سیستم مدیریت ایزو
www.isomanagement.ir

تماس تلفنی جهت دریافت مشاوره:

۱. مشاور دفتر تهران (آقای محسن ممیز)

۰۹۱۲ ۹۶۳ ۹۳۳۶

۲. مشاور دفتر اصفهان (سرکار خانم لیلا ممیز)

۰۹۱۳ ۳۲۲ ۸۲۵۹

مجموعه **سیستم مدیریت ایزو** با هدف بهبود مستمرعملکرد خود و افزایش رضایت مشتریان سعی بر آن داشته، کلیه استانداردهای ملی و بین المللی را در فضای مجازی نشر داده و اطلاع رسانی کند، که تمام مردم ایران از حقوق اولیه شهروندی خود آگاهی لازم را کسب نمایند و از طرف دیگر کلیه مراکز و کارخانه جات بتوانند به راحتی به استانداردهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند.

این موسسه اعلام می دارد در کلیه گرایشهای سیستم های بین المللی ISO پیشگام بوده و کلیه مشاوره های ایزو به صورت رایگان و صدور گواهینامه ها تحت اعتبارات بین المللی سازمان جهانی IAF و تامین صلاحیت ایران می باشد.

هم اکنون سیستم خود را با معیارهای جهانی سازگارکنید...

ISO 9001 14001 18001

CE

GMP GAP 22716

IMS HSE-MS

45001

22000 HACCP

INSO
13883-2
1st Edition
2018
Identical with
ISO 17636-2:
2013

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۳۸۸۳-۲
چاپ اول
۱۳۹۷

دارای محتوای رنگی

آزمون‌های غیرمخرب جوش‌ها- آزمون پرتونگاری- قسمت ۲: تکنیک‌های پرتو ایکس و گاما با آشکارسازهای دیجیتال

Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors

ICS: 25.160.40

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲-۱۳۸۸۳ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد. تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«آزمون‌های غیرمخرب جوش‌ها- آزمون پرتونگاری- قسمت ۲: تکنیک‌های پرتو ایکس و گاما با آشکارسازهای دیجیتال»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
موافقی، امیر (دکتری مهندسی هسته‌ای)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
دبیر:	
نقش‌نژاد، زینب (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
بلوری، حمیدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)	سازمان انرژی اتمی ایران
تازیکه، حمید (کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی)	شرکت جوش فرایند کنترل
تره‌کار، محمد (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	شرکت تجهیزات آزمون‌های غیرمخرب پیشرفته
حائری زاده نبوی، مجید (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
خادم‌شریعت، هاجر (کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی)	مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور
رستمی، پیمان (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	شرکت پرتو آزمون آذر
رُکرُک، بهروز (دکتری مهندسی هسته‌ای)	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای
روزی‌طلب، جلیل (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	شرکت پرتوکاران تابش
سمیع‌پور، فرهاد (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
شریفی یزدی، الهام (کارشناسی ارشد فیزیک)	مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور
عربلو، رضا (کارشناسی فیزیک اتمی)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی
فتحی، مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور
مطهری، غلامرضا (کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی)	شرکت ملی گاز ایران
نبی‌پور چاکلی، علی (دکتری فیزیک مواد)	پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

ویراستار:

پاغنده، معصومه (کارشناسی ارشد مهندسی مواد)	کارشناس استاندارد

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ط
مقدمه ی
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۲
۳ اصطلاحات و تعاریف ۳
۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۹
۵ رده‌بندی تکنیک‌های پرتونگاری و اصول جبران ۱۱
۵-۱ رده‌بندی ۱۱
۵-۲ اصول جبران، CP I، CP II یا CP III ۱۱
۵-۲-۱ کلیات ۱۱
۵-۲-۲ CP I ۱۲
۵-۲-۳ CP II ۱۲
۵-۲-۴ CP III ۱۲
۵-۲-۵ پیشینه نظری ۱۲
۶ آماده‌سازی‌ها و الزامات عمومی ۱۲
۶-۱ حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز ۱۲
۶-۲ آماده‌سازی سطح و مرحله ساخت ۱۳
۶-۳ موقعیت جوش در پرتونگاشت ۱۳
۶-۴ شناسایی پرتونگاشت‌ها ۱۳
۶-۵ نشانه‌گذاری ۱۳
۶-۶ هم‌پوشانی تصاویر دیجیتال ۱۳
۶-۷ انواع شاخص‌های کیفیت تصویر و موقعیت آن‌ها ۱۴
۶-۸ کمینه مقادیر کیفیت تصویر ۱۶
۶-۹ احراز صلاحیت کارکنان ۱۶
۷ تکنیک‌های توصیه‌شده برای تهیه پرتونگاشت‌های دیجیتال ۱۶
۷-۱ چیدمان آزمون ۱۷
۷-۱-۱ کلیات ۱۷
۷-۱-۲ منبع پرتو در یک طرف جسم و آشکارساز در طرف دیگر آن قرار داده شده ۱۸
۷-۱-۳ منبع پرتو در خارج جسم و آشکارساز داخل آن قرار داده شده ۱۸

عنوان **صفحه**

۷-۱-۴ منبع پرتو داخل جسم در مرکز و آشکارساز در خارج آن قرار داده شده ۲۰
۷-۱-۵ منبع پرتو داخل جسم در خارج از مرکز و آشکارساز در خارج آن قرار داده شده ۲۱
۷-۱-۶ تکنیک بیضوی ۲۲
۷-۱-۷ تکنیک عمودی ۲۲
۷-۱-۸ منبع پرتو خارج جسم و آشکارساز در طرف دیگر آن قرار داده شده ۲۳
۷-۱-۹ تکنیک برای جسم با ضخامت‌های متفاوت ۲۶
۷-۲ انتخاب ولتاژ تیوب و منبع پرتو ۲۶
۷-۲-۱ دستگاه‌های مولد پرتو ایکس تا kV1000 ۲۶
۷-۲-۲ سایر منابع پرتو ۲۷
۷-۳ سیستم‌های آشکارساز و صفحات فلزی ۲۹
۷-۳-۱ کمینه نسبت سیگنال به نویز بهنجارشده ۲۹
۷-۳-۲ اصل جبران II ۳۰
۷-۳-۳ صفحات فلزی مربوط به صفحات تصویرساز (IPs) و حفاظ‌گذاری ۳۱
۷-۴ تنظیم راستای باریکه ۳۲
۷-۵ کاهش پرتوهای پراکنده ۳۲
۷-۵-۱ فیلترهای فلزی و باریکه‌سازها ۳۲
۷-۵-۲ جلوگیری از پرتوهای پس‌پراکنده ۳۴
۷-۶ فاصله منبع تا جسم ۳۴
۷-۷ تکنیک بزرگنمایی هندسی ۳۸
۷-۸ بیشینه ناحیه برای تک پرتودهی ۴۰
۷-۹ پردازش ۴۰
۷-۹-۱ اسکن و خوانش تصویر ۴۰
۷-۹-۲ کالیبراسیون آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) ۴۰
۷-۹-۳ درون‌یابی پیکسل معیوب ۴۱
۷-۹-۴ پردازش تصویر ۴۲
۷-۱۰ شرایط مشاهده نمایشگر و ذخیره‌سازی پرتونگاشت‌های دیجیتال ۴۲
۸ گزارش آزمون ۴۳
پیوست الف (الزامی) تعداد پرتودهی‌های توصیه‌شده برای یک آزمایش قابل قبول از جوش لب به لبِ محیطی ۴۵
پیوست ب (الزامی) کمینه مقادیر کیفیت تصویر ۵۰
پیوست پ (الزامی) تعیین قدرت تفکیک مکانی پایه ۵۸

عنوان **صفحه**

پیوست ت (الزامی) تعیین کمینه مقادیر خاکستری در روش CR ۶۳
پیوست ث (آگاهی دهنده) مقادیر خاکستری، نکات کلی ۶۹
کتاب‌نامه ۷۱

پیش‌گفتار

استاندارد «آزمون‌های غیرمخرب جوش‌ها - آزمون پرتونگاری- قسمت ۲: تکنیک‌های پرتو ایکس و گاما با آشکارسازهای دیجیتال» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در اولین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد فلزشناسی مورخ ۱۳۹۷/۰۸/۲۷ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوطه، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO 17636-2: 2013, Non-destructive testing of welds — Radiographic testing — Part 2: X- and gamma-ray techniques with digital detectors

مقدمه

این استاندارد تکنیک‌های پایه پرتونگاری را با هدف ایجاد توانایی دستیابی اقتصادی به نتایج رضایت‌بخش و تکرارپذیر تعیین می‌کند. این تکنیک‌ها بر اساس شیوه قابل قبولِ معمول و نظریه بنیادی موضوع بازرسی اتصالات جوش ذوبی با آشکارسازهای پرتونگاری دیجیتال هستند.

آشکارسازهای دیجیتال یک تصویر دیجیتال از مقادیر خاکستری ایجاد می‌کنند که فقط با کامپیوتر قابل مشاهده و ارزیابی است. این استاندارد، روش‌اجرایی پیشنهادی برای انتخاب آشکارساز و شیوه پرتونگاری را شرح می‌دهد. انتخاب کامپیوتر، نرم‌افزار، نمایشگر، چاپگر و شرایط مشاهده مهم هستند اما موضوع اصلی این استاندارد نمی‌باشد.

روش اجرایی مشخص‌شده در این استاندارد، حداقل الزامات برای شیوه‌های مجاز پرتودهی و جمع‌آوری پرتونگاشت‌های دیجیتال با حساسیت معادل پرتونگاری با فیلم برای تشخیص نقایص[1]، مطابق با استاندارد ISO 17636-1 را فراهم می‌کند.

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استانداردهای ملی شماره ۱۳۸۸۳ است که به تشریح تکنیک‌های پرتو ایکس و گاما مورد استفاده در آزمون‌های پرتونگاری غیرمخرب جوش‌ها می‌پردازد.

قسمت دیگر این استاندارد به شرح زیر است:

— آزمون‌های غیرمخرب جوش‌ها- آزمون پرتونگاری- قسمت ۱: تکنیک‌های پرتو ایکس و گاما با فیلم.

1- Imperfections

آزمون‌های غیرمخرب جوش‌ها- آزمون پرتونگاری- قسمت ۲: تکنیک‌های پرتو ایکس و گاما با آشکارسازهای دیجیتال

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین تکنیک‌های بنیادین پرتونگاری دیجیتال به‌منظور دست‌یابی به‌صرفه به نتایج رضایت‌بخش و تکرارپذیر است. این‌تکنیک‌ها براساس شیوه‌های شناخته‌شده و تئوری‌های بنیادین معمول پرتونگاری هستند.

این استاندارد برای آزمون پرتونگاری دیجیتال اتصالات جوش ذوبی در مواد فلزی در اتصالات ورق‌ها و لوله‌ها کاربرد دارد. واژه «لوله» که در این استاندارد به‌کار می‌رود علاوه بر مفهوم قراردادی، دیگر اجسام استوانه‌ای مانند تیوب‌ها، لوله‌های توربین‌ها[1]، مخازن دیگ‌های بخار و مخازن تحت فشار را نیز دربر می‌گیرد.

این استاندارد، الزامات آزمون پرتونگاری دیجیتال با پرتو ایکس و گاما به‌وسیله پرتونگاری محاسباتی (CR)[2] یا آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDA)[3] برای اتصالات جوش‌داده شده صفحات و تیوب‌های فلزی، به‌منظور تعیین نقایص را مشخص می‌کند.

آشکارسازهای دیجیتال تصویر دیجیتالی از مقادیر خاکستری[4] ایجاد می‌کنند که با کامپیوتر قابل مشاهده و ارزیابی است. این استاندارد روش اجرایی پیشنهادی برای انتخاب آشکارساز و شیوه پرتونگاری را مشخص می‌کند. انتخاب کامپیوتر، نرم‌افزار، نمایشگر، چاپگر و شرایط مشاهده مهم هستند اما موضوع اصلی این استاندارد نمی‌باشد. روش اجرایی مشخص‌شده در این استاندارد، حداقل الزامات برای شیوه‌های مجاز پرتودهی و جمع‌آوری پرتونگاشت‌های دیجیتال با حساسیت معادل پرتونگاری با فیلم برای تشخیص نقایص، مطابق با استاندارد ISO 17636-1 را فراهم می‌کند.

این استاندارد در مورد سطوح پذیرش هیچ یک از نشانه‌هایی[5] که روی پرتونگاشت‌ها یافت می‌شوند، کاربرد ندارد.

در صورتی‌که طرفین قرارداد، معیارهای آزمون سهل‌گیرانه‌تری به‌کار برند، ممکن است کیفیت به‌دست آمده، به‌طور قابل ملاحظه‌ای پایین‌تر از هنگامی باشد که این استاندارد، دقیقاً اعمال می‌شود.

1- Penstocks
2- Computed radiography
3- Digital detector arrays
4- Digital grey value
5- Indications

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 5576, Non-destructive testing- Industrial X-ray and gamma-ray radiology- Vocabulary

2-2 ISO 9712, Non-destructive testing- Qualification and certification of NDT personnel

یادآوری- استاندارد ملی ایران ایزو شماره ۹۷۱۲: سال ۱۳۹۰، آزمون غیرمخرب- احراز شرایط و گواهی کردن کارکنان، با استفاده از استاندارد ISO 9712: 2005، تدوین شده است.

2-3 ISO 16371-1:2011 Non-destructive testing- Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plate - part 1: Classificationof Systems

2-4 ISO 19232-1, Non-destructive testing- Image quality of radiographs- Part 1: Image quality indicators (wire type)- Determination of image quality value

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۴۵۹: سال ۱۳۹۲، آزمون غیرمخرب- کیفیت تصویر پرتونگاشت‌ها- قسمت ۱: تعیین سطح کیفیت تصویر با استفاده از شاخص‌های کیفیت تصویر نوع سیمی، با استفاده از استاندارد ISO 19232-1: 2013، تدوین شده است.

2-5 ISO 19232-2, Non-destructive testing- Image quality of radiographs- Part 2: Image quality indicators (step/hole type)- Determination of image quality value

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۱۴۵۹: سال ۱۳۹۲، آزمون غیرمخرب- کیفیت تصویر پرتونگاشت‌ها- قسمت ۲: تعیین سطح کیفیت تصویر با استفاده از شاخص‌های کیفیت تصویر نوع پله‌ای/سوراخ‌دار، با استفاده از استاندارد ISO 19232-2: 2013، تدوین شده است.

2-6 ISO 19232-4, Non-destructive testing- Image quality of radiographs- Part 4: Experimental evaluation of image quality values and image quality tables

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۱۴۵۹: سال ۱۳۹۲، آزمون غیرمخرب- کیفیت تصویر پرتونگاشت‌ها- قسمت ۴: ارزیابی تجربی سطوح کیفیت تصویر و جدول‌های کیفیت تصویر، با استفاده از استاندارد ISO 19232-4: 2013، تدوین شده است.

2-7 ISO 19232-5, Non-destructive testing- Image quality of radiographs- Part 5: Image quality indicators (duplex wire type) – Determination of image unsharpness value

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۵-۱۱۴۵۹: سال ۱۳۹۲، آزمون غیرمخرب- کیفیت تصویر پرتونگاشت‌ها- قسمت ۵: شاخص‌های کیفیت تصویر (نوع دو سیمی) تعیین مقدار عدم‌وضوح تصویر، با استفاده از استاندارد ISO 19232-5: 2013، تدوین شده است.

2-8 EN 12543 (all parts), Non-destructive testing- Characteristics of focal spots in industrial X-ray systems for use in non-destructive testing

2-9 EN 12679, Non-destructive testing- Determination of the size of industrial radiographic sources- Radiographic method

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO 5576، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز، به‌کار می‌رود:

۱-۳

پرتونگاری محاسباتی

computed radiography

CR

سیستم صفحه تصویرساز فسفری

storage phosphor imaging plate system

سیستم کامل شامل صفحه تصویرساز (IP)[1] فسفری و واحد خوانش متناظر (اسکنر یا خوانش‌گر)، که اطلاعات IP را به تصویر دیجیتال تبدیل می‌کند.

۲-۳

صفحه تصویرساز فسفری

storage phosphor imaging plate

IP

مادهٔ لومینسانس تحریک‌پذیر با نور[2] که قادر به ذخیره یک تصویر نهفته پرتونگاری از ماده مورد بررسی است و به محض تحریک به وسیله منبع نور قرمز با طول موج مناسب، درخشندگی متناسب با پرتو جذب‌شده را تولید می‌کند.

یادآوری – در زمان انجام پرتونگاری محاسباتی، به جای فیلم از یک IP استفاده می‌شود. هنگام اجرای تکنیک‌های مربوط به اندازهٔ منبع یا هندسه‌های نقطه کانونی، IP به عنوان آشکارساز در نظر گرفته می‌شود و فاصله منبع تا IP به عنوان فاصله منبع تا آشکارساز (SDD)[3] به‌کار می‌رود.

1- Imaging plate
2- Photostimulable
3- Source-to-detector distance

۳-۳

سیستم آرایه آشکارساز دیجیتال

digital detector array system

DDA system

وسیله الکترونیکی که پرتوهای یون‌ساز یا نافذ را به یک آرایه گسسته از سیگنال‌های آنالوگ تبدیل کرده و پس از آن سیگنال دیجیتالی شده و برای نمایش به صورت یک تصویر دیجیتال متناظر با الگوی انرژی پرتوی تحویل داده شده به ناحیه ورودی وسیله، به کامپیوتر منتقل می‌شود.

۴-۳

نویز ساختاری صفحه تصویرساز

structure noise of imaging plate

نویز ساختاری IP

structure noise of IP

ساختار ناشی از ناهمگنی درلایه حساس (دانه‌ای‌شدن[1]) و سطح یک صفحه تصویرساز

یادآوری ۱- بعد از اسکن صفحهٔ تصویرساز پرتودهی‌شده، ناهمگنی‌ها به صورت نویز الگوی ثابت[2] بر روی تصویر دیجیتال پدیدار می‌شود.

یادآوری ۲- این نویز، بیشینه کیفیت قابل دست‌یابی تصویر در تصاویر دیجیتالی CR را محدود می‌کند و با دانه‌ای‌شدن در تصاویر فیلم قابل مقایسه است.

۵-۳

نویز ساختاری آرایه آشکارساز دیجیتال

structure noise of digital detector array

نویز ساختاری DDA

structure noise of DDA

ساختار ناشی از خصوصیات متفاوت المان‌های (پیکسل‌های) آشکارساز

یادآوری – بعد از خواندن DDA کالیبره‌نشدهٔ پرتودهی‌شده، ناهمگنی‌های DDA به صورت نویز الگوی ثابت در تصویر دیجیتال پدیدار می‌شوند. بنابراین، همه آرایه‌ها، پس ازخوانش، به کالیبراسیون نرم افزاری نیاز دارند (نرم‌افزار و راهنماها توسط سازنده تهیه می شود). یک روش اجرایی مناسب کالیبراسیون، نویز ساختاری را کاهش می‌دهد.

1- Graininess
2- Fixed pattern noise

۶-۳

مقدار خاکستری

grey value

GV

مقدار عددی یک پیکسل در تصویر دیجیتال

یادآوری – این عبارت به‌طور معمول با عباراتی مانند مقدار پیکسل، پاسخ آشکارساز، واحد آنالوگ به دیجیتال و سیگنال آشکارساز قابل جایگزین‌شدن است.

۷-۳

مقدار خاکستری خطی

linearized grey value

GV_{lin}

مقدار عددی یک پیکسل که مستقیماً با دُز دریافتی آشکارساز متناسب است و در صورتی‌که آشکارساز پرتودهی نشده باشد مقدار آن صفر است.

یادآوری – این عبارت به‌طور معمول با عباراتی مانند مقدار خطی پیکسل و سیگنال خطی آشکارساز قابل جایگزین‌شدن است.

۸-۳

قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز دیجیتال

basic spatial resolution of a digital detector

$SR_b^{detector}$

متناظر با نصف عدم‌وضوح اندازه‌گیری‌شدهٔ آشکارساز در تصویر دیجیتال و متناظر با اندازه پیکسلِ مؤثر است و کوچکترین جزئیات هندسی را نشان می‌دهد که می‌تواند با یک آشکارساز دیجیتال با بزرگنمایی برابر با یک قابل تفکیک باشد.

یادآوری ۱ – برای این اندازه‌گیری، IQI [1] دو سیمی[2] بر روی آرایه آشکارساز دیجیتال یا صفحه تصویرساز قرار می‌گیرد.

یادآوری ۲ - اندازه‌گیری عدم‌وضوح در استاندارد ISO 19232-5 شرح داده شده است، همچنین به استانداردهای ASTM E2736[13] و ASTM E1000[8] مراجعه شود.

1- Image quality indicator
2- Duplex Wire IQI

۹-۳

قدرت تفکیک مکانی پایه تصویر دیجیتال

basic spatial resolution of a digital image

SR_b^{image}

متناظر با نصف عدم‌وضوح اندازه‌گیری‌شدهٔ تصویر در تصویر دیجیتال و متناظر با اندازهٔ پیکسل مؤثر است و کوچکترین جزئیات هندسی را نشان می‌دهد که می‌تواند در یک تصویر دیجیتال قابل تفکیک باشد.

یادآوری ۱ - برای این اندازه‌گیری، IQI دو سیمی بر روی جسم (سمت منبع پرتو) قرار می‌گیرد.

یادآوری ۲ - اندازه‌گیری عدم‌وضوح در استاندارد ISO 19232-5 شرح داده شده است. همچنین به استانداردهای ASTM E2736[13] و ASTM E1000[8] مراجعه شود.

۱۰-۳

نسبت سیگنال به نویز

signal-to-noise ratio

SNR

نسبت مقدار متوسط مقادیر خطی خاکستری به انحراف معیار مقادیر خطی خاکستری (نویز) در یک ناحیه مورد نظر (ROI)[1] مشخص در تصویر دیجیتال

۱۱-۳

نسبت سیگنال به نویز بهنجار

normalized signal-to-noise ratio

SNR_N

نسبت سیگنال به نویز، SNR، که به‌وسیله قدرت تفکیک مکانی پایه، SR_b، بهنجار شده است و به‌طور مستقیم در تصاویر دیجیتالی اندازه‌گیری می‌شود و/یا به‌وسیله SNR اندازه گرفته‌شده، $SNR_{measured}$، طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$SNR_N = SNR_{measured} \frac{88{,}6\ \mu m}{SR_b}$$

1- Region of interest

۱۲-۳

نسبت تباین به نویز

contrast-to-noise ratio

CNR

نسبت اختلاف بین متوسط سطوح سیگنال در دو ناحیه تصویر به میانگین انحراف معیار سطوح سیگنال

یادآوری – نسبت تباین به نویز، مؤلفه‌ای از کیفیت تصویر را شرح می‌دهد و به‌طور تقریبی بـه حاصـل‌ضـرب ضـریب تضـعیف پرتوی و SNR بستگی دارد. برای یک پرتونگاشت دیجیتال علاوه بر CNR مناسب، به‌دست آوردن عدم‌وضوح مناسب یا قدرت تفکیک مکانی پایه مناسب برای تفکیک کردن ویژگی‌های مورد نظر ضروری است.

۱۳-۳

نسبت تباین به نویز بهنجارشده

normalized contrast-to-noise ratio

CNR_N

نسبت تباین به نویز، CNR، که به‌وسیله قدرت تفکیک مکانی پایه، SR_b، بهنجار شده است و به‌طور مستقیم در تصاویر دیجیتالی اندازه‌گیری و/ یا با استفاده از CNR اندازه گرفته‌شده، محاسبه می‌شود، یعنی

$$CNR_N = CNR \times \frac{88{,}6\ \mu m}{SR_b}$$

۱۴-۳

بدنمایی

aliasing

نشانه‌های مصنوعی[1] پدیدارشده در یک تصویر، هنگامی‌که فرکانس مکانی ورودی بزرگتر از مقداری است که خروجی قادر باشد به‌درستی بازتولید شود.

یادآوری – بدنمایی اغلب به شکل بخش‌های دندانه‌دار یا پله‌ای در الگوهای مویره[2] یا خطی ظاهر می‌شود.

۱۵-۳

پیکسل مرکزی گروه

cluster kernel pixel

CKP

پیکسل معیوبی که پنج پیکسل صحیح یا بیشتر در همسایگی‌اش وجود ندارد.

یادآوری – برای جزئیات بیشتر در مورد پیکسل‌های معیوب و CKP، به استاندارد ASTM E2597[11] مراجعه شود.

1- Artefacts
2- Moiré patterns

۳-۱۶

ضخامت اسمی

nominal thickness

t

ضخامت ماده پایه، بدون در نظر گرفتن رواداری‌های[1] تولید

۳-۱۷

تغییر ضخامت نفوذ

penetration thickness change

Δt

تغییر در ضخامت نفوذ نسبت به ضخامت اسمی ناشی از زاویه باریکه پرتو

۳-۱۸

ضخامت نفوذ

penetrated thickness

w

ضخامت ماده در راستای باریکه پرتو که بر اساس ضخامت اسمی تمام دیواره‌هایی که باریکه پرتو در آن‌ها نفوذ کرده است، محاسبه می‌شود.

۳-۱۹

فاصله جسم تا آشکارساز

object-to-detector distance

b

بزرگترین (بیشینه) فاصله بین سمت رو به پرتوِ بخش پرتونگاری‌شدهٔ جسم مورد آزمون و لایه حساس آشکارساز در راستای محور مرکزی باریکه پرتو

۳-۲۰

اندازه منبع

source size

d

اندازه منبع پرتو یا اندازه نقطه کانونی

یادآوری - به استانداردهای EN 12679 یا EN 12543 مراجعه شود.

