

نشریه علمی-تربیتی

فناوری

آزمون‌های غیرمخرب

NONDESTRUCTIVE TESTING
TECHNOLOGY



انجمن بازرسی غیرمخرب ایران
Iranian Society for Nondestructive Testing (IRNDT)

دوره دوم، شماره یکم، تابستان ۱۳۹۶



● تشریح نظام‌های تایید صلاحیت کارکنان آزمون‌های غیرمخرب

● استاندارد مرکزی IRCCP انجمن بازرسی غیرمخرب ایران

● مهم‌ترین دلایل پرتوگیری غیرعادی در پرتونگاری صنعتی

● راهنمای ثبت‌نام در آزمون سطح سه رایانه محور ASNT

فهرست مطالب

.....	سخن سردبیر	۲
.....	نظام‌های اثبات صلاحیت کارکنان آزمون‌های غیرمخرب	۳
.....	استاندارد مرکزی گواهی کارکنان آزمون‌های غیرمخرب انجمن	
.....	بازرسی غیرمخرب ایران IRCCP	۷
.....	راهنمای ثبت‌نام در آزمون رایانه محور (CBT) سطح سه	
.....	آزمون‌های غیرمخرب آمریکا (ASNT NDT Level III)	۱۰
.....	پلاسکو را فراموش نکنیم	۱۴
.....	تشخیص عیوب ریخته‌گری در چدن داکتیل با روش غیرمخرب	
.....	رزونانس صوتی	۱۸
.....	مقایسه روش‌های اندازه‌گیری نشانه‌ها به روش فاصله-دامنه-اصلاح	
.....	و فاصله- تقویت- اندازه و بررسی نقاط قوت و ضعف هر یک از این	
.....	روش‌ها	۲۸
.....	مطالعه اولیه در زمینه امکان‌سنجی استفاده از تصویربرداری نور	
.....	تک‌فام متمرکز جهت اندازه‌گیری غیرمخرب رنگ گوشت میوه	
.....	سیب	۳۵
.....	بررسی مهم‌ترین دلایل پرتوگیری‌های غیرعادی در پرتونگاری	
.....	صنعتی	۴۳
.....	مقایسه دو روش پرتونگاری دیجیتال در صنعت لوله‌سازی، آشکار	
.....	ساز صفحه تخت و آشکار ساز تقویت کننده تصویر	۴۷
.....	شبیه‌ساز محاسبات پرتونگاری صنعتی برای چشمه‌های	
.....	گاما	۵۴
.....	رویداد	۶۱



انجمن بازرسی غیرمخرب ایران
Iranian Society for Nondestructive Testing (IRNDT)

نشریه علمی-ترویجی

فناوری آزمون‌های غیرمخرب

**NONDESTRUCTIVE TESTING
TECHNOLOGY**

(این نشریه مسئولیتی در قبال محتوای مقالات و تبلیغات ندارد)

صاحب امتیاز: انجمن بازرسی غیرمخرب ایران

مدیر مسئول: مهندس میرمجید قائمی

سردبیر: دکتر فرهنگ هنرور

مدیر داخلی: دکتر محمد ابونجمی

اعضا هیات تحریریه:

دکتر محمد ابونجمی، مهندس جلال جواهری‌پور، دکتر
امیر رفاهی‌اسکویی، دکتر بهروز رک‌رک، دکتر
محمدحسین سورگی، دکتر سیدحسین صادقی، دکتر
محمد رضا فراهانی، مهندس میرمجید قائمی و دکتر
فرهنگ هنرور

ویراستار: مهندس میثم باباپور

طراحی و صفحه‌آرایی: مهندس محمد محمودی

نشانی: تهران، خیابان کریمخان زند، نبش خیابان آبان
شمالی، ساختمان دانشگاه علامه طباطبائی، طبقه دوم،

اتاق ۲۲۷، دفتر انجمن بازرسی غیرمخرب ایران

تلفن: ۰۲۱-۸۱۰۳۲۲۲۵

www.irndt.org - info@irndt.org



سخن سردبیر

اولین شماره مجله علمی-ترویجی انجمن که در پاییز ۱۳۹۴ و مصادف با انتخابات دومین دوره هیئت مدیره انجمن به چاپ رسید با استقبال گرم جامعه NDT روبرو شد. مطالب این شماره از مجله علمی-ترویجی با همکاری داوطلبانه شماری از همکاران و زیر نظر نایب رئیس محترم انجمن آماده گردیده بود. با آغاز به کار دومین دوره هیئت مدیره انجمن، یکی از اولین اقدامات هیئت مدیره جدید بازنگری نمودار سازمانی انجمن بود که در نمودار سازمانی جدید شورای انتشارات وظیفه نظارت بر چاپ مجلات انجمن از جمله مجله علمی-ترویجی را عهده‌دار است. با تصویب تشکیل شورای انتشارات، از شماری از اساتید دانشگاهی و صاحب‌نظران صنعتی جهت عضویت در این شورا دعوت به عمل آمد و جلسات متعددی تشکیل شد. از جمله مصوبات اصلی این شورا انتخاب نام مجلات علمی-ترویجی و علمی-پژوهشی و نیز تعیین مدیران مسئول، سردبیران، مدیران اجرایی و اعضای هیئت تحریریه این دو مجله بوده است.

در این خصوص لازم به ذکر است که مجلات انجمن تابع آیین‌نامه‌های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری هستند و از این رو باید الزامات خاصی را در خصوص تعیین مسئولین مجله و اعضای هیئت تحریریه دنبال نمایند. یکی از این الزامات آن است که سردبیر مجله باید حتماً رتبه استادی یا دانشیاری داشته باشد. هر چند خود من به لحاظ مشغله‌های فراوانی که در انجمن و دانشگاه دارم مایل به قبول این مسئولیت نبودم، با توجه به محدودیت تعداد افرادی که در انجمن حائز ضابطه فوق هستند، دوستان در شورای انتشارات این مسئولیت را در کنار سایر مسئولیت‌ها بر دوش بنده قرار دادند. امید دارم با کمک خداوند و یاری دوستان بتوانم از عهده این وظیفه بایم.

موجب خوشحالی است که امروز اولین شماره رسمی مجله علمی-ترویجی انجمن را پس از تشکیل هیئت تحریریه و بر اساس دستورالعمل وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در خصوص الزامات مجلات علمی-ترویجی به شما ارائه نمایم. در این شماره سعی شده است ضمن ارائه مقالات ارزشمند علمی و فنی، اخبار و گزارشاتی در رابطه با مسائل مورد علاقه جامعه NDT نیز آورده شود.

امیدواریم ساختار جدید مجله نیز همچون شماره قبل مورد توجه خوانندگان محترم قرار گیرد. در اینجا لازم می‌دانم از تمامی عزیزانی که در آماده‌سازی این شماره از مجله مشارکت نموده‌اند از جمله نویسندگان مقالات، هیئت تحریریه، مدیر اجرایی مجله و دبیر انجمن تشکر و قدردانی نمایم. در پایان از همه اعضای انجمن و علاقمندان به علم و فناوری NDT دعوت می‌کنم که با ارسال مقالات، اخبار و گزارشات مرتبط با NDT ما را در هر چه پربارتر ساختن این مجله یاری نمایند.

فرهنگ هنرور

سردبیر

نظام های اثبات صلاحیت کارکنان آزمون های غیرمخرب

کجه مهرداد کهتری

کارشناس سطح سه NDT، شرکت آساره پرداز پاسارگاد
mkehtari@hotmail.com

در این مختصر قصد داریم نظام های تایید صلاحیت کارکنان آزمون های غیرمخرب (NDT) موجود در جهان را مطرح نموده و نحوه اجرای آن ها را در کشور خودمان مورد نقد و بررسی قرار دهیم. در بند ۱-۱ رویه پیشنهادی SNT-TC-1A آمده است که: "بی شک کارایی آزمون های غیرمخرب به صلاحیت و توانایی متخصصان مجری این آزمون ها بستگی دارد." این موضوع شاید به آزمون غیرمخرب محدود نشود اما مسلماً در این حوزه پررنگ تر است و اطمینان از صحت عملکرد این آزمون ها با استناد به تمامی استانداردهای معتبر جهانی وابستگی زیادی به عامل نیروی انسانی دارد. از جمله این مستندات عبارتند از:

- ❖ رویه پیشنهادی SNT-TC-1A (این سند یک رویه پیشنهادی است و استاندارد محسوب نمی شود).
- ❖ استاندارد ANSI/ASNT CP-189
- ❖ استاندارد ATA NAS 410
- ❖ استاندارد EN-4179
- ❖ استاندارد EN-473 (در سال ۲۰۱۲ میلادی استاندارد ISO 9712 جایگزین این استاندارد شد).
- ❖ استاندارد ISO 9712
- ❖ استاندارد ملی ISO/ISIRI 9712
- ❖ استاندارد آمریکایی ANSI/ASNT CP-106
- ❖ استاندارد ANSI/ASNT ILI-PQ-2010 (In-line Inspection Personnel Qualification and Certification Standard)

در جهان علیرغم تعدد روش های آزمون غیرمخرب، دو نوع نظام تایید صلاحیت وجود دارد. این دو نظام اگرچه تفاوت هایی با یکدیگر دارند اما تناقضی با هم نداشته و حتی به نوعی مکمل یکدیگر نیز هستند. عمده تفاوت این دو نظام در تعریف مرجع صدور گواهینامه است.

رویه پیشنهادی SNT-TC-1A:

این رویه از اولین سندهای تایید صلاحیت کارکنان آزمون های غیرمخرب است که توسط انجمن آزمون غیرمخرب آمریکا (ASNT) در سال ۱۹۶۶ تدوین شده است. این رویه پیشنهادی تاکنون علاوه بر کشور ایالات متحده آمریکا در بسیاری از کشورهای دنیا نیز کاربرد وسیعی داشته است. این رویه اگرچه یک استاندارد نیست اما بسیاری از استانداردهای معتبر دنیا برای تایید صلاحیت و صدور گواهینامه کارکنان آن را مرجع قرار داده اند.

استاندارد ANSI/ASNT CP-189:

از اولین استانداردهای تایید صلاحیت و صدور گواهینامه کارکنان آزمون های غیرمخرب می توان به این استاندارد اشاره کرد که در سال ۱۹۹۵ تدوین شد. این استاندارد تفاوت چندانی با SNT-TC-1A ندارد اما از آنجائی که یک استاندارد است معیارهای حداقلی را برای تایید صلاحیت کارکنان آزمون های غیرمخرب در نظر گرفته است.

دیگر استانداردهای جهانی:

در دهه ۱۹۶۰ میلادی در کشور کانادا گواهینامه های سری CGSB 48-GP توسط موسسه دولتی فدرال کانادا صادر می شد. در همین زمان CSWIP شناخته شده ترین سند تایید صلاحیت در انگلستان بود.

مراکز دیگری مانند BINDT و TWICL نیز از دهه ۱۹۸۰ میلادی در این کشور شروع به فعالیت کردند. از دهه ۱۹۸۰ به بعد تلاش می‌شد در تمامی استانداردهای تایید صلاحیت، یکسان‌سازی‌هایی صورت پذیرد. از همین رو کمیته اروپایی CEN در سال ۱۹۸۳ و سازمان بین‌المللی ISO در سال ۱۹۹۲ شکل گرفتند.

اولین استاندارد بین‌المللی برای تایید صلاحیت کارکنان آزمون‌های غیرمخرب با عنوان ISO 9712 در سال ۱۹۹۲ تدوین شد. کمی بعد از آن، استاندارد اروپایی EN-473 انتشار یافت که در آن به رفع کردن نقاط ضعف استاندارد ISO 9712 تلاش شده بود. اما در سال ۲۰۱۲ میلادی استاندارد ISO 9712 جایگزین استاندارد اروپایی EN-473 شد و در حال حاضر پرکاربردترین استاندارد تایید صلاحیت مرکزی در جهان است.

در انگلستان نیز مراکز BINDT و TWICL در سال ۱۹۹۲ با هدف رعایت الزامات ISO 9712 اقدام به تدوین دستورالعمل تایید صلاحیتی با عنوان PCN نمودند. در این کشور هم‌اکنون همین دو مرکز فوق از طرف UKAS مجوز صدور تایید صلاحیت دارند و دستورالعمل‌های تایید صلاحیت این مراکز یعنی CSWIP و PCN نیز با استانداردهای ISO 9712، ISO 11484 و EN-4179-2017 تطابق دارند.

نظام‌های تایید صلاحیت کارکنان آزمون‌های غیرمخرب

الف) نظام تایید صلاحیت داخلی یا کارفرما محور : در این نظام، کارفرما مسئول آموزش، تایید صلاحیت و صدور گواهینامه کارکنان است. از جمله مستندات مربوط به این نوع نظام می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ❖ رویه پیشنهادی SNT-TC-1A
- ❖ استاندارد ANSI/ASNT CP-189
- ❖ استاندارد ATA NAS 410
- ❖ استاندارد EN-4179

ب) نظام تایید صلاحیت مرکزی یا شخص سوم : در این نظام، تایید صلاحیت و صدور گواهینامه کارکنان بر عهده یک مرکز با عنوان نهاد گواهی‌کننده است. از جمله مستندات نظام تایید صلاحیت مرکزی عبارتند از:

- ❖ استاندارد ISO 9712
- ❖ استاندارد ملی ISO/ISIRI 9712
- ❖ استاندارد اروپایی EN 473
- ❖ استاندارد امریکایی ANSI/ASNT CP-106

مقایسه دو روش تایید صلاحیت داخلی و مرکزی:

الف) تفاوت اساسی این دو روش تایید صلاحیت و صدور گواهینامه در این نکته است که تایید صلاحیت و صدور گواهینامه در روش داخلی به عهده کارفرما و در روش مرکزی به عهده مرکز مستقلی تحت عنوان موسسه گواهی‌کننده است. این مرکز توسط نهادهای اعتبار بخشی مطابق با استاندارد ISO/IEC 17024 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

ب) در روش تایید صلاحیت داخلی، صدور گواهینامه سطح ۱ و ۲ به عهده کارشناس سطح ۳ آزمون غیرمخرب است و تایید صلاحیت و صدور گواهینامه سطح ۳ به عهده مراکز یا موسسات معتبر صدور گواهی مانند BINDT، ASNT و غیره است. اما در روش مرکزی، تایید صلاحیت و صدور گواهینامه در تمامی سطوح به عهده نهاد گواهی‌کننده است.

پ) در روش تایید صلاحیت داخلی، کارشناس سطح ۳ آزمون غیرمخرب پس از برگزاری دوره آموزشی می‌تواند اقدام به برگزاری امتحان پایان دوره نماید اما در روش تایید صلاحیت مرکزی، برگزاری امتحان باید به کلی از مراکز آموزشی مجزا باشد.

علیرغم این تفاوت‌ها، دو نظام تایید صلاحیت فوق در حال حاضر در بسیاری از کشورهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. هریک از این دو نظام مزایا و محدودیت‌هایی دارند و نمی‌توان یکی را بر دیگری ارجح دانست. استقرار و اجرایی شدن هریک از آن‌ها منافاتی با دیگری نداشته و حتی به نوعی مکمل یکدیگر نیز هستند. هیچ کدام از آن‌ها در حال منسوخ شدن نبوده و گواهینامه‌های صادره بر اساس آنها در حوزه خود از اعتبار لازم و کافی برخوردارند.

مزایای نظام تایید صلاحیت داخلی:

انطباق‌پذیری: در این نظام تایید صلاحیت با توجه به اینکه کارفرما، مسئول آموزش، امتحان و صدور گواهینامه است و از طرفی حسن انجام کار تمامی کارکنان برعهده کارفرما است، آموزش‌های ارائه شده بر اساس این نظام عموماً دقیق و کاربردی است. انعطاف‌پذیری: در صورت نیاز به استفاده از روش‌های جدید آزمون غیرمخرب، کارفرما می‌تواند تنها با تغییر دستورالعمل مکتوب کارکنان خود را با بهره‌گیری از یک موسسه بیرونی آموزش داده و تایید صلاحیت نماید.

معایب نظام تایید صلاحیت داخلی:

افت کیفی دوره‌های آموزشی: در صورت عدم نظارت مستمر یک نهاد مرتبط، این احتمال که کارفرمایان توجه چندانی به نحوه آموزش، امتحان و تایید صلاحیت کارکنان نداشته باشند قوت می‌گیرد که این امر در نهایت منجر به صدور گواهینامه برای کارکنانی می‌شود که فاقد صلاحیت لازم هستند.

محوریت کارفرما: با توجه به اینکه در این روش تمامی اختیارات تایید صلاحیت به کارفرما محول شده است، کارفرما از اختیارات بالایی برخوردار است. این امر می‌تواند منشاء اعمال فشار و اتخاذ تصمیمات یک جانبه شود. به‌عنوان مثال، کارفرما می‌تواند با عدم ارائه سوابق آموزشی و تجربی کارکنان خود در مواقع لازم، در عمل مانع از نقل و انتقال آنان شده و به‌نوعی از اختیارات خود سو استفاده نمایند.

یکسان نبودن روند آموزشی و تایید صلاحیت کارکنان: در صورت عدم نظارت مستمر یک نهاد مرتبط، کارفرما تنها بر اساس الزامات مجموعه خود اقدام به تدوین دستورالعمل مکتوب می‌نماید که این امر در نهایت باعث ایجاد تنوع گسترده در مقرارت تایید صلاحیت شده و معادل‌سازی گواهینامه‌ها را دشوار می‌کند.

مزایای نظام تایید صلاحیت مرکزی:

آموزش همسان: با توجه به اینکه در این نظام، اخذ امتحان کارکنان توسط یک نهاد مستقل انجام می‌گیرد مراکز آموزشی ملزم به اثربخشی و ارتقای سطح آموزش خود هستند تا فراگیران دوره‌های آموزشی، توانایی کسب نمره قبولی در امتحان نهاد گواهی‌کننده را داشته باشند.

عدم محدودیت کارکنان در تغییر محل کار خود: با توجه به اینکه در نظام تایید صلاحیت مرکزی، آموزش، امتحان و تایید صلاحیت کارکنان مستقل از کارفرما است، کارکنان از اختیار عمل بیشتر برای تغییر محل کار خود برخوردارند.

نظارت بر عملکرد کارکنان: با توجه به اینکه سوابق آموزشی، تجربی و پزشکی کلیه کارکنان آزمون‌های غیرمخرب در نهاد گواهی‌کننده، ثبت و بایگانی می‌شود امکان نظارت بر عملکرد کارکنان بیشتر است. همچنین امکان صدور گواهینامه برای کارکنان فاقد صلاحیت محدودتر می‌شود.

معایب نظام تایید صلاحیت مرکزی:

عدم انعطاف‌پذیری: در این نظام، باید هماهنگی وسیعی بین مراکز آموزشی، امتحانی و نهاد گواهی‌کننده ایجاد شود. این امر بدین معنا است که کلیه امور آموزشی و برگزاری امتحان از قبیل استاد، جزوات آموزشی، سوالات، تجهیزات، دستورالعمل‌های اجرایی و قطعات تمرینی و امتحانی باید در این مراکز مهیا شود که مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی است. در حال حاضر در استانداردهایی که از این نظام تایید صلاحیت برای گواهی کردن افراد استفاده می‌شود تنها برای چند روش محدود گواهینامه صادر می‌شود. این محدودیت منجر به بروز مشکلات فراوانی برای شرکت‌ها و موسساتی می‌شود که نیاز به روش‌های غیرمتداول مانند نشرآوایی دارند. در موافقت این موضوع می‌توان به نظام تایید صلاحیت کارکنان صنایع هوایی اروپا اشاره کرد. تمامی مراکز آزمون‌های غیرمخرب هوایی در اروپا تا سال ۲۰۰۳ میلادی تحت نظام تایید صلاحیت مرکزی قرار داشتند اما از آن سال به‌بعد به‌دلیل مشکل فوق، به نظام تایید صلاحیت داخلی تغییر ماهیت دادند. هم‌اکنون در دو قطب صنعت هوایی جهان یعنی

امریکا و اروپا، نظام حاکم بر تایید صلاحیت کارکنان آزمون‌های غیرمخرب از نوع نظام داخلی است و تمامی روند تایید صلاحیت کارکنان بر اساس استاندارد امریکایی ATA NAS 410 و ویرایش اروپایی EN-4179 صورت می‌پذیرد. پائین بودن بهره‌وری آموزشی: همان‌گونه که پیشتر اشاره شد گواهینامه‌های مرکزی تنها به چند روش آزمون غیرمخرب محدود می‌شوند و تمامی تخصص‌های مورد نیاز صنایع را دربر ندارد. این امر موجب می‌شود که دوره‌های آموزشی و امتحانات تایید صلاحیت تقریباً به صورت عمومی برگزار شده و درس‌نامه‌ها و قطعات آموزشی تنها به همین روش‌ها محدود شوند.

روند تایید صلاحیت در ایران:

در کشور ما به دلایلی که شاید از حوصله این مقاله خارج است، تاکنون نظام تایید صلاحیت داخلی حاکم بوده است و تقریباً تمامی کارکنان شاغل در حوزه آزمون غیرمخرب بر اساس الزامات این نظام تایید صلاحیت شده‌اند. علیرغم تدوین استاندارد تایید صلاحیت مرکزی ISO/ISIRI 9712 هنوز اقدام چندانی برای برپایی این نظام صورت نگرفته است. ماهیت این امر ایرادی ندارد به این معنا که صرف عدم وجود نظام تایید صلاحیت مرکزی در کشور، خللی ایجاد نمی‌کند. اما مشکل هنگامی آغاز می‌شود که روند تایید صلاحیت به صورت ناقص و خارج از چهارچوب تعریف شده آن اجرا می‌شود.

در ایران پس از پایان جنگ و شروع دوران سازندگی با ورود شرکت‌های نفتی خارجی، موضوع صلاحیت کارکنان شکل جدی‌تری یافت. با الزام این شرکت‌ها به رعایت استانداردهای معتبر جهانی، بحث رویه تایید صلاحیت پیشنهادی انجمن آزمون‌های غیرمخرب آمریکا SNT-TC-1A مطرح و به عنوان یک الزام اساسی برای کارفرمایان کشورمان در نظر گرفته شد. اما همزمان با گسترش این نظام تایید صلاحیت، هیچ سازمان یا نهاد ملی اقدام به فرهنگ‌سازی و پیاده‌سازی اصولی این نظام نکرد. به این ترتیب با مرور زمان از یک نظام تایید صلاحیت داخلی، یک برداشت کاملاً اشتباه پیدا شد و آن را یک نظام تایید صلاحیت مرکزی قلمداد نمودند. به گونه‌ای که در حال حاضر کارفرمایان کشورمان، کارشناسان سطح سه را به طور مستقل به عنوان صادرکننده گواهینامه می‌شناسند و مسئولیت خود را به طور کامل فراموش کرده‌اند. مطابق بند ۱-۹ رویه پیشنهادی فوق "مسئولیت تمامی گواهینامه‌های سطوح مختلف آزمون غیرمخرب بر عهده کارفرما است" و کارفرما باید پاسخگوی فعالیت کارکنان تحت مسئولیت خود باشد.

نتیجه تمامی این کاستی‌ها موجب شده است که در حال حاضر وضعیت نظام تایید صلاحیت کارکنان آزمون‌های غیرمخرب و به طبع آن، کیفیت اجرای آزمون‌های غیرمخرب در کشورمان در شرایط نامطلوبی قرار گیرد. برای حل این مشکل، شورای تایید صلاحیت انجمن بازرسی غیرمخرب ایران اقدام به ارائه راهکار و تدوین استاندارد انجمنی نموده است که در مقاله دیگری در همین شماره مطرح خواهد شد. باعث خرسندی اینجانب و همگی همکاران محترم در شورای تایید صلاحیت انجمن است که پاسخگوی سوالات شما در زمینه تایید صلاحیت و صدور گواهینامه کارکنان آزمون‌های غیرمخرب باشیم.

استاندارد مرکزی گواهی کارکنان آزمون‌های غیرمخرب انجمن بازرسی غیرمخرب ایران^۱

کمال افشین یوسفی نیا

کارشناس سطح سه NDT، شرکت زاگرس تطبیق کالا
ausefinia@gmail.com



توضیح: واژه‌ها و کلمات کلیدی بکار رفته در این مقاله براساس واژگان مصوب استاندارد ملی ۹۷۱۲ است.

لزوم احراز شایستگی برای مجریان آزمون‌های غیرمخرب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در قابلیت اطمینان بازرسی در صنایع و استانداردهای مختلف، مورد توجه قرار گرفته است. سه شرط گذراندن دوره‌های آموزشی مناسب، قبولی در آزمون کتبی و عملی و نیز داشتن تجربه کاری کافی و مرتبط، تعیین کننده "صلاحیت یا شایستگی"^۲ فرد برای اجرای یک روش یا فن غیرمخرب است. اگر فردی سه شرط فوق را کسب نماید، به اصطلاح "احراز شرایط یا تایید صلاحیت"^۳ شده است و می‌تواند "گواهی‌نامه بازرسی" دریافت کند. به فرایند صدور و اعطای گواهی‌نامه بازرسی فرد احراز شرایط شده، "گواهی کردن"^۴ گفته می‌شود.

نظام‌ها و استانداردهای متعددی برای تعیین الزامات احراز شرایط و گواهی کردن کارکنان آزمون‌های غیرمخرب وجود دارد که به‌طور کلی به دو دسته اصلی یعنی "نظام‌های داخلی یا کارفرما محور"^۵ و "نظام‌های مرکزی یا شخص سوم"^۶ تقسیم می‌شوند. نظام داخلی یا کارفرما محور به نظامی گفته می‌شود که در آن کارفرما (شرکتی که بازرس را برای انجام آزمون غیرمخرب استخدام کرده است) مسئول آموزش و امتحان احراز شرایط کارکنان خود است. تهیه مستندات و سوابق لازم برای آموزش، امتحان و تجربه مورد نیاز احراز شرایط کارکنان نیز مسئولیت مستقیم کارفرما است. در نظام‌های داخلی، کارفرما می‌تواند برای انجام فرایند آموزش و امتحان از خدمات مراکز آموزشی بیرونی استفاده کند به شرطی که محتوا و کیفیت خدمات مربوطه را بر اساس "دستورالعمل مکتوب"^۷ خود بررسی و تایید کند. پس از حصول اطمینان از احراز شرایط داوطلب بر اساس دستورالعمل مکتوب، گواهی‌نامه بازرسی باید توسط کارفرما صادر شود که مجوز بازرسی برای فرد مورد نظر در شرکت مربوطه (کارفرما) خواهد بود. نظام داخلی براساس مسئولیت‌ها و نیازهای خاص کارفرما برای اجرای آزمون‌های غیرمخرب در پروژه‌های وی طراحی شده است، بنابراین در صورت جداسدن بازرس از شرکت مربوطه، گواهی‌نامه صادر شده نیز باطل می‌شود.

نظام مرکزی نظامی است که در آن امتحان احراز شرایط با مدیریت و یا نظارت مراکز گواهی شخص سوم مستقل و براساس استاندارد آن مرکز انجام می‌شود. برای کسب شرایط شرکت در امتحان، داوطلب باید مدارک و سوابق قابل قبول از آموزش و تجربه خود به مرکز گواهی ارائه کند. در صورت قبولی داوطلب در امتحان، گواهی‌نامه بازرسی توسط مرکز گواهی صادر می‌شود که نشان‌دهنده احراز شرایط فرد براساس نظام گواهی مرکزی مربوطه است. کارفرما می‌تواند این گواهی را به‌عنوان مدرک احراز شرایط فرد از نظر کسب الزامات آموزش، امتحان و تجربه لازم قبول کند ولی مشابه نظام داخلی، در اینجا نیز مسئولیت صدور گواهی‌نامه یا مجوز بازرسی نهایی برعهده کارفرما است.

^۱ IRNDT Central Certification Program for NDT Personnel (IRCCP)

^۲ Competency

^۳ Qualification

^۴ Certification

^۵ Employer-based or In-House Systems

^۶ Central or Third Party Systems

^۷ Written Practice

راهنمای SNT-TC-1A و استاندارد EN 4179 از جمله نظام‌های داخلی و استاندارد ISO 9712 و برنامه‌های ASNT NDT Level III و ACCP (ASNT Central Certification Program) از جمله نظام‌های مرکزی متداول در صنایع مختلف در سطح جهان هستند. در صنایع هواپیمایی کشور ما از استاندارد EN 4179 و در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاهی، فولاد، سیمان، ریلی و ... عموماً از استاندارد پیشنهادی ASNT یا همان SNT-TC-1A استفاده می‌شود. مطابق با بند ۵ استاندارد SNT-TC-1A (نظام داخلی)، کارفرما (شرکت مجری آزمون غیرمخرب) باید بر اساس نیازها و شرایط پروژه‌های خود یک دستورالعمل مکتوب احراز شرایط برای بازرسان آزمون‌های غیرمخرب تدوین کند. دستورالعمل احراز شرایط باید توسط مشاور سطح ۳ کارفرما بازنگری و تایید شود.

دستورالعمل تهیه شده، الزامات و پیش‌نیازهای مربوط به تحصیلات، تجربه، آموزش، امتحان و نیز گواهی کردن بازرسان غیرمخرب در سیستم کارفرما را تعیین می‌کند و همانطور که قبلاً گفته شد کارفرما می‌تواند مطابق با دستورالعمل مکتوب، برای اجرای آموزش و امتحان از خدمات مراکز آموزش بیرونی استفاده کند. باید توجه داشت که اطلاعات و سوابق دریافتی از مرکز آموزش فقط بخشی از الزامات احراز شرایط بوده و

اطلاعات تکمیلی از جمله سوابق تحصیلی و تجربی کارکنان در اختیار کارفرما است، بنابراین مسئولیت صدور گواهی‌نامه بازرسان که به‌عنوان مجوز بازرسی در شرکت کارفرما می‌باشد، همچنان بعهده خود کارفرما بوده و قابل تفویض به مرکز آموزش نیست.

نابسامانی در خدمات آموزشی ارایه شده در سطح کشور و مشکلات پیش آمده از اجرای ناقص و در برخی موارد سلیقه‌ای در نظام داخلی، موجب بی‌اعتمادی و حتی ایجاد شکایت از طرف شرکت‌های مجری و نیز

انجمن بازرسی غیرمخرب ایران پس از بررسی استانداردهای متداول در کشورهای پیشرو، به‌عنوان یک راهکار اجرایی جهت ساماندهی وضعیت موجود اقدام به تدوین استاندارد مرکزی گواهی کارکنان آزمون‌های غیرمخرب نمود که پس از نهایی شدن متن اولیه طی جلسات متعدد در کارگروهی متشکل از کارشناسان مجرب سطح سه کشور و زیر نظر شورای تایید صلاحیت و صدور گواهی‌نامه انجمن، پیش‌نویس آن در اواخر سال ۱۳۹۵ جهت نظرخواهی عمومی متخصصان و ذینفعان منتشر شد.

سازمان‌های دریافت کننده خدمات آزمون‌های غیرمخرب به عنوان کارفرمای پروژه‌های مربوطه شده است.

