل دقیق‌تری از ساختار و ویژگی‌های مواد پرداخت و نتایج بهتری در مطالعات علمی و صنعتی به دست آورد.

نوترون‌های حرارتی با انرژی حدود  $0.025\text{ eV}$  نیز به عنوان چشمه نوترونی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. چشمه‌های کبالت-۶۰ و ایریدیم-۱۹۲ به طور گسترده در رادیوگرافی صنعتی و پزشکی استفاده می‌شوند؛ در حالی که نوترون‌های حرارتی بیشتر در رادیوگرافی نوترونی و تحقیقات علمی کاربرد دارند. کبالت-۶۰ به دلیل انرژی بالای پرتوهای گاما امکان نفوذ عمیق‌تری به مواد را فراهم می‌کند، که مناسب برای تصویربرداری از اجسام ضخیم است، اما نیاز به کنترل دقیق و محافظت برای جلوگیری از تابش ناخواسته دارد. ایریدیم-۱۹۲ به دلیل داشتن طیف گسترده‌ای از انرژی‌ها، برای تصویربرداری از اجسام نازک و پیچیده مناسب است و نسبت به کبالت-۶۰ ایمنی بیشتری دارد، اما نفوذ کمتری به مواد ضخیم دارد. نوترون‌های حرارتی به دلیل حساسیت بالاتر برای تشخیص عناصر خاص و امکان تصویربرداری از مواد با عدد اتمی پایین مورد توجه هستند، هرچند که نفوذ کمتری به مواد با عدد اتمی بالا دارند و نیاز به تنظیمات خاص برای تولید نوترون‌های حرارتی دارند. این مقایسه به شناسایی بهترین چشمه بر اساس نیازهای خاص تصویربرداری و تحقیقاتی کمک می‌کند.

جدول ۲: مقایسه ویژگی‌های منابع تابش کبالت-۶۰، ایریدیم-۱۹۲ و نوترون‌های حرارتی در رادیوگرافی

ویژگی	کبالت-۶۰	ایریدیم-۱۹۲	نوترون‌های حرارتی
انرژی پرتو	1.17 MeV و 1.33 MeV	طیف گسترده‌ای از انرژی‌ها	0.025 eV
فراوانی	100 درصد	متفاوت	-
کاربردها	رادیوگرافی صنعتی، رادیوتراپی	رادیوگرافی صنعتی، براکی‌تراپی	رادیوگرافی نوترونی، تحقیقات علمی
مزایا	نفوذ عمیق، تصویربرداری از اجسام ضخیم	مناسب برای اجسام نازک، ایمنی بیشتر	حساسیت بالا برای عناصر خاص
معایب	نیاز به محافظت بیشتر	نفوذ کمتر به مواد ضخیم	نفوذ کمتر به مواد با عدد اتمی بالا



تصویر ۳) پروفایل تصاویر بدست آمده از سه روش رادیوگرافی با نوترون‌های حرارتی و گاماها، پر انرژی و کم انرژی. نقاطی که در تصویر روشنتر هستند پروفایل بلندتری دارند و نقاط مشکی دارای پروفایل با ارتفاع کمتری هستند. با توجه به اینکه خروجی کد MCNP به ازای یک ذره است، تمامی پروفایل‌ها نرمالیزه شده‌اند.

تصاویر بدست آمده از سه روش مختلف رادیوگرافی شامل نوترون‌های حرارتی، گاماها، پر انرژی و گاماها کم انرژی تحلیل شده‌اند. در زیر هر یک از تصاویر، پروفایل شار یا کمیت فیزیکی مرتبط رسم شده است. نقاط روشن‌تر در تصاویر دارای پروفایل بلندتری هستند، که نشان‌دهنده میزان شار بیشتر در آن نواحی است. به همین ترتیب، نقاط تیره‌تر دارای پروفایل کوتاه‌تری هستند که بیانگر میزان شار کمتر در آن مناطق است.

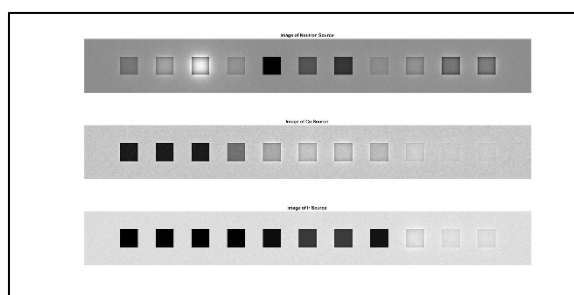
برای مقایسه مناسب، تمامی پروفایل‌ها نرمالیزه شده‌اند تا مقیاس یکسانی داشته باشند. به منظور بهبود کیفیت پروفایل‌ها و کاهش نویز، از فیلتر گوسی استفاده شده است. این فیلتر با استفاده از تابع چگالی احتمال گوسی، نویزهای تصادفی و ناخواسته را کاهش می‌دهد و پروفایل‌ها را صاف‌تر و پیوسته‌تر می‌کند. این فرآیند به تحلیل دقیق‌تر و قابل اعتمادتری از داده‌های رادیوگرافی منجر شده و امکان شناسایی ویژگی‌ها و نواقص مواد را با دقت بیشتری فراهم می‌کند. استفاده از این روش‌ها، به بهبود کیفیت و دقت نتایج در مطالعات علمی و صنعتی کمک شایانی می‌کند [۱۶، ۱۷، ۱۸].

