

# مقایسه دو روش پرتونگاری دیجیتال در صنعت لوله سازی، آشکارساز صفحه تخت و آشکارساز تقویت کننده تصویر

قاسم بابکی<sup>۱\*</sup>، جواد عبدالهی<sup>۲</sup>، رضا شاملو<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی، مهندسی متالورژی، شرکت نورد و لوله صفا، ساوه

۲- کارشناسی ارشد، فیزیک، شرکت نورد لوله صفا، ساوه

۳- کارشناسی ارشد، مهندسی متالورژی، شرکت نورد و لوله صفا، ساوه

\*ndt@safarolling.com

## چکیده

در این پژوهش یک آشکار ساز صفحه تخت (آرایه فتودیود آمورف سیلیکون با لایه سینتلاتور) با نرم افزار IMAGE 3500 برای استفاده در تصویر برداری ناحیه جوش لوله های فولادی با یک آشکار ساز تقویت کننده تصویر با نرم افزار PXV 2200 مورد مقایسه قرار گرفت. در یک شرایط یکسان، سطح حساسیت، تفکیک پذیری و وضوح آشکارساز صفحه تخت در مقایسه با آشکار ساز تقویت کننده تصویر بهتر می باشد و نرم افزار های مورد استفاده در آشکار ساز صفحه تخت، امکانات پردازشی بیشتری نیز فراهم می آورد. با وجود برتری کیفی آشکار ساز صفحه تخت در مقایسه با آشکار ساز تقویت کننده تصویر، بدلیل هزینه بالا، انحصاری بودن تکنولوژی ساخت و به تبع آن محدودیت تامین تجهیزات به دلیل شرایط خاص ناشی از تحریم ها، استفاده از آن در صنعت لوله سازی، با حجم بالای تولید، مقرون به صرفه نمی باشد.

**واژگان کلیدی:** رادیوگرافی دیجیتال، آشکار ساز تخت، دستگاه تقویت تصویر، لوله فولادی

## ۱- مقدمه

در طول سه دهه گذشته رادیوگرافی دیجیتال جایگزین پرتونگاری سنتی شده است. در صنعت لوله سازی پرتونگاری بدون فیلم، ابتدا توسط فلوروسکپی با استفاده از تقویت کننده تصویر<sup>۱</sup> (رادیوسکپی) آغاز شد و در سالهای اخیر با استفاده از سیستم های تصویر برداری دیجیتال با آشکار ساز صفحه تخت<sup>۲</sup> در حال توسعه می باشد. در انتخاب یک دستگاه رادیوگرافی صنعتی سه پارامتر اصلی؛ کیفیت تصویر، زمان تهیه تصویر و قیمت تمام شده از بیشترین اهمیت برخوردارند. این مقاله با ذکر ویژگیهای هر دو روش پرتونگاری با آشکار ساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر، به ارزیابی عملکرد کمی و کیفی آنها در شرایط عملی یک کارخانه لوله سازی می پردازد.

## ۲- آشکار سازها

۱-۲ رادیوسکپی با استفاده از تقویت کننده تصویر در این نوع از آشکار ساز، اشعه ایکس پس از برخورد به صفحه فلورسنت به نور مرئی تبدیل شده و سپس نور تولیدی با گذر از صفحه فوتوکاتد به الکترون تبدیل می

شود. الکترون در محیط خلاء شتاب داده شده و با استفاده از لنزهای الکترواستاتیک بر روی یک صفحه فسفری کوچکتر متمرکز و به نور مرئی تبدیل شده و تصویری با کیفیت تولید می کند (شکل ۱). مقدار روشنایی صفحه فسفری دوم تا حدود صد برابر بیشتر از صفحه فلورسنت اولی است. بخشی از آن به دلیل سایز کوچکتر و بخش دیگر آن مربوط به انرژی افزایش یافته از الکترون هاست که تحت ولتاژ شتاب دار شده اند. در نهایت این فرآیند باعث افزایش روشنایی و حساسیت تصویر می گردد. با قراردادن یک دوربین تصویر حاصل در مونیاتور قابل مشاهده می باشد. تصویر ویدیویی حاصل با استفاده از کارت Image Grabber توسط کامپیوتر دریافت و به تصویر دیجیتال تبدیل می گردد و با استفاده از نرم افزار PXV 200 مورد پردازش قرار می گیرد. [1]

۲- آشکار ساز صفحه تخت غیرمستقیم

آشکار ساز صفحه تخت غیرمستقیم از میلیون ها پیکسل سیلیکونی (که هر پیکسل متشکل از یک فتودیود به همراه