نظام‌های مرکزی همچون استاندارد ISIRI/ISO 9712 به دلیل استقلال عملکردی می‌تواند راهکاری برای برطرف کردن مشکلات بوجود آمده از نظام داخلی باشد. از طرفی مطابق بند ۵-۱ استاندارد فوق "سیستم گواهی کردن باید توسط نهاد گواهی کننده^۱ (و در صورت لزوم با کمک نهادهای مجاز احراز شرایط) کنترل و اداره شود" و طبق بند ۵-۲ همان استاندارد "نهاد گواهی کننده باید الزامات استاندارد ملی ایران ایزو-آی ای سی ۱۷۰۲۴ را برآورده سازد". به عبارت دیگر برای پیاده‌سازی آن نیاز به نهاد گواهی کننده‌ای است که براساس الزامات استاندارد ملی ۱۷۰۲۴ تایید شده باشد که در حال حاضر با توجه به اهداف و دامنه فعالیت مراکز ذیربط، زیرساخت‌های لازم برای ایجاد نهادی با این مشخصات فراهم نیست.

البته استاندارد ISIRI/ISO 9712 از طرف سازمان انرژی اتمی ایران به عنوان واحد قانونی نظارت بر اجرای قانون حفاظت در برابر اشعه کشور، به صورت محدود فقط در سطح ۱ و ۲ پرتونگاری اجرا می‌شود که برای مسئولین فیزیک بهداشت و شخص مسئول شرکت‌های پرتونگاری الزام شده است.

انجمن بازرسی غیرمخرب ایران پس از بررسی استانداردهای متداول در کشورهای پیشرو، به‌عنوان یک راهکار اجرایی جهت ساماندهی وضعیت موجود اقدام به تدوین استاندارد مرکزی گواهی کارکنان آزمون‌های غیرمخرب^۲ نمود که پس از نهایی شدن متن اولیه طی جلسات متعدد در کارگروهی متشکل از کارشناسان مجرب سطح سه کشور و زیر نظر شورای تایید صلاحیت و صدور گواهی‌نامه انجمن، پیش‌نویس آن در اواخر سال ۱۳۹۵ جهت نظرخواهی عمومی متخصصان و ذینفعان منتشر شد.

^۱ Certification Body

^۲ IRCCP, IRNDT Central Certification Program



IRNDT
Central Certification Program
for NDT Personnel

IRNDT CP-01

Revision 0
Approved 12/21/2016



انجمن بازرسی غیرمخرب ایران
Iranian Society for Nondestructive Testing (ISNT)

استاندارد مرکزی IRNDT CP-01 انجمن بازرسی غیرمخرب ایران جهت بهبود قابلیت اطمینان آزمون‌های غیرمخرب از طریق نظام مدون و کنترل شده توسط شورای تایید صلاحیت و صدور گواهی‌نامه مستقل، براساس الزامات استاندارد جهانی ISO 9712 و استاندارد مرکزی ACCP CP-01 انجمن آزمون‌های غیرمخرب آمریکا و با توجه به نیازمندی‌های فعلی کشور تهیه شده است به طوری که افراد احراز شرایط و گواهی شده مطابق با این استاندارد، الزامات SNT-TC-1A و ANSI/ASNT CP-189 و ISO 9712 را نیز برآورده خواهند کرد. با توجه به نیاز تجارت جهانی و روند الزامی شدن استاندارد ISO 9712 در آینده نه چندان دور در سطح جهانی، انجمن قصد دارد طی یک برنامه ۵ ساله به‌عنوان دوره گذار، استاندارد مرکزی را به‌طور کامل به الزامات استاندارد ISO 9712 برساند.

در ابتدا بر اساس دستورالعمل مدون شورا، به دارندگان گواهی‌نامه سطح سه معتبر موجود در کشور، گواهی‌نامه سطح سه مرکزی انجمن اهدا خواهد شد تا امکان پیاده‌سازی استاندارد از طریق مراکز آموزش و امتحان مجاز انجمن ایجاد

شود. در مرحله بعد معادل‌سازی گواهی‌نامه‌های سطح ۱ و ۲ نیز با بررسی شرایط آموزش و امتحان مطابق با دستورالعمل مدون شورا مقدور خواهد بود.

استاندارد مرکزی IRNDT CP-01 در هفده بخش، الزامات تحصیلی، تجربی، آموزش، امتحان، صدور، تمدید و تجدید گواهی‌نامه غیرمخرب را در شش روش اصلی شامل ذرات مغناطیسی، مایعات نافذ، پرتونگاری، فراصوتی، چشمی و الکترومغناطیس در سطوح ۱، ۲ و ۳ و در چهار شاخه صنعتی عمومی، تجهیزات تحت فشار، هوا و فضا و صنایع نفت، گاز و پتروشیمی پوشش می‌دهد. در این استاندارد، الزامات مربوط به احراز شرایط سطح ۲ تفسیر فیلم پرتونگاری و ضخامت سنجی فراصوتی نیز تعیین شده است. در صورت نیاز امکان افزودن روش یا شاخه‌های صنعتی دیگر نیز وجود دارد.

با توجه به عضویت رسمی انجمن در کمیته بین‌المللی آزمون‌های غیرمخرب (ICNDT) و امضای تفاهم‌نامه همکاری با انجمن آزمون‌های غیرمخرب آمریکا (ASNT) و امکان ارایه استاندارد به ایشان، متن اولیه استاندارد به زبان انگلیسی تهیه شده و در حال حاضر متن فارسی آن نیز در دست تهیه است.

امیدواریم با همیاری و مساعدت تمامی همکاران، متخصصین، شرکت‌های مجری و سازمان‌های کارفرمایی و نظارتی زمینه پیاده‌سازی مناسب این استاندارد مرکزی ایجاد شود تا شاهد ساماندهی وضعیت نامناسب خدمات آموزش و گواهی موجود کشور شویم. بی شک با ارتقای سطح دانش و مهارت بازرسان غیرمخرب از طریق سیستم مرکزی مستقل، اطمینان و رضایت تمامی طرف‌های ذینفع در صنایع مختلف جلب خواهد شد.

راهنمای ثبت نام در آزمون رایانه محور (CBT) سطح سه آزمون های غیرمخرب آمریکا (ASNT NDT Level III)

محمدحسین میرقاسمی

کارشناس سطح سه NDT، شرکت کاوش بهینه آزما

mhm_mirghasemi@yahoo.com

مقدمه

با توجه به رشد و توسعه روز افزون علم و فناوری بازرسی فنی و آزمون غیرمخرب و نقش بسیار مهم آن در ارتقای ایمنی و کیفیت محصولات و تجهیزات، نیاز به بازرسان و کارکنان متخصص و مجرب در حوزه آزمون های غیرمخرب در جامعه صنعتی کشورمان رو به رشد است. بر همین اساس دانشجویان، مهندسين و فعالان در زمینه بازرسی فنی و آزمون های غیرمخرب بیش از پیش تمایل دارند تا پس از گذراندن سطوح مقدماتی، نسبت به دریافت گواهینامه سطح سه آزمون های غیرمخرب اقدام نمایند. از طرفی انجمن آزمون غیرمخرب آمریکا به عنوان مرجع صادر کننده گواهینامه های ASNT NDT Level III رویکرد خود را در خصوص نحوه برگزاری این آزمون تغییر داده و آن را به صورت الکترونیکی یا رایانه محور (Computer Based Testing) درآورده است. در این یادداشت، مراحل ثبت نام الکترونیکی در آزمون سطح سه آزمون های غیرمخرب آمریکا به طور اختصار بیان شده و در ادامه به ارائه برخی نکات مهم و مفید برای متقاضیان آزمون سطح سه پرداخته شده است.

مراحل ثبت نام در آزمون سطح سه آزمون های غیرمخرب:

۱- گام اول:

بعد از ساختن حساب کاربری وارد وبگاه www.asnt.org شده و سپس وارد قسمت Get Certified یا Certification می شوید.

۲- گام دوم:

وارد قسمت Apply for an ASNT Certification شده و سپس به قسمت ASNT NDT Level III وارد می شوید.

۳- گام سوم:

وارد قسمت Start Your Application Process Here می شوید. در این قسمت نحوه ثبت نام در آزمون به طور تصویری آموزش داده شده است. همچنین مدارک مورد نیاز برای ثبت نام، هزینه آن و نیز انتخاب زبان لغت نامه ای که در هنگام آزمون در اختیار شما قرار می گیرد در این قسمت توضیح داده شده است. این موارد در گام های بعدی این مقاله نیز به طور کامل بیان می شوند.

۴- گام چهارم:

وارد قسمت Begin Application شده و گزینه Continue را انتخاب می کنید.

۵- گام پنجم:

وارد قسمت Contact Information شده و گزینه Continue را انتخاب می کنید (اطلاعات این قسمت هنگام ساختن حساب کاربری، از قبل گرفته شده است). سپس وارد قسمت Select Disciplines شده و در قسمت Method، روش آزمون سطح سه مورد نظرتان را انتخاب می کنید. به عنوان مثال روش آزمون VT را انتخاب کرده و سپس در قسمت Available Disciplines گزینه ADD را انتخاب می کنید.

۶- گام ششم:

در قسمت Education، ذکر سطح تحصیلات، رشته تحصیلی و دانشگاه محل تحصیل و در قسمت Experience، تاییدیه سابقه تجربی شما مورد نیاز است.



Signature Form

ASNT must have a record of your signature on file.

- Please sign your name in the box below.
- Use black or dark blue ink only.
- Keep your signature completely within the lines or you will be required to submit another signature.
- Save this document electronically to be uploaded during the application process.



THE AMERICAN SOCIETY
FOR NONDESTRUCTIVE TESTING®

Signature
ASNT NDT Level III

Signature

Please upload a current signature from the document provided. Signature should be in dark blue or black ink and be contained completely in the box.

☐ I've already uploaded this documentation in a previous step

Select files...

BACK
CONTINUE

[News](#) | [NDT Jobs](#) | [Code of Ethics](#) | [Advertise with ASNT](#) | [Privacy Policy](#)
 © Copyright 2016 The American Society for Nondestructive Testing. All rights reserved.

شکل ۱: فرم نمونه امضاء

۷- گام هفتم:

با توجه به فرم نمونه امضاء (Signature Form) که در وبگاه موجود است نمونه امضاء خود را بارگذاری می‌نمایید. (شکل ۱)

۸- گام هشتم:

با انتخاب گزینه I agree to the above policies and statements به قسمت بعد وارد می‌شوید.

۹- گام نهم:

در این مرحله باید هزینه مربوط به آزمون را پرداخت نمایید که به دو روش زیر قابل انجام است:

۱- به صورت الکترونیکی از طریق ویزا یا مستر کارت

۲- واریز به حساب ASNT از طریق صرافی

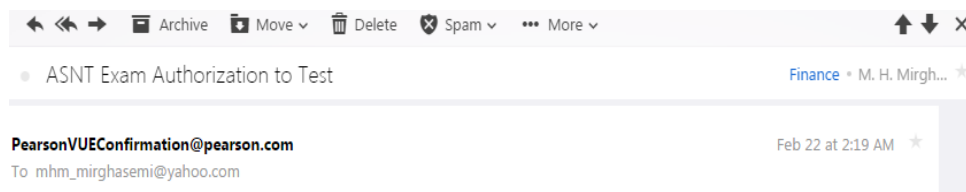
در این مرحله می‌توانید با انتخاب گزینه Expedite My Application-\$125.00 و پرداخت مبلغ ۱۲۵ دلار اضافه بر هزینه ثبت‌نام، بررسی سریع تقاضای ثبت‌نام خود را درخواست نمایید. با انتخاب این گزینه تقاضای ثبت‌نام شما تسریع یافته و در مدت دو روز بررسی می‌شود در حالیکه مدت زمان عادی بررسی پرونده‌ها بین ۲ تا ۴ هفته است.

۱۰- گام دهم:

پس از بررسی مستندات ارسالی شما توسط ASNT، ایمیلی از طرف PearsonVUE برای شما ارسال می‌شود که به منظور امکان ثبت‌نام در آزمون، به شما اجازه ساختن یک حساب کاربری در این وبگاه را می‌دهد. همانطور که در شکل ۲ مشهود است مدت یکسال برای دادن آزمون زمان خواهید داشت.

۱۱- گام یازدهم:

بعد از ایجاد حساب کاربری، وارد وبگاه www.pearsonvue.com شده و برای تعیین محل و ساعت آزمون ثبت‌نام می‌نمایید.



****PLEASE DO NOT RESPOND TO THIS E-MAIL****
ASNT Exam Authorization to Test

You have been authorized to take an ASNT exam at one of the Pearson VUE locations or an ASNT Authorized Exam Center. Information including scheduling instructions are shown below. If the details of your authorization do not seem correct, please contact ASNT immediately at 1-614-274-certifications@asnt.org.

Authorized Candidate: Mohammad Hossein Mirghasemi
ASNT ID: 188466
Authorization ID: 301844PT
Exam: PT - PT Method LIII
Authorized Dates: 21 February 2017 - 21 February 2018

INSTRUCTIONS FOR SCHEDULING YOUR EXAM

You may schedule your exam appointment online through the Pearson VUE website, or by phone by contacting Pearson VUE Customer Service www.pearsonvue.com/asnt for scheduling and contact information. After scheduling your exam, you will be sent a confirmation providing details about your appointment, including directions to the test center, instructions, and other pertinent information.

If you're receiving an updated Authorization to Test and you've already taken or passed your exam, please disregard it. It could be an update to your final transcripts have been received.



شکل ۲: نمونه ایمیل دریافتی از Pearson VUE

نکات مهم برای داشتن آزمونی موفق و بدون اضطراب:

- ۱- هر آزمون شامل ۱۵ دقیقه زمان اضافی به منظور ارائه توضیحات و آشنایی با نحوه آزمون CBT است. به عنوان مثال برای آزمون VT، مدت ۲ ساعت و ۱۵ دقیقه زمان داده می شود. دقت کنید که زمان مربوط به ارائه توضیحات آزمون، قابل ذخیره برای خود آزمون نیست و در صورت انتخاب گزینه انصراف از توضیحات آزمون، زمان شما ۲ ساعت محاسبه خواهد شد.
- ۲- پیشنهاد می شود که پرداخت هزینه ثبت نام حتما بصورت آنلاین انجام شود زیرا این کار موجب تسریع در فرایند ثبت نام می شود. همچنین در روش پرداخت از طریق مراجعه به صرافی، مواردی پیش آمده است که صرافی هزینه را دریافت و اعلام می کند آن را واریز کرده است در حالی که به دلایلی مانند تحریم و یا اشتباهات صرافی، مبلغ به حساب ASNT واریز نمی شود. در صورتی که ممکن است صرافی به شما فیش واریزی هم بدهد!
- ۳- در اغلب موارد نیازی به انتخاب گزینه پرداخت ۱۲۵ دلار هزینه اضافه برای تسریع در امور ثبت نام نیست در صورت کامل بودن مدارک و پرداخت الکترونیکی (آنلاین)، فرایند بررسی ثبت نام در مدت زمان کوتاهی انجام می شود. برای خود بنده که بدون این گزینه ثبت نام نمودم پس از ۳ روز کاری، مراحل ثبت نام انجام شد و ۲ الی ۴ هفته به طول نینجامید.
- ۴- از ابتدای سال ۲۰۱۷ میلادی شرط داشتن مدرک سطح ۲ (Level II) برای گذراندن آزمون سطح ۳ حذف شده است و لذا صرفا با داشتن تجربه کاری می توانید برای آزمون ثبت نام نمایید.
- ۵- در آزمون CBT برخلاف آزمون Paper Based، سوالات مربوط به Procedure در اول آزمون و به صورت پشت سرهم نیست و در کل آزمون پخش شده است. ممکن است سوال ۹۰ شما از Procedure باشد.
- ۶- وقتی به سوالات Procedure برسید، سیستم به صورت اتوماتیک دفترچه Procedure را باز می کند و به صورت نصف صفحه سوال و نصف صفحه Procedure نمایش داده می شود که البته قابل تنظیم است.
- ۷- هر سوال در یک صفحه نمایش داده می شود که شما در مطلوب ترین حالت برای آزمونی مانند VT، لازم است حداقل ۹۰ بار کلیک انجام دهید.
- ۸- در صفحه نمایش گزینه ای است که تعداد کل سوالات پاسخ داده شده توسط شما و سوالات بدون پاسخ را به شما نشان می دهد. به عنوان مثال برای آزمون VT تمام ۹۰ سوال آزمون در یک صفحه برای شما نمایش داده شده و سوالات بدون پاسخ نیز مشخص شده اند. برای پاسخ به این سوالات کافی است بر روی آنها کلیک نمایید تا سوال مورد نظر برای شما نمایش داده

- شود. به عبارت دیگر برای جواب دادن به سوالی که قبلا به آن پاسخ نداده‌اید لازم نیست بر روی تک تک سوالات کلیک نمایید تا به آن سوال برسید چرا که با این کار زمان شما به سرعت از بین خواهد رفت. برای مثال برای این که از سوال شماره ۲۰ به سوال شماره ۶۰ رفته و به آن پاسخ دهید کافی است از این پنل استفاده نمایید.
- ۹- زمان آزمون به صورت معکوس در صفحه نمایش موجود بوده و زمان باقیمانده شمار را نشان می‌دهد. در صورت تمایل برای جلوگیری از اضطراب می‌توانید آن را از صفحه نمایش حذف نمایید.
- ۱۰- وقتی زمان آزمون رو به اتمام است سیستم به شما اطلاع می‌دهد و سپس با اتمام زمان آزمون، صفحه نمایش بسته می‌شود و حتی یک ثانیه زمان اضافه نخواهید داشت. مدیریت زمان بسیار ضروری است.
- ۱۱- نتیجه آزمون بلافاصله بعد از اتمام آزمون مشخص می‌شود بدین معنا که وقتی از پشت سیستم برخوردار هستید و از اتاق آزمون خارج می‌شوید نتیجه آزمون به شما داده می‌شود.
- ۱۲- قبل از آزمون حتما دقت داشته باشید که در محل آزمون، یک تخته وایت برد کوچک و یک عدد مائیک به شما داده شود زیرا در موقع آزمون نیاز به نوشتن خواهید داشت.
- ۱۳- شما فقط در صورت ثبت نام در ASNT و تکمیل مراحل ثبت نام آزمون و دریافت ایمیل از PearsonVUE امکان ساختن حساب کاربری خواهید داشت و تا قبل از انجام این مراحل امکان ایجاد حساب کاربری به شما داده نمی‌شود. بعد از ایجاد حساب کاربری می‌توانید لیست کشورها، محل و زمان آزمون را دیده و تصمیم بگیرید.
- ۱۴- PearsonVUE در اکثر نقاط دنیا شعبه دارد. به عنوان مثال در حال حاضر در کشورهای اطراف ما می‌توان به عراق، ترکیه، باکو، افغانستان، امارات، قطر، ارمنستان و ... اشاره نمود.
- ۱۵- هزینه آزمون‌های با مدت زمان ۲ ساعت برای اعضای انجمن ASNT برابر ۴۷۰ دلار آمریکا و هزینه آزمون‌های با مدت زمان ۴ ساعت برای اعضا برابر ۴۹۰ دلار آمریکا است که نسبت به آزمون‌های کتبی سابق ارزان تر شده است.
- ۱۶- بعد از وارد شدن به وبگاه www.pearsonvue.com می‌توانید محل و زمان آزمون را انتخاب نمایید. زمان آزمون از ساعت ۸ صبح تا ۲۰ شب قابل انتخاب است. شما می‌توانید در صورت خالی بودن ظرفیت محل آزمون، حتی فردای روز ثبت نام را نیز برای آزمون انتخاب نمایید. معمولا برای استانبول کمی ترافیک زیاد است ولی برای سایر محل‌های آزمون ازدحام خاصی وجود ندارد. همچنین شما می‌توانید ابتدا به کشور مقصد بروید و سپس فردای آن روز را برای برگزاری آزمون خود انتخاب نمایید.
- ۱۷- قبل از انتخاب محل آزمون حتما وبگاه مرکز یا شرکتی که در آنجا آزمون خواهید داد را بررسی کرده و آدرس محل و کیفیت مرکز آزمون را بسنجید. همچنین قبل از رفتن به محل آزمون حتما تماس برقرار نمایید زیرا ممکن است در ساعات خاصی، به استراحت و ناهار بروند و شما با درب بسته مواجه شوید.
- ۱۸- سیستم انتخاب محل آزمون در وبگاه PearsonVUE دارای اشکالات جزئی است. ممکن است آدرس محلی که برای برگزاری آزمون انتخاب کرده‌اید بر روی نقشه به اشتباه درج شده باشد. مثلا بنده محلی را برای برگزاری آزمون انتخاب کرده و درصدد رزرو هتل در نزدیکی محل آزمون بودم تا اینکه پس از تماس با محل آزمون، متوجه شدم که محل مورد نظر در شهر دیگری قرار دارد. البته این موضوع را به PearsonVUE و ASNT اطلاع دادم تا برطرف نمایند. در هر صورت بررسی و کسب اطمینان از محل آزمون ضروری است.
- ۱۹- حتما ۲ ساعت قبل از برگزاری آزمون در محل مربوطه حضور داشته باشید تا از اضطراب دیر رسیدن در امان باشید.
- ۲۰- هنگام مراجعه به محل آزمون، کارت آزمون و گذرنامه خود را به همراه داشته باشید و از بردن هرگونه وسیله اضافی مانند گوشی همراه، ماشین حساب، خودکار و ... خودداری نمایید. تمام وسایل اضافی همراه خود، حتی یک کاغذ کوچک را باید قبل از آزمون تحویل دهید.
- ۲۱- اگر فردی هنوز در انجمن ASNT عضویت ندارد و یا تاریخ عضویت ایشان تمام شده است، توصیه می‌شود در گام نهم ثبت نام، قسمت مربوط به عضویت را علامت بزنند تا ضمن صرفه جویی بیش از ۲۰۰ دلار در هزینه آزمون، از امتیاز عضویت در ASNT هنگام تمدید گواهینامه برخوردار باشد.



پلاسکو را فراموش نکنیم

کج جلال جواهری پور

کارشناس سطح سه NDT، هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران
jjpour@gmail.com

ساختمان پلاسکو با تخمین عمر مفید ۲۰۰ سال که به عنوان اولین آسمان خراش مدرن خاورمیانه در ضلع شمال شرقی چهار راه استانبول تهران و با کاربری تجاری در ۱۷ طبقه (یک طبقه زیرزمین، یک طبقه همکف و ۱۵ طبقه روی پیلوت در دو بخش شمالی و جنوبی) و با سازه اسکلت فلزی در زیربنای تقریبی ۲۹ هزار متر مربع و در سال ۱۳۴۱ افتتاح گردیده بود در اولین ساعات کاری روز سی ام دی ماه ۱۳۹۵ دچار حریق شد. این حریق در ساعت ۷:۵۸ دقیقه صبح توسط یکی از شهروندان به مرکز آتش نشانی تهران اعلام گردید. اولین تیم آتش نشان سریعاً در محل حاضر شدند. حدود سه و نیم ساعت بعد تلاش ها برای مهار آتش به ثمرنرسید و ساختمان فرو ریخت و سرانجام پس از نه روز آواربرداری از محل ساختمان پلاسکو این فاجعه ملی و عزای عمومی با مرگ ۱۶ آتش نشان و شش شهروند عادی پایان یافت.

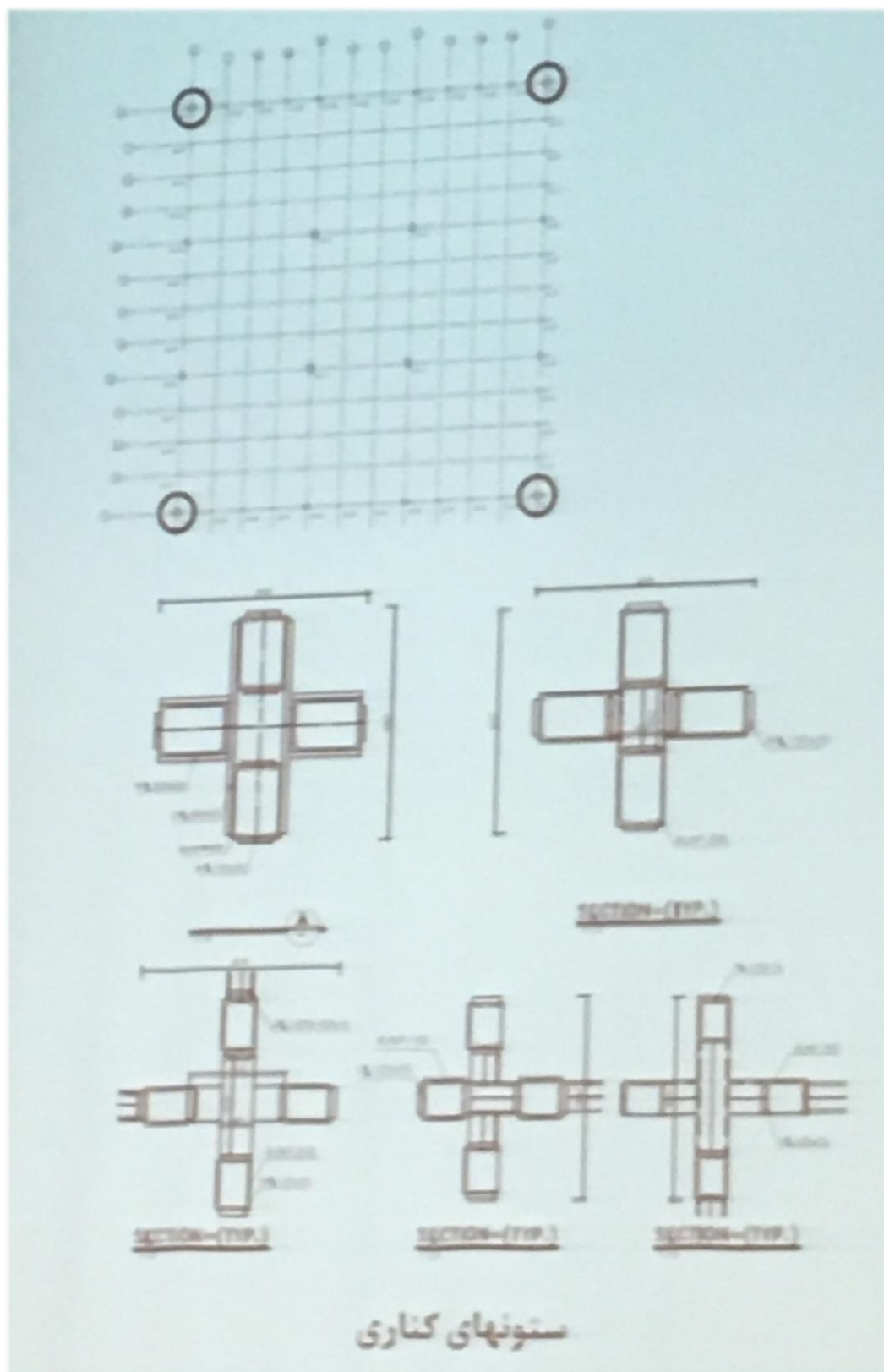
در نهم بهمن ماه بنا به دستور رئیس جمهور "هیات ویژه گزارش ملی حادثه ساختمان پلاسکو" به ریاست دکتر محمد تقی احمدی تشکیل گردید و شانزدهم فروردین ماه این هیات گزارش خود را تقدیم رئیس جمهور نمود.

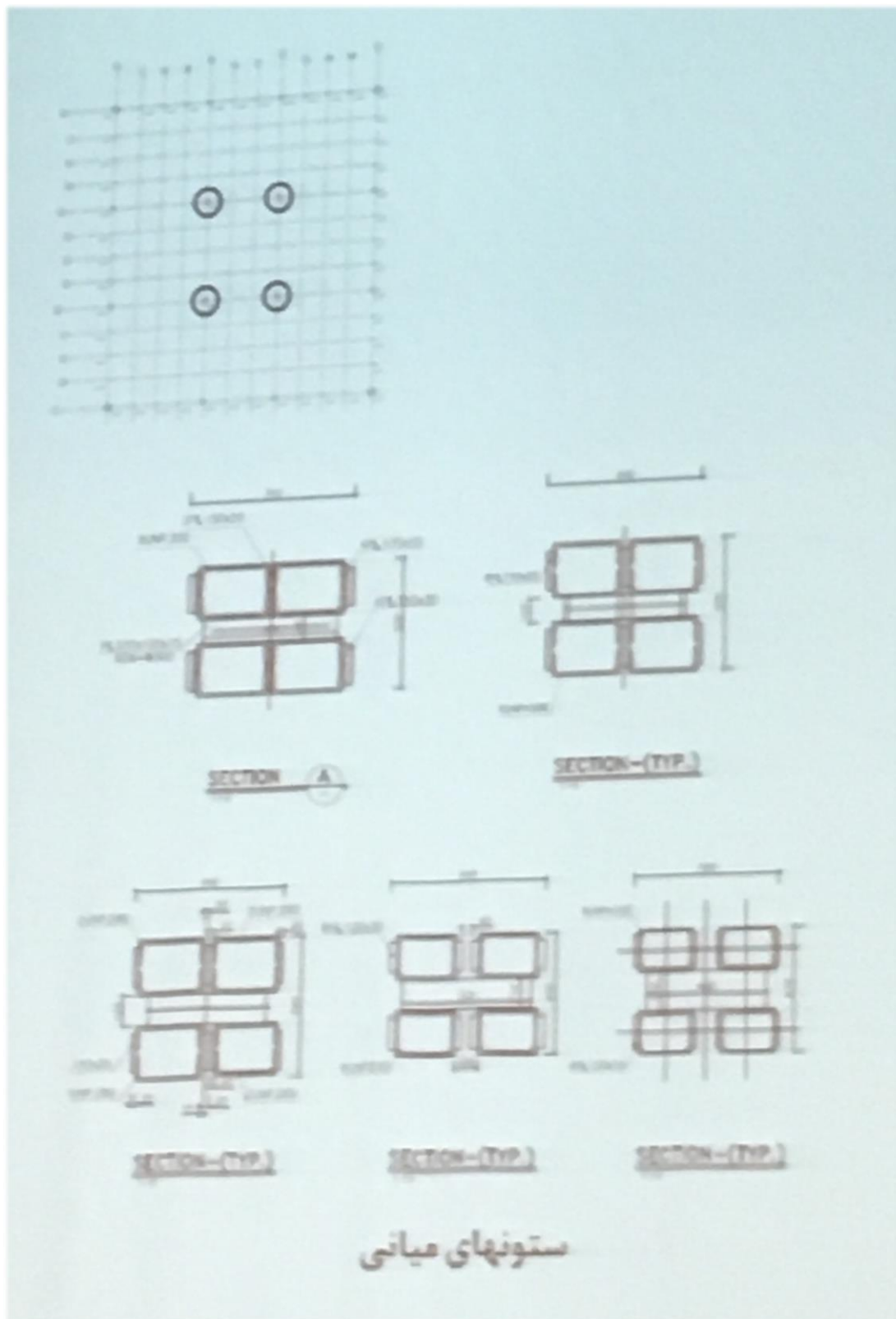
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهر سازی با همکاری دانشگاه تربیت مدرس به منظور تنویر افکار عمومی و پیشگیری از حوادث مشابه، سلسله نشست های تخصصی حادثه ساختمان پلاسکو را در دستور کار خود قرار داده است که اولین نشست تخصصی بررسی حادثه ساختمان پلاسکو با شعار "پلاسکو را فراموش نکنیم" در بعد از ظهر روز شنبه دوم اردیبهشت ماه ۹۶ و به مدت حدود ۵ ساعت در سالن پاکدامن مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهر سازی برگزار گردید. به گزارش خبرنگار شورای فن آوری انجمن علمی آزمون های غیر مخرب ایران، مسائل مختلف حادثه ساختمان پلاسکو، از قبیل زمان و محل دقیق شروع آتش سوزی، نحوه گسترش آتش سوزی، وقایع متعاقب آن در این نشست مورد بررسی قرار گرفت و چندین مدل علمی با استفاده از نرم افزار های مختلف و با توجه به اطلاعات موجود و فرضیات مختلف ارائه گردید. بنا به نتایج ارائه شده کارشناسان، آتش سوزی از بخش شمال غربی ساختمان واقع در طبقه دهم شروع گردیده و منجر به ریزش ساختمان در سه مرحله شده است. در مرحله اول و حدود سه ساعت پس از شروع آتش سوزی، بخشی از سقف شمال غربی طبقه دهم فرو می ریزد. مرحله دوم خرابی حدود ده دقیقه بعد و با فرو ریزش سقف های طبقات بالاتر در همان ناحیه و متعاقب آن ریزش سقف طبقات پائین تر به

علت ضربه و اضافه بار طبقات بالا اتفاق می افتد. مرحله سوم ریزش ساختمان حدود نیم ساعت پس از مرحله اول اتفاق می افتد که با ریزش سقف جنوب شرقی طبقه یازدهم آغاز و ریزش آن به طبقات پائین تر منجر به ایجاد گشتاور و در نهایت فرو ریزش کلی ساختمان می شود. امیدواریم بتوانیم مشروح گزارش این نشست و بررسی تحلیلی آن را در خبرنامه های بعدی و یا نشریه علمی ترویجی انجمن ارائه نماییم.

