Petroleum and gas industries - Design, manufacturing and operation of magnetic intelligent pigs - Technical requirements

صنایع نفت و گاز – طراحی، ساخت و اجرای پیگ‌های هوشمند مغناطیسی- الزامات فنی

ویرایش اول

مهر ۱۳۹۸

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تامین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرارگرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۳۹۸/۰۷/۰۳ با شماره (INSO 22717) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷
استانداردهای طرح‌ها و پروژه‌ها
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳قانون اصلاح قوانین ومقررات مؤسسهٔ استانداردو تحقیقات صنعتی ایران،مصوب بهمن ماه۱۳۷۱تنهامرجع رسمی کشوراست که وظیفهٔ تعیین،تدوین ونشراستانداردهای ملی (رسمی) ایران رابه عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

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

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

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

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

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«صنایع نفت وگاز- طراحی، ساخت و اجرای پیگ‌های مغناطیسی هوشمند – الزامات فنی»

رئیس:	سمت و/یا محل اشتغال:
امینی، سیروان (کارشناسی مهندسی مکانیک- جامدات)	رییس برنامه ریزی و هماهنگی استاندارد سازی - اداره کل نظام فنی و اجرائی و ارزشیابی طرحها - معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری - وزارت نفت
دبیر:	
عسکری، مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی مواد و خوردگی)	شرکت نفت و گاز پارس- شرکت ملی نفت ایران
اعضا:(اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آبار، فرزاد (کارشناسی ارشد مواد)	مهندس ارشد خوردگی - شرکت خطوط لوله ومخابرات نفت ایران - شرکت پخش و پالایش فرآورده‌های نفتی
آخوند نسب، سعید (کارشناسی ارشد خوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت مهندسی و توسعه گاز - شرکت ملی گاز ایران
احمدی، عقیل (کارشناسی ارشد برق- الکترونیک)	شرکت نفت و گاز پارس - شرکت ملی نفت ایران
احمدی، مرتضی (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت نفت و گاز پارس- شرکت ملی نفت ایران
اعتماد، ایمان (کارشناسی ارشدمهندسی ایمنی و بازرسی فنی)	شرکت ملی مناطق نفتخیزجنوب - شرکت ملی نفت ایران
پیراکند احمد (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)	کنسرسیوم شگرف پارایه
جوکار، ملک (کارشناس ارشد مهندسی مواد- متالورژی)	شرکت بهره برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی - شرکت ملی نفت ایران
خلق نیک، حسن (کارشناسی ارشدمهندسی شیمی)	شرکت ملی نفت ایران-شرکت ملی مناطق نفتخیزجنوب
رضایی، مهدی (کارشناسی ارشدمکانیک)	شرکت انتقال گاز ایران - شرکت ملی گاز ایران

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

اعضاء	سمت و/یا محل اشتغال:
رمضان یارندی، محمد (کارشناسی مهندسی مکانیک-حرارت و سیالات)	مسئول پروژه- پژوهشگاه صنعت نفت- شرکت ملی نفت ایران
ریاحی، امیر (کارشناسی ارشدمواد)	شرکت خطوط لوله ومخابرات نفت ایران - شرکت ملی پـالایش و پخش ایران
زندیه وکیلی، شاهرخ (کارشناسی ارشدمکانیک- هوا فضا)	پژوهش و فناوری - شرکت ملی گاز ایران
شریفی، بهروز (کارشناسی برق- الکترونیک)	شرکت فلات قاره ایران - شرکت ملی نفت ایران
شمس ناتری، ناصر (کارشناسی ارشد-مهندسی شیمی)	شرکت مهندسی و توسعه گاز - شرکت ملی گاز ایران
عباسی، محمد رضا (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت توسعه صنایع دانش بنیان شگرف
عذاری اهوازی، عبداله (کارشناسی ارشدخوردگی و حفاظت از مواد)	شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب - شرکت ملی نفت ایران
منسوب بصیری، میثم (دکتری مهندسی برق – الکترونیک)	شرکت مهندسی سگال پردازش پارت
نظری بناب، سعید (کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی)	کنسرسیوم شگرف پارایه
هاشمی، خسرو (کارشناسی مهندسی شیمی)	شرکت نفت مناطق مرکزی - شرکت ملی نفت ایران

ویراستار:

شاه محمودی، بهزاد
(کارشناسی فیزیک) — کارشناس استاندارد – بازنشسته سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش‌گفتار	ز
مقدمه	ح
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ کوته نوشت	۳
۴ تعیین لزوم انجام پیگ‌رانی هوشمند	۳
۵ پیگ ها	۵
۶ اجزای اصلی و ملاحظات فن‌آوری پیگ‌های هوشمند	۱۲
۷ معرفی اجزای اصلی در پیگ‌های هوشمند و استانداردها در هر بخش	۳۲
۸ دستورالعمل کلی ارزیابی عملکرد پیگ هوشمند با روش (PTT)	۳۵
۹ الزامات اجرا و صحه گذاری میدانی نتایج پیگ هوشمند	۵۱
پیوست الف (آگاهی دهنده) نمونه فرم جهت گزارش صحت‌سنجی میدانی پیگ‌های هوشمند هندسی و MFL	۶۶
پیوست ب (الزامی) فرآیند صحت‌سنجی و تصدیق نتایج پیگ‌رانی هوشمند	۷۰
پیوست پ (آگاهی دهنده) دستورالعمل پیشنهادی اندازه‌گیری شار مغناطیسی القاء شده به لوله در روش MFL	۷۱
پیوست ت (آگاهی دهنده) نمونه اطلاعات بدست آمده از تحلیل نرم‌افزاری (بدون صحت‌سنجی میدانی) برای میدان مغناطیسی در داخل سوراخ	۷۴
پیوست ث (آگاهی دهنده) مراجع استانداردی اجزای پیگ هوشمند مغناطیسی ۷۵۰ mm (in ۳۰)	۷۵

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

پیش‌گفتار

استاندارد «صنایع نفت- پیگ‌های مغناطیسی هوشمند- الزامات طراحی، ساخت و اجرا» که پیش‌نویس آن توسط وزارت نفت در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصد و چهل و چهارمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد تجهیزات و فرآورده های نفتی مورخ ۱۳۹۸/۷/۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

منبع و مأخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به‌شرح زیر است:

- نتایج بررسی انجام شده بر روی استانداردهای بین‌المللی، منطقه‌ای و ملی کشورهای توسعه یافته در صنعت نفت، ۱۳۹۶، اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها، وزارت نفت.

مقدمه

به‌منظور یکپارچه‌سازی استانداردهای مورد استفاده در ساخت کالاها و تجهیزات مورد نیاز وزارت نفت با رویکرد ارتقای کیفیت و ایمنی مبتنی بر رویکرد نوین استانداردسازی و ارتقای توان ساخت داخل گروه‌های کالایی اولویت‌دار صنعت نفت، کمیته‌های مرجع تخصصی با دعوت از نمایندگان تمامی شرکت‌های تابعه وزارت نفت، انجمن‌ها، ذی‌نفعان و سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل شدند. یکی از کمیته‌های مذکور، کمیته مرجع تخصصی پیگ هوشمند است که پس از برگزاری جلسات متعدد، در نهایت مجموعه استانداردی و راهنمای استفاده از آن تعیین و تصویب شد.

این دستورالعمل با هدف ارائه خط مشی کلی و مشخص کردن چارچوب ها، الزامات و ملاحظات فنی لازم در طراحی، ساخت و اجرای انواع پیگ‌های هوشمند مغناطیسی و هندسی (MFL، TFI و EGP) تدوین گردیده است. در این دستورالعمل ابتدا به مرور و تعریف و قابلیت‌های انواع پیگ‌های هوشمند و نیز خلاصه اجزای فن آوری در پیگ های هوشمند پرداخته می شود و سپس الزامات موجود در زمینه طراحی و ساخت هر یک از اجزای فن‌آوری تبیین می‌شود. در ادامه، اجزای مهم پیگ‌های هوشمند به گونه‌ای که وابسته به هیچ سازنده خاصی نباشد مورد دسته‌بندی قرار گرفته و استانداردهای بین‌المللی و مورد نیاز در هر یک از موارد تبیین گردیده است.

علاوه بر دستورالعمل ارزیابی عملکرد پیگ هوشمند به روش PTT [1] ، دستورالعمل اندازه‌گیری شار مغناطیسی برای پیگ‌های هوشمند مغناطیسی ارائه گردیده است که می‌تواند کارفرمایان را در ارزیابی عملکرد پیگ‌های هوشمند مغناطیسی، قبل و بعد از از عملیات پیگ‌رانی یاری نماید.

یادآوری- این استاندارد دربرگیرنده حداقل الزامات و مشخصات مربوطه و بر مبنای تکنولوژی‌های موجود در زمان تدوین این استاندارد بوده و کارفرما یا بهره بردار پروژه‌های پیگ‌رانی هوشمند می‌تواند ضمن رعایت مفاد این استاندارد، معیار و شرایط متفاوت با توجه به مقتضیات پروژه خود به‌کار گیرد[2].

توصیه می‌شود کاربران این استاندارد آگاه باشند نسبت به اینکه ممکن است برای کاربردهای ویژه، الزامات بالاتر از محدوده مشخص شده در این استاندارد ضرورت داشته باشد. این استاندارد قصد جلوگیری از ارائه پیشنهاد از سوی تامین‌کننده/سازنده یا پذیرش از سوی کاربر/خریدار را به‌منظور استفاده از تجهیزات جایگزین یا راه حل‌های مهندسی را نداشته و به‌طور خاص در مواردی که فن‌آوری مبتکرانه یا در حال توسعه وجود دارد می‌تواند به‌کار گرفته شود.

1- Pull Through Test

۲ - توصیه می‌شود انجام Fitness For Service (FFS)، Risk Assessment و یا Pipeline Integrity Management System (PIMS) برمبنای نتایج پیگ هوشمند و مطابق استانداردهای مندرج در این استاندارد در شرح کار کارفرما درنظر گرفته شود.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

صنایع نفت و گاز- طراحی، ساخت و اجرای پیگ‌های مغناطیسی هوشمند- الزامات فنی

هشدار- رعایت موارد ایمنی در تمامی مراحل آزمون پیگ و اجرای پیگ‌رانی ضروری است.. در این استاندارد تمام موارد ایمنی و بهداشتی درج نشده است. در صورت مواجهه با چنین مواردی، مسئولیت برقراری شرایط بهداشت و ایمنی مناسب و اجرای آن برعهده کاربر این استاندارد است.

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین حداقل الزامات و ملاحظات فنی در طراحی، ساخت و اجرای انواع پیگ‌های هوشمند مغناطیسی[1] می‌باشد.

این استاندارد برای تمامی خطوط لوله نفت و گاز و فراورده‌ها در خشکی و دریا در کشور و تحت شرایط عملیاتی مشخص شده در این استاندارد کاربرد دارد.

با توجه به کاربرد بیشتر پیگ‌های هوشمند مبتنی بر نشت شار مغناطیسی، در این دستورالعمل، الزامات انواع پیگ‌های هوشمند MFL[2](محوری) و پیگ هوشمند TFI[3]و همچنین پیگ هوشمند هندسی(EGP)[4] بر اساس تعاریف قید شده در NACE 35100 بیان می‌شود.

این استاندارد برای پیگ‌های هوشمند فراصوت[5] کاربرد ندارد[6].

۲ مراجع الزامی

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

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

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است.

2-1 API 579-1, Fitness-For-Service

2-2 DNV-RP-F101, Corroded pipelines

---

1 - Magnetic Inteligent Pigs
2- Axial Inteligent Pigs
3- Trasverse/Circumferential Field Inspection
4- Electronic Geometry Pig
5- Ultrasonic

۶ - درصورت اختلاف بین متن فارسی و انگلیسی، متن انگلیسی ملاک می باشد.

2-3 ASME B31G, Manual for Determining theRemaining Strength ofCorroded Pipelines

2-4 NACE SP0102, Standard Practice In-Line Inspection of Pipeline

2-5 NACE International Publication 35100, In-Line Inspection of Pipelines

2-6 API RECOMMENDED PRACTICE 1169, Recommended Practice for Basic Inspection Requirements-New Pipeline Construction

2-7 API STANDARD 1163, In-line Inspection Systems Qualification

2-8 API RECOMMENDED PRACTICE 1160, Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines

2-9 API RECOMMENDED PRACTICE 1162, Public Awareness Programs for Pipeline Operators

2-10 ANSI/API RECOMMENDED PRACTICE 1173, Pipeline Safety Management Systems

2-11 ANSI/ASNT ILI-PQ, In-Line Inspection Personel Qualification and Certification

Pipeline Operators Forum , Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines

۳ کوته نوشت‌ها

جدول۱- اصطلاحات و کوته نوشت‌ها

کوته نوشت	اصطلاح	
PIG	Pipline Inspection Gauge	پیگ
MIP	Magnetic Intelligent PIG	پیگ هوشمند مغناطیسی
MFL	Magnetic Flux Leakage	نشت شار مغناطیسی
GPS	Global Positioning System	سامانه موقعیت یاب جهانی
PLC	Programmable Logic Control	کنترل منطقی برنامه پذیر
PDL	Pipeline Data Logger	داده بردار خط لوله
TFI	Transverse Flux Inspection	بازرسی با نشت شار متقاطع
EGP	Electronic Geometry Pig	EGP الکترونیکی
SR	Standard Resultion	وضوح استاندارد
HR	High Resultion	وضوح بالا
AMFL	Axial Magnetic Flux Leakage	نشت شار مغناطیسی محوری
PTT	Pull Through Test	آزمون کشش سرتاسری
SMYS	Specified Minimum Yeild Strength	حداقل استحکام کششی مشخص شده
MAOP	Maximum Allowable Operating Pressure	حداکثر فشار عملیاتی مجاز
RUP	Rational Unified Process	فرآیند یکپارچه شده مستدل
ATEX	Appareils destinés à être utilisés en atmosphères explosives	تجهیزات قابل استفاده در اتمسفرهای قابل انفجار
SCC	Stress Corrosion Cracking	ترک خوردگی تنشی
AGM	Above Ground Market	نشانگر روزمینی
HAZ	Heat Affected Zone	ناحیه متاثر از حرارت
POD	Probability Of Detection	احتمال تشخیص عیوب
POI	Probability Of Identification	احتمال اندازه گیری عیوب
POF	Pipeline Operators Forum	انجمن بهره برداران خط لوله
ILI	Inline Inspection	بازرسی داخل لوله

۴ تعیین لزوم انجام پیگ‌رانی هوشمند

لزوم انجام پیگ‌رانی هوشمند خطوط لوله نفت، گاز و فرآورده‌های نفتی و شیمیایی در دو جنبه قابل بررسی می‌باشد. تصمیم‌گیری در خصوص انجام پیگ‌رانی هوشمند (هندسی، مغناطیسی و فراصوت) و یا انتخاب سایر روش‌های بازرسی مناسب بر اساس ارزیابی گروه مهندسی- بازرسی شرکت تابعه و پروژه می‌باشد.

۴-۱ بازرسی در ابتدای راه‌اندازی

در برخی پروژه‌های بزرگ نفت و گاز در سطح دنیا، انجام پیگ‌رانی هوشمند بلافاصله بعد از راه‌اندازی خط لوله و با سیال آن خط یک الزام محسوب می‌شود. این موضوع با هدف انجام بازرسی مبنا بوده که می‌تواند عیوب مکانیکی و هندسی زمان نصب و اجرا، عیوب احتمالی مواد و جوش، ضخامت‌های واقعی خط لوله و خوردگی‌های احتمالی خط لوله در زمان نگهداری، آزمون هیدرواستاتیک[1] و نصب تا پیش از راه‌اندازی خط لوله را شناسایی نموده و حتی در تضمین (کتابچه چینش لوله‌ها[2]) پروژه، نقشه مسیر خط به صورت پس از ساخت[3] یا پس از نصب[4] کارایی خواهد داشت. نتایج این بازرسی به‌عنوان مبنایی برای بازرسی‌های بعدی پیگ‌رانی هوشمند بوده و در بررسی نرخ پیشرفت خوردگی[5] و ارزیابی وضعیت خط لوله بسیار موثر خواهد بود. بر این اساس اجرای توپک‌رانی هوشمند در پروژه‌های احداث خط لوله با قابلیت پیگ‌رانی با درنظر گرفتن مقتضیات خط لوله از الزام فنی برخوردار می‌باشد.

یادآوری- تامین، نصب، آزمون هیدرواستاتیک، نگهداری و راه‌اندازی باید با الزامات استانداردی و مشخصات فنی پروژه صورت گیرد تا عیوب و ریسکی متوجه خط لوله نشود.

۴-۲ بازرسی در طول دوران بهره‌برداری

تعیین ضرورت انجام پیگ‌رانی هوشمند و مشخص نمودن فواصل اجرای این بازرسی بر اساس ریسک خوردگی/ترک‌خوردگی، الزامات موردی خطوط لوله بر اساس نظر طراح و یا بهره‌بردار می‌باشد که در این راستا باید نتایج پایش‌های خوردگی (داخلی و خارجی)، نتایج بازرسی و پیگ‌رانی‌های هوشمند قبلی، تغییرات عملیاتی و فرآیندی حادث شده بر روی خط لوله از قبیل تغییرات فشار، نرخ تولید، تغییرات ماهیت سیال مخزن، تغییر کاربری خط لوله، اسیدکاری چاه‌ها و غیره در تشخیص لزوم انجام پیگ‌رانی هوشمند مدنظر قرارگیرد.

خاطر نشان می‌شود با توجه به ماهیت تکنیک‌های پایش خوردگی مبنی بر تشخیص موضعی خوردگی خط لوله، انجام پیگ‌رانی هوشمند دوره‌ای تنها روش اندازه‌گیری آسیب‌های خوردگی در طول خط لوله می‌باشد که این موضوع لازمه انجام ارزیابی ریسک خط لوله با هدف مدیریت یکپارچگی خطوط لوله (PIMS)[6] می‌باشد.

در صورتی‌که مبنا و معیار مشخصی در مشخصات فنی کارفرما موجود نباشد، بازه‌های زمانی جدول یک برای ارزیابی یکپارچگی خطوط لوله گاز با انجام پیگ‌رانی هوشمند پیشنهاد می‌شود:

1- Hydrostatic test
2- Pipe tally
3 -As-Built
4- As-Lay
5- Corrosion Growth Assessment
6 - Pipline Integrated Management System

جدول ۲- بازه‌های ارزیابی یکپارچگی

بازه زمانی (سال)	تنش محیطی بالاتر از ٪ ۵۰ SMYS	تنش محیطی ٪۵۰-٪ ۳۰ SMYS	تنش محیطی کمتر از ٪ ۳۰ SMYS
۵	P_f>1.25 MAOP	P_f>1.39 MAOP	P_f>1.65 MAOP
۱۰	P_f>1.39 MAOP	P_f>1.65 MAOP	P_f>2.2 MAOP
۱۵	غیر مجاز	P_f>2 MAOP	P_f>2.75 MAOP
۲۰	غیر مجاز	غیر مجاز	P_f>3.33 MAOP

یادآوری۱- بازه‌های فوق ماکزیمم بوده و امکان دارد بسته به شرایط عملیاتی، تعمیرات انجام شده و تمهیدات پیشگیری بازه‌های کمتر درنظر گرفته شود. به علاوه مخاطرات خاصی که می‌توانند ریسک بالایی را متوجه خط لوله می‌کند بازه‌های زمانی را به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. در صورت وقوع یک تخریب وابسته به زمان، ضروریست بازه‌های پیگ‌رانی هوشمند بازنگری شود.

یادآوری۲- مشخصه P_f فشار تخریب (Failure pressure) می‌باشد که از استاندارد ASME B31G یا استانداردهای معادل استخراج می‌شود.

۵ پیگ‌ها

۵-۱ پیگ‌های هوشمند MFL

۵-۱-۱ مشخصات عمومی

-این پیگ بر اساس اندازه‌گیری غیر مستقیم عیوب و عوارض[1] داخلی و خارجی خط لوله کار می‌کند و مقادیر کمی[2] اطلاعات برداشته شده به‌وسیله دانش تفسیر به‌دست می‌آید.

- پیگ هوشمند MFL باید مجهز به سنسورهایی باشد که بتواند به تنهایی عیوب شناسایی شده را از نظر قرارگیری در داخل یا خارج لوله از هم تفکیک نماید.

- بیشترین ضخامت قابل بازرسی دیواره لوله به میزان اشباع‌کنندگی مغناطیسی مورد نیاز محدود می‌شود.

- اطلاعات بدست آمده توسط پیگ می‌تواند تحت تاثیر موارد زیر باشد:

الف- جنس لوله و تاریخچه و رویدادهای قبلی

ب- تنش‌های موجود در لوله

پ- دما

ت- سرعت حرکت پیگ

ث- میزان تمیزی سطح لوله

1- Features
2- Quantitative

- سیال درون لوله تاثیری در کارکرد پیگ هوشمند مغناطیسی نخواهد داشت و می‌تواند برای خطوط لوله حاوی مایع و گاز استفاده شود.

- این نوع پیگ برای قطرهای (۳ in) ۷۶mm و بزرگتر قابل حصول می‌باشد.

۵-۱-۲ دسته‌بندی انواع پیگ هوشمند MFL

بر اساس استانداردهای موجود، در حال حاضر پیگ‌های هوشمند MFL بر اساس دقت داده‌برداری به‌طور معمول به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- وضوح استاندارد (SR)؛

۲- وضوح بالا (HR).

مشخصات فنی عمومی هر یک از این دو دسته در جداول C1, C2 استاندارد NACE 35100 وجود دارد که در پیوست شماره یک این دستورالعمل نیز آورده شده است. لازم بذکر است این مشخصات حداقل الزامات فنی پیگ‌های هوشمند می‌باشد و عموماً این مشخصات فنی بر اساس تکنولوژی‌های به‌روز شرکت‌های سازنده، با سطح بالاتر و دقت بیشتری در پروژه ها ارائه می‌شود.

۵-۲ پیگ هوشمند MFL محوری (AMFL)

پیگ‌های MFL به‌طور متداول، میدان مغناطیسی را در جهت محور لوله القا می‌نمایند که تحت عنوان پیگ‌های Axial MFL مطرح می باشند. حداقل مشخصات فنی این پیگ‌ها بر اساس جداول استاندارد NACE 35100 در جداول ۳ و ۴ درج شده است.

