# بازرسی فنی ساخت تجهیزات صنعتی

## مرجعی برای بازرسی اثربخش در پروژه‌ها


**نویسنده**

**Clifford Matthews**



۷۷۷ ش ت



**مترجمان**

**فرشید مالک‌قائینی**

**شهرام قلی‌زاده میانکوه**

**مصطفی جعفرزادگان**

**احسان رضابیگی**

**سیدمحمد میرحسینی**

**مهدی نجفی**

**محمدجواد حامدی**



مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

کتابخانه مرکزی

شماره: ۷۷۷ تاریخ: ۸۱/۲/۱



۱۳۸۶

| | |
|---|---|
| سرشناسه | ماتیوز، کلیفورد<br>Matthews, Clifford |
| عنوان و نام پدیدآور | بازرسی فنی ساخت و تجهیزات صنعتی: مرجعی برای بازرسی اثربخش در پروژه‌ها/[مولف کلیفورد ماتئوس]؛ ترجمه فرشید قائینی... [و دیگران]. |
| مشخصات نشر | تهران: جامعه‌نگر، ۱۳۸۶. |
| مشخصات ظاهری | ۴۰۰ ص. :مصور، جدول. |
| شابک | ۷۹۰۰۰ ریال: 9789642524358 |
| وضعیت‌فهرست‌نویسی | فیپا |
| یادداشت | عنوان اصلی: Handbook of mechanical works inspection: a guide to effective practice,1997 |
| یادداشت | کتاب حاضر تحت عنوان " بازرسی تجهیزات مکانیکی" توسط انتشارات شرکت انتشارات فنی ایران در سال ۱۳۸۲ منتشر شده است. |
| عنوان دیگر | بازرسی تجهیزات مکانیکی. |
| موضوع | بازرسی فنی. |
| موضوع | کنترل کیفی. |
| موضوع | کارخانه‌ها -- نگهداری و تعمیر. |
| شناسه افزوده | مالک قائینی، فرشید، مترجم |
| رده بندی کنگره | TS ۱۵۶/۲/م۲ب ۱۳۸۶ |
| رده‌بندی دیویی | ۶۲۰/۰۰۴۵ |
| شماره کتابشناسی ملی | ۱۱۰۵۸۹۵ |



تمامی حقوق محفوظ است. این کتاب مشمول قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و مترجمان است و هرگونه برداشت و استفاده از مطالب این اثر به هر شکل دیگری مانند کتاب، خلاصه، جزوه، کپی، فیلم، سی‌دی و... بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است و پیگرد قانونی دارد.



با همکاری دبیرخانه‌ی کنفرانس بین‌المللی بازرسی فنی و آزمون‌های غیرمخرب

بازرسی فنی ساخت و تجهیزات صنعتی

ترجمه: فرشید مالک قائینی و همکاران

ناشر: نشر جامعه‌نگر- شمارگان ۳۰۰۰ نسخه، چاپ اول ۱۳۸۶

صفحه‌آرایی: تقی‌زاده

لیتوگرافی آبرنگ، چاپ افرنگ، صحافی زنوز

بها: ۷۹۰۰۰ ریال

شابک۱۳: ۸-۳۵-۲۵۲۴-۹۶۴-۹۷۸ ISBN13: 978-964-2524-35-8

□ مرکز فروش و پخش:

■ تهران،خیابان شریعتی - بالاتر از پل رومی، جنب باشگاه پارس - ساختمان ۱۷۲۵ واحد ۴۹ تلفن ۲-۲۲۲۴۰۰۱۱

■ نشر جامعه‌نگر تهران،خ انقلاب، خ فخررازی، خ نظری، پلاک ۱۹۴ تلفن ۶۶۴۹۴۱۸۷-۶۶۴۹۳۷۱۶


# تقدیر و تشکر نویسنده


The author wishes to express his grateful thanks to the following people for their assistance in reviewing the technical chapters of this book.

Steven C Birks CEng, MCGI, CGIA, FIBF, MInstNDT, MIQA, MIM, Inc MWeldI
Quality assurance Director, Goodwin Steel Castings Ltd, Stoke-on-Trent, UK.

Peter A Morelli HND ( Mech eng)
Engineering Manager, David Brown Radicon Ltd, Huddersfield, UK.

John T Dallas BSc, CEng, MIMecE
Research and Development Manager, Weir Pumps Ltd, Glasgow, Uk.

Fred P A Watson IEng, MInstNDT
Manager, NDT Services, International combustion Ltd, Derby, Uk.

Mark S Drew
HNC(Production Engineering). Senior Quality Test Engineer, Compair Broomwade Ltd, High Wycombe, Uk.

Roberto Soloni
Senior Inspection engineer, SGS Servici Tecnici Indusrial Srl, Milan, Italy.

David P. Godden
Progect Manager, European Gas Turbine SA, Belfort France.

Xiao Li Fen
Director of Quality Engineering, Shanghai boiler works, Shanghai, China.

David J. S. Owen BSc, MIQA
Deputy Chief Product quality Engineer, GEC Alsthom Ltd, Manchester, UK

Shao Xi
Inspection Manager, Vouching Technical Institute, Beijing China.

Acknowledgment is also owing to colleagues in ABB sae Sadelmi, Milan and General Electric, Cincinatti who have provided general comments and guidance.

Special thanks are due ti Vicky Bussell for her excellent work in typing the manuscript for this book.

# پیشگفتار

یکی از مهمترین مسئولیتهایی که در مسیر شغلی فارغ التحصیلان رشته های مهندسی بر عهدهٔ آنان قرار خواهد گرفت، بازرسی و تأیید تجهیزات صنعتی حساس می‌باشد لذا در محیط دانشگاهی همیشه در تلاش بوده‌ام که جنبه های علمی بازرسی فنی را توسعه دهم. جالب این است که دانشجویان و فارغ التحصیلان رشته‌های مهندسی، بخصوص در مقاطع تحصیلات تکمیلی علاقهٔ زیادی به این موضوعات نشان می دهند که ترجمهٔ کتاب حاضر تنها با کمک این دسته از همکاران امکانپذیر گردید.

بازرسی فنی در اکثر موارد در ذهن مهندسان، مترادف با اطمینان از انطباق با استانداردها و مشخصات فنی قراردادی دانسته می شود. اما این کتاب علاوه بر تشریح استانداردهای اروپایی و آمریکایی مرتبط با ساخت تجهیزاتی همچون ظروف تحت فشار، بویلرها، توربینهای گازی و بخار، جرثقیل‌ها، بازرسی جوشکاری، NDT، پوشش، رنگ و ... به چندین جنبه بسیار مهم دیگر نیز می پردازد. یکی از این جنبه‌ها نقش ارتباط بازرسان مختلف همانند بازرسان مستقل، بیمه بازرسان سازمانهای رده بندی، مهندسان مشاور، پیمانکار اصلی، سازندگان در پروژه‌های صنعتی می باشد. جنبهٔ دیگری که این کتاب به آن می پردازد، بحث اثر بخشی بازرسی فنی و اهمیت تمرکز بر معیارهای مناسب بودن برای منظور (Fitness For Purpose) هر یک از تجهیزات صنعتی خاص می باشد. البته در مورد هر یک از تجهیزات این معیارها همراه با نکات اصلی الزامات قانونی معرفی گردیده‌اند. بخشی از کتاب به دسته‌بندی مدارک مرجع بازرسی و بخشی دیگر به گزارش بازرسی می‌پردازد که می‌تواند بسیار مورد استفاده قرار گیرد. نکتهٔ آخر اینکه نویسنده با تکیه بر سالیان زیاد تجربه، حداکثر سعی خود را نموده است که با دیدگاهی واقع‌گرایانه و کلامی ساده به موارد مختلف بپردازد که این در جای خود می تواند ارزش افزودهٔ فراوانی را برای خواننده ایجاد می‌نماید.

در پایان، جای دارد از دبیرخانهٔ کنفرانس بین‌المللی بازرسی فنی و آزمون غیرمخرب جهت همکاری ارزنده‌شان در انتشار کتاب حاضر تشکر نمایم.

**دکتر فرشید مالک**

مهرماه ۱۳۸۶

# فهرست مطالب


فصل اول / چگونگی استفاده از کتاب / ۹

فصل دوم / اهداف و تدابیر / ۱۵

فصل سوم / مشخصات فنی، استانداردها و طرح‌ها / ۲۷

فصل چهارم / مواد / ۴۵

فصل پنجم / جوشکاری و NDT / ۷۱

فصل ششم / بویلرها و مخازن تحت فشار / ۱۲۵

فصل هفتم / توربین‌های گازی / ۱۷۳

فصل هشتم / توربین‌های بخار / ۲۰۱

فصل نهم / موتورهای دیزل / ۲۱۹

فصل دهم / انتقال توان / ۲۴۱

فصل یازدهم / سیستم‌های سیال / ۲۶۵

فصل دوازدهم / جرثقیل‌ها / ۳۰۳

فصل سیزدهم / روکشدهی (Lining) / ۳۲۹

فصل چهاردهم / رنگ / ۳۵۳

فصل پانزدهم / گزارش بازرسی / ۳۶۹

ضمیمه / برگزیده‌ای از واژگان / ۳۸۹



مرکز پژوهش و توسعه صنایع جوش ایران
کتابخانه مرکزی
شماره: ۷۷۷ تاریخ: ۸۷/۲/۱

# مقدمهٔ نویسنده

ده سال قبل تصور بر آن بود که آینده ای برای بازرسی ساخت وجود نخواهد د اشت و گفته می شد که خریداران و بهره برداران بزودی نیازی به بازرسی فنی در کارگاه‌های ساخت نخواهند داشت.

پیش‌بینی می‌گردید که بازرسی فنی کنار خواهد رفت و جای آنرا یک سیستم مدیریت تولید «بدون عیب» خواهد گرفت.

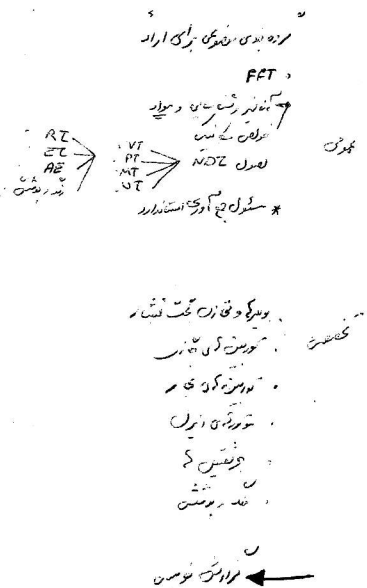
اگرچه در قراردادهای خرید تجهیزات مهندسی به الزامات مدیریت کیفیت، ارزیابی سازندگان و ممیزی اشاره می‌شود ولی هنوز پس از گذشت سالها در این قراردادها به بازرسی‌های ساخت شامل بازرسی‌های حضوری و آزمایشات در کارگاه ساخت نیز ارجاع می شود. اما در این سالها رقابت قابل توجهی در عرصهٔ کسب و کار بازرسی فنی بوجود آمده است. دیگر دوران قراردادهای کلان براساس پیمان مدیریت (Cost plus) سپری شده است و این دوران باز نخواهد گشت و فشار اقتصادی بر شرکتهای بازرسی باعث شده است که آنان بطرق مختلف عکس العمل نشان دهند. برخی به فعالیتهای تخصصی روی آورده اند و بدقت مهارتهای کارکنان و سازمان خود را منطبق با نیازهای صنعت نموده اند و اثربخشی فعالیتهای بازرسی خود را افزایش داده‌اند، اما برخی دیگر ترجیح داده اند، قیمت و هزینه های بالاسری خود را کاهش دهند و اعتقاد دارند که چارهٔ دیگری نیست.

در این کتاب، به کسب و کار تجاری بازرسی کمتر پرداخته شده است و بجای آن تمرکز بر روی طبیعت خود بازرسی فنی می باشد. هدف این کتاب ارائهٔ روشهای بازرسی اثربخش به مهندسان می باشدتا واقعاً بر موضوعات مهم تمرکز نمایند. بازرسی فنی یعنی ارائهٔ خدمات خوب فنی به خریداران و بهره برداران تأسیسات صنعتی. در این رشته حرفه ای جای زیادی برای زرق و برق برخی کسب و کارهای دیگر نمی باشد و باید به اصل کار پرداخته شود.

در این کتاب، به تضمین کیفیت (Quality Assurance) پرداخته نشده است. من به آنانی که ایمان دارند تضمین کیفیت قابلیت این را دارد که تأسیساتی بدون عیب را تحویل دهد، احترام می گذارم. کتابهای متعددی روی موضوع تضمین کیفیت منتشر شده است، خواهشمندم آنان را مطالعه کنید، اما به یاد داشته باشید که همهٔ ما باید در کنار هم زندگی کنیم.

استانداردهای فنی نقش مهمی در بازرسی ساخت دارند. به این استانداردها در جای جای کتاب اشاره شده است و همچنین در انتهای هر بخش، مراجع شامل استانداردهای مرتبط ارائه شده است.

**کلیفورد ماتیوز**



فصل ۱

# چگونگی استفاده از کتاب

## مقدمه

در یک پروژه بزرگ مهندسی، تعداد زیادی از تجهیزات قبل از پذیرش بازرسی می شوند. بعنوان یک مهندس حرفه‌ای به احتمال زیاد در مقطعی از ما خواسته خواهد شد که دستگاهی را در محل سازنده بازرسی نماییم. مشاوران، کارفرمایان، پیمانکاران و سازندگان همگی دارای وظیفه، مسئولیت و نقش خاص خود می‌باشند. اما این مسئله‌ای نیست. مشکل اینجاست که آنهایی که بازرسی‌های گوناگونی را انجام می‌دهند باید در مورد انواع زیادی از تجهیزات، دانش و اطلاعات کاملاً دقیقی داشته باشند. علیرغم موضوع فوق، باید دانست که اصل مهم انجام بازرسی‌های موثر است، نه فقط این که باری به هر جهت کاری انجام شود. بازرسی فنی یک رشته نسبتاً وسیع است و راههای صحیح و غلط انجام دادن آن وجود دارد. روش صحیح، داشتن تصویری شفاف از اولویت بندی فعالیت‌های بازرسی و تاکتیک فرایند بازرسی است. بعد از آن کار بازرسی با استفاده از دانش و تجربه راحتتر می‌شود.

این کتاب شمارا یک متخصص ماهر در یک زمینه خاص از تجهیزات صنعتی نمی‌کند اما به شما کمک می‌کند تا بازرسی موفقی از تجهیزات مکانیکی معمولی را برنامه‌ریزی و اجرا کنید. در این کتاب، اطلاعات فنی مورد نیاز و روش انجام بازرسی شرح داده شده است که با استفاده از آن می‌توان بازرسی را به صورت صحیحی انجام داد.

فصل‌های ۱، ۲ و ۳ اهداف، تاکتیک‌ها و فعالیت‌های بازرسی را مشخص می‌کند. فصل‌های ۴ تا ۱۴ بخش‌های فنی درباره تجهیزات مختلف می‌باشد. هر یک از این فصل‌های فنی ساختاری مشابه شکل ۱-۱ دارند. فصل ۱۵ نیز درباره گزارشات بازرسی است.

برای شروع ابتدا باید به مهم‌ترین عامل در بازرسی موفق توجه نمود. اولین اصل مناسب بودن برای منظور(FFP)[1] می‌باشد.

## مناسب‌بودن برای منظور (FFP)

یکی از اهداف این کتاب کمک به بازرسان برای تمرکز شفاف بر روی FFP است. در فصل ۲ خواهیم دید که مفهوم FFP مفهوم مسحور کننده‌ای است که با خود مسایل تجاری و قانونی را همراهی می کند. FFP قابلیت یک قطعه یا وسیله برای انجام صحیح وظیفه خود به نحوی که خریدار یا استفاده کننده از آن انتظار دارد، می‌باشد.

---

1- Fitness For Purpose

بنابراین FFP پایه و اساس تمام بازرسی‌ها را تشکیل می‌دهد. در هر یک از فصل‌های فنی این کتاب معیار FFP برای هر یک از تجهیزات شرح داده شده است که اساساً چکیده‌ای از اصول و موارد ضروری کدهای مربوطه، استانداردها و مشخصات فنی (specification) می‌باشد ولی از جزئیات دقیق چشمپوشی شده است تا تصویری شفاف از FFP بدست آید.

در پیگیری متدولوژی فصل‌های فنی کتاب، شما باید به معیارهای FFP به عنوان سطحی عملی از الزامات توجه کنید. به دقت به آنان توجه نمایید. لطفاً به معیارهای FFP مثل اینکه آنان الزامات کامل فنی تجهیزات هستند نگاه نکنید. اما معیارهای FFP پایه ای محکم برای شروع می‌باشند، حال اگر در مشخصات فنی تجهیزات ویژگی ها و الزامات خاصی وجود داشته باشد، میتوان بدون آنکه خط اصلی اولویتها را از دست داد، آنان را در جای خود بدرستی پیاده نمود.

مناسب بودن برای منظور (FFP) در نمونه گزارشهای فصل ۱۵ آمده است. اگر در گزارشهای بازرسی معیارهای FFP را رها ننمایید، گزارشها مختصر و مفید خواهند شد و به کارفرما آنچه را که لازم است بداند، خواهند گفت.

## اطلاعات فنی پایه

اگر از یک مهندس باتجربه سوال شود که آیا ترجیح می‌دهد که اطلاعات خیلی زیادی از جزئیات داشته باشد یا اطلاعات کم، احتمالاً خواهد گفت که ترجیح می‌دهد از جزئیات اطلاعات کمتری داشته باشد. این پاسخ نکته خوبی را بیان می‌کند. شما تقریباً همیشه می‌توانید اطلاعاتی را که نمی‌دانید از طریق پرسش و دانستن اینکه کجا را باید بگردید، بدست آورید و بیشتر مهم است که فقط سرنخها را بصورت مطمئن از اول داشته باشید.

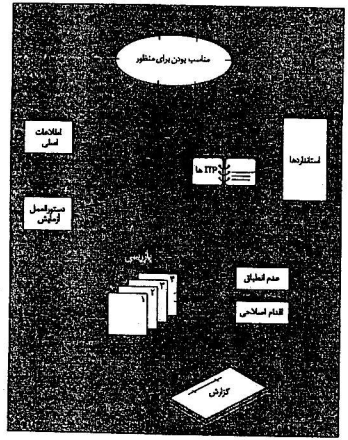
بنابراین تنها دانستن نکات مهم در طول بازرسی لازم است. اطلاعات فنی دقیق و جزئی مربوط به یک وسیله مکانیکی بسیار گسترده می‌باشد. کتابخانه بریتانیا فقط در مورد پمپ‌های گریز از مرکز یک لیست حاوی دهها استاندارد شناخته شده و حدود ۳۰۰ کتاب مهم منتشر کرده است که اگر مخازن تحت فشار یا فولادهای مخصوص را نیز در نظر بگیریم، لیست بزرگتر خواهد شد. بنابراین باید اطلاعات خود را فقط به آنچه که برای انجام یک بازرسی موثر لازم است، محدود کنیم.

هر یک از فصل‌های فنی این کتاب، اطلاعات پایه ای لازم برای انجام بازرسی بر روی یک وسیله خاص را فراهم میکند.