<sup>2</sup> Flat Panel Detector

<sup>1</sup> Image Intensifier

در تصویر حاصل از آشکار ساز صفحه تخت این فواصل در گام ۱۲ نیز تمیز داده می شود که معادل رزولوشنی برابر  $31.9 \text{ LP/cm}$  است. شکل (۵) [3], [4]

۳-۳ حساسیت کنتراست

حساسیت کنتراست مطابق با ASTM E1647 با استفاده از یک نمونه با ضخامت  $14.3 \text{ mm}$  در شرایط مشابهی به لحاظ هندسی، برای هر دو آشکار ساز بررسی گردید. همانگونه که در شکل (۶) مشخص است در تصویر حاصل از آشکار ساز تقویت کننده تصویر، حفره 1% واضح دیده نمی شود در حالیکه در تصویر حاصل از آشکار ساز صفحه تخت، با وضوح کامل دیده می شود. مطابق این بررسی برای این نمونه، حساسیت کنتراست آشکار ساز تقویت کننده تصویر 2% و برای آشکار ساز صفحه تخت 1% می باشد.

۳-۴ قابلیت پردازش

یکی از مهمترین قابلیت های پردازش تصویر در رادیوگرافی دیجیتال، یکپارچه سازی می باشد. در آشکار ساز تقویت کننده تصویر، تاثیر افزایش تعداد فریم های انتخابی برای یکپارچه سازی در مقایسه با آشکار ساز صفحه تخت بسیار کم است. شکل های (۷) و (۸) دو تصویر به ترتیب مربوط به آشکار ساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر با یکپارچه سازی ۵۰ و ۱۰۰ را نشان می دهد. افزایش تعداد فریم ها برای تصاویر حاصل از آشکار ساز تقویت کننده تصویر برای مقادیر بیشتر از ۵۰ محسوس نیست در حالیکه در آشکار ساز صفحه تخت، بهبود کیفیت تصویر با افزایش تعداد فریم ها کاملاً ملموس می باشد.

۳-۵ سرعت تست

با توجه به قابلیت آشکار ساز در تولید و ارسال تصویر در هر ثانیه، سرعت تولید تصویر متفاوت می باشد. برای آشکار ساز تقویت کننده تصویر، نرخ تولید تصویر بیشتر از ۲۰ فریم در ثانیه بوده اما برای آشکار ساز صفحه تخت بسته به اندازه پیکسل و یا مقدار رزولوشن انتخابی می تواند متغیر باشد. در آشکار ساز صفحه تخت مورد استفاده، این کمیت کمتر از ۱۰ فریم در ثانیه می باشد. این به این معناست که سرعت تولید تصویر برای آشکار ساز تقویت

سوئیچ TFT (می باشد) ساخته شده که به صورت آرایه ای بر روی یک بستر شیشه ای نشانده شده اند. یک صفحه سینتلاتور ۲، یک لایه باز تابنده و یک پوشش محافظ گرافیتی بر روی لایه اصلی آرایه ها قرار دارد. شکل (۲). با تابش اشعه ایکس به صفحه سینتلاتور، فوتونهای اشعه ایکس به نور تبدیل شده و در اثر تابش نور به لایه فتودیویدهای سیلیکونی (که هر یک در واقع یکی از پیکسل های تصویر می باشند) خازن هر فتودیوید تا یک مقدار مشخص ولتاژ (که مقدار بار متناسب با مقدار دز تابش دریافتی است) باردار می شود. با قرائت بار خازن توسط TFT هر پیکسل، سیگنالهای آنالوگ تولید شده در آشکار ساز تقویت شده و به سیگنال دیجیتال تبدیل می شوند. تصاویر تولید شده به کامپیوتر ارسال و توسط نرم افزار YXLON Image 3500 پردازش می گردند. [2].

### ۳- روش آزمایش

در این پژوهش خصوصیات کاربردی دو آشکار ساز تقویت کننده تصویر و صفحه تخت مورد مقایسه قرار گرفته است. مشخصات دو سیستم رادیوگرافی؛ رادیوسکوپی و دیجیتال در جدول ۱ و شکل ۳ نشان داده شده است.

۳-۱ حساسیت

با استفاده از شاخص کیفیت تصویر IQI ۳ و نازک ترین سیم قابل مشاهده، حساسیت اندازه گیری می شود. بر این اساس حساسیت برای تصویر حاصل از آشکار ساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر، مربوط به یک نمونه مشخص، با در نظر گرفتن فواصل هندسی یکسان، اندازه گیری گردید شکل (۴). سطح حساسیت برای آشکار ساز صفحه تخت 1.4% و برای تقویت کننده تصویر 2% اندازه گیری و محاسبه شد. این نتایج نشان می دهد که حساسیت تصویر حاصل از آشکار ساز صفحه تخت بیشتر از تقویت کننده تصویر است.