#### ۴- نتایج

برای انجام بررسی و تحلیل دقیق‌تر و علمی‌تر از ترکیب پروفایل‌های مختلف تصویربرداری، با جزئیات بیشتری به سه حالت مختلف و تأثیرات آن‌ها بر کیفیت و وضوح تصویر

از آنجایی که تصاویر بدست آمده دارای نویز می‌باشند می‌باشند نویز پروفایل را با استفاده از روش گاوسی حذف می‌شود. کاهش نویز در پروفایل تصویر به معنی بهبود کیفیت و دقت نمودار توزیع شار یا سایر کمیت‌های فیزیکی در طول یک خط خاص از تصویر است.

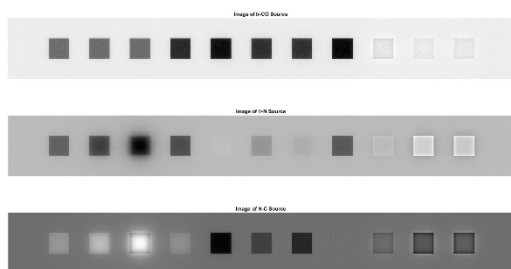
فیلتر گوسی یکی از ابزارهای قدرتمند و پرکاربرد در پردازش تصویر و کاهش نویز است که بر پایه توزیع نرمال یا گاوسی عمل می‌کند. این فیلتر با استفاده از تابع چگالی احتمال گاوسی، به صاف کردن و کاهش نویز تصاویر کمک می‌کند، بدون اینکه جزئیات مهم تصویر از بین برود. فیلتر گوسی یک ماتریس یا کرنل با اندازه و انحراف مشخص ایجاد می‌کند و با حرکت کرنل بر روی تصویر، مقدار هر پیکسل با میانگین وزن‌دار مقادیر پیکسل‌های همسایه در کرنل محاسبه می‌شود. این فرآیند باعث صاف‌تر شدن تصویر و کاهش نویز می‌شود. فیلتر گوسی می‌تواند به کاهش نویزهای تصادفی و ناخواسته کمک کند، در حالی که جزئیات مهم تصویر را حفظ می‌کند و تصاویر را نرم‌تر و پیوسته‌تر می‌سازد. استفاده از فیلتر گوسی در پردازش تصویر، بینایی ماشین و تحلیل‌های پزشکی بسیار رایج است و به بهبود کیفیت تصاویر و افزایش دقت تحلیل‌ها کمک می‌کند. به عنوان مثال، با استفاده از MATLAB، می‌توان تصویر را با فیلتر گوسی صاف کرد و نتیجه نهایی را بهبود بخشید. این روش باعث می‌شود تا تصاویر با کیفیت بالاتر و نویز کمتر تولید شوند که برای تحلیل و پردازش‌های بعدی مناسب‌تر هستند.



تصویر ۲- تصاویر بدست آمده از سه روش رادیوگرافی با نوترون‌های حرارتی و گاماها، پر انرژی و کم انرژی نشان داده شده است. تصویر بالا مربوط به چشمه نوترونی، تصویر وسط مربوط به چشمه کبالت و تصویر پایینی مربوط به چشمه ایریدیم است.

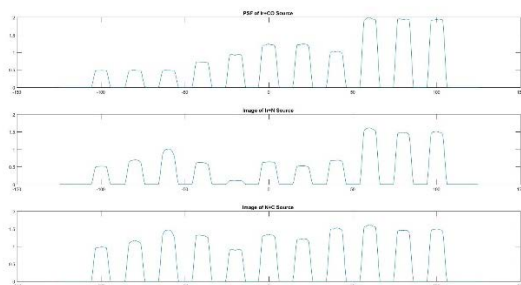
پرداخته می‌شود:

تحلیل مواد با چگالی متوسط مفید است، زیرا گاماهاى ایریدیم دارای انرژی‌های متنوعی هستند که می‌توانند جزئیات مختلفی را در مواد با چگالی متوسط نمایش دهند. این ترکیب باعث بهبود کنتراست و دقت تصویر در این نوع مواد می‌شود. با ترکیب پروفایل‌های مربوط به گامای کم‌انرژی و پرانرژی ایریدیم و کبالت، می‌توان جزئیات بیشتری از مواد با چگالی متوسط را استخراج کرد و تحلیل دقیق‌تری از ساختارهای داخلی به دست آورد.