توجه نمایید که در اکثر اوقات کتاب وارد موضوعات طراحی نمی شود بلکه تمرکز بر روی آنچه که باید بازرسی شود دارد. به عنوان مثال در بحث پمپهای گریز از مرکز ما وارد این موضوع که چرا پروفیل پره پمپ به یک صورت خاص است نمی شویم، چون این یک موضوع طراحی است و در هنگام بازرسی بسیار سخت است که وارد موضوعات طراحی که در گذشته اتفاق افتاده است شویم. علیرغم اینکه ضرر ندارد بازرس در مورد ماشینکاری و اثرات پروفیل پره پمپ اطلاعات داشته باشد، اما این اطلاعات باید در سایه اولویت‌های بازرسی مورد استفاده قرار گیرد.

در برخی از فصل‌ها نیز روش‌های محاسباتی ذکر شده که بیشتر در مورد کمپرسورهای هوا و تجهیزات گردان مورد نیاز است. خوشبختانه به دانش زیادی برای فهم آنها نیاز نیست و با اندکی تلاش قابل فهم می‌باشند.






شکل ۱-۱ ساختار فصل های فنی

در انتهای هر یک از فصول فنی نیز لیست مراجع ذکر شده است که می‌توانید در مواردی که به اطلاعات بیشتری نیاز است از آنها استفاده کنید.

## استانداردها

استانداردهای فنی و کدها، ابزارهای صنعت ساخت هستند. باید توجه داشت که بدون آنها هر برنامه طراحی و ساخت باید از صفر شروع شود. استانداردها برای بازرسان مفید می‌باشند زیرا عینی هستند و آنها را در تصمیم گیری درباره FFP و حتی جنبه‌های ناملموسی مانند عرف کاری خوب یاری می‌کنند. در هر یک از فصول فنی کتاب استانداردها و کدهای مربوطه ذکر شده است. هر جا که قرارداد به آنها اشاره دارد یا جزئیات بیشتری می خواهید، از آنها استفاده کنید، اما از توجه به معیارهای FFP غافل نشوید.

استانداردهای اروپا و ISO مراجع اصلی این کتاب هستند. در برخی از زمینه‌ها هنوز استانداردهای ملی با استانداردهای معروف بین المللی هماهنگ نیستند. اما استانداردها به سرعت در حال تغییر و تحول می‌باشند و توصیه می‌شود مطمئن شوید که از آخرین ویرایش استانداردها استفاده می‌نمایید.

مشخصات فنی تجهیزات معمولاً خاص یک پروژه هستند، بنابراین صحبت کردن از آنها در این کتاب

مشکل است. اما خوشبختانه اکثر مشخصات فنی خوب شباهتهای زیادی با کدها و استانداردها دارند. فصل ۳ کتاب درباره مشخصات فنی تجهیزات و طرح بازرسی و آزمون (ITP:Inspection and Test Plan) بحث می‌کند.

با توجه به شکل ۱-۱ متوجه می‌شوید که هر یک از فصول فنی حاوی فعالیتهای ویژه، تستها و مدارکی است که باید در ITP هر یک از تجهیزات و البته با توجه به معیارهای FFP لحاظ شود. اما توصیه می‌شود که کار بیش از حد نگردد.

**توجه**

تعاریف مختلفی برای طرحهای بازرسی و آزمون در کتب داده شده است. اما در این کتاب برای آنان یک تعریف ساده در نظر گرفته شده است. طرح بازرسی و آزمون مدرکی است که توسط سازنده و مشتریانش برای نظارت و پایش فعالیتهای ساخت و آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## تکنیک‌ها و روش‌های انجام آزمون

برای انجام بازرسی باید آنچه اتفاق می‌افتد را درک کنید. عنصر اصلی بازرسی، روش آزمون یا تکنیکی است که انجام می‌شود و در برخی موارد پیروی از آنها برای کسانی که به تجهیزات یا فعالیتهای مربوطه آشنایی کمتری دارند، مشکل است. هر یک از فصلهای فنی کتاب حاوی شرح آزمونهای رایج بر روی تجهیزات است. برخی از این تستها در استانداردهای موجود به خوبی تعریف شده اند، به عنوان مثال تست غیر مخرب که در فصل ۵ توضیح داده شده است.

شما می‌توانید روشهای انجام تست را در استانداردها و دستورالعملهای ساخت مشاهده کنید. برخی از مراحل ممکن است با توجه به مفاد قرارداد اضافه یا کم شوند، ولی باید معیارهای FFP رعایت شود. توجه کنید که یک روش تست می‌تواند از لحاظهایی انعطاف پذیر باشد، بخصوص در ترتیب اجرای آزمونها، اما معمولاً در محتوا کمتر تفاوت دیده می شود.

معمولاً برخی فعالیت‌های جانبی نیز وجود دارند که نقش مهمی در کار بازرسی ایفا می‌کنند. این کتاب به فعالیتهای اصلی و محوری بازرسی و تست نیز اشاره دارد. این کتاب حاوی مباحث اصلی است که مقابل روی بازرس قرار می‌گیرد به عنوان مثال کنترل طراحی اولیه، قابلیت ردیابی مواد و تجهیزات، مدارک مورد تایید و مستند سازی.

بنابراین هدف این کتاب نشان دادن یک نمونه روش بازرسی مطلوب است. الزامات قراردادها متفاوت هستند ولی خوشبختانه هسته اصلی فعالیتهای مهندسی به طور منطقی مشخص است و خیلی تغییر نمی کند.

علیرغم اینکه ممکن است تصور شود که تدوین و اجرای بازرسی ها کار پیچیده ای نیست، ولی بعضی اوقات پیچیدگی هایی پیش می‌آید. توجه شود که در تدوین و اجرای برنامه‌های بازرسی بخش‌های مختلفی باید به توافق و اجماع برسند. در پروژه های بزرگ پنج یا شش طرف باید با هم به توافق برسند. این طرفها بهره‌بردار و یا مشتری مهندس مشاور و یا طراح، پیمانکار اصلی، سازنده (و پیمانکاران فرعی)، و معمولاً بازرس مستقل (third party) می‌باشند. به عنوان یک بازرس شما باید متوجه جنبه های موقعیتی هر پروژه باشید تا کارتان موثر واقع شود.



در فصل دوم این کتاب رویکرد کلی به موضوع و تاکتیکهای پایه معرفی شده است. اگر فقط شما به بخشهای فنی کتاب اکتفا کنید و به فصل دوم توجه ننمایید، شما تصویری ناقص از فعالیت‌های بازرسی را برای خود فراهم نموده اید.

## موارد عدم انطباق (و اقدامات اصلاحی)

به عنوان یک بازرس وظیفه رد یا قبول محصول یا دستگاه با شماست. در صورت رد کردن یک وسیله چه اتفاقی می‌افتد؟ قبل از پاسخ دادن به این سوال شما باید بدانید که موارد عدم انطباق در چه مواقعی معمولاً رخ می‌دهند. هر تجهیز دارای ویژگی های خاص خود می‌باشد و متغیرهای زیادی وجود دارد که بر کارکرد هر تجهیز اثر می‌گذارد. وجود تجربه در این زمینه می‌تواند بسیار مفید باشد. نکات زیر اساساً درست هستند:

- مسایل مربوط به FFP محصولات کم و بیش قابل پیش بینی تکرار می‌شوند.
- فقط تعداد محدودی از مشکلات در بیش از ۸۰ درصد تجهیزات دلیل مردود شدن تجهیزات را تشکیل می‌دهند.

هدف این کتاب کمک به شما در فهم موارد رایج عدم انطباق است. یکی از مسایل نزدیک به عدم انطباق، اقدامات اصلاحی می‌باشد که یک بخش حیاتی در بازرسی است و این کتاب به اینگونه اقدامات نیز اشاره شده است.

## گزارش‌دادن

فصل ۱۵ بطور کامل به نحوه گزارش دادن اختصاص دارد، زیرا مشتری یا صاحب کار در ازای آن به شما پرداخت می کند. در فصل ۱۵ همچنین نحوه طراحی و نوشتن جملات و گزاره های منطقی و دستمزد پرداخت می کند. در نهایت یک نمونه گزارش نیز آورده شده است که می‌توانید آنرا به عنوان مدل اصلی فنی بیان شده است. در نهایت یک نمونه گزارش نیز آورده شده است که می‌توانید آنرا به عنوان مدل اصلی استفاده کرده و یا براساس مدل خود یا سازمانی خاص تغییر دهید.

## خلاصه نکات کلیدی

در آخر هر فصل، خلاصه ای از نکات کلیدی ذکر شده که دسترسی سریعی به محتوای هر فصل فراهم می‌کند. این نکات راهنمای خوبی برای معیار FFP مربوط به تجهیزات هستند.

توجه داشته باشید که اگرچه انجام بازرسی صحیح خیلی مشکل نیست اما غلط انجام دادن آن اصلاً مشکل نیست. بنابراین بهتر است از اولین مرحله شروع کنیم: اهداف و تدابیر.

فصل ۳

# اهداف و تدابیر

کار بازرسی مستلزم ارزیابی تجهیزات برای تطابق با معیارهای مناسب بودن برای منظور (FFP) است. برای انجام این کار باید موارد درست را در زمان درست بازرسی کنید، سپس باید از هدف خود آگاه باشید و درک درستی از آنچه اتفاق می‌افتد داشته باشید.

## صنعت بازرسی

بطور ایده‌آل نباید نیازی به بازرسی در صنعت باشد ولی قوانین تجاری نیاز به آنرا دیکته می‌کنند. در کشورهای صنعتی معمولاً طراحی و ساخت هر یک توسط گروه خاصی انجام می‌شوند. این باعث انتقال مسئولیت‌هایی به سازنده می‌شود که در صورت نیاز به تکمیل طراحی، آنرا گزارش دهد. خریدار نیز باید تجهیزات را کنترل کند. بنابراین بازرسی وسیله ای مطمئن برای اطمینان خریدار از کارکرد تجهیزات است. پروژه های بزرگ چند بعدی مانند نیروگاهها، تاسیسات فراوری شیمیایی و سکوهای فراساحلی بیشترین موقعیت را برای درک بازرسی ایجاد می‌نمایند. به دلیل پیچیدگی طراحی و ساخت، این پروژه ها معمولاً تعدادی مشاور، پیمانکارهای اصلی و چند صد سازنده اصلی و فرعی دارند. در ساختار این پروژه ها در چندین مرحله فعالیتهای بازرسی وجود دارد. صاحب کار یا استفاده کننده درگیر کارهای بازرسی می‌باشد. همچنین مشاوران طراحی/ مهندسی (معمولاً نماینده کارفرما)، پیمانکار اصلی، برخی از سازندگان، شرکتهای بازرسی مستقل (third party) و یا مراجع قانونی نیز در مقام کنترل می باشند.

نقش هر کدام از طرفهای نامبرده در صنایع و پروژه های مختلف فرق می‌کند و نمی توان یک مدل کامل ارائه کرد ولی برخی ویژگیها ثابت است و تغییر نمی کند که به دو تا از آنها اشاره می‌کنیم. اولین ویژگی این است که صنایع بزرگ و اصلی نمی خواهند فعالیتهای هر یک از این قسمتها تغییر کند. موقعیت هر یک توسط روابط و زنجیره هایی که کار را سر پا نگه می دارند، حفظ می‌شود. با کمی تجربه و تمرکز روی اهداف هر یک از طرفها می‌توان فهمید که هر یک از طرفها چگونه در بازرسی عمل می‌کند. دوماً باید توجه داشته باشید که:

« تمام بازرس‌ها به‌دنبال یک چیز می‌گردند».

می توان انتظار داشت که کانون توجه، و روش‌های کاری طرف‌های مختلف تفاوت‌هایی داشته باشد، اما هنوز اهداف فنی آنان با هم مشترک است. وجود اهداف فنی مشترک باعث می‌شود که برای مسائلی که قطعاً در مسیر بازرسی به آنان برخورد می‌شود راه‌حل‌هایی وجود داشته باشد. اما آنچه که باید به دنبال آن بود، دستیابی به «موثرترین راه حل» می‌باشد.

## مناسب‌بودن برای منظور (FFP)

مسئولیتهای بازرس شامل تصمیم گیری درباره FFP نیز می‌شود. بازرس هم مسئولیت قضاوت و تصمیم گیری و هم مسئولیت اعمال قانون را دارد. این کار سنگینی است و باید آنرا شفاف نمود. FFP درباره سودمندی و مفید بودن (یک وسیله) و چهار عنصر اصلی در آن نقش دارند.

### عنصر اول: عملکرد و وظیفه

وظیفه یا عملکرد کاری است که تجهیزات انجام می دهند. آیا تجهیزات می‌توانند کاری را که از آنها انتظار می‌رود انجام دهند؟ مهمتر اینکه آیا می‌توانند وظیفه شان را بدون استفاده از هزینه یا وقت اضافی انجام دهند؟ وظیفه تجهیزات مکانیکی این است که ورودی ها را به خروجی تبدیل کنند. به عنوان مثال یک توربین گازی سوخت ورودی را به انرژی (و البته مقداری گرمای تلف شده) تبدیل می‌کند. یا یک جرثقیل انرژی الکتریکی را به قابلیت بلند کردن و انتقال اجسام تبدیل می‌کند. با توجه به تبدیلی که اتفاق می‌افتد می توان عملکرد تجهیزات و قابلیت آنها را درک کرد.

البته وظیفه یک تجهیز بطور کاملاً دقیق مشخص نیست و باید به نقش آن در سیستم نیز توجه نمود. همچنین قیمت یک تجهیز، وظیفه ای که از آن انتظار می‌رود را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. این نکته به روشن تر شدن مفهوم FFP نیز کمک می‌کند.

### عنصر دوم: کارایی مکانیکی

این عنصر درباره استحکام مکانیکی وسیله است، آنرا با عملکرد اشتباه نگیرید. یک وسیله و اجزای آن باید در هنگام استفاده در زیر استحکام تسلیم خود و با ضریب ایمنی مناسب کار کنند. این مساله مهمی است که غالباً نادیده گرفته می‌شود. شما باید استحکام مکانیکی اجزا را نسبت به مکانیزم تخریب محتمل آنها بررسی کنید. به عنوان مثال هنگامی که مکانیزم تخریب یک مخزن تحت فشار، خزش و خستگی است محاسبه تنشهای اصلی استاتیک ($\delta_x$, $\delta_y$, $\delta_z$) کاربرد چندانی ندارد. البته محاسبه تنشهای اصلی در فرایند طراحی باید انجام شود و همیشه انجام می شود ولی شما باید بر محدودیتهای این ارزیابی ها برای درک بهتر معیار FFP آگاه باشید. تجربه نیز در فهم اینکه اشیا از چه طریقی دچار خرابی می‌شوند به شما کمک می‌کند. سپس با توجه به این مکانیزم می توان استحکام مکانیکی را به صورت عینی تر ارزیابی کرد. کدها و استانداردها محدودیتهایی برای بارگذاری بر روی قطعات و اجزا و ضرایب ایمنی دارند که باید رعایت شوند.

### عنصر سوم: عمر کارکرد

طول زمانی که یک قطعه یا وسیله دوام می‌آورد یک فاکتور مهم است. عوامل مهندسی که بر عمر کارکرد تاثیر می‌گذارند دو دسته هستند: سایش و خوردگی.

تقریباً تمام اشیا سایيده می‌شوند ولی در قطعات در حال حرکت مانند بلبرینگ ها، دنده ها (چرخدنده‌ها) پیستونها، درزگیرها (seals) و هر جای دیگر که دو قطعه نسبت به هم حرکت می کنند بیشتر است. بازرسان می‌توانند مواد، تلورانس ها و سوار کردن قطعات متحرک را ارزیابی کرده و شرایط



غیرقابل قبول نرخ سایش زیاد را تشخیص دهند. این مرحله ای است که باید به نقشه های سازنده استناد کنید زیرا به عنوان بازرس معمولاً امکان دسترسی نزدیک به طراحی دستگاه نیست. حتی برای یک قطعه ساده فرایند طراحی پیچیده تر از آنست که ممکن است به نظر برسد. در این زمینه قوانین نانوشته، دانش تجربی و مهارت های اکتسابی می‌توانند مفید باشند. بنابراین باید در ابتدا بیشتر بر روی مواد، تلورانسها و مونتاژ قطعات متمرکز شوید.

خوردگی نیز یک پدیده فراگیر است، زیرا مصنوعات ساخته بشر تمایل دارند به حالت خود در طبیعت برگردند. رنگ زدن و پوشش دهی برای کاهش اثر خوردگی بکار می‌رود. بنابراین میزان حفاظت از خوردگی یک عنصر مهم در FFP است، بویژه وقتی مواد مقاومت به خوردگی ذاتی بالایی نداشته باشند. در فصل‌های۱۳ و ۱۴ بیشتر به این موضوع می‌پردازیم.

### عنصر چهارم: کیفیت

در این کتاب سعی شده است تا از واژه کیفیت استفاده نشود و تنها در موارد معدودی شما این عبارت را در کتاب می‌بینید. در زمینه اطمینان از کیفیت کتابهای عالی و معتبری وجود دارد.

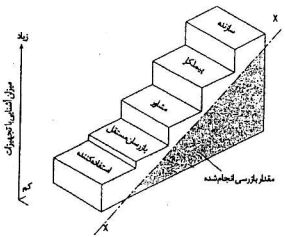
## استراتژی

اگر FFP هدف و منظور یک خریدار است، استراتژی برنامه گسترده برای رسیدن به آن می‌باشد. استراتژی‌های بازرسی می‌توانند شکل های مختلفی به خود بگیرند و شامل بخشهای واضح و بخشهای ضمنی و تلویحی باشند. به عنوان یک قانون کلی همه چیز از نیازمندی های صاحب کار یا استفاده کننده ناشی می‌شود. الزامات قرارداد که در اولویت هستند، ساختار و اسکلت فعالیت های بازرسی که در طول پروژه انجام می‌شود را تشکیل می‌دهند.

تجربه نشان می‌دهد که استراتژی استفاده کننده های نهایی برای دستیابی به FFP معمولاً دو عنصر اصلی را نشان می‌دهد. اول این که آنها می‌خواهند با ریسک های فنی کمتر سر و کار داشته باشند. از این طریق که آنها را به عهده مشاور، پیمانکار اصلی و یا بازرس مستقل (third party) بگذارند. سپس سعی می‌کنند تا یک چهارچوب برای فعالیتها و مسئولیتهای بازرسی برای شناسایی و حل مشکلات (و نه تولید مشکلات جدید) تعیین کنند. هر دوی این فعالیتها باعث بروز دوباره کاری در بعضی زمینه ها می‌شود. دوباره کاری یکی از ایرادات صنعت بازرسی می‌باشد و در سالهای اخیر تلاشهایی برای کاهش آن صورت گرفته است، با استفاده از سازندگان تایید شده توسط بازرسان مستقل، لیست فروشندگان مجاز و غیره. اما قوانین تجارت معمولاً وجود دوباره کاری ها در فعالیت‌های بازرسی راعملاً دیکته می‌کند. پس ما باید وجود دوباره کاری در بازرسی ها را بپذیریم و حتی برای آن برنامه ریزی داشته باشیم.