۳-۲ رزولوشن

برای مقایسه رزولوشن از شاخص YXLON Line Pair استفاده گردید. در تصویر آشکار ساز تقویت کننده تصویر، تنها تا گام ۷ فواصل بین سیم ها قابل تشخیص بوده که معادل رزولوشنی برابر  $18.8 \text{ LP/cm}$  می باشد در حالیکه

۳ Image Quality Indicator

۴ Integration

1 Thin-Film Transistor

2 Scintillator

آشکار ساز، قابلیت تولید روشنائی نقاط مختلف در اثر یک مقدار ثابت از تابش همسان نمی‌باشد که این امر باعث می‌شود نواحی روشن و تاریک به صورت یک شبح<sup>۱</sup> در زمینه تصویر اصلی شکل بگیرد که نمونه‌ای از آن در شکل (۹) مشاهده می‌گردد. اما در آشکار ساز صفحه تخت تغییرات یا نوسان حاصل از یک مقدار دز تابش یکسان با استفاده از کالیبراسیون قابل اصلاح می‌باشد. علاوه بر این، در آشکار ساز صفحه تخت یک یا چندین پیکسل از صفحه آشکار ساز ممکن است به طور کلی سوخته و هیچ تصویری ایجاد نکند که در این حالت نرم‌افزار پردازش تصویر، نتیجه این پیکسل‌های خاموش را در تصویر نهایی حذف کرده و توسط پیکسل‌های مجاور جبران می‌نماید.

### ۳-۹ امکان ارتقاء

در حال حاضر با توجه به کاربرد گسترده روش DR (با استفاده از صفحه تخت) و روش CR در صنعت پزشکی شرکت‌های بزرگ سازنده سیستم‌های رادیوگرافی مشابه با فیلم‌های رادیوگرافی در حال کنار گذاشتن آشکار ساز تقویت کننده تصویر و جایگزینی آن با نسل جدید آشکار سازها هستند به طوریکه گزارشی از ارتقاء و بروز رسانی و ارائه خدمات برای این نوع از آشکار سازها دیده نمی‌شود. در حالیکه سازندگان آشکار سازهای صفحه تخت دائماً در حال ارائه نمونه‌های جدید با قابلیت‌های بیشتر هستند.

### ۳-۱۰ عمر مفید

به طور کلی عمر مفید آشکار سازها به نحوه استفاده، شرایط محیط بکارگیری، مقدار تابش بستگی دارد. از این رو نمی‌توان مدت زمان مشخصی برای عمر کارکرد آنها تعیین نمود. با توجه به اینکه تعداد زیادی المان حساس الکترونیکی در آشکار ساز صفحه تخت بکار رفته و بنا به تجربه‌ای که از کار با دو آشکار ساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر در کارخانه لوله سازی صفا وجود دارد، حساسیت آشکار ساز صفحه تخت به عوامل اثرگذار و مخرب از قبیل نوسانات شدید تابشی و یا دمایی بیشتر است.

### ۳-۱۱ هزینه

هزینه خرید تجهیزات آشکار ساز صفحه تخت در مقایسه با آشکار ساز تقویت کننده تصویر بیشتر از دو برابر است. در

کننده تصویر، حدود دو برابر بیشتر است. این ویژگی آشکار ساز امکان تست در حال حرکت را فراهم می‌کند. عامل مهم دیگر در سرعت تست، طول قابل پوشش در یک تصویر متناسب با ابعاد آشکار ساز، فواصل و شرایط هندسی لوله می‌باشد. از آنجاییکه در لوله‌سازی، پرتونگاری به طول 20cm از درز جوش هر سر لوله الزامی است تعداد تصویر مورد نیاز برای پوشش این ناحیه نیز اهمیت می‌یابد. برای پوشش این ناحیه در آشکار ساز تقویت کننده تصویر، ۲ و برای آشکار ساز صفحه تخت ۳ تصویر نیاز می‌باشد.

### ۳-۶ بزرگنمایی

مقدار بزرگنمایی تصویر در رادیوگرافی به فواصل هندسی مرتبط است به این معنی که هر چه نسبت فاصله تیوب اشعه ایکس تا آشکار ساز به فاصله تیوب تا قطعه افزایش یابد، مقدار بزرگنمایی تصویر نیز افزایش می‌یابد. در آشکار ساز تقویت کننده تصویر، همانند فیلم، در صورت چسبیدن آشکار ساز به قطعه، بزرگنمایی تقریباً حذف می‌شود و ابعاد به صورت واقعی نمایش داده می‌شوند اما در آشکار ساز صفحه تخت در همین حالت یعنی چسبیدن قطعه به صفحه آشکار ساز، مقدار بزرگنمایی حدود ۲ برابر می‌باشد.