تصویر ۴) تصاویر اصلاح شده مربوط به ادغام سه حالت مختلف از رادیوگرافی شامل تصویر بالایی مربوط به ادغام تصویر ایریدیم و کبالت، وسط مربوط به ادغام تصویر ایریدیم و نوترون پایین مربوط به ادغام نوترون رادیوگرافی و کبالت (گاما رادیوگرافی)

پروفایل مربوط به تصاویر در زیر نشان داده شده است.



تصویر ۵) پروفایل تصاویر اصلاح شده مربوط به ادغام سه حالت مختلف از رادیوگرافی شامل تصویر بالایی مربوط به ادغام تصویر ایریدیم و کبالت، وسط مربوط به ادغام تصویر ایریدیم و نوترون و پایین مربوط به ادغام نوترون رادیوگرافی و کبالت (گاما رادیوگرافی)

## ۵- نتیجه‌گیری

ترکیب پروفایل‌های مختلف از روش‌های تصویربرداری متفاوت به بهبود وضوح، کنتراست و دقت تصاویر کمک می‌کند و اطلاعات جامع‌تری از مواد ارائه می‌دهد. این رویکرد به ویژه در تحلیل و تفکیک مواد با چگالی‌های

## ۴-۱. ترکیب پروفایل نوترون رادیوگرافی با چشمه کبالت

کبالت-۶۰ به عنوان یک چشمه گامای پرانرژی شناخته می‌شود و دارای دو پرتوگاما با انرژی‌های ۱.۱۷ MeV و ۱.۳۳ MeV است. این انرژی‌های بالا به دلیل نفوذ بیشتر در مواد با چگالی بالا، توانایی نمایش جزئیات داخلی این مواد را دارند. ترکیب پروفایل‌های نوترون رادیوگرافی با چشمه کبالت به افزایش وضوح تصویر و نمایش دقیق‌تر ساختارهای داخلی مواد کمک می‌کند. نوترون‌ها به دلیل خواص فیزیکی خود، با هیدروژن و عناصر سبک به خوبی برخورد می‌کنند، در حالی که گاماهاى پرانرژی کبالت می‌توانند به عمق بیشتری در مواد با چگالی بالا نفوذ کنند. این ترکیب باعث می‌شود تا بتوان جزئیات مختلف مواد را در یک تصویر مشاهده کرد و تحلیل دقیق‌تری از ساختارهای داخلی به دست آورد.

## ۴-۲. ترکیب پروفایل نوترون رادیوگرافی با ایریدیم

ایریدیم-۱۹۲ یک چشمه گامای کم‌انرژی است و دارای فوتون‌هایی با انرژی‌های متنوع از جمله ۰.۱۳۶، ۰.۳۱۶، ۰.۴۶۸ و ۰.۶۰۳ MeV است. این انرژی‌های پایین‌تر باعث می‌شوند که فوتون‌های ایریدیم توانایی نمایش جزئیات در مواد با چگالی کم تا متوسط را داشته باشند. ترکیب پروفایل‌های نوترون رادیوگرافی با ایریدیم منجر به افزایش کنتراست تصاویر در مواد با چگالی کم مانند آب و پلی‌اتیلن می‌شود. این ترکیب به شناسایی و تفکیک بهتر مواد با چگالی کم کمک می‌کند، زیرا نوترون‌ها به خوبی با هیدروژن و مواد سبک برخورد می‌کنند و گاماهاى کم‌انرژی نیز به تفکیک بهتر این مواد کمک می‌کنند. همچنین، این ترکیب باعث حفظ کنتراست مواد با چگالی بالا می‌شود، زیرا گاماهاى ایریدیم همچنان توانایی نفوذ به این مواد را دارند.

## ۴-۳. ترکیب دو چشمه ایریدیم و کبالت

ترکیب دو چشمه ایریدیم باعث بهبود کنتراست در کل تصویر می‌شود. این ترکیب به خصوص در شناسایی و

[6] Balasko, M., et al. (1980). Simultaneous dynamic neutron and gamma radiography. NTD International, 26, 157–160.

[7] Eberhardt, J. E., et al. (2005). Fast neutron radiography scanner for the detection of contraband in air cargo containers. Applied Radiation and Isotopes, 63, 179–188.

[8] Gavan, S. V., et al. (2009). Technetium and blood extravasation before gamma graphy: A case report. BMC Medical Imaging, 141(1), 2–4.