در پروژه های بزرگ معمولاً تامین تجهیزات بین چندین گروه تقسیم می‌شود که این گروهها در سطوح متفاوتی از دانش قرار دارند. شکل ۲-۱ موقعیت کلی را نشان می‌دهد. بنابراین دانش لازم برای دستیابی به FFP تقسیم شده و تمام بخش‌ها در آن نقش دارند.

استراتژی های ساده معمولاً بهترین هستند. از نظر مدیران استراتژی بازرسی می توان گفت که خط X/X (شکل ۲-۱) تقسیم بندی اصلی مسئولیتهای بازرسی را نشان می‌دهد و ناحیه زیر آن نمایانگر میزان




شکل ۲ـ۱ راهنمای مسئولیتهای بازرسی

بازرسی های انجام شده است. بدون شک منحنی وابسته به نوع قرارداد نیز می‌باشد ولی اکنون مدلی برای فهم آن در دست داریم. به میزان نسبی بازرسی که توسط بخشهای مختلف انجام می‌شود (محور عمودی) توجه کنید. از همین اینجا می‌توان نمونه ای از میزان ساعت کار بازرسی و مستند سازی و کارهای اداری پیدا کرد.

در شکل ۲-۲ نقطه Z مفیدترین میزان بازرسی را نشان می‌دهد که مورد نظر ماست . در نقاط دیگر موجود در دو طرف نقطه Z در محور افقی ریسک واقعی FFP (احتمال دست نیافتن به FFP) بیشتر است. اگر میزان بازرسی بسیار کم باشد بسیاری از مشکلات و عیوب تشخیص داده نمی شوند. بازرسی های خیلی زیاد نیز منجر به تولید بحث ها و مسایل زیادی می‌شود که مشکلات را بغرنج تر و تصمیم گیری را سخت‌تر می‌کند و نیاز به صرف منابع بیشتری دارد. بنابراین میزان بهینه و موثر بازرسی (نقطه Z) را در نظر داشته باشید و از بازرسی های خیلی کم یا خیلی زیاد بپرهیزید.

## توسعه یک رویکرد تاکتیکی

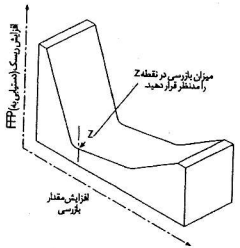
مهم است که تاکتیک و استراتژی از یکدیگر متمایز شوند. استراتژی تصویری بزرگ از امور بازرسی را فراهم می‌آورد. حال به چهار عامل تعیین کننده تاکتیک توجه نمایید:

### اطلاعات: آنچه لازم است بدانید

برای انجام بازرسی و مدیریت موقعیت و دستیابی به بهترین راه‌حل شما نیاز به اطلاعات صحیح دارید. غالباً دسترسی به تمام اطلاعات فنی مربوط به یک وسیله ممکن نیست ولی شما اساساً به موارد زیر نیاز دارید:

- مشخصات فنی وسیله
- معیارهای پذیرش و / یا گارانتی
- مدارک مربوطه (کدها ، استانداردها، و غیره)






شکل ۲ـ۲ مقدار بازرسی مؤثر

علاوه بر نیاز به این سه دسته اطلاعات اصلی، باید در زمینه دانش پس زمینه که به فهم بهتر مباحث فنی و برخورد با تضادهای احتمالی کمک می کند تفکر کنید. در حقیقت این اطلاعات صلاحیت‌دهنده می‌باشد. به عبارت دیگر برای دستیابی به این اطلاعات مفید باید بدانید چگونه درباره فعالیت‌های بازرسی بیندیشید:

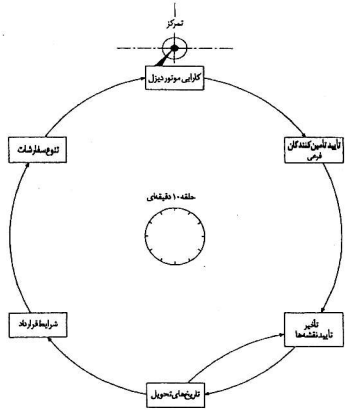
- کدام یک از بحث‌های فنی احتمالاً اتفاق می افتد؟
- زمینه‌های بروز آنها چه می باشد؟
- معیارهای ضمنی (ناواضح) FFP در مشخصات فنی کدامند؟

سه دسته اطلاعات فوق با پشتیبانی اطلاعات بوسیله افراد دارای صلاحیت راه را برای رسیدن به اجماع نظر در بازرسی فراهم می آورند.. بازرسی بدون داشتن همه اطلاعات لزوماً غلط نیست ( شرط لازم برای بازرسی اینست که بدانید چه باید بپرسید) زیرا سایر بخشها ممکن است قادر به کمک به شما باشند. اگرچه ممکن است اینگونه نباشد و اطلاعات لازم به شما نرسد. اما اگر بدون زمینه قبلی وارد یک مرحله بازرسی بشوید احتمال از دست رفتن اعتبار شما وجود خواهد داشت.

### تمرکز

تمرکز یعنی توجه خود را معطوف اولویت ها کنید. بخشهای مختلف ممکن است هر کدام بر روی اتفاقات متفاوتی تمرکز داشته باشند اگر چه هدف همه آنها یکسان است. در حقیقت به احتمال زیاد هر بخش مرکز توجه متفاوتی خواهد داشت و این می تواند باعث تاخیر زمانی و هزینه اضافی شود. بازرسی خوب مستلزم مدیریت کردن این تمرکز های مختلف و در نهایت دستیابی به اجماع نظر است.

به یک نمونه توجه کنید. در بازرسی یک وسیله مانند موتور دیزل، ارزیابی FFP بدلیل تاثیر متقابل اختلافات فنی که در بخشهای مختلف وجود دارد پیچیده است. این اختلافات به آهستگی شروع می شوند




**شکل ۲-۳ تمرکز روی FFP**

ولی در طول بازرسی و در موقعیتهای مختلف افزایش می یابند. قابلیت ردیابی مواد (traceability)، تکنیکهای انجام تست، مهارت، رنگ آمیزی و بسته بندی، مشخصات جوش و غیره از مباحث جانبی به شمار می آیند. مباحث تجاری و تفسیرها باعث پیچیده شدن مساله می شود. تحت این شرایط مباحث جانبی می توانند تمرکز شما را بر روی FFP برهم بزنند. مباحث جانبی جذاب ترند و بحث در باره آنها نسبت به FFP ساده تر است و شما باید از آن دوری کنید. قانون ساده ای در این زمینه وجود دارد:

- بر روی FFP بیشتر تمرکز کنید
- دوباره به معیارهای FFP رجوع کنید

این یک حلقه است و می توان آنرا به صورت یک حلقه ده دقیقه ای نشان داد. این بدان معنی است که شما می توانید به سایر مباحث رسیدگی کنید ولی هر ده دقیقه یکبار بر روی FFP تمرکز کنید. شکل ۲-۳ مثالی از حلقه تمرکز را نشان می دهد.

## پرسیدن و گوش‌دادن

فعالیت های بازرسی بیشتر مانند تحقیق هستند تا محاکمه. نتیجه بازرسی هرچه باشد، بخشهای مختلف نه گناهکارند نه بیگناه و همین حالت نیز حفظ خواهد شد. بازرسی درباره سوال کردن در مورد فعالیتها و دانش فنی پیمانکارها و سازنده می باشد و فعالیت پر تنشی برای تمام بخشهاست. بازرسها بهتر است به دنبال حقیقت باشند و رفتار مغرورانه، مقتدرانه و یا حتی عذرخواهانه نداشته باشند. بهترین رویکرد صداقت است، علی رغم اینکه ممکن است مواقعی خیلی سخت باشد.

یک روش خوب برای سوال کردن در همه موقعیتهای بازرسی، سوال کردن زنجیره ای است که راه مناسبی برای رسیدن به واقعیت است. این روش مستلزم صرف زمان بیشتر (حدود ۸۰ درصد زمانی که صرف صحبت کردن می کنید) به سوال کردن و نه به مشکوک شدن و برخورد (که البته آنهم جای خود را دارد) بگذرد. درستی سوال بسیار مهم است. سوالها باید دو ویژگی مهم داشته باشند. اول این که آنها باید به وسیله سازندگان یا پیمانکاران قابل پاسخگویی بصورت عینی باشند. سازندگان آنچه را به شما می گویند اثبات کرده و شواهد لازم را ارائه کنند. دوم این که پرسشها زنجیره ای باشند، هر کدام از آنها به دنبال سوال قبلی بوده و بصورت پیشرونده به دقت و شفافیت بیشتری درباره یک موضوع برسند نه این که از یک موضوع به موضوع دیگر تغییر کنند. توجه داشته باشید که شما قبل از پرسیدن سؤال بعدی تاییدی بر پاسخ قبل بدست آورید در غیر این صورت به پاسخهای فرضی و غیر صحیحی می رسید و زنجیره سؤالات نیز قطع خواهند شد. در بیشتر موقعیتها مجموعه ای از سوالات باز و بسته بهترین نتیجه را خواهند داد.

توجه کنید که در یک تحقیق شما به سوالی که خود مطرح کرده اید نباید پاسخ دهید حتی شروع به پاسخ دادن به سوال خود نکنید، فقط صبر کنید. با سکوت به آهستگی به پاسخ خواهید رسید.

## تصمیم گیری

تصمیم‌گیری یکی از کارهایی است که شما باید در طول بازرسی انجام دهید. بازرسی فرایند داوری و قضاوت است و «شما تصمیم گیرنده اصلی هستید».

جای خوشبختی است که اکثر تصمیم گیری ها بر اساس موضوعات فنی است. تمام تصمیم ها یک انتخاب ساده پذیرفتن یا رد کردن نیستند، برخی از آنها مستلزم تصمیم گیری درباره اقدام اصلاحی است که باید انجام شود. طریقه‌ای که شما تصمیم خود را بیان می کنید بسیار اهمیت دارد. سعی کنید تصمیم خود را به صورت کامل، واضح ولی در جملات ساده بگویید بصورتی که همه منظور شمارا بفهمند.

یکی از اشتباهات در تصمیم گیری این است که تصمیمات مشروط به چیزی شود که قرار است در آینده اتفاق بیافتد، مثلاً اگر سازنده این کار را انجام دهد تجهیزممکن است قابل پذیرش شود. این از نقطه نظر بازرس یک کار مخاطره آمیز می باشد. وقتی محل را ترک کنید دیگر قادر به تاثیر گذاشتن نخواهید بود. بنابراین بهتر است وقتی در محل هستید تصمیم گیری کنید. البته می توانید با سایر بازرسان و مدیران در این مورد مشاوره نمایید ولی بهتر است تصمیم گیری را به آنان مشروط و معطوف ننمایید.

شما باید تصمیمات خود را به سایر بخشها منتقل کنید. که تنها راه منطقی آن نیز نوشتن است (به فصل ۱۵ مراجعه کنید). توافق‌های زبانی به‌راحتی دچار کج‌فهمی می‌شوند. بنابراین تمام تصمیمات را بنویسید.

توجه داشته باشید که توافقات قرارداد و پروتکل بر روی نحوه انجام تصمیمات موثر هستند. شما باید تصمیم گیری کنید ولی لزوماً نباید به تنهایی آنها را تحقق ببخشید. مثلاً به عنوان بازرس (نماینده کارفرما)، شما احتمالاً با سازنده تماس مستقیم ندارید بلکه باید تصمیمات خود را به پیمانکار اصلی منتقل کرده تا جهت انجام به سازنده انتقال یابد، چون کارفرما با سازنده قرارداد مستقیم ندارد بلکه این پیمانکار اصلی است که با سازنده (پیمانکار فرعی) قرارداد دارد.

## انتهای کار

در آخر بازرسی اتفاقاتی شروع به رخ دادن می نمایند. در این نقطه تصمیمات و ایده هایی که در طول بازرسی توسط بخشهای مختلف گرفته شده است و هم چنین فعالیتهای عقب افتاده ضروری به اجرا گذاشته می شود. بازرسی موثر به معنی طراحی دقیق برای این پایان کار، فهم مکانیزمها و استفاده از آنها به بهترین وجه می با شد. بهترین مکانیزمهای موجود دو دسته هستند: گزارش عدم انطباق ها (NCRs)[1] و اقدامات اصلاحی (CAs)[2] می باشد.

## گزارش عدم انطباق‌ها (NCRs)

هدف از گزارش عدم انطباق، بیانیه ای درباره مناسب بودن برای منظور (FFP) وسیله ای است که بازرسی می شود. توجه کنید که هدف NCR رد کردن دستگاه نیست. رد کردن دستگاه به طور رسمی (صریح) بسیار مشکل است بلکه بهتر است بگویید که این دستگاه با سفارش خریدار، قرارداد یا موارد قانونی سازگار نیست.

شما ممکن است بگویید که چطور یک بازرس می تواند یک تجهیز را قبول نماید ولی نمی تواند آنرا رد کند؟ ما می توانیم روی این موضوع بحث و تحقیق نماییم ولی برای این کار لازم است غرق در نکات حقوقی و مسئولیتهای قانونی سازمانهای درگیر شویم. اما واقعاً بحثهای حقوقی خودش موضوعی است جداگانه. بهتر است که ما حالت رد یا قبول تجهیز را کنار گذاشته و متوجه باشیم که اصولاً بازرس برای چه کاری در پروژه حضور دارد. قبلاً به موضوع اشاراتی داشته‌ایم:

- شما در پروژه حضور دارید تا رسیدن به اجماع طرف‌های مختلف در مورد مناسب بودن تجهیز را تسهیل نمایید.
- گزارش عدم انطباق وسیله ای است برای رسیدن به هدف فوق.

شکل ۲-۴، ده قانون ساده پیشنهادی در مورد گزارش عدم انطباق (NCR) را ارئه می کند. در فصل ۱۵ کتاب نمونه های مناسبی ارائه شده اند. مرحله بعدی مربوط کردن (NCR) به اقدامات اصلاحی (CAs) است. پیامی که در این فصل بیان شده است رابطه نزدیک این دو است (NCR و CA). این دو فعالیت باید با هم یکپارچگی و اتصال داشته باشند.

## اقدامات اصلاحی (CAs)

پیدا کردن عیب در دستگاه از درست کردن آن ساده تر است. بنابراین عملی کردن اقدامات اصلاحی مشکل است. هدف اقدامات اصلاحی این است که دستگاه را با معیارهای FFP تنظیم کنیم. چهار مرحله عملی برای اجرا کردن اقدامات اصلاحی وجود دارد (به شکل ۲ ـ۵ رجوع کنید).

1- Non Conformance Reports
2 - Corrective Actions



**ده قانون ساده**

۱. دستگاه را به طور دقیق مشخص کنید (شماره سریال و غیره) تا هیچ ابهامی باقی نماند.
۲. بررسی های فنی انجام دهید ولی تفسیر کلی نکنید.
۳. آنچه دیده اید را به خاطر داشته باشید.
٤. در بکاربردن واژه ها دقت کنید تا منظور شما به درستی منتقل شود.
۵. به بندها و جملات استانداردها و مشخصات فنی ارجاع دهید.
۶. بگویید که چرا تجهیز انطباق ندارد.
۷. به سازنده (یا پیمانکار) فرصت دهید تا توضیحاتش را اضافه کند.
۸. عجله نکنید. عدم انطباق ها را به طور ناگهانی و عجولانه مطرح نکنید.
۹. موارد عدم انطباق را هنگام بازدید بیان کنید نه بعد از ترک محل کار.
۱۰. یادداشت‌های شخصی داشته باشید بصورتی که بعداً بتوانید از آنان استفاده کنید.

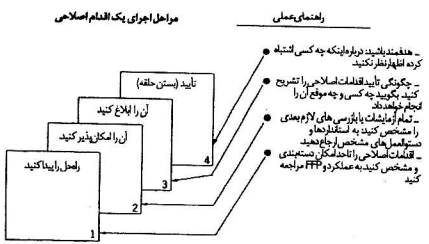
شکل ۲ـ۴ گزارش عدم انطباق‌ها

- *پیداکردن یک راه حل*

شما نه تنها باید راه حل فنی را پیدا کنید بلکه باید به آن دست پیدا کنید. بهترین راه مسیر برگشت به سوالهای زنجیره ای است که قبلاً توضیح داده شد. اگر سوالات را به دقت انتخاب کنید به راه‌حل دست می یابید. کاری که از آن باید اجتناب کنید مطرح کردن سوالات مبهم است بلکه سوالات باید واضح و خلاصه باشند.

- *اجرای راه‌حل را امکان‌پذیر کنید*

راه‌حل هرچه که باشد، کسی برای اجرای آن باید هزینه کند. تجربه نشان میدهد که هرچه اقدامات




شکل ۲ـ۵ اقدامات اصلاحی

اصلاحی سنگین تر به نظر برسد، مباحثه و جدل بر سر اینکه چه کسی باید آنرا پرداخت کند بیشتر می‌شود. یک راه غلبه براین مشکل اعمال فشار برای انجام سریع اقدامات اصلاحی است. اگر یک تست اضافی یا تکراری باید انجام شود آنرا هنگامی که همه بخشها در محل هستند یا در ابتدای روز بعد انجام دهید. این بهترین راه برای انجام کارها بدون تلف کردن وقت و هزینه است.

• *ابلاغ راه حل*

موثرترین راه برای شروع اقدامات اصلاحی بین بخشها باید انتخاب شود. شما باید تصمیم خود را توسط دیگران به اجرا بگذارید. لذا ارتباط قراردادی بین بخشها معمولاً بهترین مسیر برای انتقال اقدامات اصلاحی می باشد (به عنوان مثال میان پیمانکار اصلی و سازنده). شما گزارشات خود را ارائه دهید و سپس بودن درگیر شدن بگذارید که بخشهایی که با هم قرارداد دارند به اقدامات برسند.

• *بستن حلقه*

مسئله مهم در اینجا تایید است. با مطرح کردن عدم انطباقها و اقدامات اصلاحی کار بازرسی تمام نمی شود. یکی از اشکالات بازرسی این است که غالباً تایید نشده باقی می ماند.

نتیجه این خواهد شد که سازنده خود را متعهد به انجام اقدامات اصلاحی در خارج از کارگاه ساخت ندانسته و عبارت معمول «در سایت انجام خواهد شد» را تحویل خواهد داد. در عمل اینکار باعث خواهد شد که مشکل حل نشود و به جای دیگر منتقل گردد، جایی که رفع آن پرهزینه تر از اول خواهد بود.

در حقیقت شما باید راهی برای تایید این که اقدامات اصلاحی انجام شده بیابید. اگر کار تایید را انجام ندهید بازرسی ضعیفی انجام داده اید. بستن حلقه یعنی این که کار را به پایان برسانید. در حقیقت صاحب کار می خواهد برای حل مشکلاتش بازرس استخدام کند و در پایان از انجام آن مطمئن باشد. «بازرسی فقط وقتی موثر است که کار به پایان برسد».