### ۳-۷ ابعاد و اندازه

با توجه به ابعاد و وزن آشکار ساز صفحه تخت که در مقایسه با آشکار ساز تقویت کننده تصویر، کوچکتر و سبکتر می‌باشد، امکان قرارگیری در فضای محدودتر و یا قابلیت متحرک بودن را فراهم می‌کند. برای تست قطعه‌ای همانند درز جوش لوله، لزوماً آشکار ساز تقویت کننده تصویر بایستی در بیرون از لوله و منبع تابش در داخل لوله قرار گیرد. اما برای آشکار ساز صفحه تخت می‌توان چیدمان را به گونه‌ای انجام داد تا آشکار ساز در داخل لوله قرار گیرد. این امر در مواردی که فضای لازم برای ساخت اتاق تابش با ابعاد بزرگ وجود ندارد و نیاز به متحرک بودن مجموعه تصویربرداری باشد، مفید است.

### ۳-۸ امکان حذف پیکسل‌های سوخته

در آشکار ساز تقویت کننده تصویر، کیفیت تصویر ارائه شده پس از گذشت زمان به تدریج کاهش می‌یابد. پس از مدتی با توجه به مقدار تابش برخوردی به نقاط مختلف صفحه

<sup>۱</sup> Ghost Image

## ۴- نتایج و بحث

مقایسه کلی بکارگیری آشکار ساز صفحه تخت و آشکار ساز تقویت تصویر از دیدگاه کاربردی در کارخانه لوله سازی

این تجهیزات، خود آشکار ساز به عنوان اصلی ترین قسمت همیشه در معرض استهلاک قرار دارد و لازم است بعد از چند سال، پس از پایان عمر مفید تعویض گردد. هزینه تعویض آشکار ساز تقویت کننده تصویر به مراتب کمتر از آشکار ساز صفحه تخت می باشد.

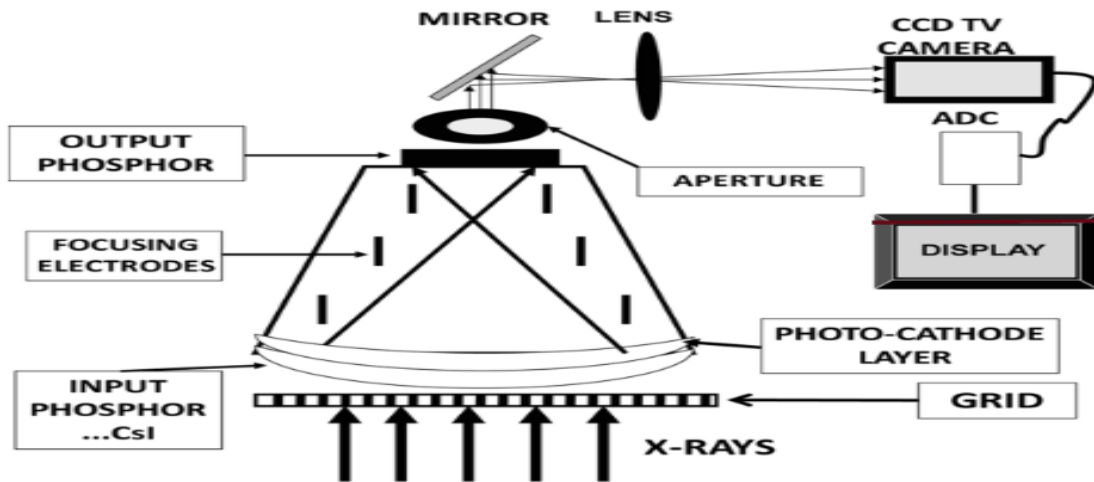
صفحه تخت	تقویت کننده تصویر	ملاحظات
بیشتر	کمتر	حساسیت
بیشتر	کمتر	رزولوشن
بیشتر	کمتر	وضوح
سبکتر	سنگین تر	وزن
متنوع	عموماً ۹ اینچ	اندازه صفحه
نامشخص	حدود ۵ تا ۶ سال	عمر مفید
ندارد	ندارد	تعمیر و نگهداری
نیاز دارد	نیاز ندارد	کالیبراسیون
بیشتر	کمتر	زمان انجام تست
ندارد	دارد	امکان تست دینامیکی
بسیار حساس	انعطاف پذیر هستند	تغییرات دمایی
ندارد	دارد	اثر blooming