1- Tolerance

۲۱-۳

فاصله منبع تا آشکارساز

source-to-detector distance

SDD

فاصله بین منبع پرتو و آشکارساز که در جهت باریکه اندازه‌گیری شده است.

یادآوری - $SDD = f + b$

که در آن:

f فاصله منبع تا جسم؛ و

b فاصله جسم تا آشکارساز است.

۲۲-۳

فاصله منبع تا جسم

source-to-object distance

f

فاصلهٔ بین منبع پرتو و سمت رو به منبع جسم مورد آزمون، با بیشترین فاصله از آشکارساز، که در امتداد محور مرکزی باریکه پرتو اندازه‌گیری شده است.

۲۳-۳

قُطر خارجی

external diameter

D_e

قُطر خارجی اسمی لوله

۲۴-۳

بزرگنمایی هندسی

geometric magnification

v

نسبت فاصله منبع تا آشکارساز (SDD) به فاصله منبع تا جسم (f)

۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

در این استاندارد نمادهای ارائه شده در جدول ۱ به‌کار می‌رود:

جدول ۱- نمادها و اصطلاحات

نماد	عبارت
b	فاصله جسم تا آشکارساز
b'	فاصله جسم تا آشکارساز عمود بر جسم مورد آزمون
d	اندازه منبع، اندازه نقطه کانونی
D_e	قُطر خارجی
f	فاصله منبع تا جسم
f'	فاصله منبع تا جسم عمود بر جسم مورد آزمون
SNR	نسبت سیگنال به نویز
SNR_N	نسبت سیگنال به نویز بهنجارشده
t	ضخامت اسمی
Δt	تغییر ضخامت نفوذ
u_G	عدم‌وضوح هندسی
u_i	عدم‌وضوح ذاتی سیستم آشکارساز، به استثنای هرگونه عدم‌وضوح هندسی، که از تصویر دیجیتال با IQI دو سیمی نزدیک آشکارساز اندازه‌گیری می شود.
u_{im}	عدم‌وضوح قابل قبول تصویر، که در تصویر دیجیتال در صفحه جسم به وسیله IQI دو سیمی اندازه‌گیری می شود
u_T	عدم‌وضوح کلی تصویر، شامل عدم‌وضوح هندسی، که در تصویر دیجیتال در صفحه آشکارساز به وسیله IQI دو سیمی در صفحه جسم اندازه‌گیری می‌شود.
v	بزرگنمایی هندسی
w	ضخامت نفوذ
CKP	پیکسل مرکزی گروه
CNR	نسبت تباین به نویز
CNR_N	نسبت تباین به نویز بهنجارشده
CR	پرتونگاری محاسباتی
D	آشکارساز
DDA	آرایه آشکارساز دیجیتال
IP	صفحه تصویرساز فسفری
IQI	شاخص کیفیت تصویر
S	منبع پرتو
SDD	فاصله منبع تا آشکارساز
SR_b	قدرت تفکیک مکانی پایه که با IQI دو سیمی در مجاورت آشکارساز تعیین می‌شود.
$SR_b^{detector}$	قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز دیجیتال
SR_b^{image}	قدرت تفکیک مکانی پایه که با IQI دو سیمی در سمت رو به منبعِ جسم تعیین می‌شود

۵ رده‌بندی تکنیک‌های پرتونگاری و اصول جبران

۵-۱ رده‌بندی

تکنیک‌های پرتونگاری به دو رده تقسیم می‌شوند:

- رده A: تکنیک‌های پایه؛
- رده B: تکنیک‌های بهبودیافته (حساس‌تر)

زمانی‌که ممکن است تکنیک‌های رده A حساسیت کافی نداشته باشند، تکنیک‌های رده B به‌کار می‌روند.

امکان استفاده از تکنیک‌های بهتر در مقایسه با تکنیک‌های رده B نیز وجود دارد و در صورت توافق بین طرفین قرارداد با مشخص کردن تمام پارامترهای مقتضی آزمون، می‌تواند به‌کار گرفته شود.

انتخاب تکنیک پرتونگاری دیجیتال باید بین طرفین قرارداد مورد توافق قرارگیرد.

با وجود این، قابلیت مشاهده عیوب با استفاده از پرتونگاری با فیلم یا پرتونگاری دیجیتال، به‌ترتیب هنگام استفاده از تکنیک‌های رده A و B یکسان است. قابلیت مشاهده باید با استفاده از شاخص‌های کیفیت تصویر (IQIs) مطابق با استانداردهای ISO 19232-1 یا ISO 19232-2 و ISO 19232-5 اثبات شود.

اگر به دلایل فنی، امکان برآورده شدن یکی از شرایط مشخص شده برای رده B، مانند نوع منبع پرتو یا فاصله منبع تا جسم، f، وجود نداشته باشد، ممکن است بین طرفین قرارداد، توافق شود که شرط مورد نظر منطبق با رده A باشد. اُفت حساسیت باید با افزایش کمینه مقدار خاکستری و SNR_N مربوط به CR یا SNR_N مربوط به تکنیک DDA (افزایش SNR_N با ضریب بزرگتر از ۱٫۴ توصیه شده است) جبران شود. چنان‌چه حساسیت IQI دقیق به‌دست آید، به دلیل حساسیت بهتر نسبت به رده A، می‌توان در نظر گرفت که جسم مورد آزمون در رده B مورد آزمایش قرار گرفته است. در صورت استفاده از کاهش SDD ویژهٔ شرح داده شده در زیربند ۷-۶ برای چیدمان‌های آزمون زیربندهای ۷-۱-۴ و ۷-۱-۵، این شرط کاربرد ندارد.

۵-۲ اصول جبران، CP I، CP II یا CP III

۵-۲-۱ کلیات

به‌منظور به‌دست آوردن حساسیت تباین مناسب برای پرتونگاری با آشکارسازهای دیجیتال در این استاندارد سه قانون (به زیربندهای ۵-۲-۲ تا ۵-۲-۴ مراجعه شود) به‌کار رفته است.

به‌کاربردن این قوانین، نیازمند دست‌یابی به کمینهٔ نسبت تباین به نویزِ بهنجار شده به قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز، CNR_N، بر اختلاف ضخامت ماده قابل آشکارسازی، Δw، است. چنانچه نسبت تباین به نویز بهنجارشده مورد نیاز (CNR_N بر Δw) را به دلیل مقدار ناکافی یکی از پارامترهای زیر نتوان به‌دست آورد، این مورد می‌تواند با افزایش در SNR جبران شود.

CP I ۲-۲-۵

جبران کاهش تباین (مثلاً با افزایش ولتاژ تیوب) با افزایش SNR (مثلاً با افزایش جریان تیوب یا زمان پرتودهی)

CP II ۳-۲-۵

جبران وضوح ناکافی آشکارساز (مقدار SR_b بیشتر از مقدار مشخص شده) با افزایش SNR (افزایش شمارهٔ IQI تک سیمی یا IQI پله‌ای سوراخ‌دار برای هر جفت شماره IQI دو سیمی دیده‌نشده)

CP III ۴-۲-۵

جبران افزایش عدم‌وضوح درون‌یابی‌شدهٔ موضعی، ناشی از تصحیح پیکسل معیوب برای آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs)، با افزایش SNR

۵-۲-۵ پیشینه نظری[1]

این اصول جبران بر اساس تقریب زیر برای عیوب با اندازه‌های کوچک ($\Delta w << w$) هستند:

$$\frac{\mathrm{CNR_N}}{\Delta w} = c\,\frac{\mu_{\mathrm{eff}}\mathrm{SNR}}{\mathrm{SR_b}}$$

که در آن:

c یک ثابت است؛

μ_{eff} ضریب تضعیف مؤثر است که معادل با تباین مخصوص ماده می‌باشد؛

$\mathrm{CNR_N}$ CNR بهنجارشدهٔ اندازه‌گیری‌شده در تصویر دیجیتال است.

۶ آماده‌سازی‌ها و الزامات عمومی

۶-۱ حفاظت در برابر پرتوهای یون‌ساز

هشدار- قرار گرفتن هر قسمت از بدن انسان در برابر پرتوهای ایکس یا گاما، می‌تواند برای سلامتی بسیار مضر باشد. هر جا که از تجهیزات پرتو ایکس یا چشمه‌های پرتوزا استفاده شود، باید الزامات قانونی مرتبط، رعایت شوند.

هنگام استفاده از پرتوهای یون‌ساز، باید الزامات قانونی مطابق با قوانین و الزامات مرکز نظام ایمنی هسته‌ای[2] کشور، به‌کار گرفته شوند.

1- Theoretical background

۲ - مجموعه ضوابط مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور در پورتال سازمان انرژی اتمی ایران به نشانی https://www.aeoi.org.ir/ قرار دارد.

۶-۲ آماده‌سازی سطح و مرحله ساخت

به‌طور کلی، نیازی به آماده‌سازی سطح نیست، اما در جایی که نقص‌های سطحی یا پوشش‌ها می‌توانند باعث ایجاد اشکال در آشکارسازی عیوب شوند، سطح باید با سنگ‌زنی، صاف شده یا پوشش‌ها باید برداشته شوند.

پرتونگاری دیجیتال باید پس از آخرین مرحله ساخت، به عنوان مثال پس از سنگ‌زنی یا عملیات حرارتی، انجام شود مگر آن‌که به‌گونه دیگری مشخص شده باشد.

۶-۳ موقعیت جوش در پرتونگاشت

در صورتی‌که موقعیت جوش در پرتونگاشت‌ها مشخص نباشد، باید نشانگرهایی[1] با چگالی بالا در هر دو طرف جوش قرار داده شوند.

۶-۴ شناسایی پرتونگاشت‌ها

باید نشانه‌هایی بر روی هر قسمت از جسم تحت پرتونگاری به صورت دیجیتال قرار داده شود. تصاویر این نشانه‌ها باید در صورت امکان، روی پرتونگاشت دیجیتال در خارج از ناحیه مورد نظر آزمون ظاهر شوند و باید شناسایی بدون ابهام آن قسمت را تضمین کنند.

۶-۵ نشانه‌گذاری

باید نشانه‌گذاری‌های دائمی بر روی جسم مورد آزمون به‌منظور تعیین دقیق وضعیت هر پرتونگاشت دیجیتال (مانند نقطه صفر، جهت، شناسایی و اندازه) قرار داد.

هنگامی‌که ماهیت مواد و/یا شرایط کاری آن، اجازه نشانه‌گذاری دائمی را نمی‌دهد، می‌توان موقعیت جسم را به‌وسیله طرح‌های شماتیک[2] دقیق یا عکس‌هایی ثبت کرد.

۶-۶ هم‌پوشانی تصاویر دیجیتال

هنگامی که یک ناحیه با استفاده از دو یا چند آشکارساز مجزا (صفحات تصویرساز) به صورت دیجیتال پرتونگاری می شود، به‌منظور اطمینان از این‌که ناحیه مورد نظر آزمون به‌طور کامل پرتونگاری شده، آشکارسازها باید به اندازه کافی هم‌پوشانی داشته باشند. این موضوع باید با قرار دادن یک نشانگر با چگالی بالا روی سطح جسم که در هر یک از تصاویر دیجیتال ظاهر خواهد شد، تصدیق شود. اگر پرتونگاشت‌ها به صورت متوالی گرفته شوند، باید تصویر نشانگر با چگالی بالا در هر پرتونگاشت قابل مشاهده باشد.

1- Markers
2- Sketches

۶-۷ انواع شاخص‌های کیفیت تصویر و موقعیت آن‌ها

کیفیت تصویر باید با استفاده از شاخص‌های کیفیت تصویر (IQIs) مطابق با استانداردهای ISO 19232-5 و ISO 19232-1 یا استاندارد ISO 19232-2 تصدیق شوند.

به پیروی از روش اجرایی شرح داده شده در پیوست **پ**، یک تصویر مرجع برای تصدیق قدرت تفکیک مکانی پایه سیستم آشکارساز دیجیتال مورد نیاز است. به منظور تصدیق این‌که آیا سخت‌افزار سیستم مطابق با الزامات مشخص‌شده به‌صورت تابعی از ضخامت نفوذ در ماده در جداول ب-۱۳ و ب-۱۴ پیوست **ب** است، قدرت تفکیک مکانی پایه یا شماره سیم IQI دوسیمی، باید تعیین شود. در این صورت، IQI دو سیمی باید به‌طور مستقیم روی آشکارساز دیجیتال قرار گیرد. در ایجاد پرتونگاشت‌ها استفاده از IQI دو سیمی (مطابق با استاندارد ISO 19232-5) اجباری نیست. لزوم استفاده از IQI دو سیمی علاوه بر IQI تک سیمی برای ایجاد پرتونگاشت‌ها می‌تواند بخشی از توافق بین طرفین قرارداد باشد. هنگام پرتونگاری جسم، IQI دو سیمی باید روی جسم قرار داده شود. قدرت تفکیک مکانی پایه اندازه‌گیری‌شده تصویر دیجیتال (SR_b^{image}) (به پیوست **پ** مراجعه شود) نباید از بیشینه مقدار مشخص‌شده به‌صورت تابعی از ضخامت نفوذ در ماده (مطابق با جداول ب-۱۳ و ب-۱۴) بیشتر شود. در بازرسی تک تصویر، ضخامت تک دیواره به‌عنوان ضخامت نفوذ در ماده در نظر گرفته می‌شود. در بازرسی دو دیواره-دو تصویر (مطابق با شکل ۱۱ و شکل ۱۲)، با قراردادن IQI دو سیمی در سمت منبعِ لوله، قُطر لوله برای تعیین قدرت تفکیک پایه مورد نیاز (SR_b^{image}) از جداول ب-۱۳ و ب-۱۴ پیوست **ب** به‌دست می‌آید. در بازرسی دو دیواره-دو تصویر، قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز ($SR_b^{detector}$) باید با مقادیر جداول ب-۱۳ و ب-۱۴ پیوست **ب** که بر اساس دو برابر ضخامت اسمی تک دیواره به عنوان ضخامت نفوذ در ماده انتخاب شده، متناظر باشد.

چنانچه تکنیک بزرگنمایی هندسی (به زیربند ۷-۷ مراجعه شود) با $\nu > 1{,}2$ به‌کار رود، برای ایجاد تمام پرتونگاشت‌ها، باید IQI دو سیمی (مطابق با استاندارد ISO 19232-5) استفاده شود.

IQI دو سیمی باید نسبت به ردیف‌ها یا ستون‌های دیجیتال موجود در تصویر دیجیتال، چند درجه (۲° تا ۵°) به‌طور مایل قرار گیرد. چنانچه IQI با زاویه ۴۵° درجه نسبت به ستون‌ها یا ردیف‌های دیجیتال قرار گیرد، باید از شماره IQI به‌دست آمده یک واحد کم شود.

حساسیت تباین تصاویر دیجیتال باید با استفاده از شاخص‌های کیفیت تصویر (IQIs)، با توجه به کاربرد مورد نظر همان‌گونه که در جداول ب-۱ تا ب-۱۲ پیوست **ب** آورده شده‌اند (همچنین به استانداردهای ISO 19232-1 یا ISO 19232-2 مراجعه شود) تصدیق شوند.

شاخص‌های کیفیت تصویر تک سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار[1] باید ترجیحاً بر روی سمت چشمهٔ (اصلی) جسم مورد آزمون در مرکز ناحیه مورد نظر روی فلز پایه در مجاورت جوش قرار گیرند. IQI باید در تماس کامل با

1- Step hole

سطح جسم باشد و محل قرارگیری آن باید در بخشی با ضخامت یکنواخت باشد که به‌وسیله مقدار خاکستری یکنواخت (متوسط) در تصویر دیجیتال مشخص می‌شود.

مطابق با نوع IQI مورد استفاده، باید یکی از موارد **الف** یا **ب** در نظر گرفته شود.

الف- هنگام استفاده از IQI تک سیمی، جهت سیم‌ها باید عمود بر جوش بوده و موقعیت آن‌ها به گونه‌ای باشد که اطمینان حاصل شود حداقل ۱۰ mm از طول سیم در یک ناحیه با مقدار خاکستری یا SNR_N یکنواخت نشان داده می‌شود، که این ناحیه به‌طور معمول در فلز پایه مجاور جوش قرار می‌گیرد. در مورد پرتودهی‌هایی که مطابق با زیربندهای ۷-۱-۶ و ۷-۱-۷ انجام می‌شود، IQI و سیم‌های آن می‌تواند در امتداد محور لوله قرار گیرد و توصیه می‌شود تصویر آن‌ها بر روی تصویر جوش قرار نگیرد.

ب- هنگام استفاده از IQI پله‌ای سوراخ‌دار، این شاخص باید به‌گونه‌ای باشد که شماره سوراخ مورد نیاز نزدیک به جوش قرار گیرد.

برای پرتودهی‌هایی که مطابق با زیربندهای ۷-۱-۶ و ۷-۱-۷ انجام می‌شود، IQI مورد استفاده می‌تواند در سمت منبع یا در سمت آشکارساز قرار گیرد. اگر نتوان شاخص‌های کیفیت تصویر (IQIs) را در سمت منبع قرار داد، آن‌ها را در سمت آشکارساز قرار داده و کیفیت تصویر باید حداقل یک بار از مقایسه پرتودهی با قرار دادن یک IQI در سمت منبع و یک IQI در سمت آشکارساز در شرایط یکسان تعیین شود. اگر در جلوی آشکارساز از فیلترهایی استفاده شده باشد، IQI باید در مقابل فیلتر قرار گیرد.

در مورد پرتودهی‌های دو دیواره-یک تصویر، زمانی‌که IQI در سمت آشکارساز قرار می‌گیرد، آزمون بالا ضروری نیست. در این مورد به جداول متناظر (جداول ب-۹ تا ب-۱۴ پیوست **ب**) مراجعه شود.

هنگامی‌که IQI در سمت آشکارساز قرار دارد، باید حرف سربی F را نزدیک IQI قرار داد و این موضوع را باید در گزارش آزمون ذکر کرد.

شماره‌های شناسایی و حرف سربی F، در صورت استفاده، نباید در ناحیه مورد نظر قرار گیرند، مگر در مواردی که از نظر چیدمان هندسی این کار عملی نباشد.

اگر مراحلی انجام شده که تضمین می‌کند که پرتونگاشت‌های دیجیتال از جسم‌ها و ناحیه‌های آزمون مشابه با پرتودهی و تکنیک‌های پردازش یکسان تولید شده، و احتمال تغییرات در مقدار کیفیت تصویر وجود ندارد، نیازی نیست برای هر پرتونگاشت دیجیتال، کیفیت تصویر صحه‌گذاری شود. توصیه می‌شود تصدیق کیفیت تصویر، تابع توافق بین طرفین قرارداد باشد.

برای پرتودهی لوله‌هایی با قطر ۲۰۰ mm و بیشتر که منبع در مرکز آن قرار گرفته است، توصیه می‌شود حداقل سه IQI با فاصله برابر روی محیط آن‌ها قرار داده شود. سپس تصاویر IQI به‌عنوان نماینده در تمام محیط در نظر گرفته می‌شوند.

۶-۸ کمینه مقادیر کیفیت تصویر

جداول ب-۱ تا ب-۱۴ پیوست **ب** کمینه مقادیر کیفیت را برای مواد فلزی نشان می‌دهند. برای مواد دیگر، این الزامات یا الزامات متناظر می‌توانند توسط طرفین قرارداد مورد توافق قرار گیرند. این الزامات باید مطابق با استاندارد ISO 19232-4 تعیین شوند.

در مواردی که از چشمه‌های Ir-192 یا Se-75 استفاده می‌شود، مقادیر IQI با شرایطی بدتر از آن‌چه که در جدول‌های ب-۱ تا ب-۱۴ پیوست **ب** ارائه شده است، می‌توانند با توافق طرفین قرارداد پذیرفته شوند، به شرطی که:

تکنیک‌های دو دیواره-دو تصویر، هر دو رده A و B ($w = 2t$):

- ۱۰ mm < w ≤ ۲۵ mm: برای Ir-192، یک سیم یا یک پله سوراخ‌دار کمتر؛
- ۵ mm < w ≤ ۱۲ mm: برای Se-75، یک سیم یا یک پله سوراخ‌دار کمتر.

تکنیک‌های یک دیواره-یک تصویر و دو دیواره-یک تصویر، رده A:

- ۱۰ mm < w ≤ ۲۴mm: برای Ir-192، دو سیم یا دو پله سوراخ‌دار کمتر؛
- ۲۴ mm < w ≤ ۳۰mm: برای Ir-192، یک سیم یا یک پله سوراخ‌دار کمتر؛
- ۵ mm< w ≤ ۲۴mm: برای Se-75، یک سیم یا یک پله سوراخ‌دار کمتر.

تکنیک‌های یک دیواره-یک تصویر و دو دیواره-یک تصویر، رده B:

- ۱۰ mm < w ≤ ۴۰ mm: برای Ir-192، یک سیم یا یک پله سوراخ‌دار کمتر؛
- ۵ mm < w ≤ ۲۰mm: برای Se-75، یک سیم یا یک پله سوراخ‌دار کمتر.

۶-۹ احراز صلاحیت کارکنان

کارکنانی که آزمون غیرمخرب را مطابق این استاندارد انجام می‌دهند، باید مطابق با استاندارد ISO 9712 یا معادل آن در سطح مناسب در شاخه صنعتی مربوط، احراز صلاحیت شوند. کارکنان باید بتوانند اثبات کنند که تحت آموزش‌های تکمیلی و احراز صلاحیت در زمینهٔ پرتونگاری صنعتی دیجیتال قرار گرفته‌اند.

۷ تکنیک‌های توصیه‌شده برای تهیه پرتونگاشت‌های دیجیتال

یادآوری- نمادهای به‌کار رفته در شکل‌های ۱ تا ۲۱ در بند ۴ تعریف شده‌اند، مگر آن‌که به گونه‌ای دیگر توضیح داده شده باشد.

۷-۱ چیدمان آزمون

۷-۱-۱ کلیات

به‌طور معمول باید تکنیک‌های پرتونگاری دیجیتال را مطابق با زیربندهای ۷-۱-۲ تا ۷-۱-۹ به‌کار بُرد.

توصیه می‌شود تکنیک بیضوی (دو دیواره-دو تصویر) مطابق با شکل ۱۱ برای قُطر خارجی $D_e > ۱۰۰$ mm یا ضخامت دیواه $t > ۸$ mm یا پهنای جوش بزرگ‌تر از یک‌چهارم قُطر خارجی استفاده نشود. اگر $t / D_e < ۰/۱۲$ باشد، دو تصویر با زاویهٔ ۹۰° کافی است، در غیر این‌صورت به سه تصویر نیاز است. فاصله بین دو تصویر جوش ایجاد شده باید در حدود پهنای یک جوش باشد.

هنگامی‌که انجام آزمایش بیضوی برای $D_e \leq ۱۰۰$ mm مشکل باشد، تکنیک عمودی[1] مطابق با زیربند ۷-۱-۷ می‌تواند استفاده شود (به شکل ۱۲ مراجعه شود). در این‌صورت، سه پرتودهی مجزا با فاصله ۱۲۰° یا ۶۰° نیاز است.

برای چیدمان‌های آزمون مطابق با شکل‌های ۱۱، ۱۳ و ۱۴، زاویه انحراف پرتو باید تا حد امکان کوچک نگه داشته شود و به‌گونه‌ای باشد که مانع روی هم افتادن دو تصویر شود. برای تکنیک نشان داده شده در شکل ۱۳، مطابق با زیربند ۷-۶ فاصله منبع تا جسم، f، باید تا حد امکان کوچک باشد. باید IQI همراه حرف سربی F در سمت آشکارساز قرار داده شود.

در صورت مناسب بودن، طرفین قرارداد می‌توانند در مورد به‌کارگیری سایر تکنیک‌های پرتونگاری دیجیتال، برای مثال به دلایلی مانند هندسه جسم یا تفاوت در ضخامت مواد، توافق کنند. در زیربند ۷-۱-۹ مثالی از چنین موردی ارائه شده است. علاوه بر این، برای جبران ضخامت می‌توان از همان ماده استفاده کرد.

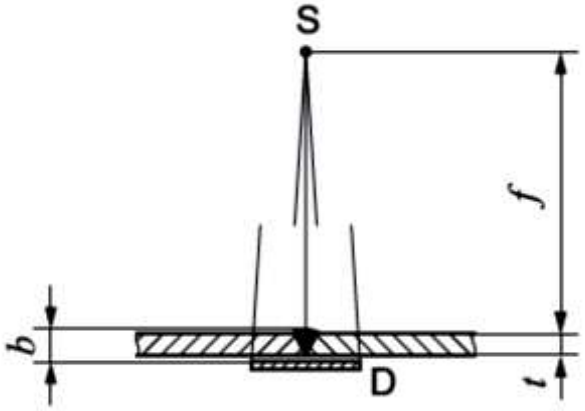
یادآوری- در پیوست **الف**، حداقل تعداد پرتونگاشت‌های دیجیتالی لازم به‌منظور دست‌یابی به پوشش پرتونگاری قابل قبول برای تمام محیط یک جوش لب به لب[2] در لوله ارائه شده است.

چنانچه از تکنیک بزرگنمایی هندسی استفاده نمی‌شود، آشکارساز باید تا حد ممکن نزدیک به جسم قرار گیرد.

چنانچه استفاده از آشکارسازهای انعطاف‌پذیر امکان‌پذیر نباشد و کاست‌های[3] سخت یا آرایه‌های آشکارساز دیجیتال تخت مورد استفاده قرار گیرند، همان‌طور که در شکل‌های ۲-ب، ۸-ب، ۱۳-ب و ۱۴-ب پیوست **ب** نشان داده شده است، فاصله منبع تا آشکارساز، SDD، را باید بر اساس ضخامت دیواره، t، و بزرگترین فاصله آشکارساز تا سطحِ سمتِ چشمهٔ جسم، b، و اندازه نقطه کانونی یا اندازه منبع، d، برطبق فرمول‌های (۳) و (۴) زیربند ۷-۶ محاسبه کرد.