لازم به ذکر است، اعضای هیئت ویژه گزارش ملی حادثه پلاسکو متشکل از آقایان احمدی (دکتر محمد تقی)، آقا کوچک (دکتر علی اکبر)، بختیاری (دکتر سعید)، رجبی (مهندس فرج الله)، مهندس شاپور طاحونی، طهماسبی آشتیانی (نصرالله)، فاضلی (دکتر محمد)، مرتضوی (دکتر سید باقر)، میر قادری (دکتر سید رسول)، هداوند (دکتر مهدی) می باشد.







تشخیص عیوب ریخته‌گری در چدن داکتیل با روش غیرمخرب رزونانس صوتی

هومن دژنابادی^{۱*}، حامد دژنابادی^۱، ایمان ابراهیمی^۲

۱- شرکت رادروش ۲- شرکت فولادین ذوب آمل

*Hooman@EddySonix.com

چکیده

تست رزونانس صوتی^۱ یک آزمون غیرمخرب بر مبنای آنالیز مودال (پاسخ ارتعاشی) قطعات می‌باشد. در این روش ویژگی‌های دینامیکی قطعات شامل فرکانس‌های طبیعی و ضرایب میرایی تحلیل می‌شوند. از طرفی این ویژگی‌ها با خواص مکانیکی (مدول الاستیک) و ابعاد هندسی ارتباط مستقیم دارند. وجود عیب در یک قطعه منجر به تغییر خواص مکانیکی (موضعی یا کلی) و در نتیجه کاهش برخی از فرکانس‌های طبیعی و افزایش ضرایب میرایی می‌شود. با بررسی تغییرات پارامترهای فوق، و مقایسه با نمونه‌های سالم، می‌توان قطعات معیوب را شناسایی کرد. در این تحقیق قطعات سگدست پژو بررسی شدند: ۵۰۰ نمونه سالم که از شیفت‌های مختلف تولید طی ۲ ماه جمع آوری شده بودند، ۵۰ نمونه با ندولاریته پایین ۷۰٪ الی ۸۵٪، ۵۰ نمونه با ندولاریته خیلی پایین ۳۰٪ الی ۶۰٪، و ۵۶ نمونه با عیوب دیگر ریخته‌گری از قبیل سردجوشی، حفرات انقباضی، انحرافات ماهیچه و قالب. کلیه نمونه‌ها با روش اولتراسونیک تست شده و ۱۰٪ از قطعات نیز متالوگرافی شدند. آزمون رزونانس صوتی قطعات با سیستم EddySonix[®] انجام شد. ابتدا ۲۰۰ نمونه سالم به عنوان نمونه‌های مرجع به سیستم معرفی شدند و ۱۷ مود ارتعاشی هر قطعه آنالیز شدند. مودها با روش FEM در برنامه ANSYS نیز مطابقت داده شدند. با توجه به تغییرات پروسه تولید، بویژه در ابعاد و وزن قطعات، ابتدا مدل ریاضی متغیرهای ناخواسته استخراج شده و سپس اثر آنها خنثی یا جبران‌سازی شدند. برای تفکیک قطعات سالم از معیوب، معیارهای مختلف یک یا چندمتغیره تعریف شدند. با این روش ۱۰۰٪ قطعات معیوب قابل تشخیص و جداسازی بودند.

واژگان کلیدی: تست رزونانس صوتی، عیوب ریخته‌گری، چدن داکتیل

مقدمه

تست رزونانس صوتی یک آزمون غیرمخرب بر مبنای آنالیز مودال (پاسخ ارتعاشی) قطعات می‌باشد. در این روش، پس از تحریک مکانیکی قطعات، ویژگی‌های دینامیکی آنها شامل فرکانس‌های طبیعی، ضرایب میرایی و شکل مودها محاسبه و تحلیل می‌شوند. هر جسم مودهای ارتعاشی خاص خود را دارد. هر مود بیانگر یک موج ایستا یا رزونانس در یک فرکانس طبیعی است. مودهای ارتعاشی هر جسم منحصر به فرد و همچون اثر انگشت آن می‌باشد. پس از تحریک مکانیکی قطعه با ضربه یا جاروب فرکانس، مودها تحریک شده و رفتار دینامیکی یا تابع تبدیل فرکانسی آن جسم مشخص می‌شود. در پاسخ به ضربه، تمام مودهای جسم تحریک شده و هر مود در فرکانس ویژه‌ای به صدا یا ارتعاش در می‌آید. هر مود، یک درجه آزادی ارتعاش جسم است، که به صورت سینوس میرا در فرکانس

ویژه خود ارتعاش می‌کند. ارتعاش کلی جسم، برآیند یا حاصل جمع ارتعاش همه مودها است. مدل ساده یک مود را می‌توان با ارتعاش آزاد جرم و فنر بیان کرد. فرکانس طبیعی این سیستم برابر است با $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{k/m}$ که در مدل ارتعاش سازه‌ای، k بیانگر خواص مکانیکی (مدول یانگ و خصوصیات الاستیک)، و m بیانگر چگالی و ابعاد هندسی قطعه می‌باشد. در عمل یک جسم تعداد بیشماری فرکانس طبیعی یا مود دارد، که تابعی از خصوصیات الاستیک و ابعاد هندسی جسم می‌باشند. فرکانس‌های طبیعی در پاسخ فرکانسی به صورت قله ظاهر می‌شوند. مقدار این فرکانس‌ها مستقل از محل ضربه، شدت ضربه، یا موقعیت حسگر (شتاب‌سنج، میکروفون یا پیزو) می‌باشند (البته دامنه یا انرژی هر مود تغییر می‌کند، اما مقدار فرکانس هر مود همیشه ثابت است). بصورت تئوری و با روش اجزاء محدود^۲ نیز می‌توان شکل مودها و فرکانس آنها را محاسبه کرد، که این نتایج با روش تجربی (ضربه

^۱ Acoustic Resonance Testing

^۲ Finite Element Modeling (FEM)

حذف کرده، و فرمول یا رابطه بین عیوب و تغییرات پارامترهای مودال را ارائه می‌دهند.

در این تحقیق به یکی از کاربردهای تست رزونانس صوتی در تشخیص عیوب ریخته‌گری در چدن داکتیل اشاره شده است. امتیاز این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه [۲، ۳، ۴] در بکار بردن معیارهای چند متغیره برای جبران سازی تغییرات پروسه تولید و حساسیت بسیار بالاتر در تشخیص عیوب ریخته‌گری می‌باشد.

بیشترین کاربرد چدن داکتیل در قطعات ایمنی خودرو، بویژه سیستم تعلیق و ترمز، می‌باشد. با توجه به رشد روزافزون تولیدات خودرو و رقابت در ارتقاء کیفیت و کاهش قیمت‌ها، روش رزونانس صوتی پتانسیل بالایی در تست ۱۰۰٪ قطعات ایمنی دارد.

ابزار و روش تحقیق

- سیستم تست رزونانس صوتی
آزمون و تحلیل رزونانس صوتی قطعات با سیستم EddySonix® انجام گرفت. دستگاه مکانیکی شامل فیکسچر، تکیه گاه‌ها، چکش، میکروفون، داماسنج، و سنسورهای موقعیت قطعه می‌باشد که در محفظه ایزوله صوتی قرار می‌گیرد (شکل ۱). پس از قرار دادن قطعه روی فیکسچر، قطعه توسط جک روی تکیه گاه‌های لاستیکی قرار می‌گیرد. تکیه‌گاه‌ها از جنس لاستیک مقاوم در برابر سایش با هسته چدنی می‌باشند، و حداقل سطح تماس با قطعه را دارند. به منظور حداقل سازی میرایی مودهای مورد نظر، نقاط نشست قطعه و محل ضربه بهینه سازی شده است. تحریک مکانیکی قطعه توسط ۲ چکش خودکار اینرسی (جداگانه برای قطعات اکسل چپ و راست) انجام می‌گیرد. جرم آزاد چکش و سختی سر آن تعیین کننده پهنای فرکانسی تحریک شده در قطعه می‌باشد. ضبط ارتعاشات توسط ۲ میکروفون با پهنای باند 100kHz انجام می‌گیرد. دستگاه قادر به پردازش ارتعاشات و محاسبه پاسخ فرکانسی تا 100kHz می‌باشد (فرکانس نمونه برداری 200kHz است).

مکانیکی) همخوانی دارند. همانطور که ذکر شد، فرکانس‌های طبیعی با خواص مکانیکی (مدول الاستیک) و ابعاد هندسی ارتباط دارند. بنابراین تغییر در خواص مکانیکی و هندسی قطعه خود را به صورت تغییر در پارامترهای مودال منعکس کرده و بررسی این تغییرات، نقطه شروع یافتن عیوب در قطعات می‌باشد. در اکثر موارد، وجود عیب یا خرابی در یک قطعه منجر به کاهش موضعی یا کلی k (مدول الاستیک) می‌شود، و طبق فرمول فوق فرکانس‌های طبیعی کاهش می‌یابند. میزان کاهش یا شیف‌ت فرکانس f با استحکام شکست یا خستگی رابطه مستقیم دارد. این همبستگی شدید اساس تست غیر مخرب با روش رزونانس صوتی می‌باشد. با بررسی تغییرات فرکانس‌های طبیعی، و مقایسه با نمونه‌های سالم، می‌توان قطعات معیوب را شناسایی کرد. این روش در سال ۱۹۹۸ مورد تایید اداره استاندارد ASTM قرار گرفت [۱]. کاربردهای روش رزونانس صوتی مطابق با استاندارد ASTM-E2001 عبارتند از تست و عیب‌یابی ترک، ناخالصی، حفره، تخلخل، اکسید، سردجوشی، میزان کرویت^۱، عملیات حرارتی، تغییرات سختی، چگالی، حذف یا اشتباه شدن یک مرحله از فرایند تولید، ابعاد و اندازه.

در عمل و کاربرد صنعتی، معیار کاهش فرکانس به تنهایی برای تفکیک قطعات معیوب کافی نمی‌باشد، زیرا در برخی از موارد فرکانس‌های قطعات سالم و خراب همپوشانی دارند. این همپوشانی به علت تغییرات پروسه تولید در ابعاد هندسی، وزن و سختی می‌باشد. اگرچه این تغییرات در محدوده مجاز تعریف شده برای تولید قطعه می‌باشند، اثر این تغییرات روی فرکانس‌های طبیعی بیش از اثر عیب یا خرابی می‌تواند باشد. به عبارتی حساسیت فرکانس‌های طبیعی به تغییرات روند تولید بیشتر از حساسیت آنها به عیوب واقعی می‌باشد. بنابراین معیارهای یک متغیره (هر فرکانس به تنهایی) برای تشخیص عیوب کافی نیستند، و باید از معیارهای چند متغیره و آماری استفاده کرد. هدف اصلی مدل‌های چند متغیره، الگوشناسی روند تولید و جبران سازی یا خنثی سازی تغییرات روند تولید می‌باشد. به عبارت دیگر، این مدل‌ها اثر متغیرهای ناخواسته را

^۱ Nodularity



شکل ۱- سیستم رزونانس صوتی EddySonix® و دستگاه مکانیکی تست سگدست

قبیل سردجوشی، حفرات انقباضی، انحرافات ماهیچه و قالب بودند. نمونه‌های سالم از شیفت‌های مختلف تولید طی ۲ ماه جمع‌آوری شده بودند. سپس این نمونه‌ها با سیستم رزونانس صوتی تست شده و برای یادگیری به پایگاه داده سیستم معرفی شدند (شکل ۲).



شکل ۲- نمونه‌های شاهد سگدست پژو برای معرفی به پایگاه داده سیستم رزونانس صوتی

تجزیه و تحلیل داده‌ها

- آنالیز مودال عددی با مدل المان محدود در محیط نرم‌افزار ANSYS مدل هندسی قطعه مش‌بندی شده، مشخصات مکانیکی و جنس چدن داکتیل تعریف شدند. سپس تحلیل مودال انجام شده و شکل مودها و

- نمونه‌های شاهد

از آنجا که مدل‌های الگوشناسی و جبران‌سازی تغییرات تولید بر مبنای معیارهای آماری می‌باشند، نیاز به نمونه‌های شاهد یا مرجع داریم. نمونه‌های شاهد، قطعات سالم (یا معیوبی) هستند که با روش‌های دیگری در آزمایشگاه از صحت (یا خرابی) آنها اطمینان حاصل کرده‌ایم. نمونه‌های شاهد یک گروه باید از قطعات یک خط تولید مشترک انتخاب شوند و همگی پروسه‌های تولید یکسانی را گذرانده باشند. از طرفی، نمونه‌های شاهد باید تغییرات پروسه تولید را دربرگیرند، بنابراین این قطعات باید از شیفت‌های مختلف تولید طی چند ماه انتخاب شوند. لازم به ذکر است که تست ادی‌کرنٹ^۱ (سختی‌سنجی و ساختار) نیز مشابه تست رزونانس صوتی بر مبنای نمونه‌های شاهد عمل کرده، و الزامات فوق را برای تهیه نمونه‌های شاهد دارد.

در این تحقیق نمونه‌های شاهد با روش‌های دیگر شامل بازرسی چشمی^۲، اولتراسونیک، ذرات مغناطیسی^۳، متالوگرافی، و سختی‌سنجی صحه‌گذاری شدند. این نمونه‌ها شامل ۵۰۰ نمونه سالم، ۵۰ نمونه با ندولاریته پایین ۷۰٪ الی ۸۵٪، ۵۰ نمونه با ندولاریته خیلی پایین ۳۰٪ الی ۶۰٪، و ۵۶ نمونه با عیوب دیگر ریخته‌گری از

^۳ Magnetic Particle (MP)

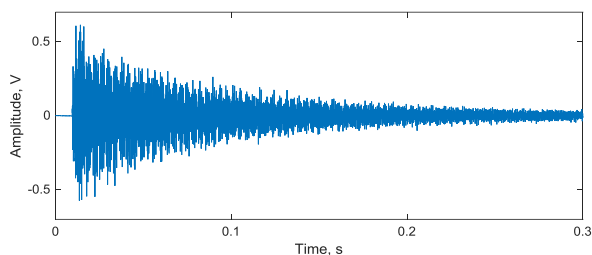
^۱ Eddy Current Testing

^۲ Visual Testing (VT)

ضربه یک نمونه را نشان می‌دهد. این سیگنال را می‌توان با حاصل جمع چند سینوس میرا مدل کرد:

$$y(t) = \sum_i A_i e^{-\sigma_i t} \sin(2\pi F_i t + \varphi_i) \quad (1)$$

در این رابطه i شماره مود، A_i دامنه، σ_i میرایی، F_i فرکانس، و φ_i فاز مود i ام می‌باشند.



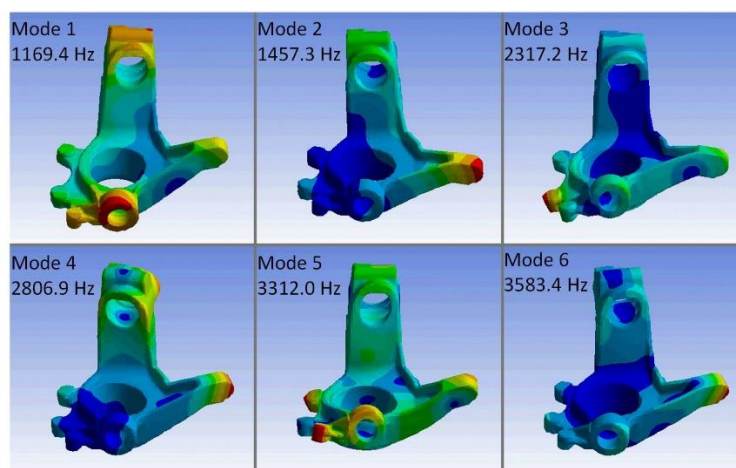
شکل ۳- پاسخ ضربه یک قطعه سگدست

فرکانس‌های طبیعی محاسبه شدند. شکل ۴ مودهای ۱ تا ۶ قطعه را نشان می‌دهد. پیچیدگی هندسی یک قطعه تعیین کننده تعداد مودهای آن می‌باشد. بعنوان مثال یک میله استوانه‌ای مودهای کمتر و ساده‌تری از یک قطعه پیچیده دارد.

در طراحی و بهینه‌سازی فیکسچر، خصوصاً محل ضربه و تکیه‌گاه‌ها، از شکل مودها و نقاط گره استفاده گردید. پس از مطابقت دادن نتایج عددی با نتایج تجربی، مودهای مناسب برای تشخیص عیوب موضعی انتخاب شدند.

- آنالیز مودال تجربی

پس از اعمال ضربه به قطعه و ضبط پاسخ ارتعاشی آن، پارامترهای مودال شامل فرکانس‌های طبیعی و ضرایب میرایی هر مود محاسبه شدند. شکل ۳ سیگنال پاسخ



شکل ۴- شکل مودها و فرکانس‌های طبیعی ۱ تا ۶ قطعه سگدست

در این تحقیق فقط از اطلاعات فرکانس‌ها (F_i) برای تفکیک قطعات سالم از معیوب استفاده شد، و اطلاعات میرایی (σ_i) مورد استفاده قرار نگرفت. البته اطلاعات میرایی در کاربردهای دیگر، خصوصاً ترک‌یابی، استفاده می‌گردید که در این موارد فیکسچر طوری طراحی می‌شود که عامل میرایی خارجی در اثر تکیه‌گاه‌ها حداقل باشد.

در این تحقیق مودهای ۱ تا ۱۷ قطعات محاسبه شدند. نتایج مودال با روش عددی و تجربی (برای یکی از قطعات) در

جدول ۱ آورده شده است. نتایج عددی و تجربی همخوانی دارند، البته اختلاف جزئی آنها به علت تغییرات پروسه تولید و اختلاف قالب با نقشه CAD می‌باشد.

جدول ۱- پارامترهای مودال استخراج شده با روش عددی (FEM)، و تجربی برای یک قطعه

شماره مود	فرکانس (مدل FEM)، Hz	فرکانس (تست تجربی)، Hz	میرایی (تست تجربی)، 1/s
۱	1169.4	1112.2	12.6
۲	1457.3	1459.3	11.6
۳	2317.2	2229.9	12.3
۴	2806.9	2785.0	16.8
۵	3312.0	3239.8	14.0
۶	3583.4	3537.6	13.5
۷	3833.1	3680.0	14.6
۸	4177.9	4147.3	15.9
۹	4684.3	4802.3	15.0
۱۰	4942.9	4888.3	15.1
۱۱	5113.0	5285.3	15.8
۱۲	5251.9	5370.9	15.6
۱۳	5903.5	6098.8	14.9
۱۴	6044.5	6347.9	15.3
۱۵	7139.5	7234.9	16.8
۱۶	7588.3	7860.3	16.9
۱۷	8054.9	8258.0	18.7

- جبران سازی دما

فرکانس های طبیعی به دمای قطعه حساس هستند. افزایش دما باعث کاهش کلیه فرکانس ها بصورت خطی می شود. در قطعات چدنی فرکانس ها تقریباً 0.015% به ازای هر درجه سانتیگراد تغییر می کنند. بنابراین اصلاح فرکانس ها با رابطه (۲) بیان می شود.

$$F_c = F_m(1 - (T_c - T_m)/C) \quad (2)$$

در این رابطه F_c فرکانس اصلاح شده در دمای مرجع T_c (در این پروژه ۲۵ درجه سانتیگراد)، F_m فرکانس اندازه گیری شده، T_m دمای اندازه گیری شده، و C ضریب ثابت وابسته به جنس قطعه می باشد. دستگاه EddySonix® دارای یک دماسنج مادون قرمز برای اندازه گیری دمای قطعه و اصلاح فرکانس ها مطابق فرمول (۲) می باشد. فرکانس های کلیه قطعات پس از اندازه گیری اصلاح دمایی شدند.

- تحلیل آماری داده ها

محیط برنامه EddySonix® معیارها و روش های مختلفی برای مدل سازی ریاضی و آماری نمونه های شاهد در اختیار قرار می دهد. این معیارها در جدول ۲ لیست شده اند. هر یک از معیارها را می توان جداگانه فعال یا غیر فعال کرد. ترتیب لیست شدن معیارها از ساده به پیچیده می باشد. بدین معنی که اگر معیارهای ساده تر برای جداسازی قطعات معیوب کافی هستند، نیازی به فعال سازی معیارهای پیچیده تر نمی باشد. در مرحله آموزش سیستم، برای هر معیار حد مجاز بالا و پایین^۱ محاسبه می شود. این حدود از روی توزیع آماری نمونه های شاهد بدست می آیند. سپس در مرحله تست یک قطعه، معیارها محاسبه شده و با حد مجاز بالا و پایین مقایسه می شوند. اگر همه معیارها در محدوده مجاز قرار گیرند، قطعه مورد تایید است (Pass)، در غیر این صورت قطعه معیوب گزارش می شود (Fail).

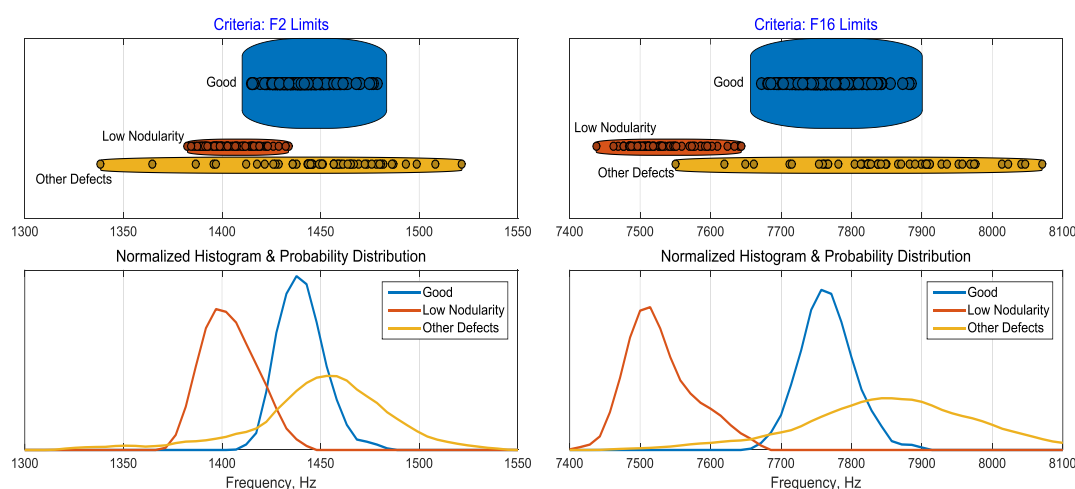
در این تحقیق نمونه ها به ۳ گروه (A) سالم، (B) میزان کرویّت پایین، و (C) بقیه عیوب ریخته گری تقسیم شدند. ابتدا معیار یک متغیره F_i برای تفکیک پذیری نمونه های معیوب چک شدند. بعنوان مثال، توزیع آماری و محدوده

^۱ Acceptance Range

بالا و پایین فرکانس‌های F_2 و F_{16} در شکل ۵ آورده شده است. اگر چه فرکانس F_{16} به تنهایی قادر به تفکیک نمونه‌های کرویت پایین (B) می باشد، اما در هر دو فرکانس نمونه‌های گروه C و A همپوشانی دارند.

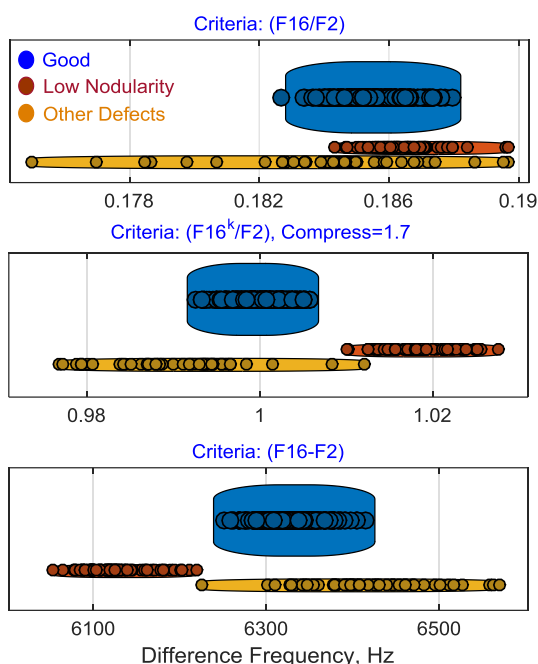
جدول ۲- معیارهای مختلف ریاضی و آماری برنامه EddySonic برای تشخیص قطعات معیوب. اندیس‌های i و j بیانگر شماره مود هستند.

ردیف	توضیح	ویژگی	معیار
۱	فرکانس (چک کردن حد مجاز بالا و پایین هر فرکانس)	ساده و یک متغیره	F_i
۲	نسبت دو فرکانس	مستقل از دما، چگالی و دیگر خواص فیزیکی کلی قطعه	F_i/F_j
۳	رابطه توانی دو فرکانس (k با رگرسیون بدست می‌آید)	جبران سازی ساده دو متغیره. خنثی سازی اثر یک فرکانس از روی فرکانس دیگر	F_i^k/F_j
۴	تفاضل دو فرکانس	حساس به عیب‌های موضعی	$F_i - F_j$
۵	تحلیل مؤلفه اصلی PCA	تحلیل چند متغیره، تفکیک فاکتورهای اثر گذار از یکدیگر، کاهش ابعاد متغیرهای همبسته	PC_i
۶	تخمین یک فرکانس از روی فرکانس‌های دیگر با روش رگرسیون چند متغیره، و چک کردن خطای تخمین.	بسیار قوی در خنثی کردن تغییرات پروسه تولید. بدون نیاز به معرفی نمونه‌های شاهد معیوب.	$\hat{F}_k = \sum_i a_i F_i$ $E = \hat{F}_k - F_k$
۷	طبقه بندی (Classification) با ۲ روش رگرسیون لجستیک یا شبکه عصبی	بسیار قوی در تشخیص نمونه‌های معیوب. احتیاج به معرفی نمونه‌های شاهد معیوب دارد.	Logistic Regression Neural Network
۸	خوشه بندی (Clustering)	دسته بندی اولیه نمونه‌های سالم که از قالب‌های متفاوت تولید شده‌اند.	Gaussian Mixture
۹	میرایی	استفاده در ترکیابی. نیاز به طراحی خاص تکیه‌گاه‌ها برای حداقل سازی میرایی خارجی دارد.	σ_i
۱۰	تجزیه فرکانس (تفکیک ۲ قطب مجاور یا مساوی هم)	استفاده در ترکیابی و تست تقارن محوری. نیاز به حداقل ۲ ضربه متعامد یا چرخاندن قطعه می‌باشد.	F_i Split



شکل ۵- توزیع آماری معیارهای F_2 و F_{16} برای کلیه قطعات

رابطه توانی، الگوی پراکندگی نمونه‌های سالم را بهتر مدل کرده و قدرت تفکیک‌پذیری بیشتری دارد، به عبارت دیگر لگاریتم فرکانس‌ها رابطه خطی با تغییرات پروسه تولید (بویژه وزن و ابعاد) دارند. در انتخاب فرکانس‌ها باید دقت کرد که یک مود با تغییرات ابعادی همبستگی بالا داشته باشد (F_2) و مود دیگر به عیوب واقعی حساس باشد (F_{16}).

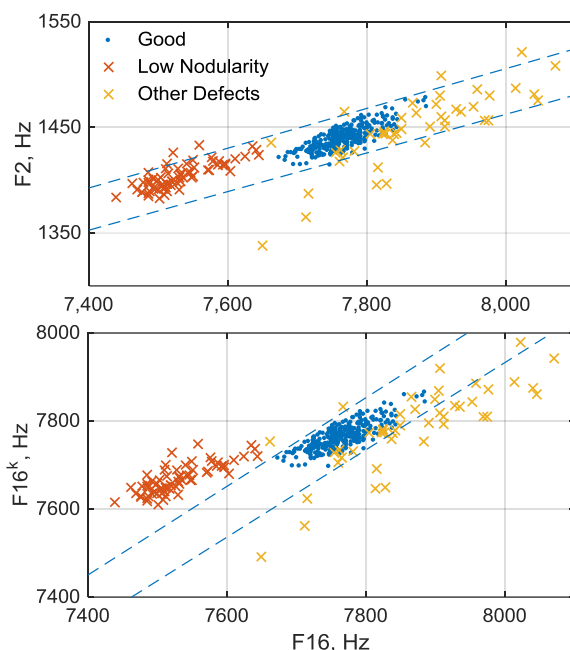


شکل ۶- معیارهای ۲ متغیره نسبت، رابطه توانی و تفاضل بین F_{16} و F_2 برای کلیه قطعات

یکی دیگر از معیارهای چند متغیره، تخمین یک فرکانس از روی رگرسیون خطی فرکانس‌های دیگر، و سپس مقایسه آن با فرکانس اندازه‌گیری شده می‌باشد. برای نمونه‌های سالم خطای تخمین (تفاضل فرکانس تخمینی با اندازه‌گیری شده) کوچک می‌باشد. این خطا در قطعات معیوب زیاد است زیرا هماهنگی^۲ بین فرکانس‌ها از بین رفته و تخمین یک فرکانس دشوار است. در این تحقیق تخمین F_{16} از روی فرکانس‌های دیگر انجام گرفت. جدول ۳ نتایج کلی تست نمونه‌های معیوب را نشان می‌دهد. در نهایت از معیارهای ردیف ۳ جدول ۳ استفاده گردید که تمام ۱۰۰٪ نمونه‌های معیوب قابل تشخیص بودند. یکی از امتیازات معیارهای استفاده شده در این است که فقط نمونه‌های سالم در آموزش سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند.