جدول ۳- مشخصات عمومی پیگ‌های هوشمند MFL (SR / Low/Conventional) براساس جدول C1 استاندارد NACE 35100-2012

ردیف	موارد	ویژگی‌ها
۱	فاصله نمونه برداری محوری	ثبت آنالوگ
۲	فاصله حسگر پیرامونی (محیطی)	۴۰ mm تا ۱۵۰ mm (۱٫۶ in تا ۶٫۰ in)
۳	محدودیت‌های تشخیص	- بدون فرق‌گذاری بین فواصل داخلی و خارجی - برآورد تقریبی شدت خوردگی - خط لوله حفاری ممکن است به ایجاد مراجع برای کالیبراسیون قابلیت تشخیص محدوده بالادست و پایین دست از ریشه جوش‌ها نیازمند باشد. - عیوب خوشه‌ای نمی‌تواند بصورت تکی شناسایی شود.
۴	حداقل عمق نقص	٪ ۲۰ ضخامت دیواره (WT)
۵	حداقل سرعت بازرسی الزامی	۰٫۳۴ m/s (۰٫۷۵ mph)
۶	حداکثر سرعت بازرسی الزامی	۴ m/s (۰٫۷۵ mph)
۷	درستی اندازه‌گیری عمق	± ۱۵ ٪ WT
۸	درستی اندازه‌گیری طول	± ۱۳ mm (۰٫۵۰ in)
۹	درستی موقعیت	محوری (نسبت به نزدیکترین ریشه جوش): ± ۵۰ mm (۲٫۰ in)
		پیرامونی: ± ۳۰
۱۰	سطح اطمینان	٪ ۸۰

جدول ۴- مشخصات عمومی پیگ‌های هوشمند (MFL (HR بر اساس جدول C2 استاندارد NACE 35100-2012

ردیف	موارد		ویژگی‌ها	
۱	فاصله نمونه برداری محوری		از ۲mm (۰٫۰۸ in) اگر ابزار با فرکانس ثابت نمونه برداری به کار می‌افتد، فاصله محوری نمونه برداری با سرعت بازرسی افزایش می‌یابد.	
۲	فاصله حسگر پیرامونی		۸ mm تا ۱۷ mm (۰٫۳ in تا ۰٫۷ in)	
۳	محدودیت های آشکار سازی		حداقل عمق عیب:	۱۰٪ WT
			درستی اندازه‌گیری عمق عیب:	۱۰٪ WT
۴	حداقل سرعت بازرسی الزامی:		۰٫۵ m/s (تقریباً ۱mph) (سیم پیچ‌های القایی)؛ بدون الزام (حسگرهای اثر هال) (۱)	
۵	حداکثر سرعت بازرسی الزامی:		۴ m/s تا ۵ m/s (۹ mph تا ۱۱ mph)	
۶	حداقل سطح مغناطیس شدن:		حداقل نیروی میدان مغناطیسی: ۱۰ kA/m تا ۱۲ kA/m (۳ kA/ft تا ۳٫۷ kA/ft) حداقل دانسیته جریان مغناطیسی: ۱٫۵ t (۱٫۷ T) (این الزام باید حساسیت سرعت و اثر مغناطیس شوندگی را حذف کند)	
۷	درستی اندازه‌گیری عمق	خسارت کلی فلز:	حداقل عمق:	۱۰٪ WT
			درستی برآورد عمق:	± ۱۰٪ WT
			درستی برآورد طول:	± ۲۰mm (۰٫۸ in)
		خسارت رنگ فلز:	حداقل عمق:	۱۰٪ WT تا ۲۰٪ WT
			درستی برآورد عمق:	± ۱۰٪ WT
			درستی برآورد طول:	± ۱۰mm (۰٫۴ in)
		خسارت شیار محوری فلز:	حداقل عمق:	۲۰٪ WT
			درستی برآورد عمق:	-۱۵ + ۱۰٪ WT
			درستی برآورد طول:	± ۲۰mm (۰/۸ in)
		خسارت شیار پیرامونی فلز:	حداقل عمق:	۱۰٪ WT
			درستی برآورد عمق:	-۱۰ /+ ۱۵٪ WT
			درستی برآورد طول:	± ۱۵mm (۰٫۶ in)

جدول ۴- مشخصات عمومی پیگ‌های هوشمند MFL HR بر اساس جدول C2 استاندارد NACE 35100-2012 (ادامه)

ردیف	موارد		ویژگی‌ها	
		خسارت شکاف محوری فلز:	حداقل عمق:	قابل دریافت اما گزارش نمی شود
		خسارت شکاف پیرامونی فلز:	حداقل عمق: درستی برآورد عمق: درستی برآورد طول:	۱۰٪ WT -۱۵ + ۲۰٪ WT ± ۱۵٪ (۰/۶ in)
		خوردگی در جوش حلقوی (پیرامونی):	مجاور جوش: حداقل عمق: درستی برآورد طول:	 ۱۰٪ WT ±۲۰٪ WT تا ± ۱۰٪ WT
			روی جوش یا سراسر جوش: حداقل عمق: درستی برآورد عمق:	 ۲۰٪ WT تا ۱۰٪ WT ۲۰٪ WT تا ± ۱۰٪ WT
۸	درستی اندازه‌گذاری طول (محوری):		۱۰ mm (۰/۴ in)	
۹	درستی اندازه‌گذاری عرض (پیرامونی):		±۱۰ mm تا ۱۷ mm (۰/۴ in تا ۰/۷ in)	
۱۰	درستی موضعی:		محوری (نسبت به نزدیکترین جوش حلقوی (پیرامونی)): ± ۰/۱ m (۴ in) پیرامونی: ± ۵ ° ۸۰٪	

(1) Hall-effect sensors

۵-۳ پیگ هوشمند TFI یا (CMFL)

۵-۳-۱ مشخصات عمومی

الف- این نوع از پیگ، شار مغناطیسی را در راستای محیطی لوله اعمال می‌نماید.

ب- قابلیت استفاده در سیال‌های مایع و گاز را دارد.

پ- مشخصات و اطلاعات بیشتر این نوع پیگ در جدول C6 استاندارد NACE 35100 وجود دارد که در جدول ۵ نیز آورده شده است.

جدول ۵- مشخصات عمومی پیگ‌های TFI بر اساس جدول C6 استاندارد NACE 35100-2012

ردیف	موارد		ویژگی‌ها	
۱	فاصله نمونه‌برداری محوری			۳٫۳ mm (۰٫۱۳ in)
۲	فاصله حسگر پیرامونی (محیطی)			۴ mm (۰٫۱۶ in)
۳	محدودیت‌های تشخیص	عیوب قابل تشخیص	حداقل طول: ۲۵ mm (۱٫۰ in) حداقل عرض: ۰٫۱ mm (۰٫۰۰۴ in) حداقل عمق: ۲۵٪ WT	
		هم‌ترازی عیب	۱۵° ± محور لوله	
		موقعیت عیب	در ۵۰mm (۲ in) در هرطرف طول درز جوش بدون تمایز عیب داخلی/خارجی	
۴	سرعت بازرسی			۰٫۲ m/s (۰٫۴۵ mph) تا ۴ m/s (۹ mph)
۵	درستی اندازه‌گذاری			طول: ± ۲۵ mm (۱٫۰ in) عمق: ± ۲۰ ٪ WT
۶	درستی موقعیت			محوری (نسبت به نزدیکترین ریشه جوش): ۰٫۲ m (۸ in) پیرامونی (محیطی): ± ۷٫۵ °
۷	سطح اطمینان			۸۰ ٪

۵-۴ پیگ هوشمند هندسی (EGP)

پیگ هوشمند هندسی به‌وسیله بازوهای مکانیکی یا الکترو مغناطیسی کار می‌کند.

۵-۴-۱ مشخصات عمومی

الف- قابلیت استفاده در سیال‌های مایع و گاز را دارد؛

ب- قابل استفاده در خطوط با ذرات باقیمانده[1] در حد قابل قبول؛

پ- قابلیت اندازه‌گیری قطر داخلی لوله برای شناسایی عیوب هندسی؛

ب- در مرحله تحویل‌گیری خط لوله جدید می‌توان از این پیگ جهت اطمینان و ارزیابی کیفیت احداث خط لوله استفاده نمود؛

ت- برای ارزیابی عبور پذیری پیگ‌های هوشمند دیگر از خط لوله می‌توان از این دستگاه استفاده نمود؛

ث- پیگ‌های هوشمند هندسی باید چند کاناله بوده و دیتای هر بازو به‌صورت مستقل ثبت و استفاده شود.

۵-۵ الزامات کلی پیگ‌های هوشمند

الف- پیگ‌های هوشمند باید از خم حداقل 3D (شعاع خم سه برابر قطر اسمی لوله) عبور نماید؛

ب- برای خطوط لوله گاز پیگ‌های هوشمند بزرگتر از ۶۰۰ mm (۲۴ in) در صورت نیاز مجهز به سیستم کنترل سرعت باشد. در خصوص سایزهای کوچک‌تر بر اساس درخواست/ الزامات کارفرما عمل می‌شود؛

پ- یکی از سنجش‌های اعتباری شرکت‌های سازنده پیگ، تکمیل بودن بانک اطلاعات می‌باشد و شرکت سازنده پیگ باید حداقل بیست نمونه اطلاعات عملیاتی برداشت شده از خط لوله را برای حداقل ٪ ۹۰ از عیوب قید شده در استانداردهایی همچونNACE و POF 2016 داشته باشد. اطلاعات برداشت شده از نتایج آزمایشگاهی همچون آزمونPTT مورد قبول نیست.

اخذ و ارائه گواهی استاندارد تجهیزات ضد انفجار مطابق استاندارد 94/4/EC [2] یا مقررات معادل از سوی شرکت پیگ‌ران برای سازندگان و ارائه‌دهنده خدمات پیگ‌رانی هوشمند/الکترونیکی الزامی می‌باشد. در خصوص قطعات و تجهیزات غیر الکتریکی پیگ‌های هوشمند، به موارد مشخص شده در POF 2016-Clause 3 (Health and safety) و EN 13463 مراجعه شود.

1 - Debris
2- CE device directive ATEX 94/4/EC (AREX 95), Occupational Health and Safety Directive ATEX 1999/92/EC (ATEX 137).

۶ اجزای اصلی و ملاحظات فن‌آوری پیگ‌های هوشمند

۶-۱ معرفی اجزای فن‌آوری در پیگ‌های هوشمند

پیگ‌های هوشمند به‌منظور تشخیص عیوب، نواقص و اتصالات مجاز و غیرمجاز در خطوط لوله مورد استفاده قرار می‌گیرند و بر اساس فن‌آوری به‌کار رفته در آن‌ها به نام‌های مختلف در دنیا شناخته می‌شوند. متداولترین پیگ‌های هوشمند در دنیا در حال حاضر عبارتند از:

- پیگ MFL
- پیگ TFI
- پیگ هندسی (EGP)

در ذیل به اجزای مهم فن‌آوری در پیگ‌های هوشمند اشاره گردیده است:

۶-۱-۱ اجزای مکانیکی

- سازه انتقال شار مغناطیسی[1]؛
- سازه نگهدارنده مگنت‌ها (پایه مگنت‌ها)؛
- سازه تزریق شار به داخل لوله (براش‌ها)؛
- سازه بدنه؛
- مخزن نگهدارنده مدارات الکترونیکی و باتری‌ها؛
- محفظه نگهدارنده مدارات جمع‌آوری داده (مدارات بازوها)؛
- سازه مسافت سنج[2] (شامل بازو، چرخ، فنر و غیره)؛
- بازوهای نشت شار (و سنسورهای تفکیک عیوب داخلی و خارجی که در پیگ هوشمند MFL جزء الزامات می‌باشد)؛
- بازوهای کالیپرینگ (فقط در پیگ‌های هندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد)؛
- سازه ضربه‌گیر یا دمپر؛

1 -Back Bar
2 -Odometer

- مگنت‌ها (فقط در پیگ‌های هوشمند مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد)؛
- مفصل ارتباطی (برای پیگ‌هایی که از دو ماژول یا بیشتر تشکیل شده‌اند)؛
- چرخ‌های نگهدارنده و ساپورت‌ها (در صورتی‌که مورد استفاده قرار گرفته باشد).

یادآوری- درتکنولوژی‌های جدید ممکن است تعدادی از اجزای ذکر شده فوق ادغام شده و یا از اجزای جدیدتری استفاده شود.

۶-۱-۲ اجزای پلیمری

- کاپ‌های کونیکال (کاپ‌های پیشرانش)؛
- دیسک‌ها وکاپ‌های چرخ‌دار/ ساده؛
- بازوهای نشت شار و جریان گردابی (درصورتی‌که دارای ساختار پلیمری باشند)؛
- بخش پلیمری ضربه‌گیر؛
- نشت‌بندها.

۶-۱-۳ اجزای الکترونیکی

- مدارات جمع‌آوری داده (مدارات بازوها)؛
- مدارات مرکزی، که وظیفه کنترل، پردازش اولیه، قالب‌بندی[1] و دسته‌بندی و ذخیره‌سازی اطلاعات را به‌عهده دارند؛
- مدارات تغذیه و مبدل توان؛
- سنسورهای نشت شار مغناطیسی؛
- مدارات جریان گردابی؛
- مدارات مسافت سنجی؛
- مجموعه سنسورهای دما، ارتعاش و فشار (سنسور فشار برای پیگ‌های دارای سیستم کنترل سرعت الزامی است)؛
- مدارات دوران سنجی؛
- کانکتورها؛

1- Formating

- کابل‌ها؛
- مجموعه باتری.

۶-۱-۴ اجزای نرم‌افزاری

- نرم‌افزار آزمون و کالیبراسیون؛
- نرم‌افزار عملیات برای ارزیابی کیفیت اطلاعات برداشت شده توسط پیگ هوشمند؛
- نرم‌افزار تحلیل و تفسیر اطلاعات؛
- نرم‌افزار نمایش اطلاعات و ارائه گزارشات.

با توجه به خلاصه توضیحات ارائه شده در خصوص اجزای مهم فن‌آوری در پیگ‌های هوشمند، در بخش بعدی، چالش‌های فن‌آوری در هر یک از بخش‌ها ارائه گردیده است. شایان ذکر است در صورتی‌که پیگ هوشمند در محیط‌های خورنده مورد استفاده قرار گیرد، لازم است علاوه بر موارد مطرح شده در بخش‌های ذیل، تمامی ملاحظات مربوط به کار در محیط‌های خورنده برای بخش‌های مکانیکی، پلیمری و الکترونیکی لحاظ شود. در خصوص خطوط لوله نفت و گاز ترش انطباق اجزای مختلف پیگ با الزامات استانداردهای ISO 15156/MR0175 و EFC 16, 17 الزامیست.

۶-۲ چالش‌های فن‌آوری در بخش‌های مختلف پیگ‌های هوشمند

۶-۲-۱ چالش‌های فن‌آوری اجزای مکانیکی

۶-۲-۱-۱ سازه نگهدارنده مگنت‌ها

این سازه به‌منظور جانمایی مگنت‌ها بر روی بدنه پیگ استفاده می‌شود و نکات ذیل باید در خصوص طراحی و ساخت آن لحاظ شود.

الف- نحوه طراحی از حیث اینکه جایگذاری و تثبیت مگنت‌ها به‌صورت مطلوب صورت گیرد؛

ب- انتخاب جنس از حیث خواص مغناطیسی و ضریب گذردهی مغناطیسی؛

پ- نحوهٔ اتصال به بدنه به نحوی‌که تلفات در شار مغناطیسی کمترین میزان باشد.

۶-۲-۱-۲ سازه تزریق شار به داخل لوله (بُرس‌ها)[1]

این مجموعه برای تزریق شار مغناطیسی از مگنت‌ها به داخل لوله مورد استفاده می‌گیرد و نقش مهمی در ایجاد سطح اشباع مغناطیسی مناسب در لوله دارد. در بسیاری از پیگ‌های مدرن امروزی از مکانیزم‌هایی غیر از برُس استفاده شده است. صرف نظر از ساختار این مجموعه، موارد مهم ذیل باید در طراحی و ساخت این بخش در نظر گرفته شود:

الف- جنس مناسب از لحاظ مغناطیسی، سطح اشباع و ضریب گذردهی مغناطیسی؛

ب- طراحی به گونه‌ای باشد که فاصله هوایی ایجاد شده میان سطح مگنت‌ها و دیواره لوله در حد کم باشد تا رلوکتانس مغناطیسی از حد مجاز فراتر نرود؛

پ- طراحی به گونه‌ای باشد که در عبور پیگ از حداقل خم قابل عبور پیگ، این بخش‌ها دچار آسیب نشوند؛

ت- در صورت استفاده از براش برای این منظور باید در انتخاب آن‌ها، میزان انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر سایش براش‌ها مد نظر قرار گیرد؛

ث- ابعاد (سطح مقطع و طول) انتخاب شده برای مجموعه از حیث کاهش مقاومت مغناطیسی بسیار مهم و باید از طریق آنالیز عددی و یا شبیه‌سازی‌های دقیق یا بر اساس استاندارد داخلی هر شرکت به‌دست آید؛

ج- نحوهٔ ساخت مجموعه از حیث (جوشکاری یا پرسکاری) باید به‌درستی بررسی و انتخاب شود تا کمترین اثر را در خواص مغناطیسی ایجاد کنند.

۶-۲-۱-۳ سازه بدنه

این سازه، بخش اصلی بدنه پیگ می‌باشد که اجزای اصلی پیگ همانند بک بارها، براش‌ها، مخزن، بازوها و غیره بر روی آن نصب می‌گردند. این بخش باید دارای شرایط ذیل باشد:

- انتخاب جنس بدنه در پیگ‌های مغناطیسی از حیث عدم ایجاد شار پراکنده بسیار مهم است؛
- انتخاب جنس بدنه از حیث استحکام در برابر تنش های وارده باید در نظر گرفته شود؛
- ابعاد بدنه از حیث عبورپذیری از خم‌های موجود در خط لوله بسیار مهم می‌باشد؛
- ابعاد بدنه از لحاظ جانمایی اجزای الکترونیکی و مدارات مغناطیسی بسیار مهم می‌باشد؛

1- Brush

- پیش‌بینی‌های لازم برای بارگذاری و بیرون آوردن پیگ از ارسال کننده و گیرنده پیگ پیش‌بینی شود، به‌نحوی‌که انجام این عملیات به‌راحتی و بدون آسیب رسیدن احتمالی به بخش‌های مختلف پیگ امکان‌پذیر باشد.

۶-۲-۱-۴ مخزن نگهدارنده مدارات الکترونیکی و باتری‌ها

این مخزن جهت محافظت از مدارات الکترونیکی طراحی و ساخته می‌شود و موارد ذیل باید در مورد آن‌ها در نظر گرفته شود:

الف- جنس مخزن از حیث فشارپذیری در درون لوله؛

ب- ابعاد مخزن از حیث ایجاد فضای کافی برای مدارات و باتری‌ها؛

پ- جانمایی مخزن در بدنه از حیث دسترسی و امکان تعویض مدارات و باتری‌ها، نحوهٔ نشت‌بندی مخزن در فشار بالا مطابق استانداردهای موجود باید رعایت شود و صرف رعایت کردن درجه حفاظتی (IP) به هیچ وجه کافی نمی‌باشد. قسمت‌های غیر ثابت نشت بند تمامی پیگ‌های هوشمند که دارای بخش الکترونیک و باتری هستند باید به‌نحوی طراحی و ساخته شوند که امکان آزمون نشت‌بندی پس از هر دفعه باز و بسته نمودن محفظه‌های الکترونیک و باطری بلافاصله قبل از راندن پیگ درون خط لوله امکان پذیر باشد. این آزمون نباید بیش از یک ساعت بطول بیانجامد؛

ت- طراحی مخزن از حیث نحوهٔ انتقال حرارت و جلوگیری از انباشت حرارت در داخل مخزن.

۶-۲-۱-۵ محفظه نگهدارنده مدارات بازوها

گرچه این روش برای پیگ‌های با طراحی قدیمی است و ضرورتی برای استفاده از این محفظه وجود ندارد ولی در صورت استفاده این محفظه جهت جانمایی و محافظت از سنسورها و مدارات مربوط به سنسورها می‌باشد و درون بازو قرار می‌گیرد. ذخیره اطلاعات در بخش الکترونیک اصلی و داخل پیگ هوشمند انجام می‌پذیرد و ملاحظات زیر باید در طراحی و ساخت آن در نظر گرفته شود:

الف- نحوهٔ آب‌بندی مدارات درون محفظه؛

ب- ابعاد محفظه از حیث ایجاد فضای کافی جهت مدارات و رعایت محدودیت‌های عبورپذیری؛

پ- جانمایی محفظه بر روی بدنه از حیث امکان دسترسی به مدارات و اتصالات مربوطه و حداقل طول در سیم‌کشی‌ها.

۶-۲-۱-۶ سازه مسافت‌سنج (ادومتر)

شایان ذکر است که مسافت‌سنج ها امروزه به دو صورت ساخته می‌شوند: مسافت سنج‌های تماسی و غیر تماسی؛ مسافت سنج‌های تماسی از مکانیزم چرخش یک چرخ در تماس با دیواره لوله و اندازه‌گیری میزان چرخش آن برای اندازه‌گیری سرعت و مسافت استفاده می‌کنند ولی در روش غیر تماسی، با استفاده از روش-هایی از قبیل اندازه‌گیری شتاب های دینامیکی در جهات مختلف، سرعت و مسافت طی شده به‌دست می‌آید و المان مکانیکی در مسافت سنج‌های غیر تماسی استفاده نمی‌شود.

درصورتی‌که از مسافت سنج‌های تماسی در ساخت پیگ استفاده شود، این سازه شامل بازوی مسافت سنجی، چرخ مسافت سنج و فنربندی بازوها می‌باشد و اهمیت بسیار بالایی در عملکرد پیگ هوشمند دارد. موارد ذیل از مهمترین چالش‌ها در طراحی و ساخت بخش‌های مکانیکی آن است:

الف- محاسبه نیروی بهینه برای فشار بازو به دیواره لوله و در نتیجه انتخاب بهینه برای مکانیزم فنربندی؛

ب- طراحی مناسب برای چرخ مسافت سنج از حیث کاهش خطاهای مربوط به لغزش و یا هرزگردی در سازه مسافت سنج؛

پ- طراحی ابعاد مناسب برای طول بازو و ابعاد چرخ از حیث تأمین نیروی مناسب و نیز کاهش خطای اندازه-گیری؛

ت- جانمایی مناسب مسافت سنج‌ها از لحاظ تعداد مسافت سنج‌ها و مکان قرارگیری به‌طوری‌که مزاحمتی برای استفاده از سیستم جازدن[1] پیگ ایجاد نکند.

۶-۲-۱-۷ سازه ضربه گیر (دمپر)

این سازه در بخش جلوی پیگ تعبیه می‌شود و هدف آن جلوگیری از اعمال ضربه با شدت بالا به بخش‌های حساس پیگ می‌باشد. مهمترین پارامترها در طراحی این بخش عبارتند از:

الف- طراحی نحوهٔ اتصال مناسب به بدنه؛

ب- طراحی ابعاد و هندسه دمپر و ابعاد بخش پلیمری با توجه به محدودیت‌های عبورپذیری و مکانیکی؛

پ- محاسبات مربوط به تحمل تنش و ضربه وارده در شرایط مختلف احتمالی.

1 -Pusher

۶-۲-۱-۸ بازوهای نشت شار و تفکیک عیوب داخلی و خارجی

در صورتی‌که برای نگهداری و تماس سنسورهای نشت شار با دیواره لوله بخواهیم از بازوهای فلزی استفاده نماییم، بازوهای مورد استفاده ترجیحا فلزی و دو پایه استفاده شوند. بازوهای تک پایه‌ای پلیمری مورد قبول نیست و باید دو پایه و یا دارای مکانیزم فلزی باشند. موارد ذیل باید در طراحی در نظر گرفته شوند:

الف- تحلیل و محاسبات مربوط به نیروی بهینه جهت اعمال بازوها به دیوار لوله؛

ب- تحلیل ارتعاشات وارد بر بازوها و نحوهٔ کاهش اثر ارتعاشات وارده؛

پ- تحلیل تنش دینامیکی وارده بر بازوها و انتخاب جنس و ابعاد، متناسب با تنش دینامیکی وارده؛

ت- انتخاب مناسب مواد از حیث خواص مغناطیسی و ضریب گذردهی مغناطیسی به‌منظور عدم تولید شار پراکنده؛

ث- طراحی مکانیسم مناسب برای فنربندی به‌طوری که ضمن تأمین نیروی مناسب، امکان از کار افتادن فنرها و اختلال در عملکرد آن‌ها با نفوذ اجرام و ذرات معلق درون لوله وجود نداشته باشد؛

ج- طراحی بهینه به‌طوری‌که تماس سنسورها با دیواره لوله در ضخامت‌های مختلف و نیز در شرایط مختلف لوله از قبیل خم‌ها، جوش‌ها و اتصالات و غیره حفظ شود؛

چ- طراحی مکانیسم مناسب برای جلوگیری از سایش سطح بازو در تماس با بدنه و جلوگیری از آسیب رسیدن و ایجاد خراش در دیواره داخلی لوله؛

ح- وجود سنسورهای تفکیک عیوب داخلی و خارجی که برای پیگ هوشمند MFL الزامی است، که می‌تواند روی بازوی مجزا باشد و یا به‌همراه سنسور نشت شار روی یک بازو قرار داشته باشند.