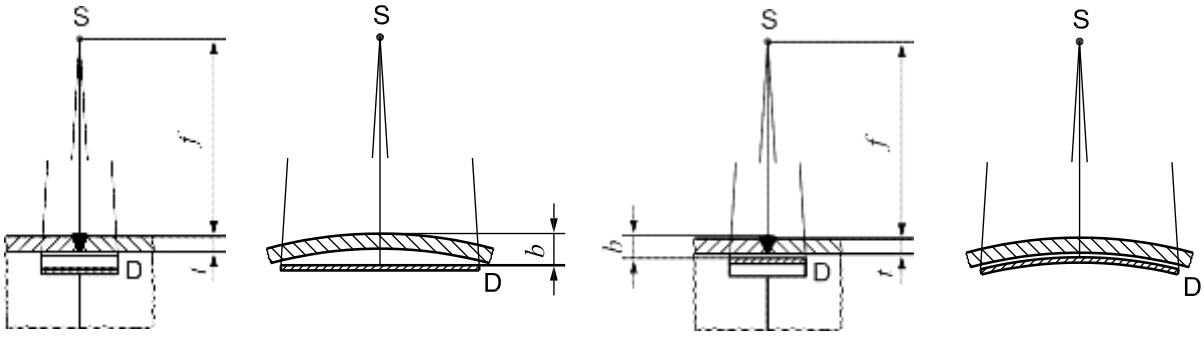
1- Perpendicular technique
2- Butt weld
3- Cassettes

۷-۱-۲ منبع پرتو در یک طرف جسم و آشکارساز در طرف دیگر آن قرار داده شده (به شکل ۱ مراجعه شود)



شکل ۱- چیدمان آزمون برای جوش‌های تخت و نفوذ تک دیواره[1]

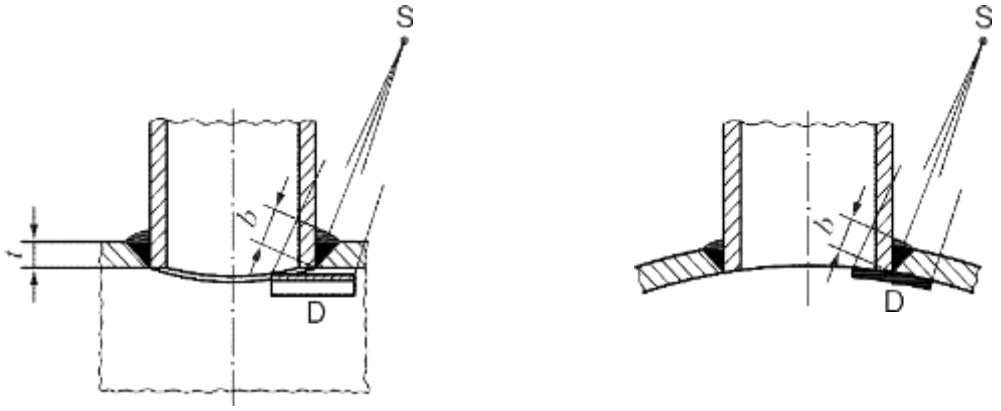
۷-۱-۳ منبع پرتو در خارج جسم و آشکارساز داخل آن قرار داده شده (به شکل‌های ۲ تا ۴ مراجعه شود)



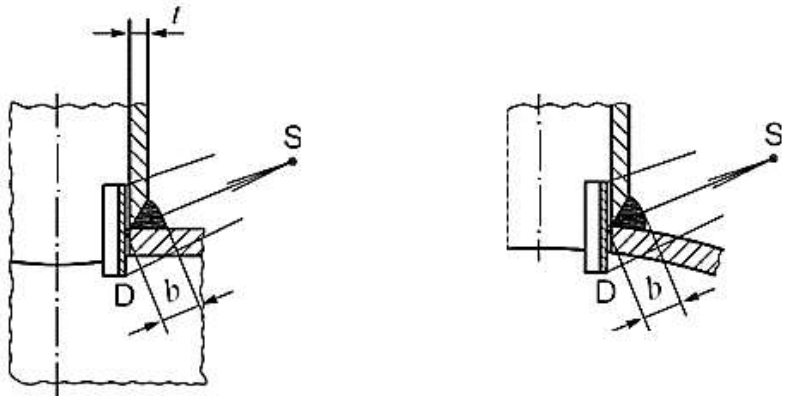
شکل الف- با آشکارسازهای منحنی **شکل ب- با آشکارسازهای تخت**

شکل ۲- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی

1- Single wall



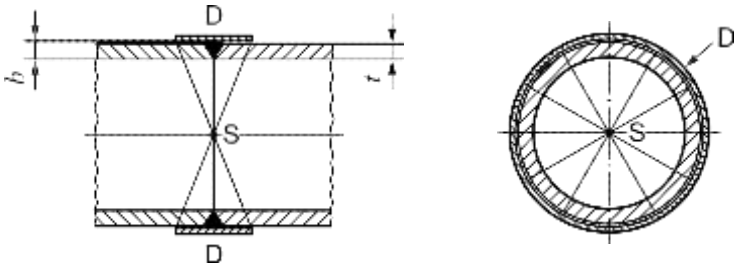
شکل ۳- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی (جوش تو نهاده[1])



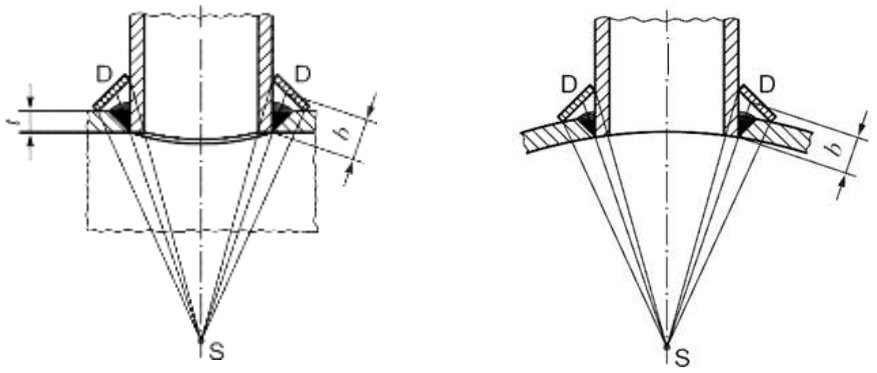
شکل ۴- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی (جوش رو نهاده[2])

1- Set-in weld
2- Set-out weld

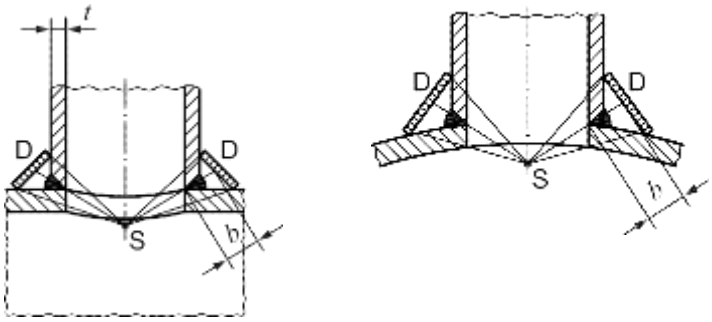
۷-۱-۴ منبع پرتو داخل جسم در مرکز و آشکارساز در خارج آن قرار داده شده (به شکل‌های ۵ تـا ۷ مراجعه شود)



شکل ۵- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی، آشکارسازهای تخت قابل استفاده نیستند.

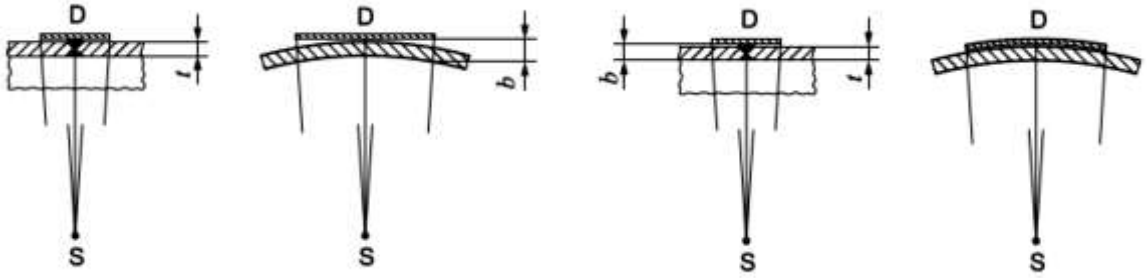


شکل ۶- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی (جوش تو نهاده)



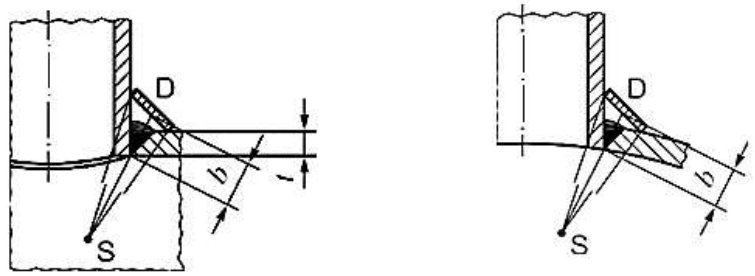
شکل ۷- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی (جوش رو نهاده)

۷-۱-۵ منبع پرتو داخل جسم در خارج از مرکز و آشکارساز در خارج آن قرار داده شده (به شکل‌های ۸ تا ۱۰ مراجعه شود)

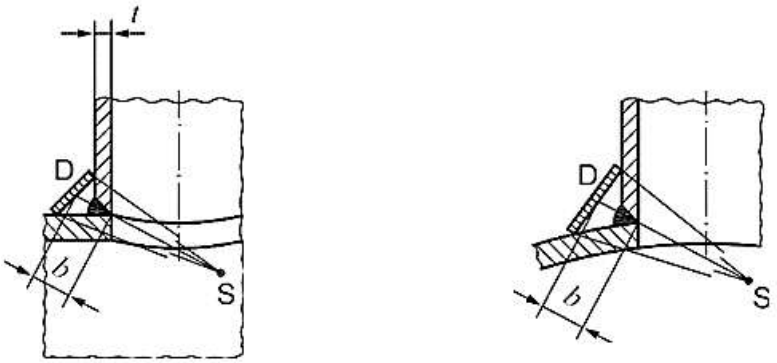


شکل الف – با آشکارسازهای منحنی **شکل ب – با آشکارسازهای تخت**

شکل ۸- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی

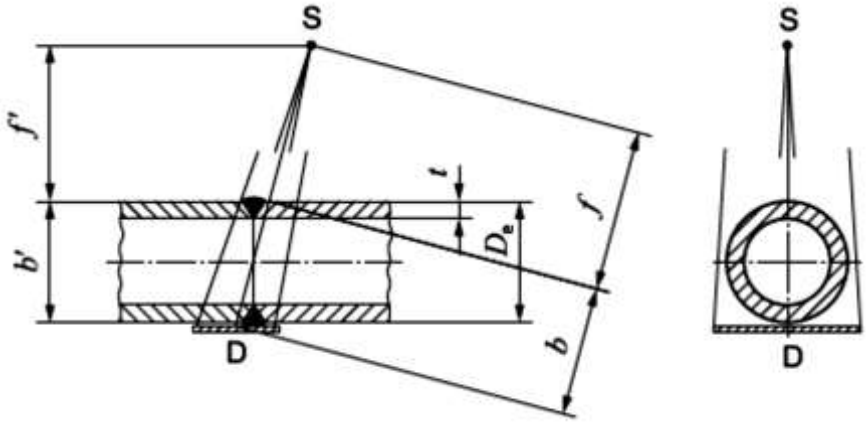


شکل ۹- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی (جوش تو نهاده)



شکل ۱۰- چیدمان آزمون برای نفوذ تک دیواره اجسام منحنی (جوش رو نهاده)

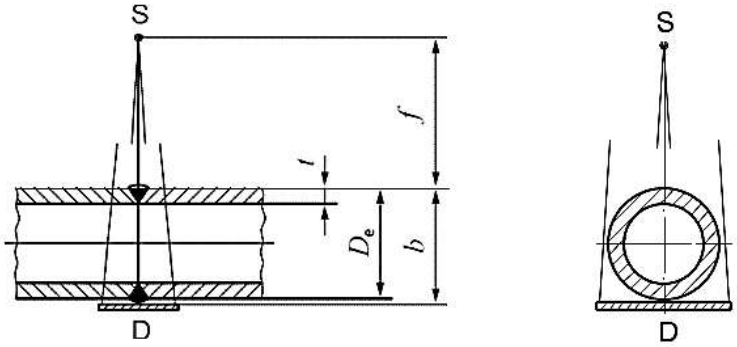
۷-۱-۶ تکنیک بیضوی (به شکل ۱۱ مراجعه شود)



شکل۱۱-چیدمان آزمون برای نفوذ دو دیواره-دو تصویر اجسام منحنی برای ارزیابی هر دو دیواره (منبع و آشکارساز خارج جسم مورد آزمون)

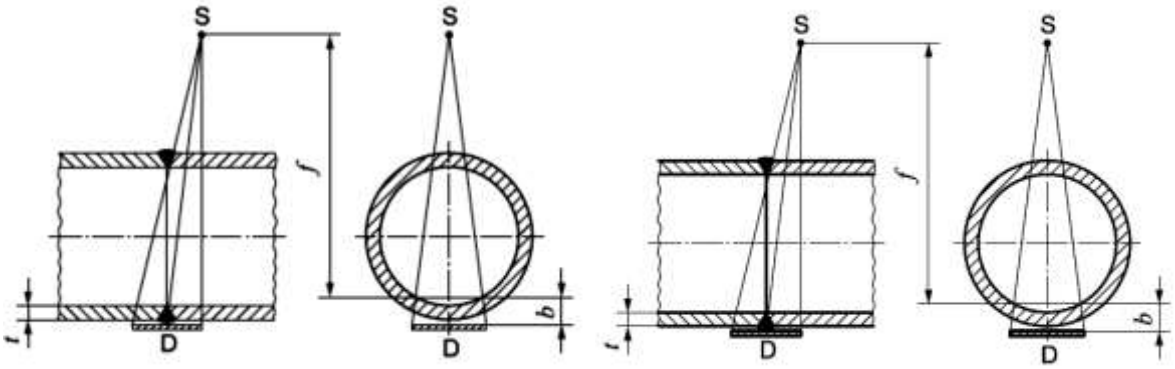
یادآوری- فاصله منبع تا جسم را می‌توان با استفاده از فاصله عمودی f' که از b' محاسبه می‌شود، تخمین زد.

۷-۱-۷ تکنیک عمودی (به شکل ۱۲ مراجعه شود)



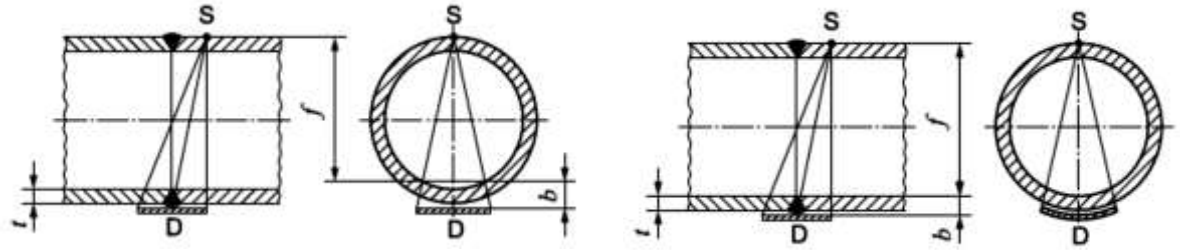
شکل۱۲- چیدمان آزمون برای نفوذ دو دیواره-دو تصویر اجسام منحنی برای ارزیابی هر دو دیواره (منبع و آشکارساز خارج جسم مورد آزمون)

۷-۱-۸ منبع پرتو خارج جسم و آشکارساز در طرف دیگر آن قرار داده شده (به شکل‌های ۱۳ تا ۱۸ مراجعه شود)



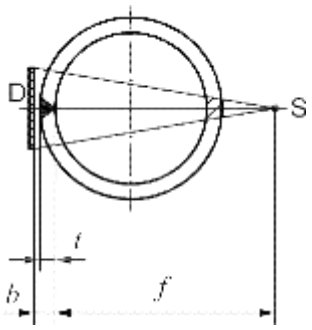
شکل الف – با آشکارسازهای منحنی **شکل ب – با آشکارسازهای تخت**

شکل۱۳- چیدمان آزمون برای نفوذ دو دیواره-یک تصویر اجسام منحنی برای ارزیابی دیواره مجاور آشکارساز، که IQI سمت آشکارساز قرار داده شده است

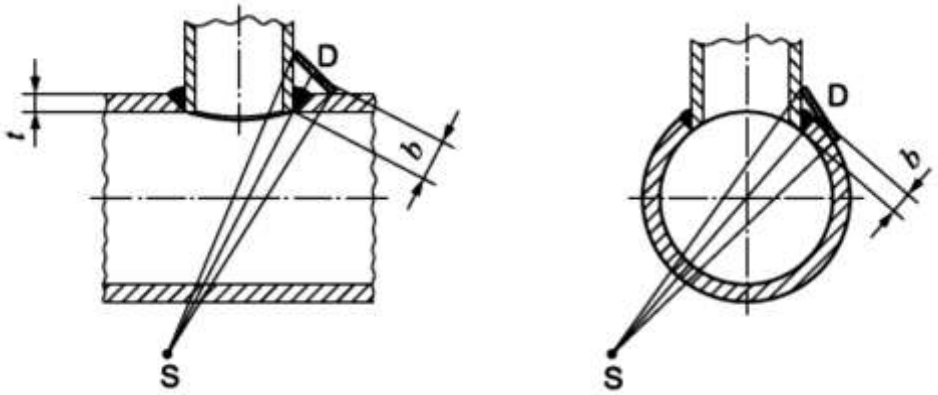


شکل الف – با آشکارسازهای منحنی **شکل ب – با آشکارسازهای تخت**

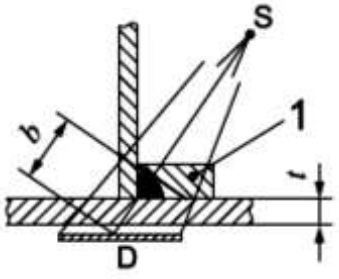
شکل۱۴- چیدمان آزمون برای نفوذ دو دیواره-یک تصویر

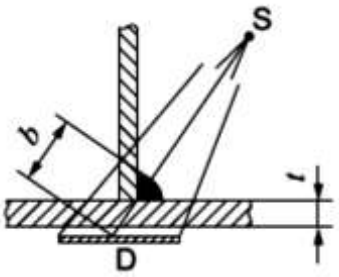


شکل۱۵- چیدمان آزمون برای نفوذ دو دیواره-یک تصویر جوش‌های طولی



شکل۱۶- چیدمان آزمون برای نفوذ دو دیواره-یک تصویر اجسام منحنی برای ارزیابی دیواره مجاور آشکارساز



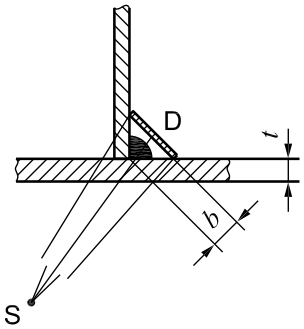


راهنما :

۱ لبه جبران‌کننده

شکل الف - چیدمان آزمون بدون لبه جبران‌کننده **شکل ب - چیدمان آزمون با لبه جبران‌کننده**

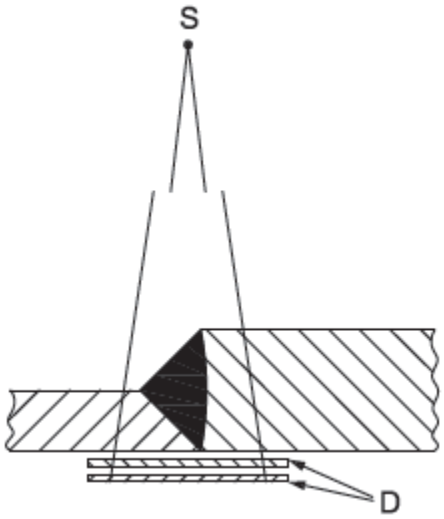
شکل۱۷- چیدمان آزمون برای نفوذ جوش‌های گوشه‌ای[1]



شکل۱۸- چیدمان آزمون برای نفوذ جوش‌های گوشه‌ای

1- Fillet welds

۷-۱-۹ تکنیک برای جسم با ضخامت‌های متفاوت (به شکل ۱۹ مراجعه شود)



شکل۱۹- تکنیک چند آشکارساز، قابل استفاده برای CR

۷-۲ انتخاب ولتاژ تیوب و منبع پرتو

۷-۲-۱ دستگاه‌های مولد پرتو ایکس تا ۱۰۰۰ kV

توصیه می‌شود به‌منظور دست‌یابی به حساسیت مطلوب در آشکارسازی عیوب، ولتاژ مولد پرتو ایکس تا حد امکان پایین و SNR_N در تصویر دیجیتال تا حد ممکن بالا باشد. بیشینه مقادیر توصیه شده برای ولتاژ تیوب پرتو ایکس بر حسب ضخامت نفوذ در شکل ۲۰ ارائه شده است. این بیشینه مقادیر، بهترین مقادیر تجربی برای پرتونگاری با فیلم هستند.

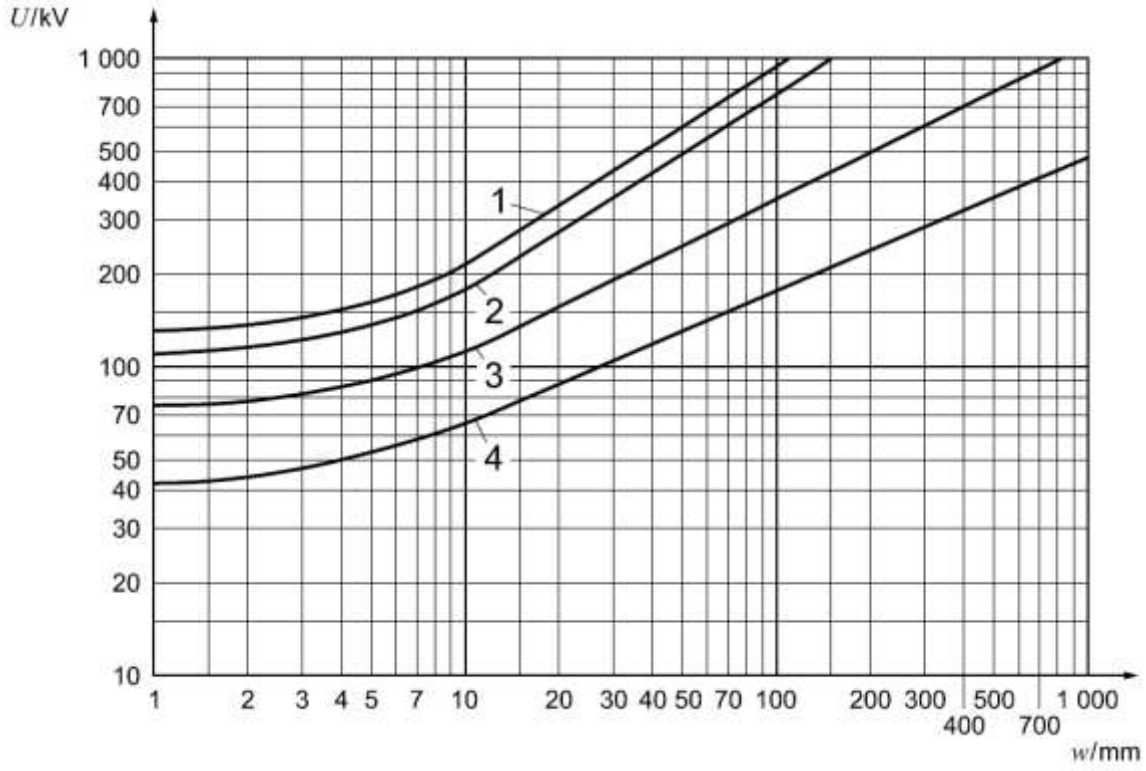
بعد از کالیبراسیون درست، آرایه‌های آشکارساز دیجیتال می‌توانند کیفیت تصویر کافی را در ولتاژهای به میزان قابل توجهی بالاتر از مقادیر نشان داده شده در شکل۲۰، فراهم کنند.

توصیه می‌شود صفحات تصویرساز با نویز ساختاری بالا در لایه حساس IP (دانه درشت) با ولتاژ پرتو ایکس حدود ٪ ۲۰ کمتر از مقادیر نشان داده شده در شکل ۲۰ برای آزمون‌های رده B به‌کار روند. صفحات تصویرساز با قدرت تفکیک بالا را که مشابه فیلم‌های پرتو ایکس با نویز ساختاری پایین (دانه ریز) هستند، درصورتی‌که مقدار SNR_N به میزان کافی افزایش یابد، می‌توان با ولتاژهای پرتو ایکس شکل ۲۰ یا ولتاژهای به‌طور قابل توجهی بالاتر از آن پرتودهی کرد.

یادآوری - CP I:

- در SNR_N ثابت با افزایش تباین می توان حساسیت تباین را بهبود داد [با کاهش ولتاژ تیوب و جبران با پرتودهی (میلی آمپر در دقیقه) بیشتر]؛ یا
- در تباین ثابت (کیلو ولت ثابت) با افزایش SNR_N [با پرتودهی (میلی آمپر در دقیقه) بیشتر] حساسیت تباین بهبود می‌یابد؛

- افزایش ولتاژ تیوب [در پرتودهی (میلی آمپر در دقیقه) ثابت] تباین را کاهش و SNR_N را افزایش می‌دهد. چنان‌چه افزایش در SNR_N بیشتر از کاهش تباین ناشی از انرژی بالاتر باشد، حساسیت تباین بهبود می‌یابد.



