

رفتار هیستوگرامی چگالی نوری پرتونگاشت خط جوش در پرتونگاری فولاد با چشمه‌ی گاما

محمدتقن ساسانپور*، علی طاهری

پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۱۳۶۵-۳۴۸۶، تهران - ایران

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۸/۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۵/۸

چکیده: این مقاله سعی دارد برای رفتار چگالی نوری پرتونگاشت خط جوش در پرتونگاری با چشمه‌ی گاما تابع توزیع احتمال مناسبی بیابد. در این راستا، از پرتونگاشت‌های واقعی حاصل از آزمون جوش لوله‌های نفت و گاز مناطق عملیاتی شرکت نفت استفاده شده است. تعداد پرتونگاشت‌ها ۴ عدد بوده و با توجه به غیرآرمانی بودن شرایط پرتونگاری و وجود منطقه‌های متفاوت بر روی سطح پرتونگاشت، منطقه‌هایی از پرتونگاشت انتخاب شدند که از نظر رفتاری منحنی‌های هیستوگرام نسبتاً متوسطی ارایه می‌دادند. توابع احتمالی که بر هیستوگرام داده‌های پرتونگاشت مینا برازش شده‌اند، بیش از ۳۶ تابع بوده‌اند. ۱۱ تابع احتمال براساس $R^2 \geq 0.95$ انتخاب شدند. حداکثر R^2 مینای انتخاب بهترین تابع احتمال، بوده است. هم‌چنین عمل برازش تابع‌های احتمال بر عیب‌های فرورفتگی ریشه‌ی جوش پرتونگاشت پرتونگاری برای ۴ عدد عیب و از یک نوع انجام شده است. بهترین تابع احتمال که همواره و در شرایط مختلف بهترین جواب را می‌داد تابع احتمال پیرسون IV بود؛ البته رفتار چند تابع دیگر نیز خیلی به رفتار این تابع نزدیک بودند. اما تابع پرکاربرد گاوسی چنین رفتاری را از خود نشان نمی‌داد.

کلیدواژه‌ها: هیستوگرام، فیلم پرتونگاری، تابع توزیع احتمال، تابع پیرسون IV، تابع گاوسی

The optical density histogram behavior of the photogrammetry of the welding line in the radiography of steel with gamma ray

M.T. Sasanpour*, A. Taheri

Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOL, P.O.Box: 11365-3486, Tehran - Iran

Abstract: This paper tries to find a suitable probability distribution function for the optical density of the welding lines in the radiographic films. For this purpose, real gamma ray radiography films of the oil and gas pipelines were used in the operational areas of the National Oil Company. The number of the radiographic films was 4 and due to the unpredictability of the radiographic conditions and the existence of different regions on the surface of the films, histogram curves of the scattered data were selected to this investigation. More than 36 probability distribution functions were fitted on the histograms. 11 fitted probability functions with $R\text{-sq.} \geq 0.95$ were selected among the total functions. In addition, the final selected functions were fitted to 4 internal concavity (Suk Back) defects. Based on our obtained results, the best function was Pearson IV. Although a Gaussian function was also fitted and behaved quite well, but it was found that it is not perfect.

Keywords: Histogram, Radiographic film, Probability distribution function, Pearson IV function, Gaussian function

*Email: msasanpour@aeoi.org.ir

۱. مقدمه

در کشور ایران به علت اهمیت ساخت و ساز تجهیزات فولادی معمولاً آزمون‌های غیرمخرب و به خصوص پرتونگاری صنعتی رابطه‌ی تنگاتنگی با آزمون جوش‌سازه‌ها دارد. براساس استاندارد BS EN ۱۹۹۳-۱-۸:۲۰۰۵ [۱]، گرچه ساخت برج‌های فلزی به صورت نصب پیچ و مهره‌ای هم امکان‌پذیر است، اما به علت هزینه‌بر بودن این روش، روی این سازه‌ها هم عملیات جوشکاری انجام می‌شود. بدین صورت که جوشکاری کنج‌ها و اتصال‌ها در سطح زمین و به صورت ساده‌ی افقی انجام می‌شود. سپس تیرها در محل اصلی سازه با پیچ و مهره به سازه‌های فوق متصل می‌شوند. این امر باعث ساده‌تر شدن جوشکاری و در عین حال کاهش وجود عیب‌های جوش می‌شود. پرتونگاری با فیلم دارای دقت بالا، سادگی و راحتی انجام و هم‌چنین صرفه‌ی اقتصادی است. از طرفی روش پرتونگاری رقمی با وجود داشتن آینده‌ی روشن‌تر نسبت به پرتونگاری با فیلم، هنوز صرفه‌ی اقتصادی ندارد. به خصوص در رابطه با هدف این مقاله که نیاز به شناسایی چگالی نوری حداکثر نقطه‌های تصویر جسم پرتونگاری شده است. در این مقاله با شناسایی حداقل نقطه‌های روی پرتونگاشت یعنی ۲۵۰۰ dpi برای هر یک از پرتونگاشت‌ها بالای ۳۰۰ MB ذخیره‌ی اطلاعاتی در کامپیوتر مورد نیاز بود. در صورتی که برای داشتن دستگاه پرتونگاری رقمی با این میزان ذخیره‌سازی در حال حاضر باید مبلغ زیادی پرداخت کرد. بنابراین در این مقاله به بررسی هیستوگرام چگالی نوری خط جوش پرتونگاشت پرتونگاری پرداخته شده است. از آن جایی که به‌کارگیری آزمون غیرمخرب دارای هدف آشکارسازی عیب‌ها است، بنابراین به بررسی رفتار چگالی نوری عیب موجود در خط جوش نیز پرداخته شده است.

اصولاً تجزیه و تحلیل تصویر براساس هیستوگرام و تابع‌های توزیع احتمال کاربرد زیادی دارد. یکی از کاربردهای آن در مقطع‌نگاری است. که در آن تابع‌های آماری قادر به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های کلی تصویر براساس نمایش هیستوگرام تصویر یا رسم نمودار (برش عمودی) مقدارهای شدت است [۲]. در رابطه با تصویرگیری با ماهواره نیز روش‌های دیگر به‌کارگیری هیستوگرام مورد توجه قرار گرفته است. مثلاً در