^۲ Coordination

در ادامه این مثال، معیارهای ۲ متغیره بین فرکانس‌های F_{16} و F_2 چک شدند. نتایج نسبت ۲ فرکانس، رابطه توانی، و تفاضل در شکل ۶ (نمودارهای سمت چپ) آورده شده است. پراکندگی ۲ بعدی داده‌ها نیز در شکل ۶ (سمت راست) نشان داده شده است. خط چین‌های موازی (آبی رنگ) محدوده مجاز معیارهای نسبت (شکل راست بالا) و رابطه توانی (شکل راست پایین) را نشان می‌دهند.



در عمل فضای عوامل اثرگذار روی فرکانس‌ها بیش از دو بعد می‌باشد. برخی از این عوامل ناشی از تغییرات پروسه تولید و برخی دیگر ناشی از عیوب مختلف ریخته‌گری می‌باشند. تحلیل مولفه‌های اصلی^۱ روشی آماری برای بررسی گروهی از متغیرهای همبسته می‌باشد. با توجه به اینکه درک و مشاهده فضای چندبعدی دشوار است، روش تحلیل مولفه‌های اصلی ابعاد داده‌ها را کاهش داده و متغیرها را دسته‌بندی می‌کند. این روش به خصوص در شرایطی که ترکیب ساختار داده‌ها مشخص نیست مفید می‌باشد. مولفه‌های بدست آمده PC_i غیرهمبسته بوده و هر یک را می‌توان به یک فاکتور اثرگذار مستقل نسبت داد. در این تحقیق معیارهای PC_1 تا PC_6 مورد استفاده قرار گرفتند.

^۱ Principal Component Analysis (PCA)

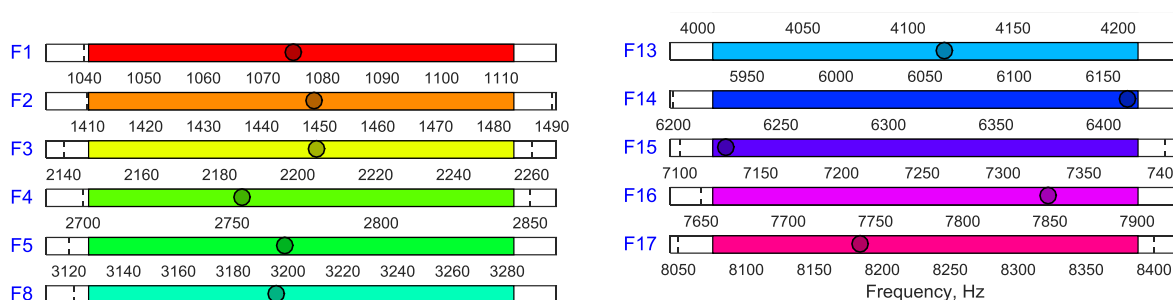
جدول ۳- مقایسه قدرت تفکیک پذیری معیارها برای نمونه‌های شاهد این تحقیق. در نهایت از معیارهای ردیف ۳ استفاده شد.

ردیف	معیارها	تفکیک گروه B (کرویت پایین)	تفکیک گروه C (بقیه عیوب ریخته‌گری)
۱	فرکانس‌ها	٪۱۰۰ (۱۰۰ از ۱۰۰ قطعه)	٪۸۲ (۴۶ از ۵۶ قطعه)
۲	فرکانس‌ها نسبت، تفاضل، رابطه توانی فرکانس‌ها	٪۱۰۰	٪۹۵ (۵۳ از ۵۶ قطعه)
۳	فرکانس‌ها نسبت، تفاضل، رابطه توانی فرکانس‌ها تحلیل مولفه اصلی تخمین فرکانس	٪۱۰۰	٪۱۰۰ (۵۶ از ۵۶ قطعه)

- تست یک قطعه

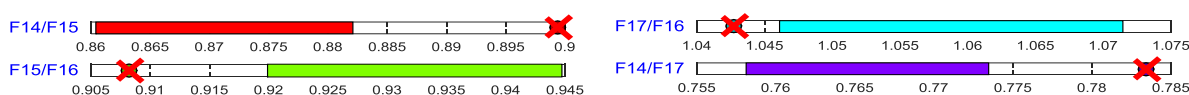
در این قسمت یک قطعه معیوب با خرابی جزئی (نمونه C0043) تست می‌گردد. شکل ۷ نتیجه تست محدوده فرکانس‌ها را نشان می‌دهد. نوارهای رنگی محدوده مجاز

هر فرکانس را نشان می‌دهند، و فرکانس قطعه تست شده با دایره مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این معیارها برای تشخیص خرابی این قطعه خاص کافی نمی‌باشند.

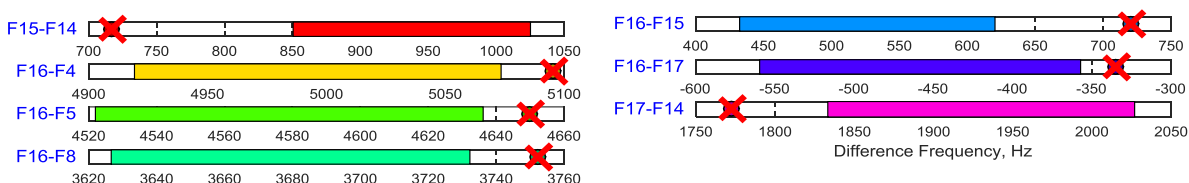


شکل ۷- نتیجه تست یک قطعه با خرابی جزئی (نمونه C0043) با معیارهای محدوده فرکانس F_i

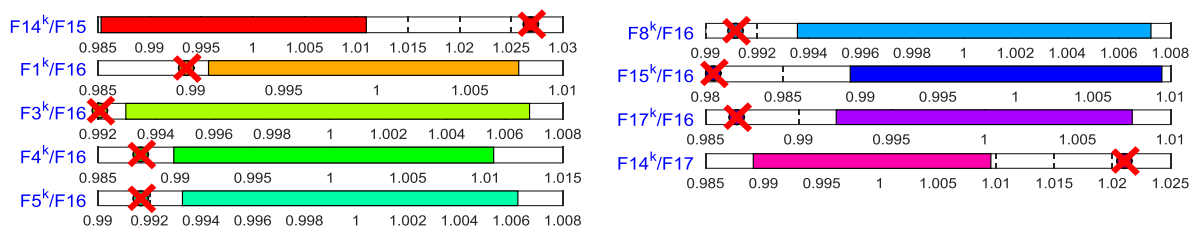
در ادامه، نتایج تست این قطعه با معیارهای دو یا چند متغیره نشان داده شده‌اند (شکل‌های ۸ الی ۱۲). این معیارها قطعه معیوب C0043 را تشخیص داده‌اند.



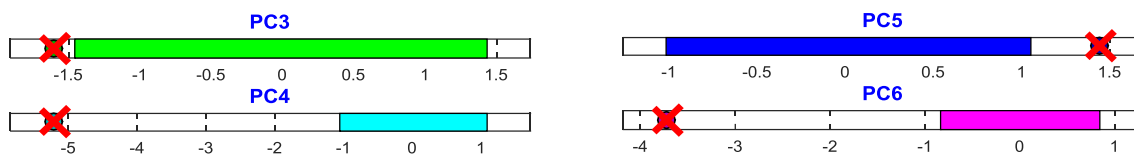
شکل ۸- نتیجه تست نمونه C0043 با معیارهای نسبت دو فرکانس



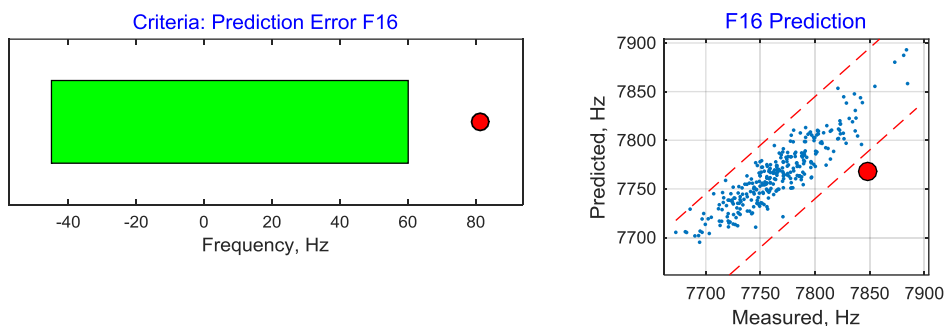
شکل ۹- نتیجه تست نمونه C0043 با معیارهای تفاضل دو فرکانس



شکل ۱۰- نتیجه تست نمونه C0043 با معیارهای رابطه توانی دو فرکانس



شکل ۱۱- نتیجه تست نمونه C0043 با معیارهای تحلیل مولفه اصلی



شکل ۱۲- نتیجه تست نمونه C0043 با معیار تخمین فرکانس F16

رزونانس صوتی سراسر حجم قطعه را تست میکند و استحکام کلی قطعه را تعیین می کند. این روش برای عیب یابی سازه های پیچیده نیز مناسب می باشد. روش های دیگر غیرمخرب مانند بازرسی چشمی، ذرات مغناطیسی، اولتراسونیک، و جریان گردابی (ترک یاب)، در دسته عیب یابی موضعی قرار دارند، بدین معنی که با مرور کردن^۱ قطعه، وجود و محل خرابی را گزارش می دهند.

تست رزونانس صوتی روشی دقیق، سریع و با صرفه برای تولید انبوه و کنترل ۱۰۰٪ قطعات می باشد. این تست نیازی به آماده سازی و تمیز کردن سطح ندارد، نیازی به مواد مصرفی و مایع کوپلنت ندارد، و به سادگی قابلیت اتوماسیون دارد. در دو دهه اخیر بسیاری از تأمین کنندگان جهانی قطعات ایمنی اتومبیل به تست رزونانس صوتی روی آورده اند. در ایران نیز برخی از تولید کنندگان قطعات ایمنی از دستگاه رزونانس صوتی EddySonix[®]

نتیجه گیری

روش رزونانس صوتی همزمان به ویژگی ها و فاکتورهای مختلفی حساس است. برخی از این ویژگی ها مربوط به عیوب قطعه و برخی دیگر مربوط به تغییرات پرو سه تولید و شرایط تست می باشد. به منظور تشخیص صحیح عیوب، خصوصاً عیوب کوچک، باید اثر فاکتورهای ناخواسته را حذف کرد. بدین منظور باید مجموعه متنوع و بزرگی از نمونه ها را تجزیه و تحلیل کرده، و رابطه بین فرکانس های مختلف را مدلسازی کرد. مراحل راه اندازی صنعتی تست رزونانس صوتی برای یک نوع قطعه شامل طراحی فیکسچر، تهیه نمونه های شاهد، و تنظیم پارامترها و معیارهای برنامه برای تفکیک نمونه های معیوب می باشد. چنانچه تست های غیر مخرب را به دو دسته عیب یابی موضعی و کلی تقسیم کنیم، روش رزونانس صوتی در دسته عیب یابی کلی قرار میگیرد. بدین معنی که روش

^۱ Scanning

International Journal of Fatigue, Vol. 29, No. 3, 2007, pp. 499-507.

- 3- R.W. Bono and G.R. Stultz, "Resonant inspection applied to 100% testing of nodularity of cast ductile iron", Tech. Rep., SAE, Paper No. 2008-01-2577, Warrendale, PA, 2008.
- 4- I. Hertlin, D. Schultze, "Acoustic resonance testing: the upcoming volume-oriented NDT method, 3rd Pan-American Conference for Nondestructive Testing", Brazil, 2003.

برای تست ۱۰۰٪ قطعات سیستم تعلیق و ترمز استفاده می‌کنند.

مراجع

- 1- ASTM Standard E2001-13, "Standard Guide for Resonant Ultrasonic Spectroscopy for Defect Detection in Both Metallic and Non-metallic Parts", 2013.
- 2- A. N. Damir, A. Elkhatib and G. Nassef, "Prediction of Fatigue Life Using Modal Analysis for Grey and Ductile Cast Iron,"

مقایسه روش های اندازه گیری نشانه ها به روش فاصله-دامنه-اصلاح و فاصله-تقویت-اندازه و بررسی نقاط قوت و ضعف هریک از این روشها

مهران صفری^{۱*}، وحید صادقی پور^۲

^۱مدیر بخش بازرسی، شرکت مهندسی و ساخت توربین مپنا، ^۲بازرس، شرکت مهندسی و ساخت توربین مپنا،

*safari.mehran@mapnaturbine.com

چکیده

در اندازه گیری نشانه ها به روش فراصوتی، دو روش بیش از همه مورد استفاده قرار می گیرد که یکی از آنها روش فاصله-دامنه-اصلاح و دیگری فاصله-تقویت-اندازه است. روش اول بر اساس استانداردهای آمریکایی پایه ریزی شده است و روش دوم توسط کرات کرامر ابداع شد و بیشتر در کشورهای اروپایی علی الخصوص آلمان مورد استفاده قرار می گیرد. روش فاصله-دامنه-اصلاح بر این اساس است که بدیل تضعیف، شدت انرژی صوت با افزایش فاصله کاهش می یابد و لذا در فواصل مختلف، دامنه سیگنال دریافتی از نشانه های مرجع یکسان متفاوت خواهد بود. روش فاصله-تقویت-اندازه بر اساس شناخت دسته پرتوی هر جستجو کننده بنا نهاده شده است. در این روش چگونگی پاسخ دهی هر منعکس کننده به دسته پرتو، پیش بینی می شود. هر یک از این روشها مزایا و محدودیتهایی دارند که در این مقاله ضمن اشاره اجمالی به چگونگی انجام هر یک از این روشها، این مزایا و محدودیتهای مورد بررسی قرار گرفته و کاربردهای عملی هریک از آنها معرفی شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد که علی رغم تفاوت در روش ایجاد منحنی ها و اندازه گیری نشانه ها، نتایج حاصل دارای اختلاف فاحشی نیستند و مطابقت خوبی بین آنها وجود دارد. لذا بر اساس نوع دستورالعمل تعیین شده برای تست و شرایط تست، هر یک از این روشها می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: اندازه گیری نشانه، آزمون فراصوتی، آزمون غیر مخرب، اصلاح دامنه فاصله، فاصله-تقویت-اندازه،

مقدمه

از سطح پشتی قطعه ای که دارای ناپیوستگی نیست، تخمین زده می شود [۱]. در اندازه گیری نشانه ها به روش فراصوتی دو روش فاصله-دامنه-اصلاح^۵ (روش بلوک مرجع) و فاصله-تقویت-اندازه^۶ عموماً در دنیا برای آزمون فراصوتی مورد پذیرش قرار گرفته اند. گرچه این دو روش تفاوتی خیلی زیادی با توجه به کاربردشان دارند اما از نظر اصول فیزیکی انتشار و انعکاس صوت که بر اساس آن بنا نهاده شده اند، اختلافی ندارند. در هر دو روش، بازرس اندازه (قطر) منعکس کننده مرجع (به شکل منعکس کننده دیسکی یا استوانه ای) را مشخص می کند. اندازه تعیین شده برابر با اندازه واقعی نشانه نیست لذا اصطلاح دیسک دایره ای معادل^۷ و یا قطر سوراخ جانبی معادل^۸ استفاده می شود. معمولاً وقتی از منعکس کننده به شکل دیسک استفاده می شود، اصطلاح کوتاهتر "اندازه

روش پژواک ضربانی^۱ بطور گسترده در روش آزمون فراصوتی مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش پژواکهایی که در اثر ضربان فراصوتی از ناپیوستگی و یا فصل مشترک قطعه منعکس می شود، ثبت می شود. از این روش برای تعیین محل ناپیوستگی و ضخامت سنجی استفاده می شود. عمق نشانه از طریق زمان پرواز^۲ بین ضربان اولیه و پژواک تولید شده بوسیله ناپیوستگی مشخص می شود. عمق ناپیوستگی همچنین می تواند بوسیله زمان نسبی بین پژواک تولید شده بوسیله ناپیوستگی و پژواک دریافتی از دیواره پشتی معین شود. اندازه عیب از طریق مقایسه دامنه سیگنال^۳ صوت منعکس شده از یک فصل مشترک (یا در داخل قطعه یا سطح دیواره پشتی) با دامنه صوت منعکس شده از یک منعکس کننده مرجع^۴ با اندازه شناخته شده یا

^۵ Distance Amplitude correction

^۶ Distance Gain Size

^۷ Equivalent Circular Disk

^۸ Equivalent Side Drilled Hole

^۱ Pulse Echo

^۲ Time of Flight

^۳ Signal Amplitude

^۴ Reference Reflector

منعکس کننده معادل^۱ مورد پذیرش قرار گرفته است. دلیل اینکه اندازه واقعی عیب با اندازه منعکس کننده معادل، برابر نیست به این دلیل است که بخشی از صوتی که از ناپیوستگی طبیعی منعکس می شود بوسیله شکل، جهت و کیفیت سطحی ناپیوستگی تحت تاثیر قرار می گیرد [۲].

دیسک منعکس کننده معادل یا اندازه منعکس کننده معادل، برابر با اندازه منعکس کننده واقعی ای است که در حالت ایده آل دایره ای شکل است و دقیقاً عمود بر محور دسته پرتو قرار دارد. در عمل در اکثر موارد این اتفاق نمی افتد در نتیجه اندازه واقعی عیب بطور معمول بزرگتر از اندازه منعکس کننده معادل است. برای آن نمی توان یک قانون ایجاد نمود زیرا ارتفاع پژواک دریافتی، قویاً بستگی به مشخصات ناپیوستگی شامل هندسه، جهت آن با دسته پرتو و کیفیت سطحی آن دارد [۳].

روش فاصله-دامنه-اصلاح از آنجا که دامنه پژواک می تواند ناشی از مساحت و عمق منعکس کننده می باشد، اهدافی با مساحت و عمق شناخته شده، می توانند به عنوان تنظیم کننده حساسیت استفاده شوند. وقتی فاصله بین فرستنده صوت و منعکس کننده افزایش یابد، میزان انرژی که به منعکس کننده می رسد و بر می گردد کاهش می یابد. این اصل با مشاهده دامنه سیگنال برگشت داده شده از یک منعکس با اندازه مشخص که در فواصل مختلف از فرستنده و دریافت کننده صوت قرار داده شده است، آشکار می شود. میزان کاهش سیگنال آشکار شده بستگی به عواملی نظیر میزان تضعیف صوت در مواد، فرکانس و اندازه فرستنده دارد [۴].

یک منحنی برای بیان گرافیکی این کاهش انرژی به نسبت حرکت آن از میان قطعه، رسم می شود که به عنوان منحنی فاصله-دامنه-اصلاح شناخته می شود. در بسیاری از دستورات عملی این منحنی لازم است برای تست قطعات رسم شود و پذیرش یا رد قطعات بر اساس مقدار انرژی که بوسیله منعکس کننده به فرستنده و دریافت کننده صوت می رسد تعیین شود [۴].

وقتی دامنه مرجع با استفاده از بلوکهای مرجع ایجاد می شود، بین بلوک کالیبراسیون و قطعه کار اختلافاتی وجود

دارد که بر حساسیت تاثیر می گذارد. این اختلافات می تواند ناشی از شرایط سطحی، ضخامت مواد یا میزان تضعیف صوت باشد. این اختلافات می تواند جبران شود که این فرآیند به عنوان اصلاح انتقال^۲ (انتقال از بلوک کالیبراسیون به قطعه کار) شناخته می شود [۴].

روش فاصله-تقویت-اندازه

روش فاصله-تقویت-اندازه به معنی مقیاسی است که با تنظیم صحیح تقویت و اندازه (منعکس کننده معادل)، در یک فاصله به یک پژواک اختصاص داده شده است [۳]. روش فاصله-تقویت-اندازه توسط کراتکرامر^۳ در آلمان ایجاد شد که یک روش استاندارد شده بازرسی برای تصمیم گیری در خصوص پذیرش و رد فرآهم می آورد. اصول این روش بر اساس شناخت مشخصات دسته پرتو هر فرستنده و گیرنده صوت است. روشی که هر منعکس کننده به دسته پرتو پاسخ می دهد می تواند پیش بینی شود. منحنی های فاصله-تقویت-اندازه برای دو نوع منعکس کننده رسم می شود. ابتدا برای منعکس کردن همه دسته پرتو از منعکس کننده دیواره پشتی (به عبارت دیگر بزرگتر از دسته پرتو) همراه با افزایش فاصله. در داخل منحنی های دیواره پشتی، منحنی های نوع دوم وجود دارد. یک سری منحنی هایی که برای منعکس کننده هایی کوچکتر از دسته پرتو هستند. این منعکس کننده ها اهدافی به شکل سوراخ های تحتانی تخت^۴ هستند و هر منحنی نماینده یک قطر از سوراخ تحتانی تخت همراه با افزایش فاصله است [۴].

منحنی های فاصله-تقویت-اندازه اجازه می دهد اندازه ناپیوستگی ها بر اساس ارتفاع پژواک و یک سری محاسبات ساده تخمین زده شود. مفهوم اساسی استفاده شده در این تکنیک شامل [۵]:

فاصله کاهش داده شده (فاصله جستجو کننده تا ناپیوستگی به عنوان ضریبی از فاصله میدان^۵ نزدیک بیان می شود) اندازه کاهش داده شده (قطر ناپیوستگی به عنوان بخش از قطر جستجو کننده بیان می شود) مقایسه دامنه پژواک ناپیوستگی با آنچه که از سطح منعکس کننده در سطح صفحه تخت مقابل حاصل می شود (به منظور استاندارد نمودن)

^۴ Flat Bottom Holes

^۵ Near Field

^۱ Equivalent Reflector Size (ERS)

^۲ Transfer Correction

^۳ Krautkramer

انتهایی در این تنظیم تقویت جدید، ارتفاع پژواکی معادل ارتفاع اولیه (۰.۴۰٪) خواهد داد [۴].

برای جستجو کننده های زاویه ای پژواک اولیه از شعاع ۱۰۰ میلیمتری بلوک IIV V1^۱ گرفته می شود. از آنجا که این پژواک دیواره انتهایی قطعه کار نیست، اصلاح انتقال باید انجام شود [۴].

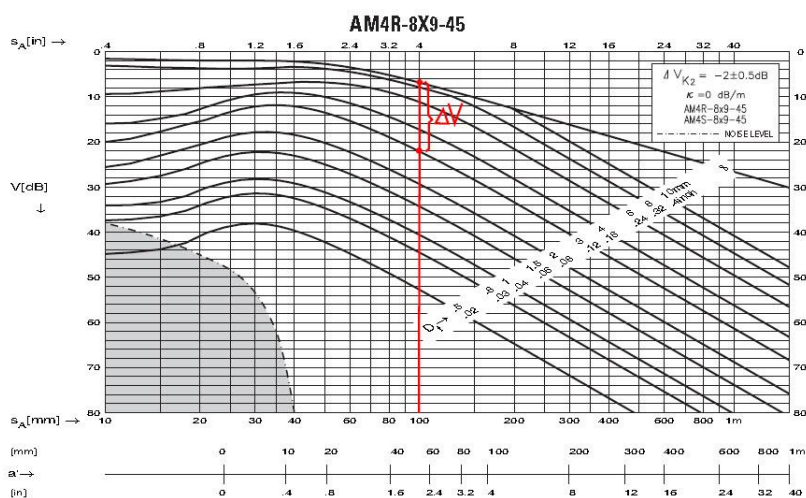
تقویتی که بر اساس آن اسکن باید انجام شود بر اساس فرمول زیر محاسبه می شود.

$$V_r = V_j + \Delta V + \Delta V_k + \Delta V_t \quad (1)$$

که در آن V_j تقویت مورد نیاز برای تنظیم پژواک حاصل از منعکس کننده مرجع، ΔV اختلاف تقویت بین منحنی منعکس کننده مرجع و منحنی اندازه، ΔV_k عامل اصلاحی برای وقتی که از منعکس کننده منحنی شکل استفاده می شود و ΔV_t اصلاح انتقال است که در نتیجه از دست دادن مایع اتصال دهنده در سطح تماس (مستقل از طول مسیر موج) و همچنین میزان تضعیف صوت در مواد، می باشد (وابسته به طول مسیر موج) [۶].

این تکنیک عمدتاً تعیین اندازه ناپیوستگی را بر اساس یک هدف تحتانی تخت، ساده می کند. با استفاده از یک ثبت کننده ناپیوستگی فراصوتی و منحنی فاصله-تقویت-اندازه مورد استفاده برای جستجو کننده تست، اندازه ناپیوستگی می تواند بدست آید [۵].

روش کالیبره نمودن دستگاه به روش فاصله-تقویت-اندازه به این شکل است که پژواک دریافتی از دیواره پشتی ضخامت قطعه (دو سطح موازی در قطعه کار) با استفاده از کنترل کننده تقویت دستگاه به ارتفاع معینی (به عنوان مثال ۰.۴۰٪ ارتفاع صفحه نمایش) در صفحه نمایش رسانده می شود. در مرحله بعدی مرجع دادن منحنی اندازه برای سوراخ تخت انتهایی است. از روی خط فاصله معادل با ضخامت قطعه و منحنی اندازه سوراخ، اختلاف دسی بل بین منحنی دیواره پشتی و منحنی اندازه در همان فاصله مشخص می شود. این اختلاف دسی بل به میزان دسی بل اولیه حاصل از رساندن پژواک به ارتفاع مرجع (۰.۴۰٪) با استفاده از کنترل تقویت اضافه می شود. سوراخ تخت

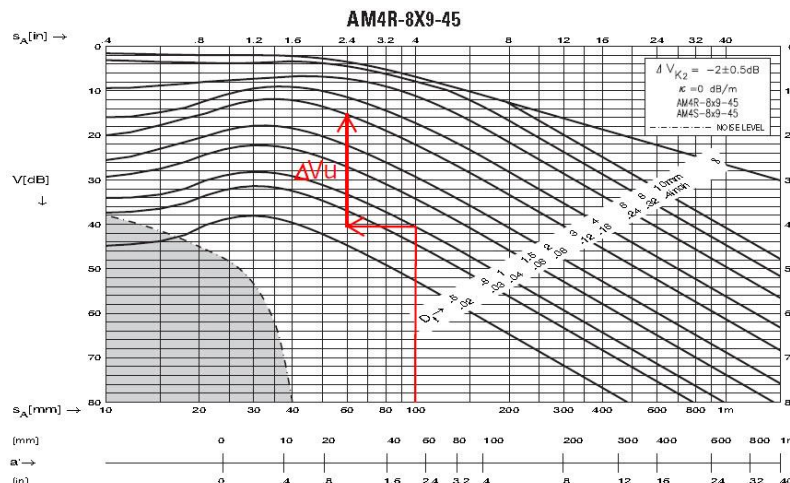


شکل ۱: نمایش محاسبه افزایش تقویت بر اساس منحنی فاصله-تقویت-اندازه برای جستجو کننده زاویه ای AM4R-8x9-45 شرکت المپوس [۸]

تقویت-اندازه کشیده می شود و تفاوت تقویت $\Delta V_u = V_u - V_r$ از ارتفاع مرجع در فاصله ای که ناپیوستگی وجود دارد مشخص می شود. اگر نقطه مشخص شده بالاتر از منحنی محدوده ثبت نشانه ها (بر اساس معیار پذیرش) باشد، تفاوت پژواک ΔH_u باید بر اساس میزان دسی بل ثبت شود [۶].

در طول اسکن بر روی قطعه کار، برای اندازه گیری ابعاد ناپیوستگیها بر اساس قطر معادل، بر روی ارتفاع هر پژواک دریافتی از نشانه ها مطابق زیر عمل می شود [۶]:
تقویت V_u که لازم است ارتفاع پژواک ناشی از ناپیوستگی به سطح مرجع رسانده شود ثبت می شود. یک خط افقی که نمایش دهنده ارتفاع مرجع است در منحنی فاصله-

¹ International Institute of Welding



شکل ۲: محاسبه قطر معادل با استفاده از منحنی فاصله-تقویت-اندازه برای جستجو کننده زاویه ای AM4R-8×9-45 شرکت المپوس [۸]

توانمندی دستگاه فراصوتی (Olympus EPOCH-XT) رسم شد.



شکل ۴: رسم منحنی فاصله-تقویت-اندازه با استفاده از دستگاه فراصوتی Olympus EPOCH-XT

برای مطابقت منحنی رسم شده با منعکس کننده واقعی، پژواکهای دریافتی از سوراخهای جانبی ۳ میلیمتری که در عمقهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلیمتری قرار داشتند با منحنی رسم شده مقایسه شد که نتایج آن در تصویر شماره ۵ قابل مشاهده است.

همانطور که از شکل ۵ قابل مشاهده است، مطابقت کاملی بین منحنی ایجاد شده توسط دستگاه آلتراسونیک و پژواکهای دریافتی از سوراخ جانبی ۳ میلیمتری وجود دارد. بدون تغییر کالیبراسیون دستگاه و تنظیمات حساسیت انجام شده برای سوراخ جانبی ۳ میلیمتری، پژواکهای دریافتی از سوراخهای جانبی ۱،۵ میلیمتری که در عمقهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلیمتری قرار داشتند، ثبت شد که نتایج آن در تصویر شماره ۶ و نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۴ قابل مشاهده است.