۶-۲-۱-۹ بازوهای کالیپرینگ

این بازوها فقط در پیگ هوشمند هندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند و وظیفه اصلی آن‌ها اندازه‌گیری تغییرات قطر داخلی لوله و نیز برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها (تغییر شکل هندسی) در لوله می‌باشد البته با کمک سنسورها و مدارات کالیپرینگ؛ تعداد این بازوها و شکل هندسی آن‌ها تا حد زیادی تابع مشخصات فنی ارائه شده برای پیگ هوشمند هندسی و دقت های مورد نظر برای اندازه‌گیری می‌باشد. این بازوها می‌توانند دارای ساختار فلزی و پلیمری باشند. همچنین نحوه تماس بازوها با دیواره می تواند از طریق چرخ های پلیمری و یا کلاهک فلزی و یا تسمه پلیمری یا سایر مواد ضد سایش باشد. تعیین شکل هندسی و جنس بازو تابع دقت و وضوح مورد نظر برای EGP در طراحی و ساخت این بازوها در نظر گرفته می‌شود.

۶-۲-۱-۱۰ مفصل ارتباطی

در صورتی‌که پیگ از دو قسمت مختلف (ماژول) یا بیشتر تشکیل شده باشد، طراحی این مفصل با رعایت موارد ذیل باید صورت پذیرد:

الف- امکان جابجایی ماجول‌ها نسبت به‌هم به صورت عمودی و افقی؛

ب- تحمل نیروی وارد بر مفصل در شرایط مختلف پیگ در درون لوله بویژه در خم‌ها؛

پ- عدم بروز حالت قفل در مفصل تحت هر شرایط احتمالی؛

ت- عدم امکان برخورد اجزای مفصل با بدنه و یا اجزای تعبیه شده بر روی بدنه و آسیب رساندن به آن‌ها (در حالات قرارگیری مختلف ماژول‌ها نسبت به هم)؛

ث- طراحی مناسب در ابعاد به منظور رعایت شرایط و محدودیت‌های عبورپذیری.

۶-۲-۱-۱۱ چرخ‌های نگهدارنده و ساپورت‌ها

این چرخ‌ها عمدتاً یا بر روی کاپ‌ها و یا بر روی سازه‌های فلزی بر روی بدنه پیگ نصب می‌گردند و هدف اصلی آن‌ها تحمل وزن پیگ در لوله و نگهداری پیگ در مرکز لوله می‌باشد. در پیگ‌های کوچک و سایز پایین ممکن است از این چرخ‌ها در ساخت بدنه پیگ استفاده نشود، زیرا وزن پیگ پایین است و نیازی به این قبیل ساپورت‌ها نمی‌باشد. به‌هرحال در صورت استفاده از این مکانیزم، در طراحی و ساخت این اجزاء باید موارد زیر رعایت شود:

الف- انتخاب جنس چرخ ها (پلیمری یا فلزی) از حیث مقاومت در برابر سایش و خوردگی؛

ب- انتخاب مکانیسم مناسب برای چرخ‌ها (بلبرینگ یا بوش یا غیره)؛

پ- انتخاب بلبرینگ یا بوش مناسب جهت تحمل نیروهای وارده و دوام عملکرد در محیط درون سیال؛

ت- طراحی ابعاد و تعداد چرخ‌ها با احتساب محدودیت‌های عبور پذیری و تحمل وزن؛

ث- انتخاب جنس مناسب برای پایه چرخ‌ها از حیث استحکام؛

ج- بررسی اثر طراحی چرخ‌ها در نرخ چرخش پیگ هوشمند در لوله.

۶-۲-۱-۱۲ مگنت‌ها

این بخش از مهمترین اجزای پیگ هوشمند مغناطیسی می‌باشد و باید دارای خواص زیر باشد:

الف- انتخاب جنس مناسب با شدت میدان مغناطیسی بالا و نیمه عمر بالا؛

ب- انتخاب ابعاد با توجه به محدودیت‌های مکانیکی و عبور پذیری و نیز محدودیت در چگالی شار مغناطیسی؛

پ- نحوهٔ جانمایی و محاسبات مربوط به تعداد و چیدمان مگنت‌ها براساس سطح اشباع مغناطیسی مورد نیاز در لوله برای ضخامت‌های مختلف؛

ت- نحوهٔ اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی مگنت‌ها و شرایط مورد نیاز برای این منظور؛

ث- نحوهٔ کاهش و افزایش میدان مغناطیسی از طریق تغییرات در چیدمان و جانمایی مگنت‌ها؛

ج- بررسی و تحلیل اثر پارامترهای محیطی در عملکرد و کارایی مگنت‌ها.

۶-۲-۲ چالش‌های فن‌آوری اجزای پلیمری

۶-۲-۲-۱ کاپ‌های کونیکال[1]

این کاپ‌ها نقش مهمی در حرکت و پیش‌رانش پیگ هوشمند دارند و موارد زیر در طراحی و ساخت آن‌ها باید در نظر گرفته شود:

الف- جنس و مشخصات مکانیکی و فیزیکی کاپ‌های مورد استفاده بر اساس شرایط خاص خط لوله و بنا به مقتضیات پروژه توسط شرکت سازنده پیگ هوشمند تعیین می‌شود؛

در خصوص لوله‌های با شرایط خاص، از قبیل لوله‌های دارای پوشش داخلی، باید متریال کاپ به نحوی انتخاب شود که به پوشش لوله آسیبی وارد نشود؛

ب- ابعاد و هندسه کاپ باید به گونه‌ای طراحی شود که آب‌بندی لازم را در لوله‌های با ضخامت‌های مختلف ایجاد نماید و در عین حال منجر به سایش بیش از اندازه آن‌ها نشود.

۶-۲-۲-۲ کاپ‌ها و دیسک های چرخ دار یا ساده

این کاپ‌ها عمدتاً وظیفه تحمل وزن بدنه پیگ و نگهداری بدنه پیگ در مرکز لوله را برعهده دارند و بر همین اساس به عنوان سیستم تعلیق عمل می‌کنند. لذا موارد ذیل باید در طراحی آن‌ها در نظر گرفته شوند:

الف- میزان استحکام کششی در آن‌ها باید متناسب با نیروی وارده بر آن‌ها باشد؛

ب- میزان سختی و مقاومت در برابر سایش در این کاپ‌ها باید مطابق مقادیر ارائه شده برای کاپ‌های کونیکال باشد؛

پ- نحوهٔ طراحی هندسه کاپ و نحوه تماس آن با بدنه باید به‌گونه‌ای باشد که ضمن تحمل نیروی وزن پیگ، ارتعاشات وارده بر بدنه پیگ در حین حرکت را تا حد زیادی کاهش دهد.

1- Conical cups

۶-۲-۲-۳ بازوهای نشت شار و جریان گردابی

در بسیاری از پیگ‌های هوشمند در دنیا، این بازوها دارای مکانیزم فلزی می‌باشند که از فنربندی پلیمری و یا فلزی در آن‌ها استفاده می‌شوند. لذا باید در طراحی و ساخت آن‌ها موارد ذیل در نظر گرفته شود:

الف- میزان سختی بازو باید به نحوی محاسبه و تعیین شود که بتواند نیروی مناسب جهت اتصال کامل سنسورها به سطح داخلی لوله را در شرایط مختلف و در حضور سیال فراهم سازد؛

ب- میزان استحکام کششی بازو باید به‌نحوی محاسبه و تعیین شود که در شرایط گیر کردن بازو در داخل لوله به سادگی پاره نشود و در عین حال انعطاف‌پذیری لازم جهت عبور از خم‌ها، اتصالات و نواقص مختف را دارا باشد؛

پ- هندسه و ابعاد بازوها باید متناسب با تعداد سنسورها و نوع سنسورها طراحی شود به‌نحوی‌که تمامی سنسورها حداکثر تماس با دیواره لوله را در تمامی شرایط درون خط دارا باشند و دو محدودیت زیر نیز همزمان رعایت شود:

- در حالت عبور پیگ از کمترین ضخامت خط لوله حداکثر فاصله بین سنسورها که در استاندارد NACE35100 قید شده، بیشتر نشود،

- در حالت عبور پیگ از کمترین قطر قابل گذر پیگ، سنسورها از نظر فیزیکی تداخل نداشته باشند.

ت- آنالیز ارتعاشاتی دقیقی برای رفتار بازوها بخصوص بازوهایی که تماما از مواد پلیمری ساخته شده‌اند، باید انجام شود به نحوی‌که در سرعت های مختلف و در عبور از نواقص، ارتعاشات وارده بر بازوها باعث تولید نویز در سیگنال خروجی سنسورها نشود؛

ث- سطح بازوها که با دیواره لوله در تماس است باید با تمهیداتی در مقابل سایش محافظت شود. این کار می‌تواند با استفاده از المان‌های ضد سایش صورت گیرد که در صورت فلزی بودن جنس خواص مغناطیسی آن‌ها مد نظر قرار گیرد؛

ج- الزامی به عبور کابل از درون بازو نیست ولی درصورتی‌که از این روش استفاده شود در طراحی و هندسه بازوها، نحوهٔ عبور کابل‌ها و تاثیر آن‌ها بر میزان سختی بازوها باید به دقت بررسی و تحلیل شود؛

چ- در طراحی ابعاد و هندسه بازوها باید به این نکته توجه شود که فاصله محیطی بین سنسورها در بازوهای مختلف در ضخامت‌های مختلف لوله از حد استاندارد بیشتر نشود؛

۶-۲-۲-۴ بخش پلیمری ضربه‌گیر

این بخش برای کاهش نیروی ناشی از وارد شدن ضربه مستقیم به پیگ هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید شرایط زیر را برآورده سازد:

الف- از نظر استحکام کششی و میزان سختی، باید مورد تحلیل دقیق قرار گیرد به‌نحوی‌که در صورت برخورد پیگ هوشمند در گیرنده یا شرایط مشابه، بتواند جلوی صدمه دیدن دریافت کننده پیگ و بخش‌های مهم و حساس پیگ را بگیرد؛

ب- از نظر ابعاد و هندسه باید با محدودیت‌های فیزیکی پیگ و محدودیت‌های عبورپذیری پیگ تطبیق داشته باشد.

۶-۲-۳ چالش‌های فن‌آوری اجزای الکترونیکی

۶-۲-۳-۱ مدارات جمع‌آوری داده (مدارات بازوها)

وظیفه اصلی این مدارات، جمع‌آوری اطلاعات سنسورها و پیش پردازش آن‌ها می‌باشد. در طراحی این مدارات ملاحظات زیر باید در نظر گرفته شوند:

الف- ابعاد مدارات باید متناسب با محدودیت‌های بخش های مکانیکی و عبورپذیری پیگ باشد؛

ب- در طراحی مدارات باید حداقل کابل‌کشی بین مدارات و سیستم کنترل مرکزی و سنسورها پیش‌بینی شود؛

پ- نحوهٔ آب‌بندی مدارات و نوع دقیق آب‌بندی باید مشخص شود به‌نحوی‌که با نوع سیال و فشار کاری مطابقت داشته باشد؛

ت- تمامی المان‌های مورد استفاده باید از مشخصه‌های محیطی در استانداردهای بین‌المللی معتبر تبعیت نمایند؛

ث- تمامی پیگ‌های مورد استفاده باید قادر به کار در شرایط شتاب، ارتعاشات و دمای خط لوله باشند؛

ج- توان مصرفی مدارات طراحی شده باید تا حد ممکن کم و متناسب با زمان و شرایط پیگ‌رانی در خط لوله باشد؛

چ- راندمان کاری المان‌ها خصوصاً المان های توان از قبیل رگولاتورها و مبدل‌های توان باید بالاتر از ٪۹۰ باشد؛

ح- در خصوص پیگ هوشمند HR، سرعت کاری مدارات باید به‌گونه‌ای باشد که امکان نمونه‌برداری طولی از هر سنسور به ازای هر ۲ mm یکبار در بالاترین سرعت مجاز پیگ، فراهم باشد؛

خ- وضوح نمونه‌برداری از هر سنسور باید حداقل برابر با Bit ۱۲ باشد؛

د- خطای نمونه برداری از هر سنسور باید حداکثر ±1LSB باشد؛

ذ- تمامی مدارات محافظ در برابر افزایش جریان، افزایش ولتاژ، اتصال کوتاه و القای نویز، باید در طراحی مدارات پیش‌بینی شود.

یادآوری- با توجه به پیشرفت تکنولوژی، امکان جمع‌آوری و نگهداری داده‌ها به‌صورت مجتمع در واحد الکترونیک مرکزی پیگ وجود دارد.

۶-۲-۳-۲ مدارات کنترل مرکزی

این مدارات وظیفه سنکرون‌سازی[1] و مدیریت نمونه‌برداری توسط مدارات بازوها و نیز پردازش اولیه و ذخیره‌سازی اطلاعات و هماهنگی بخش‌های مختلف از قبیل دوران سنج، سرعت سنج و مدارات مبدل توان و مدارات محافظ را برعهده دارد. پردازش اولیه اطلاعات، مرتب‌سازی اطلاعات، کدگذاری و کاهش حجم اطلاعات بدون از بین رفتن داده خام برداشت شده توسط سنسورها و در نهایت ذخیره‌سازی اطلاعات کامل تمامی سنسورهای موجود در پیگ هوشمند را در هر بخش از طول خط لوله درون یک فایل را به‌عهده دارد.

به‌نحوی که هر فایل ذخیره شده در حافظه پیگ به تنهایی قابلیت تفسیر را بدون نیاز به هیچ داده دیگر را داشته باشد و در صورت از بین رفتن اطلاعات قبل و بعد، خللی در تفسیر اطلاعات در فایل‌های ذخیره شده بوجود نیاید. اهم مواردی که باید در طراحی این مدارات مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

الف- حداقل کابل‌کشی بین مدارات و سیستم کنترل مرکزی و سنسورها پیش‌بینی شود؛

ب- نحوهٔ آب‌بندی مدارات و نوع دقیق آب‌بندی باید مشخص شود، به‌نحوی‌که با نوع سیال و فشار کاری مطابقت داشته باشد؛

پ- تمامی المان‌های مورد استفاده باید از مشخصه های محیطی در استانداردهای نظامی تبعیت نمایند؛

ت- تمامی المان‌های بکار رفته در طراحی باید قادر به کار در شرایط ارتعاشات بالا و برای طولانی مدت، باشند؛

ث- راندمان کاری المان‌ها، خصوصاً المان‌های توان، از قبیل رگولاتورها و مبدل‌های توان باید بالاتر از ۹۰٪ باشد؛

ج- تمامی کانکتورها باید دارای مشخصه‌های مناسب بوده و در برابر ارتعاشات و دمای بالا (تا حد دمای طراحی پیگ) و فشار طراحی پیگ مقاوم باشند؛

1- Synchronization

چ- حافظه اصلی به‌کار رفته باید دارای مشخصه‌های منطبق بر شرایط طراحی پیگ باشد؛

ح- در طراحی مدارات و در بخش‌های مهم مدارات توصیه می‌شود از ویژگی افزونگی[1] بهره گرفته شود؛

خ- مدارات کنترل مرکزی باید قابلیت پشتیبانی از پروتکل‌های ارتباطی سریع نظیر گیگا اترنت[2] و یا USB 3.0 را جهت تخلیه اطلاعات ذخیره شده در پیگ با سرعت بالا دارا باشند؛

د- مدارات کنترل مرکزی باید جهت سنکرون سازی و کنترل تمامی مدارات سنسورها در پیگ هوشمند از پروتکل‌های صنعتی و مقاوم در برابر نویز[3] بهره بگیرند؛

ذ- تمامی مدارات کنترل مرکزی باید قادر باشند با حداقل توان مصرفی کار نمایند؛

ر- مدارات کنترل مرکزی باید قادر باشند تا رفتار دمایی مخزن و سیال و نیز رفتار ارتعاشی پیگ و نیز فشار (برای پیگ سایزهای بزرگتر از (۲۰ in) ۵۰۰ mm را اندازه‌گیری و ذخیره نمایند؛

ز- مدارات کنترل مرکزی باید از الگوریتم‌های تشخیص خطای مناسب برای تشخیص و اصلاح خطای احتمالی در سرعت سنج‌ها بهره بگیرند.

۶-۲-۳-۳ مدارات تغذیه و مبدل توان

این مدارات جهت تأمین توان مصرفی و ایجاد سطوح مختلف ولتاژ و جریان در بخش‌های مختلف مدارات استفاده می‌شوند و باید موارد ذیل را در طراحی و ساخت آن‌ها در نظر گرفت:

الف- تعیین سطوح جریانی و ولتاژی مورد نیاز در مدارات باید براساس استانداردهای جهانی و براساس ملاحظات مربوط به نواحی پرخطر و حساس صورت گیرد؛

ب- تمامی خطوط تغذیه باید دارای مدارات محافظ جریانی و ولتاژی باشند؛

پ- تمامی خطوط تغذیه باید از شیلدینگ و محافظت لازم در خصوص ولتاژی القایی و نوسانات فرکانس پایین برخوردار باشند؛

ت- تطابق میان جریان‌کشی خطوط با استاندارد کابل‌ها و کانکتورها باید طبق استانداردهای معرفی شده رعایت شود؛

ث- طول خطوط تغذیه باید حداقل باشد؛

ج- فرآیند تقسیم خطوط تغذیه بین مدارات مختلف باید به‌صورت مدولار[1] در طراحی سیستم دیده شود؛

1- Redundancy
2- Giga Ethernet
3- Noise

چ- راندمان تمامی رگولاتورهای ولتاژ و جریان و مبدل های توان باید بالاتر از ۹۰٪ باشد.

۶-۲-۳-۴ سنسورهای نشت شار مغناطیسی

این سنسورها مستقیماً وظیفه اندازه‌گیری میزان شار مغناطیسی را برعهده دارند. فاصله سنسورها در پیگ‌های هوشمند طبق استاندارد NACE 35100 مشخص می‌شود. و باید الزامات مربوط به طراحی نیز رعایت شود. به‌عنوان نمونه در پیگ هوشمند HR-MFL طبق استاندارد NACE 35100 نباید فاصله سنسورها از هم، از ۱۷ mm بیشتر باشد. لذا با احتساب عرض ۴ mm برای هر سنسور و ۳ mm فاصله لبه سنسور تا لبه بازو، در آرایش قرارگیری بازوها برای حالتی که پیگ در موقعیت داخل لوله برای کمترین ضخامت طراحی و بیان شده در داده برگ[۲] سازنده قراردارد فاصله میانی بین دو بازو از هم نباید از ۷ mm بیشتر باشد. درصورتی‌که این مقدار بیشتر باشد، پیگ HR نیست، بلکه در رده پیگ‌های دقت پایین (SR) قرار می‌گیرد (و طبق استاندارد NACE 35100، استفاده از پیگ‌های دقت پایین SR توصیه نمی‌شود). مگر آنکه سازنده با ارائه مدارک و مستندات اثبات نماید که فاصله بین لبه سنسور تا لبه بازو از ۳ mm کمتر بوده و یا از سنسورهایی با عرض کمتر از ۴ mm استفاده کرده است. به‌نحوی‌که فاصله مرکز تا مرکز سنسورهای ابتدا و انتهایی دو بازوی مجاور از ۱۷ mm بیشتر نباشد.

حداقل پارامترهای زیر باید در انتخاب سنسور لحاظ شود:

الف- سنسور باید از سطح اشباع مغناطیسی بالایی برخوردار باشد به‌طوری‌که در عیوب با عمق ۸۰٪ و درکمترین ضخامت خط لوله اشباع نشود؛

ب- سنسور باید دارای منحنی مشخصه خطی در محدوده کاری باشد و درصد عملکرد خطی آن بالاتر از ۹۰٪ باشد؛

پ- سنسور باید دارای بهره[۳] ثابت با رواداری پایین باشد؛

ت- سنسورها باید دارای انحراف[۴] بسیار پایین و ثابت با زمان باشد؛

ث- سنسور باید دارای حساسیت بالا در محدوده کارکرد خطی باشد؛

ج- سنسورها باید حداقل دو مولفه از شار مغناطیسی را اندازه‌گیری نمایند. (مؤلفه محیطی و طولی)؛

چ- سنسورها باید دارای حداقل توان مصرفی باشند؛

---

1 -Modular
2 - Data sheet
3 - Gain
4 - Offset

ح- حساسیت سنسور به پارامترهایی از قبیل ولتاژ تغذیه باید در کمترین حد ممکن باشد؛

خ- ابعاد سنسورها باید در حد امکان کوچک و امکان نصب آن‌ها در دو جهت متعامد امکان پذیر باشد؛

د- سنسورها باید مشخصه‌های محیطی براساس استانداردهای نظامی مندرج در بخش۷ را دارا باشند؛

ذ- اتصالات سنسورها باید استاندارد نظامی را رعایت نماید (از نظر دما و ارتعاش)؛

ر- تعداد سیم‌کشی‌ها در سنسورها باید حداقل باشد؛

ز- در سنسورهای چند کاناله باید اثر تداخل کانال‌های مجاور بسیار کم (کمتر از ۶۰ dB) باشد؛

س-در سنسورهای دیجیتال باید وضوح هر کانال حداقل ۱۲ bit باشد؛

ش- دقت اندازه‌گیری سنسورها باید بهتر از ۰/۰۱ mT باشد.

۶-۲-۳-۵ مدارات تفکیک عیوب داخلی و خارجی

این مدارات به‌منظور تشخیص خوردگی‌های داخلی فقط در پیگ‌های هوشمند MFL مورد استفاده قرار می‌گیرند و معمولا ترکیبی از سنسور و مگنت مغناطیسی می‌باشند. این مدول باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

الف- قابلیت تشخیص خوردگی داخلی حداقل به میزان ۱۰٪ برای ضخامت لوله‌های مختلف؛

ب- فاصله محیطی حداکثر ۸ mm (محدوده تشخیص حداقل ۳± mm)؛

پ- توان مصرفی بسیار پایین؛

ت- ابعاد کوچک جهت جانمایی در بازوها با فواصل مناسب.

۶-۲-۳-۶ مدارات مسافت سنجی

این مدارات که معمولا از یک محرک و یک گیرنده ساخته می‌شوند برای تعیین مسافت طی شده توسط چرخ سرعت سنج استفاده می‌شوند و باید شرایط زیر را برآورده سازند:

الف- مکانیسم اندازه‌گیری باید به‌نحوی باشد که در محیط‌های کثیف و آلوده با دقت بالا کار کند بطور مثال نمی توان از مکانیسم نوری برای این منظور استفاده نمود؛

ب- مدارات باید تمامی شرایط محیطی در نظر گرفته شده در استانداردهای نظامی مندرج در بخش ۷ را برآورده سازند؛

پ- سایر موارد ذکر شده در خصوص مدارات بازوها از قبیل شرایط محیطی، آب‌بندی، مصرف توان، ابعاد و نحوه جانمایی نیز باید در خصوص این مدار در نظر گرفته شود.

۶-۲-۳-۷ مجموعه سنسورهای فشار، دما و ارتعاش

این مجموعه از سنسورها برای اندازه‌گیری شرایط محیطی در پیگ هوشمند به‌کار می‌روند و باید ملاحظات ذیل را برآورده نمایند:

الف- محدوده کاری سنسورها باید با توجه به شرایط خط لوله تعیین شود.

ب- میزان حساسیت سنسور باید بر اساس شرایط خط لوله و نیاز مدارات انتخاب شود.

پ- توان مصرفی سنسورها باید حداقل باشد.

ت- پکیج سنسورها از لحاظ امکان نصب و قرارگیری بر روی پیگ هوشمند، باید مناسب باشد.
این مجموعه سنسورها تحت عنوان PDL نیز معرفی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶-۲-۳-۸ مدارات دوران سنجی

این مدارات نیز به‌منظور اندازه‌گیری میزان دوران پیگ هوشمند در حین حرکت در درون خط لوله به‌کارمی‌روند و کارکرد دقیق آن‌ها در تعیین موقعیت زاویه‌ای (ساعت) عیوب و ناهنجاری‌ها بسیار حائز اهمیت است. تمامی ملاحظاتی که در مورد مدارات مسافت سنجی بیان گردید نیز در مورد مدارات دوران سنجی باید لحاظ شوند.