## ۵- مراجع

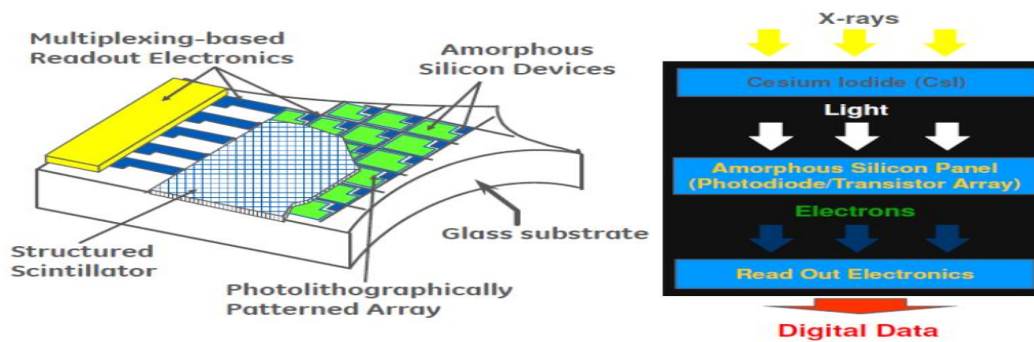
- [1] Edward Lee Nickoloff, 2011, " AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents: Physics of Flat-Panel Fluoroscopy Systems, Survey of Modern Fluoroscopy Imaging: Flat-Panel Detectors versus Image Intensifiers and More ", radiographics.rsna.org, Volume 31(2)
- [2] L.Lanca and A. Silva, 2013, " Digital Imaging Systems for Plain Radiography ", New York, Springer Science+Business Media, P.11-12
- [3] YXLON International, 2004, " User Guide YXLON Image2500/3500 system Version 2.16.x, Translation of the original Reference Manual, Document number: 20049580 ", www.yxlon.de
- [4] YXLON International, 2000, "Operation Manual Image Intensifier Detector - 9499.210.32110.AF02 ", www.yxlon.de

## ۴- نتیجه گیری

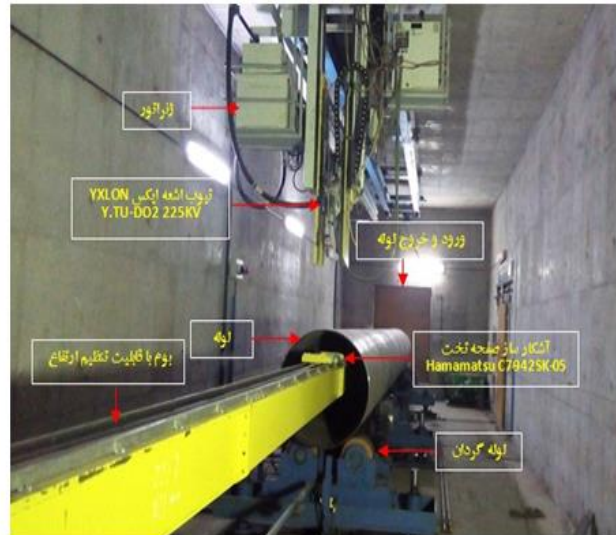
نتایج حاصل از مقایسه دو آشکار ساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر در بازرسی رادیوگرافی لوله ها در کارخانجات لوله سازی از سه دیدگاه قابل بررسی است. ۱- کیفی: مقایسه شاخص های کیفیت تصویر نشان از برتری کاملاً محسوس آشکار ساز صفحه تخت دارد، ۲- کمی و تولیدی: بسته به نوع آشکار ساز صفحه تخت و سطح کیفی مورد انتظار، سرعت تولید نیز می تواند تغییر نماید ولی در حالت کلی تا حدودی آشکار ساز تقویت کننده تصویر در اغلب موارد از این حیث وضعیت بهتری دارد ۳- اقتصادی: هزینه اولیه تامین تجهیزات آشکار ساز صفحه تخت و پس از آن هزینه های جاری نگهداری در طی مصرف چند ساله بیشتر از آشکار ساز تقویت کننده تصویر می باشد. با جمعیت نتایج فوق می توان گفت در صورتی که شرایط اقتصادی و مبادلات تجاری در کشور با رفع تحریم ها به گونه ای تسهیل گردد که دسترسی به تجهیزات مربوط به آشکار ساز صفحه تخت و قطعات یدکی آن با هزینه کمتر برای کارخانجات لوله سازی میسر گردد آنگاه بکارگیری این نوع از آشکار سازها بسیار مطلوب خواهد بود.