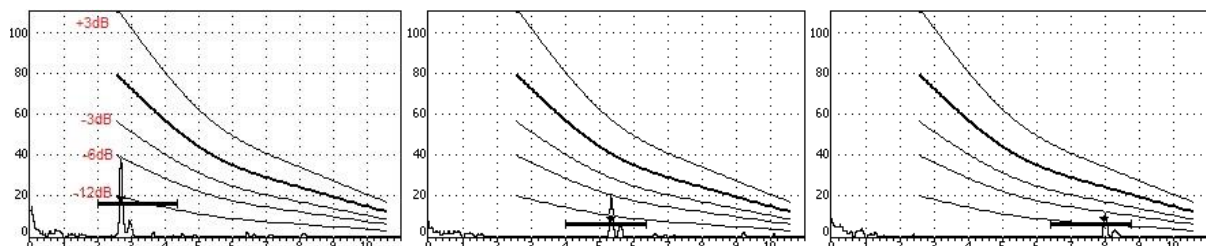
رابطه بین اختلاف تقویت در منحنی فاصله-تقویت-اندازه (ΔV) در فواصل مختلف به شکل فرمول زیر می باشد:

$$\Delta V \text{ (in dB)} = -20 \log_{10} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (2)$$

که در آن h_1 و h_2 ارتفاع واقعی بر روی صفحه نمایش بر اساس درصدی از کل ارتفاع صفحه نمایش هستند [۶]. مقایسه روش فاصله-دامنه-اصلاح با روش فاصله-تقویت-اندازه

برای مقایسه دو روش فاصله-دامنه-اصلاح و فاصله-تقویت-اندازه از جستجو کننده زاویه ای ۴۵ درجه شرکت المپوس AM4R-8×9-45 استفاده شد. برای رسم منحنی فاصله-دامنه-اصلاح، پژواک مرجع از سوراخ دیواره جانبی ۳ میلیمتری در عمق ۱۵ میلیمتری گرفته شد و ارتفاع آن به ۸۰٪ رسانده شد. بدون تغییر میزان تقویت، پژواکهای دریافتی از سوراخهای ۳ میلیمتری در عمقهای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلیمتری ثبت و منحنی فاصله-دامنه-اصلاح رسم شد. با استفاده از منحنی فاصله-دامنه-اصلاح رسم شده برای سوراخ ۳ میلیمتری، پژواکهای دریافتی از سوراخهای جانبی ۱،۵ میلیمتری که در عمقهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ میلیمتری قرار داده شده بودند ثبت شد که تصاویر دریافتی از آنها در شکل ۳ و نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۱ قابل مشاهده است.

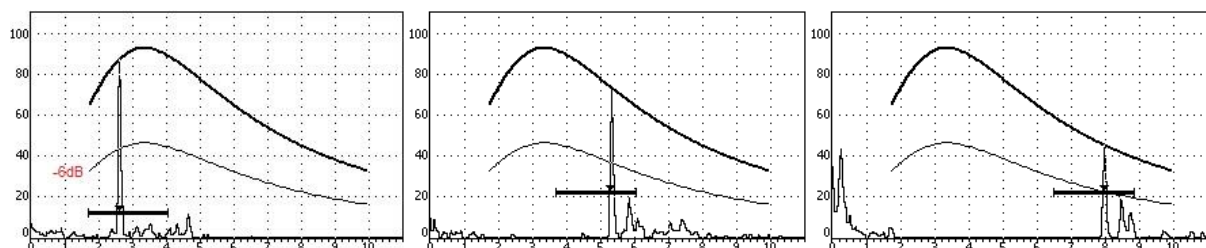
جهت مقایسه نتایج حاصل از روش فاصله-دامنه-اصلاح با روش فاصله-تقویت-اندازه، منحنی فاصله-تقویت-اندازه برای سوراخ جانبی ۳ میلیمتری با استفاده از امکانات و



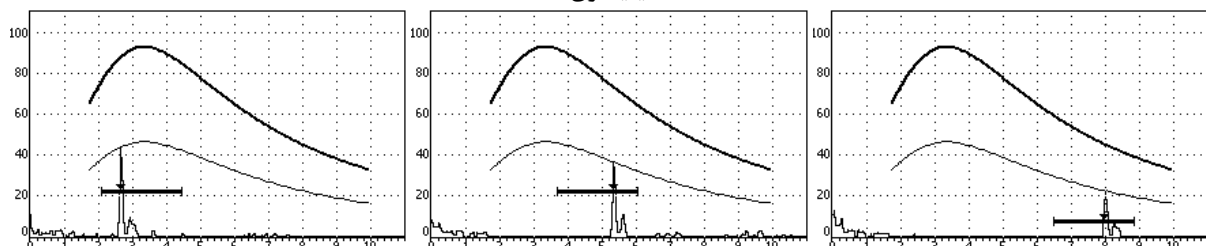
شکل ۳: پژواکهای دریافتی از سوراخهای جانبی ۱.۵ میلیمتری، سمت چپ سوراخ در عمق ۱۵، وسط عمق ۳۰ و سمت راست عمق ۴۵ میلیمتری

جدول ۱: نتایج حاصل از تحلیل پژواکهای دریافتی به روش فاصله-دامنه-اصلاح از سوراخهای ۱.۵ و ۳ میلیمتری

شماره سوراخ	ارتفاع پژواک ۳ سوراخ میلیمتری	ارتفاع پژواک ۱.۵ سوراخ میلیمتری	ارتفاع پژواک ۱.۵ سوراخ میلیمتری	میزان انحراف	میزان کاهش تئوری دسی بل	میزان کاهش واقعی دسی بل	میزان انحراف	عمق واقعی سوراخ ۱.۵ میلیمتری	عمق سوراخ آزمون فراصوتی	میزان انحراف
۱	۸۰	۴۰	۳۹.۵	٪۱.۲۵	-۶	-۶.۱	٪۱.۶	۱۵	۱۵.۰۸	٪۰.۵
۲	۴۱	۲۰.۵	۲۰.۲۵	٪۱.۲۲	-۶	-۶.۱	٪۱.۶	۳۰	۳۰.۰۴	٪۰.۱۳
۳	۲۴	۱۲	۱۲	٪۰	-۶	-۶	۰	۴۵	۴۵.۰۶	٪۰.۱۳



شکل ۵: پژواکهای دریافتی از سوراخ جانبی ۳ میلیمتری، سمت چپ سوراخ در عمق ۱۵، وسط عمق ۳۰ و سمت راست عمق ۴۵ میلیمتری



شکل ۶: پژواکهای دریافتی از سوراخ جانبی ۱.۵ میلیمتری، سمت چپ سوراخ در عمق ۱۵، وسط عمق ۳۰ و سمت راست عمق ۴۵ میلیمتری

جدول ۲: نتایج حاصل از تحلیل پژواکهای دریافتی به روش فاصله-تقویت-اندازه از سوراخهای جانبی ۱.۵ و ۳ میلیمتری

شماره سوراخ	ارتفاع پژواک ۳ سوراخ میلیمتری	ارتفاع پژواک ۱.۵ سوراخ میلیمتری	ارتفاع پژواک ۱.۵ سوراخ میلیمتری	میزان انحراف	میزان کاهش تئوری دسی بل	میزان کاهش واقعی دسی بل	میزان انحراف	عمق واقعی سوراخ ۱.۵ میلیمتری	عمق سوراخ آزمون فراصوتی	میزان انحراف
۱	۸۷.۷۵	۴۳.۸۷	۴۳.۷۵	٪۰.۲۷	-۶	-۶.۰۵	٪۰.۸۳	۱۵	۲۹.۹۱	٪۰.۳
۲	۷۲	۳۶	۳۶	٪۰	-۶	-۶	٪۰	۳۰	۳۰.۰۹	٪۰.۳
۳	۴۶	۲۳	۲۳	٪۰	-۶	-۶	٪۰	۴۵	۴۵.۰۸	٪۰.۱۷

بر اساس نتایج حاصل از شکل ۶ و جدول ۲، پژواکهای دریافتی از سوراخ جانبی ۱،۵ میلیمتری به روش فاصله-تقویت-اندازه با منحنی کاهش یافته به نسبت ۶ دسی بل از منحنی رسم شده برای سوراخ جانبی ۳ میلیمتر مطابقت دارد.

مزایا و معایب هر یک از روشهای فاصله-دامنه-اصلاح و فاصله-تقویت-اندازه

مزایا و معایب هر یک از روشهای فاصله-دامنه-اصلاح و فاصله-تقویت-اندازه به شرح ذیل می باشد:

مزایای روش فاصله-دامنه-اصلاح:

- لازم نیست پژواک دریافتی از ناپیوستگی با پژواک دریافتی از بلوک مرجع مقایسه شود بلکه بطور مستقیم تحلیل بوسیله منحنی فاصله-دامنه-اصلاح انجام می شود [۳].

- بلوک مرجع بزرگ و سنگین لازم نیست به محل تست منتقل شود، منحنی فاصله-دامنه-اصلاح برای یک کاربرد خاص می تواند بر روی یک صفحه شفاف ایجاد و یا در حافظه دستگاه ذخیره شود و مورد استفاده قرار گیرد [۳].

- با ایجاد منحنی فاصله-دامنه-اصلاح با بلوکهای مرجعی مشابه قطعه کار، منحنی حاصله دارای تاثیرات قانون فاصله، تضعیف صوت، کاهش ناشی از صافی سطح است و لذا نیاز به محاسبه عوامل فوق نیست [۳].

معایب روش فاصله-دامنه-اصلاح:

- از آنجا که مشخصات ناپیوستگی شامل هندسه، جهت و صافی سطح در تحلیل نتایج تاثیر می گذارد، بنابر این نتیجه تحلیل نشانه ها دارای عدم قطعیت در اندازه ناپیوستگی هستند [۳].

- ساخت یا تامین بلوک مرجع مناسب [۲]. ایجاد منحنی های فاصله-دامنه-اصلاح گران است و همیشه روش ساده ای نیست بطوریکه تعداد زیادی نمونه با انحنای مناسب منعکس کننده مرجع که در عمقهای مختلف در نمونه قرار داده شده اند لازم است [۷].

- برای انجام هر تست لازم است منحنی فاصله-دامنه-اصلاح ثبت شود [۲].

مزایای روش فاصله-تقویت-اندازه:

- در فاصله-تقویت-اندازه نیاز به ساخت بلوک نیست [۲].

- لازم نیست پژواک دریافتی از ناپیوستگی با پژواک دریافتی از بلوک مرجع مقایسه شود بلکه بطور مستقیم

تحلیل بوسیله فاصله-تقویت-اندازه انجام می شود.

- با ایجاد منحنی فاصله-تقویت-اندازه با استفاده از دیواره

قطعه کار (در تست با جستجو کننده نرمال)، منحنی

حاصله دارای تاثیرات قانون فاصله، تضعیف صوت،

کاهش ناشی از صافی سطح است و لذا نیاز به محاسبه

عوامل فوق نیست.

معایب روش فاصله-تقویت-اندازه:

- از آنجا که مشخصات ناپیوستگی شامل هندسه، جهت و

صافی سطح در تحلیل نتایج تاثیر می گذارد، بنابر این

نتیجه تحلیل نشانه ها دارای عدم قطعیت در اندازه

ناپیوستگی هستند [۳].

- اندازه گیری و در نظر گرفتن اصلاح مختلف مجزا، برای

هر تست (در استفاده از جستجو کننده زاویه ای) لازم

است [۲].

نتیجه گیری

بر اساس نتایج از پژواکهای دریافتی از سوراخهای جانبی ۳ و ۱،۵ میلیمتری با استفاده از رسم منحنی های فاصله-دامنه-اصلاح و فاصله-تقویت-اندازه، مشخص شد علی رغم آنها روش محاسبه و رسم این منحنی ها متفاوت است اما نتایج حاصل از اندازه گیری ناپیوستگی ها یکسان است و اختلافی در نتایج حاصله وجود ندارد و در نتیجه هر دو روش می تواند برای اندازه گیری نشانه ها استفاده شود.

روش فاصله-تقویت-اندازه برای اندازه گیری ناپیوستگی هایی که دارای ابعادی کوچکتر از مساحت دسته پرتو هستند کاربرد بیشتری دارد علی الخصوص که نیاز به حساسیت بالا برای شناسایی و اندازه گیری ناپیوستگیهای بسیار کوچک باشد (به عنوان مثال ناپیوستگی هایی با قطر معادل ۰،۵ میلیمتر).

در روش فاصله-تقویت-اندازه نیاز به ساخت بلوکهای گران و سنگین مرجع نیست و حساسیت دستگاه می تواند با استفاده از منحنی هایی در حافظه دستگاه ثبت شده است

- Microprocessor Assisted Methods”, NDTnet - February 1996, Vol.1 No.02
3. Michael Berke, (2000). “Nondestructive Material Testing with Ultrasonics, Introduction to the Basic Principles” , Krautkramer (Welding World), NDT.net - September 2000, Vol. 5 No. 09
 4. Charles J. Hellier, (2003). “Handbook of Nondestructive Evaluation”, The McGraw-Hill Companies, 0-07-139947-X
 5. Gary L. Workman, Doron Kishoni, Patrick O. Moore, (2007). “Non-Destructive Testing Handbook, Volume 7, Ultrasonic Testing”, The American Society for Nondestructive Testing, Inc.1711 Arlingate Lane Columbus, OH 43228-0518
 6. DIN EN 583-2, (2001). “Non-Destructive Testing, Ultrasonic Examination, Part 2: Sensitivity and Range Setting”, CEN, European Committee for Standardization
 7. Hak-Joon Kim, Lester W. Schmerr Jr., and Alexander Sedov, (2004). “Transferring Distance Amplitude Correction Curves Using Ultrasonic Modeling”, AIP Conference Proceedings 700, 753 (2004); 10.1063/1.1711696
 8. Olympus AVG/DGS Diagrams, <http://www.olympus-ims.com/en/pdf-library/157-catId.268435497.html>

و یا منحنی هایی که هر سازنده جستجو کننده به همراه آن ارائه می نماید تنظیم شود. در استفاده از این منحنی ها باید دقت شود که هر یک از این منحنی ها برای یک نوع جستجو کننده که توسط سازنده آن ارائه شده است کاربرد دارد و از منحنی جستجو کننده سازنده دیگری نمی توان برای تنظیم حساسیت استفاده نمود.

برای انتخاب هر یک از این روشها برای انجام تست، ابتدا باید مشخص شود که آیا بلوک مرجعی که قابل مقایسه با قطعه کار است وجود دارد یا خیر. اگر وجود داشته باشد، تست می تواند به وسیله روش فاصله-دامنه-اصلاح (بلوک مرجع) انجام شود. اگر بلوک مرجع وجود نداشته باشد روش فاصله-تقویت-اندازه می تواند استفاده شود و یا اینکه باید بلوک مرجع مشابه قطعه کار ساخته شود.

تشکر و قدردانی

مقتضی است از مدیریت کیفیت تامین و تولید شرکت مهندسی شرکت مهندسی و ساخت توربین مپنا(توگا) که در انجام این تحقیق ما را یاری نمودند سپاسگزاری گردد.

منابع

1. ASM Handbook, Volume 17, (1998). “Nondestructive Evaluation and Quality Control”, ASM International Handbook Committee, TA459.M43 1978 669 78-14934
2. Dipl. Phys. Michael Berke, (1996). “Quick Flaw Evaluation in Ultrasonic Testing Using

مطالعه اولیه در زمینه امکان سنجی استفاده از تصویربرداری نور تک فام متمرکز جهت اندازه گیری غیرمخرب رنگ گوشت میوه سیب

آرزو بیژنی^۱، کاوه ملازاده^{۲*}، محمود کوشش صبا^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^۲ استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^۳ استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

*k.mollazade@uok.ac.ir

چکیده

رنگ گوشت به عنوان یکی از معیارهای مهم مربوط به رسیدگی و کیفیت میوه به شمار می آید. اندازه گیری رنگ گوشت میوه با روش های متداول نیازمند برداشتن پوست میوه است که این امر منجر به تخریب آن می گردد. بنابراین پایش میزان رنگ گوشت میوه به صورت غیرمخرب در فرآیندهای برداشت و پس از برداشت نیازمند استفاده از روش های غیرتصادفی است. تصویربرداری نور تک فام متمرکز، به عنوان یک ابزار غیرتصادفی با هزینه پیاپی سازی پایین، روشی است که قابلیت آن برای اندازه گیری شاخص های مکانیکی میوه به اثبات رسیده است. در این پژوهش امکان پذیری استفاده از این روش جهت پایش بینی شاخص مرتبط با رنگ گوشت میوه سیب، ارقام رد دلشس و فوجی، بررسی گردید. تصاویر در طول موج ۶۵۰ نانومتر از سطح میوه ها تحصیل گردید. پس از آن شاخص های رنگی (L^* , a^* , b^*) مربوط به پوست و گوشت میوه توسط دستگاه رنگ سنج اندازه گیری شد. جهت ایجاد مدل های کالیبراسیون، در ابتدا پس از انجام عملیات پایش پردازش، یک سری ویژگی از تصاویر استخراج گردید. سپس از این ویژگی ها به عنوان ورودی و از داده های مربوط به رنگ گوشت میوه، که با روش مخرب بدست آمده بود، به عنوان خروجی مدل های کالیبراسیون استفاده گردید. نتایج پژوهش بیانگر امکان پذیری استفاده از تصویربرداری نور تک فام متمرکز جهت پایش بینی رنگ گوشت میوه سیب به صورت غیرمخرب و سریع است.

واژه های کلیدی: پایش نوری، پس از برداشت، آزمون غیرتصادفی، رنگ سنجی.

۱- مقدمه

مواد غذایی شامل محصولات کشاورزی تازه (گوشت، میوه، سبزی و لبنیات) و مواد فرآوری شده می باشد. میوه به دلیل داشتن ترکیباتی همچون قندها، اسیدهای آلی، ویتامین ها، عناصر معدنی و فیبرها از نظر تجاری، تغذیه ای و سلامت جزو محصولات غذایی مهم و ضروری به شمار می آیند. زندگی میوه پس از جوانه زدن به سه مرحله ای اصلی رشد، بلوغ و پیری تقسیم می شود. رسیدن در اواخر مرحله بلوغ صورت می گیرد که در آن میوه دارای بالاترین سطح کیفیت می باشد. مرحله رشد و بلوغ میوه فقط زمانی که به گیاه مادر متصل است کامل می شود اما مرحله رسیدن و پیری می تواند قبل و بعد از برداشت هم انجام گیرد. میوه موجودی زنده و بسیار فسادپذیر است و طی دوران قبل و بعد از برداشت در خواص شیمیایی (مقدار مواد جامد محلول، اسیدیته، مقدار اسیدی بودن، تانن،

خواص فیزیکی (میزان تردی، سفتی بافت، چگالی)، خواص ظاهری (رنگ پوست، رنگ گوشت، اندازه و شکل) خواص فیزیولوژیکی (مقدار تنفس و اتیلن) و خواص کاربردی (ویتامین و مواد معدنی) آن تغییر ایجاد می شود. در مجموع، این خواص کیفیت محصول را تشکیل می دهند. معیارهای کیفیت بسته به سطح مورد انتظار استفاده کنندگان از میوه متفاوت می باشد [۱]. استفاده کنندگان با استفاده از ارزیابی حسی، کیفیت میوه را بررسی می کنند. این روش وابسته به داور و سلیقه شخصی است و نمی تواند دقیق باشد [۲]. همچنین جهت پذیرش میوه توسط استفاده کنندگان، علاوه بر ارزیابی های حسی، اطلاعات و اندازه گیری های کمی که وابسته به سلیقه شخصی نمی باشند، به شدت تأثیرگذار است [۳]. اکثر روش های متداول جهت اندازه گیری کمی کیفیت میوه، مخرب، وقت گیر، نیازمند کار آزمایشگاهی پیچیده و

حاکی از وجود همبستگی مناسب مابین تغییر رنگ گوشت با تغییرات شیمیایی و فیزیکی در طی مرحله رسیدن و بلوغ میوه است [۱۲].

در پژوهش‌های مرتبط با محصولات باغی، اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه به صورت متداول با استفاده از دستگاه‌های رنگ سنج و با حذف پوست میوه و به صورت مخرب انجام می‌پذیرد. در تلاشی به منظور اندازه‌گیری این شاخص به صورت غیرمخرب، از روش طیف سنجی در محدوده طول موجی بینایی و مادون قرمز جهت تعیین رسیدگی میوه هلو در فرآیند کنسروسازی استفاده گردید. نتایج نشان داد که برای مقادیر زاویه فام رنگ کمتر از ۷۰ درجه بین مقادیر مربوط به این شاخص در پوست و گوشت میوه همبستگی وجود ندارد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های کالبراسیون نشان داد که صرفاً با استفاده از اطلاعات طیفی در طول موج‌های ۵۴۵ و ۵۷۵ نانومتر برای رقم لودال و طول موج‌های ۵۴۵ و ۵۶۰ نانومتر برای رقم رو سا می‌توان میزان زاویه فام رنگ گوشت را با دقت مناسب پیش‌بینی نمود (مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۲ و ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به یک). نتایج این پژوهش امکان پذیر بودن استفاده از روش‌های نوری به منظور اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه به صورت برخط و غیرمخرب را نشان می‌دهد [۴].

تصوربرداری نور متمرکز یکی از روش‌های نوری است که در چند سال اخیر جهت ارزیابی کیفیت مواد غذایی و محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش از اصول حاکم بر پس‌پراکنش نور و پردازش تصویر در محدوده بینایی و مادون قرمز نزدیک از طیف الکترومغناطیس بهره می‌گیرد. بارانیای و همکاران نشان دادند که استفاده از این روش در طول موج ۷۸۵ نانومتر جهت اندازه‌گیری پاره‌ای خواص نوری مرتبط با بافت نمونه همچون ضریب جذب، ضریب پراکنش و فاکتور ناهمسانگردی در دو رقم میوه سیب به منظور پیش‌بینی میزان رسیدگی محصول در مدت انباری نتایج مناسبی را به دنبال دارد [۱۳]. از دیگر شاخص‌های مرتبط با کیفیت محصولات کشاورزی و مواد غذایی که توسط این روش با موفقیت مورد ارزیابی قرار گرفته است می‌توان به پیش‌بینی میزان چربی شیر [۱۴]، ارزیابی میزان تردی گوشت [۱۵] و پایش تغییرات محتوای رطوبتی و رنگ فلفل دلمه‌ای طی فرآیند خشک شدن [۱۶]، اشاره نمود.

هزینه‌بر هستند. در نتیجه نیاز به روشی‌های سریع، آسان و کم هزینه که باعث تغییرات مکانیکی، گرمایی، شیمیایی و فتوشیمیایی در میوه نگردد، ضروری است [۴]. برای نمونه بینایی ماشین جهت تعیین رنگ، شکل و اندازه میوه [۳]، طیف‌سنجی در محدوده نور مرئی و مادون قرمز به منظور اندازه‌گیری سفتی بافت، مواد جامد محلول و اسیدیته میوه [۵]، فراصوت جهت اندازه‌گیری سفتی بافت [۶] و بینی الکترونیک به منظور تشخیص سطح رسیدگی میوه [۷] مورد استفاده قرار گرفته است.

رنگ میوه، که جزو اولین و مهم‌ترین پارامترها در ارزیابی حسی از زمان خرید توسط مصرف‌کننده تا قبل از قرارگیری در دهان به شمار می‌آید، به دلیل تجزیه کلروفیل و تولید رنگیزه‌های خاص مانند آنتوسیانین یا کارتوئوئیدها تغییر می‌کند [۱]. از عوامل موثر در تشکیل رنگ پوست میوه می‌توان به عوامل محیطی (همچون نور، دما، شرایط تغذیه‌ای خاک)، عوامل فیزیولوژیکی و عوامل مدیریتی (همچون تراکم کاشت، سیستم تربیت و هرس باغ) اشاره نمود. نامساعد بودن هریک از عوامل ذکر شده منجر به ایجاد رنگ نامطلوب در پوست میوه می‌گردد. ممکن است رنگ پوست میوه سبز باشد اما گوشت آن به مرحله رسیدگی وارد شده باشد [۸]. در نتیجه باغبانان جهت دستیابی به رنگ مطلوب پوست، برداشت میوه را به تاخیر می‌اندازند که این امر باعث رسیدگی بیش از حد میوه می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که تعیین رسیدگی میوه با استفاده از رنگ پوست نمی‌تواند به طور کامل قابل اعتماد باشد [۹]. در پژوهشی که روی تشخیص سرمازدگی در میوه سیب با استفاده از تصویربرداری ابرطیفی در محدوده طول موجی ۴۰۰ الی ۱۰۰۰ نانومتر صورت گرفت، نتایج حاصل از استخراج مشخصه‌های طیفی از تصاویر ابرطیفی پوست نمونه‌های سالم و آسیب‌دیده نشان داد که بین مشخصه‌های طیفی نمونه‌ها در محدوده ۴۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر (محدوده بینایی انسان) امکان ایجاد تمایز بین میوه سالم و آسیب‌دیده امکان‌پذیر نیست. این درحالی است که در همین محدوده طول موجی، مشخصه طیفی مربوط به گوشت نمونه‌های سالم و آسیب‌دیده با هم تفاوت داشتند [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر، پژوهشگران گزارش نمودند که به طور قابل اطمینان نمی‌توان رنگ گوشت یا رسیدگی میوه هلو را با استفاده از رنگ پوست و بافت میوه تعیین کرد [۱۱]. گزارش‌ها

نور لیزر در تصویر تنظیم گردید. جهت کاهش نویز و جلوگیری از بازتابش نور محیط، تصویربرداری در یک اتاقک تاریک انجام گرفت.

پس از تحویل تصاویر، رنگ پوست میوه در سه نقطه مختلف روی ناحیه استوایی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رنگ سنج اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه در همان سه نقطه بعد از جدا سازی پوست، با ضخامت حدود ۲ میلی‌متر، انجام گرفت. مقادیر حاصل از دستگاه رنگ سنج در فضای رنگی $L^*a^*b^*$ ثبت گردید. سپس این داده‌ها به منظور تطبیق پذیری بیشتر با فهم انسان از رنگ، با استفاده از روابط زیر به فضای رنگی lch انتقال داده شد.

$$l = L^* \quad (1)$$

$$c = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

$$h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

در مرحله پیش‌پردازش، بعد از ثبت تصاویر رنگی اولیه توسط دوربین، این تصاویر با استفاده از رابطه زیر به تصاویر سطح خاکستری تبدیل گردید:

$$I = 0.30 \times I_r + 0.59 \times I_g + 0.11 \times I_b$$

با توجه به در نظر گرفتن عمق بیت ۸ برای تفکیک پذیری سطح شدت، مقادیر مربوط به شدت روشنایی سطح خاکستری اعداد صحیح در بازه ۰ الی ۲۵۵ می‌باشد؛ که مقدار صفر رنگ سفید خالص و مقدار ۲۵۵ رنگ سیاه خالص را نشان می‌دهد. جهت جدا سازی ناحیه مورد نظر از تصاویر، که حاوی اطلاعات مربوط به فوتون‌های پراکنش یافته است، در ابتدا محل برخورد پرتو لیزر به نمونه (ناحیه اشباع تصویر) با استفاده از عملیات مورفولوژیکی باز کردن و تعریف یک سازه دایره‌ای با شعاع ۱۰ پیکسل، حذف گردید. سپس ناحیه شامل فوتون‌های پراکنش یافته توسط قطعه‌بندی به روش اوتسو از پس زمینه جدا گردید. در نهایت به منظور افزایش نسبت سیگنال به نویز، تصاویر قطعه‌بندی شده با استفاده از فیلتر میانه با اندازه 3×3 هموار گردید (شکل ۱).

آماره‌های توصیفی میانگین، میانه، مد، دامنه تغییرات، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی به عنوان ویژگی از مقادیر سطح شدت غیر صفر از تصاویر قطعه‌بندی شده استخراج گردید. به منظور بررسی درجه اهمیت و انتخاب ویژگی‌های مناسب از بین این ۸

هدف کلی از انجام پژوهش حاضر عبارتست از امکان‌سنجی استفاده از روش غیرمخرب و غیرتماسی تصویربرداری نور تک‌فام متمرکز به منظور اندازه‌گیری رنگ گوشت میوه سیب، به عنوان یک شاخص‌های مرتبط با رسیدگی محصول، که توانایی جایگزینی روش‌های مخرب متداول را دارا باشد. موارد زیر جهت نیل به هدف اصلی پژوهش مدنظر قرار گرفت:

(الف) بررسی میزان همبستگی مابین شاخص زاویه فام رنگ پوست با رنگ گوشت میوه.

(ب) ارزیابی آماری نتایج حاصل از روش تصویربرداری نور تک‌فام متمرکز در تعیین میزان زاویه فام رنگ گوشت میوه سیب ارقام رد دلشس و فوجی.

۲- مواد و روش‌ها

۱۵۰ عدد سیب رقم رد دلشس و ۱۵۰ عدد سیب رقم فوجی به صورت کاملاً سالم و بدون هیچ‌گونه عیب و بیماری از درختان یکی از باغات اطراف سنندج در اواخر شهریورماه ۱۳۹۴ به صورت دستی برداشت گردید. عملیات برداشت و انتقال نمونه‌های سیب طوری انجام گرفت که هیچ‌گونه آسیب دیدگی مکانیکی در نمونه‌ها ایجاد نگردد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه پایش نوری و تصویربرداری مواد بیولوژیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان جهت تحویل تصاویر انتقال داده شدند.

سیستم تصویربرداری نور تک‌فام برای این پژوهش شامل یک عدد دوربین CCD مجهز به لنز بزرگنمایی، که دارای حساسیت مناسب در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس است، می‌باشد. منبع نور تک‌فام مورد استفاده، یک عدد دیود لیزری با طول موج کاری ۶۵۰ نانومتر بود. برای هر نمونه سیب یک تصویر در طول موج ۶۵۰ نانومتر تحصیل شد. بعد از ساطع شدن نور لیزر بر روی سطح نمونه‌ها، فوتون‌های نور به داخل بافت میوه نفوذ کرده و بخشی از این نور دوباره به طرف سطح میوه بازتاب می‌شود. فوتون‌های پراکنش یافته توسط دوربین به صورت تصاویر سه کاناله RGB با تفکیک‌پذیری مکانی 720×480 پیکسل و تفکیک‌پذیری سطح شدت ۲۴ بیت و با فرمت tif ثبت گردید. هنگام تحصیل تصاویر، نمونه‌ها به صورت افقی و در ست زیر دوربین قرار داده شد. زاویه تابش نور لیزر با محور عمود بر سطح افق در بازه ۱۵ الی ۲۵ درجه و فاصله بین لنز و نمونه بر اساس وضوح‌پذیری

نتایج حاصل از آزمون همبستگی مابین زاویه فام رنگ گوشت میوه و ویژگی‌های آماری مستخرج از ناحیه شامل فوتون‌های پراکنش یافته در تصاویر نشان داد که برای سیب رقم رد دلشس ویژگی‌های میانگین، میانه، مد، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی و در سیب رقم فوجی ویژگی‌های میانگین، میانه، ضریب کشیدگی و ضریب چولگی در سطح اطمینان یک درصد با رنگ گوشت میوه همبسته می‌باشند. بنابراین از این ویژگی‌ها به عنوان ویژگی‌های منتخب به منظور ایجاد مدل رگرسیون پیش‌بینی کننده نهایی استفاده گردید (جدول ۱).

روابط ۵ و ۶ به ترتیب مدل‌های رگرسیون چند متغیره پیش‌بینی میزان زاویه فام رنگ گوشت در میوه سیب ارقام رد دلشس و فوجی را با استفاده از ویژگی‌های منتخب نشان می‌دهد. میزان ضریب همبستگی مابین مقدار واقعی زاویه فام رنگ گوشت و مقدار پیش‌بینی شده بر اساس ویژگی‌های مستخرج از تصویر برای رقم رد دلشس و در مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۹۵ و ۰/۶۴۳ حاصل گشت. در مورد رقم فوجی نیز مقادیر ضریب همبستگی به دست آمده، به ترتیب ۰/۴۹۶ و ۰/۳۴۴ برای مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی، بیانگر رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح اطمینان یک درصد است (شکل ۴ و ۵). میزان میانگین خطای مطلق نیز در مراحل کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۲/۳۸۳ و ۲/۶۱۷ برای رقم رد دلشس و ۲/۳۱۴ و ۲/۶۷۸ برای رقم فوجی حاصل گشت. مقادیر کم میانگین خطای مطلق نشان‌دهنده دقت نسبتاً مناسب مدل خطی ایجاد شده با استفاده از ویژگی‌های آماری مستخرج از ناحیه شامل فوتون‌های پس‌پراکنش یافته در پیش‌بینی میزان رنگ گوشت میوه سیب است. نتایج نشان می‌دهد که روش تصویربرداری نور تک فام متمرکز قابلیت استفاده به منظور اندازه‌گیری میزان رنگ گوشت میوه را دارا می‌باشد. هرچند که برای دستیابی به نتایج با دقت بالا و قابل اعتماد نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه است.