راهنما:

U	ولتاژ پرتو ایکس	1	مس و نیکل و آلیاژهای آن‌ها
w	ضخامت نفوذ	2	فولاد
		3	تیتانیم و آلیاژهای آن
		4	آلومینیم و آلیاژهای آن

شکل۲۰- بیشینه ولتاژ پرتو ایکس برای دستگاه‌های پرتو ایکس تا ۱۰۰۰ kV به‌صورت تابعی از ضخامت نفوذ و جنس ماده

در برخی از کاربردها که ضخامت بخشی از جسم تحت پرتونگاری تغییر می‌کند می‌توان با افزایش ولتاژ تکنیک را تصحیح کرد، اما بهتر است در نظر گرفته شود که افزایش بیش از حد ولتاژ تیوب پرتو ایکس باعث اُفت حساسیت آشکارسازی عیوب می‌شود.

۲-۲-۷ سایر منابع پرتو

گستره‌های توصیه‌شده ضخامت نفوذ برای چشمه‌های پرتو گاما و تجهیزات پرتو ایکس بالای ۱ MeV در جدول ۲ ارائه شده است.

در آزمونه‌های فولادی نازک، در صورت استفاده از پرتوهای گامای چشمه‌های Se-75، Ir-192 و Co-60، پرتونگاشت‌های دیجیتالی با حساسیت تشخیص عیب به‌خوبیِ پرتونگاشت‌های حاصل از پرتوهای ایکس با پارامترهای تکنیک مناسب به‌دست نمی‌آید. با وجود این، درجایی‌که به‌کارگیری تیوب پرتو ایکس مشکل است با توجه به مزایای چشمه‌های پرتو گاما در امکان جابه‌جایی و سهولت دسترسی، می‌توان از چشمه گاما استفاده کرد. در جدول ۲ گستره ضخامت برای هریک از چشمه‌های گاما ارائه شده است.

با توافق طرفین قرارداد، ضخامت نفوذ در ماده می‌تواند برای Ir-192 تا ۱۰ mm و برای Se-75 تا ۵ mm کاهش یابد.

برای کاربردهای ویژه، چنانچه بتوان کیفیت تصویر مناسب را به‌دست آورد، گستره‌های وسیع‌تری از ضخامت دیواره می‌تواند مجاز باشد.

در مواردی که پرتونگاشت‌های دیجیتال به روش CR با استفاده از پرتوهای گاما ایجاد می‌شوند، کل زمان حرکت چشمه در لوله هدایت نباید بیشتر از ٪ ۱۰ کل زمان پرتودهی باشد. هنگام استفاده از آرایه‌های آشکارساز دیجیتال، زمان ثبت تصویر[1] باید پس از قرارگرفتن چشمه در موقعیت شروع شود و باید قبل از حرکت آن به سمت عقب پایان یابد.

جدول ۲- گستره ضخامت نفوذ برای چشمه‌های پرتو گاما و تجهیزات پرتو ایکس با انرژی بیش از ۱ MeV برای فولاد، آلیاژهای پایه مس و پایه نیکل

منبع پرتو	ضخامت نفوذ w mm	
	رده A	رده B
Tm-170	$w \leq ۵$	$w \leq ۵$
Yb-169[a]	$۱ \leq w \leq ۱۵$	$۲ \leq w \leq ۱۲$
Se-75[b]	$۱۰ \leq w \leq ۴۰$	$۱۴ \leq w \leq ۴۰$
Ir-192	$۲۰ \leq w \leq ۱۰۰$	$۲۰ \leq w \leq ۹۰$
Co-60	$۴۰ \leq w \leq ۲۰۰$	$۶۰ \leq w \leq ۱۵۰$
تجهیزات پرتو ایکس با انرژی از ۱ MeV تا ۴ MeV	$۳۰ \leq w \leq ۲۰۰$	$۵۰ \leq w \leq ۱۸۰$
تجهیزات پرتو ایکس با انرژی از ۴ MeV تا ۱۲ MeV	$w \geq ۵۰$	$w \geq ۸۰$
تجهیزات پرتو ایکس با انرژی بیش از ۱۲ MeV	$w \geq ۸۰$	$w \geq ۱۰۰$

[a] برای آلومینیم و تیتانیم، ضخامت نفوذ در مواد $۱۰ \text{ mm} \leq w \leq ۷۰ \text{ mm}$ برای رده A و $۲۵ \text{ mm} \leq w \leq ۵۵ \text{ mm}$ برای رده B است.

[b] برای آلومینیم و تیتانیم، ضخامت نفوذ در مواد $۳۵ \text{ mm} \leq w \leq ۱۲۰ \text{ mm}$ برای رده A است.

1- Capture

چنانچه حساسیت مناسب به‌وسیله IQI اثبات شود، می‌توان از بیشینه ضخامت‌های نفوذِ ارائه‌شده در جدول ۲ فراتر رفت.

۷-۳ سیستم‌های آشکارساز و صفحات فلزی[1]

۷-۳-۱ کمینه نسبت سیگنال به نویز بهنجارشده

برای آزمایش پرتونگاری دیجیتال، باید کمینه مقادیر SNR_N ارائه شده در جداول ۳ و ۴ یا کمینه مقادیر خاکستری (فقط CR) به‌دست آید. پیوست **ت** روش اجرایی اندازه‌گیری SNR_N را شرح می‌دهد و برای کاربرانی که استفاده از مقادیر SNR اندازه‌گیری‌شده بهنجارنشده را به جای مقادیر SNR_N بهنجارشده ترجیح می‌دهند، جدول تبدیلی فراهم می‌کند.

می‌توان کمینه مقادیر خاکستری معادل برای CR را به جای کمینه مقادیر SNR_N استفاده کرد، به شرط آن‌که این مقادیر با روش اجرایی پیوست **ت** برای IP به‌کار رفته، اسکنر مورد استفاده و تنظیمات آن و SNR_N مورد نیاز جداول ۳ و ۴ تعیین شود.

مقدار SNR_N باید کنار جوش، نزدیک IQIهای سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار در بخش ضخیم‌تر ماده اصلی در ناحیه‌ای با ضخامت دیواره و مقدار خاکستری همگن اندازه‌گیری شود. مقادیر خاکستری در CR (فقط) باید در ناحیه مورد نظرِ جوشمان[2] نزدیک IQI سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار اندازه‌گیری شود. از آن‌جایی‌که زبری ماده بر نویز تصویر و SNR_N تأثیر می‌گذارد، مقادیر جدول ۳ فقط جنبه پیشنهادی دارند. اگر اندازه‌گیری SNR_N در نزدیک جوش در ناحیه متأثر از حرارت (HAZ)[3] انجام شده باشد، کمینه مقادیر SNR_N باید در مقایسه با جداول ۳ و ۴ با ضریب ۱٫۴ افزایش یابد، مگر این‌که گُرده[4] و ریشهٔ جوش با ماده اصلی هم‌سطح شده باشند.

یادآوری ۱- در پرتونگاری با فیلم، در صورتی‌که چگالی اپتیکی در ناحیه متأثر از حرارت ماده اصلی اندازه‌گیری شود، به طور معمول مقداری بین ۳٫۵ و ۴ دارد. این چگالی اپتیکی با نسبت سیگنال به نویز بهنجارشده (SNR_N) بالاتر، با ضریب حدود ۱٫۴ در مقایسه با مرکز جوش، متناظر است و توصیه می‌شود چگالی اپتیکی در مرکز جوش ۲ یا بالاتر باشد. اکیداً توصیه می‌شود که SNR_N در ناحیه متأثر از حرارت اندازه‌گیری شود، زیرا این ناحیه معمولاً ناحیه‌ای با سطح خاکستری ثابت است و اندازه‌گیری‌های دقیق SNR_N را میسر می‌سازد.

پیوست **ت** روشی را برای تعیین کمینه مقادیر خاکستری معادل (فقط برای CR) به جای SNR_N مورد نیاز شرح می‌دهد.

1- Metal screens
2- Weldment
3- Heat-affected zone (HAZ)
4- Cap

همچنین پیوست **ت** برای کاربرانی که اندازه‌گیری SNR بهنجارنشده را به جای SNR_N ترجیح می‌دهند، جدول تبدیلی ارائه می‌دهد. کمینه SNR بهنجارنشده از SR_b آشکارساز و مقادیر SNR_N مورد نیاز در جداول ۳ و ۴ تعیین می‌شود.

کاربر باید کمینه مقادیر خاکستری یا مقادیر SNR_N یا SNR مربوط به CR (به پیوست **ت** مراجعه شود) را برای پذیرش تصاویر دیجیتال تعیین کند. کاربر باید کمینهٔ مقادیر SNR_N یا SNR (به پیوست **ت** مراجعه شود) مربوط به پرتونگاری با آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) را برای پذیرش تصاویر دیجیتال مشابه با کمینه چگالی اپتیکی برای پذیرش تصاویر پرتونگاری با فیلم تعیین کند. اگر هیچ مقدار ویژه‌ای تعریف نشده باشد، مقادیر جداول ۳ و ۴ باید به‌دست آید. کمینه مقادیر SNR_N در جداول ۳ و ۴ برای چشمه‌های پرتو متفاوت و ضخامت‌های مختلف ماده ارائه شده است.

یادآوری ۲ – برای جزئیات روش‌های اندازه‌گیری SNR_N، به استانداردهای ISO 16371-1، ASTM E2446[10] (برای CR) یا استاندارد ASTM E2597[11] (برای DDA) و پیوست **ت** مراجعه شود.

۲-۳-۷ اصل جبران II

اگر حساسیت‌های IQI (حساسیت تباین به‌وسیله سیم‌های IQI تک سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار از یک سو و از سوی دیگر قدرت تفکیک مکانی آشکارساز به وسیله IQI دو سیمی) در جداول ب-۱ تا ب-۱۴ پیوست **ب** را با سیستم آشکارساز و شرایط پرتودهی به‌کاررفته نتوان به‌دست آورد، افزایش قابلیت مشاهده در IQI تک سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار باید به وسیله مقادیر عدم‌وضوح بیشتر (یا مقادیر بزرگتر SR_b) جبران شود.

برای مثال، اگر مقادیر D12 و W16 (برای ضخامت ۵ mm، رده‌بندی B در جداول ب-۳ و ب-۱۴) به‌طور همزمان برای تنظیمات ویژه آشکارساز حاصل نشود، آنگاه مقادیر D11 و W17 حساسیت آشکارسازی معادلی را ارائه می‌دهند. مقدار جبرانی باید حداکثر به افزایش دو تک سیم به جای دو جفت سیمِ قابل تفکیک دیده‌نشده از IQI دو سیمی محدود شود. اگر بتوان حساسیت لازم برای آشکارسازی عیب را برای کاربردهای ویژه نشان داد، با توافق طرفین قرارداد، مقدار جبرانی می‌تواند حداکثر به سه تک سیم به‌جای سه جفت سیمِ قابل تفکیک دیده نشده از IQI دو سیمی تعمیم داده شود.

در آشکارسازهای دیجیتال (DDA)، برای به‌دست آوردن تصاویر پرتونگاری در فاصله و ولتاژ تیوب معین، حساسیت تباین به زمان به‌کار رفته جمع‌آوری[1] تصویر و جریان تیوب (برحسب میلی آمپر) بستگی دارد، بنابراین قابلیت مشاهده IQI تک سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار می‌تواند با افزایش تنظیمات زمان پرتودهی و/یا جریان تیوب افزایش یابد. این موارد برای CR، اما با محدودیتی ناشی از بیشینه SNR_N قابل‌حصول به علت نویز ساختاری لایه حساس PSL صفحات تصویرساز، نیز به‌کار می‌رود. بیشینه SNR_N قابل‌حصول برای پرتونگاری DDA به کیفیت روش اجرایی کالیبراسیون محدود می‌شود.

قدرت تفکیک پایه (SR_b) آشکارساز با پارامترهای طراحی و سخت‌افزار تعیین می‌شود.

1- Used integration time

اگر از تکنیک بزرگنمایی استفاده شود باید با قراردادن IQI دو سیمی روی جسم، SR_b را از تصویر بزرگ‌شده (SR_b تصویر) و اندازه‌گیری IQI دو سیمی به‌دست آورد (به شکل ۷-۷ مراجعه شود).

۷-۳-۳ صفحات فلزی مربوط به صفحات تصویرساز (IPs) و حفاظ‌گذاری

هنگام استفاده از صفحات فلزی جلویی، تماس کامل بین لایه حساس آشکارساز و صفحات ضروری است. این امر می‌تواند با استفاده از صفحات تصویرساز بسته‌بندی شدهٔ تحت خلأ یا با اعمال فشار به‌دست آید. صفحات سربی که در تماس کامل با صفحات تصویرساز نباشند، می‌توانند باعث عدم‌وضوح تصویر شوند. تشدید حاصل از صفحات سربیِ در تماس با صفحات تصویرساز به‌طور چشمگیری کوچکتر از آن در فیلم پرتونگاری است.

بیشتر صفحات تصویرساز (IPs) به پرتوهای پس‌پراکنده[1] کم‌انرژی و فلورسانس پرتو ایکس ناشی از حفاظ سربیِ پشتی بسیار حساس هستند. این اثر به‌طور چشمگیری در عدم‌وضوح لبه و کاهش CNR نقش دارد و بهتر است به حداقل برسد. توصیه می‌شود حفاظ فولادی یا مسی به‌طور مستقیم پشت صفحات تصویرساز (IPs) استفاده شود. همچنین یک حفاظ فولادی یا مسی بین صفحه سربی پس پراکننده و IP می‌تواند کیفیت تصویر را بهبود بخشد. ممکن است در طراحی‌های جدیدِ کاست‌ها و آشکارسازها، این اثر در نظر گرفته شده و آن‌ها به شیوه‌ای ساخته شوند که حفاظ فولادی یا مسی اضافی خارج از کاست لازم نباشد.

یادآوری- به‌علت وجود لایه محافظ بین سرب و لایه حساس IP، اثر تشدید[2] ایجاد شده به وسیلهٔ الکترون‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و در انرژی‌های بالاتر نمایان می‌شود. بسته به انرژی پرتو و طراحی لایه محافظ، در انرژی‌های معمول پرتو ایکس، اثر تشدید صرفاً به ٪ ۲۰ تا ٪ ۱۰۰ (در مقایسه با حالتی‌که صفحه تشدیدکننده وجود ندارد) می‌رسد.

در صورت عدم استفاده از صفحات سربی، برای جبران اثر تشدید جزئی که به وسیله صفحه سربی در تماس با IP ایجاد می‌شود، می‌توان زمان پرتودهی یا میلی‌آمپر-دقیقه را افزایش داد. اگر صفحات سربی در تماس با صفحات تصویرساز (IPs) با دقت برای فرآیند اسکن جدا نشوند، می‌توانند منجر به ایجاد خراش‌هایی بر روی صفحات تصویرساز شوند، بنابراین توصیه می‌شود برای فیلتر میانیِ پرتوهای پراکنده از صفحات سربی در خارج از کاست‌ها استفاده شود. برای بازرسی آزمونه فولادی با ضخامت کمتر از ۱۲ mm استفاده از فیلتر میانی توصیه نمی‌شود.

جنس و ضخامت‌های صفحات توصیه‌شده برای منابع پرتو متفاوت در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است. مشروط بر این‌که کیفیت تصویر موردنیاز حاصل شود ممکن است ضخامت‌های دیگر صفحات نیز مورد توافق بین طرفین قرارداد قرار گیرد. استفاده از صفحات فلزی در جلوی صفحات تصویرساز (IPs) توصیه می‌شود، و همچنین ممکن است این صفحات فلزی تأثیر پرتوهای پراکنده هنگام استفاده با آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) را کاهش دهند.

1- Backscatter
2- Intensification

۷-۴ تنظیم راستای باریکه پرتو[1]

باریکه پرتو مرکزی باید به سمت مرکز ناحیه مورد آزمایش هدایت شود و بهتر است در آن نقطه بر سطح جسم عمود باشد، بجز هنگامی‌که بتوان نشان داد که با تنظیم متفاوت راستای باریکه برای عیوبی خاص، بهترین حالت آشکارسازی به‌دست می‌آید. در این حالت، تنظیم راستای مناسب باریکه مجاز است. انجام پرتونگاری به روش‌های دیگر با توافق طرفین قرارداد امکان‌پذیر است.

مثال- برای آشکارسازی بهتر عدم ذوب دیواره جانبی، بهتر است تنظیم باریکه با زاویه‌های آماده‌سازی جوش هم‌راستا باشد.

۷-۵ کاهش پرتوهای پراکنده

۷-۵-۱ فیلترهای فلزی و باریکه‌سازها[2]

به‌منظور کاهش تأثیر پرتوهای پراکنده، پرتو اصلی باید تا حد ممکن توسط باریکه‌ساز به ناحیه تحت آزمایش محدود شود.

هنگام استفاده از چشمه‌های تابشِ Se-75، Ir-192 و Co-60 یا منابع پرتو ایکس بالای ۱ MV، یا در صورت وجود پراکندگی جانبی، می‌توان از یک ورق سربی به‌عنوان فیلترِ پرتوهای پراکنده کم‌انرژی بین جسم و کاست حاوی IP یا DDA استفاده کرد. ضخامت این ورق مطابق با ضخامت نفوذ، ۰٫۵ mm تا ۲ mm است. همچنین مواد دیگری غیر از سرب مانند قلع، مس یا فولاد می‌توانند به عنوان فیلتر استفاده شوند. توصیه می‌شود یک صفحه نازک فولادی یا مسی بین ورق سربی و آشکارساز قرار گیرد.

1- Alignment of beam
2- Collimators

جدول ۳- کمینه مقادیر SNR_N (CR و DDA) و صفحات فلزی جلویی (صفحات صرفاً برای CR) برای پرتونگاری دیجیتالِ فولاد، آلیاژهای پایه مس و پایه نیکل

منبع پرتو	ضخامت نفوذ ماده w mm	کمینه SNR_N [c]		نوع و ضخامت صفحات فلزی جلویی mm
		رده A	رده B	
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل کوچک‌تر یا مساوی ۵۰ kV		۱۰۰	۱۵۰	بدون صفحه فلزی
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل[d] بزرگ‌تر از ۵۰kV تا ۱۵۰ kV		۷۰	۱۲۰	۰ تا ۰٫۱ (سرب)
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل[d] بزرگ‌تر از ۱۵۰ kV تا ۲۵۰ kV		۷۰	۱۰۰	۰ تا ۰٫۱ (سرب)
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل[d] بزرگ‌تر از ۲۵۰ kV تا ۳۵۰ kV	≤ ۵۰	۷۰	۱۰۰	۰ تا ۰٫۳ (سرب)
	> ۵۰	۷۰	۷۰	۰ تا ۰٫۳ (سرب)
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل[d] بزرگ‌تر از ۳۵۰ kV تا ۱۰۰۰ kV	≤ ۵۰	۷۰	۱۰۰	۰ تا ۰٫۳ (سرب)
	> ۵۰	۷۰	۷۰	۰ تا ۰٫۳ (سرب)
Yb-169[d]	≤ ۵	۷۰	۱۲۰	۰ تا ۰٫۱ (سرب)
	> ۵	۷۰	۱۰۰	۰ تا ۰٫۱ (سرب)
Se-75[d] ،Ir-192[d]	≤ ۵۰	۷۰	۱۰۰	۰ تا ۰٫۳ (سرب)
	> ۵۰	۷۰	۷۰	۰٫۱ تا ۰٫۴ (سرب)
Co-60 [a, b] پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل[a, b] بزرگ‌تر از ۱ MV تا ۵ MV	≤ ۱۰۰	۷۰	۱۰۰	۰٫۳تا ۰٫۸ (آهن یا مس) به همراه ۰٫۶ تا ۲ (سرب)
	≤ ۱۰۰	۷۰	۷۰	۰٫۳تا ۰٫۸ (آهن یا مس) به همراه ۰٫۶ تا ۲ (سرب)
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل[a, b] بزرگ‌تر از ۵ MV	≤ ۱۰۰	۷۰	۱۰۰	۰٫۶ تا ۴ (آهن، مس یا سرب)
	≤ ۱۰۰	۷۰	۷۰	۰٫۶ تا ۴ (آهن، مس یا سرب)

[a] در مورد صفحات چند لایه (آهن همراه با سرب)، صفحه فولادی باید بین IP و صفحه سربی قرار گیرد.

[b] ممکن است صفحات مس، تانتالوم یا تنگستن به‌جای آهن یا آهن همراه با سرب نیز به کار رود، مشروط بر اینکه بتوان کیفیت تصویر را اثبات کرد.

[c] اگر SNR_N در ناحیه HAZ/ ماده اصلی اندازه‌گیری شود، این مقادیر باید در ۱٫۴ ضرب شود به‌جز مواردی که گُرده و ریشه جوش با ماده اصلی هم‌سطح شده باشند.

[d] صفحات سربی ممکن است به طور کامل یا جزیی با صفحات آهنی یا مسی جایگزین شوند. ضخامت معادل برای آهن یا مس سه برابر ضخامت سرب است.

جدول ۴- کمینه مقادیر SNR_N (CR و DDA) و صفحات فلزی جلویی (صفحات صرفاً برای CR) برای پرتونگاری دیجیتالِ آلومینیم و تیتانیم

منبع پرتو	کمینه SNR_N [b]		نوع و ضخامت صفحات فلزی جلویی mm
	رده A	رده B	
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل کوچک‌تر یا مساوی ۱۵۰ kV	۷۰	۱۲۰	ضخامت کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۰۳ (سرب)
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل بزرگ‌تر از ۱۵۰kV تا ۲۵۰kV	۷۰	۱۰۰	ضخامت کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ (سرب)[a]
پرتو ایکس با اختلاف پتانسیل بزرگ‌تر از ۲۵۰kV تا ۵۰۰kV	۷۰	۱۰۰	ضخامت کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ (سرب)[a]
Yb-169	۷۰	۱۰۰	ضخامت کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ (سرب)[a]
Se-75	۷۰	۱۰۰	ضخامت کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۳ (سرب)[a]

[a] ممکن است به جای ۰٫۲ mm سرب، از صفحه ۰٫۱ mm با فیلتر اضافی ۰٫۱ mm در خارج از کاست استفاده شود.

[b] اگر SNR_N در ناحیه HAZ/ ماده اصلی اندازه‌گیری شود، این مقدار باید در ۱٫۴ ضرب شود به‌جز مواردی که گُرده و ریشه‌جوش با ماده اصلی هم‌سطح شده باشند.

۷-۵-۲ جلوگیری از پرتوهای پس‌پراکنده

برای هر چیدمان جدید آزمون CR باید وجود پرتو پس‌پراکنده با چسباندن یک حرف سربی B (با کمینه ارتفاع ۱۰ mm و کمینه ضخامت ۱٫۵ mm) به پشت هر کاست، بررسی شود. اگر تصویر این علامت به‌صورت روشن‌تر در پرتونگاشت دیجیتالی (تصویر نگاتیو، یعنی مقدار خاکستری خطی‌شده کاهش‌یافته) ثبت شود، باید پرتونگاشت دیجیتال مردود شود. اگر علامت تیره‌تر (مقدار خاکستری خطی‌شده افزایش‌یافته) یا غیرقابل مشاهده بود، پرتونگاشت دیجیتال قابل قبول بوده و نشان‌دهنده حفاظت خوب در برابر پرتوهای پس‌پراکنده است.

در صورت لزوم، آشکارساز باید به‌وسیله یک ورق سربی با کمینه ضخامت ۱ mm یا یک ورق از جنس قلع با کمینه ضخامت ۱٫۵ mm که در پشت آشکارساز قرار می‌گیرد، در برابر پرتوهای پس‌پراکنده محافظت شود. به‌منظور کاهش تاثیر پرتوهای ایکس فلورسانس ناشی از سرب، باید حفاظ اضافه فولادی یا مسی (با ضخامت حدود ۰٫۵ mm) بین حفاظ سربی و آشکارساز به‌کار رود. برای پرتو با انرژی‌های بالای ۸۰ keV، صفحات سربی نباید با وجه پشتی آشکارساز در تماس باشند.

۷-۶ فاصله منبع تا جسم

کمینه فاصله منبع تا جسم، f_{min}، به اندازه چشمه یا اندازه نقطه کانونی، d، و فاصله جسم تا فیلم، b، بستگی دارد. اندازه چشمه یا اندازه نقطه کانونی، d، باید مطابق با استانداردهای EN 12543 یا EN 12679 باشد.

هنگامی‌که اندازه منبع یا اندازه نقطه کانونی در دو بُعد تعریف شده باشد، اندازهٔ بزرگ‌تر باید در محاسبات لحاظ شود.

در صورت امکان، برای هندسه‌های پرتودهی به استثنای موارد ذکر شده در پیوست **ب**، شکل‌های ۲-ب، ۸-ب، ۱۳-ب و ۱۴-ب، فاصله f باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که نسبت این فاصله به اندازه چشمه یا اندازه نقطه کانونی، d، به عبارت دیگر f/d، کم‌تر از مقادیر داده شده در فرمول‌های (۱) و (۲) نباشد:

برای رده A،

$$\frac{f}{d} \geq 7{,}5b^{2/3} \qquad (۱)$$

و برای رده B،

$$\frac{f}{d} \geq 15b^{2/3} \qquad (۲)$$

که در آن:

b برحسب میلی‌متر بیان می‌شود.

اگر فاصله b کمتر از $1{,}2t$ باشد، باید اندازه b را در فرمول‌های (۱) و (۲) و شکل ۲۱ با ضخامت اسمی t جایگزین کرد.