فضای n بعدی شیوه‌ی تطبیقی تابع توزیع احتمال^۱ (PDF) برای پیش‌پردازش چند منظوره‌ی تصویرها با معرفی در حوزه‌ی سنجش از راه دور یعنی تصویرهای ماهواره‌ای استفاده می‌شود، به طوری که در آن با حفظ ساختار همبستگی داده‌ها عمل تصحیح و تطبیق داده‌ها با شیوه‌ی تطبیقی تابع چگالی احتمال انجام می‌شود. نتیجه‌های تجربی به دست آمده در تنظیم‌های داده‌های حسگرهای از راه دور چند منظوره اعتبار این شیوه را در تمام سناریوهای مورد نظر تأیید می‌کند [۳]. در تصویرگیری ماهواره‌ای با وضوح بالا برای استخراج اطلاعات از سطح زمین، سیستم پیشنهادی براساس هیستوگرام تصویر برای طبقه‌بندی اشیاء با استفاده از آستانه‌بندی کار می‌کند. این آستانه‌بندی با در نظر گرفتن رفتار نقشه‌برداری هیستوگرام بر یک منطقه‌ی خاص در تصویر ماهواره‌ای انجام می‌شود. این مدل پیشنهادی براساس شیوه‌های تقسیم‌بندی و ریخت‌شناسی هیستوگرام است [۴]. در مرجع [۵] نیز دو روش ارتقای تصویر ارایه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نویسندگان این مقاله دو شیوه‌ی هیستوگرام را مقایسه کرده‌اند: هم‌ارزی هیستوگرام و مشخصه‌های هیستوگرام. هم‌ارزی هیستوگرامی شیوه‌ای برای ایجاد نقشه‌ای خاکستری است که هیستوگرام یک تصویر را تغییر می‌دهد و توزیع دوباره‌ای از تمام مقدارهای پیکسل‌ها ایجاد می‌کند تا بتوان در حد امکان به یک هیستوگرام دلخواه مشخص شده توسط کاربر نزدیک شد. هیستوگرام مشخصه‌ای نیز شیوه‌ای برای ارتقاء منطقه‌های خاصی از یک تصویر است. شیوه‌های متعددی مانند هم‌ارزسازی هیستوگرامی و هم‌ارزسازی دو هیستوگرامی برای صاف کردن و افزایش کنتراست تصویرها استفاده شده است. دلیل آن به‌کارگیری گسترده‌شان در پردازش تصویر/ ویدئو برای دستیابی به محدوده‌ی پویایی وسیع‌تر به خاطر ساده بودن تابع‌هایشان و مؤثر بودنشان است [۶]. هم‌چنین بهبود تصویر می‌تواند با استفاده از معادله‌ی هیستوگرامی زیرمجموعه‌ی تصویری براساس میانگین و واریانس باشد که در آن در ابتدا هیستوگرام تصویر ورودی براساس میانگین و واریانس مقدار روشنایی به چهار بخش تقسیم می‌شود و هیستوگرام هر بخش ابتدا اصلاح و سپس هم‌ارزسازی می‌شود. سپس، نتیجه‌ی حاصل از طریق

1. Probability distribution function

دارد بر رفتار هیستوگرامی فیلم پرتونگاری تأثیرگذار باشد. بنابراین رفتار یکسان یا متفاوت دو نوع چشمه‌ی ایکس و گاما باید اثبات شود.

همان‌طور که در مرجع [۹] در مورد رفتار ریاضی چشمه‌ی پرتو ایکس در برابر جسم تحت کنترل پرتونگاری به‌طور کامل بحث شده، از نظر ریاضی رفتار چشمه‌ی گاما مانند طیف چشمه‌ی پرتو ایکس به صورت تابع توزیع گاما^۱ نبوده و تنها چند انرژی گسسته وجود دارد. مثلاً برای چشمه‌ی گامای کبالت-۶۰ تنها دو پرتو ۱۳۳۲ و ۱۱۷۳ keV و برای چشمه‌ی ایریدیم-۱۹۲ (برای کسر شدت گسیل پرتو بیش از ۱۰٪) چهار پرتو ۲۹۵/۹۵ (۳۱/۷۶٪)، ۳۰۸/۴۵ (۳۲/۵۳٪)، ۳۱۶/۵۱ (۸۹/۷۸٪) و ۴۶۸/۰۷ keV (۴۹/۲۲٪) وجود دارد [۱۱]. بنابراین طیف چشمه‌ی گاما به‌صورت تابع توزیع گاما نبوده و در نتیجه پرتو گذرنده از جسم تحت تأثیر تابع توزیع پواسون قرار خواهد گرفت. بدین ترتیب شکل تابع توزیع پرتو خارج شده از جسم به تابع توزیع پواسون شبیه خواهد بود.

تمرکز این مقاله بر خطوط جوش و عیب‌های موجود در آن است. سوال این است که آیا پرتو گاما نیز بر روی پرتونگاشت رفتاری مشابه با پرتو ایکس را دارد؟

برای جواب به این سوال از پرتونگاشت‌های واقعی لوله‌های فولادی صنایع نفت و پتروشیمی، استفاده شده است. پرتونگاشت‌های این لوله‌ها توسط پویسگر لیزری پوییده شدند. سپس رفتار چگالی نوری آن‌ها به‌صورت هیستوگرام تعیین شدند. نهایتاً با برازش تابع‌های توزیع احتمال بر هیستوگرام داده‌های آن‌ها میزان تطابق این تابع‌ها با داده‌ها بررسی شد.

۲. تجهیزات و مواد

چشمه‌ی گاما، ایریدیم-۱۹۲ در محدوده‌ی فعالیت پرتوایی ۶۰ تا ۷۰ Ci است. فیلم‌های پرتونگاری از نوع فومادوکس^۲ و کوداک^۳ بودند (شکل ۱).

تسلسل هر کدام از هیستوگرام‌ها پردازش می‌شود. در نهایت، بهنجار کردن در مقدارهای شدت اعمال شده و ادغام تصویر پردازش شده با تصویر ورودی انجام می‌شود. به‌طوری که نتیجه‌های آزمایش نشان داده‌اند الگوریتم به‌کار رفته نه تنها اطلاعات تصویر را به صورت مؤثر می‌تواند ارتقا دهد، بلکه روشنایی و جزئیات تصویر اصلی را به خوبی حفظ می‌کند [۷]. روش هیستوگرامی وقتی برای ارتقای تصویر و بهبود کیفیت تصویری تصویر ورودی برای یک منطقه‌ی خاصی باشد، معیار به‌کار برده شده برای آن می‌تواند براساس ارتفاع الگوریتم‌ها از طریق بالا بردن تصویر، یعنی استفاده از جزئیات هیستوگرام آن تصویر باشد [۸].

در پرتونگاری ضخامت‌های کم فولاد دستگاه تولید پرتو ایکس می‌تواند گزینه‌ی خوبی به‌عنوان چشمه باشد. اما با افزایش ضخامت فولاد ابعاد دستگاه تولید پرتو ایکس نیز بزرگ‌تر خواهد شد. بنابراین در مواردی که امکان قرار دادن دستگاه تولید پرتو ایکس مشکل یا ناممکن است، به‌کارگیری چشمه‌های رادیوایزوتوپی گزینه‌ی مناسبی هستند.

در مرجع [۹] رفتار پرتو ایکس مورد بررسی قرار گرفته و در این مقاله نیز به بررسی رفتار پرتو گاما بر روی پرتونگاشت پرتونگاری پرداخته خواهد شد. در پرتونگاری مبنای تصویرگیری بر رابطه‌ی مشهور تضعیف شدت تابش، $I = I_0 e^{-\mu x}$ ، استوار است که در آن I_0 شدت پرتو ورودی، I شدت پرتو خارج شده از جسم و μ ضریب تضعیف خطی پرتو در جسم و x ضخامت جسم است. یکی از پارامترهای مهم این رابطه μ است. اگر طیف انرژی مانند پرتو ایکس پیوسته باشد (از قله‌های ایکس حاصل از پرتو ایکس ناشی از تغییر تراز اتمی یا فلورسانسی صرف‌نظر شود)، ضریب تضعیف خطی مؤثر و ضریب تضعیف خطی دیفرانسیلی را خواهیم داشت. این ضریب‌های تضعیف در تصویرگیری از عیب‌های جسم (به خصوص عیب‌های کوچک) نقش اساسی را برای توجیح ریاضی تشکیل عیب بر پرتونگاشت بازی می‌کنند [۱۰]. اما در رابطه با پرتو گاما چون طیف گسسته است این ضریب‌ها نقش قبلی خود را از دست می‌دهند و تنها می‌توان گفت یک ضریب تضعیف خطی داریم.