۶-۲-۳-۹ مدارات کالیپرینگ[1]

این مدارات فقط در EGP مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای تعیین میزان جابجایی بازوها و در نتیجه محاسبه تغییرات ضخامت و قطر در لوله و یا اندازه گیری عمق فرورفتگی‌ها/برآمدگی‌ها به‌کار می‌روند. تمامی ملاحظاتی که در مورد مدارات سرعت سنجی بیان گردید نیز در مورد مدارات کالیپرینگ باید لحاظ شوند. دقت عملکرد این مدارات نیز بر اساس مشخصات فنی ارائه شده برای پیگ هوشمند هندسی تعیین می‌شود. در این مدارات، هم از سنسورهای تماسی و هم از نوع غیرتماسی می توان بهره گرفت که البته انتخاب آن به دقت اندازه‌گیری مورد نیاز در پیگ بستگی دارد. هندسی باید چند کاناله باشد و هر یک از بازوها، مقدار تغییر شکل هندسی را به‌صورت مستقل ثبت نمایند. هر چه تعداد بازوها بیشتر و سطح تماس و پوشش بازوها با بدنه داخلی لوله بیشتر باشد، به‌همان میزان دقت هندسی افزایش می‌یابد.

1 -Calipering

۶-۲-۳-۱۰ کانکتورها

کانکتورها از حیث تحمل‌پذیری فشار کاری بالا و نیز تحمل پذیری ارتعاشات وارده باید مورد توجه فراوان قرار گیرند. علاوه بر این موارد، انتخاب مناسب آن‌ها از حیث ابعاد، جریان و ولتاژ عبوری و نوع قفل شوندگی بسیار حائز اهمیت است.

۶-۲-۳-۱۱ کابل‌ها

ملاحظات ذیل باید در مورد کابل‌ها رعایت شود:

الف- باید از مقاومت لازم در برابر موارد هیدروکربنی و خورنده برخوردار باشند؛

ب- باید دارای حفاظ یا پوشش لازم جهت کاهش نویز القایی باشند؛

پ- باید متناسب با جریان و ولتاژ عبوری براساس استانداردهای ملی یا بین‌المللی رایج انتخاب شوند؛

ت- در کابل‌هایی که بر روی بدنه پیگ استفاده می‌شوند باید از کاندوئیت‌های محافظ (غلاف) و مناسب استفاده شود؛

ث- طول کابل‌کشی‌ها باید حداقل ممکن باشد؛

ج- انعطاف‌پذیری کابل باید به‌صورت مناسب انتخاب شود تا منجر به استهلاک سریع آن‌ها نشود؛

چ- قطر کابل‌ها به‌ویژه برای ارتباط میان سنسورها و مدارات جمع‌آوری داده باید با توجه به محدودیت‌های مکانیکی و ابعادی در طراحی بازوها صورت پذیرد.

۶-۲-۳-۱۲ باتری‌ها

مجموعه باتری بخش بسیار مهمی در پیگ هوشمند می‌باشد و باید ملاحظات زیر در خصوص آن رعایت شود:

الف- تحمل‌پذیری شرایط دمایی بالا (حداقل°C ۸۰) و شرایط ارتعاشی بالا (شتاب ارتعاش: g ۱۰) به‌ویژه در خصوص اتصالات باتری‌ها؛

ب- مجموعه باتری باید دارای مدارات محافظ جریانی و ولتاژی باشد؛

پ- ظرفیت مجموعه باتری باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که تحمل جریان دهی لازم برای تمامی مدارات و سنسورها را برای مدت زمان تعیین شده طبق استانداردهای بخش ۵ را دارا باشد؛

ت- فرآیند مدیریت مصرف انرژی در پیگ هوشمند باید به گونه‌ای باشد که در صورت توقف کامل پیگ در لوله، مصرف انرژی به شدت کاهش یابد تا منجر به تخلیه باتری‌ها نشود؛

ث- در انتخاب باتری و مجموعه آن باید ملاحظات مکانیکی از حیث محدودیت‌های ابعادی و حجمی در نظر گرفته شود؛

ج- درصورتی‌که از باتری‌های قابل شارژ استفاده می‌شود، حتماً باید به محدوده دمایی آن دقت شود تا استاندارد مورد نظر را تأمین نماید؛

چ- جریان نامی قابل ارائه توسط باتری‌ها باید حداقل ۲۰٪ بالاتر از جریان نامی مصرفی سیستم باشد؛

ح- دمای تولیدی باتری در حین کار با جریان نامی باید اندازه‌گیری شود تا منجر به گرم شدن بیش از حد مخزن نشود. (دمای باتری در حین کارکرد عادی نباید از دمای محیط بالاتر رود و غیره)؛

خ- ظرفیت باتری باید حتما در جریان نقطه کاری اندازه‌گیری شود و نه در جریان نامی باتری؛

د- برای موازی‌سازی باتری‌ها باید از مدارات محافظ مناسب استفاده شود؛

ذ- در صورت استفاده از باتری‌های قابل شارژ، باید از مدارات محافظ شارژ و شارژ اضافی[1] استفاده شود تا خطر ترکیدن باتری از بین برود؛

ر- برای آب‌بندی پکیج باتری باید از روش‌های مناسب و قابل اتکا استفاده شود.

۶-۲-۴ چالش‌های فن‌آوری اجرای نرم‌افزاری

۶-۲-۴-۱ نرم‌افزار آزمون و کالیبراسیون

این نرم‌افزار به منظور اطمینان از صحت عملکرد مدارات جمع‌آوری داده، مدارات کنترل مرکزی، سنسورها، مدارات تغذیه، حافظه، سرعت سنجی، دوران سنجی و سایر سنسورهای پیگ هوشمند استفاده می‌شود و در صورت نیاز به کالیبراسیون در بخش سنسورها و یا اجزای دیگر از قبیل دوران سنج نیز از این نرم‌افزار استفاده می‌شود. ملاحظات زیر باید در طراحی و پیاده‌سازی این نرم‌افزار مد نظر قرار گیرد:

الف- ارتباط نرم‌افزار با پیگ هوشمند از طریق کانکتور یا کانکتورهای تعبیه شده بر روی بدنه یا مخزن پیگ صورت می‌گیرد (مشابه انتقال اطلاعات به PC)؛

ب- نرم افزار می‌تواند بر روی یک پَد[2] یا تبلت[3] و یا لپ تاپ[4] نصب و اجرا شود؛

1-Over charge
2 - Personal Digital Assistant
3 - Tablet
4 - Laptop

پ- نرم افزار باید قابلیت آزمون عملکرد تمامی سنسورهای نشت شار، مدول‌های جریان گردابی، حافظه‌ها، سرعت سنج‌ها، دوران سنج‌ها، سنسورهای دما، فشار و ارتعاش را دارا باشد، به‌نحوی‌که المان معیوب به‌راحتی تشخیص داده شود؛

ت- فرآیند آزمون و کالیبراسیون بخش‌های مختلف توسط نرم‌افزار، نباید بیش از یک ساعت به‌طول انجامد؛

ث- فرآیند آزمون و کالیبراسیون بخش‌های مختلف توسط نرم‌افزار باید در منطقه عملیاتی و قبل از اجرای عملیات پیگ‌رانی و نیز پس از اجرای عملیات پیگ‌رانی قابل انجام باشد؛

ج-در صورت نیاز به کالیبراسیون اجزای مختلف پیگ توسط نرم‌افزار، فرآیند کالیبراسیون باید کاملا روشن و مدون باشد؛

چ- برای پیاده‌سازی نرم افزار باید حداقل از متدولوژی های RUP و یا چابک[1] استفاده شود.

۶-۲-۴-۲ نرم‌افزار استخراج و فرمت‌بندی داده‌ها

با توجه به اینکه پیشرفت‌های جدید امکان استخراج درجای داده‌ها از پیگ‌های هوشمند فراهم کرده است، لیکن حداقل الزامات زیر باید مد نظر قرار گیرد. به‌منظور استخراج اطلاعات و داده‌های خام از پیگ هوشمند به داخل PC، نرم افزار استخراج و فرمت‌بندی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و باید در طراحی و پیاده‌سازی آن موارد زیر را در نظر گرفت:

الف- نحوهٔ اتصال PC به پیگ هوشمند و ارتباط نرم‌افزار با پیگ باید با یکی از پروتکل‌های ایمن و سریع جهت انتقال اطلاعات مطابقت داشته باشد؛

ب- در فرآیند انتقال اطلاعات حتماً باید از الگوریتم‌های تشخیص خطای استاندارد استفاده شود؛

پ- فرآیند انتقال اطلاعات باید در مدت زمان محدود و قابل قبول صورت گیرد (حداکثر h ۵ ساعت برای خط لوله حدود km ۱۰۰)؛

ت- ارتباط نرم‌افزار با پیگ هوشمند از طریق کانکتور یا کانکتورهای تعبیه شده بر روی بدنه یا مخزن پیگ صورت می‌گیرد (مشابه انتقال اطلاعات به PC)؛

ث- نرم‌افزار می‌تواند بر روی یک پَد یا تبلت و یا لپ تاپ نصب و اجرا شود؛

ج- برای پیاده‌سازی نرم‌افزار باید حداقل از متدولوژی‌های RUP و یا Agile استفاده شود.

1- Agile

۶-۲-۴-۳ نرم‌افزار تحلیل و تفسیر اطلاعات:

این نرم‌افزار به‌منظور تفسیر اطلاعات بدست آمده از پیگ هوشمند و مشخص کردن مشخصات عیوب و موقعیت دقیق عیوب و سایر ناهنجاری‌های مجاز و غیر مجاز در لوله به‌کار می‌رود و باید موارد ذیل را در خصوص طراحی و پیاده‌سازی آن رعایت نمود:

الف- نرم‌افزار باید قابلیت تشخیص و موقعیت یابی دقیق تمامی عیوب، عوارض[1] و کلاس آن‌ها را براساس POF 2016 دارا باشد؛

ب- نرم‌افزار باید قادر باشد موارد مشکوک و غیر طبیعی[2] را مشخص سازد؛

پ- نرم افزار باید بر مبنای حداقل بیست نمونه دیتای واقعی و عملیاتی برداشت شده از خط لوله عملیاتی را برای هر یک از حداقل ۹۰ درصد از عیوب قید شده در استانداردها همچون NACE و POF 2016 مورد آموزش و آزمون قرار گرفته باشد و دیتای برداشت شده از سیستم‌های آزمون و آزمایشگاهی همچون آزمون PTT مورد قبول نیست و از اطلاعات عیوب ساخته شده روی استند آزمون فقط می توان برای ارزیابی عملکرد پیگ و یا انجام آزمون کالیبراسیون استفاده نمود؛

ت- سرعت اجرای الگوریتم بر روی یک سوپرکامپیوتر ۸ هسته‌ای با حافظه GB ۳۲ و برای هر کیلومتر از خط لوله نباید بیشتر از min ۳۰ باشد؛

ث- جزئیات مربوط به نحوه دسته‌بندی عیوب، POD و POI و نیز دقت تعیین طول، عرض، عمق، موقعیت مکانی و موقعیت زاویه‌ای و مواردی از این دست باید بر اساس آخرین نسخه از POF 2016 و سایر استانداردهای معرفی شده در اسناد باشد.

ج- جهت اطمینان از دارا بودن دانش فنی، سازنده داخلی پیگ برخورداری از یک تیم تفسیر اطلاعات شامل چند نفر از افراد خبره و متخصص و با تجربه در این تیم حضور داشته باشند. هر زمان که کارفرما بخواهد سازنده پیگ باید بتواند در قرنطینه و بدون ترک سایت و انتقال اطلاعات خام برداشت شده از پیگ به بیرون ظرف مدت سه ساعت حداقل ۱۰ عیب موجود در خط لوله و یا استند آزمون را تهیه و به کارفرما گزارش دهد.

یادآوری- علاوه بر تاییدیه‌های قید شده در استاندارد POF 2016، مفسران حاضر در قرنطینه حداقل باید دارای گواهی ASNT ILI-PQ LEVEL II را داشته باشند.

1 - Feature
2- Anomaly

چ- جهت اطمینان از دارا بودن دانش فنی، سازنده داخلی پیگ باید در قرنطینه بتواند تغییرات مورد نظر کارفرما را روی کد برنامه و نرم‌افزارهای تفسیر اطلاعات و نرم افزار نمایش اطلاعات و ارائه گزارشات و سایر نرم‌افزارهای مورد استفاده، اعمال نماید.

۶-۲-۴-۴ نرم‌افزار نمایش اطلاعات و ارائه گزارشات

این نرم‌افزار که به‌منظور ارائه نتایج پیگ رانی هوشمند استفاده می‌شود، قابلیت ارائه انواع گزارشات و جزئیات نتایج پیگ‌رانی را فراهم می‌سازد. الزامات این نرم‌افزار در آخرین نسخه از POF 2016 ارائه گردیده است.

یادآوری- در خصوص تحلیل داده‌ها جهت محاسبه فشار ایمن (P_{safe}) و خوشه‌بندی[1] عیوب سطح ۲ استاندارد ASME B31G یا استاندارد معادل مورد نظر کارفرما مورد استناد قرار گیرد.

۷ معرفی اجزای اصلی در پیگ‌های هوشمند و استانداردها در هر بخش

در این فصل اجزای مرتبط با ساخت پیگ‌های هوشمند مغناطیسی و استانداردها و گریدهای مواد مربوط مورد اشاره قرار می‌گیرد. با توجه به این نکته که دانش فنی مربوط به جزییات دقیق پیگ‌های هوشمند در اختیار سازندگان این تجهیزات می‌باشد، جداول ۶ تا ۸ بر اساس اطلاعات موجود و در دسترس، به صورت نمونه به معرفی اجزای مکانیکی، الکترونیک و پلیمری و استانداردهای ساخت، مواد و اتصالات پرداخته است.

یادآوری- اجزاء و استانداردهای پیشنهاد شده در این فصل بر اساس اطلاعات موجود از پروژه ساخت یک پیگ نوعی در داخل کشور می‌باشد. استاندارد و معیارهای بیشتر در پیوست ث این استاندارد در دسترس می‌باشد.

1 - Clustering

جدول۶ – نمونه‌ای از فهرست اجزای مکانیکی، استانداردهای ساخت، مواد و اتصالات در پیگ‌های هوشمند مغناطیسی

ردیف	نام اجزای مکانیکی	زیر بخش	استاندارد ساخت	استاندارد مواد	استاندارد اتصالات
۱	بدنه مدول داده برداری		DIN 7168-m	AISI 300	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۲	محفظه مدارات بازوها		DIN 7168-f	Al 7075-T6	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۳	کلکتورها		DIN 7168-m	AISI 300	DIN EN 22553 (1997-03)
۴	چرخ‌های نگهدارنده	پایه چرخ‌های نگهدارنده	DIN 7168-m	MO 40 (1.7225)	Nut-DIN984 / ISO7040
		بوش چرخ‌های نگهدارنده	DIN 7168-m	Copper Alloy (Brass)	DIN 912-M16x130
۵	مجموعه مسافت سنجی (تماسی)	بازوهای مسافت سنجی	DIN 7168-m	DIN 1.0553	DIN EN 24033
		چرخ مسافت سنجی	DIN 7168-f	MO 40 (1.7225)	
		مکانیسم فنربندی بازوی مسافت سنجی	DIN 7168-f	DIN 1.1221(C60E)	
۶	مجموعه بازوی هندسی	بازوهای کالیپرینگ (فلزی)	DIN 7168-f	DIN 1.0553	DIN EN 24033
		مکانیسم فنربندی بازوی هندسی	DIN 7168-f	DIN 1.1221(C60E)	
۷	مخزن الکترونیک و باتری		DIN 7168-c	ASTM B221 (6061-T6)	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۸	بک بارها		DIN 7168-c		DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۹	براش‌ها		DIEPA X40 S 321	DIN 1.0553/St52-3u	ISO 4309 (=or)
۱۰	پایه مگنت‌ها		DIN 7168-f	DIN 1.0553/St52-3u	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۱۱	مکانیسم مکانیکی کنترل سرعت		DIN 7168-m	DIN 1.0553/St52-3u	DIN 628-7203B-Full,SI,NC Balls- AISI 52100
۱۲	المان‌های ضد سایش بازوها (فلزی)		DIN 7168-f	AISI 300	
۱۳	اتصال میانی (یونیورسال)		DIN 7168-f	MO 40 (1.7225)	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9) DIN933/ ISO 4017
۱۴	سایر اتصالات در بدنه				DIN 912/ ISO 4762 (G12.9) DIN933/ ISO 4017
۱۵	سازه مکانیکی ضربه‌گیر		DIN 7168-c	DIN 1.0553/St52-3u	DIN933/ ISO 4017
۱۶	سازه بارگذاری پیگ				
۱۷	سینی حمل و نقل و تعمیرات				

جدول ۷- نمونه‌ای از فهرست اجزای الکترونیکی و استانداردهای ساخت مربوطه در پیگ‌های هوشمند مغناطیسی

ردیف	نام اجزای الکترونیکی	استانداردهای ساخت
۱	سنسورهای نشت شار مغناطیسی	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۲	ماجول جریان گردابی	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۳	مدارات مسافت سنجی (تماسی و غیر تماسی)	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۴	ماجول کالیپرینگ	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۵	سنسورهای ارتعاشی و شتاب سنج ها، سنور دما و فشار	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۶	ماجول دوران سنجی (ژایروسکوپ)	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۷	مدارات کنترل مرکزی	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۸	مدارت جمع‌آوری داده سنسورها (مدارات بازوها)	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۹	مدارات حافظه	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۰	مدارات تغذیه و مبدل توان	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۱	مدارات و عملگر کنترل سرعت	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۲	مدارت محافظ	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۳	باتری‌ها	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۴	کابل‌های ارتباطی بیرون از مخزن	IPS-M-EL-271 و IEEE 518
۱۵	کابل‌های ارتباطی درون مخزن	IPS-M-EL-271 و IEEE 518
۱۶	کانکتورهای نصب شده بر روی بدنه و مخزن	MIL-DTL Compatible
۱۷	کانکتورهای درون مخزن و محفظه	MIL-DTL Compatible
۱۸	ردیاب پیگ هوشمند مغناطیسی	
۱۹	ردیاب پیگ هوشمند غیر مغناطیسی (هندسی)	

جدول ۸- نمونه‌ای از فهرست اجزای الکترونیکی و استانداردهای ساخت مربوطه در پیگ‌های هوشمند مغناطیسی

ردیف	نام اجزای پلیمری	عنوان استاندارد		
		استاندارد آزمون	مواد	استاندارد سایش
۱	کاپ‌های پلیمری کونیکال	ASTM D2240/DIN7168-m	Polyurethane	DIN 53516 & ASTM D 1623
۲	کاپ‌های پلیمری چرخ‌دار یا دیسکی (غیر کونیکال)	ASTM D2240/DIN7168-m	Polyurethane	DIN 53516 & ASTM D 1623
۳	پلیمر چرخ‌های نگهدارنده	ASTM D2240/DIN7168-m	Polyurethane	DIN 53516 & ASTM D 1624
۴	بخش پلیمری بامپر (ضربه‌گیر)	ASTM D2240/DIN7168-m	Polyurethane	DIN 53516 & ASTM D 1623
۵	بازوهای نشت شار	ASTM D2240/DIN7168-m	Polyurethane	DIN 53516 & ASTM D 1623
۶	رزین آب‌بندی مدارات	IGEM-TSP-10-110 و IEC60079		

۸ دستورالعمل کلی ارزیابی عملکرد پیگ هوشمند با روش (PTT)

با توجه به اینکه ارزیابی عملکرد پیگ هوشمند پیش از راندن آن و کسب اطمینان از صحت و دقت سنسورها و سایر اجزای پیگ از اهمیت بالایی برخودار می‌باشد، در این فصل دستورالعمل کلی ارزیابی عملکرد پیگ هوشمند با روشPTT و همچنین دستورالعمل نحوه اندازه‌گیری شار مغناطیسی در پیگ‌های هوشمند ارائه شده است.

۸-۱ دامنه کاربرد

آزمون‌های نیمه عملیاتی شامل و نه محدود به تمامی فعالیت‌های کالیبراسیون و ارزیابی‌های صحت و دقت عملکرد پیگ هوشمند قبل از رانش پیگ است.

این دستورالعمل قابلیت کاربرد برای تمامی پیگ‌های هوشمند از قبیل MFL، TFI، Caliper/EGP را دارد.

به عنوان مکمل یا جایگزین عملیات PTT، کارفرما می‌تواند بنا به شرایط و محدوده پیمان خود، ارزیابی میدانی و پیگ‌رانی آزمایشی یک یا بخشی از خط لوله را مبنای ارزیابی و کالیبراسیون پیگ هوشمند قرار دهد.

۸-۲ اهداف

آزمون‌های نیمه عملیاتی در بستر آزمون[1] مطابق اسناد پروژه، استانداردها و دستورالعمل‌های NACE 35100 , API 1163, POF 2016 و NACE SP0102 باشد ولی محدود به استانداردهای فوق نمی-باشد. این آزمون‌ها برای دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود:

- ارزیابی صحت و دقت عملکرد قطعات و ماژول‌های پیگ هوشمند،
- ارزیابی میزان القاء شار مغناطیسی (در مورد پیگ‌های مغناطیسی)،
- ارزیابی صحت موقعیت‌یابی عیوب مطابق شکل ۱،
- بررسی قابلیت شناسایی عیوب مختلف درونی و بیرونی در کلاس‌های مختلف مطابق شکل ۲،
- ارزیابی قابلیت اندازه‌گیری مشخصه‌های مختلف عیوب شامل طول، عرض، عمق، موقعیت ساعتی و موقعیت مکانی و بررسی دقت آن‌ها در محدوده معیارهای پذیرش،
- ارزیابی اثرات پارامترهای عملیاتی از قبیل عبور پذیری، سرعت حرکت، چرخش پیگ و غیره بر دقت و عملکرد پیگ،
- کنترل مستندات ایمنی اجرای عملیات و گواهینامه‌های مربوطه از قبیل ATEX.

هدف از آزمون PTT، ارزیابی کارایی اولیه پیگ‌های هوشمند قبل از انجام آزمون‌های عملیاتی یا بررسی صحت و دقت عملکرد آن‌ها قبل از انجام عملیات بازرسی فنی می‌باشد. لازم است پیگ‌های هوشمند در بستر آزمونی دارای عیوب مصنوعی یا طبیعی درسرعت‌های مختلف، حداقل ۳ سرعت، عملیاتی بسته به نوع پیگ، توسط ماشین آلات مورد تایید کارفرما به‌صورت یکنواخت کشیده شوند تا موارد ذکر شده در این بخش در خصوص این پیگ‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند.

لازم به ذکر است در این مدرک به جنبه‌های ارزیابی و اجرایی برخی از موارد فوق الذکر پرداخته شده است و سایر موارد، توسط بهره‌بردار قابل بررسی خواهد بود.

1-Test Stand

۸-۳ الزامات

۸-۳-۱ مکانیزم آشکارسازی عیوب در پیگ‌های هوشمند مغناطیسی

کنترل پارامترهای نرمال و اولیه طی آزمایش پیگ‌های هوشمند MFL و TFI بر اساس اصول اولیه یکنواختی شار مغناطیسی در شرایط سلامت بدنه لوله صورت می‌گیرد. بدین معنی که در صورت عدم وجود عیب در دیواره لوله، تغییر نشت شار مغناطیسی قابل توجهی بوجود نخواهد آمد. نشت شار مغناطیسی (غیر یکنواختی میدان مغناطیسی) با اندازه‌گیری مولفه مماسی[1] میدان مغناطیسی آشکار می‌شود. القاء شار مغناطیسی به میزان اشاره شده در استاندارد NACE 35100 که سبب ایجاد میدان مغناطیسی متناسب با آن در جداره لوله می‌شود باعث آشکار شدن تغییرات ضخامت و وجود عیوب و مشخصه در بدنه لوله خواهد شد.

۸-۳-۲ ارائه گواهی تایید تجهیزات ضد انفجار

اخذ و ارائه گواهی نامه تایید تجهیزات ضد انفجار[2] مطابق استانداردهای مرجع بین‌المللی مربوطه مورد پذیرش بهره‌بردار و سازنده، از سوی شرکت پیگ‌ران برای سازندگان و ارائه‌دهنده خدمات پیگرانی هوشمند/الکترونیکی الزامی می‌باشد. به موارد مشخص شده در POF 2016-Clause 3 (Health and safety) و استاندارد EN 13463 در خصوص قطعات و تجهیزات غیر الکتریکی پیگ‌های هوشمند رجوع شود.