برای تعیین فاصله منبع تا جسم، f_{min}، می‌توان از نمودار محاسباتی شکل ۲۱ استفاده کرد. این نمودار محاسباتی بر اساس فرمول‌های (۱) و (۲) می‌باشد.

در صورت امکان، برای هندسه‌های پرتودهی مطابق با شکل‌های ۲-ب، ۸-ب، ۱۳-ب و ۱۴-ب، پیوست **ب** فاصله f باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که نسبت این فاصله به اندازه منبع یا اندازه نقطه کانونی، d، به عبارت دیگر f/d، پایین‌تر از مقادیر داده‌شده در فرمول‌های (۳) و (۴) نباشد:

برای رده A،

$$\frac{f}{d} \geq 7{,}5\frac{b}{\sqrt[3]{t}} \qquad (۳)$$

و برای رده B،

$$\frac{f}{d} \geq 15\frac{b}{\sqrt[3]{t}} \qquad (۴)$$

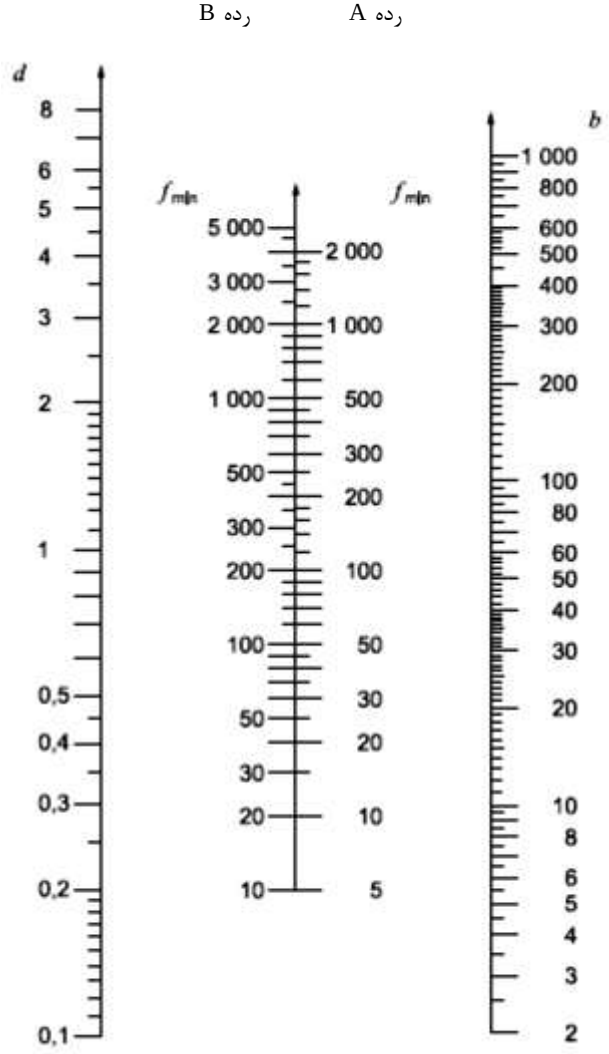
که در آن:

t ضخامت اسمی مورد بازرسی برحسب میلی‌متر، و

b فاصله جسم تا آشکارساز بر حسب میلی‌متر است.

در پرتونگاری رده A، اگر آشکارسازی عیوب صفحه‌ای یک الزام باشد، کمینه فاصله منبع تا جسم، f_{min}، باید مطابق با رده B در نظر گرفته شود تا عدم‌وضوح هندسی به نصف کاهش یابد.

در کاربردهای بحرانی مواد مستعد به ترک، باید از تکنیک‌های پرتونگاری با حساسیت بیشتر از رده B استفاده شود.



شکل ۲۱- نمودار محاسباتی برای تعیین کمینه فاصله منبع تا جسم، f_{min}، برحسب فاصله جسم تا آشکارساز، *b* و اندازه منبع، *d*

عدم‌وضوح ذاتی سیستم آشکارساز ($u_i = 2SR_b^{detector}$) و عدم‌وضوح هندسی (u_G)، هر دو در عدم‌وضوح کل تصویر (u_T) سهیم هستند که چنان‌چه با تغییر بزرگنمایی هندسی تصحیح نشود از فرمول (۵) به‌دست می‌آید:

$$u_T = \sqrt{u_i^2 + u_G^2} \qquad (۵)$$

بنابراین، پیشنهاد می‌شود به‌منظور جبران هرگونه عدم‌وضوح اضافی سیستم آشکارساز، فاصله f_{min} افزایش یابد.

اگر آشکارسازهای دیجیتالی که نسبت به فیلم پرتو ایکس عدم‌وضوح ذاتی بزرگتری دارند، استفاده شود چنانچه لازم باشد مقادیر کم عدم‌وضوح کلِ تصویرِ مطابق با استاندارد ISO 17636-1 (پرتونگاری با فیلم) به‌دست آید، شرایط **الف** و **ب** پیشنهاد می‌شود.

الف- در صورتی‌که جسم در تماس با آشکارساز باشد (این حالت برای تکنیک بزرگنمایی هندسی معتبر نیست)، آشکارسازهای دیجیتال به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز (SR_b) از مقادیر به‌دست آمده با فرمول‌های (۶) و (۷) بسته به فاصله جسم تا آشکارساز، b، کمتر باشد:

برای رده A،

$$SR_b < \frac{\sqrt[3]{b}}{15} \qquad (۶)$$

و برای رده B،

$$SR_b < \frac{\sqrt[3]{b}}{30} \qquad (۷)$$

ب- اگر لازم است عدم‌وضوحی قابل مقایسه با آن‌چه که توسط پرتونگاری با فیلم (به استاندارد ISO 17636-1 مراجعه شود) حاصل می‌شود به‌دست آید، توصیه می‌شود $f_{\min}$ با استفاده از فرمول‌های (۸) و (۹) در مقایسه با مقادیر به‌دست آمده از فرمول‌های (۱) و ۲ (و شکل ۲۱) افزایش یابد، مشروط بر اینکه فرمول‌های (۶) و (۷) برقرار باشند:

برای رده A،

$$f_{\min} = d\sqrt{\frac{b^2}{(b^{2/3}/7{,}5^2)-4\mathrm{SR}_b^2}} \qquad (۸)$$

و برای رده B،

$$f_{min} = d\sqrt{\frac{b^2}{(b^{2/3}/15^2)-4SR_b^2}} \qquad (۹)$$

اگر قدرت‌تفکیک مکانی پایه آشکارساز، SR_b، از مقدار تعیین‌شده با فرمول (۶) یا (۷) بسیار کمتر باشد یا قابلیت مشاهده IQI مطابق با جداول ب-۱ تا ب-۱۲ پیوست **ب** به‌وسیله SNR افزایش‌یافته (CP II) به‌دست آید، $f_{\min}$ را می‌توان با فرمول (۱) یا (۲) یا شکل ۲۱ تعیین کرد.

جداول ب-۱۳ و ب-۱۴ پیوست **ب** بیشینه مقادیر عدم‌وضوحِ کلِ تصویر و الزامات SR_b برای کیفیت تصویر مناسب را به ترتیب برای رده A و رده B ارائه می‌دهد.

هنگام استفاده از تکنیک بیضوی مشخص‌شده در زیربند ۷-۱-۶ یا تکنیک عمودی مشخص‌شده در زیربند ۷-۱-۷ مقدار b در فرمول‌های (۱) و (۲) و شکل۲۱ باید با قطر خارجی لوله، D_e، جایگزین شود.

هنگامی‌که منبع خارج از جسم و آشکارساز در سمت دیگر (تکنیک شرح داده شده در زیربند ۷-۱-۸ با عنوان نفوذ در دو دیواره و یک تصویر) باشد، کمینه فاصله منبع تا جسم فقط به‌وسیله ضخامت دیواره (یعنی نه با قُطر لوله) تعیین می‌شود.

در صورت امکان بهتر است با قراردادن منبع پرتو درون جسم تحت پرتونگاری از به‌کار بردن تکنیک دو دیواره (به زیربندهای ۷-۱-۶ تا ۷-۱-۸ مراجعه شود) اجتناب شود، تا چیدمان مناسبتری برای آزمون (به زیربند ۷-۱-۴ و ۷-۱-۵ مراجعه شود) به‌دست آید. توصیه می‌شود کاهش کمینه فاصله منبع تا جسم بیشتر از ٪۲۰ نباشد. هنگامی‌که منبع درون مرکز جسم و آشکارساز خارج آن (به تکنیک زیربند ۷-۱-۴ مراجعه شود) قرار می‌گیرند، به شرط آنکه الزامات IQI برآورده شود، این مقدار درصدی می‌تواند افزایش یابد. با این حال، کاهش در کمینه فاصله منبع تا جسم نباید بیشتر از ٪ ۵۰ باشد. در صورتی که الزامات IQI برآورده شود، کاهش بیشتر با توافق طرفین قرارداد امکان‌پذیر است.

۷-۷ تکنیک بزرگنمایی هندسی

یکی از موانعِ استفاده از سیستم‌های CR و DDA در پرتونگاری جوش، اندازهٔ بزرگِ پیکسل (مساوی یا بزرگتر از ۵۰ µm) بسیاری از آرایه‌های آشکارساز دیجیتال و سیستم‌های اسکنر-IP در مقایسه با اندازه کوچک دانه‌بندی فیلم (که منجر به قدرت‌تفکیک مکانی بالا برای فیلم می‌شود) می‌باشد. در صورت لزوم، با بهره‌گیری از ویژگی‌های منحصر به فرد آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) در افزایش SNR_N (CP II) در تصویر و/یا بزرگنمایی هندسی می‌توان این مشکل را از بین برد.

یادآوری- بزرگنمایی هندسی با بزرگنمایی دیجیتال (درشت‌نمایی[1]) تصاویر نمایش داده شده، متفاوت است. فقط بزرگنمایی هندسی، می‌تواند باعث کاهش عدم‌وضوح تصویر شود.

اگر حساسیت IQI (مشخص‌شده به‌وسیله IQI تک سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار) و SR_b مورد نیاز (مشخص شده به وسیله IQI دو سیمی، همچنین به پیوست **پ** مراجعه شود) الزامات تعیین شده در جداول مربوط ب-۱ تا ب-۱۴ پیوست **ب** را برآورده نکند، یکی ازگزینه‌ها افزایش نسبت سیگنال به نویز تصویر (به زیربند ۷-۳-۲، CP II مراجعه شود) است.

گزینه دیگر استفاده از تکنیک بزرگنمای هندسی با افزایش فاصله بین IP یا DDA و جسم به همراه استفاده از یک تیوب پرتو ایکس با نقطه کانونی کوچک یا یک چشمه گاما با اندازه کوچک است.

نهایتاً، بعد از به‌کار بردن هر دو روش، اگر مقادیر IQI مورد نیاز همچنان قابل مشاهده نباشند، آن سیستم CR یا DDA نمی‌تواند برای این آزمون استفاده شود.

انتخاب صحیح بزرگنمایی باید با استفاده از IQI دو سیمی بر روی جسم در همه پرتونگاشت‌های ایجادشده اثبات شود. اگر $2SR_b > d$ (d اندازه منبع یا نقطه کانونی است) باشد IQI دو سیمی باید در سمتی از جسم که به آشکارساز نزدیک‌تر است، قرار داده شود. در غیر این صورت، IQI دو سیمی باید بر روی جسم و سمت

1 - Zoom

منبع قرار داده شود. توصیه می‌شود برای تعیین مقدار بزرگنمایی، شاخص‌های تعیین کیفیت دو سیمی در هر دو سمت جسم قرار گیرند، اما بعد از انتخاب صحیح ضریب بزرگنمایی و اندازه منبع یا نقطه کانونی، فقط یک IQI نیاز است تا در پرتونگاشت ایجادشده نهایی دیده شود.

اگر از تشخیص خودکار عیوب (ADR)[1] استفاده شود، ممکن است شاخص‌های تعیین کیفیت باعث اختلال در تصاویر دیجیتال شوند. اگر برای مجموعه‌ای از پرتونگاشت‌های ایجادشده از IQI استفاده نشود، کیفیت تصویر باید به‌صورت دوره‌ای به‌وسیله تصاویر مرجع با شاخص‌های تعیین کیفیت سیمی یا پله‌ای سوراخ‌دار و دو سیمی تأیید شود.

عدم‌وضوح تصویر u_{Im} می‌تواند با بزرگنمایی v، عدم‌وضوح هندسی u_{G} و $\mathrm{SR_b}$ به‌وسیله فرمول (۱۰) تخمین زده شود:

$$u_{\mathrm{Im}} = \frac{1}{v}\sqrt{(u_{\mathrm{G}})^2 + (2\mathrm{SR_b})^2} \qquad (۱۰)$$

با

$$u_{\mathrm{G}} = \left(\frac{\mathrm{SDD}}{f} - 1\right) d = (v-1)d \qquad (۱۱)$$

که در آن:

$\mathrm{SR_b}$ قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز با بزرگنمایی ۱ است؛

SDD فاصله منبع تا آشکارساز است؛

f فاصله منبع تا جسم است؛

u_{G} عدم‌وضوح هندسی است؛

d اندازه نقطه کانونی یا اندازه منبع مطابق با استانداردهای EN 12543 و EN 12679 است؛

v بزرگنمایی هندسی به‌دست آمده از نسبت SDD/f است؛ و

u_{Im} بیشینه عدم‌وضوح مورد نیاز مطابق با جداول ب-۱۳ یا ب-۱۴ پیوست **ب** برای آزمون رده A یا B است.

برای کاهش عدم‌وضوح تصویر، بزرگنمایی باید افزایش یابد و/یا اندازه نقطه کانونی باید کاهش یابد به گونه‌ای که عدم‌وضوح تصویر کمتر یا مساوی با مقدار مناسب مشخص‌شده در جداول ب-۱۳ یا ب-۱۴ پیوست **ب** باشد. این موضوع همان‌طور که قبلاً توضیح داده شده است باید با IQI دو سیمی قرار گرفته روی جسم تأیید شود.

ضریب بزرگنمایی معمولاً برای سمت منبع و سمت آشکارسازِ جسم متفاوت است. بنابراین، توصیه می‌شود بزرگنمایی v برای مرکز جسم انتخاب شود. توصیه می‌شود اختلاف مقدار بزرگنمایی بین سمت منبع و

1- Automated defect recognition

سمت آشکارساز در محدوده ٪ ۲۵ ± باشد. اگر CP II که در زیربند ۷-۳-۲ توضیح داده شده است، به‌کار رود مقادیر بزرگنمایی کوچک‌تر می‌تواند انتخاب شود.

۷-۸ بیشینه ناحیه برای تک پرتودهی

توصیه می‌شود تعداد پرتونگاشت‌های دیجیتال برای آزمایش کامل جوش‌های تخت (به شکل‌های ۱، ۱۵، ۱۷ و ۱۸ مراجعه شود) و جوش‌های منحنی که چیدمانِ منبع خارج از مرکز دارند (به شکل‌های ۲ تا ۴ و ۸ تا ۱۶ مراجعه شود) بر اساس الزامات فنی مشخص شوند.

نسبت ضخامت نفوذ در لبه خارجی ناحیه مورد ارزیابی با ضخامت یکنواخت، به ضخامت نفوذ ناحیه مرکز باریکه نباید بیشتر از ۱٫۱ برای رده B و ۱٫۲ برای رده A باشد.

برای هرگونه تغییر در ضخامت نفوذ، توصیه می‌شود که هیچ یک از مقادیر SNR_N به‌دست آمده کمتر از مقادیر آورده شده در جداول ۳ یا ۴ نباشد. به عنوان جایگزین، مقادیر سطوح خاکستری (GVs) برای CR، همان‌طور که در پیوست **ت** نشان داده شده‌است، می‌تواند به‌کار رود.

اندازه ناحیه مورد آزمایش شامل جوش و ناحیه متأثر از حرارت است. به‌طور کلی، باید حدود ۱۰ mm از فلز پایه در هر طرف جوش مورد آزمایش قرار گیرد.

پیوست **الف** در خصوص تعداد پرتونگاشت‌های دیجیتال مورد نیاز جهت انجام آزمایش قابل قبول جوش لب‌به‌لب محیطی، توصیه‌هایی را ارائه می‌دهد.

۷-۹ پردازش

۷-۹-۱ اسکن و خوانش تصویر

برای به‌دست آوردن کیفیت تصویر مشخص باید آشکارسازها یا اسکنرها مطابق با شرایط پیشنهادشده به‌وسیله سازندگان آن‌ها مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می‌شود پرتونگاشت‌های دیجیتال، فاقد نشانه‌های مصنوعی ناشی از پردازش و جابه‌جایی و عوامل دیگر مختل‌کننده تفسیر باشند.

۷-۹-۲ کالیبراسیون آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs)

چنان‌چه از آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) استفاده شود، روش اجرایی کالیبراسیون آشکارساز باید همان‌طور که به‌وسیله سازنده توصیه شده، به‌کار رود. آشکارساز باید با یک تصویر زمینه (بدون پرتودهی) و دست‌کم با یک تصویر بهره[1] (با پرتوهای ایکس و به‌طور همگن پرتودهی‌شده) کالیبره شود. کالیبراسیون با چند تصویر بهره[2]، SNR_N قابل دستیابی و خطی بودن[3] را افزایش خواهد داد، اما زمان بیشتری نیاز دارد. برای کمینه کردن نویز ناشی از کالیبراسیون، باید همه تصاویرکالیبراسیون با دز پرتودهی (میلی‌آمپر دقیقه یا

1- One gain image
2- Multi-gain
3- Linearity

گیگابکرل[1] دقیقه) حداقل دو برابر مقدار مورد استفاده برای پرتونگاشت‌های بازرسی، کالیبره شوند. چنان‌چه این روش اجرایی مستند شده باشد، برای تضمین کیفیت توصیه می‌شود تصاویر کالیبره‌شده به عنوان تصاویر اصلی در نظر گرفته شوند. کالیبراسیون باید به‌طور دوره‌ای انجام شود و اگر شرایط پرتودهی به‌طور چشمگیری تغییر کند باید کالیبراسیون انجام شود.

۳-۹-۷ درون‌یابی پیکسل معیوب

پیکسل‌های معیوب، المان‌هایی از آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) هستند که عملکرد نامطلوبی دارند. پیکسل‌های معیوب در استاندارد ASTM E2597[11] توصیف شده‌اند.

چنان‌چه از آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) استفاده شود، آشکارساز باید مطابق با رهنمودهای سازنده برای تعیین موقعیت پیکسل معیوب نگاشته شود. موقعیت پیکسل معیوب باید مستند شود. درون‌یابی برای پیکسل معیوب قابل قبول است و یک شیوه ضروری برای پرتونگاری با آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) می‌باشد. پیشنهاد می‌شود فقط آرایه‌های آشکارساز دیجیتالی (DDAs) که در ناحیه مورد نظر (ROI) هیچ پیکسل معیوبی در مرکز گروه (CKP) ندارند، مورد استفاده قرار گیرند.

برای بازرسی، باید آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) بدون پیکسل‌های معیوب] مرکزی گروه (CKPs) و CR با قدرت تفکیک مکانی پایهٔ (SR_b) آشکارساز کمتر یا برابر با مقادیر ضروری جدول ب-۱۳ یا ب-۱۴ پیوست **ب**، به‌کار روند. اگر تکنیک بزرگنمایی استفاده شود، SR_b^{image} باید همان‌طور که در پیوست **پ** شرح داده شده است، اما با قرار دادن IQI دو سیمی به‌طور مستقیم بر روی جسم مورد آزمون (به زیربند ۷-۷ مراجعه شود)، از روی تصویر ایجاد شده[2] تعیین شود. این مقدار SR_b باید کمتر یا مساوی مقادیر مشخص‌شده در جدول ب-۱۳ یا ب-۱۴ پیوست **ب** باشد. چنان‌چه SR_b آشکارساز یا تصویر، بزرگ‌تر از مقادیر مشخص‌شده در جدول ب-۱۳ یا ب-۱۴ پیوست **ب** باشد، همان‌طور که در زیربند ۷-۲-۳ شرح داده شد، اصل جبران CP II می‌تواند به‌کار رود.

اگر آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) یا صفحات تصویرساز برای بازرسی اندازه عیوبی از مرتبه SR_b^{image} استفاده شود، SNR_N مورد نیاز باید به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. بازرسی باید براساس توافق بین طرفین قرارداد انجام شود. افزایش معین در SNR_N ممکن است عدم‌وضوح افزایش‌یافته موضعی ناشی از درون‌یابی پیکسل معیوب را جبران کند.

ارزیابی پیکسل‌های معیوب باید به‌طور دوره‌ای انجام شود.

یادآوری- با به‌کارگیری اصل جبران CP II، SNR_N افزایش‌یافته نیز عدم‌وضوح موضعی ناشی از درون‌یابی پیکسل معیوب را جبران می‌کند. این مطلب به عنوان اصل جبران CP III در نظر گرفته می‌شود.

1- Gigabecquerel
2- Measured image

۷-۹-۴ پردازش تصویر

۷-۹-۴-۱ داده‌های دیجیتالِ آشکارساز تصویر باید با استفاده از مقدار خاکستری خطی که به‌طور مستقیم با دُز پرتو متناسب است برای تعیین SNR، SR_b و SNR_N ارزیابی شوند. برای نمایش بهینه تصویر[1]، بهتر است تباین و درخشندگی[2] به‌طور تعاملی قابل تنظیم باشند. برای نمایش و ارزیابی تصویر، بهتر است توابع فیلتر انتخابی، ابزارِ پروفایل‌های برشی[3] و SNR، SNR_N در نرم‌افزار موجود باشند. برای تحلیل تصویر با حساسیت بیشتر، کاربر باید تصویر را با ضریب درشت‌نمایی بین ۱:۱ (یعنی ۱ پیکسل از پرتونگاشت دیجیتال به‌وسیله یک پیکسل از نمایشگر نمایش داده شود) و ۱:۲ (یعنی ۱ پیکسل از پرتونگاشت دیجیتال به‌وسیله ۴ پیکسل از نمایشگر نمایش داده شود) تفسیر کند.

۷-۹-۴-۲ دیگر ابزارهای پردازش تصویر به‌کار رفته بر روی داده‌های خام ذخیره‌شده (مانند فیلتر کردن بالاگذر برای نمایش تصویر) باید مستندسازی شوند، تکرارپذیر باشند و بین طرفین قرارداد مورد توافق قرار گیرند.

۷-۹-۴-۳ اگر پردازش تصویر دیگری (مانند فیلترکردن بالاگذر) هنگام ارزیابی مقادیر IQI تک سیمی و پله‌ای سوراخ‌دار استفاده شود، باید برای ارزیابی جوش و تعیین مقدار IQI از پارامترهای فیلتر یکسان استفاده شود.

۷-۱۰ شرایط مشاهده نمایشگر و ذخیره‌سازی پرتونگاشت‌های دیجیتال

پرتونگاشت‌های دیجیتال باید در اتاق تاریک‌شده[4] بررسی شوند. تنظیمات نمایشگر باید با یک تصویر آزمون[5] مناسب تصدیق شود.

برای ارزیابی تصویر، نمایشگر باید حداقل الزامات **الف** تا **ت** را برآورده کند:

الف- کمینه درخشش $۲۵۰\ cd/m^2$؛

ب- نمایش حداقل ۲۵۶ درجه رنگ خاکستری؛

پ- کمینه نسبت شدت نورِ قابل نمایشِ ۱ به ۲۵۰ (۱:۲۵۰)؛ و

ت- نمایش حداقل ۱ میلیون پیکسل با اندازه کوچک‌تر از ۰٫۳ mm.

تصاویر اصلی (ناحیه مورد نظر) باید با قدرت تفکیک کامل[6] همان‌طور که از سیستم آشکارساز به‌دست آمده‌اند، ذخیره شوند. به‌منظور ایجاد تصاویر آشکارساز فاقد نشانه‌های مصنوعی، صرفاً پردازش تصویر مرتبط

1- Optimal image display
2- Brightness
3- Profile plot
4- Darkened room
5- Test image
6- Full resolution

با کالیبراسیون آشکارساز (مانند تصحیح آفست[1]، کالیبراسیون بهره به‌منظور برابرسازی[2] آشکارساز و تصحیح پیکسل معیوب، برای جزییات بیشتر به استاندارد ASTM E2597[11] مراجعه شود)، باید قبل از ذخیره‌سازیِ این داده‌های خام انجام پذیرد.

برای اطمینان از ذخیره‌سازی طولانی مدت، داده‌ها باید در چند[3] نسخه و با استراتژی‌های پشتیبان‌گیری[4] مناسب صرفاً با استفاده از فشرده‌سازی بدون از اُفت داده‌ها[5] یا کاهش کیفیت تصاویر، ذخیره شوند.

۸ گزارش آزمون

برای هربار پرتودهی، یا مجموعه‌ای از پرتودهی‌ها، باید یک گزارش آزمون شامل اطلاعاتی درباره تکنیک پرتونگاری دیجیتال مورد استفاده و هر شرایط ویژه دیگری که اجازه درک بهتر نتایج را می‌دهد، تهیه شود.