شکل (۱) نمای شماتیک تیوب تقویت کننده تصویر

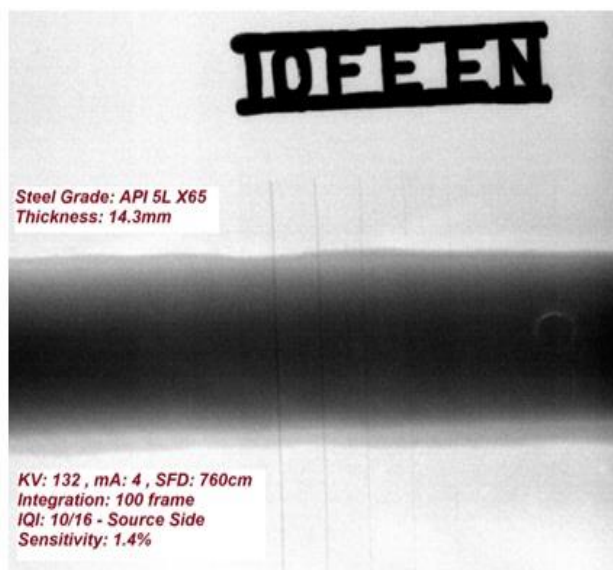
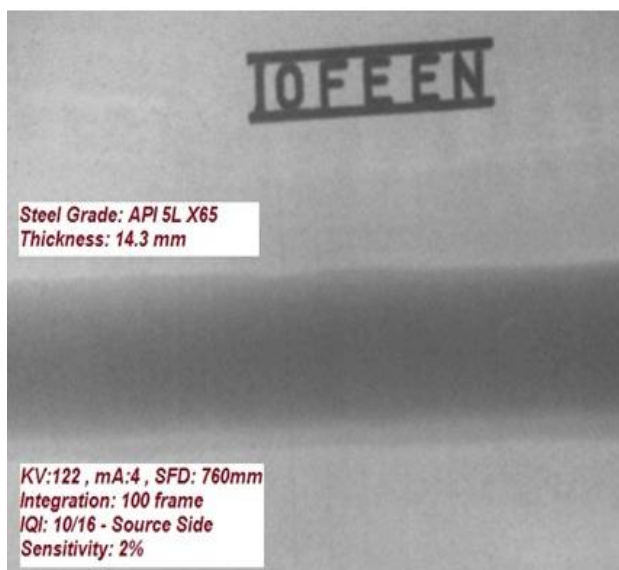


شکل (۲) نمای شماتیک فناوری تصویربرداری دیجیتال صفحه تخت غیرمستقیم



شکل (۳) تصویر سیستمهای رادیوگرافی: مجموعه آشکار ساز صفحه تخت و آشکار ساز تقویت کننده تصویر

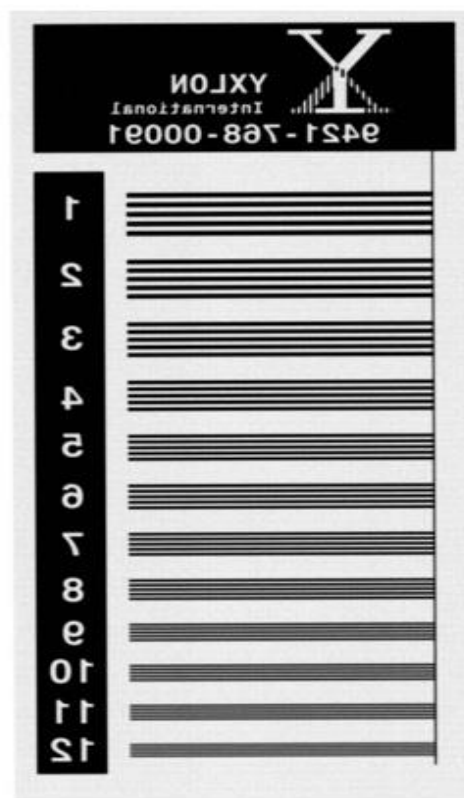




شکل (۴) مقایسه حساسیت تصویر: تصویر سمت راست آشکارساز صفحه تخت و تصویر سمت چپ تقویت کننده تصویر