ویژگی، از آزمون ضریب همبستگی استفاده گردید. در نهایت، مدل‌های کالیبراسیون رگرسیونی خطی چند متغیره با استفاده از ویژگی‌های انتخاب شده از تصاویر به عنوان ورودی و مقادیر زاویه فام رنگ گوشت میوه به عنوان خروجی ایجاد گردید. برای هر کدام از ارقام سیب، از دو سوم داده‌ها در مرحله کالیبراسیون و ایجاد مدل و از مابقی داده‌ها در مرحله اعتبارسنجی استفاده شد. عملیات مربوط به تحصیل و پردازش تصاویر با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه R2015a صورت پذیرفت. همچنین از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ به منظور انجام تحلیل‌های آماری و ایجاد مدل‌های کالیبراسیون استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ و ۳ دیاگرام پراکنش داده‌های مربوط به شاخص زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سیب را به ترتیب برای ارقام رد دلشس (با ضریب همبستگی $r=0/008$) و فوجی (با ضریب همبستگی $r=0/262$) نشان می‌دهد. آزمون ضریب همبستگی برای داده‌های مربوط به زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سیب رقم رد دلشس نشان داد که هیچگونه ارتباط معنی‌داری بین این دو متغیر در سطح اطمینان ۵٪ وجود ندارد ($p\text{-value}=0/923$). اما برای سیب رقم فوجی نتایج آزمون همبستگی بیانگر وجود رابطه معنی‌دار در سطح اطمینان ۵٪ بین شاخص فام رنگ پوست و فام رنگ گوشت میوه بود ($p\text{-value}=0/001$). نتایج نشانگر این واقعیت است که در مورد سیب رقم رد دلشس تغییرات رنگ پوست میوه با تغییر در رنگ گوشت آن همبسته نیست. همچنین در میوه سیب رقم فوجی نیز با وصف معنی‌دار بودن ارتباط خطی مابین شاخص‌های زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت، به دلیل پایین بودن مقدار ضریب همبستگی، ارتباط ضعیفی مابین این دو شاخص وجود دارد. پس به طور کلی اینگونه نتیجه‌گیری می‌شود که نمی‌توان از روی اطلاعات رنگ پوست میزان رنگ گوشت میوه را پیش‌بینی نمود.

$$\text{Flesh Hue} = 65.548 + 0.4773 \times \text{Average} - 0.351 \times \text{Median} + 0.025 \times \text{Mode} + 19.043 \times \text{Kurtosis} - 63.599 \times \text{Skewness} \quad (5)$$

$$\text{Flesh Hue} = 94.744 + 0.936 \times \text{Average} - 0.849 \times \text{Median} + 0.425 \times \text{Kurtosis} - 22.884 \times \text{Skewness} \quad (6)$$

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، مطالعه اولیه و امکان سنجی استفاده از روش غیرمخرب تصویربرداری نور تک فام متمرکز به منظور اندازه گیری رنگ گوشت میوه به صورت غیرمخرب انجام پذیرفت. نتایج بیانگر عدم امکان پیش بینی میزان رنگ گوشت میوه از روی مقادیر مربوط به رنگ پوست نمونه ها بود. از آزمون همبستگی به عنوان یک روش پایه به منظور تشخیص میزان همبستگی مابین تغییر در میزان زاویه فام رنگ گوشت میوه و ویژگی های مستخرج از تصاویر تک فام استفاده گردید. هرچند که مقادیر مربوط به ضرایب همبستگی حاصل از مدل های چند متغیره خطی مابین مقادیر واقعی و پیش بینی شده زاویه فام رنگ توسط روش پیشنهادی، برای دو رقم سیب مورد آزمایش، در حد قابل قبول نیست؛ اما نتایج نسبتاً مناسب بدست آمده برای شاخص خطای پیش بینی نوید بخش امکان پذیری توسعه این روش در آینده می باشد. به نظر می رسد که این روش این توانایی را داشته باشد که تغییر در میزان رنگ گوشت ناشی از تغییرات فیزیولوژیکی در میوه که در اثر شرایط نامناسب محیطی و تغذیه ای روی می دهد را تشخیص دهد. هرچند که برای صحت این امر نیاز به انجام پژوهش های بیشتر و مطالعه بر روی میوه های مختلف است.

سپاسگزاری

از پرسنل محترم آزمایشگاه فیزیولوژی پس از برداشت گروه باغبانی و آزمایشگاه پایش نوری و تصویربرداری مواد بیولوژیک گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه کردستان که زمینه انجام آزمایش های این پژوهش را فراهم آوردند، کمال تشکر را می نماید.

فهرست علائم

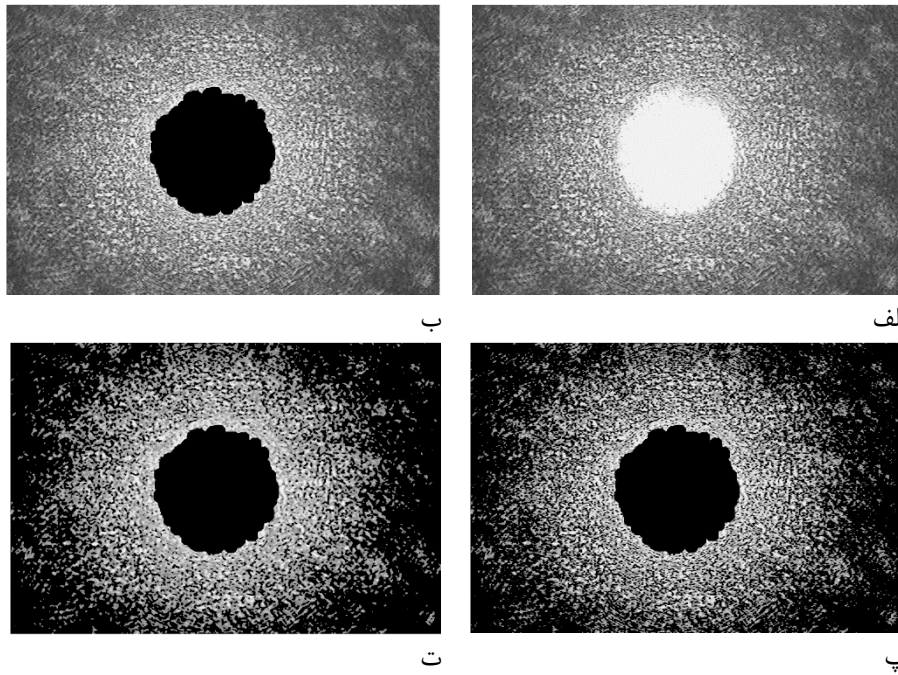
I	شدت روشنایی پیکسل های تصاویر سطح خاکستری
I _r	شدت روشنایی پیکسل های مولفه قرمز تصویر رنگی
I _g	شدت روشنایی پیکسل های مولفه سبز تصویر رنگی
I _b	شدت روشنایی پیکسل های مولفه آبی تصویر رنگی

I, L*	شدت روشنایی رنگ
a*	شاخص رنگینگی در موقعیت بین سبز و قرمز
b*	شاخص رنگینگی در موقعیت بین آبی و زرد
c	رنگینگی
h	زاویه فام رنگ

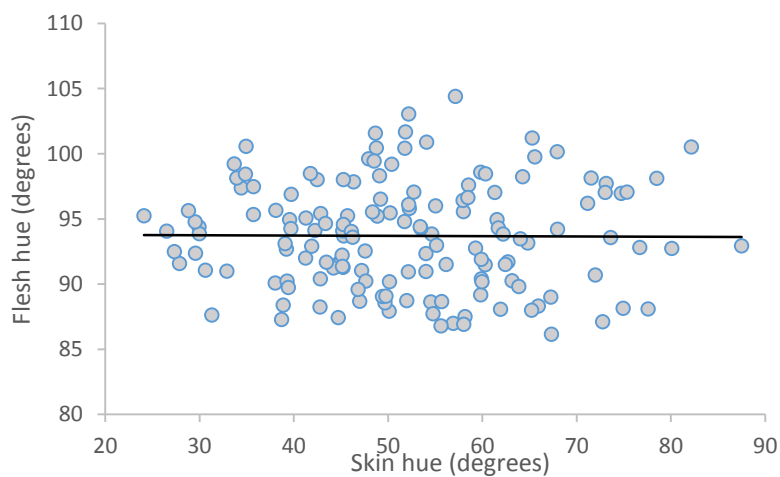
مراجع

- ۱- کوشش صبا، م. و رمضانیان، ا. (۱۳۹۴) زیست شناسی و فناوری پس از برداشت برای حفظ کیفیت میوه ها (ترجمه)، انتشارات دانشگاه کردستان .
- 2- Abbott, J. A. (1999). Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207–225.
- 3- Cho, Y. J., Kang, S. (2011). *Emerging Technologies for Food Quality and Food Safety Evaluation*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- 4- Slaughter, D. C., Crisosto, C. H., Tiwari, G. (2013). Nondestructive determination of flesh color in clingstone peaches. *Journal of Food Engineering*, 116(4), 920–925.
- 5- Gomez, A. H., He, Y., Pereira, A. G. (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 313–319.
- 6- Kim, K. B., Lee, S., Kim, M. S., Cho, B. K. (2009). Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic measurement. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 44–48.
- 7- Pathange, L. P., Mallikarjunan, P., Marini, R. P., O'Keefe, S., Vaughan, D. (2006). Non-destructive evaluation of apple maturity using an electronic nose system. *Journal of Food Engineering*, 77(4), 1018–1023.

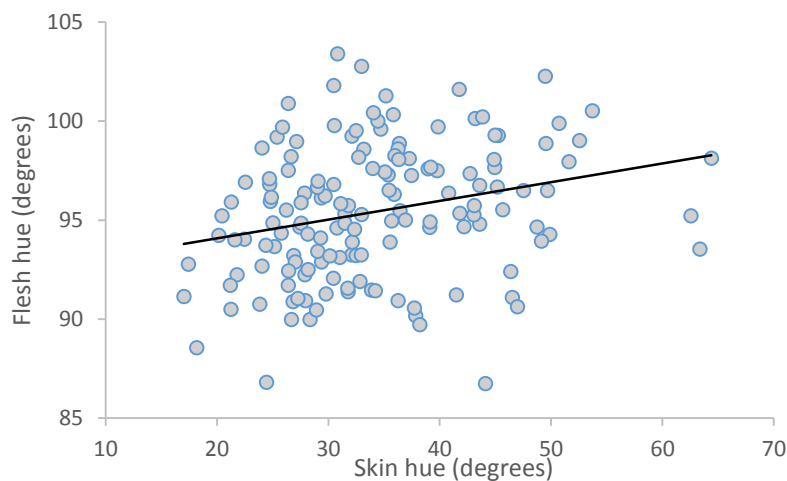
- Horticulturae*, International Society for Horticultural Science, Wageningen, 597-600.
- 13- Baranyai, L., Regen, C., Zude, M. (2009). Monitoring optical properties of apple tissue during cool storage. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, 69, 112-119.
 - 14- Qin, J., Lu, R. (2007). Measurement of the absorption and scattering properties of turbid liquid foods using hyperspectral imaging. *Applied Spectroscopy*, 61(4), 338-396.
 - 15- Cluff, K., Naganathan, G. K., Subbiah, J., Lu, R., Calkins, C. R., Samal, A., 2008. Optical scattering in beef steak to predict tenderness using hyperspectral imaging in the VIS-NIR region. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 2, 189-196.
 - 16- Romano, G., Nagel, M., Argyropoulos, D., Muller, J. (2011). An innovative laser-based optical technology to predict moisture content and color of Bell pepper (*Capsicum annuum*, L) during drying. *Proceedings of the ASABE Annual International Meeting*. 1-9, ASABE paper no 1111059, St. Joseph, ASABE.
 - ۸- قرقانی، ع. و صلح‌جو، س. (۱۳۹۳) *شناخت عوامل موثر در تشکیل و راه‌کارهای افزایش رنگ قرمز میوه سیب*، فصل‌نامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۵، ص ۱۳-۸.
 - ۹- راحمی، م. (۱۳۸۴) *فیزیولوژی پس از برداشت: مقدمه‌ای بر فیزیولوژی و جابجایی میوه، سبزی‌ها و گیاهان زینتی* (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شیراز.
 - 10- ElMasry, G., Wang, N. Vigneault, C. (2009). Detecting chilling injury in red delicious apple using hyperspectral imaging and neural networks. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1), 1-8.
 - 11- Fuleki, T., Cook, F. I., (1976). Relationship of maturity as indicated by flesh color to quality of canned clingstone peaches. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 9(1), 43-46.
 - 12- Valero, C., Crisosto, C., Garner, D., Bowerman, E., Slaughter, D. (2003). Introducing nondestructive flesh color and firmness sensors to the tree fruit industry. In *International Conference on Quality in Chains. An Integrated View on Fruit and Vegetable Quality*, L. M. M., H. M., Tijskens. eds., Vol. 604 of *Acta*



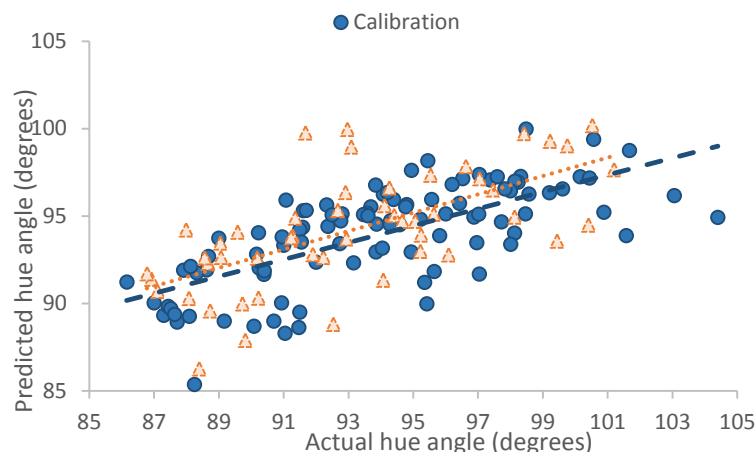
شکل (۱) تصاویر حاصل از برخورد نور متمرکز در طول موج ۶۵۰ نانومتر با بافت سیب رقم فوجی؛ الف) تصویر خام، ب) قطعه‌بندی ناحیه اشباع، پ) قطعه‌بندی ناحیه پس‌پراکنش، ت) حذف نویز با اعمال فیلتر میانه



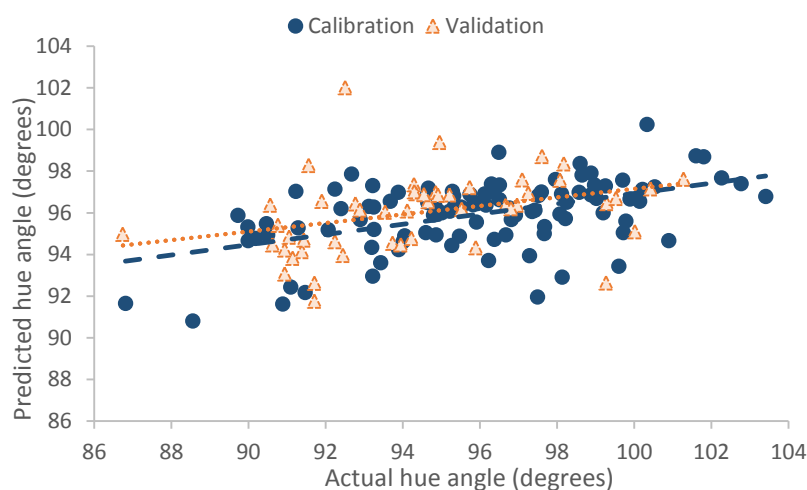
شکل (۲) دیاگرام پراکنش بین شاخص زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سیب رقم رد دلشس



شکل (۳) دیاگرام پراکنش بین شاخص زاویه فام رنگ پوست و زاویه فام رنگ گوشت سیب رقم فوجی



شکل (۴) ارتباط بین مقدار واقعی زاویه فام رنگ گوشت و مقدار پیش‌بینی شده این شاخص با روش تصویربرداری نور تک فام متمرکز در میوه سیب رقم رد دلشس با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیر



شکل (۵) ارتباط بین مقدار واقعی زاویه فام رنگ گوشت و مقدار پیش‌بینی شده این شاخص با روش تصویربرداری نور تک فام متمرکز در میوه سیب رقم فوجی با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره

جدول (۱) نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین زاویه فام رنگ گوشت میوه سیب و ویژگی‌های استخراج شده از ناحیه پس‌پراکنش*

ویژگی‌های آماری رقم سیب	میانگین	میانه	مد	دامنه تغییرات	انحراف معیار	ضریب تغییرات	ضریب کشیدگی	ضریب چولگی
رد دلشس	۰/۰۰۱ (۰/۲۷۴)	۰/۰۰۰ (۰/۲۹۹)	۰/۰۰۰ (۰/۳۳۸)	۰/۰۹۰ (-۰/۱۳۹)	۰/۷۹۷ (۰/۰۲۱)	۰/۰۱۲ (-۰/۲۰۴)	۰/۰۰۰ (-۰/۵۸۵)	۰/۰۰۰ (-۰/۶۲۵)
فوجی	۰/۰۰۵ (۰/۲۲۶)	۰/۰۰۵ (۰/۲۳۰)	۰/۰۴۰ (۰/۱۶۸)	۰/۰۷۳ (-۰/۱۴۷)	۰/۰۵۸ (۰/۱۵۵)	۰/۳۰۹ (-۰/۰۸۴)	۰/۰۰۰ (-۰/۳۶۱)	۰/۰۰۰ (-۰/۳۸۴)

* اعداد موجود در هر خانه جدول به ترتیب بیانگر میزان p-value (عدد خارج از پرانتز) و ضریب همبستگی (عدد داخل پرانتز) می‌باشد.

بررسی مهم ترین دلایل پرتوگیری های غیرعادی در پرتونگاری صنعتی

فریدون میانجی^{۱*}، سید مهدی حسینی پویا^۲، محمدرضا دشتی پور^۳، سمانه برادران^۱

^۱عضو هیئت علمی پژوهشکده راکتور و ایمنی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران

^۲عضو هیئت علمی پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران

^۳کارشناس امور حفاظت در برابر اشعه، نظام ایمنی هسته ای کشور، سازمان انرژی اتمی، تهران

*fmianji@gmail.com

چکیده

میانگین پرتوگیری شغلی در پرتونگاری صنعتی یکی از بالاترین پرتوگیری ها در میان کاربردهای پرتوی است. پرتوگیری های بالاتر از ۴ میلی سیورت در پرتونگاری صنعتی در هر دوره دوماهه دزیمتری فردی یا در هر دوره ای کوتاه تر از آن (برای نمونه در یک عملیات پاسخ به حادثه) پرتوگیری غیرعادی شناخته می شود. بررسی انجام شده بر روی تعداد زیادی از موارد گزارش شده بر پایه پرسشنامه های تکمیل شده به وسیله پرتونگاران نشان می دهد که در بسیاری از موارد پرتونگاران دز غیرعادی ثبت شده خود را ($> 4 \text{ mSv}$) تأیید نمی نمایند. در این پژوهش فراوانی دلایلی که پرتونگاران در رد دز غیر عادی ثبت شده خود عنوان نموده اند مورد بررسی قرار گرفته و پذیرفتنی بودن چنین دلایلی از دیدگاه دستورالعمل های ایمنی پرتونگاری و نیز مقررات موجود مورد تحلیل قرار گرفته است. در پایان با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهادهایی برای پیشگیری از پرتوگیری های غیر عادی در پرتونگاری صنعتی ارائه شده است.

کلیدواژه: پرتونگاری صنعتی، پرتوگیری غیرعادی، دستورالعمل ایمنی، حادثه

۱- مقدمه

است که تعداد زیاد پرتوگیری های بالا تنها در ایران رخ نمیدهد.

در گزارش مورد اشاره به دلایل بروز پرتوگیری های بالا نیز اشاره شده است. دو دلیل که بطور مشترک از دیدگاه واحد های قانونی و پرتونگاران از دلایل اصلی بروز پرتوگیری های بالا بوده اند عبارتند از:

- بی دقتی در تعیین ناحیه کنترل شده؛
- بکار نبردن درست دزیمتر محیطی.

دلایلی نیز از طرف واحدهای قانونی در این زمینه ارائه شده است که از نظر پرتونگاران دلایل اصلی نبوده اند. این دلایل بشرح زیر بوده است.

دلایل اصلی دیگر از نظر واحدهای قانونی:

- اجرا نکردن سیستم هشدار پیشگیری از ورود به ناحیه با آهنگ دز بالا؛
- آمادگی ناکافی در پاسخ به شرایط حادثه؛
- بکارنبردن درست هشدار دهنده،

و پرتونگاران سه دلیل دیگر را در همین زمینه عنوان نموده اند:

میانگین پرتوگیری در پرتونگاری صنعتی یکی از بالاترین میانگین های پرتوگیری شغلی در ایران است [۱]. این نکته در بسیاری از کشورهای دیگر نیز به همین ترتیب است. تا کنون چندین پژوهش در زمینه ارزیابی پرتوگیری شغلی به انجام رسیده و راه کارهایی نیز برای کاهش آن پیشنهاد شده است [۱ و ۲]. در سال ۲۰۱۱ پژوهشی به وسیله آژانس بین المللی انرژی اتمی برای ارزیابی وضعیت پرتوگیری های شغلی در برخی کشورها به انجام رسید که در آن تلاش گردید تا دلایل پرتوگیری های بالا یا حوادث پرتوی از دیدگاه پرتونگاران و واحد قانونی کشورها مورد بررسی قرار گیرد [۳]. بررسی مورد اشاره ۵۹ کشور را در بر می گرفت و در مجموع ۹۵ شرکت پرتونگاری و ۴۳۲ پرتونگار در مطالعه شرکت نمودند. آنچه از نتایج بدست آمده از مطالعه انجام شده دارای اهمیت است آمار پرتوگیری های شغلی سالانه بالاتر از ۵ میلی سیورت است. گزارش نشان می دهد که یک چهارم پرتونگاران شرکت کرده در این پژوهش پرتوگیری سالانه ای بین ۵ تا ۲۰ میلی سیورت داشته اند. این نشان دهنده این نکته

غیرعادی را برای شرکت پرتونگاری می فرستد که باید به وسیله پرتونگار با توضیحاتی شامل دلیل پرتوگیری غیرعادی و دز ثبت شده دوره به وسیله دزیمتر خوانش مستقیم وی پر شده و پس از تأیید مسئول فیزیک بهداشت و شخص مسئول شرکت برای واحد قانونی فرستاده شود. در این پژوهشی، در یک دوره سه ساله (۱۳۹۱ تا پایان ۱۳۹۳)، همه موارد پرتوگیری های غیرعادی از نظر دلایل عنوان شده به وسیله پرتونگاران بررسی شده اند. در مجموع ۳۳۳ مورد پرتونگاری غیر عادی از نظر کامل بودن توضیحات، دلایل عنوان شده و گزارش نمودن دز دوره ثبت شده با دزیمتر فردی خوانش مستقیم ارزیابی شد و تلاش گردید تا مشکلات موجود در روش کار پرتونگاران از تحلیل گزارش ها روشن گردد. از کل پرسشنامه ها ۱۵ مورد بدون توضیح بازگردانده شده بود بنابر این تحلیل بر روی ۳۱۸ پرسشنامه کامل انجام شد. برای رسیدن به این منظور، دلایل آورده شده به وسیله پرتونگاران در ۷ گروه دسته بندی شده است که عبارتند از:

- ۱- خرابی تجهیزات (دوربین پرتونگاری، تجهیزات جانبی، دزیمتر، ...)
- ۲- استفاده از دزیمتر ترمولومینسانس برای بیش از دو ماه
- ۳- حجم کار زیاد (در طول دوره دو ماهه)
- ۴- کار در ارتفاع
- ۵- افتادن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک چشمه در زمان پرتودهی
- ۶- گذاشتن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک دوربین در زمان جابجایی
- ۷- دز ثبت شده مورد پذیرش پرتونگار نیست و وی دلیلی برای آن ندارد

در برخی از پرسشنامه ها پرتونگاران به دو دلیل در چرائی پرتوگیری غیر عادی خود اشاره نموده بودند که در این موارد هر دو دلیل در بررسی محاسبه فراوانی دلایل در نظر گرفته شد.

- بکارنبردن درست کالیماتور؛
- درست بررسی نکردن سالم بودن تجهیزات پیش از آغاز کار پرتونگاری؛
- آگاهی کم پرتونگار از روند اجرای کار در هر مورد.

در این نوشتار وضعیت پرتوگیری های شغلی بالا در ایران مورد بررسی قرار گرفته است. با ارزیابی پرسشنامه هایی که پس از هر پرتوگیری غیرعادی برای پرتونگاران فرستاده می شود، توضیح ایشان و شرکت های پرتونگاری در چرائی پرتوگیری بالای رخ داده از شرکت خواسته می شود. انجام یک بررسی فراگیر در این زمینه به واحد قانونی و نیز پرتونگاران (و شرکت ها) کمک می نماید تا با اندیشیدن در زمینه های بروز یا ثبت چنین مواردی بهتر از بروز آنها پیشگیری نمایند.

۲- مواد و روش ها

در پرتونگاری صنعتی ایران دزیمتر خوانش غیرمستقیم فردی از نوع ترمولومینسانس بکارگرفته می شود. پرتونگاران باید همچنین از دزیمترهای خوانش مستقیم کمکی نیز در این فعالیت استفاده نمایند تا بتوانند هم از دز دریافتی خود در هر لحظه یا در پایان روز کاری آگاهی یابند و هم احتمال اشتباه در تعیین دز دوره ای که تنها با تکیه بر دزیمتر خوانش غیر مستقیم است کاهش یابد [۴]. مهمترین دلیل به کارگیری دزیمتر خوانش مستقیم این است که چنانچه دز دریافتی فرد در طول انجام کار پرتونگاری یا در پایان روز کاری بالاتر از آستانه بررسی روزانه گردد (معمولاً ۲۰ تا ۸۰ میکروسیورت بسته به شرایط و حجم کار)، پرتونگار بتواند (و باید) نسبت به بررسی شرایط یا رخدادهایی که ممکن است موجب دریافت دز بالاتر برای وی شده است اقدام نماید. زمانی که پرتونگار دزیمتر ترمولومینسانس خود را در پایان دوره دزیمتری برای خوانش و تعیین دز دوره (دو ماهه) به شرکت خدمات دهنده دزیمتری فردی می فرستد، چنانچه دز دریافتی دوره بیش از ۴ میلی سیورت باشد، مورد به واحد قانونی گزارش می گردد. واحد قانونی برای آگاهی از دلیل چنین پرتوگیری نسبتاً زیادی پرسشنامه پرتوگیری

۳- نتایج و بحث

فراوانی دلایل آورده شده در ۳۱۸ پرسشنامه پرتوگیری غیرعادی در جدول ۱ نمایش داده شده است. پرتونگاران در ۳۱۸ مورد پرتوگیری غیر عادی ۳۷۶ دلایل را عنوان نموده اند که نشانگر ۱/۱۸ دلیل برای هر مورد پرتوگیری غیرعادی است. میانگین "تعداد دلیل به ازای هر مورد" نزدیک به ۱ می تواند به معنی اطمینان پرتونگاران از دلیل ارائه شده باشد. از دیگر سو، این ضریب نزدیک به ۱ می تواند نشانه ای از توجه کم پرتونگاران به دلایلی که می توانسته موجب پرتوگیری زیاد ایشان بشود باشد زیرا در عملیات پرتونگاری احتمال آنکه رعایت نکردن چندین

نکته موجب بالا رفتن دز دوره فرد گردد زیاد است. از نظر فراوانی دلایل ارائه شده، همانگونه که دیده می شود "افتادن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک چشمه در زمان پرتودهی" و "کار در ارتفاع" بترتیب از فراوانی نخست و دوم برخوردار می باشند. پس از این دو، عوامل "گذاشتن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک دوربین در زمان جابجایی"، "دز ثبت شده مورد پذیرش پرتونگار نیست و وی دلیلی برای آن ندارد" و "حجم کار زیاد" از بیشترین سهم در میان دلایل پرتوگیری های غیر عادی، البته بنابر گفته پرتونگاران و تأیید مسئولین فیزیک بهداشت آنها، برخوردارند.

جدول ۱: فراوانی دلایل پرتوگیری های غیر عادی بنابر ادعای پرتونگاران

دلیل	تعداد مورد ادعا شده	درصد فراوانی از کل (%)
خرابی تجهیزات	۱۶	۴/۲
استفاده از دزیمتر ترمولومینسانس برای بیش از دو ماه	۹	۲/۴
حجم کار زیاد	۵۷	۱۵/۲
کار در ارتفاع	۸۶	۲۲/۳
افتادن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک چشمه در زمان پرتودهی	۸۷	۲۳/۱
گذاشتن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک دوربین در زمان جابجایی	۵۸	۱۵/۴
دز ثبت شده مورد پذیرش پرتونگار نیست و وی دلیلی برای آن ندارد	۶۳	۱۶/۸

گذشته از موضوع فراوانی دلایل ارائه شده، موضوعی که نیازمند توجه بیشتر است نوع دلیل و امکان پیشگیری از آن است. در اینجا به بررسی هر یک از دلایل ارائه شده از این دیدگاه پرداخته شده است.

افتادن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک چشمه در زمان پرتودهی: هرچند ارائه این دلیل برای پرتوگیری غیرعادی در نزدیک به یک چهارم از کل موارد بیانگر واقعی نبودن پرتوگیری ها در بسیاری از موارد است اما با دو پرسش مهم در این زمینه روبرو می شویم. نخست آنکه چرا باید دزیمتر فردی پرتونگار به آسانی از لباس وی جدا شده و در نزدیکی چشمه پرتونگاری بیافتد در حالی که دز زمان تنظیم نوک پرتودهی پرتونگار در حرکت نبوده یا در حال بالا یا پایین رفتن از موانع نیست. و اینکه آیا گیره بچ دزیمتر فردی وی نیاز به تعمیر یا تعویض دارد. اگر چنین باشد بنظر می رسد که کنترل کیفی بچ دزیمترها نیز باید به فهرست کنترل های مورد نیاز در پرتونگاری افزوده

شود. دوم آنکه، چرا پرتونگار پس از آگاهی از افتادن دزیمتر ترمولومینسانس در نزدیکی چشمه پرتودهی آنرا برای خوانش به شرکت خدمات دهنده دزیمتری فردی نمی فرستد و به بکارگیری آن تا پایان دوره دوماه ادامه می دهد. این نکته با دستورالعمل های ایمنی در پرتونگاری صنعتی همسو نیست.