۸-۴ رویه انجام آزمون PTT پیگ‌های هوشمند

۸-۴-۱ روش آزمون

عیوب طبیعی یا مصنوعی که نماینده کلاس‌های مختلف عیوب محتمل بر روی لوله (داخلی و خارجی) می‌باشند در لوله‌های فولادی به قطر، طول و ضخامت مناسب برای انجام آزمون پیگ‌های هوشمند ایجاد می‌شوند. در ایجاد عیوب، تنوع پارامترها شامل طول، عرض، عمق، موقعیت ساعتی، لحاظ می‌شود تا قابلیت شناسایی و اندازه‌گیری پیگ‌های هوشمند حتی‌الامکان در گستره وسیعی از عیوب مورد ارزیابی قرار گیرند.

بنا به نظرکارفرما و مقتضیات پروژه، تعدادی عیوب واقعی از قطعات تعویضی خطوط لوله نیز در بستر آزمون PTT تعبیه شود.

همچنین در ایجاد عیوب مصنوعی توصیه می‌شود تلفیقی از روش های ماشین‌کاری مکانیکی و غیر مکانیکی نظیر الکتروشیمیایی و شیمیایی به‌کارگرفته شود.

---

1 - Tangential Component
2- CE device Directive ATEX 94/4/EC (ATEX 95) , Occupational Health and Safety Directive ATEX 1999/92/EC (ATEX 137).

استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۷۱۷ (چاپ اول): سال ۱۳۹۸

یادآوری- فاصله عیوب از لبه لوله‌های آزمون باید در حدی باشد که در محدوده ناپایداری میدان مغناطیسی تولید شده توسط پیگ‌های هوشمند مغناطیسی واقع نشود.

۸-۴-۲ تجهیزات مورد نیاز برای آزمون

- ضخامت سنج فراصوت[۱]
- عمق سنج [۲]
- سنجه جوش[۳]
- کولیس
- متر
- بُرس سیمی
- رایانه قابل حمل برای تحلیل داده‌ها
- تجهیزات اندازه‌گیری پارامترهای مغناطیسی[۴]
- تجهیزات اندازه‌گیری دانسیته و شدت میدان مغناطیسی[۵]

یادآوری۱- حین آزمون، تمامی تجهیزات اندازه‌گیری باید دارای گواهی کالیبراسیون معتبر باشند.

یادآوری۲- پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری شار مغناطیسی پیگ MFL قبل و بعد از پیگ‌رانی طبق دستورالعمل پیوست پ انجام و در مدارک پیگ‌رانی ثبت شود. ضمناً چنانچه دستورالعمل دیگری مورد نظر کارفرما یا سازنده می‌باشد، قابل انجام است.

۸-۴-۳ مشخصات لوله‌های مورد استفاده در آزمون

برای انجام آزمون از قطعات لوله با جنس، ضخامت و ابعاد مورد استفاده در خطوط لوله تحت بهره‌برداری کارفرما طبق آخرین ویرایش از استاندارد ASME B36.10M و API 5L استفاده خواهد شد.

1- Ultrasonic
2- Pit Gauge
3- Weld Gauge
4 -Gauss meter, Tesla meter, Magneto meter

۵- به پیوست پ مراجعه شود.

۸-۴-۴ حداقل طول لوله در آزمون

حداقل طول لوله درآزمون PTT باید به میزانی باشد که بتوان به سرعت‌های مورد نظر در آزمون در محدوده عیوب دست یافت.

۸-۴-۵ محدوده سرعت در آزمون

در آزمون PTT، پیگ‌های هوشمند در حداقل ۳ سرعت مختلف در داخل لوله‌ها در بستر آزمون کشیده خواهند شد. برای هر سرعت در حساسیت‌های متفاوت باید آزمون انجام شود.

۸-۴-۶ پارامترهای مورد بررسی در حین آزمون

طی انجام آزمون PTT، موارد ذیل طبق معیار پذیرش پروژه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت:

- قابلیت سیستم مغناطیسی کننده پیگ در مغناطیس نمودن کامل دیواره لوله (برای پیگ‌های مغناطیسی) طبق آخرین ویرایش NACE REPORT 35100
- نتایج اندازه‌گیری موقعیت مکانی و ساعتی
- نتایج اندازه‌گیری طول بستر آزمون.
- نتایج شناسایی عیوب با کلاس‌های مختلف شامل روش خوشه بندی[1].
- نتایج اندازه‌گیری ابعاد هندسی طول، عرض، و عمق (مطابق جدول۹ به عنوان نمونه و مشخصات عملکرد توافقی در یک پروژه).

یادآوری۱- میزان حداقل عمق قابل شناسایی با قابلیت احتمال (POI) ۹۰٪ در مقایسه با نتایج دیگر روش‌های آزمون‌های غیر مخرب برابر تعیین می‌شود. رواداری روش‌های غیر مخرب به‌کار رفته باید مطابق دستورالعمل صحه سنجی مندرج در این استاندارد در نظر گرفته شود.

یادآوری۲- در خصوص پیگ‌های مغناطیسی با امکان شناسایی ترک (بر اساس مشخصات عملکردی پیگ)، لازم است عیوب مربوطه در بستر آزمون پیش‌بینی شود. به منظور بررسی قابلیت شناسایی انواع ترک (از جمله SCC) توسط پیگ هوشمند، ترجیحاً از عیوب طبیعی استفاده شود.

۸-۴-۷ نحوه ارزیابی نتایج داده‌برداری حین آزمون

پیاده‌سازی و تحلیل داده‌ها[1] با استفاده از نرم‌افزارها در محل انجام آزمون PTT صورت می‌گیرد تا نتایج زیر حاصل شود:

1- Clustring

- ارزیابی و بررسی میزان مطابقت نتایج آزمون با مشخصات فنی پیگ
- تبدیل داده‌ها به اطلاعات کاربردی برای بهره‌بردار مطابق مشخصات ذکر شده در اسناد پروژه و POF 2016.
- کنترل قابلیت و صحت عملکرد سنسورها و مسافت سنج و دوران سنج.
- ارایه مشخصات هندسی (طول، عرض، عمق) و مکانی عیوب و تحلیل قابلیت در سرویس بودن (FFS)[2] مطابق استانداردهای بین المللی از قبیل و نه محدود به موارد زیر:
- ASME B31G, DNV RP-F101, API 579, Rstreng
- بررسی عملکرد مجموعه مغناطیس‌کننده پیگ

۸-۴-۸ تحلیل نتایج

مجری عملیات بعد از اجرای آزمون، گزارش‌های عیوب ذکر شده مطابق مشخصات فنی ذکر شده در اسناد پروژه جهت انجام تطابق توسط تیم نظارت مورد تأیید کارفرما ارایه خواهد نمود. در عملیات، تطبیق مشخصات عیوب شناسایی شده و گزارش شده مطابق اسناد پروژه کارفرما مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرد.

یادآوری- دستیابی به نتایج قابل قبول در محدوده معیارهای پذیرش در این آزمون ملاک آمادگی پیگ‌های هوشمند برای ورود به شرایط عملیاتی است.

۸-۴-۹ تکرار عملیات PTT

عملیات PTT در صورت عدم دستیابی به نتایج قابل قبول در چارچوب شرایط پیمان و شرایط ذکر شده در این دستورالعمل، بنا به صلاح‌دید کافرما، مجدداً انجام خواهد گردید.

۸-۴-۱۰ آزمون فشار پذیری

قبل از پیگ‌رانی هوشمند در شرایط واقعی این تجهیزات باید در یک ارسال کننده پیگ با قطر حداقل دو اندازه بزرگتر از قطر پیگ هوشمند تحت آزمون، به‌مدت ۲۴ ساعت با سیال مورد نظر در فشار عملیاتی قرار گیرند و کنترل‌های لازم به‌منظور حصول اطمینان از صحت کارکرد و مقاومت پیگ در برابر اعمال فشار کاری خط لوله صورت گیرد. پس از طی موفقیت‌آمیز این مرحله، تجهیزات برای استفاده در شرایط عملیاتی مجاز است.

1- Data Extraction and Decoding
2- Fitness For Service

۸-۴-۱۰-۱ اتصال کامپیوتر به دستگاه پیگ هوشمند

با هدف مرور نرم‌افزار تنظیمات و نمایش‌گر داده جهت کسب اطمینان از صحت عملکرد سنسورها (پس از بیرون آوردن پیگ از ارسال کننده) صورت می‌گیرد.

۸-۴-۱۰-۲ بازکردن محفظه الکترونیک دستگاه

به‌منظور چک کردن نفوذ سیال به محفظه و اجزای مختلف پیگ جهت حصول اطمینان از کامل بودن اتصالات از قبیل پیچ و مهره‌ها و غیره (پس از بیرون آوردن پیگ از ارسال کننده).

۸-۴-۱۱ آزمون لرزش

آزمون لرزش به‌منظور حصول اطمینان از اتصالات الکترونیکی و کارکرد صحیح باطری انجام می‌شود.

۸-۴-۱۲ آزمون مقاومت اجزای پیگ در معرض محیط ترش (اسیدی)

در صورت فراهم شدن شرایط عملیاتی اجرای آزمون، پیشنهاد می‌شود قبل از پیگ‌رانی هوشمند، در شرایط واقعی، پیگ هوشمند باید در یک ارسال کننده یا گیرنده حاوی سیال ترش، به‌مدت ۲۴ h در فشار عملیاتی قرار گیرند. پس از این مرحله، پیگ هوشمند برای استفاده در شرایط عملیاتی مجاز است. رعایت تمامی ملاحظات ایمنی در خصوص این آزمون باید مطابق با دستورالعمل‌ها و ضوابط کارفرما صورت پذیرد. بیشینه میزان غلظت گاز H_2S پروژه/کارفرما مدنظر قرار گیرد.

بعد از بیرون آوردن پیگ از دریافت کننده[1] باید تمامی اجزاء و قسمت‌ها به‌منظور تعیین استحکام و کامل بودن اتصالات بررسی شود.

۸-۵ مراحل انجام PTT

قبل از آغاز مراحل آزمون، رویه آزمون باید به تایید کارفرما برسد.

یادآوری- سایز و ضخامت لوله باید مطابق با سایز و ضخامت خط لوله مد نظر جهت اجرای عملیات پیگ‌رانی هوشمند باشد.

۸-۵-۱ مرحله اول: آماده‌سازی و ایجاد عیوب

- نظارت و تأیید بر آماده‌سازی و ایجاد عیوب مختلف از طبقه‌های مورد تأیید کارفرما بر روی قطعات لوله و اخذ تاییدیه کامل و کافی بودن عیوب تیم نظارت مورد تأیید کارفرما مربوطه به همراه صورت‌جلسه تایید،
- پوشاندن عیوب به‌منظور عدم رویت آن‌ها.

1 -Receiver

نمونه از بانک عیوب مصنوعی ایجاد شده در جدول۹ درج شده است.

۸-۵-۲ مرحله دوم: آماده‌سازی بستر آزمون PTT

- آماده‌سازی بستر آزمون به گونه‌ای که انجام آزمون با سرعت m/s ۴ تا m/s ۵ مقدور باشد. در صورت وجود محدودیت در اجرای آزمون با سرعت مذکور، مطابق نظر کارفرما پیگ هوشمند در محدوده سرعت مندرج در مشخصات فنی پیگ هوشمند آزمون خواهد شد.
- بستر آزمون از لوله هایی که عیوب به‌صورت مصنوعی و دستی بر روی آن ایجاد شده است (به طول کلی حداقل m ۲۰) تشکیل شده است. چیدمان قطعه لوله‌ها با نظر تیم نظارت مورد تأیید کارفرما تعیین خواهد شد.
- پس از آماده‌سازی بستر آزمون، صورت جلسه تایید کارایی آن با حضور تیم نظارت مورد تأیید کارفرما تنظیم خواهد شد و مورد تایید قرار خواهد گرفت.

۸-۵-۳ مرحله سوم: استقرار پیگ‌های هوشمند در محل انجام آزمون

- استقرار پیگ هوشمند و انجام حداکثر ۳ آزمون با توجه به کیفیت سیگنال خروجی بنابر نظر مجری.

۸-۵-۴ مرحله چهارم: بررسی نتایج آزمون و گزارش‌دهی

- ارائه نمودار سرعت پیگ بلافاصله بعد از هریک از آزمون‌ها به تیم نظارت مورد تأیید کارفرما
- نمایش سیگنال‌های مربوط به مارکرهای تعبیه شده به تیم نظارت مورد تأیید کارفرما در آزمون‌های مختلف بعد از انجام هر آزمون
- برداشت اطلاعات و استخراج سیگنال‌های سنسورها در حضور تیم نظارت مورد تأیید کارفرما در آزمون‌های مختلف
- نمایش سیگنال‌های مربوط به برخی از عیوب تشخیص داده شده به انتخاب تیم نظارت مورد تأیید کارفرما در محل آزمون بلافاصله پس از استخراج سیگنال‌ها در آزمون‌های مختلف
- اجرای الگوریتم پردازش نرم‌افزاری و تفسیر اطلاعات و ارائه مشخصات مربوط به ٪ ۳۰ عیوب موجود بر قطعه لوله‌های آزمون به تشخیص تیم نظارت مورد تأیید کارفرما شامل طول، عرض، عمق، ساعت و موقعیت مکانی توسط تیم مجری در محل آزمون بلافاصله پس از استخراج سیگنال و داده‌ها بصورت تفکیک شده و ترکیبی (پیگ‌های MFL، TFI و EGP) در بازه زمانی کوتاهی با تشخیص کارفرما در محل قرنطینه انجام پذیرد.

- صحت سنجی عیوب صحه‌گذاری[1] گزارش شده توسط مجری و تکمیل فرم "بررسی مقدماتی نتایج" (نمونه فرم در پیوست الف ارائه شده است)توسط مجری و تیم نظارت مورد تأیید کارفرما ظرف h ۲۴ ساعت پس از انجام آزمون. تکمیل این فرم با اتکا به اطلاعات تیم سازنده عیوب صورت می‌گیرد و در این مرحله پوشش روی عیوب باز نمی‌شود.
- اتمام آزمون‌ها و قرنطینه تیم پردازش مجری تا زمان ارائه گزارش نهایی آزمون.
- ارائه گزارش نهایی آزمون توسط تیم پردازش مجری که در قرنطینه به‌سر می‌برد باید حداکثرظرف مدت ۳ روز انجام شود.
- شرایط قرنطینه

۱- عدم دسترسی به اینترنت

۲- حضور تمام وقت در محل پیش‌بینی شده

۳- عدم دسترسی به خط تلفن ثابت

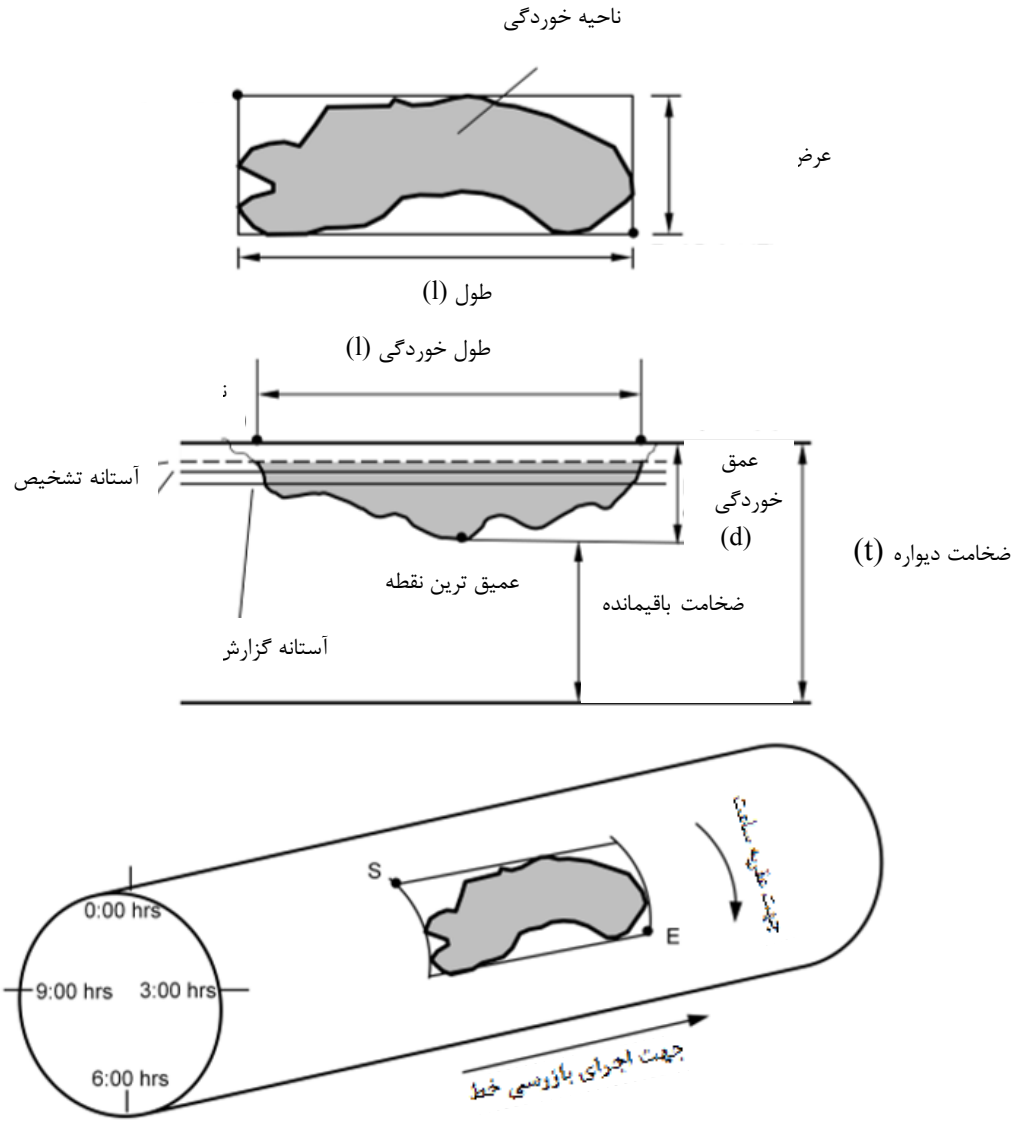
۴- عدم دسترسی به تلفن همراه هوشمند

۵- اعلام اسامی افراد مجاز جهت ورود به محل قرنطینه قبل از انجام آزمون

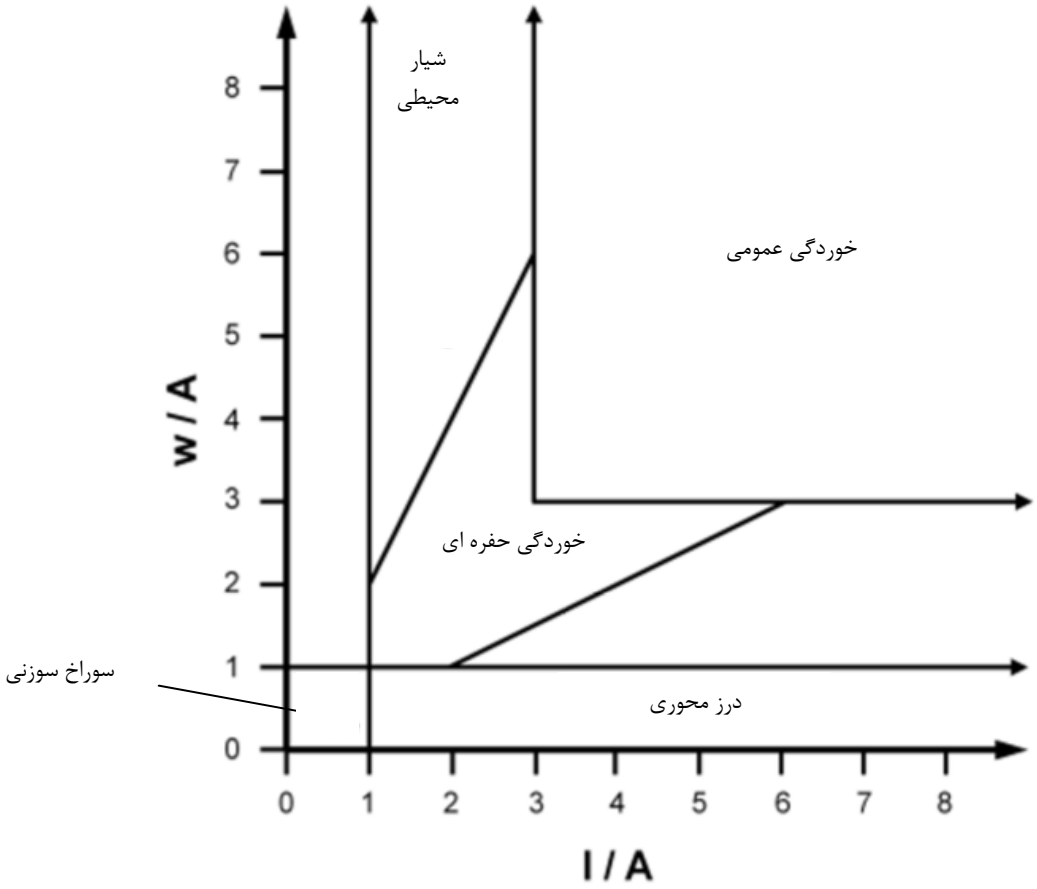
۶- عدم اجازه خروج در طول مدت قرنطینه برای تیم مجری

- گزارش نهایی باید شامل تمامی عیوب شناسایی شده به‌همراه همه مشخصات آن‌ها مطابق استاندارد POF 2016 باشد تا امکان ارزیابی و تطبیق نتایج وجود داشته باشد.
- لازم است مجری همه امکانات، ابزار و شرایط لازم برای انجام پردازش و تفسیر اطلاعات و ارائه گزارش نهایی را در محل قرنطینه فراهم سازد.
- در اولین روز کاری پس از ارائه گزارش نهایی توسط مجری، تیم نظارت، نمایندگان بهره‌بردار، بازرسی فنی، ناظر صنعتی و کارفرما در محل انجام آزمون حاضر شده و پس از برداشتن پوشش عیوب نسبت به اندازه‌گیری مشخصات عیوب اقدام می‌نمایند. نتایج عملیات تطبیق مطابق بند ۷ ارزیابی شده و پارامترهای مختلف شبیه به POD و POI برای آزمون مربوطه محاسبه می‌شوند.
- فرم تطبیق نهایی آزمون توسط تمامی نمایندگان مجری، تیم نظارت مورد تأیید کارفرما در محل انجام آزمون امضا، صورت جلسه شده و برای تصمیم‌گیری در مورد ادامه کار به کارفرما ارسال می‌شود.