A

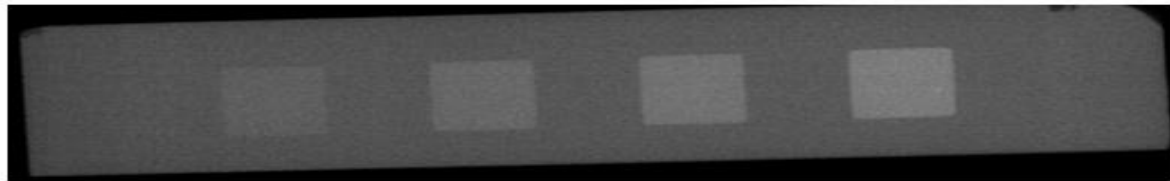


B

شکل (۵) مقایسه رزولوشن آشکارسازها - (A) تقویت کننده تصویر (B) صفحه تخت

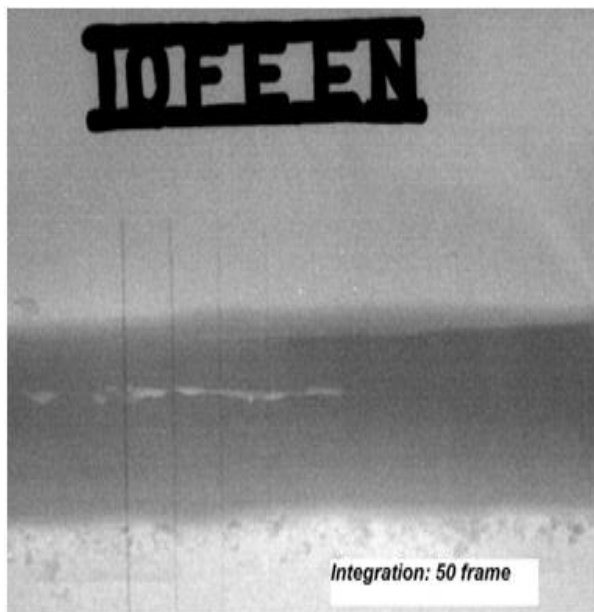


Image Intensifier, Contrast Sensitivity Block: 14.3mm

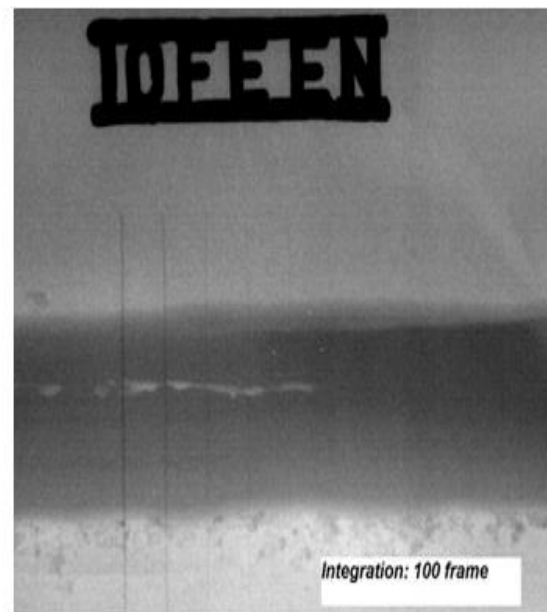


Flat panel, Contrast Sensitivity Block: 14.3mm

شکل (۶) مقایسه حساسیت کنتراست آشکارسازها

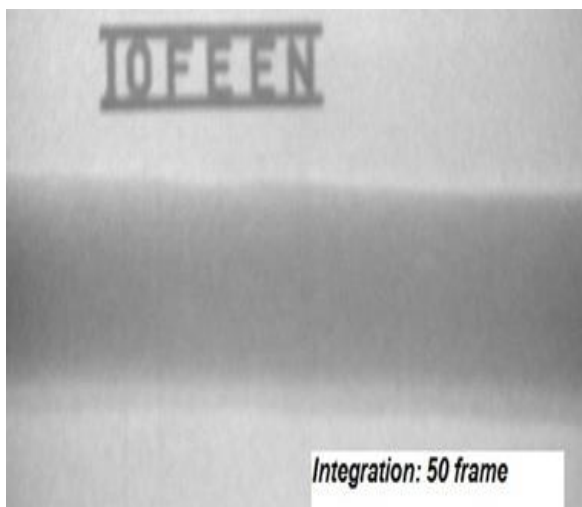


Integration: 50 frame

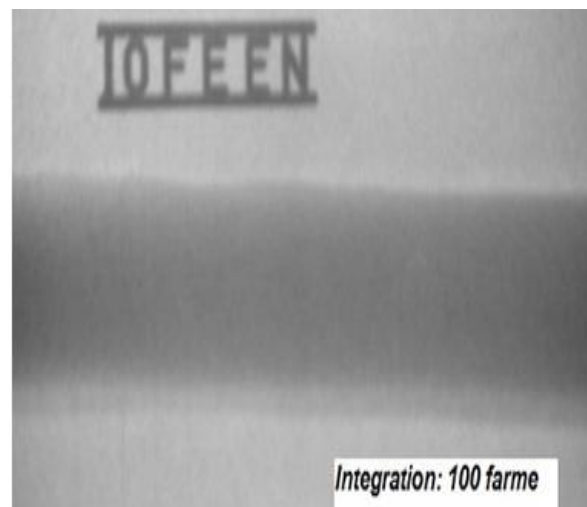


Integration: 100 frame

شکل (۷) مقایسه یکپارچه سازی با تغییر فریم در آشکارساز صفحه تخت

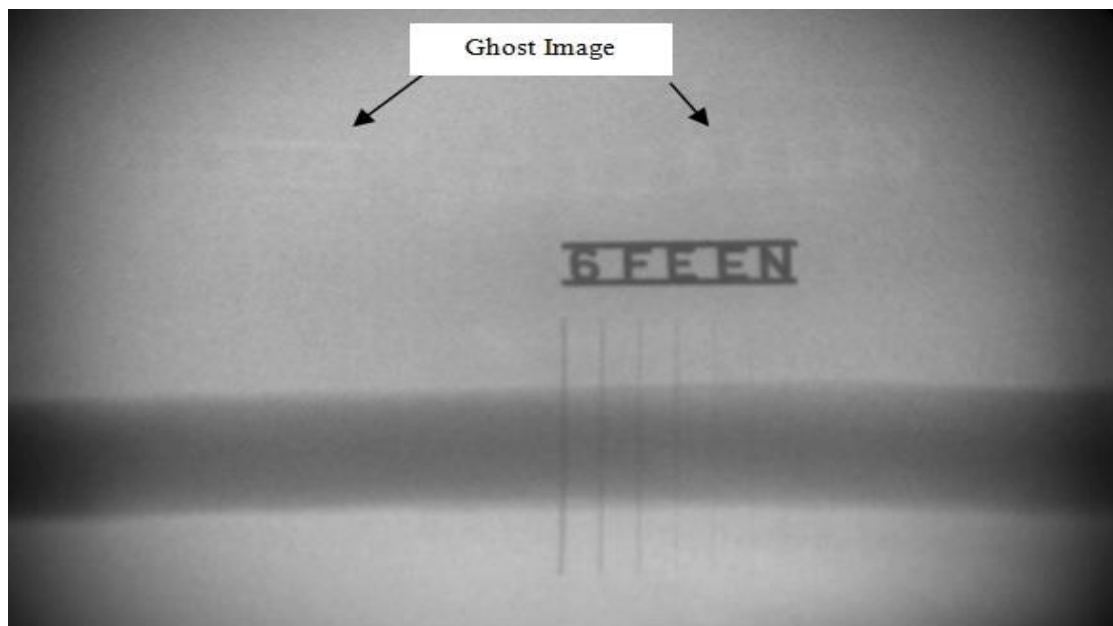


Integration: 50 frame



Integration: 100 frame

شکل (۸) مقایسه یکپارچه سازی با تغییر فریم در آشکارساز تقویت کننده تصویر