کار در ارتفاع: این مورد نیز در نزدیک به یک چهارم از موارد بعنوان دلیل پرتوگیری غیر عادی آورده شده است. هرچند کار در ارتفاع می تواند دلیلی برای دشوارتر بودن شرایط کاری و حتی کمی پرتوگیری بیشتر نسبت به شرایط عادی باشد اما روشن است که آگاهی و بکار بستن روش های کاهش آهنگ دز در این زمینه (مانند استفاده از کالیماتور) می توانند بسیار چاره ساز باشند. بنابر این، فراوانی بالای این دلیل نشانه ای از کمبود آگاهی یا جدی نگرفتن روش های کار ایمن به وسیله پرتونگاران است.

آنها همت گماشت. در دیگر سو، بیش از یک سوم پرتوگیری های غیر عادی ناشی از حجم بالای کار یا کار در ارتفاع قلمداد شده اند. این تائید پرتوگیری نیز نشانه ای قوی از بهینه بکار نبستن اصول کار ایمن بوسیله پرتونگاران پرتوگیری کرده است. بهر حال بر پایه توضیحات پرتونگاران، بدون در نظر گرفتن دقیق بودن دلایل ارائه شده، بیش از ۷۵٪ از پرتوگیری های غیر عادی ناشی از رعایت نکردن در ست و کامل دستورالعمل های ایمنی در پرتونگاری صنعتی بوده است و نیاز است تا شرکت های پرتونگاری با برگزاری کارگاه های آموزش حین خدمت نسبت به افزایش آگاهی و فرهنگ ایمنی پرتونگاران بویژه برای شرایط کار سخت و بلند مدت اقدام نمایند.

۵- مراجع

- [1]. Kardan, M.R., Mianji, F., Rastkhah, N., Babakhani, A., Borhan Azad, S. (2006). Promoting the safety performance in industrial radiography using a quantitative assessment system. *J. Radio. Prot*, 26: pp 429-435.
- [2]. Economides, S., Tritakis, P., Papadomarkaki, E., Carinou, E., Hourdakakis, C., Kamenopoulou, V., Dimitriou, P. (2006). Occupational exposure in Greek industrial radiography laboratories (1996-2003). *Radiat. Prot. Dosim.*, 118(3): pp 260-264.
- [3]. Report on the Questionnaires on Occupational Exposure in Industrial Radiography. () Working Group on Industrial Radiography (WGIR), 2012. <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/communication-networks/orpnet/isemir-wgir.asp>.
- [4]. IAEA (2011) Radiation Safety in Industrial Radiography IAEA Safety Standards Series No. SSG-11 (Vienna: International Atomic Energy Agency).

گذاشتن دزیمتر ترمولومینسانس نزدیک دوربین در زمان جابجایی: این دلیل را شاید بتوان بدترین دلیل در بین همه دلایل دانست. تقریباً در یک مورد از هر شش مورد پرتوگیری غیر عادی پرتونگاران به این دلیل استناد نموده اند. همه پرتونگاران در زمینه چگونگی نگهداری و جابجایی درست دزیمترهای فردی خود آموزش دیده اند و نهادن دزیمتر در کنار دوربین پرتونگاری در زمان جابجایی یا در محل نگهداری دوربین از نظر دستورالعمل های ایمنی در پرتونگاری کاملاً نادرست می باشد.

حجم کار زیاد: این دلیل می تواند بدرسستی موجب بالاتر رفتن دز دریافتی پرتونگار گردد هر چند مانند آنچه برای "کار در ارتفاع" گفته شد روش های اجرای ایمن کار می تواند از پرتوگیری های غیر عادی حتی در این زمینه نیز پیشگیری نماید. بنابر این، روشن است که حجم کار زیاد می تواند تنها موجب اندکی افزایش در دز دریافتی پرتونگار گردد و ارتباط دادن پرتوگیری های بیش از ۴ میلی سیورت در دوره های دو ماهه به این دلیل نشانه ای از اجرا نکردن درست و کامل اصول ایمنی در کار است.

دز ثبت شده مورد پذیرش پرتونگار نیست و وی دلیلی برای آن ندارد: در ۱۶/۸٪ از موارد پرتونگاران ضمن مخالفت با دز ثبت شده بوسیله دزیمتر فردی خود از دلیل آن نا آگاه بوده اند. بنابر این این گروه می توانسته به هر یک از دلایل شش گانه دیگر یا ترکیبی از آنها پرتوگیری نموده باشد اما احتمال واقعی بودن پرتوگیری های این گروه بیشتر از غیر واقعی بودن آن است.

۴- نتیجه گیری

با انجام یک بررسی فراگیر بر روی تعداد زیادی از پرتوگیری های غیر عادی در کشور بر پایه پرسشنامه های فرستاده شده برای پرتونگاران که به وسیله ایشان پر شده است به ارزیابی دلایل بروز پرتوگیری ها از دیدگاه پرتونگاران پرداخته شد. هرچند نزدیک به دو پنجم پرتوگیری های غیر عادی غیر واقعی ادعا شده اند (اگر چنین باشد موجب خوشحالی است) و دلیل آنها افتادن دزیمتر ترمولومینسانس پرتونگار در نزدیکی چشمه یا گذاشتن دزیمتر در کنار دوربین پرتونگاری در زمان جابجایی ها عنوان شده است، چنین دلایلی نشانگر بکار نبستن اصول کار ایمن در پرتونگاری است و باید به اصلاح

مقایسه دو روش پرتونگاری دیجیتال در صنعت لوله سازی، آشکارساز صفحه تخت

و آشکارساز تقویت کننده تصویر

قاسم بابکی^{۱*}، جواد عبدالهی^۲، رضا شاملو^۳

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 آشکارساز 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 آشکارساز 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 آشکارساز تقویت کننده تصویر بهتر می باشد و نرم افزارهای مورد استفاده در آشکارساز صفحه تخت، امکانات پردازشی بیشتری نیز فراهم می آورد. با وجود برتری کیفی آشکارساز صفحه تخت در مقایسه با آشکارساز 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، آشکارساز 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 فن آوری فلورو سکویی با استفاده از تقویت کننده تصویر^۱ (رادیوسکوپ) آغاز شد و در سالهای اخیر با استفاده از سیستم های تصویر برداری دیجیتال با آشکارساز صفحه تخت^۲ 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 آشکارساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر، به ارزیابی عملکرد کمی و کیفی آنها در شرایط عملی یک کارخانه لوله سازی می پردازد.

۲- آشکارسازها

۱-۲ رادیوسکوپ با استفاده از تقویت کننده تصویر در این نوع از آشکارساز، 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 مونیتر 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- آشکارساز صفحه تخت غیرمستقیم

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

² Flat Panel Detector

¹ Image Intensifier

در تصویر حاصل از آشکارساز صفحه تخت این فواصل در گام ۱۲ نیز تمیز داده می‌شود که معادل رزولوشنی برابر 31.9 LP/cm است. شکل (۵) [4], [3]

۳-۳ حساسیت کنتراست

حساسیت کنتراست مطابق با ASTM E1647 با استفاده از یک نمونه با ضخامت 14.3 mm در شرایط مشابهی به لحاظ هندسی، برای هر دو آشکارساز بررسی گردید. همانگونه که در شکل (۶) مشخص است در تصویر حاصل از آشکارساز تقویت کننده تصویر، حفره ۱% واضح دیده نمی‌شود در حالیکه در تصویر حاصل از آشکارساز صفحه تخت، با وضوح کامل دیده می‌شود. مطابق این بررسی برای این نمونه، حساسیت کنتراست آشکارساز تقویت کننده تصویر ۲% و برای آشکارساز صفحه تخت ۱% می‌باشد.

۳-۴ قابلیت پردازش

یکی از مهمترین قابلیت‌های پردازش تصویر در رادیوگرافی دیجیتال، یکپارچه سازی ۴ می‌باشد. در آشکارساز تقویت کننده تصویر، تاثیر افزایش تعداد فریم‌های انتخابی برای یکپارچه سازی در مقایسه با آشکارساز صفحه تخت بسیار کم است. شکل‌های (۷) و (۸) دو تصویر به ترتیب مربوط به آشکارساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر با یکپارچه سازی ۵۰ و ۱۰۰ را نشان می‌دهد. افزایش تعداد فریم‌ها برای تصاویر حاصل از آشکارساز تقویت کننده تصویر برای مقادیر بیشتر از ۵۰ محسوس نیست در حالیکه در آشکارساز صفحه تخت، بهبود کیفیت تصویر با افزایش تعداد فریم‌ها کاملاً ملموس می‌باشد.

۳-۵ سرعت تست

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

سوئیچ TFT^۱ می‌باشد) ساخته شده که به صورت آرایه‌ای بر روی یک بستر شیشه‌ای نشانداده شده‌اند. یک صفحه سینتلاتور^۲، یک لایه بازتابنده و یک پوشش محافظ گرافیتی بر روی لایه اصلی آرایه‌ها 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 فتودیودهای سیلیکونی (که هر یک در واقع یکی از پیکسل‌های تصویر می‌باشند) خازن هر فتودیود تا یک مقدار مشخص ولتاژ (که مقدار باریمتناسب با مقدار دز تابش دریافتی است) باردار می‌شود. با قرائت بار خازن توسط TFT هر پیکسل، سیگنالهای آنالوگ تولید شده در آشکارساز تقویت شده و به سیگنال دیجیتال تبدیل می‌شوند. تصاویر تولید شده به کامپیوتر ارسال و توسط نرم افزار YXLON Image 3500 پردازش می‌گردند. [2].

۳- روش آزمایش

در این پژوهش خصوصیات کاربردی دو آشکارساز 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 نازک‌ترین سیم قابل مشاهده، حساسیت اندازه‌گیری می‌شود. بر این اساس حساسیت برای تصویر حاصل از آشکارساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر، مربوط به یک نمونه مشخص، با در نظر گرفتن فواصل هندسی یکسان، اندازه‌گیری گردید شکل (۴). سطح حساسیت برای آشکارساز صفحه تخت ۱.۴% و برای تقویت کننده تصویر ۲% اندازه‌گیری و محاسبه شد. این نتایج نشان می‌دهد که حساسیت تصویر حاصل از آشکارساز صفحه تخت بیشتر از تقویت کننده تصویر است.

۳-۲ رزولوشن

برای مقایسه رزولوشن از شاخص YXLON Line Pair استفاده گردید. در تصویر آشکارساز تقویت کننده تصویر، تنها تا گام ۷ فواصل بین سیم‌ها قابل تشخیص بوده که معادل رزولوشنی برابر 18.8 LP/cm می‌باشد در حالیکه

^۳ Image Quality Indicator

^۴ Integration

1 Thin-Film Transistor

2 Scintillator

کننده تصویر، حدود دو برابر بیشتر است. این ویژگی آشکارساز امکان تست در حال حرکت را فراهم می‌کند. عامل مهم دیگر در سرعت تست، طول قابل پوشش در یک تصویر متناسب با ابعاد آشکارساز، 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 آشکارساز تقویت کننده تصویر ۲ و برای آشکارساز 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 آشکارساز به فاصله تیوب تا قطعه افزایش یابد، مقدار بزرگنمایی تصویر نیز افزایش می‌یابد. در آشکارساز تقویت کننده تصویر، همانند فیلم، در صورت چسبیدن آشکارساز به قطعه، بزرگنمایی تقریباً حذف می‌شود و ابعاد به صورت واقعی نمایش داده می‌شوند اما در آشکارساز صفحه تخت در همین حالت یعنی چسبیدن قطعه به صفحه آشکارساز، مقدار بزرگنمایی حدود ۲ برابر می‌باشد.

۳-۷ ابعاد و اندازه

با توجه به ابعاد و وزن آشکارساز صفحه تخت که در مقایسه با آشکارساز 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 آشکارساز تقویت کننده تصویر بایستی در بیرون از لوله و منبع تابش در داخل لوله قرار گیرد. اما برای آشکارساز صفحه تخت می‌توان چیدمان را به گونه‌ای انجام داد تا آشکارساز 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 آشکارساز 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

آشکارساز، قابلیت تولید روشنایی نقاط مختلف در اثر یک مقدار ثابت از تابش همسان نمی‌باشد که این امر باعث می‌شود نواحی روشن و تاریک به صورت یک شبح^۱ در زمینه تصویر اصلی شکل بگیرد که نمونه‌ای از آن در شکل (۹) مشاهده می‌گردد. اما در آشکارساز صفحه تخت تغییرات یا نوسان حاصل از یک مقدار دز تابش یکسان با استفاده از کالیبراسیون قابل اصلاح می‌باشد. علاوه بر این، در آشکارساز صفحه تخت یک یا چندین پیکسل از صفحه آشکارساز 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 آشکارساز تقویت کننده تصویر و جایگزینی آن با نسل جدید آشکارسازها هستند به طوریکه گزارشی از ارتقاء و بروز رسانی و ارائه خدمات برای این نوع از آشکارسازها دیده نمی‌شود. در حالیکه سازندگان آشکارسازهای صفحه تخت دائماً در حال ارائه نمونه‌های جدید با قابلیت‌های بیشتر هستند.

۳-۱۰ عمر مفید

به طور کلی عمر مفید آشکارسازها 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 آشکارساز صفحه تخت بکار رفته و بنا به تجربه‌ای که از کار با دو آشکارساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر در کارخانه لوله سازی صفا وجود دارد، حساسیت آشکارساز صفحه تخت به عوامل اثرگذار و مخرب از قبیل نوسانات شدید تابشی و یا دمایی بیشتر است.

۳-۱۱ هزینه

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

^۱ 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.

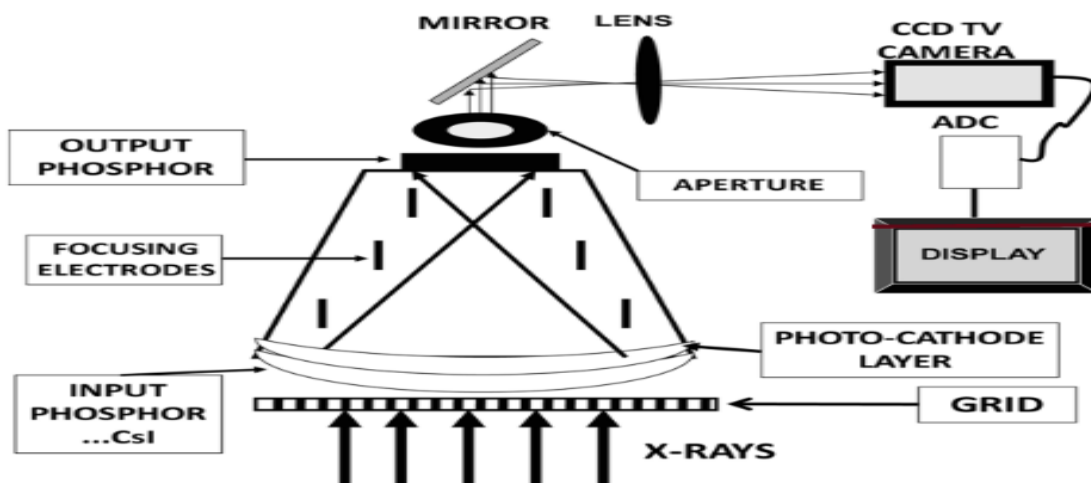
ملاحظات	تقویت کننده تصویر	صفحه تخت
حساسیت	کمتر	بیشتر
رزولوشن	کمتر	بیشتر
وضوح	کمتر	بیشتر
وزن	سنگین تر	سبکتر
اندازه صفحه	عموماً ۹ اینچ	متنوع
عمر مفید	حدود ۵ تا ۶ سال	نامشخص
تعمیر و نگهداری	ندارد	ندارد
کالیبراسیون	نیاز ندارد	نیاز دارد
زمان انجام تست	کمتر	بیشتر
امکان تست دینامیکی	دارد	ندارد
تغییرات دمایی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

۵- مراجع

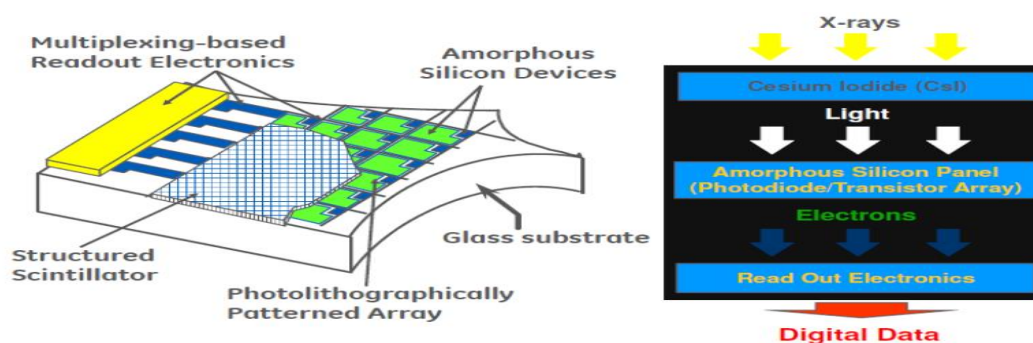
- [1] Edward Lee Nickoloff, 2011, "AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents: Physics of Flat-Panel Fluoroscopy Systems, Survey of Modern Fluoroscopy Imaging: Flat-Panel Detectors versus Image Intensifiers and More ", radiographics.rsna.org, Volume 31(2)
- [2] L.Lanca and A. Silva, 2013, " Digital Imaging 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

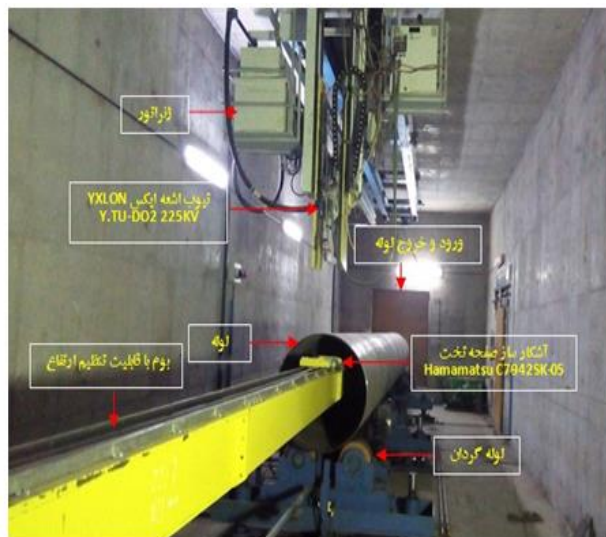
نتایج حاصل از مقایسه دو آشکار ساز صفحه تخت و تقویت کننده تصویر در بازرسی رادیوگرافی لوله ها در کارخانجات لوله سازی از سه دیدگاه قابل بررسی است. ۱- کیفی: مقایسه شاخص های کیفیت تصویر نشان از برتری کاملاً محسوس آشکار ساز صفحه تخت دارد، ۲- کمی و تولیدی: بسته به نوع آشکار ساز صفحه تخت و سطح کیفی مورد انتظار، 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 تجمیع 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.



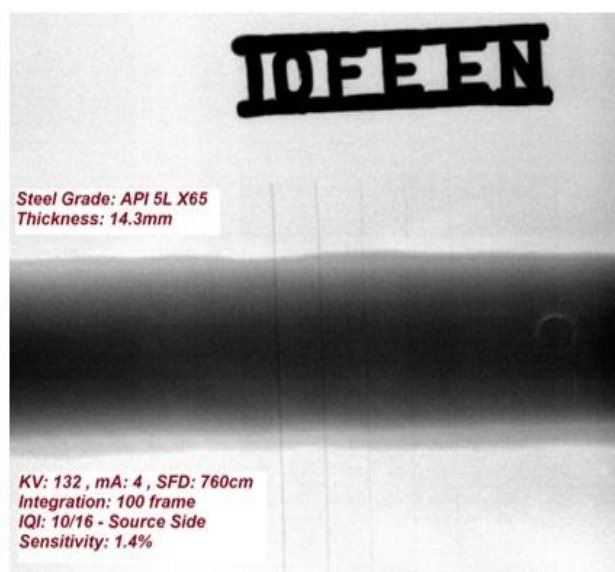
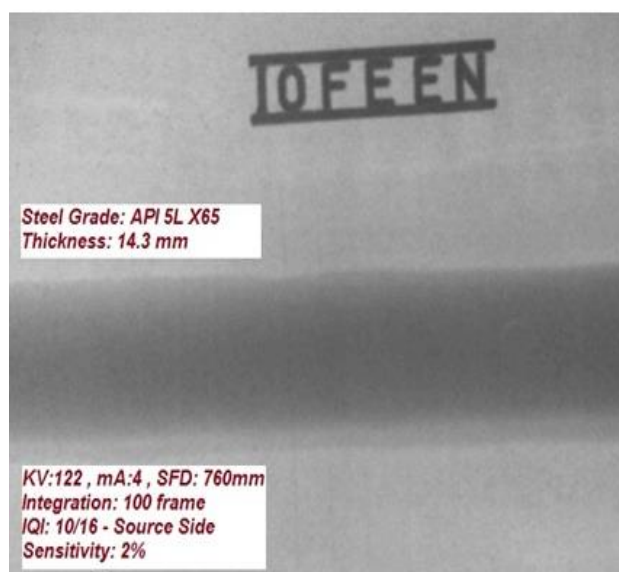
شکل (۱) نمای شماتیک تیوب تقویت کننده تصویر



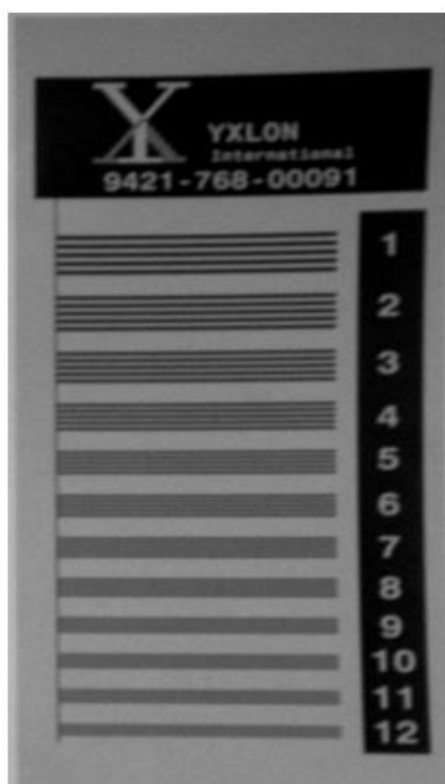
شکل (۲) نمای شماتیک فناوری تصویربرداری دیجیتال صفحه تخت غیرمستقیم



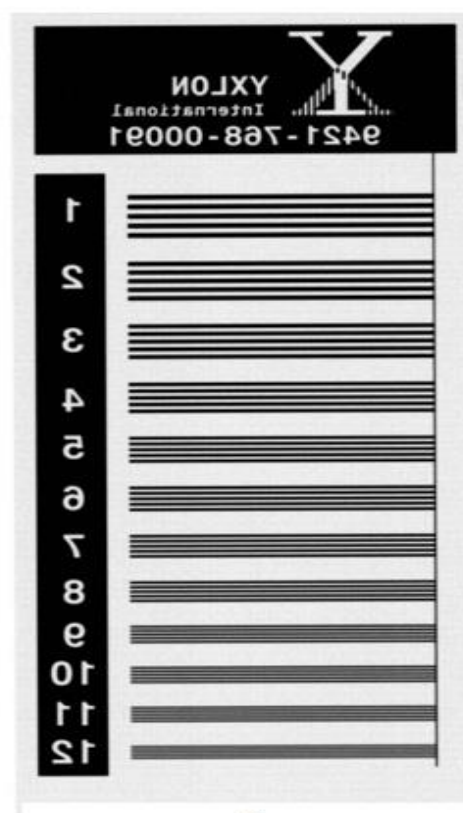
شکل (۳) تصویر سیستمهای رادیوگرافی: مجموعه آشکار ساز صفحه تخت و آشکار ساز تقویت کننده تصویر



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



A

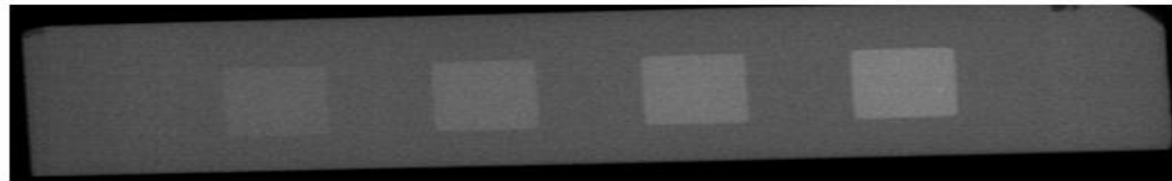


B

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

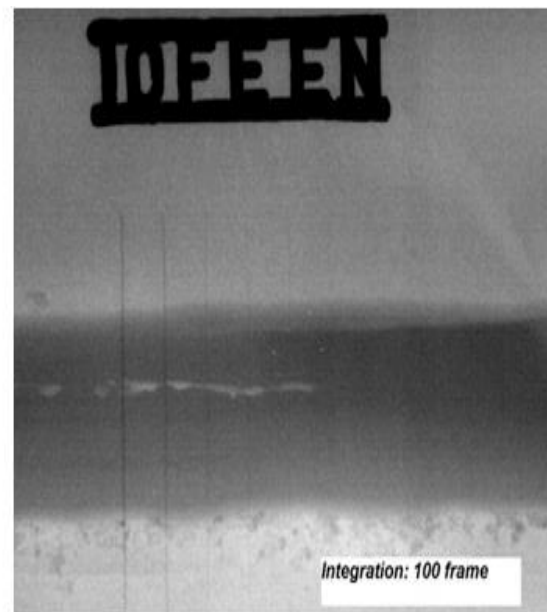
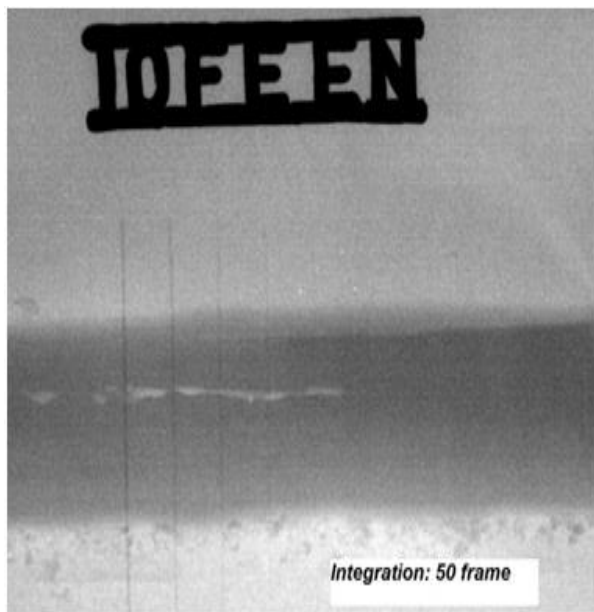


Image Intensifier, Contrast Sensitivity Block: 14.3mm

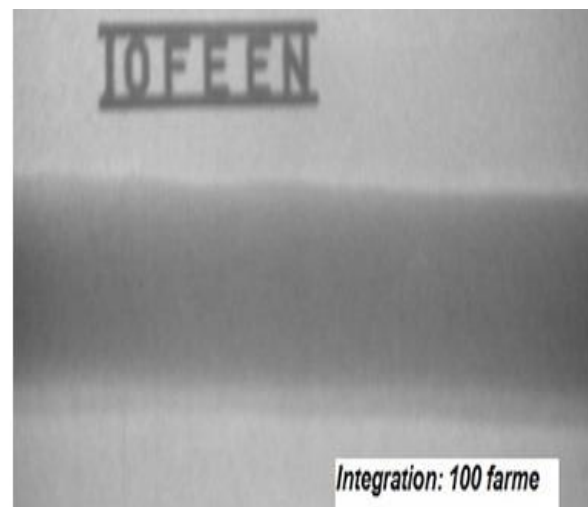
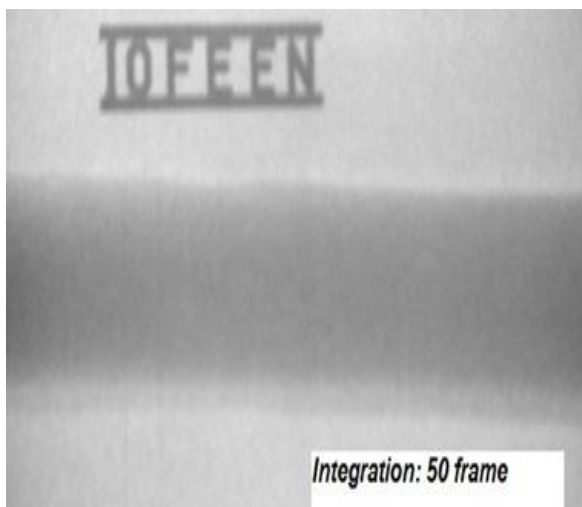


Flat panel, Contrast Sensitivity Block: 14.3mm

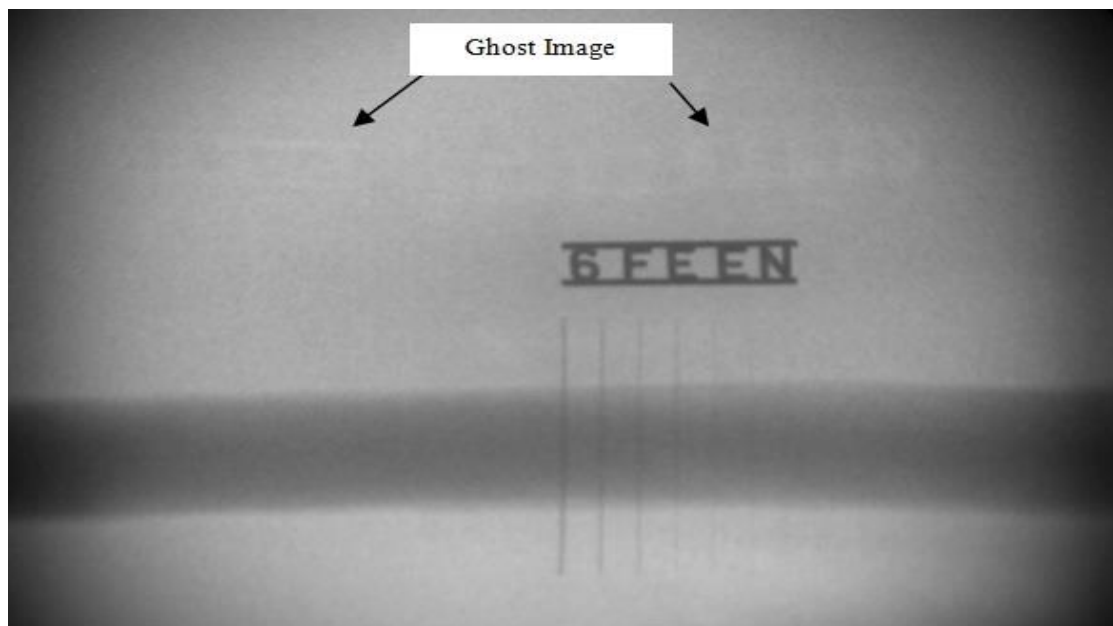
شکل (۶) مقایسه حساسیت کنتراست آشکارسازها



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



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 μm	2400x2400	12 bit	2-9 fps
	تیوب اشعه ایکس						
	مدل	ساخت	نوع	بیشینه ولتاژ	بیشینه جریان	نقطه کانونی	توان
سیستم رادیوسکوپی	Y.TU DO2	Comet	-	Metal	225	20	1mm , 0.64KW
	آشکارساز تقویت کننده تصویر						
	مدل	ساخت	تامین کننده	اندازه	دوربین	نرخ تولید تصویر	سینتلاتور
	XRS 232	Thales - France	YXLON	9"	CCD	> 20 fps	CSI
	تیوب اشعه ایکس						
	مدل	ساخت	نوع	بیشینه ولتاژ	بیشینه جریان	نقطه کانونی	توان
	Y.TU DO1	Comet	-	Metal	320	20	1.9mm , 0.64KW-

شبیه ساز محاسبات پرتونگاری صنعتی برای چشمه های گاما

بهروز رکرك^{۱*}، احمد پیرجمالی^۲، نورالدین محمدزاده^۱، امیر موافقی^۲

۱- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای

۲- سازمان انرژی اتمی ایران، مرکز نظام ایمنی هسته‌ای

۳- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها

*brokrok@aeoi.org.ir

چکیده

پرتونگاری صنعتی یکی از پرکاربردترین آزمون‌ها در بین روش‌های غیرمخرب بازرسی قطعات و تجهیزات است. استفاده از ابزارهای کامپیوتری در انجام فعالیت‌های مستلزم انجام محاسبات، می‌تواند علاوه بر صرفه جویی در زمان انجام فعالیت‌ها، به کاهش خطای انسانی در انجام محاسبات و افزایش قابلیت اطمینان، دقت و صحت محاسبات انجام شده منجر گردد. انجام رادیوگرافی صنعتی مستلزم یک سری محاسبات و انتخاب صحیح پارامترها برای حصول کیفیت مطلوب در تصاویر پرتونگاشت است. این محاسبات عمدتاً شامل محاسبات مربوط به اکتیویته چشمه، انتخاب تکنیک پرتودهی، محاسبه فاصله چشمه تا فیلم، محاسبه زمان پرتودهی، محاسبات مربوط به شاخص کیفیت تصویر و محاسبه حساسیت است. هر کدام از این پارامترها به نوع چشمه مورد استفاده، نوع فیلم، دانسیته نوری مطلوب، هندسه، جنس و ابعاد قطعه و حساسیت مطلوب وابسته است. در حال حاضر نرم‌افزارهایی برای انجام محاسبات پرتونگاری موجود است که عمدتاً فقط بخش محدودی از محاسبات را انجام می‌دهند. محاسبات پرتونگاری با تهیه یک رابط گرافیکی برای شبیه‌سازی و انجام محاسبات نسبتاً کامل پرتونگاری صنعتی با چشمه‌های گاما و با در نظر گرفتن استانداردهای صنعتی مرتبط انجام شده است. نتایج حاصل از نرم افزار شبیه ساز تهیه شده با نتایج حاصل از دیگر برنامه‌های کاربردی موجود مقایسه و تایید شده‌اند.