1-Verification



شکل ۱- موقعیت و ابعاد عیوب



پارامتر هندسی A مرتبط با روشهای بازرسی غیر مخرب به شرح زیر است :

- اگر ضخامت(t) کمتر از ۱۰ mm باشد : A= ۱۰mm
- اگر ضخامت(t) بیش از ۱۰ mm باشد : A= t

شکل ۲- کلاسه طبقه بندی عیوب بر اساس ابعاد

پارامتر هندسی A مرتبط با روشهای بازرسی غیر مخرب به شرح زیر است :

- اگر ضخامت(t) کمتر از ۱۰ mm باشد : A= ۱۰mm
- اگر ضخامت(t) بیش از ۱۰ mm باشد : A= t

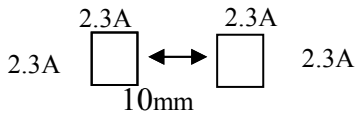
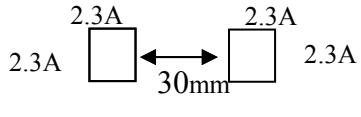
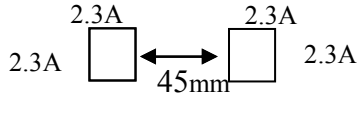
جدول ۹- نمونه‌ای از مشخصات عیوب مورد استفاده در آزمون نیمه عملیاتی

No.	L×W(mm^2)	Depth(%)
(مستطیل) حفره سوزنی : گروه ۱ *		
1	0.6×0.6 A^{2**}	10
2	0.6×0.6 A^2	20
3	0.6×0.6 A^2	30
4	0.6×0.6 A^2	40
5	0.6×0.6 A^2	50
6	0.6×0.6 A^2	60
7	0.6×0.6 A^2	70
8	0.6×0.6 A^2	80
(مستطیل) حفره :گروه ۲		
9	2.3×2.3A^2	10
10	2.3×2.3A^2	20
11	2.3×2.3A^2	30
12	2.3×2.3A^2	40
13	2.3×2.3A^2	50
14	2.3×2.3A^2	60
15	2.3×2.3A^2	70
16	2.3×2.3A^2	80
خوردگی عمومی: گروه ۳		
17	3.85×3.85 A^2	10
18	3.85×3.85 A^2	20
19	3.85×3.85 A^2	30
20	3.85×3.85 A^2	40
21	3.85×3.85 A^2	50
22	3.85×3.85 A^2	60
23	3.85×3.85 A^2	70
24	3.85×3.85 A^2	80
شکاف محوری :گروه ۴		
25	1.5×1 A^2	20
26	3.0×1 A^2	20
27	5.4×1 A^2	20
28	7.7×1 A^2	20
29	1.5×1 A^2	40
30	3.0×1 A^2	40
31	5.4×1 A^2	40
32	7.7×1 A^2	40
33	1.5×1 A^2	60
34	3.0×1 A^2	60
35	5.4×1 A^2	60
36	7.7×1 A^2	60
37	1.5×1 A^2	80
38	3.0×1 A^2	80
39	5.4×1 A^2	80

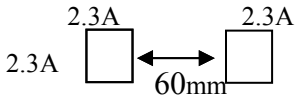
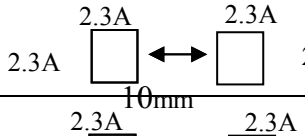
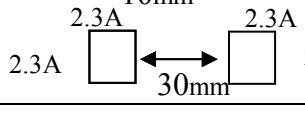
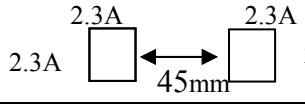
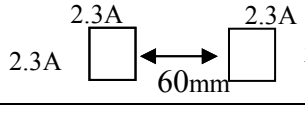
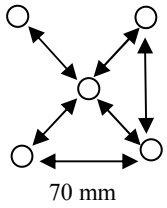
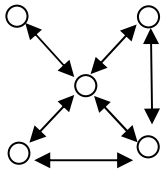
جدول ۹- نمونه‌ای از مشخصات عیوب مورد استفاده در آزمون نیمه عملیاتی (ادامه)

No.	L×W(mm2)	Depth(%)
40	7.7×1 A^2	80
شیار محیطی:گروه ۵		
41	1.5×1.5A^2	10
42	1.5×1.5A^2	20
43	1.5×1.5A^2	30
44	1.5×1.5A^2	40
45	1.5×1.5A^2	50
46	1.5×1.5A^2	60
47	1.5×1.5A^2	70
48	1.5×1.5A^2	80
49	1.5×3.0A^2	10
50	1.5×3.0A^2	20
51	1.5×3.0A^2	30
52	1.5×3.0A^2	40
53	1.5×3.0A^2	50
54	1.5×3.0A^2	60
55	1.5×3.0A^2	70
56	1.5×3.0A^2	80
57	1.5×5.4A^2	10
58	1.5×5.4A^2	20
59	1.5×5.4A^2	30
60	1.5×5.4A^2	40
61	1.5×5.4A^2	50
62	1.5×5.4A^2	60
63	1.5×5.4A^2	70
64	1.5×5.4A^2	80
65	1.5×7.7A^2	10
66	1.5×7.7A^2	20
67	1.5×7.7A^2	30
68	1.5×7.7A^2	40
69	1.5×7.7A^2	50
70	1.5×7.7A^2	60
71	1.5×7.7A^2	70
72	1.5×7.7A^2	80
شیار محوری :گروه ۶		
73	3.8×1.5 A^2	20
74	3.8×1.5 A^2	40
75	3.8×1.5 A^2	60
76	3.8×1.5 A^2	80
77	1.5×3.5 A^2	20
78	1.5×3.5 A^2	40
79	1.5×3.5 A^2	60

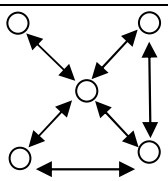
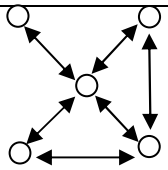
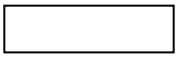
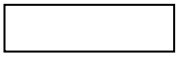
جدول ۹- نمونه‌ای از مشخصات عیوب مورد استفاده در آزمون نیمه عملیاتی (ادامه)

No.	L×W(mm^2)	Depth(%)
81	4.6×4.6 A^2	20
82	4.6×4.6 A^2	40
83	4.6×4.6 A^2	60
84	4.6×4.6 A^2	80
حساسیت طولی ۱:گروه ۷		
85	1.2×0.77 A^2	30
86	2.3×0.77 A^2	30
87	3.5×0.77 A^2	30
88	4.6×0.77 A^2	30
89	5.7×0.77 A^2	30
90	6.9×0.77 A^2	30
حساسیت طولی ۲:گروه ۸		
91	1.2×1.5 A^2	30
92	2.3×1.5 A^2	30
93	3.5×1.5 A^2	30
94	4.6×1.5 A^2	30
95	5.7×1.5 A^2	30
96	6.9×1.5 A^2	30
حساسیت عرضی ۱ :گروه ۹		
97	1.5×1.1 A^2	30
98	1.5×2.3 A^2	30
99	1.5×3.5 A^2	30
100	1.5×4.6 A^2	30
101	1.5×5.7 A^2	30
102	1.5×6.9 A^2	30
الگوی خوشه عیوب ۱ :گروه ۱۰		
103		40
104		40
105		40

جدول ۹- نمونه‌ای از مشخصات عیوب مورد استفاده در آزمون نیمه عملیاتی (ادامه)

No.	L×W(mm^2)	Depth(%)
106		40
الگوی خوشه عیوب ۲ :گروه ۱۱		
107		40
108		40
109		40
110		40
111	 دایره 5 قطر : 2.3A فاصله افقي =70 mm **فاصله عمودي=70 mm**	20
112	 دایره 5 قطر: 2.3A فاصله افقي =86.4 mm فاصله عمودي=70 mm	20

جدول ۹- نمونه‌ای از مشخصات عیوب مورد استفاده در آزمون نیمه عملیاتی (ادامه)

No.	L×W(mm^2)	Depth(%)
113	 دایره 5 قطر: 2.3A فاصله افقي=70 mm **فاصـــله عمـــودي=86.4**	30
114	 دایره 5 قطر: 2.3A فاصله افقي=86.4 mm **فاصـــله عمـــودي=86.4**	30
Category 12: Cluster Pattern 4		
115	**1.5A**  **11.5A**	30
116	**1.5A**  **11.5A**	40
117	1.5×7.7 A^2	30
118	1.5×7.7 A^2	40
119	1.5×7.7 A^2	30

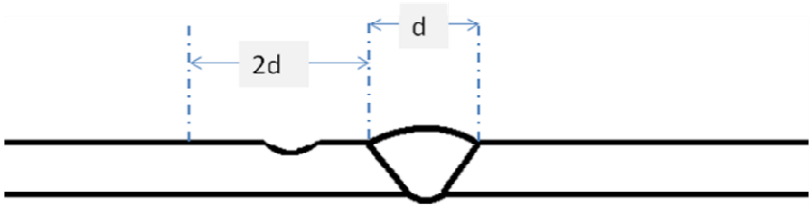
* براي حفره سوزني, If A<10 mm, A=10mm
** ضخامت لوله= A

** طبق تعریف شکل۲

یادآوری- جز عیوب شماره ۱ تا ۸، ماشین‌کاری حفرات با شیب ۱۵ درجه از خط عمود بر سطح لوله باشد به نحوی‌که در روی سطح لوله به ابعاد ذکر شده در نقشه برسیم.

علاوه بر لیست فهرست عیوب، چیدمان عیوب حائز اهمیت است. عیوبی که در همسایگی هم قرار دارند باعث تغییر میدان MFL می‌شوند که تفسیر و شناسایی عیوب را با مشکل و پیچیدگی همراه خواهد کرد لذا علاوه بر جدول لیست عیوب جدولی از چیدمان عیوب نیز باید ارائه شود.

همچنین امکان بروز مشکل در تشخیص عیوب در همسایگی سرجوش به دلایل متعدد امکان وجود دارد با توجه به اهمیت این قسمت از خطوط به دلیل عملیات جوشکاری، پوشش متفاوت سرجوش، وجود منطقه تحت تاثیر حرارت[1] و امکان بروز خوردگی در این قسمت لازم است تا توانمندی تجیهزات تجهیزات پیگ‌رانی هوشمند در تشخیص عیوب در این قسمت از خطوط لوله به صورت خاص مورد ارزیابی قرار گیرد لذا تعدادی از عیوب مصنوعی در همسایگی سرجوش برای مثال با فاصله دو برابر عرض گُرده جوش (d) ایجاد شود (شکل ۳) تا در آزمون نیمه عملیاتی(PTT) مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳- نمای محل عیب در همسایگی سرجوش

۹ الزامات اجرا تصدیق و صحه گذاری میدانی نتایج پیگ هوشمند

۹-۱ مقدمه

استفاده از نتایج پیگ‌رانی هوشمند مستلزم اطمینان از صحت و بررسی میزان دقت آن بوده و لذا فرایندی که در اندازه‌گیری میدانی بدین منظور طی می‌شود، حائز اهمیت است. تصدیق میدانی نشانه‌های[2] گزارش شده توسط پیگ هوشمند از دو جنبه دارای اهمیت خواهد بود:

- نشانه‌های گزارش شده شرایط خط لوله را به بهره‌بردار نشان داده و در انجام اقداماتی آتی یاری رسان راهنما خواهد بود.

- عملکرد ابزار برای استفاده در خطوط دیگر که در آن صحت‌سنجی تصدیق میدانی به‌طور کامل امکان پذیر نیست، مشخص می‌شود.

به‌علاوه اکثر ارائه‌دهندگان خدمات پیگ‌رانی جهت اطمینان از عملکرد ابزار خود به اطلاعات میدانی با کیفیت خوب برای طیف وسیعی از انواع نشانه‌ها، نیاز دارند.

1- Heat Affected Zone (HAZ)
2 - Futures

بدین منظور برای دستیابی به هماهنگی در جمع‌آوری داده‌ها لازم است مراجع انجام کار به شرح زیر مد نظر قرار گیرد.

- API STD 1163, In-line Inspection Systems Qualification
- POF, Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines
- POF, Guidance on Field Verification Procedures for In-Line-Inspection

در این بند پیشنهادات جهت انتخاب نقاط جهت تصدیق صحه‌گذاری نتایج، الزامات نجی و تصدیق عملیات اجرای پیگ‌رانی هوشمند به منظور اطمینان از صحت اجرای پیگ‌رانی هوشمند و همچنین الزامات تصدیق نتایج پیگ‌رانی هوشمند به‌منظور بررسی میزان تطابق آن با مشخصات فنی پیگ هوشمند توضیح داده شده است.

۹-۲ معیارهای انتخاب موقعیت عیوب جهت بازرسی مستقیم به منظور تصدیق نتایج پیگ هوشمند

جهت انتخاب موقعیت‌ها جهت بازرسی مستقیم به‌منظور تصدیق نتایج پیگ هوشمند، پیشنهاد می‌شود موارد زیر در نظر گرفته شود:

۱- انتخاب عیوب دارای اولویت بالا از جمله ترک

۲- انتخاب از عیوب جوش گزارش شده

۳- انتخاب عیوب در نواحی با پیش‌بینی دقت کمتر از جمله نزدیک سرجوش‌های محیطی و نواحی بدون حسگر[1]

۴- انتخاب عیوب از محل‌های تجمع خوردگی[2]

۵- انتخاب نقاط از کل طول خط لوله (هم از ابتدا هم وسط و هم در انتهای خط)

۶- توزیعی از خوردگی‌ها با ابعاد و عمق کم، متوسط و زیاد انتخاب شود.

۷- عمق خوردگی‌هایی که بیشترین تکرار را دارند نیز در چند نقطه مورد بررسی قرار داده شوند.

۸- بخشی از خط لوله که در گزارش پیگ هوشمند، برای آن عیبی گزارش نشده است ولی بر اساس نظر بهره‌بردار بر اساس سوابق تعمیرات، سوابق حفاظت کاتدی، نوع پوشش و غیر، مستعد عیب تشخیص داده شده، نقاطی انتخاب و مورد بررسی قرار گیرد.

1 - Sensorloss
2- Clustering

۹- در صورتی‌که سوابق پیگ‌رانی قبلی وجود دارد برای بررسی گزارش بازرسی جدید مورد استفاده قرار داده شود.

۹-۳ تصدیق عملیات اجرا[1]

این بخش، الزامات جهت تصدیق عملیات اجرای پیگ‌رانی هوشمند به‌منظور دستیابی به مشخصات فنی[2] پیگ هوشمند را در برمی‌گیرد. بدین منظور در چهار مرحله الزامات به‌شرح زیر باید مورد بررسی قرار گیرد:

- الزامات پروژه
- الزامات قبل از شروع بازرسی
- الزامات حین بازرسی
- الزامات بعد از بازرسی

۹-۳-۱ الزامات پروژه

هدف از این بخش اطمینان از مطابقت مشخصات فنی پیگ هوشمند با شرایط عملیاتی خط لوله و همچنین اطمینان از مناسب بودن نوع پیگ هوشمند جهت عیوب محتمل بر روی خط لوله می‌باشد. لذا موارد زیر قبل از اجرای پروژه باید مدنظر قرار گیرد:

- انتخاب مناسب نوع پیگ هوشمند طبق الزامات استاندارد NACE SP/0102 با توجه به مشخصات خط لوله و عیوب احتمالی
- بررسی شرایط عملیاتی و مشخصات خط لوله به‌منظور بررسی تطابق با پرسشنامه خط لوله[3]
- برنامه‌ریزی جهت کاهش احتمال خسارت خط لوله و پیگ هوشمند
- تأیید نهایی شرکت پیگ‌ران مبنی بر تطابق پیگ هوشمند با مشخصات فنی تأیید شده و در دسترس بودن گروه اجرایی تأیید صلاحیت شده طبق الزامات ASNT ILI-PQ جهت پشتیبانی از عملیات اجرایی پیگ‌رانی هوشمند

۹-۳-۲ الزامات قبل از بازرسی

این بخش شامل الزاماتی است که قبل از ارسال پیگ هوشمند به داخل خط لوله باید مورد بررسی قرار گیرد.

1- operational verification
2- Performance specification
3 - Pipeline Questionnaire

۹-۳-۲-۱ آزمون‌های کارکردی

ارائه‌دهنده خدمات پیگ‌رانی هوشمند باید مراحل لازم به منظور آماده‌سازی پیگ هوشمند و اطمینان از کارکرد صحیح آن، قبل از رانش پیگ هوشمند را تعریف و مستند نماید. این مراحل که به‌منظور اطمینان از کارکرد صحیح پیگ هوشمند هستند شامل و نه محدود به موارد زیر می‌باشند:

- تأیید کارکرد صحیح منبع تغذیه
- تأیید کارکرد صحیح سنسورها، مسافت سنج‌ها و سایر سیستم‌های مکانیکی
- بررسی کارکرد محل ذخیره اطلاعات
- تأیید راه‌اندازی صحیح تمامی اجزای پیگ هوشمند
- تأیید کارکرد صحیح سیستم کنترل سرعت (در صورت وجود سیستم کنترل سرعت)

۹-۳-۲-۲ کنترل های مکانیکی

قبل از رانش، پیگ هوشمند باید به‌صورت چشمی جهت اطمینان از سلامت مکانیکی آن و همچنین قسمت-های الکترونیکی نیز از نظر آب‌بندی کنترل شود.

۹-۳-۲-۳ مارکرهای[1] فلزی و مغناطیسی

قبل از اجرای عملیات پیگ‌رانی هوشمند، باید موقعیت مارکرهای فلزی و مغناطیسی که به عنوان مرجع استفاده می‌شوند، ثبت شود.

۹-۳-۳ الزامات حین بازرسی

این بخش شامل الزامات از زمان قرار دادن پیگ هوشمند در محفظه ارسال تا زمان دریافت آن از محفظه دریافت می‌باشد.

۹-۳-۳-۱ الزامات قرار دادن پیگ در داخل ارسال کننده

جابجایی و قرار دادن پیگ هوشمند در داخل ارسال کننده و همچنین ارسال پیگ باید مطابق رویه ارائه شده توسط پیگ‌ران انجام و بر حسن اجرای آن نظارت شود.

1-Marker

۹-۳-۳-۲ رانش پیگ

در زمانی‌که پیگ در داخل ارسال کننده، طول خط لوله و داخل گیرنده می‌اشد، شرایط عملیاتی خط لوله باید کنترل و پایش شود. حداکثر تلاش در جهت ایجاد نمودن شرایط عملیاتی به منظور تطابق با مشخصات فنی پیگ هوشمند باید صورت پذیرد. هرگونه تغییر در شرایط عملیاتی خط لوله نسبت به شرایط عملیاتی مورد نیاز جهت رانش پیگ هوشمند باید شناسایی و ثبت شود.

۹-۳-۳-۳ مارکرهای روزمینی[1]

در زمان رانش پیگ هوشمند، مارکرهای روزمینی باید تا حد امکان نزدیک محل‌های مرجع از قبل برنامه‌ریزی شده قرار داده شود. محل‌های دقیق هر AGM باید اندازه‌گیری و ثبت شود.

۹-۳-۳-۴ الزامات دریافت پیگ هوشمند

جابجایی و بیرون کشیدن پیگ هوشمند از داخل گیرنده باید مطابق رویه ارائه شده توسط پیگ‌ران انجام و بر حسن اجرای آن نظارت شود.

۹-۳-۴ الزامات پس از بازرسی

این الزامات شامل فعالیت‌هایی است که در سایت و بعد از اتمام بازرسی و خارج نمودن پیگ هوشمند از محفظه دریافت انجام می‌شود. هدف از انجام این فعالیت‌ها، اطمینان از عملکرد صحیح پیگ هوشمند است. در پیوست الف، نمونه فرم جهت گزارش صحت‌سنجی میدانی پیگ‌های هندسی و هوشمند مغناطیسی ارائه شده است.

۹-۳-۴-۱ آزمون‌های کارکردی

تأمین‌کننده خدمات پیگ‌رانی هوشمند باید فاکتورهای مورد نیاز به‌منظور بررسی کارکرد صحیح پیگ هوشمند پس از دریافت پیگ را ثبت نماید. این مراحل شامل و نه محدود به موارد زیر هستند:

- بازرسی چشمی جهت بررسی میزان تمیزی پیگ،
- تأیید کارکرد صحیح منبع تغذیه،
- تأیید کارکرد صحیح سنسورها، مسافت سنج‌ها و سایر سیستم‌های مکانیکی،
- تأیید ذخیره مناسب اطلاعات،

1- Above Ground Marker (AGM)

- بازرسی تجهیز جهت بررسی میزان سایش و خسارات احتمالی.

مستندات این بازرسی های کارکرد باید در صورت درخواست، در اختیار کارفرما قرار داده شود. همچنین هرگونه انحراف در نتایج بازرسی‌های عملکردی نسبت به مشخصات فنی پیگ هوشمند باید ثبت و اثرات آن در عملکرد پیگ در گزارش بازرسی قید شود.

۹-۳-۴-۲ کنترل داده‌ها

تأمین‌کننده خدمات پیگ‌رانی هوشمند باید مراحل مورد نیاز جهت کنترل کیفیت و کمیت اطلاعات جمع-آوری شده توسط پیگ هوشمند را تهیه و مستند نماید. این مراحل شامل تأیید پیوستگی و کامل بودن اطلاعات جمع‌آوری شده و تأیید کیفیت مناسب اطلاعات جمع‌آوری شده می‌باشد.

کنترل داده‌ها بر اساس بررسی داده‌های اندازه‌گیری مستقیم، تکمیل بودن داده‌ها و کیفیت داده‌ها صورت می‌گیرد. داده‌های اندازه‌گیری مستقیم که شامل اطلاعات سرعت پیگ، دما و فشار عملیاتی و داده‌های مرتبط با تکنولوژی پیگ هوشمند مورد استفاده می‌باشند عموماً جهت بررسی کلی در خصوص عملکرد پیگ هوشمند مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال با توجه به نوع تکنولوژی مورد استفاده، اطلاعاتی که جهت کنترل داده‌های اندازه‌گیری در این مرحله باید کنترل شوند شامل و نه محدود به موارد زیر است:

-EGP (سرعت، دما، قطر داخلی میانگین)،

- پیگ هوشمند مغناطیسی (سرعت، دما، شدت میدان مغناطیسی اعمال شده)،

- پیگ آلتراسونیک (سرعت پیگ، چرخش پیگ، چگالی کوپلنت، میزان تمیزی کوپلنت (جامدات معلق).

۹-۴ روش‌های صحه گذاری نتایج حاصل از پیگ‌رانی هوشمند خطوط لوله

استفاده از نتایج پیگ‌رانی هوشمند مستلزم صحه گذاری نتایج پیگ‌رانی هوشمند است. در اینجا منظور از صحه گذاری بررسی میزان تطابق نتایج اطلاعات بدست آمده از پیگ‌رانی هوشمند با مشخصات فنی پیگ هوشمند است. در این بخش هم چنین روش‌های صحه گذاری گزارشات پیگ هوشمند که به منظور سنجش میزان تطابق آن با مشخصات فنی پیگ هوشمند یا تهیه مشخصات کارایی جدید[1] پیگ هوشمند استفاده می-شوند، تشریح می‌شود.

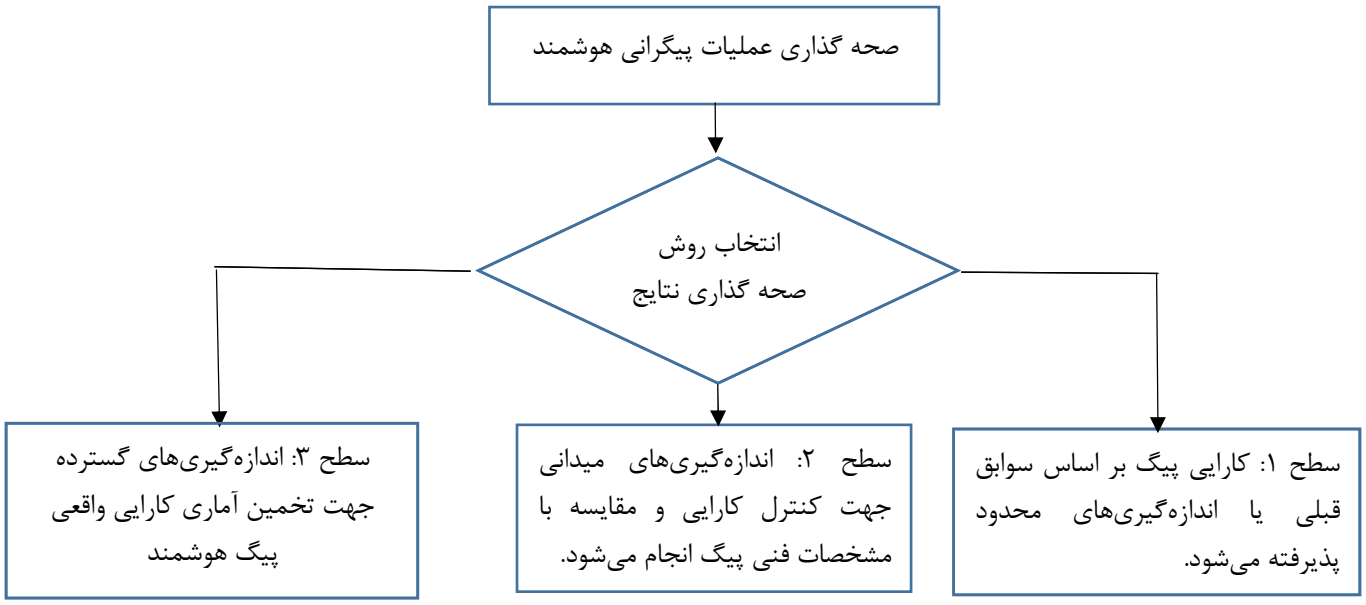
در شکل۴، سه سطح ارزیابی نتایج پیگ هوشمند بر اساس الزامات استاندارد نشان داده شده است.