## «نه» گفتن

برخی اوقات نادر، علی رغم آنچه همه اعلام می دارند که کار خوبی اجرا شده است، آن تجهیزی که بازرسی کرده ایدمناسب کار نمی باشد و اصلاح آن فوق العاده پرهزینه و وقت گیر است. در این شرایط باید لحظه مناسب برای اعلام عدم انطباق را آگاهانه انتخاب کنید، چون بلافاصله پس از اعلام عدم انطباق (NCR) شما را تحت فشار قرار خواهند داد تا تصمیم خود را عوض نمایید. شما باید این موضوع را پیش بینی نموده و بدانید که فشارها با گذشت زمان اضافه خواهند شد به خصوص با درک اینکه متعاقب این تصمیم شما چه هزینه های اضافی بر سازنده تحمیل خواهد شد.

منتظر انتقاد باشید. ممکن است شما را در بخشهای تخصصی به نداشتن دانش، مقرراتی یا حتی غیر منطقی بودن متهم کنند. زیر سوال بردن شما در زمینه دانش فنی نیز معمولاً اتفاق می افتد. در اینجا وقت آن نیست که بحثهای فنی را پیش بکشید، شما باید قبلاً آنرا مطرح کرده باشید. بنابراین روی FFP و تصمیم خود (از روی یادداشتها) تمرکز کنید.

روی حرف خود بایستید و نه بگویید. کلمات شما باید منظور شما را برسانند و مطمئن شوید هر کسی در محل بازرسی تصمیم شما را به خوبی فهمیده باشد.



هیچکس نمی خواسته که اینطور شود. نباید تصور گردد که با مردود شدن تجهیز عملاً سازنده، پیمانکار اصلی یا هر دو، یا سیستم دچار شکست شده اند. اما اگر این حالت را شکست بدانیم، به عنوان بازرس شما هم جزیی از آن هستید، به خاطر اینکه هدف از حضور شما اطمینان از مناسب بودن (FFP) تجهیز بوده است و شما موفق نشده اید که به این هدف دست یابید. پس تصور ننمایید که شما فقط یک گزارش دهنده می باشید و نه چیز دیگر. پس این سوال باید برای ما هم مطرح باشد که چگونه می توانیم از بروز این وضعیت پیشگیری نماییم؟

شما باید با مشخصه های فنی، استانداردها و برنامه های محکم و مطمئن کار را آغاز کنید.

## خلاصه نکات کلیدی، اهداف و تاکتیک‌ها

### اهداف

۱. هدف بازرسی اطمینان خریدار است.
۲. چندین بخش (گروه) در کار دخالت دارند (به دلیل قوانین تجاری)
۳. اساساً همه بازرس‌ها به دنبال یک چیز می گردند اگر چه ممکن است نقطه تمرکزشان متفاوت باشد.
۴. بازرسی درباره تشخیص مناسب بودن برای منظور (FFP) وسیله است. چهار عنصر اصلی FFP عبارتند از:

- عملکرد (آیا وسیله کارش را انجام می دهد؟)
- کارایی مکانیکی (آیا وسیله به حد کافی مستحکم است؟)
- عمر سرویس (وسیله چقدر دوام می آورد؟)
- کیفیت

### استراتژی

۵. استراتژی بازرسی توسط خریدار یا استفاده کننده نهایی تعیین می شود. دوباره کاری ها در بازرسی اجتناب ناپذیر است که باید برای آن برنامه ریزی کنید. بازرسی های خیلی زیاد یا خیلی کم هردو مضر هستند. سعی کنید استراتژی که در پس کار شما قرار دارد را درک کنید.

### تاکتیک‌ها

۶. یک رویکرد تاکتیکی داشته باشید. این کار به مفیدتر بودن و افزایش کسب و کار شما کمک می‌کند. عناصر تاکتیکی عبارتند از:

- مدیریت اطلاعات: از دستیابی به اطلاعات لازم مطمئن باشید و بدون آنها سر کار نروید.
- تمرکز: به معیارها و اولویتهای FFP توجه کنید. از سیکل ده دقیقه ای برگشت به FFP استفاده کنید.
- پرسیدن و گوش دادن: به پرسش ادامه دهید. تکنیک سوالهای زنجیره ای مفید است.
- تصمیم گیری: مهمترین تصمیم گیرنده شمایید. با استفاده از مفاد قراردادی تصمیم خود را به مرحله اجرا درآورید.

### انتهای کار

۷. برای انتهای کار برنامه ریزی داشته باشید. گزارش عدم انطباق ها و فعالیت‌های اصلاحی به هم وابسته‌اند. باید همه به توافق برسند. از به پایان رسیدن کار و تعیین تکلیف عدم انطباق‌ها مطمئن شوید. انتظار مورد سوال و انتقاد واقع شدن را داشته باشید.

فصل ۳

# مشخصات فنی، استانداردها و طرح‌ها

قرارداد، ساختاری را برای کارکردن فراهم می کند؛ شما باید بفهمید قرارداد چه می گوید، سپس قضاوت خود را بکار گیرید. اگر هدف نهایی بازرسی تایید FFP است، می توان گفت مشخصات قراردادی راه توضیح مکتوب آن (و البته خلاصه) است. خریداران کارخانه به طور فزاینده از مشخصاتی فنی کلید در دست (Turnkey) استفاده می کنند و بدین وسیله سعی می کنند تا نتیجه قابل پیش بینی بدست آورند یعنی همان تاسیسات و تجهیزاتی که انتظار دارند. در نتیجه بازرسان فقط با یک مجموعه اصلی از الزامات الزامات مکتوب و پایه سروکار دارند . در این شرایط است که استانداردهای فنی ، تجربه و قضاوت جایگاه خود را خواهند یافت.

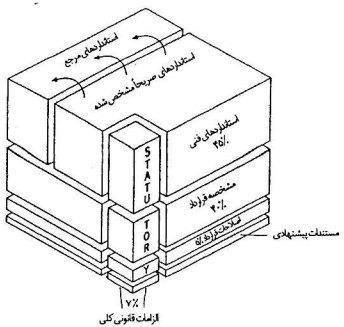
توصیه می شود که ذهنیت منفی نسبت به شرایط فوق در خود ایجاد نکنید، به خاطر اینکه واقعاً منطقی برای این جبهه گیری وجود ندارد. اگر شما واقعاً یک مطالعه دقیق و نسبتاً مستقل نسبت به اختلاف میان نقش بازرسی در حالتی که مشخصاتی فنی دقیق در قرارداد حاکم گشته اند، و حالتی که مشخصات بصورت کلید در دست بیان شده اند (مثلا برای یک نیروگاه) انجام دهید، خواهید دید که واقعاً تفاوتهای چندان اساسی در فعالیتهای بازرسی وجود نخواهد داشت. تنها می توان گفت که این در دو حالت بصورتهای متفاوتی بیان شده اند.

توصیه می شود این دیدگاه را قبول ننمایید که در قراردادهای کلید در دست فعالیتهای بازرسی دارای اهمیت کمتری می باشند، چون پیمانکار تمامی مسئولیت‌ها را به عهده می گیرد. این دیدگاه بیشتر حاصل یک سو برداشت می باشد- سعی کنید مشخصاتی قرارداد را، اگرچه خیلی خلاصه و مختصر باشد بعنوان اساس و پایه بازرسیهای خود ببینید.

علی رغم گفته های فوق، باید اذعان داشت که کار کردن بر پایه یک مجموعه «مشخصات فنی خوب» کار را همیشه ساده می نماید.

نوشتن یک مشخصه خوب ساده نیست. یکی از مشکلات اصلی نبود بازخورد (Feedback) به ویژه از فعالیت‌های کارگاه و سایت است؛ که می‌توانید با در نظر گرفتن آنچه یک مشخصه فنی خوب باید داشته باشد به حل آن کمک کنید. به خودتان بصورت تمرینی مسئولیت بهبود محتوا و وضوح مشخصات قراردادی که با آن سروکار دارید را بدهید. سعی کنید راه بهتری برای توضیح دادن الزامات فنی که دستیابی و تایید FFP را تسهیل می کند بیابید. این یک بازرسی موفق و موثر است. جایگاه و وزن مشخصاتی قرارداد در حیطه و مجموعه اطلاعات فنی که با آن روبرو هستیم چیست؟

در شکل ۳-۱، سعی شده تا این قضیه نشان داده شود. جعبه بزرگ نشان دهنده تمام منابع اطلاعات مربوط به تایید FFP است. شما باید درصدهای ذکر شده را به منزله میزان اهمیت هر یک از قسمت های اطلاعات بگیرید. به دو نکته جالب توجه کنید:




**شکل ۳ـ۱** نسبت استفاده از مستندات در بازرسی‌ها

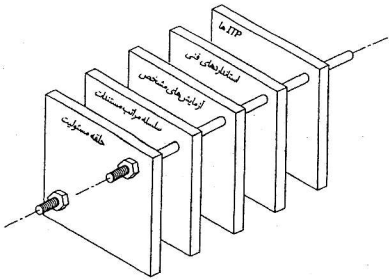
- الزامات قانونی / ایمنی بعنوان یک ورودی مهم (و اغلب نانوشته) در همه بخشها نقش دارد.
- به اهمیت کلی مشخصات قرارداد توجه کنید (حدود پنجاه درصد یا در نظر گرفتن اطلاعات مختلف و توضیحات فنی که با آن همراه می شود). همچنین توجه کنید که بخش اصلی استانداردهای فنی که خود ۴۵ درصد دیگر از وزن منابع اطلاعاتی را دارند، خود به واسطه ارجاع مشخصاتی قراردادی وارد صحنه می شوند.

مشخصات فنی قرارداد تنوع زیادی دارند. خوشبختانه فرمت آنها بیشتر از محتوایشان تغییر می کند. می توانید توقع داشته باشید که محتوای یک مشخصه تایید شده بطور منطقی منسجم و ثابت باشد، حداقل بخاطر اینکه مشخصات قراردادی به ندرت از صفر گردآوری می شوند. معمولاً آنها بر پایه مشخصاتی تدوین شده توسط مشاوران یا بهره برداران قبلی هستند.

آنچه شما باید انجام دهید تعیین نکاتی از الزامات است که مستقیماً به فعالیت بازرسی مربوط می‌شود. پنج دسته از اطلاعات وجود دارند که معمولاً در متن مشخصات قراردادی پخش شده اند.

شکل ۳-۲ این گروه ها را نشان می دهد. توجه کنید که بعید استکه در قرارداد با همین عناوین مشخص شده باشند، پس بهتر است به محتوا توجه کنید نه فقط به عنوان. در این فصل این پنج گروه اطلاعات ارائه و مورد بحث قرار خواهند گرفت. سپس فرمول راه حلی برای سازماندهی این فعالیت ها به صورتی که بازرسی بیشترین ارزش افزوده را ایجاد نماید، ارائه خواهد شد. شکل ۳-۲ چگونگی بکارگیری این اطلاعات را نشان می دهد.






**شکل ۳ـ۲** مشخصات فنی مفاد قرارداد ـ بخش‌های مرتبط

## زنجیره مسئولیت

یکی از اهداف مشخصات مفاد قرارداد، تقسیم کردن مسئولیت تدارکات و ساخت است. حتی یک مشخصه فنی ضعیف نیز معمولا مسئولیت های اصلی را مشخص می کند. معمولترین مدل مورد استفاده برای نیروگاهها و تاسیسات شیمیایی قرارداد تک پیمانکاری است که تمام مسئولیت FFP تأسیسات بر عهده یک پیمانکار می باشد. برای پروژه های بزرگتر سازمان های مختلفی می توانند حتی بصورت کنسرسیوم شرکت داشته باشند ولی همان اصول بکار می رود. اما موضوع پیچیده تر از آن است که به نظر می آید. همیشه ساختار لایه ای مسئولیت بین پیمانکاران، لیسانس دهنده و سازندگان وجود دارد.

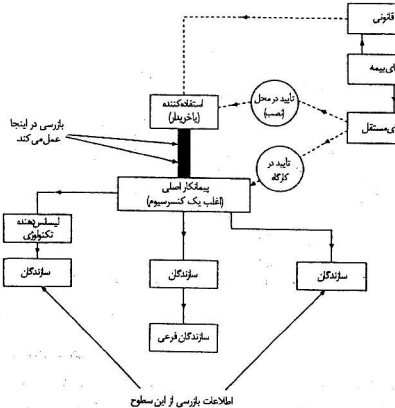
این وظیفه بازرس است که این ساختارها را بشناسد ولی خوشبختانه نباید با آنها درگیر شود. سوالات اصلی بازرس دو دسته هستند:

- چه کسی باید سؤال مرا پاسخ دهد؟ (اگر چه ممکن است وظیفه پیمانکار نشان دادنFFP باشد، اما آنها مجبور نیستند FFP را به شما ثابت کنند).

و

- چه کسی مسئول انجام اقدامات اصلاحی لازم است؟

این سوالات با توجه کردن به زنجیره مسئولیت ها که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، پاسخ داده می شوند. خط پررنگ و ضخیم مسئولیت اصلی است. اگر شما نماینده خریدار هستید (که در این کتاب نیز این نقطه نظر مورد توجه است) باید فقط بر روی این خط کار کنید. شما باید الزامات قرارداد را مستقیماً از پیمانکار اصلی در خواست نمایید. اما همانطور که در بخشهای قبلی اشاره شد پیمانکار از فعالیت های سازندگان تجهیزات دور می باشد و درباره FFP تجهیزات نسبت به سازنده کمتر می داند. این بدان معنی




**شکل ۳-۳** زنجیرهٔ مسؤولیت‌ها

است که بهترین اطلاعات برای شما به عنوان بازرس از پایین زنجیره مسئولیت ها به راحتی بدست خواهد آمد. این موضوع را می توان به صورت زیر بیان کرد:

- اطلاعات خود را از پایین زنجیره بدست آورید.
- هنگام اقدام، از بالای زنجیره اقدام نمایید.
- اگر این کار را نکنید نتیجه نهایی پرهزینه خواهد شد و شما تا حدودی سرزنش خواهید شد.
- اگر با دقت فکر کنید، تناقض کمرنگ خواهد شد. آنچه شما با کارکردن به این طریق بدست می آورید، مکانیزمی برای رسیدن به اتفاق نظر است.

## بازرسان مستقل

گواهی دهندگان طرف سوم (مستقل) نقش تعریف شده ای در قراردادهای نیروگاه و تاسیسات شیمیایی دارند. آنها چه وظیفه ای دارند؟

وظیفه آنها تایید انطباق با استانداردها برای بویلرها، مخازن تحت فشار، جرثقیلها و غیره است که تحت پوشش الزامات قانونی در کشور محل استفاده می باشد. در برخی از کشورها که از نظر تعداد نیز در اقلیت



می باشند، قوانین سخت تر بوده و حتی تجهیزات ساخته شده در آن کشور نیز باید مدرک تایید قانونی داشته باشند. نیروی محرکه دوم توسط الزامات صنعت بیمه به وجود می آید تا با درگیر کردن سازمانهای بازرسی مستقل، احساس آرامش و اطمینان نماید. همچنین خواهید دید که در بعضی صنایع، بازرسان مستقل بصورت سنتی از قدیم الایام حضور داشته اند.

معمولاً درباره نقش دقیق بازرسان مستقل ابهاماتی وجود دارد . موارد زیر نکاتی صحیح هستند:

- بازرسان مستقل فقط تطابق با استاندارد یا کدی که از آنها خواسته شود را تایید می کنند. در اینجا نوعی ارتباط با الزامات ایمنی وجود دارد.
- بازرسان مستقل FFP را ارزیابی نمی کنند (یعنی اینکه آیا تجهیز کار خود را انجام خواهد داد؟)، حتی اگر بعضی کارفرمایان خلاف این فکر کنند.
- میزان فعالیت های بازرسی انجام شده در بین مؤسسات مختلف بازرسی تغییر می کند. هیچ لیست دقیقی در استانداردها و قوانین وجود ندارد که دقیقاً کار آنها را مشخص کند.
- بازرسان مستقل معمولاً مستقیماً با سازندگان تجهیزات ( و به ندرت با استفاده کنندگان نهایی ) قرارداد دارند .

این وظایف نسبتاً شفاف می باشند، فرموله کردن یک روکردی تاکتیکی اساسی خیلی مشکل نیست. بدون رفتن به جزئیات دقیق، راه ساده ای برای پرداختن به گروه سوم در بازرسی وجود دارد. نقش آنها را در مشخصات قراردادی در هر جایی که می توانید در نظر بگیرید. حداقل اجازه دهید تا نظرات آنها قضاوت شما را در موقعیت های دشواری که باید در مورد ارائه کردن یا ارائه نکردن گزارش عدم انطباق (NCR) در مورد یک قطعه مهم از دستگاه تصمیم بگیرید، مورد تأثیر قرار دهند.

به شما توصیه می شود که:

- به بازرسان مستقل معروف و شناخته شده اطمینان کنید. نقش آنها را به عنوان سازمان کارگزار صدیق و درستکار بپذیرید.
- اما آنقدر هم مطمئن نباشید که حتی گزارشات بازرسی آنها را بررسی و کنترل نکنید. سعی کنید اجازه و اختیار بازنگری محدوده کار آنها و چگونگی انجام آن را بدست آورید. اگر موقعیتش را دارید این موضوع را در مشخصات قرارداد بیاورید و سپس آن را اجرا کنید.
- بررسی کنید چه مقدار از کار آنها با کار شما تداخل دارد. احتمالا حدود ۵۰- ۴۰ درصد کار آنها (مخصوصاً در مورد بویلرها و جرثقیلها ) با آنچه شما برای تایید FFP باید انجام دهید، منطبق است. وقتی به بازرس گروه سوم اطمینان پیدا کردید می توانید کنار بایستید. بودجه خود را تلف نکنید.

پیمانکاران راه هایی را استفاده می کنند تا ریسک های تجاری و فنی را به عهده سازندگان تجهیزات قرار دهند. این راهها شامل ضمانت های پشت به پشت، درخواست برای ضمانت بیشتر و جریمه می شود. از نظر بازرسی، ما می‌توانیم در این مسائل درگیر نشویم. در موارد بسیار نادری که گارانتی های فرعی از مجوزدهنده اصلی کار مستقیما با استفاده کننده بسته شده و در مشخصات قراردادی نوشته شده است، شما باید فکر کنید که چگونه ساختار فرعی گارانتی ها بر شما تاثیر می گذارد. در غیر این صورت درگیر نشوید. خط عملکرد خود را ساده نگهدارید، همانگونه که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. این به شما کمک می کند تا تمرکز کنید.

**شکل ۳-۴ سلسله‌مراتب مستندات اصلی**

## سلسله‌مراتب مستندات

سلسله مراتب مستندات این است که هر کس باید بداند کدام مستندات را دنبال کند. معمولا سلسله مستندات را حدوداً در ابتدای بخش فنی مشخصه می یابید، که پس از شرایط تجاری می آید. این یک ابزار مفید برای جلوگیری از مناقشه درباره تطابق دستگاه با الزامات مشتری ( خریدار ) است.

## سلسله‌مراتب اصلی

شکل ۳-۴، سلسله مراتب مستندات اصلی را نشان می دهد. این یک مدل رایج است؛ ممکن است تغییرات کمی در آن پیدا کنید ولی اصول این سلسله مراتب تایید و پذیرفته شده است . سلسله مراتب مستندات بر اکثر کارهای بازرسی شما تاثیر می گذارند، بنابراین دانستن برخی از اثرات ساده تر و نانوشته مفید خواهد بود . اگر چه سلسله مراتب اصلی کاملا درست است ولی شکل بسیار ساده ای از ساختار پیچیده الزامات مهندسی را ارائه می کند. در نتیجه اجتناب ناپذیر است که سلسله مراتب مستندات در عمل آبدیده شوند. مهارت مهندسان در طراحی، کاربرد و فهم اینکه اتفاقات چگونه رخ می دهند، باید اضافه شود تا سلسله مراتب کار (خود را) انجام دهد.