بنابراین پرتوهای ایکس و گاما می‌توانند رفتارهای متفاوتی بر روی پرتونگاشت از خود نشان دهند. یعنی نوع چشمه امکان

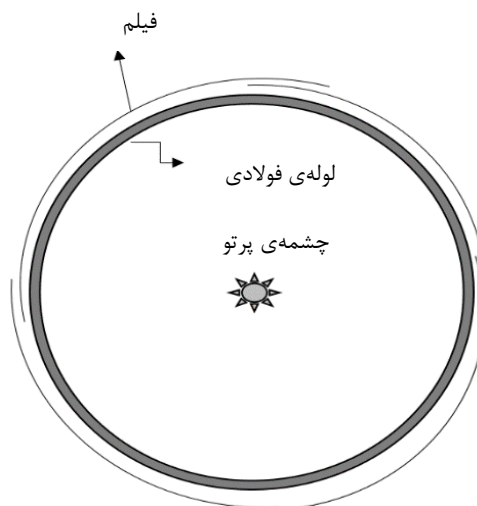
۱. در این‌جا منظور یک تابع توزیع به نام گاما و نه چشمه‌ی گاما است.

۲. FOMADUX R4 (ROLLFILM+Pb)

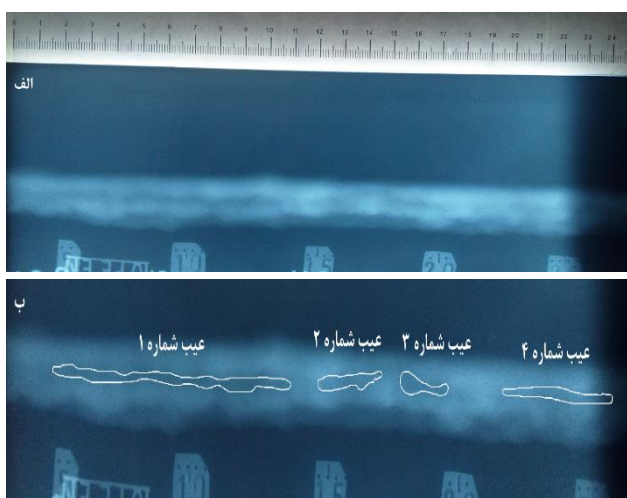
۳. Kodak Industrex MX125 film (LEAD PACK)

جدول ۱. اطلاعات رادیوگرافی پرتونگاشت‌ها

شماره‌ی پرتونگاشت	تعداد ناحیه‌های انتخابی	ضخامت فولاد (mm)	ابعاد پرتونگاشت (cm ²)	نوع فیلم
۱	۱	۱۲٫۰۴	۱۰×۱۹	اندوسترکس ام ایکس ۱۲۵
۲	۳	۱۴٫۲۲	۱۰×۲۳	اندوسترکس ام ایکس ۱۲۵
۳	۱	۱۲٫۷	۱۰×۳۰	اندوسترکس ام ایکس ۱۲۵
۴	۱	۱۴	۱۰×۴۰	فورمادوکس آر-۴
۵	عیب شماره ۱ عیب شماره ۲ عیب شماره ۳ عیب شماره ۴	۱۲	۱۰×۳۰	اندوسترکس ام ایکس ۱۲۵



شکل ۱. چگونگی قرارگیری چشمه‌ی پرتوزا درون لوله و فیلم در خارج از لوله‌ی فولادی.



شکل ۲. الف) پرتونگاشت شماره ۵؛ ب) از چپ به راست عیب شماره ۱، ۲، ۳ و ۴ که به صورت عیب‌های فرورفتگی ریشمی جوش^۳ نشان داده شده‌اند.

باید یادآور شد که عامل‌هایی چون نحوه‌ی قرارگیری فیلم در برابر نمونه‌ی تحت آزمون، مسایل مربوط به ظهور و ثبوت پرتونگاشت که باعث ایجاد حالت سایه روشن‌هایی در آن می‌شوند، باعث تغییراتی در منحنی هیستوگرام داده‌ها می‌شوند. هم‌چنین همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، شکل خط جوش در پرتونگاشت به صورت نامنظم است به طوری که در بسیاری موارد مشاهده می‌شود شکل منحنی هیستوگرام داده‌ها انحراف‌هایی دارند. بنابراین برای داشتن هیستوگرام خط جوش عملاً نمی‌توان تمام خط جوش را در نظر گرفت (شکل ۳).

چگالی سنج نوری مدل ایکس-رایت ۱۳۳۱ برای تعیین چگالی فوتوگرافی و هم‌چنین پوششگر میکروتکس^۲ برای پوشش پرتونگاشت‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. پوشش پرتونگاشت‌ها به صورت ۲۵۶ سطح خاکستری با کانال ۸ بیتی با قدرت تفکیک ۲۵۰۰ dpi انجام گرفته است. تمام پرتونگاری‌ها و ظهور و ثبوت پرتونگاشت‌ها براساس استاندارد آمریکایی [۱۲-۲۲]، و نحوه‌ی بررسی پرتونگاشت‌ها براساس استاندارد اروپایی و ایزو [۲۳-۲۶] برحسب محدوده‌ی چگالی نوری ۲ الی ۴ انجام شده است. براساس بررسی‌های انجام شده زمان تابش‌دهی فیلم‌ها تأثیری بر تابع توزیع حاصل از هیستوگرام داده‌ها نداشته است. جدول ۱ اطلاعات پرتونگاشت‌ها و عیب‌ها را فهرست می‌کند.

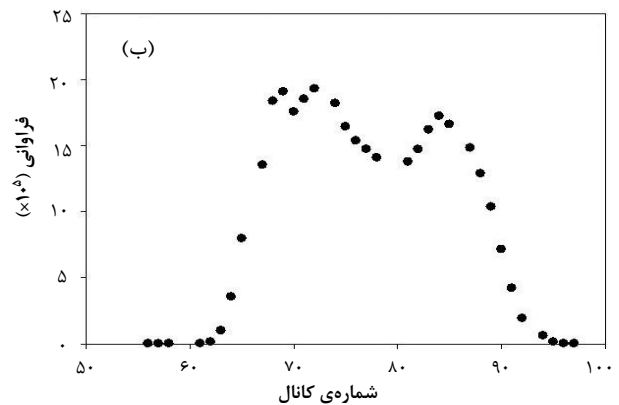
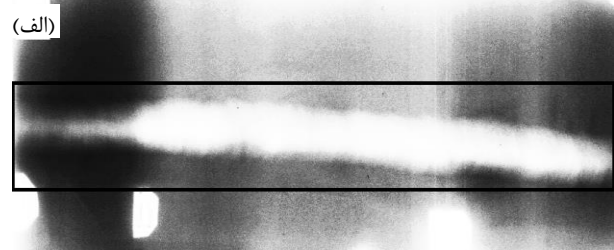
در جدول ۱ تعداد ناحیه‌های انتخابی عبارت است از ناحیه‌هایی از خط جوش که محاسبه‌ها برای رسم هیستوگرام انجام شده‌اند. این ناحیه‌ها به علت شکل انحنایی خط جوش انتخاب شده‌اند.