گزارش آزمون باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

الف- تکنیک پرتونگاری دیجیتال مورد استفاده، همراه با ارجاع به این استاندارد ملی؛

ب- نام مؤسسهٔ انجام دهندهٔ آزمون؛

پ- جسم مورد آزمون؛

ت- ماده؛

ث- عملیات حرارتی؛

ج- هندسه جوش؛

چ- ضخامت ماده؛

ح- فرآیند جوشکاری؛

خ- مشخصات آزمایش شامل الزامات پذیرش؛

د- تکنیک و رده پرتونگاری دیجیتال، حساسیت IQI مورد نیاز مطابق با این استاندارد ملی؛

ذ- چیدمان آزمون مطابق با زیربند ۷-۱؛

ر- بزرگ‌نمایی

ز- سیستم نشان‌گذاری مورد استفاده؛

ژ- طرح موقعیت آشکارساز؛

1- Offset
2- Equalization
3- Redundant
4- Back-up
5- Lossless data

س- منبع پرتو، نوع و اندازه نقطه کانونی و شناسه‌های تجهیزات مورد استفاده؛

ش- آشکارساز، صفحات تشدیدکننده و فیلترها و قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز؛

ص- مقدار SNR_N به‌دست آمده و مورد نیاز برای آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) یا مقادیر خاکستری به‌دست آمده و مورد نیاز و/ یا SNR_N برای CR؛

ض- برای CR: نوع اسکنر و پارامترهایی مانند اندازه پیکسل، سرعت اسکن، بهره، شدت لیزر و قُطر باریکه لیزر؛

ط- برای DDA: نوع و پارامترهایی مانند بهره، زمان فریم، تعداد فریم، اندازه پیکسل، روش اجرایی کالیبراسیون؛

ظ- ولتاژ و جریان مولد پرتو ایکس مورد استفاده یا نوع منبع و پرتوزایی آن؛

ع- زمان پرتودهی و فاصله منبع تا آشکارساز؛

غ - نوع و موقعیت شاخص‌های کیفیت تصویر؛

ف- نتایج آزمایش، شامل اطلاعات نرم افزار مورد استفاده و خوانش‌های IQI؛

ق- پارامترهای پردازش تصویر مورد استفاده، مانند فیلترهای دیجیتال؛

ک- هرگونه انحراف از این استاندارد، برطبق توافق؛

گ- نام و نام خانوادگی، گواهینامه و امضاء شخص(های) مسئول؛ و

ل- تاریخ(های) پرتودهی و گزارش آزمون.

پیوست الف

(الزامی)

تعداد پرتودهی‌های توصیه‌شده برای یک آزمایش قابل قبول از جوش لب به لبِ محیطی[1]

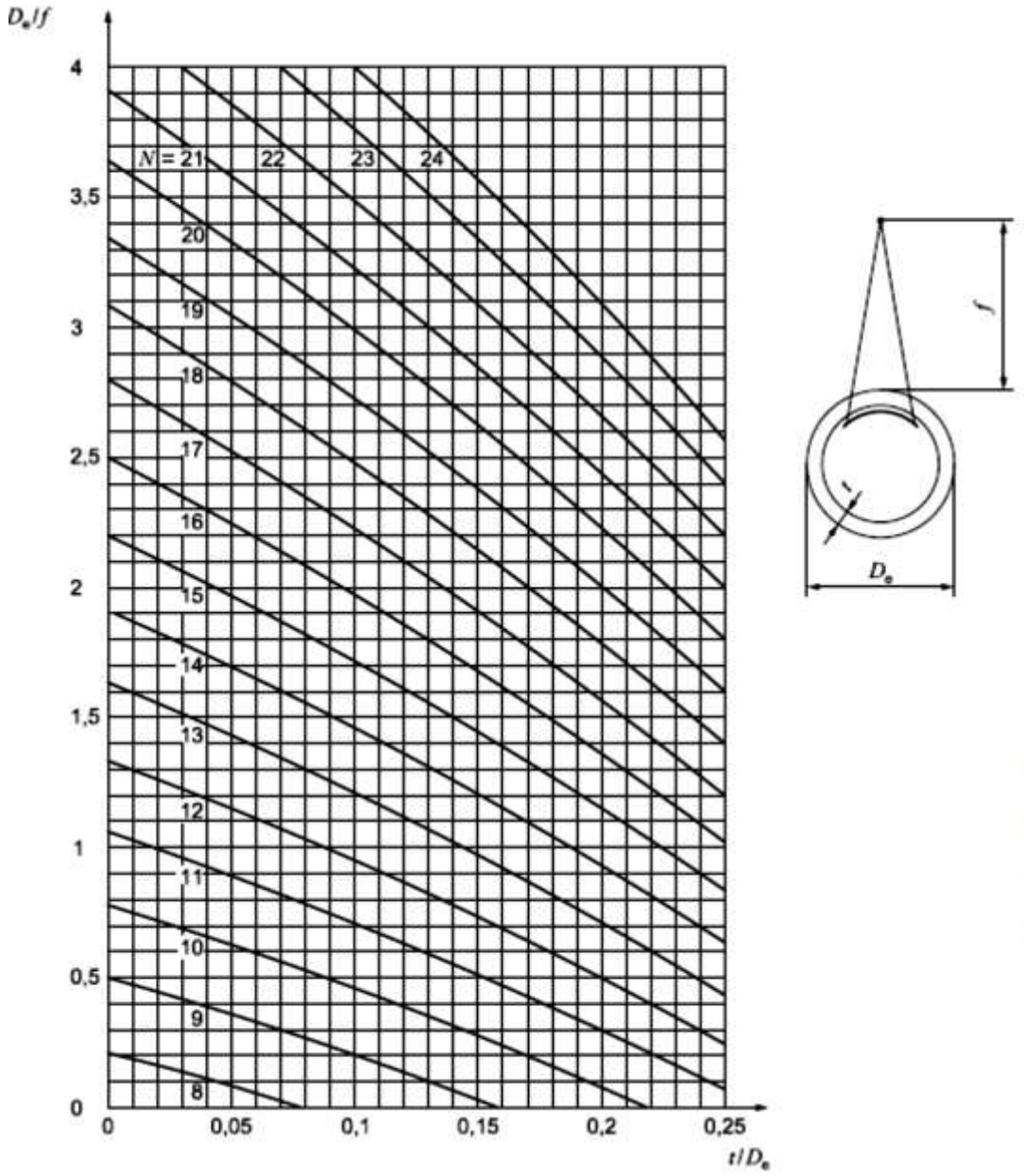
در شکل‌های الف-۱ تا الف-۴ کمینه تعداد پرتودهی‌های لازم برای لوله‌هایی با قُطر خارجی بیشتر از ۱۰۰ mm نشان داده شده است.

وقتی‌که انحراف در ضخامت دیوارهٔ اتصال بررسی می‌شود، هنگامی‌که $\Delta t/t$ برای استفاده از یک بار پرتودهی بیش از ٪ ۲۰ نشود، از شکل‌های الف-۳ و الف-۴ استفاده می‌شود. این تکنیک تنها زمانی توصیه می‌شود که احتمال وجود ترک‌های عرضی کم است و یا این‌که جوش با روش‌های دیگر آزمون‌های غیرمخرب برای یافتن چنین نقص‌هایی مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

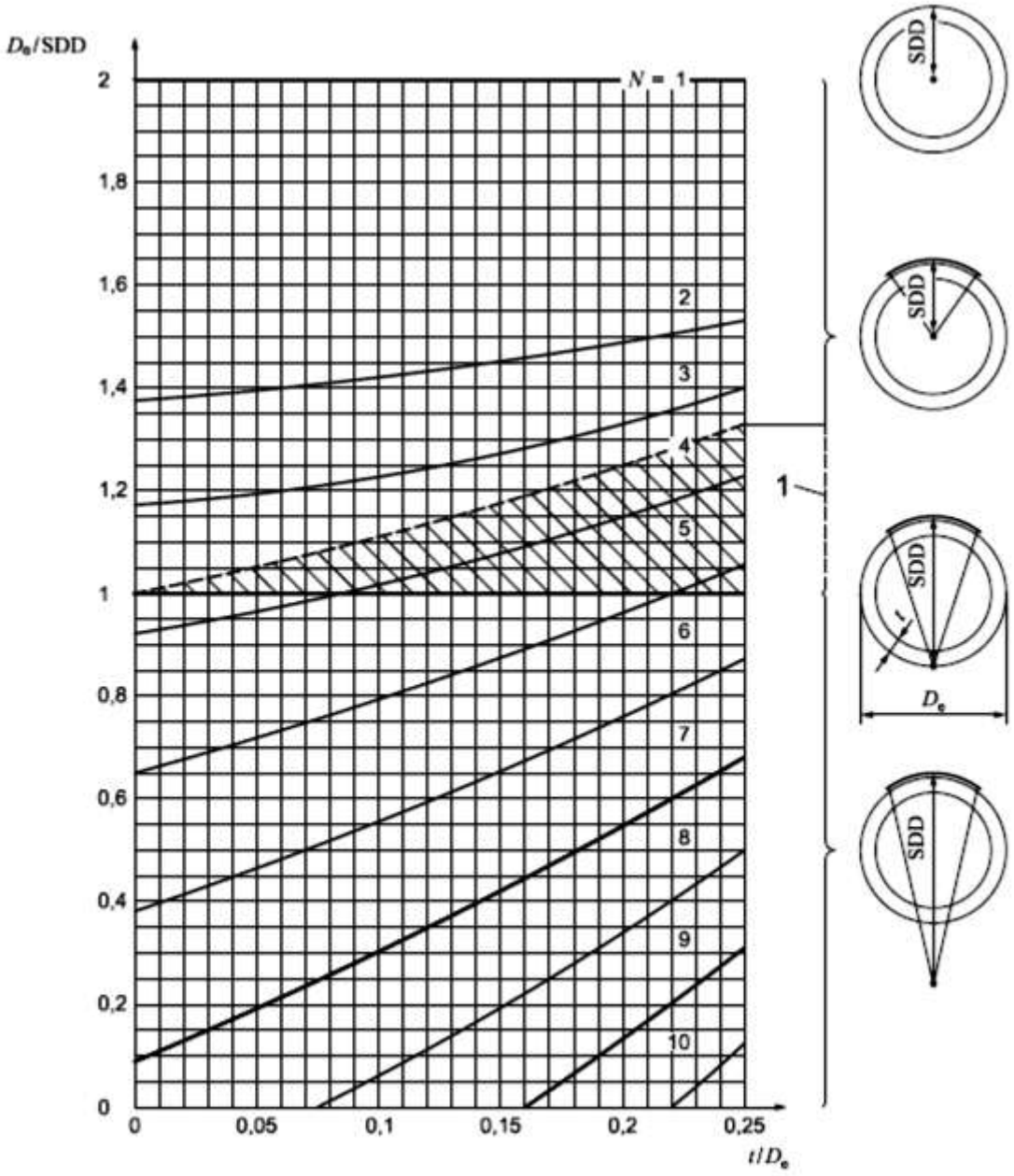
هنگامی که $\Delta t/t$ کوچک‌تر یا مساوی ٪ ۱۰ باشد، از شکل‌های الف-۱ و الف-۲ استفاده می‌شود. در این حالت، احتمال دارد ترک‌های عرضی نیز آشکار شوند.

اگر جسم برای یافتن ترک‌های عرضی منفرد مورد آزمایش قرار می‌گیرد، تعداد کمینه پرتونگاشت‌های دیجیتالی مورد نیاز در مقایسه با مقادیر شکل‌های الف-۱ تا الف-۴ افزایش می‌یابد.

1 - Circumferential butt weld



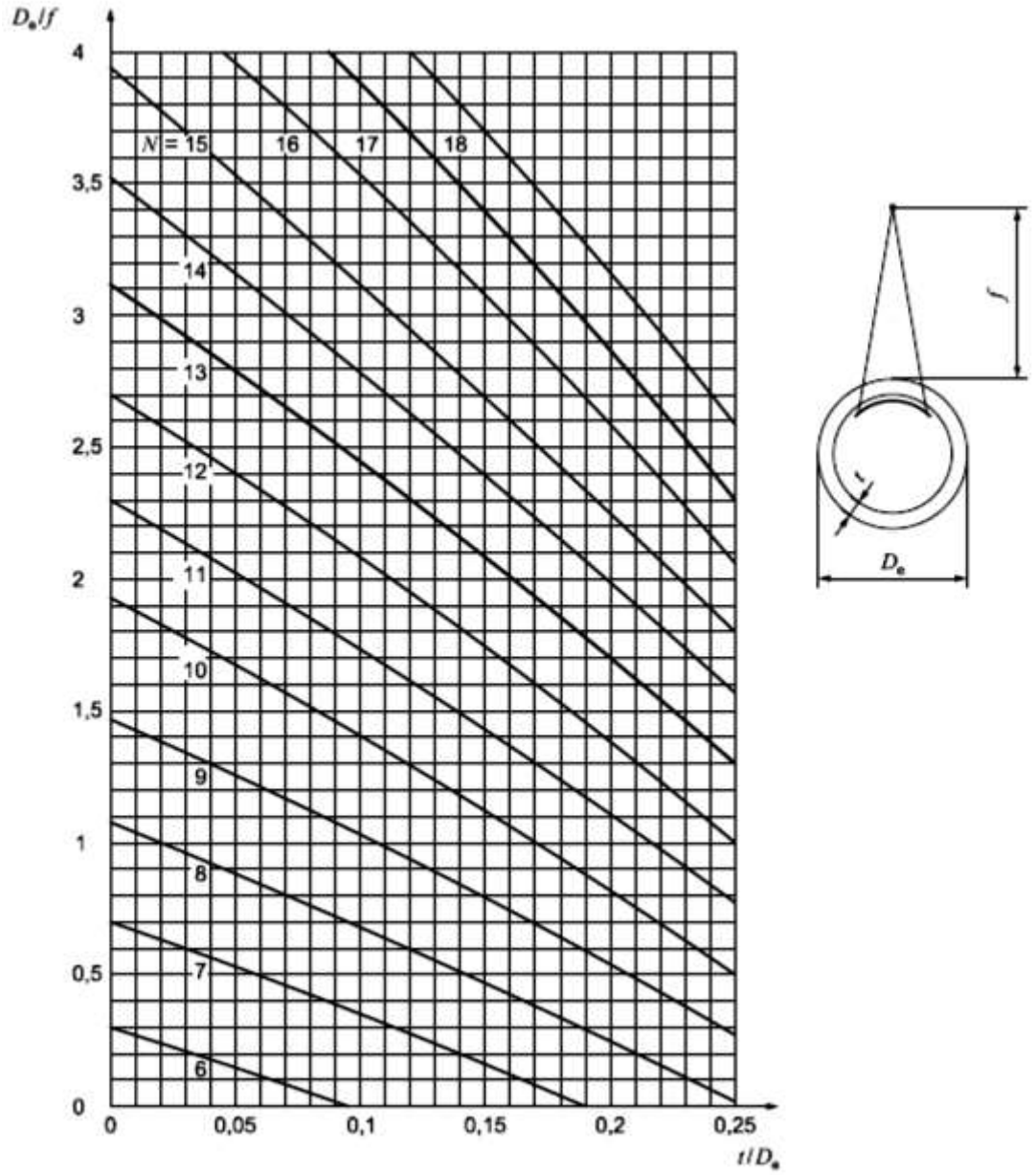
شکل الف-۱- کمینه تعداد پرتودهی‌ها، N، برای نفوذ تک دیواره هنگامی که منبع در خارج قرار دارد، با بیشینه افزایش مجاز ٪ ۱۰ در ضخامت نفوذ ($\Delta t/t$)، ناشی از نفوذ مورب در نواحی مورد ارزیابی (رده B)، به‌صورت تابعی از نسبت‌های t/D_e و D_e/f



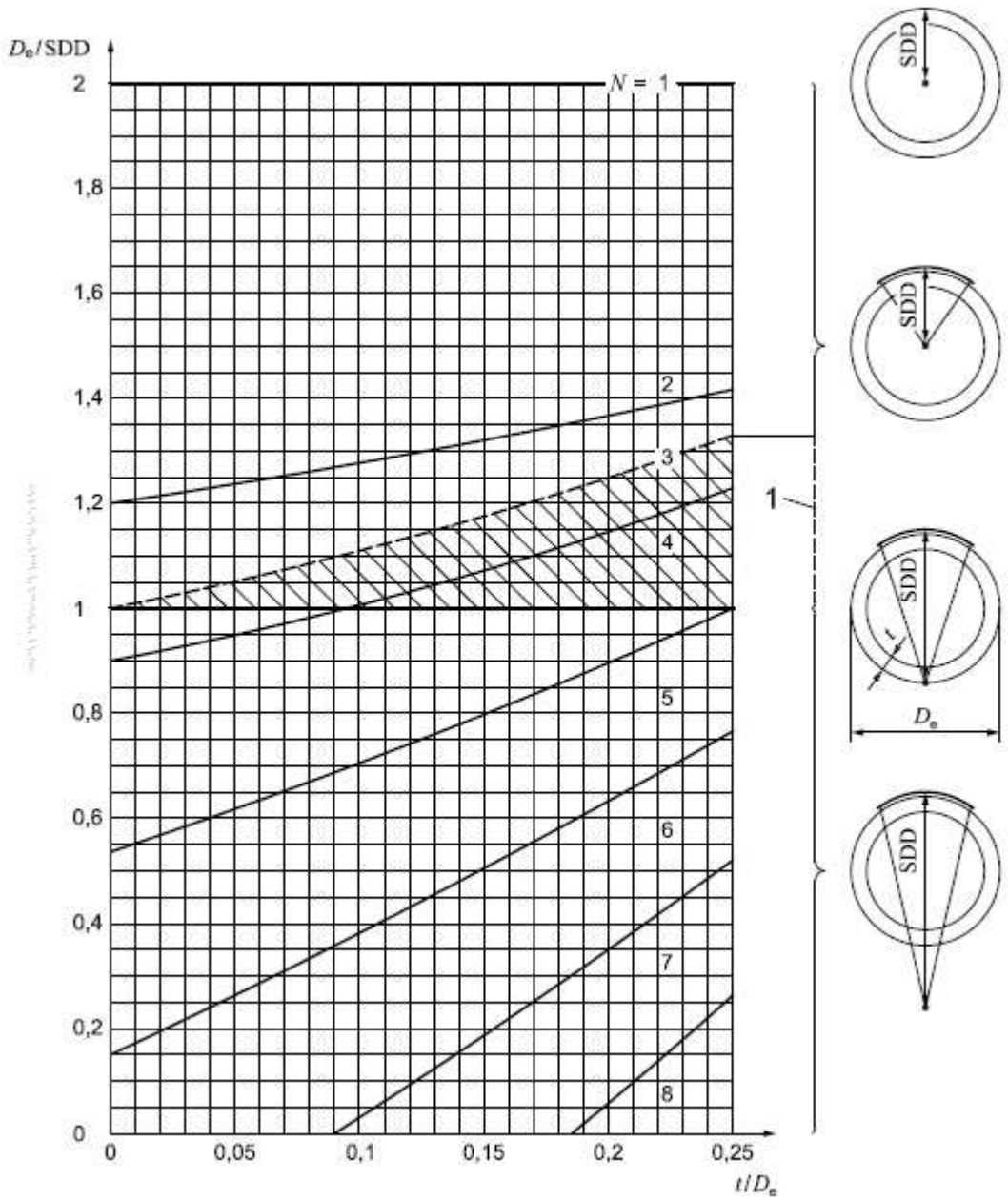
راهنما :

۱ دیواره لوله

شکل الف-۲- کمینه تعداد پرتودهی‌ها، *N*، برای نفوذ خارج از مرکز هنگامی که منبع در داخل قرار دارد و نفوذ دو دیواره، با بیشینه افزایش مجاز ٪ ۱۰ در ضخامت نفوذ ($\Delta t/t$) ناشی از نفوذ مورب در نواحی مورد ارزیابی (رده B)، به‌صورت تابعی از نسبت‌های t/D_e و D_e/SDD



شکل الف-۳- کمینه تعداد پرتودهی‌ها، N، برای نفوذ تک دیواره هنگامی که منبع در خارج قرار دارد، با بیشینه افزایش مجاز ٪ ۲۰ در ضخامت نفوذ ($\Delta t/t$) ناشی از نفوذ مورب در نواحی مورد ارزیابی (رده A)، به‌صورت تابعی از نسبت‌های t/D_e و D_e/f



راهنما :

۱ دیواره لوله

شکل الف-۴- کمینه تعداد پرتودهی‌ها، *N*، برای نفوذ خارج از مرکز هنگامی که منبع در داخل قرار دارد و نفوذ دو دیواره، با بیشینه افزایش مجاز ٪ ۲۰ در ضخامت نفوذ ($\Delta t/t$) ناشی از نفوذ مورب در نواحی مورد ارزیابی (رده A)، به‌صورت تابعی از نسبت‌های t/D_e و D_e/SDD

پیوست ب

(الزامی)

کمینه مقادیر کیفیت تصویر

ب-۱ تکنیک تک دیواره؛ IQI در سمت منبع

جدول ب-۱- IQI سیمی

کیفیت تصویر رده A				
مقدار IQI	ضخامت اسمی t mm			
w 18			تا	۱٫۲
w 17	بیشتر از	۱٫۲	تا	۲٫۰
w 16	بیشتر از	۲٫۰	تا	۳٫۵
w 15	بیشتر از	۳٫۵	تا	۵٫۰
W 14	بیشتر از	۵٫۰	تا	۷
W 13	بیشتر از	۷	تا	۱۰
W 12	بیشتر از	۱۰	تا	۱۵
W 11	بیشتر از	۱۵	تا	۲۵
W 10	بیشتر از	۲۵	تا	۳۲
W 9	بیشتر از	۳۲	تا	۴۰
W 8	بیشتر از	۴۰	تا	۵۵
W 7	بیشتر از	۵۵	تا	۸۵
w 6	بیشتر از	۸۵	تا	۱۵۰
w 5	بیشتر از	۱۵۰	تا	۲۵۰
w 4	بیشتر از	۲۵۰		

جدول ب-۲- IQI پله‌ای سوراخ‌دار

کیفیت تصویر رده A				
مقدار IQI	ضخامت اسمی t mm			
H 3			تا	۲٫۰
H 4	بیشتر از	۲٫۰	تا	۳٫۵
H 5	بیشتر از	۳٫۵	تا	۶
H 6	بیشتر از	۶	تا	۱۰
H 7	بیشتر از	۱۰	تا	۱۵
H 8	بیشتر از	۱۵	تا	۲۴
H 9	بیشتر از	۲۴	تا	۳۰
H 10	بیشتر از	۳۰	تا	۴۰
H 11	بیشتر از	۴۰	تا	۶۰
H 12	بیشتر از	۶۰	تا	۱۰۰
H 13	بیشتر از	۱۰۰	تا	۱۵۰
H 14	بیشتر از	۱۵۰	تا	۲۰۰
H 15	بیشتر از	۲۰۰	تا	۲۵۰
H 16	بیشتر از	۲۵۰	تا	۳۲۰
H 17	بیشتر از	۳۲۰	تا	۴۰۰
H 18	بیشتر از	۴۰۰		

جدول ب-۳- IQI سیمی

کیفیت تصویر رده B					
مقدار IQI	ضخامت اسمی t mm				
w 19			تا	۱٫۵	
w 18	بیشتر از	۱٫۵	تا	۲٫۵	
w 17	بیشتر از	۲٫۵	تا	۴	
w 16	بیشتر از	۴	تا	۶	
w 15	بیشتر از	۶	تا	۸	
w 14	بیشتر از	۸	تا	۱۲	
w 13	بیشتر از	۱۲	تا	۲۰	
w 12	بیشتر از	۲۰	تا	۳۰	
w 11	بیشتر از	۳۰	تا	۳۵	
w 10	بیشتر از	۳۵	تا	۴۵	
w 9	بیشتر از	۴۵	تا	۶۵	
w 8	بیشتر از	۶۵	تا	۱۲۰	
w 7	بیشتر از	۱۲۰	تا	۲۰۰	
w 6	بیشتر از	۲۰۰	تا	۳۵۰	
w 5	بیشتر از	۳۵۰			

جدول ب-۴- IQI پله‌ای سوراخ‌دار

کیفیت تصویر رده B					
مقدار IQI	ضخامت اسمی t mm				
H 2			تا	۲٫۵	
H 3	بیشتر از	۲٫۵	تا	۴	
H 4	بیشتر از	۴	تا	۸	
H 5	بیشتر از	۸	تا	۱۲	
H 6	بیشتر از	۱۲	تا	۲۰	
H 7	بیشتر از	۲۰	تا	۳۰	
H 8	بیشتر از	۳۰	تا	۴۰	
H 9	بیشتر از	۴۰	تا	۶۰	
H 10	بیشتر از	۶۰	تا	۸۰	
H 11	بیشتر از	۸۰	تا	۱۰۰	
H 12	بیشتر از	۱۰۰	تا	۱۵۰	
H 13	بیشتر از	۱۵۰	تا	۲۰۰	
H 14	بیشتر از	۲۰۰	تا	۲۵۰	

ب-۲ تکنیک دو دیواره ـ دو تصویر؛ IQI در سمت منبع

جدول ب-۵- IQI سیمی

کیفیت تصویر رده A				
مقدار IQI	ضخامت نفوذ w mm			
w 18	۱٫۵	تا		
w 17	۲٫۵	تا	۱٫۵	بیشتر از
w 16	۳٫۵	تا	۲٫۵	بیشتر از
w 15	۵	تا	۳٫۵	بیشتر از
w 14	۷	تا	۵	بیشتر از
w 13	۱۲	تا	۷	بیشتر از
w 12	۱۸	تا	۱۲	بیشتر از
w 11	۳۰	تا	۱۸	بیشتر از
w 10	۴۰	تا	۳۰	بیشتر از
w 9	۵۰	تا	۴۰	بیشتر از
w 8	۶۰	تا	۵۰	بیشتر از
w 7	۸۵	تا	۶۰	بیشتر از
w 6	۱۲۰	تا	۸۵	بیشتر از
w 5	۲۲۰	تا	۱۲۰	بیشتر از
w 4	۳۸۰	تا	۲۲۰	بیشتر از
w 3			۳۸۰	بیشتر از