## پیشنهاد عملی

در برخورد با سلسله مراتب قرارداد در طول بازرسی باید انعطاف پذیر باشید. البته این چاره همه مشکلات نیست و نیز جایگزینی برای دانستن آنچه می خواهید نمی باشد. برخی نکات عملی مفید در ذیل آمده است:



- *استانداردها*. استانداردهای فنی مجموعه ای از دانش و تجربیات متخصصین هستند. هیچگاه میزان تخصص و تلاشی که برای گردآوری آنها انجام گرفته را دست کم نگیرید. اگر به نکته‌ای فنی شک دارید باید به متن (استاندارد) اعتماد کنید. آیا این بدان معنی است که برخی بندهای فنی (فنی) در مشخصه قرارداد (که در بالای سلسله مستندات قرارداد) ممکن است گاهی غلط باشد؟ برای پاسخ دادن به این سئوال باید یک بررسی سریع بر روی جزئیات صورت گیرد. جزئیات این را تا حدی نشان می‌دهند. مثلاً اگر یک بند مشخصات فنی، جزئیات را بهتر از استاندارد فنی نشان دهد، احتمالاً استاندارد کنار گذاشته می شود و شما باید اهمیت بیشتری به آن مشخصات فنی در بازرسی خود بدهید (تکنولوژی توربین گازی مثال خوبی در این باره است). سعی کنید این تعادل را هنگام بازرسی درک کنید. این کار وقت گیر است زیرا شما با همان سئوالات بارها و بارها مواجه می‌شوید.
- *دوباره استانداردها*. دلیل آوردن بر خلاف استانداردها بسیار مشکل است. اگر با پیمانکار اختلاف نظر فنی ، قراردادی یا قانونی داشته باشید و استانداردهای مربوطه طرف شما نباشند، احتمالاً خواهید باخت. بنابراین قبل از نفی کردن استاندارد با دقت بیاندیشید.
- *مستندات کاری*. در سلسله مراتب مستندات پروژه، جایگاه مستندات کاری باید به رسمیت شناخته شود. وضع آنها باید به طور صریح بیان شود، ولی در اغلب موارد باید بطور غیر مستقیم درک شود. مستندات کاری آنهایی هستند که به عنوان فصل مشترک بین سازنده، پیمانکار و خریدار عمل می‌کنند. مستندات کاری شامل موارد زیر می توانند باشند:
  ۱. اطلاعات طراحی و برگه های اطلاعات (data- sheets)
  ۲. برخی سفارشات فرعی
  ۳. توده اطلاعات فنی شامل مکاتباتی که بین بخش‌ها رد و بدل می شود.
  ۴. طرح‌های بازرسی و آزمون (ITPs)
  ۵. روش‌ها و عرف سازندگان و آزمایش‌ها برای ساختن و تست کردن.

مشاهده خواهید کرد که خیلی از این مستندات آنهایی هستند که در کار بازرسی از آنها استفاده می‌کنید. (به ویژه ITP یکی از بخش‌های مهم این برنامه بازرسی است). مشکل اینجاست که مستندات کاری موقعیت پایینی در سلسله مراتب مستندات اشغال می‌کند. شما باید هنگامی که می‌خواهید گزارش عدم انطباق را بر اساس اینکه سازنده با مستندات کاری هماهنگ نیست مطرح کنید، باید بسیار محتاط باشید. شما می‌توانید این کار را فقط در صورت داشتن یک اتصال به عناصر بالایی سلسله مستندات انجام دهید. بهترین راه ارجاع به مدرک موجود در بالای سلسله مراتب (معمولاً مشخصه قراردادی) است؛ در گزارش عدم انطباق به مشخصات قراردادی مستقیماً ارجاع دهید تا وضعیت مستحکمی داشته باشید. ممکن است برخی اوقات مجبور شوید تا سلسله مستندات را به افرادی از پیمانکاران و سازندگان که در طول بازرسی با شما برخورد می‌کنند، توضیح دهید.

## تست‌های مشخص‌شده

برای کاهش استنباطهای مختلف از برخی استانداردهای فنی، خریداران تمایل دارند تا الزامات تست ویژه‌ای را در مشخصه‌هایشان بگنجانند. این رویکرد در قراردادهای نیروگاهها، سکوهای نفتی فراساحلی و تأسیسات

شیمیایی نسبتاً رایج است، به ویژه وقتی تأیید قانونی یا مسایل ایمنی و سلامتی در میان باشد. شما این الزامات تست را در دو گروه مشخص مشاهده می‌کنید؛ تست‌های کاری مختص تجهیزات خاص و الزامات تستهای عمومی. معمولاً آنها در بخش‌های مختلف مشخصه‌های قراردادی گنجانده شده‌اند.

## تست‌های کاری دستگاه (Equipment work tests)

به دنبال این تست‌ها در مشخصه‌های قرارداد که بخش‌های منفرد کارخانه یا قطعات دستگاه را شرح می‌دهند، بگردید. تست‌های اصلی اجزاء معمولاً در بخش گارانتی‌ها می‌آیند. انتظار مشاهده طرحهای تست کاری برای موارد اصلی دستگاه مثل محرکه‌های اولیه (Prime movers)، پمپ‌ها، کمپرسورها، هواکشها و جرثقیل‌ها را داشته باشد (این تست‌ها علاوه بر تست‌هایی هستند که پس از نصب در کارگاه انجام می‌شوند).

به این الزامات با دقت توجه کنید و سعی کنید بفهمید چرا در آنجا هستند. برخی از آنها به طور ساده رونوشتی از الزامات استاندارد فنی مرجع هستند، که شاید شامل یک یادآوری به پیمانکار باشد که آزمایش پذیرش چیست. لازم نیست درباره آنها خیلی نگران باشید. برخی دیگر ممکن است به دلیل دلایل فنی مشخص مربوط به الزامات مهندسی ویژه دستگاه درآنجا باشد. شما این‌ها را به وضوح در بخش‌های بیشتر فنی خواهید یافت. تعجب نکنید اگر آنها باعث ایجاد تضادهای فنی شوند و شما برای حل آنها احضار شوید. در اینجا سه نوع رایج از تست‌های ویژه ذکر شده است:

- پمپ‌هایی که الزامات q/H ویژه‌ای برای سرویس آتش، کاربرد خلاء یا بهره برداری موازی دارند.
- *تجهیزات بلندکردن اشیاء*. جرثقیل ها ممکن است الزامات طبقه‌بندی یا سرعت خاصی داشته باشند. برخی کارفرمایان تست‌های عملکردی یا تست‌های غیرمخرب اضافه می‌خواهند.
- *توربین‌های گازی*. در ادامه این کتاب خواهید دید که تست‌های پذیرش گارانتی توربین گازی می‌تواند کاملاً پیچیده باشد. اغلب تست‌های بدون بار در محل کار سازنده باید انجام شود.

## مفاد آزمایش عمومی (General test clauses)

در یک بخش از قرارداد با نام «الزامات فنی عمومی» (یا نامی مشابه آن)، مفاد آزمایش عمومی را پیدا خواهید کرد. شما ممکن است متوجه شوید که اینها محدوده وسیعی از رشته های مختلف مهندسی را پوشش می‌دهند. این خوب است زیرا آنها یک موقعیت کلی دفاعی برای پوشش نواحی که استانداردها یا مشخصه‌های فنی نسبتاً ضعیف هستند را فراهم می‌کنند ولی از سوی دیگر این حالت بد است زیرا احتمال تضاد با استانداردهایی که خیلی دقیق هستند را افزایش می‌دهد. شما باید با دقت عمل کنید. مفاد آزمایش عمومی موجود هستند تا در موقع لزوم استفاده شوند ولی آنها را وقتی به راحتی با موقعیت خاصی هماهنگ نمی‌شوند، به اجبار وارد مباحث فنی نکنید. در اینجا پنج گروه اصلی از الزامات با کاربرد عمومی وجود دارد:

### حق انتخاب مواد

برخی مشخصه‌ها استفاده از مواد خاصی را برای ساخت الزامی می کنند. این مورد درباره تجهیزات ساخته‌شده بزرگ مثل بویلرها، واحدهای نمک زدایی و مخازن فراوری بیشتر از قطعات مجزای تجهیزات



مثل گیربکس‌ها یا کمپرسورها رایج است. مشخصه‌های بهتر به سازنده فرصت استفاده از گروه‌های خاص مواد را می‌دهد و دست را خیلی نمی بندد. روش بهتر این است که موادی را که نباید استفاده شود مشخص کرد، این کار میزان تناقض مشخصه را کاهش می‌دهد در حالی که هنوز کنترل (بر روی مواد) وجود دارد.

### آزمایش مواد

برای مواد تجربه شده این بخش از مشخصات فنی اکثراً غیرضروری است. اکثر استانداردهای مواد در مشخصه‌های خود برای تست کردن مواد بسیار کامل هستند. برای مشاهده این موضوع به برخی از استانداردهای ASTM در مورد لوله‌ها و قطعات ریختگی مراجعه کنید. شما به ندرت یکی از موارد ویژه فنی که نیاز به تست‌های اضافی مخصوص باشد، برخورد خواهید کرد. موارد زیر استثناهای معمول هستند:

- تست‌های مخصوص مقاومت به خوردگی مربوط به کار در محیط‌های بسیار اسیدی یا قلیایی
- تست‌های ضربه (شارپی) در دمای بسیار کم برای مواد جدید که ممکن است هنوز برای استفاده در دماهای پایین تایید نداشته باشند. برخی اوقات این تست‌ها با تست‌های دمای تبدیل شکل ظاهر شکست (FATT: Fracture Appearance Transition Temprature) همراه می‌شوند.
- تست‌های خزش برای آلیاهای آزمایشی در دمای بالا
- تست‌های ویژه بر روی پوشش سرامیکی پیشرفته برای کاربرد در دمای بالای قطعات آلیاژی

### قابلیت ردیابی مواد

قابلیت ردیابی مواد یک ابزار قوی در خدمت یک مشخصه است ولی ممکن است آن را در جای مناسبش پیدا نکنید. قابلیت ردیابی کامل به معنی این است که یک سابقه واحد و کامل در مورد منشاء مواد، تست‌ها و مقصد آنها در قطعه موجود باشد (درباره جزئیات آن در فصول ۴ و ۶ بحث خواهیم کرد). قابلیت ردیابی کامل اغلب یک شرط لازم برای تجهیزاتی است که تحت پوشش الزامات قانونی هستند (بویژه بویلرها و مخازن تحت فشار) و بازرسان مستقل نیز در نظارت بر آن نقش دارند. خارج از مسائل قانونی قابلیت ردیابی مواد یک گزینه کاملاً فنی است. (دیده شده که در مواقعی در مورد آن مبالغه شده است).

توصیه می‌شود که به آنچه بندهای مربوط به قابلیت ردیابی مواد در مشخصه می‌خواهند، بگویند با دقت توجه کنید. به منطق موجود در پس جملات دقت کرده و سپس یافته‌های خود را برای قضاوت در مورد چگونگی اداره (نظارت) بر الزامات مربوط به قابلیت ردیابی به کار ببرید. تجربیات مناسبی در ذیل ذکر شده است:

- به طور متوسط الزامات یک مشخصه عمومی بر قابلیت ردیابی در ۳۵ درصد مواقع رعایت می شود.
- و مشاهده خواهید کرد که در ۶۵ درصد دیگر به دلایل اقتصادی نظارت بر قابلیت ردیابی مواد غیرممکن است.

این تجربیات شامل تجهیزات تحت پوشش الزامات قانونی نمی‌شود. قابلیت ردیابی برای تجهیزات قانونی بهتر است رعایت شود. یکی از دلایل این است که قابلیت ردیابی بصورت سنتی (در این تجهیزات) الزامی بوده است.

### آزمون غیرمخرب (NDT) و جوشکاری

به نظر می‌رسد اکثر مشخصه‌های قرارداد شروطی برای بازرسی غیرمخرب اضافی قطعات مهم دارند. یکبار دیگر شما باید درباره منطقی بودن این الزامات تصمیم بگیرید. اگر آنها منطقی بودند کار درست این است که آنها را کامل به آجرا درآورید. اگر فرصت اثر گذاشتن بر این بندها را دارید سعی کنید آنها را در دسته‌هایی بر اساس فرایند تولید اولیه سازماندهی کنید (آنها را به دسته‌های مواد خام، فورج شده، ریختگی و جوشکاری شده تقسیم کنید). این کار نسبت به تقسیم‌بندی بر اساس تجهیزات ساده‌تر است. الزامات NDT اغلب به راحتی بین انواع تجهیزات منتقل نمی‌شوند. جوشکاری زمینه‌ای است که استفاده نکردن از آن در بندهای مشخصه عمومی مشکل است. الزامات مربوط به مشخصه‌های روش جوشکاری (WPSs)، سوابق تأیید صلاحیت روش جوشکاری (PQRs) و سوابق تأیید جوشکار (WQRs) عرف‌های یک مهندسی خوب هستند. باید از داشتن این الزامات کلی در مشخصات فنی خوشحال باشید و برای اجرای آنها آماده باشید. جوشکاری ضعیف به معنی FFP ضعیف است.

## استفاده از استانداردها

استانداردهای فنی ستون اصلی مشخصات فنی را تشکیل می‌دهند، قبلاً گفته شد که بدون آنها مهارت و تجربه جمعی صنعت از دست خواهد رفت. اگر از الزامات قانونی صرفنظر کنیم، استانداردهای فنی فقط بخشی از الزامات فنی قرارداد می‌شوند، البته اگر به وضوح در مشخصه قرارداد ذکر شده باشند. ذکر این عبارت که سازنده باید از «استانداردهای عرف صنعت» استفاده کند، راه مؤثری برای تأمین نیاز خریداران نیستند. برای بازرسان مفید است که از نقطه نظر خریدار به مسایل نگاه کنند.

یک خریدار خوب از استانداردهای فنی استفاده می‌کند تا:

- قیمت را کنترل کند.
- عینیت بدهد.
- تکرار کردن را کاهش دهد.
- از تجربه جمعی استفاده کند.

بازرسی مستلزم سر و کار داشتن با تکنولوژی‌های متفاوت است. بازرسی مؤثر نیازمند این است که شما یک دید واضح از چگونگی ارتباط تکنولوژی با استانداردهای فنی که در این زمینه وجود دارند و روشی که صنعت با این استانداردها برخورد می‌کند، داشته باشید. در حوزه قرارداد یک کارخانه فرآوری یا یک نیروگاه بزرگ دو روند را خواهید دید: استانداردهای پیشرو و استانداردهای پیرو.

### استانداردهای پیشرو

این در جایی است که استانداردهای فنی در توسعه و تکنولوژی پیشقدم هستند. آنها به وسیله سازندگان و گروه‌های تجاری صاحب نام که اغلب با تحقیقات کار توسعه مربوطه را در سکوت انجام داده و موفق شده اند که در کل صنعت آنرا توسعه داده و زمینه اجرای آنرا فراهم نمایند. پیچیدگی و جزئیات فنی اینگونه استانداردها، سازندگان را تشویق می‌کند تا روشهای خاص خود را برای تطابق با این استانداردها بیابند.



نتیجه این است که این استانداردها صنعت را هدایت می‌کند. در مواردی مانند تکنولوژی مواد (بویژه مواد غیرآهنی و مواد مقاوم به خوردگی)، روش‌های تولید پیشرفته و برخی زمینه‌ها در تکنولوژی مخازن تحت فشار این حالتها مشاهده می شود.

### استانداردهای پیرو

در نظامهای مهندسی که رقابت فنی شدیدی وجود دارد، غیرمعمول نیست که استانداردهای فنی از **روشهای کاری** سازندگان عقب تر باشند. یک مثال عالی در این مورد تکنولوژی توربین گازی است که بقدری سریع توسعه یافت که استانداردها نتوانستند به آن برسند. **اکثر جنبه‌های فنی توربین‌های گازی در** دستورالعمل های خود سازندگان بهتر از استانداردهای فنی که در بهترین حالت فقط یک چهارچوب کلی برای توافقات گسترده در مورد مسایل فنی بین خریدار و سازنده است، شرح داده شده‌اند (فصل ۷ را ملاحظه کنید).

این دو موقعیت که با استانداردهای فنی تجربه شده‌اند به این معنی است که شما باید به دقت رویکرد خود را برای هر مورد انتخاب کنید. یک جنبه مهم کار بازرسی این است که به بهترین وجه از تجربه استفاده کنید. خوب است در مورد هر استاندارد فنی که باید از آن استفاده کنید برای خود دیدگاهی ایجاد کنید که آیا استاندارد پیشرو است یا پیرو. این دیدگاه هنگام استفاده از استاندارد به درد خواهد خورد.

برخی نکات مفید و خلاصه در مورد استفاده از استانداردهای فنی وجود دارد:

- شما باید استانداردها را به طور کامل استفاده کنید ولی باید از محدودیت‌هایشان نیز آگاه باشید.
- استانداردها را خیلی با دقت با موارد کاربرد صحیحشان تطبیق دهید. مطمئن شوید که متوجه استفاده آنها به طور مسامحه آمیز می شوید.
- استانداردها، نگهبان آشکار FFP هستند ولی این تمام داستان نیست. اثر سلسله مراتب مستندات را به یاد داشته باشید.
- استانداردهای فنی را در گزارشات عدم انطباق خود ذکر کنید. اگر ذکر یک عدم انطباق واضح با استاندارد در گزارش شما وجود داشته باشد جایگاهتان بسیار محکمتر خواهد شد.

## طرح‌های بازرسی و آزمون (ITPs)

ITPها جزو مستندات کلیدی کار می‌باشند، اما توجه داشته باشید این تنها چیزی است که آنها هستند، آنها جایگاه بالایی در سلسله مستندات ندارند. این کار را برای شما مشکل می‌کند. یک قرارداد بزرگ می‌تواند چندصد ITP با اشکال متفاوت و حاوی جزئیات مختلف داشته باشد. آنها اغلب تنها راه ممکن برای کنترل و سازماندهی فعالیت های بازرسی مختلف هستند.

### هدف

هدف ITP ها آنها راضی کردن شما و بازرسان سایر بخش‌ها به وسیله فراهم کردن مکانیزمی برای سازماندهی فعالیت‌های بازرسی می‌باشد به همین دلیل برخی سازندگان آنها را یک موضوع تحمیلی می دانند. با این فکر که ITP ها به وسیله سازندگان به عنوان روشی برای مدیریت تولید یا دستورالعمل کار استفاده می‌شوند، گمراه نشوید. آنها راه بهتری برای انجام آن دارند.

ITP ها میدانی برای بحث و توافق بر روی مسایل فنی بین خریدار، پیمانکار و سازنده بدون سخت‌گیری ها (و برخوردهای احساساتی) می باشند. آنها همچنین یک سابقه مستند عالی از فعالیت‌ها و تعهدات بخش‌های چندگانه می‌باشند. بازرسان ITPها را دوست دارند زیرا به آنها نشان می‌دهد که انتظار چه چیز را داشته باشند.