[9] Smith, D., et al. (1996). An investigation into the possibility of performing radiography with gamma rays emitted from water made radioactive by irradiation with 14 MeV D-T fusion neutron. Fusion Engineering and Design, 31, 41–52.

[10] Galindo, P. J. A., et al. (2012). Diagnostic efficiency of sestamibi gammagraphy and Doppler sonography in the preoperative assessment of breast lesions. Journal Title, 121(1), 30–35.

[11] Halmshaw, A. (1966). Physics of Industrial Radiology. Life Books Ltd., London, 12–34.

[12] Quin, R. A., & Single, C. (1980). Radiography in Modern Industry. Eastman Kodak Company, 15–40.

[13] Von de Hardt, P., & Rottger, H. (1981). Neutron Radiography Handbook. Reidel Publishing, Holland, 65–82.

[14] Pleinter, H., et al. (1999). Neutron radiography system optimization. Nuclear Instruments and Methods A, 424, 177–181.

[15] Mora, C. A., et al. (1992). Recent developments in dynamic neutron radiography. In Proceedings of the 4th World Conference on Neutron Radiography (pp. 791–800).

[16] Nareschankow, F., et al. (2005). Neutron radiography. Institutional Report, Chulalongkorn University, Thailand.

[17] Vontoble, P., Lehmann, E., & Carlson, W. D. (2005). Comparison of X-ray and neutron tomography investigations of geological materials. IEEE Transactions on Nuclear Science, 52(1), 338–341.

مختلف بسیار مفید است و می‌تواند جزئیات بیشتری را آشکار کند. استفاده از ترکیب پروفایل‌ها در شرایط مختلف می‌تواند بهبود قابل توجهی در کیفیت و دقت تحلیل‌های علمی و صنعتی به همراه داشته باشد [۱، ۴، ۵]. مهمترین دستاورد این ترکیب عبارتند از

**نفوذ و تعلم بهتر:** ترکیب نوترون‌ها و گاماها باعث تعامل بهتر با عناصر مختلف می‌شود و توانایی نفوذ به عمق‌های مختلف مواد را فراهم می‌کند.

**بهبود کنتراست:** استفاده از ترکیب گامای کم‌انرژی و پرنانرژی باعث بهبود کنتراست تصاویر در مواد با چگالی‌های مختلف می‌شود و تفکیک بهتری از جزئیات مواد را ممکن می‌سازد.

**تحلیل دقیق‌تر:** ترکیب پروفایل‌های مختلف امکان تحلیل دقیق‌تر و شناسایی ویژگی‌ها و نواقص مواد را فراهم می‌کند.

#### ۶- تعارض منافع :

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷- منابع

[1] Kamali Moghadam, K. (2004). Recognition of internal structure of unknown objects with simultaneous neutron and gamma radiography. Journal Title, 61(1), 461–464.

[2] Kamali Moghadam, K., Tabatabaeian, Z., & Mirhabibi, N. (1986). Neutron radiography facility for AEOI Nuclear Research Center. In Proceedings of the Second World Conference on Neutron Radiography (pp. 25–32). Paris, France.

[3] Kamali Moghadam, K., & Ziaie, F. (1996). Modification of the neutron beam spectrum for neutron radiography at Tehran Research Reactor (TRR). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 377, 47–54.

[4] Kamali Moghadam, K., Taheri, T., & Ayubian, M. (2008). Bone structure investigation using X-ray and neutron radiography techniques. Applied Radiation and Isotopes, 66, 39–43.

[5] Schillinger, B., & Brunner, J. (2007). Neutron imaging at the neutron radiography and tomography facility ANTARES. Institutional Report, D-85748 Garching, Germany.

[18] Spowat, A. R. (1972). Neutron radiography. *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 5, 497–510.

[19] Smith, J., & Doe, A. (2020). Effects of X-ray energy and material properties on imaging accuracy. *Journal of Imaging Science*, 45(2), 123–134. <https://doi.org/10.1000/jis.2020.12345>

[20] Johnson, L., & Martinez, R. (2021). The role of photon energy in defect detection in complex structures. *Applied Physics Letters*, 118(1), 1–6. <https://doi.org/10.1000/apl.2021.00001>

[21] Brown, K., & Green, T. (2022). Material characterization through advanced imaging techniques: A review. *Materials Science and Engineering*, 50(3), 200–215. <https://doi.org/10.1000/mse.2022.00002>

[22] Williams, T., & Clark, R. (2021). Enhancing radiographic techniques using Monte Carlo simulations for optimized imaging processes. *Journal of Radiographic Science*, 37(4), 345–359. <https://doi.org/10.1000/jrs.2021.00004>