شکل ۲ پرتونگاشت شماره ۵ را نشان می‌دهد که در آن ۴ عیب ذکر شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

3. Internal concavity (suk back)

1. X-Rite 331
2. Microtek ScanMarker MII-800 Xlplus

شماره ۲ مورد بررسی قرار گرفت و به عنوان داده‌ی مبنا برای انتخاب تابع‌های قابل قبول از میان ۳۶ تابع توزیع احتمال، انتخاب شد. شکل ۴ هیستوگرام پرتونگاشت ۲ را نشان می‌دهد. در شکل ۴ همان‌طور که در پاراگراف‌های آخر مقدمه بحث شد، بیش‌ترین اثر را نه ساختار شکل تابع توزیع احتمال چشمه بلکه تابع توزیع احتمال مربوط به برهم‌کنش بین پرتو گاما و جسم یعنی تابع توزیع پواسن بر روی تابع توزیع پرتو خارج شده از جسم خواهد داشت. این رفتار در شکل ۴ به صورت عدم وجود تقارن کامل در رفتار ابتدایی و انتهای منحنی مشاهده می‌شود. حال اگر از نظر فیزیکی بخواهیم این موضوع را مورد بررسی قرار دهیم، بهتر است ابتدا از مفهوم شدت پرتو شروع کنیم. وقتی چگالی نوری پرتونگاشت را بررسی می‌کنیم، یعنی این‌که نسبت شدت خروجی به ورودی پرتو نوری عبور کرده از پرتونگاشت را در نظر می‌گیریم (که این نسبت معمولاً به صورت لگاریتمی در نظر گرفته می‌شود. اما برای ساده‌تر کردن توضیحات به همان نسبت پرتو خروجی به ورودی اکتفا می‌کنیم). بنابراین در محور افقی شکل ۴ حرکت از صفر به طرف ۱ بیان‌گر کاهش سیاه‌شدگی پرتونگاشت یا کاهش برهم‌کنش پرتو گاما با نقره برمید است، این یعنی این‌که می‌توان گفت پرتو کم‌تری به فیلم می‌خورد یا این‌که تعداد کم‌تری از پرتوهای گاما با فیلم برهم‌کنش انجام می‌دهند. این موضوع را می‌توان بدین‌صورت بهتر توجیح کرد، که اگر چشمه را تک انرژی فرض کنیم، آن‌گاه از نظر تئوری و آرمانی یک خط راست در یک نقطه‌ی محور افقی داریم که از نقطه‌ی بیشینه‌ی منحنی شکل ۴ می‌گذرد. پس اگر این خط را در منحنی شکل ۴ رسم نماییم، آن‌گاه منحنی به دو قسمت چپ و راست تقسیم می‌شود. قسمت چپ سطح زیرمنحنی نماینده‌ی بیش‌ترین برهم‌کنش پرتو خارج شده از جسم با فیلم و قسمت راست سطح زیرمنحنی نیز نماینده‌ی کم‌ترین برهم‌کنش پرتو خارج شده از جسم با فیلم خواهد بود. طبق شکل ۴ نیمه‌ی راست سطح زیرمنحنی بیش‌تر از نیمه‌ی چپ آن است. این بدان معنا است که تعداد پرتوهایی که با فیلم برهم‌کنش نمی‌کنند بیش‌تر از تعداد پرتوهایی است که با آن برهم‌کنش می‌کنند. در صورتی که از نظر تئوری اگر جسمی وجود نداشته باشد یا یک خط راست باید داشته باشیم و یا اگر توزیعی هم بر روی فیلم داشته باشیم باید توزیع متقارن یا همان گاوسی باشد. پس می‌توان گفت که بیش‌تر پرتو عبور کرده از جسم پراکنده می‌شود.



شکل ۳. الف) خط جوش پرتونگاشت شماره ۲ (برای مشاهده‌ی بهتر تصویر پرتونگاشت از کنتراست بالای تصویر استفاده شده است)؛ ب) هیستوگرام منطقه‌ی خط جوش در نظر گرفته شده که در قسمت الف شکل مستطیل مشخص شده است.

۳. یافته‌ها و بحث

۳.۱. بررسی رفتار هیستوگرامی در منطقه‌ی جوش و محل عیب‌های جوش در پرتونگاشت پرتونگاری

هیستوگرام پرتونگاشت‌ها به صورت منحنی داده‌ها و براساس فراوانی هر یک از ۲۵۶ کانال رنگ خاکستری رسم می‌شوند. تمام هیستوگرام‌ها هم در جهت محور Xها یعنی شماره‌ی کانال‌ها و هم در جهت محور Yها یعنی فراوانی چگالی نوری بهنجار شده‌اند. بهنجارسازی در جهت محور Xها به صورت نسبت شماره‌ی هر کانال به کانال شماره ۲۵۶، و در جهت محور Yها به صورت نسبت فراوانی هر چگالی نوری به حداکثر فراوانی چگالی نوری موجود در داده‌ها، انجام شده است. رفتار کلی تمام پرتونگاشت‌ها در نگاه اول مشابه تابع توزیع احتمال گاوسی به نظر می‌رسد. به همین علت بیش از ۳۶ تابع احتمال با رفتار مشابه برای برازش بر هیستوگرام هر پرتونگاشت در نظر گرفته شد. برای کاهش کثرت این تابع‌ها، در ابتدا منطقه‌ای از پرتونگاشت انتخاب شد که دارای منحنی هیستوگرام متوسطی باشد. بدین ترتیب تعداد داده‌های به دست آمده به اندازه‌ای کافی بودند تا بسیاری از تابع‌های احتمال بر آن‌ها برازش شوند. در هنگام انتخاب خط جوش پرتونگاشت مورد نظر، چون تعداد داده‌ها برای برازش اهمیت زیادی داشت، خط جوش پرتونگاشت

نامحسوسی را ارایه می‌دهد. این رفتارها بیان‌گر اثرهای عامل‌های مختلفی است که قبلاً در مورد آن بحث شده است.

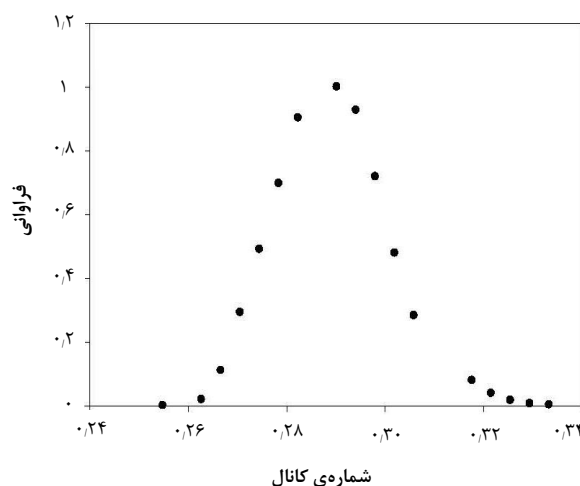
به هر حال تابع یا تابع‌هایی که در برابر این عامل‌ها تطابق خوبی از خود نشان دهند، بهترین تابع برای انتخاب تابع توزیع احتمال برازش شده بر داده‌های هیستوگرام‌ها خواهد بود. جدول ۴ رفتار توابع مختلف را برای خطوط جوش، عیب‌ها، و مجموعه‌ی خطوط جوش و عیب‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بهترین تابع توزیع احتمال پیرسون IV است.

۲.۳ تحلیل یافته‌ها

به جز شرایط پرتونگاری و ظهور پرتونگاشت عوامل دیگری نیز بر میزان برازش توابع احتمال بر داده‌های پرتونگاشت‌ها تأثیر خواهند داشت.

۱.۲.۳ نوع تابع توزیع احتمال برازش‌شده بر داده‌ها

همان‌طور که جدول‌های ۱ و ۴ نشان می‌دهند، توابع احتمال برازشی خوب به‌صورت تابع‌های نمایی یا کسری و یا ترکیبی از آن‌ها هستند. باید پذیرفت که تمام ۱۱ تابع در حد میزان برازشی رفتاری کاملاً قابل قبول ارایه می‌دهند. اما توابعی برتری خود را بیش‌تر نشان می‌دهند که ترکیبی از توابع نمایی و کسری باشند. مثلاً برای مقایسه مشاهده می‌شود که تابع گاوسی که کاربرد زیادی در مسایلی چون پردازش تصویر دارد، رفتار خوبی ارایه می‌دهد و مقدار کاملاً مناسب $R^2 \geq 0.95$ را حفظ می‌کند، اما برازش عالی از خود نشان نمی‌دهد. به‌طوری‌که حتی تابع کسری ری‌شنال^۱ با وجود سادگی برتری خود را بر تابع گاوسی به خوبی نشان می‌دهد. اما با وجود این توابعی بیش‌تر نمود پیدا می‌کنند که هم از نظر نمایی و هم از لحاظ کسری بودن پیچیده‌تر باشند (توابع پیرسون IV^۲، لاجستیک^۳ و جانسون اس^۴ یو^۴ را ببینید).