## مندرجات ضروری

شما قوانین سخت و صریح درباره اینکه چه چیز باید در ITP باشد، نخواهید یافت. برخی استانداردها توصیه‌هایی در این باره دارند اما تلاش برای رسیدن به یک هماهنگی مشکل است به خصوص وقتی که با تجهیزات، فرآیندها و کارهای مختلف در یک قرارداد بزرگ مهندسی مواجه هستیم، معمولاً پیمانکاران و سازندگان از انواع مختلف از اشکال و محتویات ITP استفاده می‌کنند. معمولاً شکل مهم نیست بلکه مندرجات و محتوای ITP مهم است. مشخصه‌های خوب قرارداد اغلب شامل یک نمونه ITP می‌باشند تا میزان اطلاعات مورد نیاز را مشخص کنند. به آن به عنوان کوششی برای هماهنگی نگاه کنید ولی دشواری‌هایش را نیز درنظر بگیرید.

در اینجا یک لیست خلاصه از محتویات ITP ذکر شده است:

- یک لیست واضح از مراحل ساخت و تست برای هر قطعه ساخته شده
- ارجاعات به موارد برجسته مشخصه قراردادی
- ارجاع دقیق برای نشان دادن اینکه کدام یک از استانداردهای پذیرش (یا استانداردهای فنی) در هر مرحله از ساخت و تست قابل کاربرد هستند.
- ارجاعات به دستورالعملهای دقیق سازندگان (بنابراین شما می‌توانید برای روشن‌تر شدن فعالیت خاصی به آنها مراجعه کنید.)
- ذکر الزامات تأیید و ثبت در هر مرحله. این کار لیست مستندات نهایی (که گاهی گزارش نهایی ساخت نامیده می‌شود) را برای تجهیزات مشخص می‌کند. الزامات مستندسازی باید جامع ولی محدود باشد.
- استانداردهای معادل: یک ITP خوب همیشه جایی که استانداردها معادل هم هستند را ذکر می‌کند. این مورد وقتی که استانداردهای بین‌المللی که کمتر معروف هستند استفاده می شوند، اهمیت بیشتری دارد.
- یک سیستم از کدهای فعالیت: اینها برای درک اینکه به کدام تست‌ها ارجاع داده شده مفیدند (مثلاً در بین مقولات NDT). **شکل ۴-۸ در فصل چهارم یک نمونه ITP ساده و خوب را نشان می دهد.** سازندگان و پیمانکاران را درباره این نوع از ITP راهنمایی کنید. توجه داشته باشید که این شکل بر روی محتویات ITP متمرکز است نه فرمت آن.

## استفاده مؤثر از ITP ها

راز استفاده مؤثر از ITPها پیش‌بینی کردن است. ITPها استفاده بیشتری برای شما خواهند داشت اگر شما بتوانید در مراحل اولیه قرارداد بر روی محتویات آنها اثر بگذارید. برای انجام این کار شما باید پیش‌بینی کنید که می‌خواهید مضمون آنها چگونه باشد؛ این باعث آسان شدن فرآیند بازرسی مؤثرتر می‌شود نسبت



به اینکه مجبور شوید تا با توجه به تمام ITPهای نوشته شده گذشته عمل کنید. استفاده از ITP خیلی مشکل نیست. گنجاندن برخی مباحث اصلی به سادگی فراموش می شود. سعی کنید اجازه ندهید این اتفاق بیافتد.

برای استفاده از ITP رعایت برخی نکات لازم است که پایه‌ای برای فعالیت‌های بازرسی فراهم می‌کند. آن نکات عبارتند از:

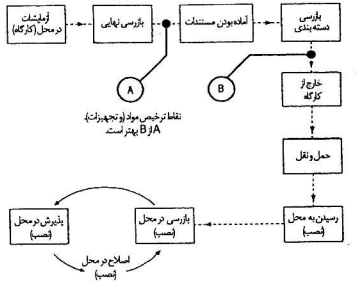
- *پیش‌نویس اولیه.* بهترین سازمان برای تهیه طرح اولیه ITP، پیمانکار اصلی است نه سازنده یا استفاده کننده نهایی، زیرا پیمانکار بخشی است که مشخصه‌های قرارداد خریدار را بهتر فهمیده و تحلیل کرده است. بدبختانه بسیار رایج است که پیمانکاران به سازندگان اجازه می‌دهند تا طرح اولیه ITP را تهیه کنند. معمولا اینکار بهترین نتایج را فراهم نمی کند.
- *علامت‌گذاری.* ITP ها را سریعاً با نقاط شاهد بازرسی برای تمام بخشها علامت گذاری کنید. اگر شما بازرس خریدار (استفاده کننده نهایی) هستید، مطمئن شوید که الزامات بازرسی خود را مشخص کرده‌اید. اینکار را بعد از اینکه سایر بخشها بازرسی خود را مشخص نمودند انجام دهید. بدین طریق می‌توانید انتخاب‌های خود را بر اساس دانستن اینکه بخش‌های دیگر چه مقدار اولویت به فعالیت‌های مختلف تست کردن می‌دهند، انجام دهید.
- *مقیاس‌های زمانی.* مطمئن شوید که ITP ها را خیلی دیر دریافت نمی‌کنید، یعنی وقتی که ساخت مواد یا تجهیزات تقریباً کامل شده است. همیشه تماسهای زیادی قبل از ساخت بین پیمانکاران و سازندگانشان درباره سفارش خریدار صورت می گیرد به طوری که بهانه‌های قابل پذیرش اندکی برای اینکه ITPها را بخشی از این بحث‌ها قرار ندهند، وجود دارد. این به نفع شماست که زودتر مداخله کنید تا این کار صورت بگیرد به خصوص وقتی که به انجام آن مشکوک هستید.
- *نقاط بازرسی حضوری (witness point).* اگر می‌خواهید کار بازرسی را انجام دهید، باید ITP را با الزامات حضور هنگام کار علامتگذاری کنید. این کار باعث پیوستگی می‌شود.
- *تمرکز.* بازرسی مؤثر مستلزم تصمیم‌گیری درباره مباحث مهندسی خیلی پیچیده است. شما این کار را با صرف وقت در جلسات قرارداد درباره مدیریت و کنترل مستندات یاد نمی‌گیرید (اگر چه ممکن است جذاب باشد). این گونه کارها را به پرسنل دفتری بسپارید، بر روی جنبه های مهندسی ITP متمرکز شوید. این کارها را به مدیران قرارداد واگذار کنید. آنها در این مورد از شما بهترند. تلاش خود را بر روی جنبه‌های مهندسی ITP متمرکز کنید.

در این کتاب سعی شده تا درباره تست‌هایی که از شما انتظار می‌رود به عنوان بازرس در آنجا حضور داشته باشید، بحث شود. از فصل‌های فنی ۴ تا ۱۴ به عنوان یک راهنمای گسترده برای تست‌هایی که باید شاهد آن باشید استفاده کنید. دید خود را نسبت به جنبه فنی کاری که باید انجام دهید، از دست ندهید.

## ترخیص تجهیزات

یک سئوال اساسی این است که چه وقت شما باید تجهیزات را برای ارسال از محل سازندگان ترخیص کنید؟

مکانیزمی که دستگاه می‌تواند برای حمل و نقل ترخیص شود در قراردادهای مختلف فرق می‌کند. این




**شکل ۳-۵** نقاط ترخیص مواد و تجهیزات

موضوع مورد بحث بین بخش‌های مختلف نیز می‌باشد، زیرا ترخیص دستگاه به طور اجتناب‌ناپذیر به مراحل پرداخت مربوط می‌شود و یکی از شاخص های قرارداد را تشکیل می‌دهد.

در تئوری، مفاد قرارداد باید نحوه ترخیص مواد را به وضوح تعریف کرده باشد (مواد به معنی عمومی آن شامل همه مواد و تجهیزات است که محدوده تحویل دادن را در داخل یک قرارداد مشخص می‌کنند). مکانیزم ترخیص کردن باید با زنجیره مسئولیت ذاتی در قرارداد هماهنگ باشد. اگرچه همیشه یک رابطه ساده در طراحی این مکانیزم ترخیص وجود ندارد. ممکن است برخی اوقات احساس کنید به صورت نامفهوم بیان شده است.

روش ترخیص اثر مهمی بر دقت جریان پول در قرارداد دارد. بنابراین می‌توانید انتظار داشته باشید که فشارهای تجاری بخش‌های مختلف در ترخیص تجهیزات خودشان را نشان دهند. توصیه نویسنده این است که شما ابتدا اعمال فشار کنید تا روش ترخیص به خوبی مشخص شود. شکل ۳-۵، مراحل زمانی بعد از بازرسی نهایی را نشان می‌دهد. مراحل A و B دو موقعیت رایج ترخیص مواد هستند. این موقعیت‌ها را به یاد داشته باشید و آنها را به عنوان راهنما در نظر بگیرید.

## خطوط راهنما

- به طور کلی مرحله A در شکل ۳-۵، مؤثرترین موقعیت برای مکانیزم ترخیص است. این با قراردادهای عملی و روشی که سازندگان کار می‌کنند بیشتر جور درمی‌آید. همچنین فرصت کافی برای تأیید FFP را می‌دهد بدون اینکه احتمال تأخیر را برای بخش‌های دیگر افزایش دهد. به نظر نویسنده ترخیص با تأخیر در مرحله B نمی تواند فایده اضافی چندانی داشته باشد.
- شما می‌توانید مکانیزم ترخیص را با متصل کردن گزارشات عدم انطباق با اقدامات اصلاحی و سپس



مطمئن شدن از انجام آنها مؤثرتر و مفیدتر کنید. این رهیافت پویا در فصل ۲ با جزئیات بیشتر بیان شده است. به خاطر بیاورید که شما اکثر قدرت تأیید خود را وقتی که دستگاه کارگاه سازندگان را ترک می‌کند، از دست می‌دهید.

- سازندگان برخی اوقات می‌خواهند که کار اصلاح در سایت انجام شود نه در کارگاه. شما باید اگر در مورد مجوز دادن برای اینکار تصمیم بگیرید. قوانین سفت و سختی در این باره وجود ندارد. بهترین توصیه این است که به معیارهای FFP مراجعه کنید. اگر هر یک از کارهای اصلاحی اثر مستقیمی بر FFP دارد، مطمئن شوید که در عمل کار انجام شود.
- هیچ قطعه از دستگاه را تا وقتی که از صحت آن آگاه نشدید ترخیص نکنید.
- برخی اوقات اتفاق می‌افتد که سازندگان یا پیمانکاران دستگاه را بدون ترخیص رسمی می‌فرستند (انتظار داشته باشید که این کار را یادآوری این که ریسک آنرا خود سازنده قبول می کند، انجام دهند). اولویت اصلی شما باید این باشد که مطمئن شوید هر یک از گزارش‌های عدم انطباق مربوط به دستگاه فرستاده شده در مقصد در سایت منتظر آن است. اقدامات اصلاحی ضروری و مسئولیت انجام آنها را با مراقبت ویژه مشخص نمایید.

بطور میانگین در یک قرارداد نیروگاه یا تأسیسات فراوری شیمیایی شاید ده یا پانزده درصد تجهیزات از کارگاه سازندگان در شرایطی که صدور گزارش عدم انطباق را توجیه می نموده خارج می شود. برخی از آنها مشکلات اساسی دارند که FFP را تحت تاثیر قرار می دهد و برخی دیگر اشکالات کوچک دارند. قراردادی که روش ترخیص تجهیزات کارامدی داشته باشد می تواند این کار را با آماری بهتر از این انجام دهد. مقدار عدم انطباقها می تواند تا فقط چند درصد یا حتی صفر کاهش یابد و در این شرایط هزینه های اداری و مدیریت کمتر خواهد بود.

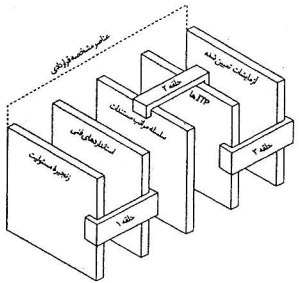
## راه حل

در ابتدای فصل گفتیم که یک راه حل فرمولی پیشنهاد خواهد شد که پنج زمینه از مشخصات فنی قرارداد که بر روی بازرسی تاثیر دارند را به خوبی به یکدیگر متصل می کند. قاعدتا این کار مهندسین قرارداد است نه بازرسها، ولی اگر علاقمند باشید و بتوانید بر روی مشخصات فنی قرارداد در آینده تاثیر بگذارید باید به اصول مهم آن توجه کنید. عوامل بسیار زیاد دیگری نیز هستند که باید مورد توجه قرار گیرند. امیدوارم که راه حل ارائه شده با سایر وجوه مدیریت پروژه در کارتان تناقض نداشته باشد.

به شکل ۳-۶، مراجعه کنید، خواهید دید که نسخه اصلاح شده شکل ۳-۲، است. به حلقه های نشان داده شده توجه کنید:

### حلقه (۱)

این حلقه مربوط به مسئولیت است. مطمئن شوید که زنجیره مسئولیت‌ها که در مشخصات فنی قرارداد بیان شده است، به درستی بکار گرفته می شود تا الزامات را برای انطباق با استانداردهای مربوط به پیمانکاران فرعی منتقل گردد. شما به دنبال تطبیق دقیق هستید نه فقط گزاره های کلی در مورد مسئولیتها. در یک کار بازرسی واقعی ، شما ممکن است نیاز به اعمال فشار به پیمانکاران داشته باشید تا




**شکل ۳ـ۶ مشخصات فنی قرارداد ـ یک راه حل کوتاه**

مطمئن شوید که مسئولیتهایشان را در این حوزه خاص بطور کامل انجام می دهند. بویژه وظیفه شان در کنترل فعالیتهای فنی سازندگان. پایش تنها کافی نیست. این نکته مهم است که شما مسئولیت بازرسان مستقل (طرف سوم) را بطور صحیح تعریف کنید. لازمست که وظیفه آنها بطور دقیق و با جزئیات کافی مشخص شود. در غیر اینصورت احتیاط کنید تا نقش اعتباری آنها در تایید انطباق با استانداردهای فنی مشخص شده را خیلی دست بالا یا دست کم نگیرید.

## حلقه (۲)

حلقه ۲، مربوط به تصمیمات و بطور دقیقتر تصمیم گیری است. لازمست که سلسله مراتب مستندات (که از بخشهایی است که بیشتر جنبهٔ دستوری مشخصات فنی قرارداد هستند) پیوندهای عملی واضحی با ITP ها داشته باشند. این کمک میکند که معیارهای پذیرش که در ITP ها نشان داده شده است، دقیقتر کنترل شوند و یا الزامات واقعی قرارداد انطباق داشته باشند، نه اینکه بنابه نظر سازندگان باشند و یا آنچه که آنان معمولا انجام می دهند، باشند. با داشتن معیارهای پذیرش که در ابتدای بر روی آن توافق شده، شما به عنوان بازرس نباید در ارزیابی نتایج تستها دچار تناقض های زیادی شوید. تصمیم گیری در این شرایط ساده تر و با زحمت کمتری همراه خواهد بود.

## حلقه (۳)

حلقه ۳، مربوط به پول و اقتصاد است. اگر بتوانید به حلقه ۳ از نقطه نظر هزینه های تایید FFP بنگردید، این کار به شما کمک خواهد کرد. پروتکل و توافقاتی که فعالیتهای بازرسی را تحت احاطه دارند، مشخص



می نمایند که چه تستهایی باید یا میتواند با حضور بازرس انجام شود. بین تستهایی که به شما اطلاع داده می شوند (همانطور که در ITP مشخص شده) و آنهایی که تصمیم می گیرید عملاً در حضور شما انجام شوند، یک تعادل برقرارسازید. نسبت حدود ۲/۵ به ۱ خیلی بد نیست. این باعث پایش خوب پروژه می شود و از سوی دیگر مستلزم فعالیتهای اداری خیلی زیاد هم نیست.

ما درباره زمینه های مهم مستندسازی، چگونگی جور کردن آنها با هم و چگونگی تاثیر آنها بر فعالیتهای بازرسی بحث کردیم. قبل از رسیدن به فصلهای فنی (که بخش‌های مهم این کتاب هستند) به یاد داشته باشید که بازرسی موثر یکی از فعالیت‌هایی است که نیاز به سازماندهی خوب دارد.

### خلاصه نکات کلیدی، مشخصات، استانداردها، طرح‌ها

۱. مشخصات فنی قرارداد یک ساختار برای کار کردن را فراهم می کند. شما باید بر مشخصات مسلط باشید.
۲. قسمت‌های مهم مشخصات فنی قرارداد اینها هستند:
- استانداردهای فنی مرجع
- نقش ITP ها
- تست‌های مشخص شده مواد و تجهیزات
۳. تمام قراردادها یک زنجیره مسئولیت دارند. بازرسی موثر مستلزم تهیه اطلاعات از نزدیک انتهای زنجیره ولی عمل کردن در نزدیکی بالای زنجیره است.
۴. سلسله مراتب مستندات قرارداد کمک خواهد کرد که برخی از تضادهایی که در الزامات فنی با آنها برخورد می کنید را سر و سامان دهید:
- البته سلسله مراتب به شما همه پاسخها را نمی دهد. شما باید به منطق موجود در پس آنان نیز توجه کنید.
۵. استانداردهای فنی مجموعه ای از دانش و تجربیات متخصصان است، ولی:
- برخی پیشرو و برخی پیرو هستند، به این نکته در حین استفاده از آنها در کار توجه نمایید.
۶. ITP ها مستندات کاری هستند و اعتبار قراردادی ندارند. نکته اینست که مطمئن شوید تا الزامات فنی قرارداد از ابتدا بدرستی در آنها گنجانده شود.
۷. بازرسان کارآمد، مکانیزم ترخیص تجهیزات را تسهیل می کنند. شما می توانید با درک مسئولیت‌های پیمانکاران در این زمینه مفید واقع شوید.

# فصل ۴

# مواد

بخشی از کارهای بازرسی، تایید مواد مهندسی به کار رفته در ساخت تجهیزات است. هر چند که بازرسی مواد با انتخاب مواد متفاوت است، ولی بین این دو ارتباط‌هایی نیز وجود دارد. بحث مواد یکی از شاخه‌های اولیه فعالیت‌های مهندسی است. فولادها و آلیاژهای غیر آهنی متداول در اشکال مختلف و به صورت وسیع در انواع تجهیزات به کار می‌روند. همچنین برای مقاومت به تنش‌ها، دماها و شرایط کاری خاص، مواد ویژه‌ای وجود دارند.

نقطه شروع کار، با معیار مناسب بودن برای منظور(FFP) است. همانگونه که در بخش‌های اول گفته شد، استفاده از این راهکار کمک خواهد کرد تا بتوان مسائل پیچیده را راحت‌تر مدیریت کرد. خوشبختانه استانداردهای فنی زیادی برای مواد مهندسی مورد استفاده در تجهیزات موجود است؛ اما این بدان معنی نیست که بازرسی مواد کار ساده‌ای در حد انطباق دادن با استاندارد می‌باشد. بنابراین برای انجام بهتر کار بازرسی لازم است تا با مبنای فکری تدوین استانداردهای مواد آشنا شد.