واژگان کلیدی:

شبیه ساز، پرتونگاری صنعتی، نرم افزار، چشمه گاما، فنون پرتونگاری

۱- مقدمه

امروزه برای انجام محاسبات رادیوگرافی نرم افزارهایی موجود است که توسط مراکز و یا شرکت های خارجی تهیه شده اند و هر کدام برخی از محاسبات را انجام می دهند که فایل اجرایی آنها بعضاً به صورت تبلیغاتی و با محاسبات محدود در شبکه اینترنت موجود است و نرم افزار کامل قابل خریداری است.

سه نمونه خارجی تحت عناوین RT Calculator Isotope و Radiography Calculation (ATTAR) و RTcalc مورد بررسی قرار گرفته اند [۱-۳].

نمونه اول، RT Calculator Isotope، توسط کمپانی OK-S Software که یک کمپانی آلمانی است تهیه شده است و کاربرد آن برای پرتونگاری با چشمه Ir-192 و Se-75 است. نسخه موجود در شبکه اینترنت این نرم افزار نسخه کامل نیست و نسخه کامل آن نیاز به خریداری و پرداخت هزینه دارد. فیلم های مورد استفاده در نرم افزار

شامل فیلم‌های کمپانی Agfa با شماره های D2، D4، D5 و D7 است. برای چشمه Ir-۱۹۲ در نسخه تبلیغاتی این نرم افزار محاسبه ضخامت از ۲ mm تا ۱۶ mm و در نسخه کامل از ۲mm تا ۱۰۰ mm انجام می‌شود. برای چشمه Se-75 در نسخه تبلیغاتی این نرم افزار محاسبه ضخامت از ۲ mm تا ۱۰ mm و در نسخه کامل از ۲ mm تا ۳۰ mm انجام می‌شود. این نرم افزار با دریافت اکتیویته منبع، اندازه فاصله چشمه تا فیلم، نوع فیلم و دانسیته مطلوب، زمان پرتودهی را محاسبه می‌کند. همچنین در این نرم افزار این قابلیت وجود دارد که با تعیین زمان پرتودهی دانسیته حاصل محاسبه گردد. قابلیت های این نرم افزار صرفاً محدود به موارد فوق است و بخش وسیعی از نیاز کاربران را پوشش نمی دهد. نمونه دوم، Radiography Calculation (ATTAR)، محصول کمپانی Advanced Technology Testing And Research است. این نرم افزار محاسبات پرتونگاری صنعتی برای چشمه IR-192 را انجام می‌دهد. در این نرم

نمونه‌های ذکر شده در مقدمه محاسبات نسبتاً کاربردی، اما تا حدی ناقص و محدود در پرتونگاری صنعتی را انجام می‌دهند. منابع پرتو، محدوده ضخامت، جنس‌های مختلف مواد و نوع فیلم از جمله مواردی هستند که در نرم افزارهای فوق به شکل محدودی در نظر گرفته شده‌اند.

همچنین در نرم‌افزارهای فوق شکل هندسی قطعه در محاسبات در نظر گرفته نشده است. اصولاً در پرتونگاری صنعتی به صورت کاربردی و کلاسیک قطعات بیشتر به دو فرم صفحه‌ای (Plate) و لوله (Pipe) در نظر گرفته می‌شوند و اولین محاسبه‌ای که انجام می‌شود، محاسبات مربوط به انتخاب تکنیک پرتونگاری است. تکنیک‌های پرتونگاری بر اساس تعداد صفحاتی که پرتو از آنها عبور می‌کند و تعداد صفحاتی که از آنها تصویر ایجاد می‌شود نامگذاری می‌گردند. در مورد صفحات، فقط از تکنیک تک دیواره - تک تصویر (SWSI) استفاده می‌شود و در مورد لوله‌ها از تکنیک‌های تک دیواره - تک تصویر شامل شعاعی (Panoramic) و غیر شعاعی (Non-Panoramic)، دو دیواره - تک تصویر (DWSI) و دو دیواره - دو تصویر شامل تکنیک‌های بیضوی (Elliptic) و روی هم افتاده (Superimposed) استفاده می‌شود. در مورد لوله‌ها گام اول محاسبه، تعیین تکنیک پرتونگاری است. نمونه‌های معرفی شده در بخش قبل، صرفاً محاسبات مربوط به Plate را، آن هم نه به صورت کامل انجام می‌دهند و در صورتی که اپراتور بخواهد از آنها در محاسبات لوله‌ها استفاده کند، می‌بایست ابتدا بخشی از محاسبات را خود انجام دهد و سپس با این نرم‌افزارها بخش محدود دیگری از محاسبات را انجام دهد.

در نرم‌افزار ارائه شده، پارامترهای مورد نیاز به عنوان ورودی برنامه برای شبیه‌سازی و انجام محاسبات پرتونگاری شامل موارد زیر است:

- نوع قطعه (شامل: صفحه یا لوله)
- جنس قطعه (شامل: آهن (یا فولاد)، مس، آلومینیوم و روی به عنوان فلزاتی که در پرتونگاری موارد کاربرد وسیع‌تری دارند)
- ابعاد و ضخامت قطعه (شامل: طول جوش (در مورد صفحه)، قطر (در مورد لوله)، ضخامت پایه، و ضخامت های گرده و ریشه جوش)

افزار اکتیویته چشمه، ضخامت قطعه، نوع فیلم، دانسیته مطلوب و فاصله چشمه تا فیلم (Sfd) توسط اپراتور وارد می‌شوند و نرم‌افزار بر اساس این اطلاعات، زمان پرتودهی را محاسبه می‌کند. علاوه بر محاسبه زمان پرتودهی، نرم‌افزار به صورت جداگانه قابلیت محاسبه حداقل Sfd و همچنین محاسبه حساسیت پرتونگاری با استفاده از شماره سیم قابل رویت را دارد. نرم‌افزار فوق نیز اگرچه نسبت به نرم‌افزار اول قابلیت‌های بیشتری دارد، لیکن صرفاً برای چشمه ایریدیوم و جنس ماده فولادی و فقط برای فیلم‌های AA400، D4 و D7 تهیه شده و نوع تکنیک مناسب را نیز تعیین نمی‌کند. در این نرم‌افزار نقش طول قطعه نیز در محاسبه Sfd لحاظ نگردیده است و فقط Sfd با استفاده از Ug تعیین می‌شود که از نظر عملی، محاسبه‌ای ناقص محسوب شده و با توجه به طول قطعه نیاز به اصلاح دارد.

هدف از این تحقیق تهیه نرم‌افزاری بوده است که محاسبات را در محدوده وسیع و نسبتاً کاملی از کاربردهای پرتونگاری صنعتی انجام دهد. طراحی و پیاده‌سازی یک نرم‌افزار برای انجام محاسبات رادیوگرافی صنعتی با استفاده از پرتوهای گامای چشمه ایریدیوم ۱۹۲، کبالت ۶۰، سزیم ۱۳۷ و سلنیوم ۷۵ به عنوان کاربردی‌ترین منابع پرتونگاری گاما، برای ضخامت‌های مختلف صفحات و ضخامت‌ها و قطرهای مختلف لوله‌ها (در محدوده کاربردی) در این تحقیق انجام شده است. در انجام محاسبات و پیاده‌سازی نرم‌افزاری، استانداردهای ASME و ISO ملاک عمل بوده‌اند [۵۴].

نمونه سوم، اپلیکیشن RTcalc for NDT که توسط تیم ژاپنی La Primavera برای اندروید طراحی شده و در مارکت گوگل قرار دارد، نسخه رایگان آن روی ضخامت یک اینچ ثابت بوده و قابلیت تعیین ضخامت را ندارد (این محدودیت در صورت خرید برداشته می‌شود). این اپلیکیشن دارای دو بخش گاما و X است و در بخش گاما سه نوع چشمه و سه نوع فیلم را پوشش می‌دهد و جنس قطعه نیز فقط آهن در نظر گرفته شده است و فقط قطعات صفحه‌ای را پوشش می‌دهد. این اپلیکیشن مزیت تحت اندروید بودن را داراست اما امکانات آن کافی نیست و مانند سایر نرم‌افزارها، جداول آن بسته است و قابلیت توسعه ندارد.

۲- پارامترها و محاسبات پرتونگاری

• نوع، اکتیویته و ابعاد چشمه پرتوزا (شامل: چشمه‌های ایریدیوم-۱۹۲، کبالت-۶۰، سزیم ۱۳۷ و سلنیوم ۷۵ که پرکاربردترین چشمه‌های پرتونگاری صنعتی هستند)

• نوع فیلم و دانسیته مطلوب (شامل سری کامل فیلم‌های: آگفا، کداک، فوجی و فوما)

• عدم وضوح هندسی مطلوب

• حساسیت مطلوب

پارامترهایی که توسط نرم‌افزار محاسبه و نمایش داده می‌شوند (خروجی‌ها) نیز شامل موارد زیر است:

• محاسبه و تعیین نوع تکنیک در مورد لوله‌ها

• محاسبه حداقل Sfd

• محاسبه اکتیویته روز برای چشمه مورد نظر

• محاسبه زمان پرتودهی

• محاسبه شاخص کیفیت تصویر

• محاسبه حساسیت به دست آمده واقعی

۳- نتایج و بحث

۳-۱ معرفی نرم‌افزار تهیه شده

نرم‌افزار طراحی شده هیچ یک از محدودیت‌های نرم‌افزارهای مشابه را ندارد و دارای یک پایگاه داده با قابلیت تعریف داده‌هاست که اطلاعات مربوط به فیلم‌ها، چشمه‌ها، جنس قطعات و غیره را ذخیره نموده و در محاسبات از این اطلاعات استفاده می‌نماید. اطلاعات جداول این پایگاه داده قابل ویرایش و افزایش است بنابراین نرم‌افزار عملاً هیچ گونه محدودیتی در استفاده از انواع فیلم‌ها، چشمه‌ها و جنس قطعه‌ها ندارد. جداول زیر در پایگاه داده طراحی شده‌اند.

• جدول چشمه‌ها: شناسه چشمه، نام چشمه، نیمه عمر،

HVL و RHM

• جدول فیلم‌ها: شرکت سازنده، مدل فیلم، FFR و FF

• جدول مواد: نوع ماده، شناسه چشمه، و فاکتور ماده (MF)

• جدول IQI: شماره سیم و قطر آن در هر نوع استاندارد

محاسبات این نرم‌افزار، قطعات صفحه‌ای و همچنین قطعات لوله‌ای را پوشش می‌دهد و برای قطعات لوله‌ای،

روش مناسب جهت پرتونگاری را نیز پیشنهاد می‌دهد. علاوه بر آهن، چند فلز پر کاربرد نظیر آلومینیوم و مس نیز در پایگاه داده موجودند و چنانچه جنس قطعه، در پایگاه داده موجود نباشد می‌توان آن را به پایگاه داده افزود. چشمه‌های موجود نیز در برنامه تعریف و ذخیره می‌شوند و برنامه همواره اکتیویته فعلی آنها را محاسبه می‌نماید. چند نوع فیلم مختلف از قبیل Kodak, Fuji, Agfa, Foma در پایگاه داده‌ای نرم افزار تعریف شده‌اند و چنانچه فیلم مورد استفاده در پایگاه داده نداشت، نظیر موارد قبلی قابل افزودن است.

محاسبات مربوط به حداقل فاصله چشمه تا فیلم (Sfd) بر اساس رابطه عدم وضوح هندسی ذکر شده در استانداردهای ASME و ASTM انجام می‌شود.

$$Sfd = Ofd(1 + F/Ug) \quad (1)$$

که در آن Ofd فاصله دورترین نقطه قطعه تا فیلم و Ug عدم وضوح هندسی است.

برای قطعات صفحه‌ای، علاوه بر عدم وضوح هندسی اثر طول قطعه نیز بر اساس مرجع [۶] مطابق روابط زیر لحاظ شده است. (۲)

$$\begin{cases} \frac{l}{T} \leq 1.1 & \text{برای رادیوگرافی معمولی} \\ \frac{l}{T} \leq 1.06 & \text{برای رادیوگرافی حساس} \end{cases}$$

که در آن l بلندترین طول عبور مورب پرتو در قطعه و T ضخامت قطعه است.

محاسبه اکتیویته چشمه بر اساس اکتیویته اولیه آن و پس از گذشت مدت زمان t بر اساس رابطه (۳) تعیین می‌شود.

$$A = A_0 \exp(-0.693t/\text{HalfLife}) \quad (3)$$

محاسبه زمان پرتودهی توسط نرم‌افزار با استفاده از فرمول (۴) انجام می‌شود:

$$\text{time} = \frac{Sfd^2 \cdot f(t) \cdot FF}{A \cdot RHM \cdot 10000} \quad (4)$$

که در آن Sfd فاصله چشمه تا فیلم بر حسب سانتیمتر است،

f(t) تابعی از ضخامت قطعه است و با استفاده از جدول ۱ تعیین می‌شود،

FF فیلم فاکتور مربوط به فیلم و از جدول ۲ استفاده شده است،

A اکتیویته چشمه بر حسب کوری و RHM فاکتور گامای چشمه است،

جدول (۱) مقادیر تابع $f(t)$ مورد استفاده در محاسبه زمان

پرتو دهی

t(mm) f(t)	t(mm) f(t)	t(mm) f(t)	t(mm) f(t)	t(mm) f(t)
5	19	33	47	61
5.3	10.0	18.9	35.7	67.4
6	20	34	48	62
5.5	10.4	19.7	37.3	70.6
7	21	35	49	63
5.8	10.9	20.7	39.1	73.8
8	22	36	50	64
6.0	11.4	21.6	40.9	77.3
9	23	37	51	65
6.3	12.0	22.6	42.8	80.9
10	24	38	52	66
6.6	12.5	23.7	44.8	84.6
11	25	39	53	67
6.9	13.1	24.8	46.9	88.6
12	26	40	54	68
7.3	13.7	25.9	49.0	92.7
13	27	41	55	69
7.6	14.4	27.1	51.3	97.0
14	28	42	56	70
7.9	15.0	28.4	53.7	101.5
15	29	43	57	71
8.3	15.7	29.7	56.2	106.3
16	30	44	58	72
8.7	16.5	31.1	58.8	111.2
17	31	45	59	73
9.1	17.2	32.6	61.6	116.4
18	32	46	60	74
9.5	18.0	34.1	64.4	121.8

روابط دیگری برای محاسبه زمان نیز وجود دارد مانند رابطه معروف به کوری-ساعت (C/H) که نرم افزار قابلیت افزودن محاسبه بر اساس این روابط را نیز دارد. نرم افزار از حساسیت مطلوب مورد نظر برای تعیین شماره سیم شاخص کیفیت تصویر نوع سیمی بر مبنای استانداردهای ISO, ASME, BS استفاده می کند. حساسیت پرتونگاری طبق رابطه زیر تعریف می شود:

$$S = \frac{\text{ضخامت کوچکترین سیم قابل رویت}}{\text{ضخامت قطعه}} \times 100 \quad (5)$$

حساسیت پرتونگاری برای کاربردهای معمولی حدود ۲٪ و برای کاربردهای حساس حدود ۱٪ در نظر گرفته می شود و با قرار دادن این مقادیر و ضخامت قطعه در رابطه فوق، ضخامت کوچکترین سیمی که باید رویت شود، تعیین می شود [۷]. از سوی دیگر پس از عملیات پرتونگاری و تعیین عملی نازکترین سیم قابل رویت، با استفاده از رابطه فوق، حساسیت عملی به دست آمده محاسبه می شود.

جدول (۲) فیلم فاکتور برای فیلم های مختلف

Film Brand	DUPONT	FUJI	FOMA	KODAK	AGFA
Film Type	NDT-45 NDT-55 NDT-65 NDT-70 NDT-75	IX-50 IX-80 IX-100 IX-150	R2 R4 R5 R7 R8	DR SR-45 M-100 MX-125 M B T-200 AA-400 AX CX	D2 D3 D4 D5 D7 D8
FFR	6.9 3.8 1.7 1.1 0.8	4.6 2.5 1.1 0.8	9.6 4.6 1.9 1.3 0.8	11.7 9.2 7.6 4.4 3.9 2.9 2.2 1.3 1.1 0.8	9.6 7.7 4.6 1.9 1.3 0.8
FF	180 100 45 28 22	120 65 30 20	250 120 50 35 22	306 240 200 115 102 75 57 34 30 20	250 200 120 50 35 22

۲-۳ کاربری و رابط گرافیکی نرم افزار
پنجره نرم افزار به محض باز شدن منتظر دریافت اطلاعات ورودی است تا محاسبات را طی گام های سه گانه زیر انجام

دهد. تصویری از رابط گرافیکی نرم افزار در شکل (۱) نمایش داده شده است.

شکل (۱) نمایشی از رابط گرافیکی نرم افزار شبیه ساز محاسبات پرتونگاری - قطعه صفحه ای

با توجه به اینکه نرم افزار آخرین اطلاعات استفاده شده را نگاه می دارد، نتایج هرگونه تغییر در مفروضات رادیوگرافی قطعه به محض اعمال آن تغییر در خروجی محاسبات به نمایش گذاشته می شود.

در مورد لوله ها، همان گام های ذکر شده در مورد صفحات طی می شود با این تفاوت که قطر خارجی و همچنین گرده جوش (Re) و ریشه جوش (Ro) به تفکیک نیز در نظر گرفته می شوند و با توجه به مشخصات داده شده، روش پرتونگاری نیز توسط نرم افزار پیشنهاد می شود و اگر به داخل لوله دسترسی نداشته باشیم، با تعیین این وضعیت در نرم افزار، روش مناسب بعدی پیشنهاد می شود. نمایشی از رابط گرافیکی نرم افزار شبیه ساز محاسبات پرتونگاری در مورد محاسبات مربوط به قطعات لوله ای در شکل (۲) نمایش داده شده است.

گام های اجرایی برای کاربری نرم افزار به شرح زیر است:

گام اول: محاسبه SFD

با تعیین جنس قطعه، نوع چشمه، ضخامت و طول قطعه، عدم وضوح هندسی، اندازه موثر چشمه و فاصله فیلم تا زیر قطعه، مقدار Sfd حداقل براساس عدم وضوح هندسی، مقدار Sfd براساس طول قطعه و همچنین Sfd عملی محاسبه شده و نمایش داده می شود. در مورد لوله ها قطر خارجی نیز دریافت می شود.

گام دوم: محاسبه زمان پرتو دهی

با تعیین اکتیویته، نوع فیلم و دانسیته، زمان پرتو دهی محاسبه و نمایش داده می شود.

گام سوم: هم در همین پنجره وجود دارد که مربوط به تعیین حساسیت و وایر مشاهده شده است که در صورت نیاز می توان از آن نیز استفاده کرد. در این گام، استاندارد و حساسیت مورد نظر مشخص می شود.

شکل (۲) نمایی از رابط گرافیکی نرم افزار شبیه ساز محاسبات پرتونگاری - قطعه لوله‌ای

به عنوان مثال هر کدام از آنها دارای کاستی‌هایی در انتخاب انواع چشمه، انواع جنس قطعات، انواع فیلم و همچنین استاندارد مورد استفاده هستند و نرم‌افزار تهیه شده می‌تواند با رفع این کاستی‌ها به عنوان یک نرم‌افزار جامع برای پرتونگاری گاما مورد استفاده قرار گیرد.

۵- منابع

- [1] RT Calculator Isotope, http://www.ok-s.com/software_en/ndtrt/ndtrt.php, Accessed 10.08.16
- [2] Radiography Calculation (ATTAR), www.attar.com.au/uploadimage/Product/ProductImg/radiography_calculations.xls, Accessed 15.12.16
- [3] RTcalc, <https://play.google.com/store/apps/details?id=jp.ne.asahinet.mr2yknst.rtc&hl=en>, Accessed 12.01.17
- [4] ISO 5579, (2013). Non-destructive testing - Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma rays - Basic rules.
- [5] ASME, Sec IV, Article 2, (2013). Radiographic Testing.
- [6] IAEA Training course series No. 3, (1992). Industrial Radiography.
- [7] ASNT Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 4, (2002) Radiographic Testing (RT)

۴- نتیجه‌گیری

شبیه ساز محاسبات پرتونگاری صنعتی با فیلم، با تهیه نرم افزاری با وسعت عملی گسترده و کاربردی از نظر قابلیت انتخاب نوع چشمه، جنس و ضخامت قطعه، نوع فیلم و استاندارد شاخص کیفیت برای دو نوع قطعه صفحه‌ای و لوله‌ای طراحی و پیاده سازی شده است. توالی گام‌ها در ورود داده‌ها، انجام محاسبات و نمایش خروجی‌ها به گونه‌ای منطقی و متناسب با نیاز کاربران پرتونگاری صنعتی پیاده سازی شده است و به شکلی پویا نتایج به هر دو صورت عددی و گرافیکی در معرض دید کاربر قرار می‌گیرند. با توجه به ویژگی‌های خاص نرم‌افزار از قبیل باز بودن جداول مربوط به چشمه‌ها، مواد و فیلم‌ها، و همچنین انجام محاسبات مربوط به لوله‌ها، که در هیچ یک از نرم‌افزارهای مشابه وجود ندارند، همچنین توانایی محاسبه سریع و پیش‌گیری از خطاهای محاسباتی در پرتونگاری، استفاده از این نرم‌افزار به پرتونگاران توصیه می‌گردد. صحت نتایج محاسبات نرم‌افزار تهیه شده از طریق مقایسه نتایج با نرم‌افزارهای موجود مورد ارزیابی قرار گرفته و تایید شده است. البته اکثر نرم‌افزارهای موجود قابلیت‌های کافی برای اعتبار سنجی نرم‌افزارهای تهیه شده را ندارند

پانزدهمین کنفرانس قاره‌ای آسیا اقیانوسیه آزمون‌های غیرمخرب

با حضور نماینده انجمن بازرسی غیرمخرب ایران

۲۲ الی ۲۶ آبان ماه ۱۳۹۶

سنگاپور

15th APCNDT 2017
SINGAPORE
November 13 - 17, 2017

کنفرانس سالیانه انجمن آزمون‌های غیرمخرب آمریکا (ASNT)

با دعوت رسمی از انجمن بازرسی غیرمخرب ایران (IRNDT) برای حضور در این کنفرانس

۸ تا ۱۱ آبان ماه ۱۳۹۶

نشویل، آمریکا

**ASNT ANNUAL
CONFERENCE**

30 October—2 November 2017 / Gaylord Opryland Resort & Convention / Nashville, TN

بنام خدا

مجله تخصصی "فناوری آزمون غیرمخرب" با هدف انتشار مقاله‌های تخصصی در حوزه بازرسی فنی و آزمون‌های غیرمخرب به معرفی، ترویج و بسط آگاهی‌های علمی و فنی در میان جامعه دانشگاهی و صنعتی کشور می‌پردازد. این مجله در نظر دارد با ساماندهی نتایج و دستاوردهای پژوهش‌های حوزه آزمون‌های غیرمخرب، سبب تقویت پایه‌های علمی و فنی در تخصص مذکور و زیرشاخه‌های مرتبط شود.

همچنین اخبار بین‌المللی و داخلی در حوزه آزمون‌های غیرمخرب، معرفی دستگاه‌ها و تجهیزات جدید، گزارش‌ها در خصوص کنفرانس‌ها و نشست‌های این حوزه و همچنین استانداردها و تایید صلاحیت کارکنان از دیگر موارد مورد توجه در این نشریه است.

هیئت تحریریه مجله از مقالات کلیه پژوهشگران عزیز در حوزه دانشگاه و صنعت استقبال می‌نماید. هر مقاله پس از داوری و اصلاح لازم در قالب مقاله علمی یا فنی در نوبت چاپ مجله قرار خواهد گرفت.

نشانی دبیرخانه: تهران، خیابان کریم‌خان زند، نبش خیابان شهید عضدی شمالی (آبان شمالی سابق)، ساختمان دانشگاه علامه طباطبائی، طبقه دوم، اتاق ۲۲۷، انجمن بازرسی غیرمخرب ایران

تلفن: ۰۲۱-۸۱۰۳۲۲۲۵

پست الکترونیک: info.irndt@gmail.com



شرکت بازرسی فنی و مهندسی
زاگرس تطبیق کالا (سهامی خاص)

تهران، فلکه دوم صادقیه، خیابان آیت اله کاشانی، بوستان یکم، پلاک ۲۱
ساختمان بارمان، طبقه دوم، واحد ۵
تلفکس: ۴۴۰۴۱۸۹۷ و ۴۴۰۴۱۵۸۴ و ۴۴۰۴۱۸۸۶



• بازرسی و نمونه برداری کالاهای
وارداتی و صادراتی (PSI, COI, IC)



• بازرسی جوش و آزمون های غیر مخرب
(VT, PT, MT, UT, RT)
• خدمات سطح ۳ آزمونهای غیر مخرب



• بازرسی فنی آسانسور، جرثقیل ،
لیفتراک و انواع بالابرها



• بازرسی کمی و کیفی
از مواد اولیه و خطوط
بسته بندی و محصولات و
صنایع نفت و گاز و
پتروشیمی



• بازرسی کمی و کیفی و صدور مجوز بارگیری و تخلیه مواد
نفتی و پتروشیمیایی

• بازرسی فنی و صدور گواهی مکانیکال جهت تانکرهای
اتمسفریک و تحت فشار
• بازرسی چین ساخت و ادواری بویلرها ، مخازن و تانکرهای حمل
و نقل تحت فشار و اتمسفریک ، ارائه گواهینامه و صدور پلاک

دفاتر شعب استانی

- شیراز ، ارومیه ، بوشهر ، بندر عباس، تبریز،
آمل، کردستان
- دفتر شعبه ارمنستان، ایروان
- دفتر شعبه چین، گوانگ ژو

شرکتهای همکار بین المللی (JV)

- شرکت بین المللی INSPECTION ترکیه
- شرکت بین المللی QPRO چین
- شرکت بین المللی KITKO کره



info@ztk.co

www.zagros-co.org



STARMANS
electronics s.r.o.

CZUE

MISTRAS
HELLAS A.B.E.E.



ETHER NDE



● دستگاههای پرتابل عیب یاب و ضخامت سنج اولتراسونیک و دستگاههای پرتابل Phased Array و سیستم های چند کاناله واتوماتیک اولتراسونیک و پروپ های اولتراسونیک جهت سیستم های اتوماتیک

STARMANS ELECTRONICS



● دستگاههای نشر آکوستیک
Acoustic Emission Systems

MISTRAS GROUP



● انواع پروپ های اولتراسونیک، کابل پروپ واسکنر TOFD

CZUE



● دستگاههای پرتابل ادی کارنت جهت عیب یابی و سنجش رسانائی الکتریکی

ETHER NDE



● مایعات نافذ مرئی و فلورسنتی و تجهیزات جانبی PT
● مواد ذرات مغناطیسی مرئی و فلورسنتی و تجهیزات جانبی MT
● انواع کوپلنت اولتراسونیک
● چراغ دستی LED UV و چراغ قوه LED UV

MR CHEMIE



● دستگاههای رادیوسکوپی (فلوروسکوپی) اشعه ایکس جهت قطعات ریخته گری

BOSELLO HIGH TECHNOLOGY



● دستگاههای ترک یاب مغناطیسی نوع یوک دستی و چراغ فرابنفش

GAMMATEC ۱۰۰Watt / Focal Spot UV



● دستگاههای ادی کارنت جهت عیب یابی و Sorting برای تست قطعات خودرو و نیز تست مفتول، میل گرد، ورق و لوله

CONTROLE MESURE SYSTEMES



● انواع تست بلوک های اولتراسونیک

JDM MFG