شکل ۴. هیستوگرام پرتونگاشت شماره ۲.

مینای انتخاب تابع‌های توزیع احتمال برازش شده بر داده‌های پرتونگاشت شماره ۲ مقدارهای $R^2 \geq 0.95$ بوده است. بدین ترتیب طبق جدول ۲ تابع‌های احتمال به ۱۱ کاهش یافتند. در آزمون برازش تابع‌های احتمال نکته‌ی جالبی که مشاهده شد، مقدارهای R^2 بود. موضوع قابل توجه در مورد مقدار این پارامتر در رابطه با تمام تابع‌های دیگر، کم‌تر از مقدار ۰.۹۵ بودن آن بود؛ علاوه بر آن اختلاف به مراتب زیاد مقدار R^2 آن‌ها با ۱۱ تابع انتخاب شده بود. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، ۱۱ تابع اول این جدول مقادیری نزدیک به ۰.۹۹۰ یا بیش‌تر را دارند، در صورتی که تابع‌های شماره ۱۲، ۱۳، ۱۴، و ۱۵ که به‌عنوان نمونه در این جدول آورده شده‌اند، مقادیری کم‌تر از ۰.۹۳ را دارند.

در ادامه این تابع‌ها بر پرتونگاشت‌های شماره ۱، ۳ و ۴ برازش شدند. نتیجه‌ی برازش در جدول ۳ درج شده است. همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد، هر پرتونگاشتی نسبت به پرتونگاشت دیگر می‌تواند رفتار متفاوتی به برازش داده‌ها داشته باشد. برخی مانند پرتونگاشت شماره ۲ ناحیه‌ی ۱ برای اکثر تابع‌های توزیع احتمال برازش خوبی ارایه نمی‌دهد. اما در پرتونگاشت ۱ این برازش بسیار خوب است. هم‌چنین ناحیه به ناحیه نیز این رفتارها متفاوت‌اند. به‌طوری‌که داده‌های پرتونگاشت ۲ ناحیه‌ی ۲ بر تمام تابع‌ها برازش خیلی خوبی دارند، اما برازش داده‌های ناحیه‌ی ۳ از همین پرتونگاشت، با برخی تابع‌ها افت شدید و با برخی تابع‌های دیگر تغییر

1. Rational
2. Pearson IV
3. Logistic
4. Johnson SU

جدول ۲. تابع‌های توزیع احتمال برازش شده بر داده‌های خط جوش پرتونگاشت شماره ۲ و مقدار R^2 آن‌ها

شماره‌ی ردیف	نام تابع	فرمول تابع	R^2
۱	Cauchy	$\frac{\alpha}{(x-b)^\gamma + c^\gamma}$	۰٫۹۸۸۹
۲	Extreme Value	$\alpha e^{\frac{\alpha-x}{b} - e^{-\frac{c-x}{d}}}$	۰٫۹۹۶۹
۳	Gaussian	$\alpha e^{-\left(\frac{x-b}{c}\right)^\gamma}$	۰٫۹۹۶۱
۴	Hyperbolic secant	$\alpha \operatorname{sech}(bx-c)$	۰٫۹۸۹۲
۵	Inverse Gaussian	$\alpha x^{-\frac{\gamma}{2}} e^{-\frac{b}{x}(x-c)^\gamma}$	۰٫۹۹۵۳
۶	Johnson SU	$\frac{\alpha \exp[-b(c+d \operatorname{a} \sinh(fx+h))]^\gamma}{\sqrt{1+(gx+k)^\gamma}}$	۰٫۹۹۶۸
۷	Logistic	$\frac{\alpha e^{-b(x-c)}}{(1+e^{-d(x-f)})^\gamma}$	۰٫۹۹۳۲
۸	Lognormal	$\frac{\alpha e^{-b(\log x-c)^\gamma}}{x}$	۰٫۹۹۶۸
۹	Pearson IV	$\frac{\alpha \exp(-b \tan^{-1}(\frac{x-c}{d}))}{\left[1+\left(\frac{x-f}{g}\right)^\gamma\right]^h}$	۰٫۹۹۶۸
۱۰	Rational	$\frac{\alpha x + b}{x^\gamma + cx + d}$	۰٫۹۸۸۳
۱۱	Vapor Pressure	$\alpha e^{b+(\frac{c}{x})+d \ln x}$	۰٫۹۹۶۹
۱۲*	Beta	$\alpha(1-x)^b x^c$	۰٫۳۶۴۱
۱۳*	Fisher	$\frac{\alpha e^{bx}}{(ce^{dx^f} + g)^h}$	۰٫۹۲۱۰
۱۴*	Fatigue	$\left(\frac{\alpha(\sqrt{x} + \sqrt{1/x})}{x}\right) e^{-bx^\gamma}$	۰٫۷۳۴۱
۱۵*	Gamma	$\alpha x^{b-1} e^{-x/c}$	۰٫۷۲۱۱

*این تابع‌های توزیع احتمال به عنوان نمونه آورده شده‌اند.

جدول ۳. مقدار متوسط R^2 تابع‌های احتمال برازش شده بر داده‌های خط جوش پرتونگاشت‌های ۱، ۲، ۳ و ۴