در انتخاب سطح مناسب جهت صحه گذاری نتایج پیگ هوشمند فاکتورهایی که شامل و نه محدود به موارد زیر هستند، باید مورد توجه قرار گیرد:

1- As run specification

- تجربه قبلی از شرایط کارکرد و عیوب خط لوله (خطوط لوله در یک محدوده عملیاتی، بر اساس شرایط عملیاتی و مشخصات خط لوله)
- نتایج ارزیابی ریسک خط لوله
- اندازه و شدت خوردگی‌های گزارش شده
- مستعد بودن خط لوله به عیوب خاص

در پیوست ب فرایند صحت گذاری و تصدیق نتایج پیگ‌رانی هوشمند به عنوان راهنما آورده شده است.



شکل ۴ - سطوح صحه گذاری نتایج پیگ هوشمند

۹-۴-۱ صحه گذاری سطح ۱ نتایج پیگ‌رانی هوشمند

این سطح از صحه گذاری صرفا جهت خطوط لوله با عیوبی که نشان‌دهنده سطح پایین ریسک (با در نظر گرفتن احتمال خطا و پیامد آن) می‌باشند،کاربری دارد. در این روش، تصدیق نتایج پیگ هوشمند بر اساس مقایسه بین نتایج پیگ‌رانی هوشمند قبلی روی همان خط لوله و یا خطوط لوله مشابه بررسی شده و ارزیابی میدانی یا انجام نمی‌شود و در صورت انجام به مقدار بسیار کم محدود می‌شود.

به عبارت دیگر مبنای اصلی در این سطح از ارزیابی کنترل فرآیند انجام کار می‌باشد. این کنترل فرآیند شامل چک لیست ۱۰ مرحله‌ای که شامل کنترل تمامی مراحل در فرآیند اجرای کار می‌باشد. این مراحل در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول۱۰- مراحل ارزیابی در سطح ۱ صحه گذاری نتایج پیگ هوشمند

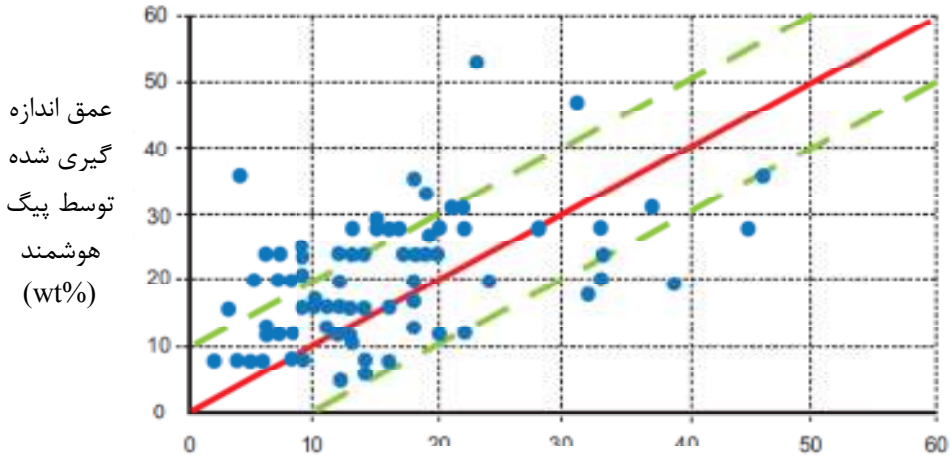
ردیف	پارامتر ارزیابی	توضیح
۱	انتخاب صحیح نوع پیگ هوشمند	اطمینان از انتخاب صحیح ابزار و تکنولوژی بازرسی به منظور تشخیص و ارزیابی عیوب خاصی که به دنبال آن می‌باشیم.
۲	سوابق قبلی تأمین کننده پیگ هوشمند	اطمینان از اینکه تامین‌کننده پیگ هوشمند سوابق بازرسی موفق با این ابزار و تکنولوژی خاص را دارد.
۳	برنامه ریزی و آماده سازی	اطمینان از اینکه موارد لازم قبل از رانش پیگ توسط بهره بردار و پیگ‌ران برنامه ریزی و برررسی شده و موانع مرتفع شده است. همچنین اطمینان از اینکه موارد آماده‌سازی لازم از جمله تمیزکاری خط لوله انجام شده است.
۴	کنترل عملکردی قبل از رانش پیگ	اطمینان از اینکه تمامی کنترل‌های عملکردی لازم (از جمله کنترل منبع تغذیه، کالیبراسیون سنسورها و ...) انجام شده است.
۵	کنترل مکانیکی قبل از رانش	اطمینان از اینکه تمامی کنترل‌های مکانیکی قبل از رانش (از جمله بازرسی‌های چشمی، سالم بودن کاپ‌ها، آب‌بند بودن قطعات الکترونیکی و ....) انجام شده است.
۶	اجرای عملیات	اطمینان اجرای عملیات پیگ‌رانی طبق شرایط اعلام شده قبلی و مطابق برنامه اجرایی انجام شده است (از جمله کنترل آنالیز سیال، دما، فشار، سرعت پیگرانی و ...)
۷	کنترل عملکردی پیگ هوشمند بعد از رانش	اطمینان از اینکه کنترل عملکردی پیگ هوشمند بعد از رانش طبق برنامه و به صورت کامل انجام شده است (از جمله کنترل سنسورها، منبع تغذیه، ذخیره کامل اطلاعات و ...)
۸	کنترل مکانیکی بعد از رانش	اطمینان از اینکه تمامی کنترل‌های مکانیکی بعد از رانش (از جمله بازرسی های چشمی، سالم بودن کاپ‌ها، آب‌بند بودن قطعات الکترونیکی و ....) انجام شده است.
۹	کنترل اطلاعات جمع‌آوری شده	اطمینان از کامل بودن اطلاعات جمع‌آوری شده در زمان پیگ‌رانی هوشمند (مقدار اطلاعات جمع‌آوری شده، پیوستگی طولی و محیطی اطلاعات، مستندسازی نواحی که در اثر، سرعت نامناسب پیگ هوشمند، سطح مغناطیسی نامناسب، تمیزی نامناسب خط لوله، عدم تماس سنسورها با سطح داخلی لوله و .... داده مناسب جمع‌آوری نشده است.)
۱۰	کنترل آنالیز داده‌ها	اطمینان از آنالیز نتایج بازرسی طبق برنامه و انتظارات بهره‌بردار (از جمله در نظر گرفتن استانداردها و کدهای لازم) جهت تهیه گزارش

در این سطح از صحه گذاری مشخصات فنی پیگ هوشمند (که توسط شرکت پیگ‌ران اعلام شده است) مورد قبول قرار می‌گیرد لیکن به اثبات نمی‌رسد. بنابراین در این سطح از صحه گذاری نمی توان اعتبار نتایج پیگ-رانی را رد نمود و جهت این‌کار به صحه گذاری سطح ۲ و ۳ نیاز داریم.

۹-۴-۲ صحه گذاری سطح ۲ نتایج پیگ هوشمند

در این روش با انجام بازرسی میدانی امکان بررسی کارایی پیگ فراهم می‌شود. گرچه در این سطح از ارزیابی نمی‌توان با قطعیت اعلام نمود که کارایی واقعی پیگ هوشمند در محدوده مشخصات عملکردی[1] آن می‌باشد، لیکن می‌توان با اطمینان اعلام نمود که کارایی واقعی پیگ هوشمند کمتر از مشخصات فنی آن بوده و لذا نتایج پیگ‌رانی قابل پذیرش نمی‌باشد. در این سطح از ارزیابی نمی‌توان عملکرد واقعی پیگ هوشمند[2] را تعیین کرد.

در این روش گراف‌های واحد[3] به عنوان یک روش ظاهری ساده برای صحت‌سنجی نتایج پیگ هوشمند مورد استفاده قرار گرفته و دقت اندازه‌گیری یک عیب از مقایسه ابعاد عیب گزارش شده توسط پیگ هوشمند و نتایج بازرسی مستقیم برای یک نوع عیب خاص حاصل می‌شود (به شکل ۵ مراجعه شود).



شکل ۵- نمونه نمودارهای واحد جهت مقایسه نتایج پیگ هوشمند با نتایج اندازه گیری مستقیم

هدف استفاده از نمودارهای واحد، اندازه‌گیری کیفی کارایی پیگ هوشمند می‌باشد. در این نمودارها که بیانگر مقایسه یک به یک بین نتایج پیگ هوشمند و نتایج اندازه‌گیری مستقیم می‌باشند، نتایج اندازه‌گیری مستقیم بر روی محور افقی و نتایج پیگ هوشمند بر روی محور عمودی ترسیم می‌شود. در نمودار فوق خط ممتد بیانگر تطابق کامل و خطوط مقطع بیانگر سطح اطمینان[4] می‌باشد. در این روش توصیه می‌شود که تجهیزات اندازه‌گیری مورد استفاده جهت اندازه‌گیری مستقیم خطایی سه مرتبه کمتر از پیگ هوشمند داشته باشند در

1-Performance specification
2- Actual tool performance
3 -Unity Graphs
4- Confidence Level

غیر اینصورت از این روش نمی‌توان استفاده کرد و باید از سطح ۳ صحه گذاری نتایج پیگ هوشمند استفاده کرد. این نمودارها را می‌توان جهت هر بعد خاص (عمق، طول و...) از یک نوع عیب مشخص (خوردگی سوزنی، خوردگی یکنواخت و غیره) به‌صورت مجزا ترسیم نمود.

۹-۴-۳ صحه گذاری سطح ۳ نتایج پیگ هوشمند

در این سطح اندازه‌گیری صحت‌سنجی گسترده و بررسی‌های آماری به‌منظور تعیین عملکرد واقعی[1] انجام می‌شود و نیاز به فهم آماری دقیق دارد.

در مشخصات فنی رایج جهت پیگ هوشمند، خطای اندازه‌گیری بر حسب رواداری که معرف خطای اندازه گیری و قطعیتی که معرف احتمال اینکه مقادیر خطای اندازه‌گیری در محدوده تلرانس ذکر شده باشد، عنوان می شود. به عنوان مثال، به‌صورت رایج خطای اندازه‌گیری عمق خوردگی در روش استفاده از پیگ MFL ، ۱۰٪ ضخامت لوله برای ۸۰٪ عیوب گزارش شده می‌باشد. به عبارت دیگر ٪ ۱۰± ضخامت، معرف رواداری اندازه‌گیری است و ۸۰٪ معرف احتمال اینکه عیوب گزارش شده دارای رواداری ضخامت ۱۰٪ باشند، است.

در اینجا قطعیت[2] بر اساس درصدی از عیوب گزارش شده که خطای اندازه‌گیری آن‌ها در محدوده رواداری ذکر شده در مشخصات فنی پیگ هوشمند قرار دارد، بیان می‌شود. این قطعیت، می‌تواند با استناد به نتایج اندازه-گیری میدانی و با استفاده از روش‌های آماری بدست آید.

در این بخش ابتدا روش کمی کردن و تفسیر خطای اندازه‌گیری برای اندازه‌گیری هر عیب به‌صورت مجزا تشریح می‌شود. در ادامه روش ارزیابی قطعیت اندازه‌گیری پیگ هوشمند ارائه می‌شود.

۹-۴-۴ محاسبه و تفسیر خطای اندازه‌گیری

در این سطح از صحه گذاری، به‌منظور صحت‌سنجی نتایج پیگ هوشمند، مقادیر گزارش شده توسط پیگ هوشمند با مقادیر بازرسی میدانی مقایسه می‌شود. برای یک عیب مشخص، اختلاف بین نتایج پیگ هوشمند و نتایج میدانی به‌صورت زیر عنوان می‌شود:

که در این حالت انحراف استاندارد از رابطه زیر بدست می‌آید:

که در آن:

1 -Actual Performance
2 Certainity

σ_{ILI} انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری پیگ هوشمند

σ_{Field} انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری بازرسی میدانی

به دلیل اینکه اختلاف اندازه (e) معرف خطای اندازه‌گیر پیگ هوشمند و اندازه‌گیری میدانی می‌باشد، انتساب آن صرفاً به پیگ هوشمند، باعث عدم تشخیص عملکرد صحیح پیگ هوشمند می‌شود. به عبارت دیگر، مقدار خطای اندازه‌گیری باید با خطای اندازه‌گیر کلی که معرف خطای اندازه‌گیری پیگ هوشمند و بازرسی مستقیم است، مقایسه شود.

عمق نسبی خوردگی با استفاده از ضخامت سنج فراصوت از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

که در آن:

t ضخامت دیواره لوله

d عمق خوردگی

t_r ضخامت باقی مانده

$(\frac{d}{t})$ کسر خوردگی

در رابطه فوق مقدار انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری درصد خوردگی $(\frac{d}{t})$ از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$\sigma_{(\frac{d}{t})_{FIELD.UT}} = \frac{1}{t}\sqrt{\left(\frac{t_r}{t}\right)^2 (\sigma_t)^2 + (\sigma_{t_r})^2}$$

که در آن:

σ_t انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری ضخامت جداره لوله

σ_{t_r} انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری عمق خوردگی

اگر از سایر ابزارهای اندازه‌گیری عمق خوردگی (شامل عمق سنج، میکرومتر عمق و یا لیزر اسکن) جهت اندازه‌گیری مستقیم عمق خوردگی استفاده شود در حالی که ضخامت دیواره با روش اولتراسونیک به‌دست آید، فرمول‌های زیر حاکم است:

در رابطه فوق انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری از فرمول زیر بدست می آید:

$$\sigma_{(\frac{d}{t})_{FIELD.AD}} = \frac{1}{t}\sqrt{\left(\frac{t_r}{t}\right)^2 (\sigma_t)^2 + (\sigma_d)^2}$$

که در آن:

σ_d انحراف استاندارد خطای اندازه‌گیری عمق

اختلاف بین عمق نسبی اندازه‌گیری شده توسط پیگ و اندازه‌گیری مستقیم از فرمول زیر حاصل می‌شود:

به دلیل اینکه مشخصات فنی پیگ هوشمند بر اساس سطح اطمینان[1] مشخص گزارش می‌شود، رواداری ترکیبی δe_{comb} که معرف عدم قطعیت اندازه‌گیری پیگ هوشمند و عدم قطعیت پیش فرض و یا محاسبه شده اندازه‌گیری مستقیم است، محاسبه می‌شود:

که در آن:

$\delta\left(d/t\right)_{ILI}$ رواداری اندازه‌گیری عمق نسبی توسط پیگ هوشمند

$\delta\left(d/t\right)_{FIELD}$ رواداری اندازه‌گیری عمق نسبی در بازرسی میدانی در سطح اطمینان مشخص شده توسط پیگ هوشمند

به عنوان مثال در سطح اطمینان ۸۰٪، δe_{com} از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

1-Confidence level

که در آن:

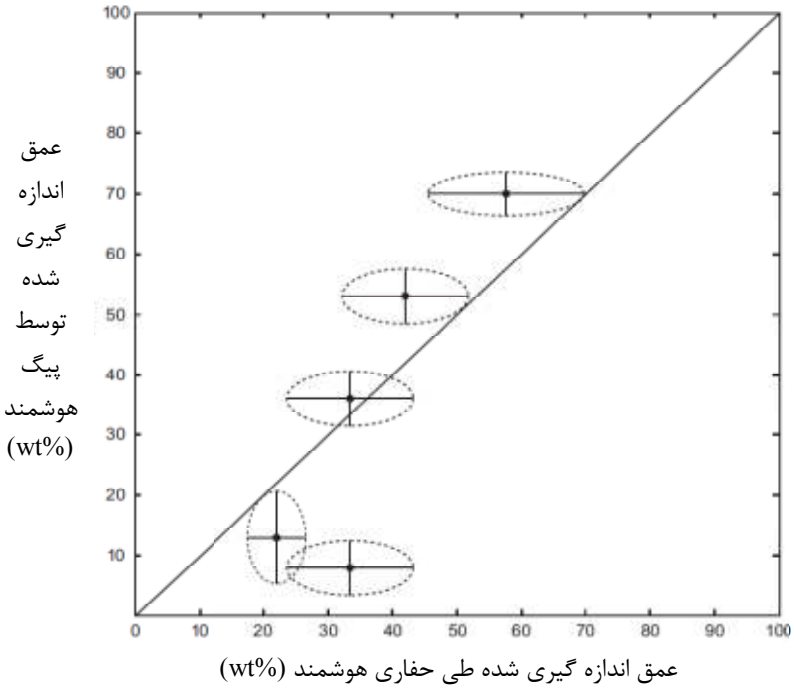
$\sigma_{(\frac{d}{t})FIELD}$ معرف انحراف استاندارد اندازه گیری عمق نسبی در اندازه‌گیری میدانی می‌باشد.

با استفاده از روابط فوق در صورتیکه رابطه $|e| > \delta e_{com}$ صادق باشد، نتایج پیگ هوشمند خارج از رواداری و در غیر این صورت در محدوده رواداری دستگاه است.

در جدول ۱۰، نمونه‌ای از مقایسه نتایج اندازه‌گیری مستقیم عیوب و نتایج پیگ هوشمند آورده شده است. همچنین شکل ۳ نشانگر رسم نمودار واحد از داده‌ای مندرج در جدول ۱۱ است و به‌صورت گرافیکی رواداری-های اندازه‌گیری میدانی و اندازه گیری پیگ هوشمند را نشان می‌دهد. جهت تفسیر نمودار شکل ۶ برای هر اندازه‌گیری، درصورتی‌که بیضی خط واحد را قطع نماید و یا بر آن مماس شود، نتایج پیگ هوشمند با نتایج اندازه‌گیری میدانی مطابقت دارد.

جدول ۱۱-نمونه ای از مقایسه نتایج اندازه گیری میدانی با نتایج پیگ هوشمند

گزارش ILI		بررسی میدان فراصوتی							مقایسه		
$(d/t)_{ILI}$	$\delta(d/t)_{ILI}$	t	σ_t	t_r	$^{\sigma}t_r$	d	$(d/t)_{FIELD}$	$^{\sigma}d/t_{FIELD}$	$\|e\|$	$^{\delta e}comb$	
(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	
meas	spec	meas	spec	meas	spec	calc	calc	calc	calc	calc	In?
42	10	6.4	0.15	3.0	0.25	3.4	53.1	4.1	11.1	11.3	Yes
57	12	8.2	0.15	2.5	0.25	5.7	69.5	3.1	12.5	12.6	Yes
21	5	4.9	0.15	4.3	0.25	0.6	12.2	5.8	8.8	8.9	Yes
33	10	6.3	0.15	4.0	0.25	2.3	36.5	4.2	3.5	11.4	Yes
33	10	6.3	0.15	5.8	0.25	0.5	7.9	4.5	25.1	11.6	No



شکل ۶- رسم نمودار واحد جهت مقایسه نتایج اندازه گیری میدانی با نتایج پیگ هوشمند

۹-۴-۵ ارزیابی قطعیت پیگ هوشمند جهت اندازه‌گیری عیوب با رواداری ابعادی مشخص

قطعیت اندازه‌گیری پیگ هوشمند (p) معرف احتمال اندازه‌گیری هر نوع عیب با رواداری اندازه‌گیری ذکر شده در مشخصات فنی آن می‌باشد. تخمین قطعیت واقعی اندازه گیری پیگ هوشمند از طریق مقایسه نتایج پیگ هوشمند با نتایج اندازه‌گیری میدانی حاصل می‌شود.

درصورتی‌که از تعداد n عدد بازرسی میدانی، تعداد X عدد از اندازه‌گیری‌ها دارای خطای اندازه‌گیری منطبق بر مشخصات فنی پیگ هوشمند طبق بند ۳-۳-۱ باشند، در این صورت تخمین قطعیت واقعی پیگ هوشمند یا درصدی از عیوب که دارای خطای اندازه‌گیری در محدوده مشخصات فنی پیگ هوشمند باشند، از فرمول زیر به‌دست می‌آید:

با توجه به اینکه $\hat{p}$ از بخش کوچکی از عیوب خط لوله حاصل شده است، معرف قطعیت واقعی پیگ هوشمند برای کل خط لوله نمی‌باشد. بدین منظور از فرمول‌های زیر جهت تخمین قطعیت واقعی استفاده می‌شود.

$$\hat{p}_{\text{upper}} = \tilde{p} + Z_{\alpha}\sqrt{\frac{\tilde{p}(1-\tilde{p})}{\tilde{n}}}$$

که در آن:

$$\tilde{p} = \frac{X + \frac{Z_\alpha^2}{2}}{\tilde{n}}$$

$$\tilde{n} = n + Z_\alpha^2$$

همچنین:

در سطح قطعیت ٪90، $\alpha = 0{,}90$ ، $z_\alpha = 1{,}28$، $Z_\alpha^2 = 1{,}64$

در سطح قطعیت ٪95، $\alpha = 0{,}95$ ، $z_\alpha = 1{,}64$، $Z_\alpha^2 = 2{,}69$

در سطح قطعیت ٪97.5، $\alpha = 0{,}975$ ، $z_\alpha = 1{,}96$، $Z_\alpha^2 = 3{,}84$

در سطح قطعیت ٪99، $\alpha = 0{,}99$ ، $z_\alpha = 2{,}33$، $Z_\alpha^2 = 5{,}43$

به عنوان مثال در سطح قطعیت ٪۹۵ فرمول فوق به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\hat{p}_{\text{upper}} = \left[\frac{X + 1.35}{n + 2.69}\right] + 1.64\sqrt{\frac{\left[\frac{X + 1.35}{n + 2.69}\right]\left(1 - \left[\frac{X + 1.35}{n + 2.69}\right]\right)}{n + 2.69}}$$

در رابطه فوق درصورتی‌که $\hat{p}_{upper} < p$ باشد، در سطح قطعیت مشخص، کارایی دستگاه از مشخصات عملکردی تعیین شده آن کمتر می‌باشد و در غیر این صورت مشخصات فنی پیگ هوشمند در دامنه آماری گسترده‌تر با مشخصات فنی تعیین شده آن تطابق دارد.

مثال۱:

در صورتی‌که در مشخصات فنی پیگ هوشمند، تلرانس خطا با قطعیت ٪۸۰ بیان شده باشد، با فرض اینکه از تعداد n=10 عدد اندازه‌گیری میدانی, تعداد X=5 اندازه گیری دارای خطایی در محدوده تلرانس باشد، در نتیجه $\hat{p} = 0.50$ است. با فرض ٪۹۵ سطح اطمینان برای $\hat{p}$، $\hat{p}_{upper} = 0{,}73$ می شود. به‌دلیل اینکه $\hat{p}_{upper} < 0{,}80$، لذا کارایی پیگ هوشمند در سطح اطمینان ٪۹۵ از مشخصات فنی تعیین شده کمتر است.

مثال۲ :

در صورتی‌که در مشخصات فنی پیگ هوشمند، تلرانس خطا با قطعیت ٪۸۰ بیان شده باشد، با فرض اینکه از تعداد n=25 عدد اندازه‌گیری میدانی، تعداد X=18 اندازه گیری دارای خطایی در محدوده تلرانس باشد، در نتیجه $\hat{p} = 0{,}72$ است. با فرض ٪۹۵ سطح اطمینان برای $\hat{p}$، $\hat{p}_{upper} = 0{,}84$ می‌شود. بدلیل اینکه $\hat{p}_{upper} > 0{,}80$، لذا کارایی پیگ هوشمند در سطح اطمینان ٪۹۵ قابل قبول می‌باشد.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

نمونه فرم جهت گزارش صحت‌سنجی میدانی پیگ‌های هوشمند EGP و MFL

الف-۱ لوله‌کشی و اطلاعات مالک خط لوله

مالک خط لوله: .....