شکل (۹) تصویر شبیح گونه در آشکارساز تقویت کننده تصویر

جدول (۱) مشخصات تیوب اشعه ایکس و آشکارساز مورد آزمایش

سیستم دیجیتال	آشکارساز صفحه تخت						
	مدل	ساخت	اندازه پیکسل	تعداد پیکسل	خروجی دیجیتال	نرخ تولید تصویر	سینتلاتور
	C7942SK-05	Hamamatsu	50 x 50 $\mu\text{m}$	2400x2400	12 bit	2-9 fps	GOS
سیستم رادیوسکوپی	تیوب اشعه ایکس						
	مدل	ساخت	نوع	بیشینه ولتاژ	بیشینه جریان	نقطه کانونی	توان
	Y.TU DO2	Comet	Metal	225	20	1mm	0.64KW
سیستم رادیوسکوپی	آشکارساز تقویت کننده تصویر						
	مدل	ساخت	تامین کننده	اندازه	دوربین	نرخ تولید تصویر	سینتلاتور
	XRS 232	Thales - France	YXLON	9"	CCD	> 20 fps	CSI
سیستم رادیوسکوپی	تیوب اشعه ایکس						
	مدل	ساخت	نوع	بیشینه ولتاژ	بیشینه جریان	نقطه کانونی	توان
	Y.TU DO1	Comet	Metal	320	20	1.9mm	0.64KW-