جدول ب-۶- IQI پله‌ای سوراخ‌دار

کیفیت تصویر رده A				
مقدار IQI	ضخامت نفوذ w mm			
H 3	۱	تا		
H 4	۲	تا	۱	بیشتر از
H 5	۳٫۵	تا	۲	بیشتر از
H 6	۵٫۵	تا	۳٫۵	بیشتر از
H 7	۱۰	تا	۵٫۵	بیشتر از
H 8	۱۹	تا	۱۰	بیشتر از
H 9	۳۵	تا	۱۹	بیشتر از

جدول ب-۷- IQI سیمی

کیفیت تصویر رده B					
مقدار IQI	ضخامت نفوذ w mm				
w 19			تا	۱٫۵	
w 18	بیشتر از	۱٫۵	تا	۲٫۵	
w 17	بیشتر از	۲٫۵	تا	۴	
w 16	بیشتر از	۴	تا	۶	
w 15	بیشتر از	۶	تا	۸	
w 14	بیشتر از	۸	تا	۱۵	
w 13	بیشتر از	۱۵	تا	۲۵	
w 12	بیشتر از	۲۵	تا	۳۸	
w 11	بیشتر از	۳۸	تا	۴۵	
w 10	بیشتر از	۴۵	تا	۵۵	
w 9	بیشتر از	۵۵	تا	۷۰	
w 8	بیشتر از	۷۰	تا	۱۰۰	
w 7	بیشتر از	۱۰۰	تا	۱۷۰	
w 6	بیشتر از	۱۷۰	تا	۲۵۰	
w 5	بیشتر از	۲۵۰			

جدول ب-۸- IQI پله‌ای سوراخ‌دار

کیفیت تصویر رده B					
مقدار IQI	ضخامت نفوذ w mm				
H 2			تا	۱	
H 3	بیشتر از	۱	تا	۲٫۵	
H 4	بیشتر از	۲٫۵	تا	۴	
H 5	بیشتر از	۴	تا	۶	
H 6	بیشتر از	۶	تا	۱۱	
H 7	بیشتر از	۱۱	تا	۲۰	
H 8	بیشتر از	۲۰	تا	۳۵	

ب-۳ تکنیک دو دیواره ـ یک یا دو تصویر؛ IQI در سمت آشکارساز

جدول ب-۹- IQI سیمی

کیفیت تصویر رده A					
مقدار IQI	ضخامت نفوذ w mm				
w 18	۱٫۲	تا			
w 17	۲	تا	۱٫۲		بیشتر از
w 16	۳٫۵	تا	۲		بیشتر از
w 15	۵	تا	۳٫۵		بیشتر از
w 14	۱۰	تا	۵		بیشتر از
w 13	۱۵	تا	۱۰		بیشتر از
w 12	۲۲	تا	۱۵		بیشتر از
w 11	۳۸	تا	۲۲		بیشتر از
w 10	۴۸	تا	۳۸		بیشتر از
w 9	۶۰	تا	۴۸		بیشتر از
w 8	۸۵	تا	۶۰		بیشتر از
w 7	۱۲۵	تا	۸۵		بیشتر از
w 6	۲۲۵	تا	۱۲۵		بیشتر از
w 5	۳۷۵	تا	۲۲۵		بیشتر از
w 4			۳۷۵		بیشتر از

جدول ب-۱۰- IQI پله‌ای سوراخ‌دار

کیفیت تصویر رده A					
مقدار IQI	ضخامت نفوذ w mm				
H 3	۲	تا			
H 4	۵	تا	۲		بیشتر از
H 5	۹	تا	۵		بیشتر از
H 6	۱۴	تا	۹		بیشتر از
H 7	۲۲	تا	۱۴		بیشتر از
H 8	۳۶	تا	۲۲		بیشتر از
H 9	۵۰	تا	۳۶		بیشتر از
H 10	۸۰	تا	۵۰		بیشتر از

جدول ب-۱۱- IQI سیمی

کیفیت تصویر رده B						مقدار IQI
ضخامت نفوذ w mm						
			تا	۱٫۵		w 19
بیشتر از	۱٫۵		تا	۲٫۵		w 18
بیشتر از	۲٫۵		تا	۴		w 17
بیشتر از	۴		تا	۶		w 16
بیشتر از	۶		تا	۱۲		w 15
بیشتر از	۱۲		تا	۱۸		w 14
بیشتر از	۱۸		تا	۳۰		w 13
بیشتر از	۳۰		تا	۴۵		w 12
بیشتر از	۴۵		تا	۵۵		w 11
بیشتر از	۵۵		تا	۷۰		w 10
بیشتر از	۷۰		تا	۱۰۰		w 9
بیشتر از	۱۰۰		تا	۱۸۰		w 8
بیشتر از	۱۸۰		تا	۳۰۰		w 7
بیشتر از	۳۰۰					w 6

جدول ب-۱۲- IQI پله‌ای سوراخ‌دار

کیفیت تصویر رده B						مقدار IQI
ضخامت نفوذ w mm						
			تا	۲٫۵		H 2
بیشتر از	۲٫۵		تا	۵٫۵		H 3
بیشتر از	۵٫۵		تا	۹٫۵		H 4
بیشتر از	۹٫۵		تا	۱۵		H 5
بیشتر از	۱۵		تا	۲۴		H 6
بیشتر از	۲۴		تا	۴۰		H 7
بیشتر از	۴۰		تا	۶۰		H 8
بیشتر از	۶۰		تا	۸۰		H 9

ب-۴ عدم‌وضوح

جدول ب-۱۳-بیشینه عدم‌وضوح تصویر برای همه تکنیک ها در رده A

کیفیت تصویر رده A: IQI دو سیمی ISO 19232-5		
ضخامت نفوذ w^a mm	**کمینه مقدار IQI و بیشینه عدم‌وضوح** (ISO 19232-5)[b] mm	**بیشینه قدرت تفکیک مکانی پایه** (معادل ضخامت و فاصلهٔ سیم)[b] SR_b^{image} mm
$w \leq ۱/۰$	D ۱۳ ۰/۱	۰/۰۵
$۱/۵ < w \leq ۱/۰$	D ۱۲ ۰/۱۲۵	۰/۰۶۳
$۱/۵ < w \leq ۲$	D ۱۱ ۰/۱۶	۰/۰۸
$۲ < w \leq ۵$	D ۱۰ ۰/۲۰	۰/۱۰
$۵ < w \leq ۱۰$	D ۹ ۰/۲۶	۰/۱۳
$۱۰ < w \leq ۲۵$	D ۸ ۰/۳۲	۰/۱۶
$۲۵ < w \leq ۵۵$	D ۷ ۰/۴۰	۰/۲۰
$۵۵ < w \leq ۱۵۰$	D ۶ ۰/۵۰	۰/۲۵
$۱۵۰ < w \leq ۲۵۰$	D ۵ ۰/۶۴	۰/۳۲
$w > ۲۵۰$	D ۴ ۰/۸۰	۰/۴۰

[a] برای تکنیک دو دیواره-یک تصویر، باید ضخامت اسمی t به جای ضخامت نفوذ w استفاده شود.

[b] در پرتونگاری تماسی، خوانش IQI برای انتخاب سیستم به‌کار می‌رود (به پیوست پ مراجعه شود). اگر از تکنیک بزرگ‌نمایی هندسی استفاده می‌شود (به زیربند ۷-۷ مراجعه شود)، خوانش IQI باید متناسب با پرتونگاشت‌های مرجع انجام شود.

جدول ب-۱۴-بیشینه عدم‌وضوح تصویر برای همه تکنیک‌ها در رده B

کیفیت تصویر رده B : IQI دو سیمی برطبق استاندارد ISO 19232-5		
ضخامت نفوذ w^a mm	**کمینه مقدار IQI و بیشینه عدم‌وضوح** (ISO 19232-5)[b] mm	**بیشینه قدرت تفکیک مکانی پایه** (معادل ضخامت و فاصله سیم)[b] SR_b^{image} mm
$w \leq ۱/۵$	D ۱۳+ ۰/۰۸	۰/۰۴
$۱/۵ < w \leq ۴$	D ۱۳ ۰/۱	۰/۰۵
$۴ < w \leq ۸$	D ۱۲ ۰/۱۲۵	۰/۰۶۳
$۸ < w \leq ۱۲$	D ۱۱ ۰/۱۶	۰/۰۸
$۱۲ < w \leq ۴۰$	D ۱۰ ۰/۲۰	۰/۱۰
$۴۰ < w \leq ۱۲۰$	D ۹ ۰/۲۶	۰/۱۳
$۱۲۰ < w \leq ۲۰۰$	D ۸ ۰/۳۲	۰/۱۶
$w > ۲۰۰$	D ۷ ۰/۴۰	۰/۲۰

[a] برای تکنیک دو دیواره-یک تصویر، ضخامت اسمی t باید به جای ضخامت نفوذ w استفاده شود.

[b] در پرتونگاری تماسی، خوانش IQI برای انتخاب سیستم (به پیوست پ مراجعه شود) به‌کار می‌رود. اگر تکنیک بزرگ‌نمایی هندسی (به زیربند ۷-۷ مراجعه شود) استفاده شود، خوانش IQI باید متناسب با پرتونگاشت‌های مرجع انجام شود.

یادآوری- اگر جفت خط D ۱۳ در IQI دو سیمی با عمق مدولاسیون (dip)[1] بزرگ‌تر از ٪ ۲۰ قابل تفکیک باشد، «D۱۳+» به دست می‌آید.

1- Determined modulation depth

اختلاف مقدار خاکستری بین قله و دره در خوانش IQI دو سیمی بر حسب درصد.

پیوست پ

(الزامی)

تعیین قدرت تفکیک مکانی پایه

خطی‌بودن سطوح خاکستری شرط لازم برای اندازه‌گیری مقادیر صحیح قدرت تفکیک مکانی پایه است. این موضوع به این معنا است که در یک موقعیت مشخص در تصویر، لازم است مقدار خاکستری با میزان پرتودهی متناسب باشد. به طور معمول این مسئله توسط نرم افزار سازنده پشتیبانی می‌شود.

شاخص کیفیت تصویر دو سیمی باید به‌طور مستقیم روی سطح آشکارساز یا کاست قرار گیرد و همچنین برای تعیین قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز، SR_b ، باید مطابق با استاندارد ISO 19232-5 خوانده شود.

یادآوری – اگر IQI دو سیمی به‌جای آنکه به‌طور مستقیم بر روی آشکارساز قرار گیرد روی جسم مورد آزمون گذاشته شود، اندازه قدرت تفکیک مکانی پایه تصویر، SR_b^{image}، به جای قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز، $SR_b^{detector}$، به‌دست می‌آید.

چنانچه اولین جفت سیم غیر واضح، به‌روشنی قابل تشخیص نباشد (به استاندارد ISO 19232-5 مراجعه شود)، باید روش عمق مدولاسیون ٪ ۲۰ که در ادامه آمده است، به‌کار رود.

در یک پرتونگاشت دیجیتال، اولین جفت سیم که مدولاسیونی[1] (عمق مدولاسیون) کمتر از ٪ ۲۰ نسبت به اندازه قله دوتایی را به‌دست می‌دهد (به شکل پ-۱ مراجعه شود)، باید به عنوان نتیجه آزمون IQI مستندسازی شود (به‌عنوان مثال D8 همان‌طور که در شکل پ-۱-پ نشان داده شده است). برای تشخیص اولین جفت سیم با عمق مدولاسیون کمتر از ٪ ۲۰ (زمانی که روی دو مقدار کمینه میانگین گرفته شود (به شکل پ-۱-ت مراجعه شود)) باید از تابع برشی نرم‌افزار پردازش تصویر استفاده شود. همچنین باید از نمودار برشی، بر روی حداقل ۲۱ خط برشی منفرد، برای بهبود SNR میانگین گرفته شود (به شکل‌های پ-۱-ب و پ-۱-پ مراجعه شود).

عدم‌وضوح ذاتی تصویر، u_i، باید با استفاده از IQI دو سیمی مطابق با استاندارد ISO 19232-5 تعیین شود و همچنین قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز، SR_b، باید طبق فرمول (پ-۱) محاسبه شود:

$$SR_b = \frac{1}{2} u_i \qquad (پ-۱)$$

همان گونه که در شکل پ-۱ نشان داده شده است به‌منظور اجتناب از اثرات بدنمایی، IQI دو سیمی باید با زاویه حدود ۲° تا ۵° نسبت به خط پیکسل یا راستای ستون قرار داده شود.

1- Modulation

تعیین قدرت تفکیک مکانی پایه برای یک سیستم آشکارساز دیجیتال (SR_b) باید مطابق یکی از شرایط پرتودهی زیر بدون جسم انجام شود:

الف- بازرسی آلیاژهای سبک:

- ولتاژ تیوب ۹۰ kV،
- پیش‌فیلتر آلومینیمی ۱ mm؛

ب- بازرسی فولاد و آلیاژهای مس با ضخامت نفوذ کوچک‌تر یا مساوی ۲۰ mm:

- ولتاژ تیوب ۱۶۰ kV،
- پیش‌فیلتر مسی ۱ mm؛

پ- بازرسی فولاد و آلیاژهای مس با ضخامت نفوذ بیشتر از ۲۰ mm:

- ولتاژ تیوب ۲۲۰ kV،
- پیش‌فیلتر مسی ۲ mm؛

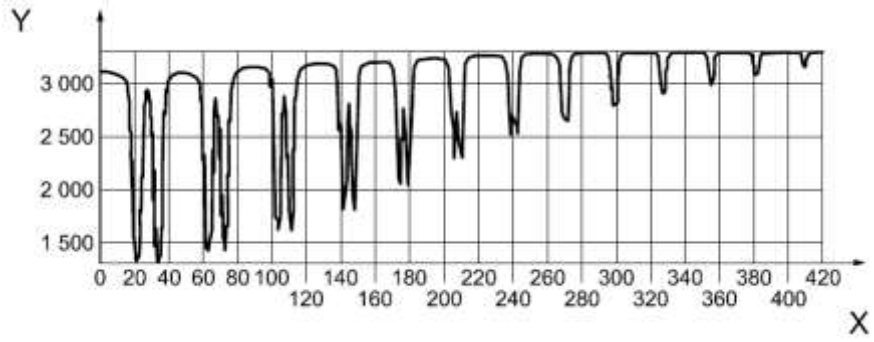
ت- پرتونگاری گاما یا پرتونگاری با انرژی‌های بالا:

- استفاده از چشمه‌های پرتو گاما همان‌طورکه مشخص شده یا منبع پرتو ایکس با ولتاژ بزرگ‌تر از ۱ MV
- پیش فیلتر مسی ۲ mm یا فولادی ۴ mm برای Se-75، Ir-192 و مسی ۴ mm یا فولادی ۸ mm برای Co-60 یا پرتوهای ایکس با ولتاژ بزرگ‌تر از ۱ MV

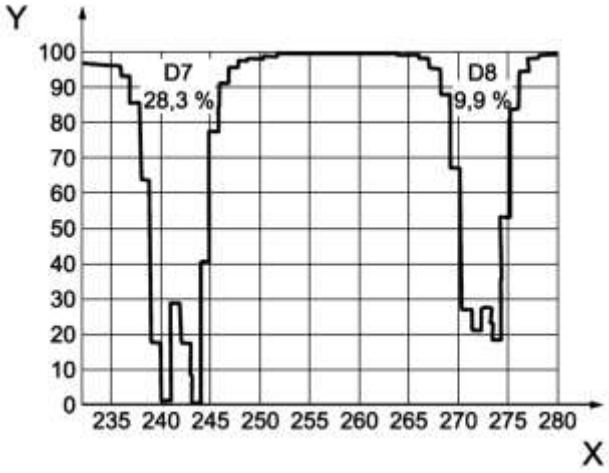
IQI دو سیمی باید به طور مستقیم بر روی سطح آشکارساز یا سطح کاست قرار بگیرد. فاصله منبع تا آشکارساز باید (۵ ± ۱۰۰) cm باشد. مقدار خاکستری متوسط در تصویر دیجیتال باید بیش از ٪ ۵۰ بیشینه مقدار خاکستری باشد. در پرتونگاشت مرجع، برای سیستم‌های استاندارد با اندازه پیکسل بزرگ‌تر یا مساوی ۸۰ µm، SNR باید بیش از ۱۰۰ باشد و برای سیستم‌های با قدرت تفکیک بالا و اندازه پیکسل کوچک‌تر از ۸۰ µm، SNR باید بیش از ۷۰ باشد. قدرت تفکیک مکانی پایه (به فرمول پ-۱ مراجعه شود) به‌صورتی که در پرتونگاشت مرجع برای سیستم دیجیتال مورد استفاده، اندازه‌گیری می‌شود و تنظیمات سیستم باید در گزارش آزمون ثبت شوند.

قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز در سیستم‌های CR باید در هر دو جهت عمود و موازی نسبت به جهت اسکن لیزر اندازه‌گیری شود. مقدار بزرگ‌تر SR_b باید به‌عنوان قدرت تفکیک مکانی پایه آشکارساز (SR_b یا $SR_b^{detector}$) به‌کار رود.

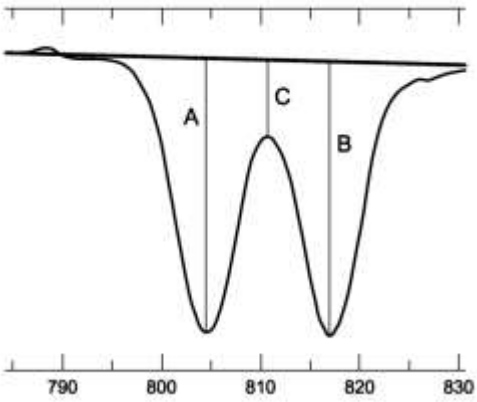
الف- تصویر IQI دو سیمی همان‌طور که در یک پرتونگاشت نشان داده می‌شود



ب- نمودار برشی IQI دو سیمی که بر روی حداقل ۲۱ خط متوسط‌گیری شده است



پ- نمودار برشی درشت‌نمایی‌شده جفت سیم D7 وD8



ت- طرح‌واره محاسبات مقدار dip (برحسب ٪)

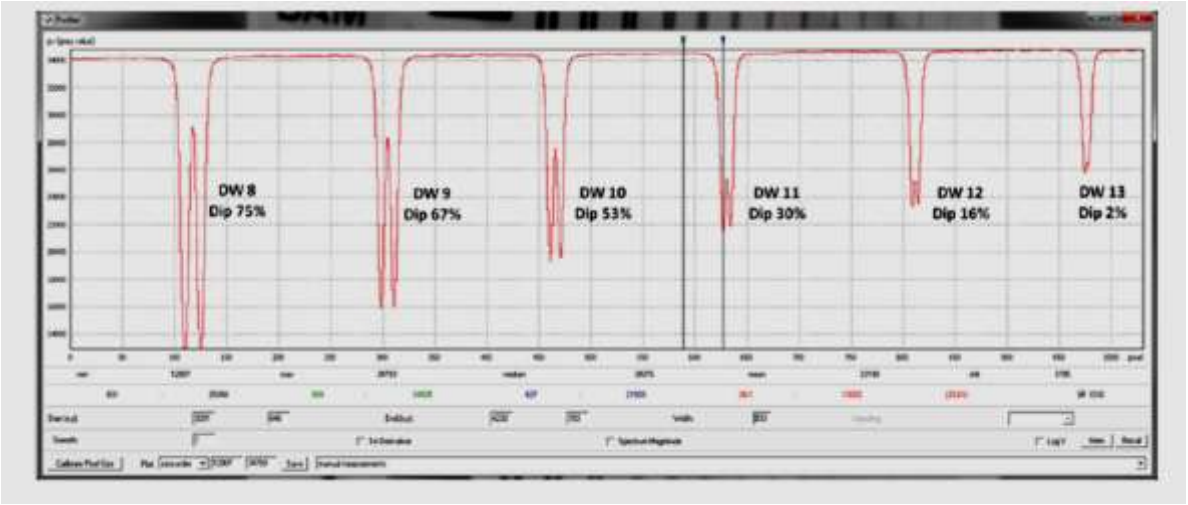
با : $\mathbf{dip = 100 \times (A + B - 2C)/(A + B)}$

راهنما :

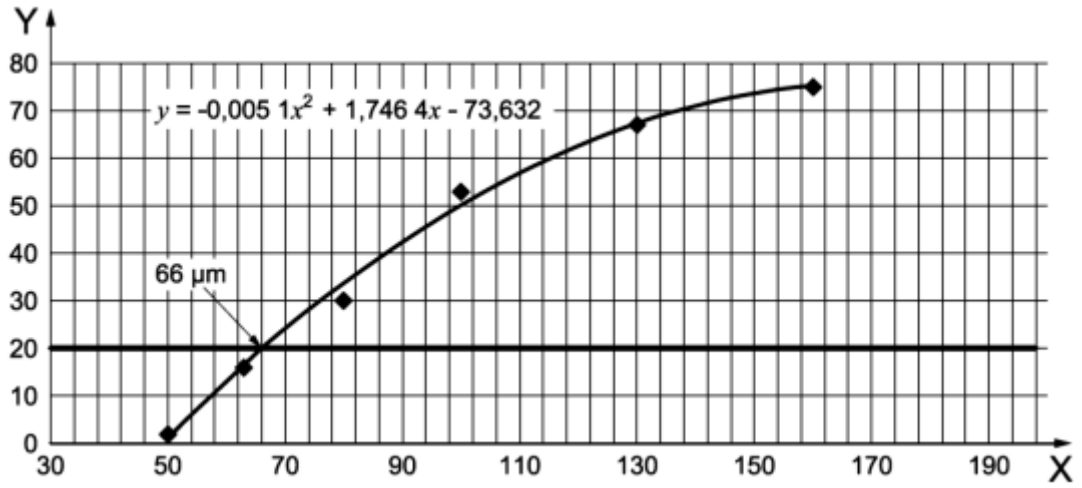
D8 ،D7	مقادیر IQI دو سیمی
X	فاصله
Y	دامنه

شکل پ-۱- مثالی از ارزیابی IQI دو سیمی که در آن جفت سیم D8، به‌عنوان اولین جفت سیم با عمق مدولاسیون کمتر از ٪ ۲۰ است

توصیه می‌شود برای بهبود درستی مقدار SR_b یا $SR_b^{detector}$، مقدار عمق مدولاسیون ٪ ۲۰، با استفاده از درون‌یابی عمق مدولاسیونِ جفت سیم‌های همسایه تعیین شود. شکل پ-۲ روش اجرایی متناظر برای یک سیستم CR با قدرت تفکیک بالا را نشان می‌دهد.



الف- نمودار برشی اندازه‌گیری‌شده در سیستمی با قدرت تفکیک بالا با عمق‌های مدولاسیون معین



ب- درون‌یابی عمق مدولاسیون برحسب قطر جفت سیم (متناظر با SR_b). مقدار ٪ ۲۰ از محل تقاطع با خط ٪ ۲۰ تعیین می‌شود که درنمودار فوق، iSR_b برابر با ۶۶ µm است

شکل پ-۲- مثالی از تعیین قدرت تفکیک مکانی پایه درون‌یابی شده ($iSR_b^{detector}$) با استفاده از درون‌یابی مدولاسیون اندازه‌گیری‌شده (عمق مدولاسیون) جفت سیم‌های همسایه

توصیه می‌شود برای محاسبه محل تقاطع با خط ٪ ۲۰، همان‌طور که در شکل پ-۲ نشان داده شده است، وابستگی مدولاسیون (عمق مدولاسیون) به قطر سیم با یک چند جمله‌ای درجه دو برازش شود. فقط مقادیر مدولاسیون‌های بزرگ‌تر از صفر باید برای درون‌یابی استفاده شود.

مقدار SR_b درون‌یابی‌شده (به شکل پ-۲ مراجعه شود) باید به‌عنوان «مقدار SR_b درون‌یابی‌شده» یا $iSR_b^{detector}$ ثبت شود. این مقدار می‌تواند با توافق بین طرفین قرارداد به‌جای مقدار SR_b درون‌یابی نشده، استفاده شود.

پیوست ت

(الزامی)

تعیین کمینه مقادیر خاکستری در روش CR

ت-۱ تعیین SNR_N از $SNR_{measured}$

روش اجرایی اندازه‌گیری نسبت سیگنال به نویز با جزئیات در زیربند 6.1 استاندارد ISO 16371-1: 2011 مشخص شده است. نسبت سیگنال به نویز اندازه‌گیری‌شده، $SNR_{measured}$، به‌طور نمونه در یک پنجره با ۵۵ × ۲۰ پیکسل (که ناحیه مورد نظر نامیده می‌شود) تعیین می‌شود، چنان‌که نسبت مقدار خاکستری متوسط بهنجارشده به انحراف معیار استاندارد آن در زیربند 6.1.1 استاندارد ISO 16371-1:2011 مشخص شده است. مقدار خاکستری بهنجارشده به‌طور مستقیم با دُز تابشی که در ناحیه مورد نظر (ROI) اندازه‌گیری شده، متناسب است و این مقدار در ناحیه‌ای که تحت پرتو قرار نگرفته برابر با صفر است. این حالت باید برای اندازه‌گیری‌های SNR_N انتخاب شود.

یادآوری- توصیه می‌شود عرض پنجره اندازه‌گیری SNR به ۲۰ پیکسل محدود شود. طول پنجره می‌تواند مساوی یا بیشتر از ۵۵ پیکسل باشد. طول بزرگتر، دقت اندازه گیری SNR را افزایش می‌دهد. این روش به‌ویژه اگر مقدار میانه خط SNR در ابزار نرم‌افزار مطابق با استاندارد ISO 16371-1 در نظر گرفته شده باشد، به‌کار می‌رود.