شماره‌ی ردیف	نام تابع	شماره‌ی پرتونگاشت									
		۱	۲	۲	۳	۴	۵	۵	۵	۵	۵
۱	Cauchy	۰٫۹۸۶۳	۰٫۹۵۵۹	۰٫۹۸۸۹	۰٫۹۵۵۰	۰٫۹۷۷۱	۰٫۹۹۷۱	۰٫۹۸۸۰	۰٫۹۷۷۷	۰٫۹۶۲۶	۰٫۹۱۰۹
۲	Extreme Value	۰٫۹۸۰۷	۰٫۹۶۱۱	۰٫۹۹۶۹	۰٫۹۵۵۳	۰٫۹۷۳۶	۰٫۹۹۰۳	۰٫۹۹۹۴	۰٫۹۹۶۲	۰٫۹۷۳۵	۰٫۹۶۶۸
۳	Gaussian	۰٫۹۸۳۰	۰٫۹۶۳۷	۰٫۹۹۶۱	۰٫۹۵۸۴	۰٫۹۷۵۸	۰٫۹۹۰۸	۰٫۹۹۵۰	۰٫۹۹۴۶	۰٫۸۹۲۱	۰٫۹۴۴۵
۴	Hyperbolic secant	۰٫۹۸۶۰	۰٫۹۵۹۶	۰٫۹۸۹۲	۰٫۹۵۶۴	۰٫۹۷۷۲	۰٫۹۹۷۱	۰٫۹۹۰۶	۰٫۹۹۰۳	۰٫۹۳۸۲	۰٫۹۳۹۶
۵	Inverse Gaussian	۰٫۹۸۱۶	۰٫۹۵۴۹	۰٫۹۹۵۳	۰٫۹۵۲۹	۰٫۹۶۴۷	۰٫۹۹۰۷	۰٫۹۹۶۱	۰٫۹۹۵۰	۰٫۹۰۳۷	۰٫۹۴۷۳
۶	Johnson SU	۰٫۹۹۱۵	۰٫۹۸۵۸	۰٫۹۹۶۸	۰٫۹۸۸۳	۰٫۹۸۵۲	۰٫۹۹۰۸	۰٫۹۹۷۳	۰٫۹۹۶۷	۰٫۹۳۵۷	۰٫۹۸۵۵
۷	Logistic	۰٫۹۸۲۷	۰٫۹۹۳۳	۰٫۹۹۳۲	۰٫۹۹۳۶	۰٫۹۸۹۷	۰٫۹۹۴۵	۰٫۹۹۹۳	۰٫۹۸۸۶	۰٫۹۷۷۶	۰٫۹۶۵۲
۸	Lognormal	۰٫۹۸۱۶	۰٫۹۵۴۷	۰٫۹۹۶۸	۰٫۹۵۲۹	۰٫۹۶۴۷	۰٫۹۹۰۷	۰٫۹۹۴۰	۰٫۹۹۴۶	۰٫۹۳۱۲	۰٫۹۴۸۵
۹	Pearson IV	۰٫۹۹۵۳	۰٫۹۹۷۵	۰٫۹۹۶۸	۰٫۹۹۵۳	۰٫۹۹۶۷	۰٫۹۹۷۳	۰٫۹۹۹۸	۰٫۹۹۴۴	۰٫۹۵۳۸	۰٫۹۹۹۴
۱۰	Rational	۰٫۹۹۴۴	۰٫۹۸۸۱	۰٫۹۸۸۳	۰٫۹۷۹۲	۰٫۹۹۱۸	۰٫۹۹۷۵	۰٫۹۸۲۸	۰٫۹۷۸۳	۰٫۹۶۴۳	۰٫۹۳۲۹
۱۱	Vapor Pressure	۰٫۹۸۱۱	۰٫۹۵۱۸	۰٫۹۹۶۹	۰٫۹۴۹۷	۰٫۹۶۶۴	۰٫۹۹۰۶	۰٫۹۹۶۵	۰٫۹۹۴۴	۰٫۹۰۷۴	۰٫۹۴۹۸

جدول ۴. ترتیب قرارگیری تابع‌های احتمال برحسب مقدار متوسط R^2 حاصل از برازش تابع‌های احتمال بر داده‌های تمام ناحیه‌های خطوط جوش و عیب‌های خط جوش پرتونگاشت شماره ۵

رتیب الویت	برازش خط جوش‌ها		برازش عیب‌ها		کل	
	نام تابع	مقدار متوسط	نام تابع	مقدار متوسط	نام تابع	مقدار متوسط
۱	Pearson IV	۰٫۹۹۶۵	Pearson IV	۰٫۹۸۶۹	Pearson IV	۰٫۹۹۲۶
۲	Logistic	۰٫۹۹۱۲	Extreme Value	۰٫۹۸۳۵	Logistic	۰٫۹۸۷۸
۳	Rational	۰٫۹۸۹۹	Logistic	۰٫۹۸۲۷	Johnson SU	۰٫۹۸۵۲
۴	Johnson SU	۰٫۹۸۹۷	Johnson SU	۰٫۹۷۸۳	Rational	۰٫۹۷۹۸
۵	Gaussian	۰٫۹۷۸۰	Lognormal	۰٫۹۶۷۱	Extreme Value	۰٫۹۷۹۲
۶	Hyperbolic secant	۰٫۹۷۷۶	Hyperbolic secant	۰٫۹۶۴۷	Hyperbolic secant	۰٫۹۷۲۴
۷	Cauchy	۰٫۹۷۶۷	Rational	۰٫۹۶۴۶	Lognormal	۰٫۹۷۱۰
۸	Extreme Value	۰٫۹۷۶۳	Vapor Pressure	۰٫۹۶۲۰	Gaussian	۰٫۹۶۹۴
۹	Lognormal	۰٫۹۷۳۶	Inverse Gaussian	۰٫۹۶۰۵	Vapor Pressure	۰٫۹۶۸۵
۱۰	Inverse Gaussian	۰٫۹۷۳۴	Gaussian	۰٫۹۵۶۶	Inverse Gaussian	۰٫۹۶۸۲
۱۱	Vapor Pressure	۰٫۹۷۲۸	Cauchy	۰٫۹۵۴۸	Cauchy	۰٫۹۶۸۰

۲.۲.۳ قابلیت برازش تابع توزیع احتمال بر داده‌ها

آشکارسازی و تعیین رفتار عیب‌ها در آزمون‌های غیرمخرب بسیار مهم است. هم‌چنین به هر میزان عیب‌های کوچک‌تری آشکار شوند، تحلیل سازه‌ی تحت آزمون بهتر خواهد بود. بنابراین، بدیهی است تابع‌(های) توزیع احتمالی که بهترین برازش را بر داده‌های این عیب‌ها دارند، بیش‌ترین اهمیت را خواهند داشت. اما از طرفی به هر میزان عیب کوچک‌تر باشد، تعداد و پراکندگی داده‌های آن بیش‌تر خواهد بود. به همین دلیل براساس جدول ۴ بعضی تابع‌ها جابه‌جایی‌های زیادی یا رو به افزایش و یا رو به کاهش رتبه‌ی برازش خواهند داشت. طبق جدول ۴ تابع گاوسی که کاربرد زیادی دارد، از رتبه‌ی ۵ برای خط جوش به رتبه‌ی ۱۰ برای عیب‌ها تنزل می‌یابد. در صورتی که تابع اکستریم ولیو^۱ از رتبه‌ی ۸ برازش خط جوش به رتبه‌ی ۲ برازش عیب ارتقای درجه می‌یابد. در صورتی که تابع‌هایی چون پیرسون IV، لاجستیک، و گاوسی اینورس^۲ جابه‌جایی محسوسی نخواهند داشت. بدین ترتیب میزان برازش تابع با شرایط گوناگون داده‌ها در انتخاب تابع توزیع احتمال از پارامترهای مهم به حساب می‌آید.

شکل ۵ رفتار سه تابع کوشی^۳، گاوسی، و پیرسون IV به ترتیب، نماینده‌ی ضعیف‌ترین تابع، تابع مبنا و توانمندترین تابع را نشان می‌دهد.

در شکل ۵ گرچه رفتار کلی منحنی‌ها مشابه منحنی شکل ۴ است اما انحراف‌هایی نیز بر روی این منحنی‌ها مشاهده

1. Extreme Value
2. Inverse Gaussian
3. Cauchy

می‌شود. این اشکال‌های به‌وجود آمده به چند عامل بستگی دارد. یکی این‌که معمولاً سطح پوییده شده‌ی عیب‌های پرتونگاری در پرتونگاشت کم‌تر و حتی در اغلب موارد بسیار کم‌تر از سطح پوییده شده‌ی قسمت‌های جوش (یا فلز پایه در مرجع [۹]) است، بنابراین تعداد نقاط به‌دست آمده از عیب‌ها معمولاً کم‌تر از قسمت جوش است. هم‌چنین مشخص کردن مرز بین عیب و محیط جوش که به‌صورت چشمی توسط متخصص پرتونگاری مشخص می‌شود، بسیار مشکل است. از طرفی هم به‌علت کم بودن سطح مربوط به عیب و داشتن داده‌های کم، اثر اغتشاش‌های ناخواسته یا نوفه بیش‌تر خودنمایی می‌کنند. بنابراین به‌دلایل فوق شکل منحنی ۵ قابل قیاس با شکل منحنی ۴ نخواهد بود.