پروژه: .....

داده خط لوله:	
موقعیت خط لوله:	
قسمت‌های خط لوله و نام آنها	
جهت پیمایش	
شرح محصول (با H_2O، CO_2 یا سایر محتویات قابل کاربرد)	
گرید API 5L	
NPS	□
ضخامت دیواره	☐ in ☐ mm
طول	☐ ft ☐ m
دمای طراحی	☐°F ☐ °C
فشار طراحی	☐ psi ☐ bar

الف-۲ اطلاعات پیمانکار ILI

نام پیمانکار (نمایندگی پیمانکار): ..... پیمان: .....

شخص و جزئیات تماس پیمانکار: .....

.....

الف-۳ شرح پیمایش و ارزیابی بازرسی

جدول الف-۱- اطلاعات مربوط به ابزار

نام و شرح ابزار	
ابزار S یا N	
شماره برگه داده ابزار	
توضیح	علاوه بر برگه داده ابزار به عنوان الحاقیه
واسطه و/یا نیروی محرکه	
جهت حرکت ابزار	

جدول الف-۲- تصویر ابزار قبل از رانش ابزار

جدول الف-۳- تصویر ابزار پس از رانش ابزار

جدول الف-۴- صفحه سنجه یا داده رانش ابزار MFL (به کارگیری خط مجزا برای هر تلاش رانش)

نام	فرستنده		گیرنده		واسط داخل خط	نوع ابزار
	تاریخ	ساعت	تاریخ	ساعت		

جدول الف-۵- نتیجه تمیزکردن و رانش صفحه سنجه

نوع سنجه	معیار	نتایج حاصله
پیگ سنجه‌ای	شرایط صفحه سنجه	
پیگ مغناطیسی	وزن کل مواد آهنی	
پیگ تمیزکننده	مقدار کل جامدات، پارافین یا آشغال	

جدول الف-۶- شرایط کاری در حین رانش ابزار

شرایط کاری	مورد نیاز	حاصله
حداقل فشار		
حداکثر فشار		
حداقل دما		
حداکثر دما		
حداکثر زمان حرکت		
حداقل سرعت ابزار		
حداکثر سرعت ابزار		
شتاب بیش از حد مشخص شده (بله / خیر)		
شروع/ توقف (بله / خیر)		
حصول شرایط کاری مورد نیاز		

جدول الف-۷- شرایط مکانیکی و الکتریکی پس از رانش ابزار

شرح بخش سامانه ابزار	شرح بخش سامانه ابزار
سامانه سرعت سنج	
حسگرها	
بشقاب های چرخشی	
بُرس‌ها	

چرخ‌های نگهدارنده	
سایر صدمات مکانیکی	
طول خط ثبت شده	
حجم داده (MB)	

الف-۴ نتایج پیمایش

جدول الف-۸- داده فنی ابزار در حین پیمایش

شرایط	معیار پذیرش (الف)	معیار مردودی (الف)	وضعیت حاصله
از دست دادن کانال پیمایش اولیه			
از دست دادن کانال پیمایش ثانویه			
خرابی اولیه کانال پیمایش شده مجاور			
طول کلی خط بدون داده			
طولانی ترین بخش پیوسته خط بدون داده			
حداقل سرعت			
حداکثر سرعت			
سطح مغناطیس شدن			
وارسی سیگنال جوش			
(الف) چنانچه شرایط بین معیارهای پذیرش و مردودی قرار گیرد، کیفیت داده باید وارسی شود و تایید شود و براساس این ارزیابی تصمیم گیری شود.			

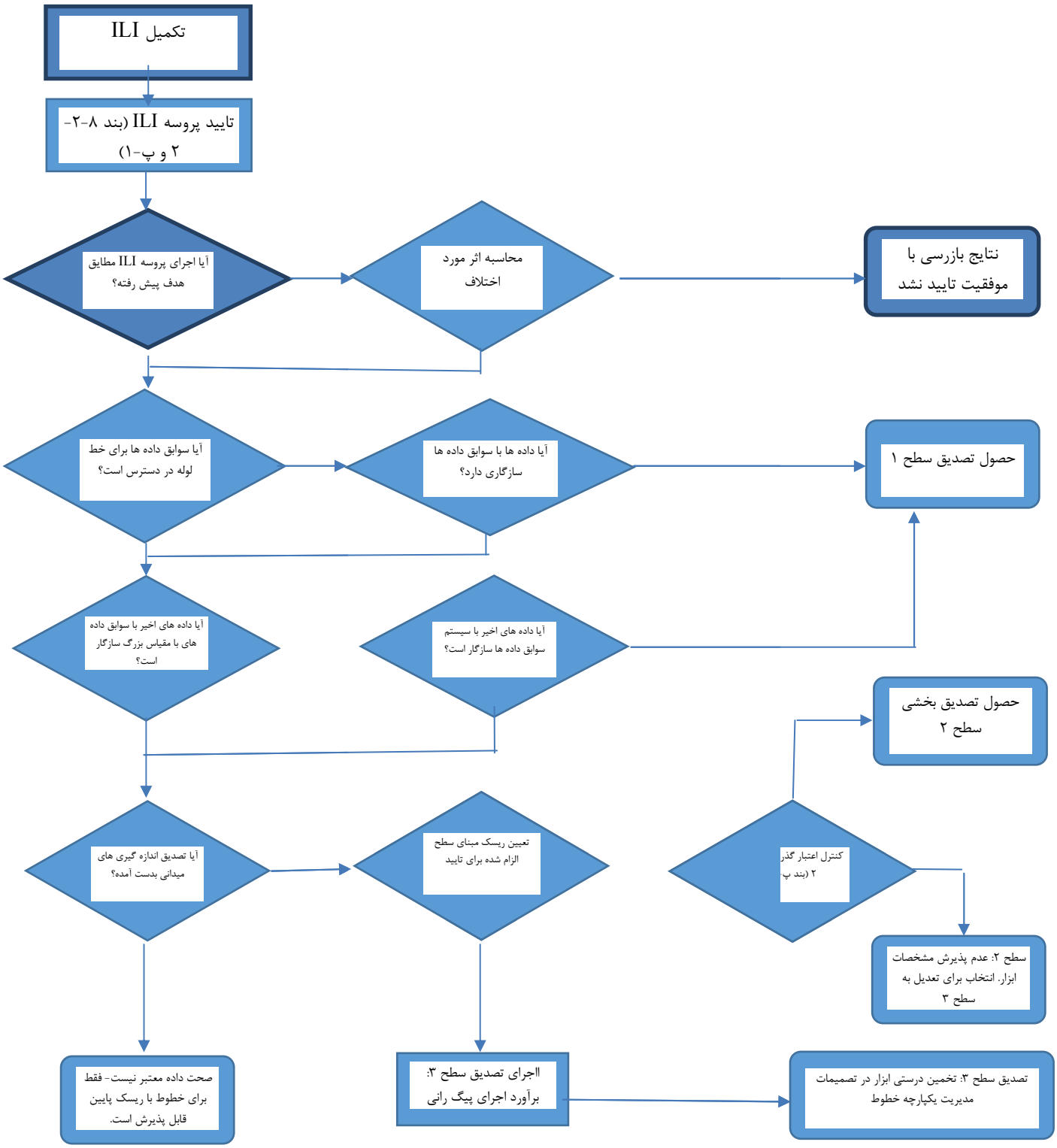
جدول الف-۹- شرایط ابزار (قراردادن علامت وارسی در شرایط قابل کاربرد)

خرابی کم اهمیت	خرابی متوسط	خرابی شدید	ابزار کاملاً خراب
ابزار برای دور بعدی آماده است	لازم است در محل سرویس شود	پس از تعمیر در محل، قابل استفاده است	فقط پس از تعمیر در کارگاه مرکزی قابل استفاده خواهد بود

پیوست ب

(الزامی)

فرآیند صحه گذاری و تصدیق نتایج پیگ‌رانی هوشمند



پیوست پ
(آگاهی‌دهنده)

روش پیشنهادی اندازه‌گیری شار مغناطیسی القاء شده به لوله در روش MFL

پ-۱ اهداف

استاندارد حاضر برای بررسی وضعیت پیگ MFL در مراکز انتقال نفت و گاز، قبل و بعد از ارسال تهیه شده است. این بررسی فقط برای مگنت‌های پیگ و میزان القای شار مغناطیسی مناسب در ضخامت لوله انجام خواهد شد تا در صورتی‌که هر یک از این مگنت‌ها به دلیل آسیب‌دیدگی، ضعیف شدن و یا هر دلیل دیگر توانایی القای شار کافی نداشته باشد، مشخص شود.

این فرایند به دلایل زیر قبل و بعد از فرآیند پیگ‌رانی انجام خواهد شد:

۱- گزارشی که از میزان شار القا شده به لوله، از پیگ استخراج می‌شود، شار متوسطی است که از مجموع تمام مگنت‌ها استخراج شده است و امکان دارد شدت میدان بالای زوج مگنت‌های دیگر، کم بودن میدان یکی از مگنت‌ها را در متوسط‌گیری پوشش دهد ولی اندازه‌گیری، در آن زوج مگنت که مگنت ضعیف وجود دارد امکان دارد شار القا شده به کمتر از میزان استاندارد برسد.

۲- پیشنهاد می‌شود قبل از انجام پیگ‌رانی هوشمند اندازه‌گیری فوق انجام گردیده و در صورت مشاهده اختلاف زیاد شار القایی بر روی زوج‌های مغناطیسی اقدام مقتضی با تصمیم کارفرما از قبیل اصلاح/تعویض مگنت‌های ضعیف/معیوب به‌عمل آید. میزان اختلاف متناسب با شرایط پروژه و مشخصات خط لوله قبلا" مابین کارفرما و پیمانکار اجرایی مورد توافق واقع شود.

۳- اگر به هر دلیل میدان مغناطیسی یکی از مگنت‌ها در پایان فرآیند پیگ‌رانی در هر یک از زوج قطب‌ها[1] شار القا شده کمتر از حد مشخص باشد باید در مورد دقت نتایج پیگ‌رانی در آن سری از سنسورها بررسی بیشتری جهت تایید نتایج انجام شود.

پ-۲ زمان انجام آزمون

- قبل از ارسال پیگ داخل خط لوله
- بعد از دریافت پیگ

1-Yoke

پ-۳ روش اندازه‌گیری شار به بدنه لوله

با توجه به این نکته که شار القا شده در بدنه لوله به صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست باید از روش‌های غیر مستقیم مشابه با روش‌های داده‌برداری و تفسیر نتایج MFL برای این کار استفاده کرد.

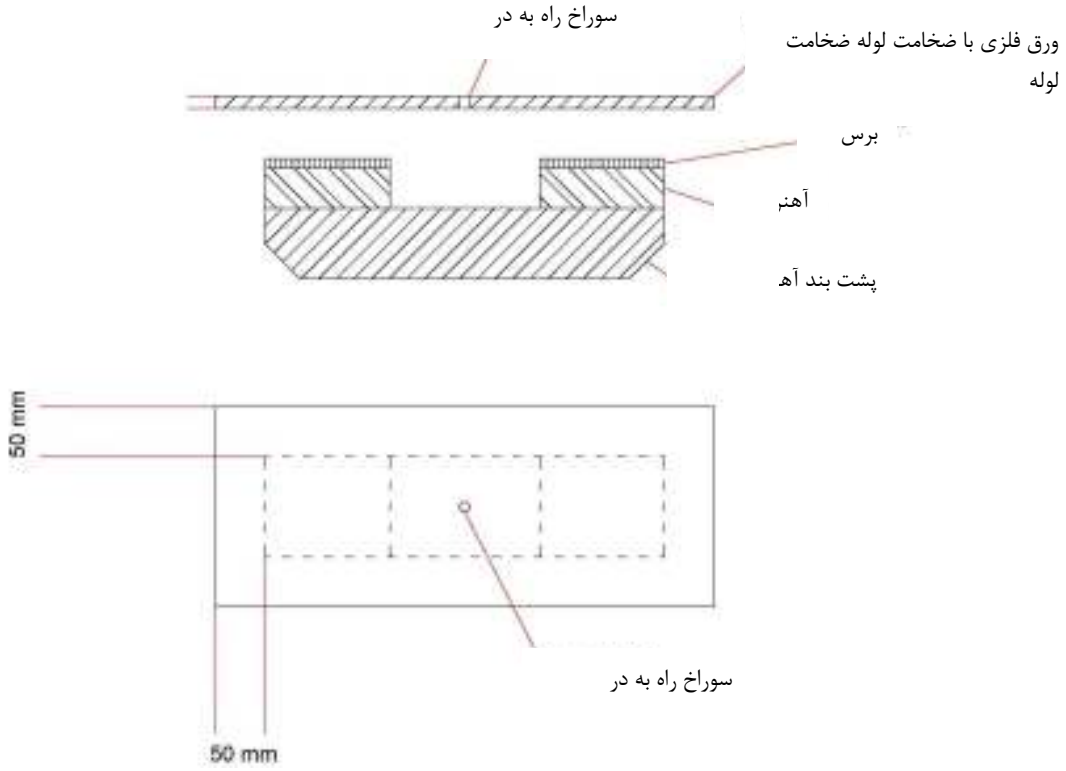
این روش بر مبنای اندازه‌گیری غیر مستقیم میدان در بدنه لوله خواهد بود. در این روش قطعه‌ای از ورق ترجیحاً با ضخامت مشابه با ماکزیمم ضخامت لوله مورد بازرسی قرار می‌گیرد که یک سوراخ راه به در، بر روی آن ایجاد شده است، که بر روی زوج مغناطیسی قرار خواهد گرفت. سپس میدان مغناطیسی داخل این سوراخ اندازه‌گیری می‌شود.

در پیوست ت نتایج شبیه‌سازی اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در فضای داخل سوراخ (در صورتی که شار مغناطیسی 1.5 T مطابق استاندارد NACE 35100 در ضخامت لوله اعمال شود) به عنوان نمونه[1] ارائه شده است.

پ-۴ روش ساخت قطعه اندازه‌گیری

یک ورق از جنس خط لوله (ترجیحاً برشی از لوله) با ابعادی پیشنهادی شکل پ-۱ در مقایسه با زوج مغناطیسی تهیه خواهد شد.

1- Typical



شکل پ- ۱ - ابعاد پیشنهادی ورق مورد آزمون

سوراخ دقیقاً بر روی قسمتی که سنسورها قرار دارند ایجاد می‌شود. ابعاد سوراخ تا حد امکان کوچک ساخته خواهد شد تا میدان مغناطیسی داخل آن تغییرات کمتری داشته باشد لذا تقریبا قطر این سوراخ با قطر سر گوس‌متر برابر خواهد بود. عیب ایجاد شده بر روی ورق به شکل سوراخ با اندازه‌ای خواهد بود تا پراب گوس‌متر دقیق در داخل سوراخ قرار گیرد.

برای اندازه‌گیری میدان، بعد از قرار دادن سر گوس‌متر داخل سوراخ ایجاد شده بر روی ورق، سر پراب تا جایی حرکت داده می‌شود که بیشترین عدد بر روی صفحه گوس‌متر خوانده شود. در این روش حداکثر عددی که گوس‌متر در راستای طولی ورق نمایش می‌دهد به عنوان مبنا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ-۵ ملاحظات شبیه‌سازی نرم‌افزاری

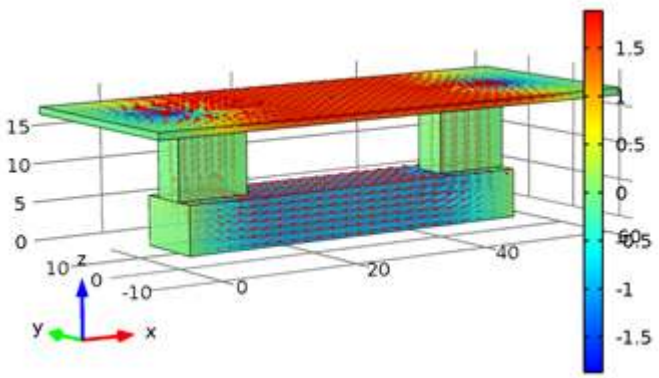
با توجه به ابعاد متفاوت سر گوس‌متر (پراب) امکان دارد سوراخ ایجاد شده بر روی ورق مورد آزمایش ابعاد متفاوتی داشته باشد. نتایج شبیه‌سازی‌های نمونه ارائه شده در پیوست ت بر اساس سوراخی با قطر ۵ mm است. برای به‌دست آوردن نتایج دقیق‌تر لازم است براساس اطلاعات و داده‌های میدانی از پیگ‌رانی‌های هوشمند مختلف صحه سنجی شود. نتیجه شبیه‌سازی در شکل۸ ارائه شده است.

پیوست ت
(آگاهی دهنده)

نمونه اطلاعات بدست آمده از تحلیل نرم‌افزاری (بدون صحه‌گذاری میدانی) برای میدان مغناطیسی در داخل سوراخ

ضخامت‌های لوله (mm)	دانسیته جریان مغناطیسی در شکاف قطعه X (mT)
6.35	82.3
7.62	74.1
9.5	61.2
11.3	47.5
14.3	28.5
17.5	16.5

حجم: دانسیته جریان مغناطیسی قطعه X (T)
بردار حجم: دانسیته جریان مغناطیسی



شکل ت- ۱- شبیه‌سازی نرم‌افزاری

پیوست ث
(آگاهی دهنده)

مراجع استانداردی اجزای پیگ هوشمند مغناطیسی ۷۵۰ mm (۳۰ in)

ث-۱ در این پیوست بر اساس اطلاعات موجود در زمینه ساخت داخل پیگ هوشمند مغناطیسی ۷۵۰ mm (۳۰ in)، استانداردهای اجزای پیشنهادی ارائه شده است. بدیهی است این استانداردها و معیارهای مربوطه صرفاً جنبه پیشنهادی داشته و الزامات و تکنولوژی‌های پیگ هوشمند محدود به این موارد نمی‌باشد.

جدول ث-۱- اجزاءپلیمری

ردیف	نام اجزاءپلیمری	عنوان استاندارد	ردیف
۱	کاپ‌های پلیمری کونیکال	ASTM D2240/DIN7168-m	DIN 53516 & ASTM D 1623
۲	کاپ‌های پلیمری چرخ‌دار یا دیسکی (غیر کونیکال)	ASTM D2240/DIN7168-m	DIN 53516 & ASTM D 1623
۳	پلیمر چرخ‌های نگهدارنده	ASTM D2240/DIN7168-m	DIN 53516 & ASTM D 1624
۴	بخش پلیمری بامپر (ضربه‌گیر)	ASTM D2240/DIN7168-m	DIN 53516 & ASTM D 1623
۵	بازوهای نشت شار	ASTM D2240/DIN7168-m	DIN 53516 & ASTM D 1623
۶	رزین آب‌بندی مدارات	IGEM-TSP-10-110 و IEC60079	

ث-۲ اطلاعات زیر به‌صورت نوعی[1] و کلی ارائه شده است. مشخصات استحکام کششی آن‌ها می‌تواند مشابه جدول ث-۲ باشد:

جدول ث-۲- اطلاعات کلی استحکام مکانیکی

پارامتر	میزان (حداقل)	شماره استاندارد
استحکام کششی (MPa)	۳۵	ASTM D412 ASTM D638 Rate: 500 mm/min Distance: different
ازدیاد طول (٪)	۴۰۰	
مدول یانگ (MPa)	۲۰	

1- Typical

ث-۳ میزان مقاومت در برابر سایش و مشخصات سختی کاپ می تواند مطابق جدول ث-۳ و ث-۴ باشد.

جدول ث-۳- مشخصات مقاومت به سایش

نام قطعه	روش آزمون	معیار(حداکثر)
کاپ	ASTM D5963	4.3% (کاهش وزن)
	ISO 4649-10 D5963	25 mm^3 کاهش حجم)

جدول ث-۴- معیار سختی

نام قطعه	روش آزمون	مقدار
کاپ	ASTM D2240	75-95 Shore A

جدول ث-۵- اجزای مکانیکی

ردیف	نام اجزای مکانیکی	زیر بخش	استاندارد ساخت	استاندارد مواد	استاندارد اتصالات
۱	بدنه ماجول سرچ (اکسایتر)		DIN 7168-m	AISI 300	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۲	محفظه مدارات بازوها		DIN 7168-f	Al 7075-T6	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۳	کالکتورها		DIN 7168-m	AISI 300	DIN EN 22553 (1997-03)
۴	چرخ‌های نگهدارنده	پایه چرخ‌های نگهدارنده	DIN 7168-m	MO 40 (1.7225)	Nut-DIN984 / ISO7040
		بوش چرخ‌های نگهدارنده	DIN 7168-m	Copper Alloy (Brass)	DIN 912-M16x130
۵	مجموعه مسافت سنج (تماسی)	بازوهای مسافت سنجی	DIN 7168-m	DIN 1.0553	DIN EN 24033
		چرخ مسافت سنج	DIN 7168-f	MO 40 (1.7225)	
		مکانیسم فنربندی بازوی مسافت سنج	DIN 7168-f	DIN 1.1221(C60E)	
۶	مجموعه بازوی هندسی	بازوهای کالیپرینگ (فلزی)	DIN 7168-f	DIN 1.0553	DIN EN 24033
		مکانیسم فنربندی بازوی هندسی	DIN 7168-f	DIN 1.1221(C60E)	
۷	مخزن الکترونیک و باتری		DIN 7168-c	ASTM B221 (6061-T6)	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۸	بک بارها		DIN 7168-c		DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۹	براش‌ها		DIEPA X40 S 321	DIN 1.0553/St52-3u	ISO 4309 (=or)

جدول ث-۵- اجزای مکانیکی (ادامه)

ردیف	نام اجزای مکانیکی	زیر بخش	استاندارد ساخت	استاندارد مواد	استاندارد اتصالات
۱۰	پایه مگنت ها		DIN 7168-f	DIN 1.0553/St52-3u	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9)
۱۱	مکانیسم مکانیکی کنترل سرعت		DIN 7168-m	DIN 1.0553/St52-3u	DIN 628- و 7203B-Full,SI,NC Balls- AISI 52100
۱۲	المان‌های ضد سایش بازوها (فلزی)		DIN 7168-f	AISI 300	
۱۳	اتصال میانی (یونیورسال)		DIN 7168-f	MO 40 (1.7225)	DIN 912/ ISO 4762 (G12.9) DIN933/ ISO 4017
۱۴	سایر اتصالات در بدنه				DIN 912/ ISO 4762 (G12.9) DIN933/ ISO 4017
۱۵	سازه مکانیکی ضربه گیر		DIN 7168-c	DIN 1.0553/St52-3u	DIN933/ ISO 4017

جدول ث-۶- اجزای الکترونیکی

ردیف	نام اجزاء	استاندارد
۱	سنسورهای نشت شار مغناطیسی	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۲	ماجول جریان گردابی	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۳	مدارات مسافت سنجی (تماسی و غیر تماسی)	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۴	ماجول کالیپرینگ	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۵	سنسورهای ارتعاشی و شتاب‌سنج‌ها، سنور دما و فشار	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۶	ماجول دوران سنجی (ژایروسکوپ)	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۷	مدارات کنترل مرکزی	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۸	مدارت جمع‌آوری داده سنسورها (مدارات بازوها)	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۹	مدارات حافظه	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۰	مدارات تغذیه و مبدل توان	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۱	مدارات و عملگر کنترل سرعت	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۲	مدارت محافظ	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۳	باتری‌ها	MIL-STD-810 (for Temp. , Vibration, Schock)
۱۴	کابل‌های ارتباطی بیرون از مخزن	IPS-M-EL-271 و IEEE 518
۱۵	کابل‌های ارتباطی درون مخزن	IPS-M-EL-271 و IEEE 518
۱۶	کانکتورهای نصب شده بر روی بدنه و مخزن	MIL-DTL Compatible
۱۷	کانکتورهای درون مخزن و محفظه	MIL-DTL Compatible
۱۸	ردیاب پیگ هوشمند مغناطیسی	
۱۹	ردیاب پیگ هوشمند غیر مغناطیسی (هندسی)	