برای پرتودهی‌های مشابه، سیستم‌های دیجیتال با وضوح کم، SNR اندازه‌گیری‌شدهٔ بزرگتری نسبت به نوع با وضوح بالا دارند، اما کارایی آن‌ها برای تشخیص عیوب ریز نسبت به سیستم‌های با وضوح بالا کمتر است. بنابراین، SNR اندازه‌گیری‌شده با قدرت تفکیکِ مکانی پایه بهنجار می‌شود. سیستم‌های با قدرت‌تفکیکِ مکانی پایه بهنجارشدهٔ یکسان، برای جزییات ریز کارایی آشکارسازی[1] مشابهی دارند.

بهنجارسازی بر مبنای مقدار قدرت تفکیک مکانی پایه سیستم CR (SR_b) است، که به وسیله سازنده ارائه می‌شود یا توسط کاربر با استفاده از روش مشخص‌شده در پیوست پ تعیین می‌شود.

همه مقادیر SNR_N به‌صورت زیر بهنجار می‌شوند:

$$SNR_N = SNR_{measured} \frac{88{,}6\ \mu m}{SR_b} \qquad (ت-۱)$$

معمولاً، اگر قدرت تفکیک مکانی پایه در ابزارِ نرم‌افزار سازنده وارد شود و یک ROI برای اندازه‌گیری انتخاب گردد، مقدار SNR_N به وسیله نرم‌افزار ارائه می‌شود.

اگر هر کدام از پارامترهای اسکنر، مانند قدرت‌تفکیک پیکسلی، سرعت اسکن و/ یا نوع صفحه تصویرساز تغییر کند، لازم است تأیید کیفی جدیدی برای سیستم CR با اندازه‌گیری قدرت‌تفکیک مکانی پایه، SR_b، انجام شود.

1- Visualization performance

در جدول ت-۱ مقادیر SNR_N و تبدیل آن به مقادیر SNR بهنجار نشده برای سیستم‌های CR با SR_b متفاوت ارائه شده است. چنانچه نرم‌افزار سازنده مقادیر SNR_N را ارائه نکرده باشد، کاربر می‌تواند مقادیر SNR تبدیل‌شده را به جای مقادیر SNR_N از جدول ت-۱ تعیین و استفاده کند.

جدول ت-۱- مقادیر $SNR_{measured}$ مورد نیاز برای سیستم‌های CR انتخابی با SR_b متفاوت معادل با SNR_N

پارامتر سیستم	سیستم با وضوح تصویر بالا				سیستم استاندارد				
ارزیابی با شاخص کیفیت تصویر دو سیمی	۱۳+	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶
قدرت تفکیک مکانی پایه SR_b	۴۰ µm	۵۰ µm	۶۳ µm	۸۰ µm	۱۰۰ µm	۱۳۰ µm	۱۶۰ µm	۲۰۰ µm	۲۵۰ µm
SNR_N مورد نیاز (جداول ۳ و ۴)	$SNR_{measured}$ مورد نیاز								
۱۵۰	۶۵	۸۵	۱۱۰	۱۳۵	۱۷۰	۲۲۰	۲۷۰	۳۴۰	۴۲۵
۱۲۰	۵۵	۷۰	۸۵	۱۱۰	۱۳۵	۱۸۰	۲۲۰	۲۷۰	۳۴۰
۱۰۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۱۵	۱۵۰	۱۸۵	۲۲۵	۲۸۵
۷۰	۳۵	۴۰	۵۰	۶۵	۸۰	۱۰۵	۱۳۰	۱۶۰	۲۰۰

ت-۲ تعیین کمینه مقادیر خاکستری

هنگام انجام بازرسی CR از اجسام با ضخامت ناهمگن، ممکن است مشخص کردن کمینه سطوح خاکستری به‌جای کمینه مقادیر SNR_N ارجحیت داشته باشد، زیرا اندازه‌گیری SNR_N به ناحیه‌ای با توزیع سطوح خاکستری همگن در تصویر دیجیتال نیاز دارد. هم‌چنین این کار می‌تواند استفاده از نرم‌افزارهای پردازش تصویر متفاوت را ساده کند.

سطوح خاکستری خطی‌شده، شرط لازم برای اندازه‌گیری مقادیر SNR_N صحیح و مقادیر خاکستری معادل هستند. این مطلب به این معنی است که مقادیر خاکستری باید به‌طور مستقیم (بدون آفست) با پرتودهی در یک موقعیت مشخص از صفحه تصویرساز اسکن شده، متناسب باشد. این مورد معمولاً توسط نرم‌افزار کارخانه سازنده پشتیبانی می‌شود.

چنانچه هیچ پردازش تصویری انجام نشده باشد و سیستم CR مقادیر خاکستری خطی‌شده را ارائه دهد، وابستگی SNR_N تصویر به مقدار خاکستری متوسط را می‌توان با استفاده از فناوری CR به‌دست آورد. رابطه بین سطوح خاکستری و SNR_N می‌تواند فقط برای مجموعه مشخصی از نوع و پارامترهای اسکنر و صفحات تصویرساز با نوع و نشان تجاری یکسان استفاده شود. با هرگونه تغییر در تنظیمات اسکنر از جمله اندازه

پیکسل، سرعت اسکن، ولتاژ یا بهره تقویت‌کننده نوری[1]، لازم است کمینه مقدار خاکستری معادل با SNR_N مورد نیاز مجدداً تعیین شود.

یادآوری – در پرتونگاری با CR، برای تیوب پرتو ایکس در گستره ولتاژ بالای ۵۰ kV تا چند مگا ولت و همچنین چشمه‌های گاما، همبستگی بین SNR_N و مقدار خاکستری متوسط در بسیاری موارد مستقل از تنظیمات کیلو ولت [انرژی] و میلی آمپر [شدت] است. این مورد برای آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) به‌کار نمی‌رود. تأیید کیفی کمینه مقادیر خاکستری که معادل با کمینه مقادیر SNR_N است، را می‌توان برای هر شرایط پرتودهی مطابق پیوست پ انجام داد.

به‌منظور تعیین کمینه مقدار خاکستری که معادل با کمینه مقدار SNR_N در جدول ۳ یا ۴ است، روش اجرایی مشخص شده **الف** تا **ت** را می‌توان به کار برد.

الف- همان‌طور که در شکل ت-۱ مشخص شده است، یک گُوه پله‌ای[2] را پرتودهی کنید. استفاده از گُوِه پله‌ای با سطح پله‌های بزرگ برای جلوگیری از اثرات سایه پیشنهاد می‌شود. بهتر است گُوِه پله‌ای کلِ تصویرِ دیجیتالِ آشکارساز را بپوشاند.

ب- مقدار خاکستری متوسط و SNR_N را آن‌طور که در شکل ت-۲ نشان داده شده است، در هر پله اندازه‌گیری کنید.

پ- SNR_N اندازه‌گیری شده (یا SNR) را به‌صورت تابعی از مقدار خاکستری متوسط در یک نمودار رسم کنید (به شکل ت-۳ مراجعه کنید).

ت- کمینه مقدار خاکستری معادل را به‌جای کمینه SNR_N که برای به‌دست آوردن مشخصات لازم است مطابق با جدول ۳ یا جدول ۴ تعیین کنید. در جدول ت-۲ یک مثال نشان داده شده است.

مقدار خاکستری به‌دست آمده را می‌توان برای تعیین کمینه مقدار خاکستری CR، GV_{min}، معادل با کمینه چگالی اپتیکی فیلم در پرتونگاری با فیلم (به شکل ت-۳ مراجعه شود) به‌کار برد.

به عنوان جایگزینی برای روش اجرایی بالا، می‌توان IP را تحت پرتودهی‌های متوالی متفاوت (میلی آمپر دقیقه‌های مختلف برای منبع‌های پرتو ایکس یا زمان‌های پرتودهی مختلف برای چشمه‌های پرتو گاما) قرار داد. توصیه می‌شود پرتودهی‌ها تحت شرایطی مشابه با پیوست **پ** انجام گیرد.

در صورت استفاده از صفحات اضافی فولادی یا آلومینیمی در جلوی کاست‌های IP یا غلاف IP برای ایجاد پرتونگاشت‌ها، باید آن‌ها را نیز در این روش‌های اجرایی به‌کار برد. کمینه مقادیر خاکستری GV_{min} باید از پرتونگاشت‌های دیجیتال، معادل با SNR_N یا SNR به‌دست آمده و مورد نیاز (به شکل ت-۳ مراجعه شود) آن‌گونه که در جدول ت-۱ مشخص شده است، تعیین شود.

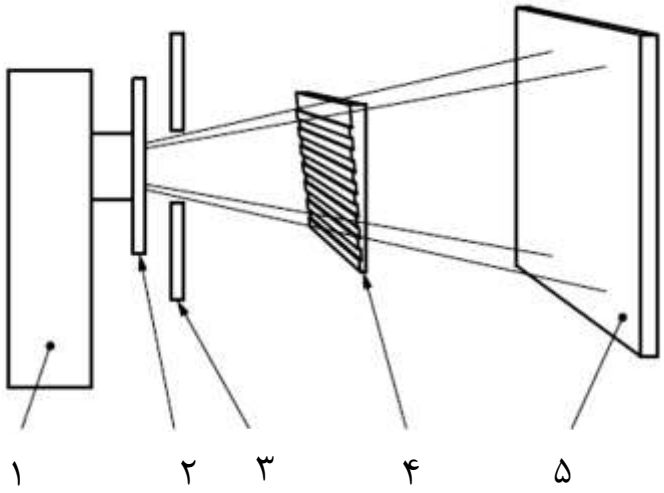
چنانچه کمینه مقدار خاکستری مشخص‌شده، GV_{min}، در همه نقاط ناحیه مورد نظر در پرتونگاشت ایجادشده به‌دست آید، نیازی به اندازه‌گیری مقادیر SNR و SNR_N در پرتونگاشت ایجادشده نیست.

1- Photomultiplier
2- Step wedge

پیشنهاد می‌شود برای درستی بیشتر، نموداری مانند شکل ت-۳ رسم شود.

چنانچه کمینه مقادیر خاکستری، GV_{min}، برای به‌دست آوردن مشخصات مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید تنظیمات دقیق اسکنر CR و نوع IP متناظر آن مستند شود.

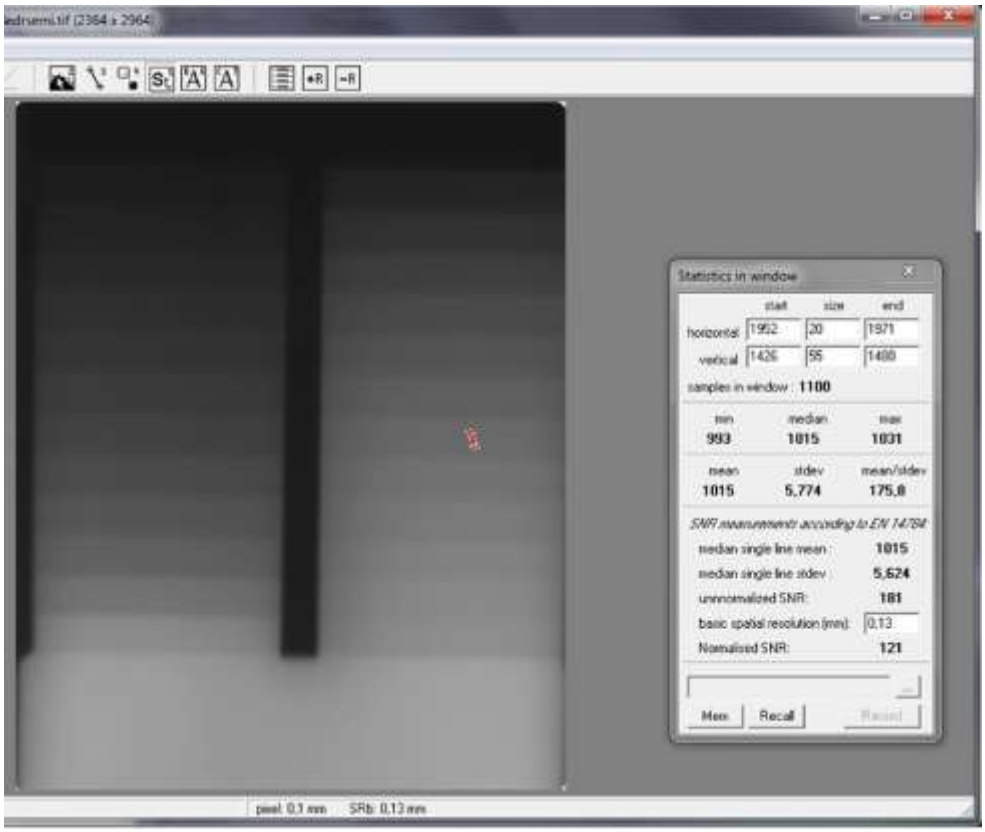
توصیه می‌شود مشخصات نهایی کمینه مقادیر خاکستری در یک جدول مشابه جدول ت-۲ داده شود.



راهنما :

۱ تیوب پرتو ایکس
۲ فیلتر مسی
۳ باریکه‌ساز
۴ گُوه پله‌ای مسی
۵ IP در داخل کاست

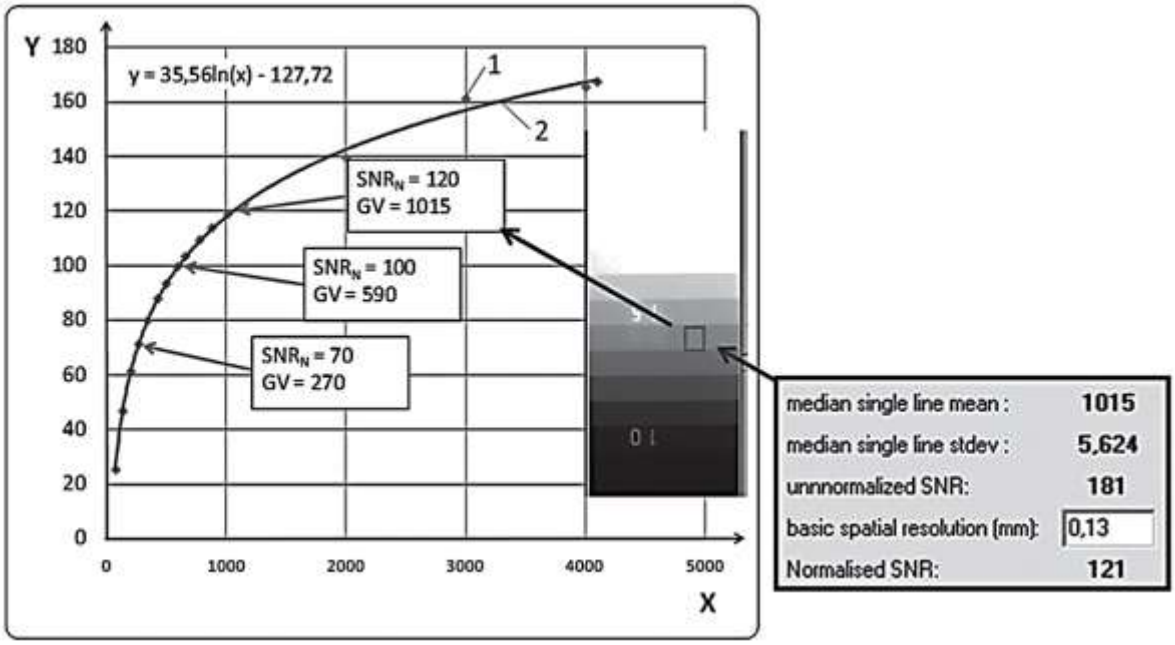
شکل ت-۱- چیدمانِ تعیین مقادیر خاکستری معادل CR برای کمینه SNR_N مورد نیاز جداول ۳ یا ۴



شکل ت-۲- نتایج اندازه‌گیری مقدار خاکستری متوسط و SNR_N یک پله در تصویر گُوه پله‌ای

جدول ت-۲- مثالی برای مشخصات کمینه مقادیر خاکستری (همچنین به شکل ت-۳ مراجعه شود)

SNR_N مورد نیاز	کمینه سطوح خاکستری متناظر برای بهره برابر با ۱	کمینه سطوح خاکستری متناظر برای بهره برابر با ۲
۱۵۰	۱۲۵۰	۲۵۰۰
۱۲۰	۱۰۱۵	۲۰۳۰
۱۰۰	۵۹۰	۱۱۸۰
۷۰	۲۷۰	۵۴۰



راهنما :

1 مقدار اندازه گیری‌شده گُوه پله‌ای

2 منحنی برازش برای مقادیر اندازه‌گیری‌شده گُوه پله‌ای

X مقدار خاکستری GV

Y SNR_N بهنجارشده

شکل ت-۳ نمودار گرافیکی SNR_N برحسب متوسط مقادیر خاکستری که مطابق با شکل ت-۲ اندازه‌گیری شده‌اند

یادآوری- مقادیر خاکستری می‌تواند به‌عنوان مقدار معادل برای مقادیر مختلفِ SNR_N حاصل از اسکنر CR، پارامترهای اسکن آن (مانند بهره برابر با ۱) و نوع IP مشخص شوند.

ممکن است برخی سیستم‌های اسکنر در مقادیر خاکستری بسیار بالا وتنظیمات بهره پایین، مقادیر SNR_N تنزل یافته‌ای را ارائه دهند. اگر چنین موردی مشاهده شد، بیشینه سطوح خاکستری که نباید از آن فراتر رفت، باید مشخص شود.

پیوست ث

(آگاهی دهنده)

مقادیر خاکستری، نکات کلی

ث-۱ مقدمه

در پرتونگاری محاسباتی، ممکن است از مقادیر خاکستری برای ایجاد درک بصری (قابلیت مشاهده) به‌صورت تابعی از تباین و نویز تصویر (SNR یا مقدار خاکستری به‌جای چگالی اپتیکی و رده سیستم فیلم در پرتونگاری با فیلم به‌کار می‌رود) استفاده شود؛ بنابراین، مقادیر خاکستری خطی اصلی برای اندازه‌گیری کمیت پرتو نفوذی از ناحیه‌ای در یک جسم استفاده می‌شوند. با این رابطه، برای یک سیستم CR دوازده بیتی، مقدار خاکستری «صفر» با دز تابش «صفر» (سفید در حالت نمایش نگاتیو همانند فیلم پرتونگاری) متناظر است، در حالی‌که مقدار خاکستری «۴۰۹۵» با یک آشکارساز اشباع‌شده (سیاه در حالت نمایش نگاتیو همانند فیلم پرتونگاری) متناظر است.

اندازه‌گیری‌های مقدار خاکستری و SNR_N باید با استفاده از ابزارهای نرم‌افزاری مناسب انجام شود که میانگین مقدار خاکستری (مقدار متوسط) و/ یا SNR_N که نسبتِ میانگین مقدار خاکستری به انحراف معیارِ مقادیر خاکستری است، را درون یک ROI تعیین می‌کند. در اندازه‌گیری‌های کمّی، کمینه مساحت تصویرِ ROI باید شامل ۱۱۰۰ پیکسل (یعنی ۵۵ × ۲۰ پیکسل، به استاندارد ISO 16371-1 مراجعه شود) باشد.

یادآوری- مقادیر خاکستری اندازه‌گیری‌شدهٔ صفحات تصویرساز با دز پرتوگیری در یک کیفیت (انرژی) پرتو معین کاملا متناسب است. ضریب تناسب بین دز و مقدار خاکستری را تنظیمات بهره داخلی (الکترونیک) اسکنر و ویژگی‌های تقویت‌کننده نوری به‌همراه خصوصیات مبدل آنالوگ-به-دیجیتال (مانند تعداد بیت‌ها) تعیین می‌کنند. هرگونه تغییری در این پارامترها به تایید کیفی مجدد کمینه مقادیر خاکستری مطابق با پیوست ت نیاز دارد. بعضی سیستم‌ها مقادیر خاکستری را به صورت مقادیر مشخصه یا بهنجارشده به صورت لگاریتمی یا ریشه دوم با مقدار صفر نامشخص ارائه می‌دهند. این مقادیر باید خطی شده و به مقدار صفر واقعی (متناظر با دز پرتوگیری صفر) مرتبط شوند، در غیر این صورت، مقادیر خاکستری نباید به عنوان معادل چگالی اپتیکی فیلم‌ها تلقی شوند و نمی‌توانند برای اندازه‌گیری‌های SNR یا CNR مورد استفاده قرار گیرند. مقادیرخاکستری و مقادیر SNR_N باید قبل از اعمال هرگونه فیلتر دیجیتالی بر پرتونگاشتِ دیجیتال تعیین شوند.

ث-۲ کنترل نویز

تصاویر پرتونگاری محاسباتی هنگامی که در شرایط غیربهینه تحت پرتو قرار گیرند، «نویزی[1]» می‌شوند. نویز بیش از حد تصویر CR (یعنی SNR_N و CNR پایین) می‌تواند مانع بزرگی برای دست‌یابی به الزامات کیفیت تصویر باشد.

شرایط غیربهینه‌ای که باید اجتناب شوند، شامل موارد **الف** تا **ج** است.

1- Noisy

الف- دُزهای پرتودهی پایین از منابع پرتو ایکس یا پرتوگاما، نسبت‌های تباین به نویز (CNRs) پایینی را فراهم می‌آورند. CNR به‌طور غیرخطی با افزایش پرتودهی (میلی‌آمپر ثانیه یا گیگابکرل دقیقه) تا حدِ بیشینهٔ مقدارِ قابل دست‌یابی ناشی از نویز ساختاریِ (نویز الگوی ثابت) آشکارسازهای واقعی افزایش می‌یابد.

ب- صفحات آشکارساز (IPs) به‌سبب ساختار داخلی کریستال‌های حساس به پرتو و ناصافی سطح، نویز تصویر ایجاد می‌کنند. توصیه می‌شود برای پرتونگاری با کیفیت بالا، صفحات تصویرساز (IPs) با نویز ساختاری پایین (نوع دانه‌ریز) انتخاب شوند. بهتر است سازنده اطلاعاتِ بیشینه SNR_N قابل دست‌یابیِ سیستم‌های صفحه تصویرساز-اسکنر را ارائه دهد.

پ- آرایه‌های آشکارساز دیجیتال (DDAs) به‌سبب مشخصات مختلف المان‌های آشکارساز، نویز ساختاری ایجاد می‌کنند. این آرایه‌های آشکارساز دیجیتال را می‌توان با یک روش اجرایی کالیبراسیون، معادل‌سازی کرد. راهبردهای جدیدکالیبراسیون، امکان به‌دست آوردن SNR_N بسیار بالا را فراهم می‌کنند. اثرات گرمایی و دیگر اثرات و همچنین زمان پرتودهی محدود تصاویر کالیبرلسیون، کارایی کالیبراسیون را محدود می‌کند و باقی‌مانده کوچکی از نویز الگوی ثابت به‌جای می‌ماند.

ت- بعضی مواد مانند آلیاژهای پایه نیکل با درصد بالا یا سطوح ناصاف، نویز ایجاد می‌کند. این نویز ممکن است عیوب ریز را از دید پنهان کند و حتی خوانش IQI را کاهش دهد.

ث- پس‌پراکندگی به‌طور چشمگیری در سطح مقدار خاکستریِ تصاویر و نویز سهیم است. از آن‌جایی که به‌طور معمول پس‌پراکندگی در تباین تصویر پرتونگاری (CNR) تاثیری ندارد، قابلیت مشاهده شاخص‌های کیفیت تصویر (IQIs) کاهش می‌یابد.

ج- انرژی تابشی بیش از حد بالا در سطح نویز ثابت (برای سطح مقدار خاکستری یکسان)، منجر به تباین پایینی می‌شود. این موضوع منجر به کاهش CNR و در نتیجه قابلیت مشاهده IQI می‌شود. این امر ممکن است با افزایش سطح خاکستری مورد نیاز یا کاهش ولتاژ پرتو ایکس در مقایسه با پرتونگاری با فیلم (CP I) جبران شود.

کتاب‌نامه

[1] ISO 5579, Non-destructive testing – Radiographic examination of metallic materials using film and X or gamma-rays – Basic rules

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸۸۳۲: سال ۱۳۹۶، آزمون‌های غیرمخرب- آزمون پرتونگاری مواد فلزی با استفاده از فیلم و پرتوهای ایکس یا گاما- مقررات پایه، با استفاده از استاندارد ISO 5579: 2013 تدوین شده است.

[2] ISO 5580, Non-destructive testing – Industrial radiographic illuminators – Minimum requirements

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۰۴۸: سال ۱۳۸۷، آزمون‌های غیرمخرب- دستگاه‌های روشنایی پرتونگاشت صنعتی– حداقل الزامات، با استفاده از استاندارد ISO 5580:1985، تدوین شده است.

[3] ISO 19232-3, Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 3: Image quality classes for ferrous metals

یادآوری- استاندارد ملی ایران ۳-۱۱۴۵۹: سال ۱۳۹۲، آزمایش غیرمخرب- کیفیت تصویر پرتونگاشت‌ها- قسمت ۳: طبقه‌های کیفیت تصویر، با استفاده از استاندارد ISO 19232-3:2013 تدوین شده است.

[4] EN 444, Non-destructive testing – General principle for radiographic examiniation of metallic materials by x- and gamma-rays

[5] EN 12681, Founding – Radiographic examiniation

[6] EN 14784-2, Non-destructive testing – Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates – Part 2: General principles for testing of metallic materials using x-rays and gamma-rays

[7] EN 25580, Non-destructive testing – Industrial radiographic illuminators – Minimum requirements (ISO 5580: 1985)

[8] ASTM E1000, Standard Guide for Radioscopy

[9] ASTM E2445, Standard Practice for Qualification and Long-Term Stability of Computed Radiology Systems

[10] ASTM E2446, Standard Practice for Classification of Computed Radiology Systems

[11] ASTM E2597, Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays

[12] ASTM E2698, Standard Practice for Radiological Examination Using Digital Detector Arrays

[13] ASTM E2736, Standard Practice for Digital Detector Array Radiology

[14] ASTM E2737, Standard Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Long-Term Stability