کلاً رفتار هر سه تابع برای برآورده کردن شرط $R^2 \geq 0.95$ کاملاً قابل قبول‌اند (ستون آخر جدول ۴). اما در تحلیل داده‌های مربوط به عیب‌ها، انعطاف‌پذیری تابع‌ها بیش‌تر آشکار می‌شوند. در عیب شماره ۱ تعداد داده‌ها به اندازه‌ی کافی زیاد است. بنابراین تقریباً رفتار برازشی تمام تابع‌ها یکسان است. در عیب شماره ۲ با این‌که داده‌ها از نظر تعداد کم‌تراند، اما پراکندگی کمی دارند، به همین علت رفتار برازشی تمام تابع‌ها مشابه عیب شماره ۱ خواهند بود. اما در عیب شماره ۴ و به‌خصوص در عیب شماره ۳ میزان پراکندگی داده‌ها بیش‌تر شده و در نتیجه رفتار انعطاف‌پذیر تابع‌های مختلف بیش‌تر نمایان می‌شود، به‌طوری‌که طبق جدول ۳ میزان برازش و برآورده کردن شرط $R^2 \geq 0.95$ برای اکثر تابع‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد.

۳.۳ مقایسه‌ی نتیجه‌های حاصل از چشمه‌های پرتو ایکس و گاما در مرجع [۹] به تحلیل رفتار چگالی نوری فلز پایه و عیب‌ها پرداخته شده است. اما در این مقاله رفتار خط جوش و عیب‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. برای مقایسه، بهتر است به مقایسه‌ی یک نوع منطقه پرداخته شود. بنابراین به مقایسه عیب‌های مربوط به چشمه‌ی ایکس و گاما می‌پردازیم.

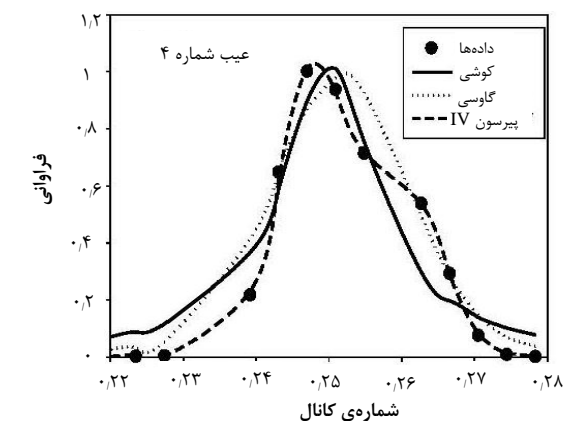
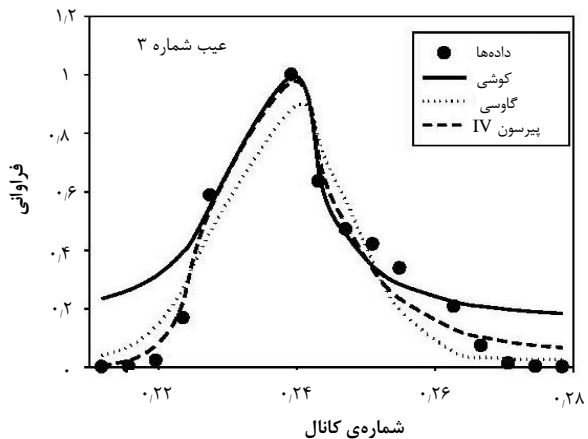
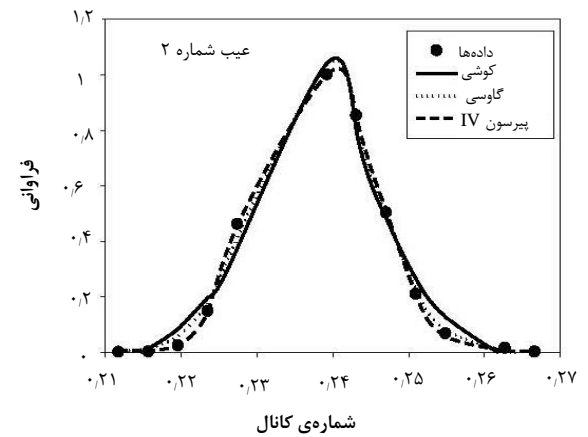
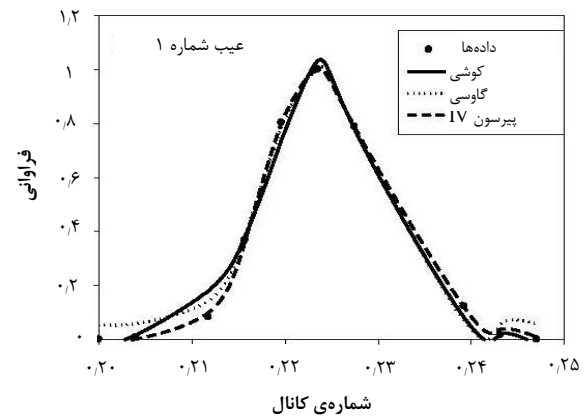
همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، اختلاف‌های زیادی در چگونگی قرارگیری الویت تابع‌های توزیع احتمال برازش بر پرتو نگاشت‌های چشمه‌های پرتو ایکس و پرتو گاما وجود دارد. مثلاً تابع کاربرد گاوسی برای چشمه‌ی پرتو ایکس با R^2 میانگین برابر با ۰/۹۸۶۰، در جای‌گاه بسیار عالی قرار گرفته است، در صورتی که برای چشمه پرتو گاما با مقدار برابر با ۰/۹۵۶۶ در جای‌گاه بسیار پایینی است.

۴. نتیجه‌گیری

در بررسی رفتار خطوط جوش پرتونگاشت‌های پرتونگاری، داده‌های حاصل از فراوانی چگالی نوری برحسب میزان خاکستری شدن پرتونگاشت ظاهراً رفتاری متقارن و نزدیک به تابع توزیع احتمال گاوسی را دارد. اما با بررسی بهتر این داده‌ها مشاهده می‌شود که این تقارن کاملاً رعایت نمی‌شود، به خصوص اگر تعداد داده‌ها کاهش یابند.

جدول ۵. ترتیب الویت تابع‌های توزیع احتمال عیب‌های پرتونگاری با پرتو ایکس و گاما

رتب	نام تابع	R^2 میانگین	برازش عیب چشمه‌ی پرتو ایکس	رتب	نام تابع	R^2 میانگین	برازش عیب چشمه‌ی پرتو گاما
۱	Johnson SU	۰/۹۸۸۵	۰/۹۸۶۹	۱	Pearson IV	۰/۹۸۶۹	۰/۹۵۴۸
۲	Gaussian	۰/۹۸۶۰	۰/۹۸۳۵	۲	Extreme Value	۰/۹۸۳۵	۰/۹۶۷۱
۳	Extreme Value	۰/۹۸۵۷	۰/۹۸۲۷	۳	Logistic	۰/۹۸۲۷	۰/۹۶۴۷
۴	Vapor Pressure	۰/۹۸۴۲	۰/۹۷۸۳	۴	Johnson SU	۰/۹۸۴۲	۰/۹۶۴۶
۵	Lognormal	۰/۹۸۳۹	۰/۹۶۷۱	۵	Lognormal	۰/۹۸۳۹	۰/۹۶۲۰
۶	Hyperbolic secant	۰/۹۸۲۸	۰/۹۶۴۷	۶	Hyperbolic secant	۰/۹۸۲۸	۰/۹۶۰۵
۷	Logistic	۰/۹۸۰۳	۰/۹۶۴۶	۷	Rational	۰/۹۸۰۳	۰/۹۵۶۶
۸	Cauchy	۰/۹۷۷۵	۰/۹۶۲۰	۸	Vapor Pressure	۰/۹۷۷۵	۰/۹۵۴۸
۹	Inverse Gaussian	۰/۹۷۷۱	۰/۹۶۰۵	۹	Inverse Gaussian	۰/۹۷۷۱	۰/۹۵۴۸
۱۰	Rational	۰/۹۴۸۱	۰/۹۵۶۶	۱۰	Gaussian	۰/۹۴۸۱	۰/۹۵۴۸
۱۱	Weibull	۰/۷۳۳۲	۰/۹۵۴۸	۱۱	Cauchy	۰/۷۳۳۲	۰/۹۵۴۸



شکل ۵. سه تابع کوشی، گاوسی و پیرسون IV برازش شده بر داده‌های عیب‌های پرتونگاشت شماره ۵.