باید توجه داشت که بازرسی مواد صرفاً یک امر فنی نیست. علی رغم اینکه تکنولوژی مواد عمدتاً بر پایه استانداردها استوار است اما بحث قابلیت ردیابی (traceability) مواد دارای جایگاه مهمی در فعالیت‌های بازرسی مواد است. قابلیت ردیابی جزئی از فرایندهای یک سازنده محسوب می‌شود و بخشی از فعالیت‌های بازرسی، به خصوص در ارتباط با بخش‌های تحت فشار می‌باشد. در ادامه جزییات این مورد ذکر خواهد شد، ولی در نظر داشتن این بخش فرایندی، هنگام مرور بخش‌های فنی FFP ضروری است.

## معیار مناسب‌بودن برای منظور(FFP)

آزمایش‌ها و بررسی‌های گوناگونی بر روی مواد مهندسی صورت می‌گیرد. تقریبا هدف از تمام این آزمایش‌ها بررسی یک یا هر سه معیار اصلی FFP است، که عبارتند از: خواص مکانیکی، قابلیت دمایی (thermal capability) و شناسایی مطمئن.

### خواص مکانیکی

طراح بر اساس تجربه و استانداردهای موجود، خواص مکانیکی لازم برای مواد را مطابق با شرایط کاری آنها تعیین می‌کند. خواص مکانیکی مرسوم عبارتند از: استحکام کششی، نرمی (ductility) (که از روی درصد ازدیاد طول و درصد کاهش سطح مقطع اندازه‌گیری می‌شود)، چقرمگی یا مقاومت به ضربه و سختی(میزان مقاومت سطح در برابر فرورونده‌گی). این متغیرها به همراه برخی خواص مکانیکی دیگر مانند مقاومت به

خستگی، خزش و خوردگی که به علت پیچیدگی به صورت تابعی از خواص مواد در نظر گرفته می‌شوند، در استانداردهای مواد مشخص شده‌اند.

برای تعیین خواص مکانیکی یک ماده مهندسی باید مجموعه‌ای از آزمایش‌ها انجام شود. به طور مثال استحکام کششی یا سختی، به تنهایی نمی‌توانند خصوصیات ماده را به طور کامل مشخص نمایند، بلکه حتما باید نرمی و چقرمگی هم اندازه‌گیری شود. بنابراین معیار FFP در این مورد شامل مناسب بودن گروهی از خواص مکانیکی است، به جز در مورد بعضی مواد که ممکن است یکی از خواص اهمیت کمتری داشته باشد.

همانگونه که قبلا اشاره شد، وظیفه بازرس، بررسی مواد است و انتخاب مواد معمولاً بر عهده بازرس نیست. البته هنگام تفسیر مشخصات مواد ذکر شده در قرارداد لازم هست تا بازرس با روش انتخاب مواد نیز آشنایی داشته باشد. به طور کلی باید گفت از آنجا که بازرسی مواد فقط مشاهده و مقایسه نتایج آزمایش‌های صورت گرفته بر روی آنها با حد مجاز ذکر شده در استانداردها نیست، در بسیاری از موارد داشتن آشنایی کافی با مهندسی مواد، برای کار بازرسی مواد لازم است.

## قابلیت دمایی

قابلیت مواد برای کاربرد در دمای بالا به برخی از خواص مکانیکی آنها بستگی دارد. روشن است که توانایی مواد برای تحمل دمای کاری به عناصر موجود در ترکیب شیمیایی آنها بستگی دارد، ولی در عین حال چگونگی این ارتباط بسیار پیچیده است. قابلیت دمایی که در استانداردهای مختلف معیار تعیین گستره کاربرد مواد است، به دلایل عملی بسیار به عنوان یک معیار FFP مجزا در نظر گرفته شده است. استانداردهای اروپایی و آمریکایی به صورت مشخص بین آلیاژهای آهنی دما پایین، دما متوسط و دما بالا تفاوت قائل شده‌اند. دمای بالا اغلب با فشار بالا همراه بوده و می‌تواند نشان دهنده ریسک بالا باشد. در این شرایط برخی مکانیزم‌های شکست مانند خزش رخ می‌دهد. باید گفت که قابلیت دمایی، یک مورد مهم در تعیین صلاحیت مواد است.

## شناسایی مطمئن

علامت‌گذاری و شناسایی مواد فقط با مشاهده چشمی، تقریباً غیر ممکن است. به همین دلیل شناسایی مطمئن مواد یک معیار مهم FFP است. اگرچه این مورد مبنای فرایندی دارد و فنی نیست، با این حال یکی از موارد ضروری در فعالیت‌های ساخت محسوب می‌شود. به جزییات علامت‌گذاری و ایجاد قابلیت ردیابی مواد بعداً اشاره خواهد شد.

## اطلاعات فنی پایه‌ای

درباره مواد به‌کار رفته در ساخت تجهیزات برخی اطلاعات فنی محدود وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد. اطلاعات فنی مربوط به مواد مهندسی رایج در یک نیروگاه یا تأسیسات فراوری شیمیایی عموماً تکراری است. وجود یک چارچوب مشخص از اطلاعات مفید به همراه برخی تجربیات عملی در این زمینه، مشخص می‌کند که چه اطلاعات موثری در این زمینه برای کار بازرسی مورد نیاز است.



## مواد فورج شده

**مواد فورج‌شده برای موارد زیر به کار می‌روند:**

- **اجزای تحت فشار مانند نازل‌ها، حلقه‌ها و فلنج‌ها برای تمام انواع مخازن**
- **محور تجهیزات چرخنده و همچنین چرخ‌دنده‌ها**
- **برخی اجزای دارای حرکت متلاوب مانند شاتون**
- **قسمت‌های انتهایی ظروف تحت فشار بالا و سیلندرها**
- **اجزایی که نیاز به استحکام بالا دارند**
- **اجزایی که بارهای ضربه‌ای را تحمل می‌کنند**

### آنالیز و خواص

یک فولاد کربن - منگنزدار فورج شده که در بخشهای تحت فشار به کار می‌رود (BS 1503) به طور کلی دارای خواصی در محدوده زیر است:

| خواص مکانیکی | ترکیب شیمیایی (درصد) | |
|---|---|---|
| Yeild($R_e$): 200-340 N/mm² | C≤ 0.25 | C≤ 0.3 |
| UTS($R_m$): 410-670 N/mm² | Mo≤ 0.1 | Si: 0.1-0.4 |
| Elongation(A)≥ 15% | Ni≤ 0.4 | Mn: 0.8- 1.7 |
| | Cu≤ 0.3 | P≤ 0.03 |
| | E | S≤ 0.025 |

- معمولاً الزامات تست ضربه وجود ندارد، با این‌حال عملیات حرارتی نرمالیزه/تمپر یا کوئنچ/ تمپر بر روی آنها انجام می‌شود. همچنین دارای قابلیت جوشپذیری دارند.
- فولاد آلیاژی با استحکام بالای فورج شده که در بخش‌های تحت فشار استفاده می‌شود (ASTM A-273) اندکی متفاوت است (به مواردی که زیر آنها خط کشیده شده است، توجه شود).

| خواص مکانیکی | ترکیب شیمیایی (درصد) | |
|---|---|---|
| Yeild($R_e$)≥ 895 N/mm² | Cr: 0.8- 2.0 | C≤ 0.4 |
| UTS($R_m$) ≥ 930 N/mm² | Mo: 0.3- 0.5 | Si≤ 0.35 |
| Elongation(A)≥ 15% | Ni: 2.3- 3.3 | Mn≤ 0.9 |
| Charpy impact test≥ 14 J (Ave.) | | P≤ 0.015 |
| | | S≤ 0.015 |

شمشال‌های فورج شده برای حذف گازهای مضر در خلا گاززدائی می‌شوند

**قابلیت ردیابی: موارد زیر انتظار می‌رود:**

- برای قطعات کوچک به صورت بحری (batch) و قطعات بزرگ به صورت تک تک انجام شده باشد.
- شناسایی مشخص با یک شماره ذوب (heat number) صورت می‌گیرد؛ و در سوابق به شماره مشخصه ماده ارتباط داده می‌شود.
- برای قطعات بزرگ باید موقعیت تهیه نمونه آزمایش و جهت‌گیری آن با ارائه یک شکل مشخص شده باشد.

شکل ۱.۴ اطلاعات پایه‌ای قطعات فورج شده

## قطعات ریختگی

قطعات ریختگی برای موارد زیر به کار می‌رود:

- اجزای با اشکال پیچیده یا اجزایی که ساختشان مشکل است
- بخشی از تجهیزات که در معرض نیروهای ضربه‌ای (shock-loading) بالا نیستند
- اجزای با مقطع ضخیم
- بدنه شیرآلات، بدنه توربین (turbine casings) و قطعات بسیار بزرگ با دیواره ضخیم

معیارهای اصلی انتخاب قطعات ریختگی عبارتند از: دما، خواص کششی و مقاومت به خوردگی. قطعات ریختگی مورد استفاده در بخش‌های تحت فشار باید دارای مشخصات ویژه‌ای باشند برای مثال طبق BS 1504 یا ASTM A 487, A 703 .

## آنالیز و خواص

برای مثال فولاد ریختگی Cr-Ni با استحکام بالا (BS 1504-425 C11) باید دارای ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی زیر باشد:

| خواص مکانیکی | ترکیب شیمیایی (درصد) | |
|---|---|---|
| Yeild($R_e$) ≥ 620 N/mm² | Cr: 11.5-13.5 | Ni 3.4- 4.2 |
| UTS($R_m$) ≥ 770 N/mm² | Mo≤ 0.6 | C≤ 0.1 |
| Elongation(A)≥ 12% | | Mn≤1.0 |
| Charpy impact≥ 30 J | | P≤ 0.04 |
| Hardness(Ave. 3 test): 235-320 HB | | S≤ 0.04 |

در جدول بالا اولا توجه شود که درصد برخی عناصر (trace elements) به صورت ماکزیمم مشخص شده است و ثانیا استحکام این فولاد خاص نسبت به نوع آستنیتی بالاتر است.
نوع آستنیتی باید حدودا ۱۷-۱۹ درصد Cr و ۸-۱۰ درصد Ni داشته باشد (بعضی اوقات با ۳ درصد Mo مثلا مطابق ASTM A 351-CF8).
قابلیت ردیابی: موارد زیر انتظار می‌رود:

- آنالیز شیمیایی و نتایج آزمایش مکانیکی برای هر قطعه ریختگی
- علامت‌گذاری مشخص با شماره ریخته‌گری و شماره عملیات حرارتی؛ قابل ذکر است که معمولاً بر روی قطعات ریختگی عملیات حرارتی صورت می‌گیرد.
- نمونه آزمایش باید از محلی تهیه شود که مورد توافق فروشنده و خریدار است. استانداردهای فنی معمولا جزییات موقعیت و جهت‌گیری تهیه نمونه را ذکر نکرده‌اند و باید در این مورد تصمیم‌گیری شود، چرا که در نتایج آزمایش تاثیر زیادی دارد. این مورد به خصوص برای قطعات ریختگی بزرگ اهمیت دارد.

**شکل ٤ـ٢** اطلاعات پایه‌ای قطعات ریختگی

با وجود اینکه برای مواد چندین هزار استاندارد وجود دارد، ولی با یک نگاه کلی به آنها می‌توان مواد را بر اساس روش تولیدشان به چهار دسته تقسیم‌بندی کرد. این چهار دسته عبارتند از: مواد فورج شده، ریختگی، ورق‌ها و لوله‌ها. در بخش‌های فنی رایج مثل آنالیز مواد و آزمایش‌های مکانیکی بین هر دسته تشابه‌هایی وجود دارد. از این تقسیم‌بندی برای ارائه برخی اطلاعات فنی اساسی در شکل‌های ۱-۴ تا ۴-۴ استفاده شده است.



## ورق‌ها

ورق‌ها با نورد تهیه شده و کاربرد وسیعی دارند:

- رایج‌ترین کاربرد ورق‌ها با عرض بیش از 600 mm و ضخامت بیش از 16 mm در ظروف و تولیدات عمومی است.
- برای کاربردهای خاص مانند ظروف تحت فشار بالا می‌توان از ورق تا ضخامت ۲۵۰ mm استفاده کرد. اما در این ضخامت‌های بالا ویژگی‌های خاصی مورد نیاز است.
- اغلب ورق‌ها قابلیت جوشپذیری داشته و می‌توان با کار سرد آنها را به شکل مناسب برای استفاده درآورد. همچنین برای ساخت کلکی انتهای ظروف تحت فشار می‌توان آنها را اسپینینگ کرد.

## آنالیز و خواص

آنالیز شیمیایی و خواص مکانیکی ورق‌ها به نوع آنها بستگی دارد. ورق‌های بسیار رایج، عموما به دو دسته ورق‌های کربنی و کربن-منگنزدار تقسیم می‌شوند که استانداردهای EN 10130/BS 1449 آنها را پوشش می‌دهد و برای کاربردهای عمومی و دمای متوسط مناسب هستند. خواص آنها از قرار زیر است:

| خواص مکانیکی | ترکیب شیمیایی (درصد) |
|---|---|
| Yeild($R_e$): 170-350 N/mm² | C: 0.08-0.2(Depending on the grede) |
| UTS($R_m$): 280-500N/mm² | Mn: 0.45- 0.9(The lower Mn levels give better formability) |
| Elongation(A)≥ 16% | S: 0.03- 0.05 |
| Hardness: 130- 270 HV | P: 0.025- 0.06 |

- در جدول بالا آزمایش ضربه چارپی عموما ضروری نشده است و مقدار سختی داده شده، قبل از عملیات حرارتی است.
- فولادهای C-Mn با استحکام بالاتر، دارای Mn بالاتر تا حدود ۱/۵ درصد هستند. قابل ذکر است که فولادهای C-Mn با شرایط مختلف در دسترس هستند، که مهمترین آنها عبارتند از:
- R: فولاد nآرام که دارای پوسته ریختگی تقریبا عاری از کربن و دیگر ناخالصی‌ها است و تولید آن همراه با اکسیژن‌زدایی است.
- K: فولاد آرام که کاملا اکسیژن‌زدایی شده است.
- H: بیانگر نوع تمپر است؛ و H1 تا H6 سختی حاصل از تمپر را مشخص می‌کنند.
- ورق‌های فولادی برای استفاده در دماهای بالا (بیش از حدودا ۴۲۰°C) در استانداردهای مجزا توضیح داده شده‌اند. ورق‌های دیگ بخار (از جنس فولادهای آلیاژی) در BS 1501 پوشش داده شده است.
- قابلیت ردیابی:
- تمام ورق‌ها باید توسط یک گواهی نورد قابل ردیابی باشد.
- برای قابلیت ردیابی کامل، ورق‌ها هنگامی که برای ساخت برش داده می‌شوند باید دارای مشخصات حک شده بر روی ورق جدا شده باشند (شکل ٤-۶).
- ورق‌های مورد استفاده در ظروف تحت فشار معمولا برای بررسی تورق (lamination) طبق BS 5996 مورد آزمایش اولتراسونیک قرار می‌گیرند.

**شکل ٤ـ٣** اطلاعات پایه‌ای ورق‌ها

### لوله‌ها

برای کاربرد واژه‌های pipe و tube تفاوت‌های روشنی وجود ندارد. انواع مختلف لوله‌ها برای کارهای مهندسی وجود دارد. برای کاربردهای خاص مانند لوله‌های دیگ بخار، لوله‌های مبدلهای حرارتی و لوله‌های ظروف تحت فشار استانداردهای مشخصی وجود دارد. لوله‌ها برای کاربردهای ساده معمولا با تسمه‌های نورد شده(rolled strip) ساخته شده و به صورت طولی جوشکاری می‌شوند. لوله‌های مورد استفاده در دماهای بالا و ظروف تحت فشار معمولا با فورج یا فرایندهای نورد مثل سمبه‌زنی (pilgering) ساخته می‌شوند. یک معیار اصلی برای انتخاب نوع لوله فولادی، قابلیت کاری آنها در دماهای بالا است.

### آنالیز و خواص

لوله از جنس فولاد کربنی مورد استفاده در دیگ‌های بخار با قطر 120 mm باید دارای خواص زیر باشد:

| خواص مکانیکی | ترکیب شیمیایی (درصد) |
|---|---|
| Yeild($R_e$) ≥195 N/mm² | C≤ 0.16 |
| UTS($R_m$): 320- 480 N/mm² | Si: ≤0.35 |
| Elongation(A)≥ 25% | Mn: 0.3-0.7 |
| | P≤ 0.04 |
| | S≤ 0.04 |

علاوه بر آزمایش‌های مکانیکی ذکر شده در بالا، بر روی لوله‌ها، آزمایش تخت شدن (flattening) و انبساطی (drift expanding test) نیز انجام می‌شود.

از این فولادها برای تولید لوله‌های جوشکاری شده یا بدون‌درز استفاده می‌شود. باید اشاره کرد که هر چه درصد کربن پایین‌تر باشد، استحکام تسلیم کمتر شده؛ ولی میزان درصد ازدیاد طول بهبود می‌یابد. استاندارد رایج برای این کاربرد BS 3059 grade 320 معادل ISO 2604 است.

در حین ساخت بر روی لوله‌ها یک سری آزمایش صورت می‌گیرد؛ از جمله این موارد می‌توان به آزمایش غیر مخرب جریان‌های گردابی (eddy current) برای تشخیص عیوب و تست هیدرواستاتیک اشاره نمود.

قابلیت ردیابی:

- غالبا لوله‌ها در بسته‌های ۲۰۰تایی عرضه می‌شوند. لذا نباید انتظار داشت که هر لوله به تنهایی علامت گذاری شده باشد. نمونه‌های آزمایش به صورت تصادفی از بین هر بسته انتخاب می‌شود.
- هر بسته باید با یک شماره حرارتی مشخص شود که این شماره در گواهینامه مواد ذکر شده و بر روی هر لوله حک می‌شود.
- برای هر کدام از لوله‌های بزرگ تولید شده به روش فورج باید مشخصات و نمونه‌های تست جداگانه وجود داشته باشد.