مراجع

1. BS EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3, *Design of steel structures. Design of joints*.
2. E.D. Seletchi, and O.G. Dului, *Image processing and data analysis in computed tomography*, ROM J PHYS. **72**, 764 (2007).
3. S. Inamdar et al. *Multidimensional Probability Density Function Matching for Preprocessing of Multitemporal Remote Sensing Images*, IEEE. **46** (4), 1243 (2008).
4. W. Kiadtikornthaweeyot, and A. R. L. Tatnall, in: *Region of interest detection based on histogram segmentation for satellite image*, (Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B7, Prague, Czech Republic, 249-255, 12–19 July 2016)
5. K.K. Lavania, Shivali, and R. Kumar, *A comparative study of Image enhancement using histogram approach*, IJCA. **32**(5), 0975 (2011).
6. S. Raja, S. Rajb and S. Kumarc, in: *An Improved Histogram Equalization Technique for Image Contrast Enhancement*, (Alpha College of Engineering, Bangalore, Karnataka, 9-11 July 2015, <https://www.researchgate.net/publication/305421677>), 6 pages.
7. L. Zhuang and Y. Guan¹, *Image enhancement via subimage histogram equalization based on mean and variance*, COMPUT INTEL NEUROSC. Volume **2017**, Article ID 6029892, 12 pages.
8. H. Kaur and N. Sohi, *A study for applications of histogram in image enhancement*, IJES, **6** (6), 59 (2017).
9. M.T. Sasanpour and A. Taheri, *Determination of Probabilistic Distribution Function of Background and Defect Optical Densities for X-Ray Radiography Images of a Steel Plate*, J NONDESTRUCT EVAL, **35**, 61 (2016).
10. M.T. Sasanpour, E.I. Kosarina, *Recommendations on selection of anode voltages in X-ray testing of steel specimens*, Russ J Nondestruct Test, **47** (5), 48 (2011).
11. Laboratoire National Henri Becquerel (LNHB), www.nucleide.org.
12. ASTM Standard E94, U.S.A., *Standard Guide for Radiographic Examination*, (2010).
13. ASTM Standard E142-92, U.S.A., *Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing*, (2000).
14. ASTM Standard E746, U.S.A., *Standard Test Method for Determining Relative Image Quality Response of Industrial Radiographic Film Systems*, (2007).
15. ASTM Standard E999, U.S.A., *Standard Guide for Controlling the Quality of Industrial Radiographic Film Processing*, (2010).
16. ASTM Standard E1032, U.S.A., *Standard Test Method for Radiographic Examination of Weldments*, (2006).

همان‌طور که انتظار می‌رفت، تابع گاوسی در حد قابل قبولی قادر به برازش داده‌ها است. اما این رفتار ایده‌آل نبوده و برای موردهایی که حساسیت کار پردازش تصویر بر حسب تابع احتمال بالا است، نیاز به تابع پیرسون IV داریم.

در بررسی داده‌ها، برای داده‌های با پراکندگی بیش‌تر، انعطاف‌پذیری تابع توزیع احتمال پیرسون IV بسیار عالی است. به همین علت این تابع به عنوان بهترین تابع برازشی پیشنهاد می‌گردد.

در موردهایی که محاسبه‌های راحت‌تری در پردازش تصویر بر اساس تابع‌های احتمال مدنظر بوده و نیاز به تابعی با فرمول ساده‌تری باشد، تابع کوشی پیشنهاد می‌شود.

با توجه به مقدرهای R^2 ، تمام ۱۱ تابع قابلیت بسیار خوبی را به نمایش می‌گذارند. به‌عنوان بهترین تابع‌ها سه تابع پیرسون IV، لاجستیک و جانسون اس یو پیشنهاد می‌شوند.

با وجود این که پرتو ایکس و پرتو گاما هر دو پرتوهای الکترومغناطیسی بوده و ماهیت یکسانی دارند ولی همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، رفتار آن‌ها از نظر پرتونگاری متفاوت است. بنابراین برای انجام کارهایی مانند پالایش تصویر باید با آن‌ها برخورد‌های متفاوتی داشت. یعنی انتخاب نوع تابع‌های توزیع احتمال می‌تواند با نوع پرتو، متفاوت باشد. مثلاً با وجود این که تابع‌های توزیع احتمال جانسون اس یو و اکستریم ولیو رفتار یکسانی با هر دو چشمه از خود نشان می‌دهند اما وقتی نوع چشمه از چشمه‌ی ایکس به چشمه‌ی گاما تغییر می‌یابد، رفتار تابعی چون گاوسی تضعیف و رفتار تابعی چون رشیونال تقویت می‌شود.

هر قدر وضوح تصویر بیش‌تر باشد، دقت تشخیص نوع، اندازه و محل عیب افزایش می‌یابد. بدین ترتیب چگونگی برخورد با جسم یا سازه‌ی به کار برده شده به صورت کیفی و کمی افزایش می‌یابد. مثلاً در یک نیروگاه هسته‌ای سازه‌ای که تعداد مشخصی عیب در آن مشاهده شده غیر قابل قبول خواهد بود، اما این سازه طبق استانداردهای بین‌المللی در جای دیگر مانند نیروگاه معمولی قابل قبول به حساب می‌آید. پس حساسیت ابزاری که برای داوری قبول یا رد به‌کارگیری سازه به کار می‌رود بسته به نوع و محل کار متفاوت خواهد بود.

بنابراین به هر میزان تابع برازیده بهتر عمل کند، داوری ما برای سازه منطقی‌تر و محکم‌تر خواهد بود. در واقع داشتن دید درستی نسبت به رفتار زمینه و عیب‌ها در یک تصویر پرتونگاری، کمک شایانی به طراحی صافی‌های مناسب برای افزایش کیفیت تصویر خواهد نمود.

17. ASTM Standard E1079 U.S.A., *Standard Practice for Calibration of Transmission Densitometers*, (2017).
18. ASTM Standard E1390, U.S.A., *Standard Guide for Illuminators Used for Viewing Industrial Radiographs*, (2017).
19. ASTM Standard E1742, U.S.A., *Standard Practice for Radiographic Examination*, (2011).
20. ASTM Standard E1815, U.S.A., *Standard Test Method for Classification of Film Systems for Industrial Radiography*, (2008).
21. ASME BPVC Section V: Nondestructive Examination: Article 2 Radiographic Examination, U.S.A., (2015).
22. API International, *Welding of Pipelines and Related Facilities: 11.1 Radiographic Test Methods*, API Standard 1104, U.S.A., (2013).
23. BS EN ISO 5579: Non-destructive testing. Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma rays. Basic rules, (2013)
24. BS EN ISO 19232-1: Non-destructive testing. Image quality of radiographs. Determination of the image quality value using wire-type image quality indicators, (2013)
25. BS EN ISO 17636-1: Non-destructive testing of welds. Radiographic testing. X- and gamma-ray techniques with film, (2013)
- [26] BS EN 12681-1: Founding- Radiographic testing. Part 1: Film techniques, (2017).