شکل ٤.٤ اطلاعات پایه‌ای ورق‌ها

## تضمین پذیرش (acceptance guarantees)

برای اکثر مواد مورد استفاده در تجهیزات ضمانت پذیرش مجزا وجود ندارد. یک سری از استانداردها هم‌سو با مشخصه‌های ذکر شده در قرارداد وجود دارد، که الزامات این استانداردها معیارهای پذیرش مواد مورد استفاده در تجهیزات را شکل می‌دهند. استانداردهای مواد دارای محدوده (scope) و وضوح خوبی هستند که استفاده از آنها را راحت‌تر می‌کند. تعیین همزمان کنترل‌های بهتر و قابلیت انعطاف بیشتر معمولاً مشکل است. بعضی از اوقات (شاید حدود ده درصد مواقع) در مشخصه‌های قرارداد به سطح خاص و مهمی



از الزامات عملکرد مواد یا ارجاع به استانداردهای خیلی خاص و غیر معروف مشاهده می‌شود که این را ضمانت پذیرش می نامیم. مثلاً ممکن است به بعضی از استانداردهای خاص صنعتی مانند NACE ارجاع شده باشد. برخی از رایج‌ترین الزامات خاص عبارتند از:

- آزمایش‌های خوردگی، که آزمایش‌های خاصی برای اندازه‌گیری مقاومت به خوردگی مرزدانه‌ای در فولاد زنگ‌نزن آستنیتی است.
- آزمایش‌های بررسی نحوه توزیع ترکیب (compound distribution tests)، رایج‌ترین این آزمایش‌ها سولفور پرینت (sulphur print) است، که در واحدهای شیمیایی برای تعیین توزیع ترکیبات گوگرد در نمونه انجام می‌شود. برای فولادهای فریتی و مارتنزیتی ریختگی در مواقعی که میزان آلومینیوم باقی‌مانده باید محدود باشد، یک نوع آزمایش شبیه ماکرواچ به کار می‌رود. یک نمونه با مقطع بزرگ پس از عملیات حرارتی تهیه شده و با اسید هیدروکلریک اچ گردیده و توزیع ترکیبات آلومینیوم بررسی می‌شود.
- آزمایش تعیین دمای تبدیل شکل ظاهر شکست (FATT)، یکی از زیرمجموعه‌های آزمایش ضربه است که نسبت منطقه شکست ترد و نرم در مقطع شکست تعیین می‌شود.

همیشه مشخصات قرارداد را برای یافتن الزام برای چنین آزمون‌های خاصی کنترل کنید. به خصوص باید به اجزایی که در دماهای غیرمعمول بالا یا پایین به کار می‌روند یا تحت شرایط خوردگی شدید هستند، توجه بیشتری شود.

## مشخصات فنی و استانداردها

همانگونه که اشاره شد، مشخصات فنی قراردادها معمولا به استانداردها ارجاع می‌نمایند. بنابراین استانداردهای مواد نسبت به استاندارد تجهیزات دارای نقش بیشتری در شرایط نهایی تجهیزات ساخته شده ایفا می‌کنند. البته باید گفت که این مطلب همیشه صادق نیست و در برخی موارد سازنده‌ها تمایل دارند بر اساس تجربیات خود کیفیت و مرغوبیت مواد را مشخص کنند. این کار ذاتاً اشتباه نیست، ولی باید این چنین مواردی دقیق‌تر بررسی شوند. در زیر راهنمایی‌هایی برای بازرسی در چنین مواردی داده شده است:

- باید مشابه‌ترین استاندارد مواد منتشر شده به مواد مورد استفاده سازنده شناسایی شود. ابتدا بر اساس ترکیب شیمیایی و سپس عملیات حرارتی و پرداخت نهایی (finishing).
- باید خواص مکانیکی به دقت مقایسه شوند. انتظار می‌رود تا مواد مورد استفاده سازنده شرایط بهتری نسبت به مشابه‌ترین استاندارد به آنها را داشته باشد.
- برای اینکه موادی دارای خواص برتری نسبت به مواد استاندارد داشته باشند، باید تمام خواص بهتر باشد. معمولاً قابل قبول نیست که استحکام (تسلیم یا کششی) بهتر به همراه کاهش نرمی (ductility) (درصد ازدیاد طول یا کاهش سطح مقطع) یا مقاومت به ضربه باشد.
- همیشه باید به خاطر داشت که برخی خواص دیگر علاوه بر خواص رایج در استانداردها و مشخصه‌های مواد وجود دارد. خستگی و خزش از جمله موارد خاص و مقاومت به خوردگی و فرسایش از جمله موارد عمومی‌تر هستند. می‌توانید از سازنده بخواهید که چگونگی تخمین یا اندازه‌گیری این خواص را نیز شرح دهد.

- بنا به تجربه، محل‌هایی در نیروگاه‌ها یا تاسیسات فراوری که بیشتر ممکن است با مشخصه‌های خود سازنده برای مواد مورد استفاده مواجه شد عبارتند از:
- قطعات ریختگی بزرگ مورد استفاده در دماهای بالا مانند بدنه شیرآلات و بدنه توربین.
- مواد ریختگی که مقاومت به خوردگی آنها بهبود یافته است، مانند شیرهای مورد استفاده برای آب دریا و شرایط خوردگی شدید.
- مواد فورج شده که برای استفاده در دماهای بالاتر از 650 °C طراحی شده‌اند، به خصوص در توربین گازی و کاربردهای تاسیسات فراوری.

برای موارد زیر معمولا مواد با مشخصه‌های خود سازنده مشاهده نمی‌شود: مخازن و دیگ‌های بخار تحت الزامات قانونی (statutory)، فولادهای زنگ‌نزن، تجهیزاتی که در آب معمولی کار می کنند، اجزایی که در دماهای پایین کار می‌کنند و تجهیزاتی که فروش کاتالوگی دارند. در این موارد، مشخصات مواد منتشره شناخته شده‌ای وجود دارد. در استانداردهای مواد نسبت به استانداردهای تجهیزات، اطلاعات تکنیکی، بسیار دقیق‌تر و کامل‌تر تعریف شده‌اند. شاید به این دلیل که گستره تکنیکی مواد از تجهیزات محدودتر است و وظایف آنها مشخص‌تر بیان می‌شود. اما استانداردهای تجهیزات بازتر می‌باشند. خوشبختانه اکثر استانداردهای آمریکایی و اروپایی مورد نیاز، دارای ساختار و اصول مشابهی می‌باشند. به موارد زیر باید توجه شود:

- ابتدا باید یک مجموعه خوب از مراجع وجود داشته باشد. دو مرجع اصلی زیر توصیه می‌شود:
- فهرست استانداردهای BSI، که استانداردهای انگلیسی و همچنین بین‌المللی و اروپایی (ISO/EN و غیره) مربوطه را پوشش می‌دهد. نه تنها استانداردهای مربوط به مواد بلکه تمامی استانداردها مرجع داده شده‌اند. همچنین این فهرست دارای لیست موضوعی بسیار پر ارزش است.
- کتاب سالانه استانداردهای ASTM، استانداردهای ASTM در چندین جلد منتشر شده و دارای لیست موضوعی است که کمک می‌کند تا استاندارد مربوطه سریعتر پیدا شود. برای کارهای بازرسی بیشتر از جلد۱ (تولیدات فولادی و آهنی)، جلد ۲ (تولیدات غیرآهنی)، جلد ۳ (روشهای آزمایش مواد) و جلد ۶ (رنگها) استفاده می‌شود. استانداردهای ASTM در کدهای ASME ظروف تحت فشار و دیگ‌های بخار که به فعالیت‌های بازرسی مربوط می‌شوند ارجاع داده شده‌اند.
- اطلاعات مکمل، مرجع آلمانی کلید فولاد (Stahlschüssel) است، که دارای فهرست سازنده‌های مواد آهنی در سراسر دنیا می‌باشد. همچنین نشان دهنده نامهای معادل در بین نام‌گذاری‌های مختلف مواد است. این کتاب اغلب برای شناسایی مواد ناشناس به کار می‌رود.
- در صفحات اول یا آخر استاندارد مواد فهرست استانداردهای ارجاع داده شده آمده است. این استانداردها در طول سال‌ها توسعه و گسترش یافته‌اند؛ و لازم است به مجموعه این استانداردها توجه شود. مشابه‌ترین آنها باید با دقت مطالعه شود و الزامات خاص ارائه شده برای چهار فرایند اصلی ساخت مواد (فورج، ریخته‌گری، ورق و لوله) بررسی شود. با بازگشت به استاندارد اصلی می‌توان اطمینان حاصل کرد که در نکات کلیدی تاثیرگذار در تشخیص FFP اشتباهی صورت نگرفته است.
- زیرنویس‌ها و یادداشت‌ها نباید فراموش شوند. این‌ها موارد توضیحی اضافی نبوده، بلکه جزء ساختار ویژه استانداردها به شمار می‌روند. بسیاری از آنها دارای نکات بسیار مهمی هستند و در درک صحیح اطلاعات اهمیت زیادی دارند؛ به خصوص در مورد آنالیز شیمیایی و عملیات حرارتی. باید دقت داشت که این یادداشت‌ها در مورد خواص قابلیت پذیرش مواد در ارتباط با ابعاد یا ضخامت مواد را تعیین می‌کند که در بسیاری از مواقع شاهد تفاوت‌های زیادی هستیم.
- باید توجه داشت که طراحی‌های نوع (grade) مواد به تدریج و بسیار دقیق صورت گرفته است. شماره اول یا شماره‌های بعدی، تفاوت‌های زیادی ایجاد می‌کنند. برای مثال در مورد فولاد آلیاژی ریختگی آستنیتی Cr-Ni مقادیر قابل پذیرش استحکام کششی و درصد ازدیاد طول بین BS 1504 نوع 304C12 و BS 1504 نوع 304C17 حدود ۱۰ درصد تفاوت وجود دارد. همچنین میزان کربن و کرم در این دو نوع بسیار متفاوت است. به علاوه دارای شرایط عملیات حرارتی متفاوتی هستند. بنابراین باید در استفاده از جدول مناسب برای ماده مورد نظر نهایت دقت را مبذول داشته و یادداشت‌ها مطالعه شود.

محدوده استانداردهای مواد منتشر شده بسیار وسیع است. ممکن است میان استانداردهای سری ASTM و اروپایی و یا حتی در بین خود استانداردهای مختلف اروپایی موارد تکراری و مشابه وجود داشته باشد؛ حتی ممکن است با تناقض‌هایی برخورد نماییم. خوشبختانه در اغلب موارد در کارهای بازرسی با استانداردهای غیر متداول و بحث‌های پیچیده مواجه نمی‌شویم. در این رابطه، یک فهرست از بیست استاندارد متداول که در قراردادهای ساخت استفاده می‌شود را می‌توان در نظر گرفت. البته باید متذکر شد که نمی‌توان ادعا داشت که برای تاسیسات نیروگاه‌ها، واحدهای فراوری و پروژه‌های صنایع فراساحلی (Offshore)، این لیست مشابه باشد. ولی برای تجهیزات اصلی مانند پمپ‌ها، لوله‌کشی، دیگ‌های بخار و ظروف تحت فشار عمومی می‌توان اشتراک‌هایی پیدا کرد. چنین موضوعی علاوه بر مواد، برای استانداردهای مربوط به تکنولوژی و فرایندها نیز صادق است. به عنوان راهنمایی در شکل ۵-۴ فهرست بیست استاندارد متداول برای پروژه‌های نیروگاه‌های سیکل ترکیبی ارائه شده است.

## طرح بازرسی و آزمون (Inspection and test plans)

در تمام ITP های تجهیزات مهندسی ساخته شده، به مواد مورد استفاده در تجهیزات اشاره می‌شود. می‌توان گفت احتمالاً به استثنای اجناس تولید انبوه کاتالوگی، همه تجهیزات شامل بازرسی مواد می‌گردند. ITP مربوط به بررسی مواد، علاوه بر اینکه شامل موارد فنی ذکر شده در استانداردها است، قابلیت ردیابی مواد را که یک موضوع فرایندی است را نیز شامل می‌شود. در کنار موارد فنی، قابلیت ردیابی جزء موارد بسیار مهم و غیر قابل صرف نظر کردن در بازرسی مواد است. اجازه دهید که موضوع قابلیت ردیابی را دقیق‌تر بررسی نماییم.

### قابلیت ردیابی مواد

ممکن است به نظر برسد که ایجاد قابلیت ردیابی، یک نوع تشریفات اداری می باشد. اما این طرز تفکر غلط است، چون واقعا این طور نیست. باید گفت که این موضوع مربوط به کنترل مواد بوده و باید به صورت کامل اجرا شود.

| اجزای توربین بخار | مرجع برای مواد |
|---|---|
| *پره توربین* | |
| • دیسک‌های توربین | Nimonic 115 |
| • بدنه (انتهای گرم) | Hastalloy X, Waspalloy (Wk 2.4654) |
| • محفظه احتراق | Inconel 617 (Wk 2.4663) |
| *توربین بخار* | |
| • روتور | ASTM A470 |
| • بدنه | DIN 17245 |
| • بدنه دریچه مسدود کننده | ASTM A356 |
| *دیگ بخار بازیافت حرارت اتلافی* | |
| • محفظه (drum) | DIN 17 155 |
| • لوله‌های با دمای پایین | BS 3604 |
| • لوله‌های با دمای متوسط | BS 3605 |
| • لوله‌های با دمای بالا | BS 3059 |
| *سیستم بخار با فشار بالا* | |
| • بدنه شیرهای ریختگی | ASTM A487 |
| • لوله‌های آهنگری شده | ASTM A430 |
| *سیستم‌های آب دریا* | |
| • صفحه لوله کندانسور | BS 2875 |
| • بدنه شیرهای ریختگی | BS 1400 |
| • درون شیرها | AISI 316L |
| • بدنه پمپ | BS 3468 |
| *جعبه دنده‌ها (gearbox)* | |
| • چرخ‌ها، دنده‌های هرزگرد (pinion) و محورها | BS 970 Part I |
| *سرویس آب عمومی* | |
| • اجزای چدنی | BS 2789 |
| • محورهای پمپ | BS 970 |

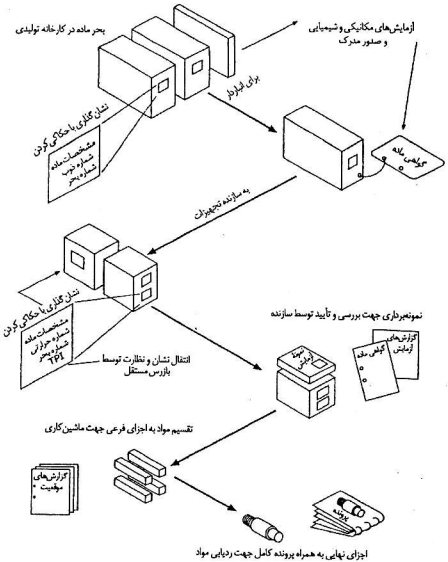
**شکل ۴-۵** بیست استاندارد متداول

هدف از قابلیت ردیابی رسیدن به یک شناسایی مطمئن از مواد است و مشتری همان جنسی را دریافت می‌کند که شناخته شده و مطمئن باشد. اما سوال این است که در عمل و با وجود فشارهای کاری چگونه می‌توان به این مهم دست یافت؟ باید گفت که با رعایت مراحل زیر این امر امکان‌پذیر است:

- مواد در کارخانه تولیدی به صورت کامل آزمایش شده، و دسته بندی گردد.
- مواد هنگام فروش همراه با تاییدیه و گواهینامه کیفیت ارائه شود.
- مستند سازی (documentation) به سیستمی گفته می‌شود که کلیه مراحل (تا مرحله استفاده نهایی ماده) را پیگیری می‌نماید. ممکن است علامات و سایر موارد فیزیکی، پشتیبان آنچه مستندات می‌گویند، باشند.

این مستندات مشخصات و فرایندهای انجام شده را نشان می‌دهد. مستندسازی جهت ردیابی مواد، هدف نیست بلکه وسیله است و این متفاوت با بوروکراسی اداری است. بنابراین باید یک برنامه از پیش تعیین شده برای حضور و گواهی در محل وجود داشته باشد تا ارتباطی مطمئن بین مستندات و ماده مورد نظر برقرار گردد. موارد این مشاهده حضوری (witness)،باید در ITP ذکر شود.






**شکل ۴-۶** زنجیرهٔ قابلیت ردیابی مواد

شکل ۴-۶ نحوه ایجاد قابلیت ردیابی برای مواد مهندسی را نشان می‌دهد. علی‌رغم اینکه تمامی موارد نشان داده شده قابل اجرا است ولی برای تمام مواد، سیستم یکسانی به کار نمی‌رود. نوع ماده و کاربرد نهایی آن در انتخاب سیستم ردیابی مناسب تاثیر دارد.

### سطوح قابلیت ردیابی براساس استاندارد EN 10 204

مرجع بسیار رایج برای بخش مواد در ITP ها، استاندارد اروپایی EN 10 204 است. این استاندارد به صورت وسیعی در اغلب صنایع مورد پذیرش قرار گرفته و بر پایه مشخصه‌های قراردادهای اروپایی و امریکایی است. استاندارد مذکور دو رده گواهی (certificate) را بیان می‌کند: کلاس ۳ و کلاس ۲ (شکل ۴-۷

| ردهٔ گواهینامهٔ EN 10 204 | تایید مدارک توسط | انطباق با قوانین فنی* | سفارش | آیا شامل نتایج آزمایش هم می شود؟ | اساس آزمایش مشخص | اساس آزمایش غیر شخص |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.1A | I | • | • | بله | • | |
| 3.1B | M(Q) | • | • | بله | • | |
| 3.1C | P | | • | بله | • | |
| 3.2 | P+M(Q) | | • | بله | • | |
| 2.3 | M | | • | بله | • | |
| 2.2 | M | | | بله | | • |
| 2.1 | M | | • | خیر | | • |

I : سازمان بازرسی مستقل (ثالث)
P : خریدار
M(Q) : واحد مستقل (معمولا کنترل کیفیت) سازنده ماده
M : واحدی از سازمان سازنده ماده
* : معمولا قوانین فنی (technical rules) خواص ماده از استاندارد مربوط به آن ماده استخراج می‌شود (همچنین از کد مخازن تحت فشار قابل استفاده)

**شکل ٤-٧ رده گواهی‌نامه**

مشاهده شود). گواهی کلاس ۳ توسط واحدی غیر از شرکت سازنده مواد تایید می‌شود. و اطمینان کاملی می‌دهد که ماده مطابق با خواص ادعا شده برای آن است. بالاترین رده گواهی‌نامه مواد، مطابق کلاس 3.1A تهیه می‌شود. در این مورد حتما باید آزمایش‌ها با نظارت یک شرکت ثالث مستقل صورت گیرد. ولی در کل برای مواد قابل ردیابی، استفاده از 3.1B رایج‌تر است.

گواهی‌نامه کلاس ۲ کاملا توسط سازنده ارائه و تایید می‌شود و یکی از رایج‌ترین گواهی‌های مورد استفاده می‌باشد. برای تولیدات بحری، گواهی 2.2 تقریبا دارای همان موقعیت گواهی است و برتری خیلی خاصی نسبت به آن ندارد.

### آزمایش‌های جایگزین (retrospective test)

در مواردی که قابلیت ردیابی (آنچنان که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است) جزء الزامات قانونی باشد، و در مراحل نهایی ساخت مشخص شود که قابلیت ردیابی خدشه‌دار شده است؛ کار چندان زیادی نمی‌توان کرد. باید اذعان داشت که چنین حالت‌هایی نادر نمی‌باشند و کمابیش رخ می‌دهند. در چنین مواقعی یک راه حل انجام آزمایش‌های عطف به ماسبق می‌باشد.

برخی راهنمایی‌ها برای آزمایش‌های جایگزین به شرح زیر است:

- هدف، شناسایی کامل و طبقه‌بندی ماده است، بنابراین نیاز به آزمایش‌های دقیق و کافی می‌باشد.
- آزمایش‌های درجا مانند روش‌های تخمین حدودی آنالیز شیمیایی می‌تواند تفاوت رده‌های مختلف یک ماده را به دقت آشکار کند.
- تهیه نمونه ماده از تجهیز مورد نظر از طریق برش و انجام آزمایش‌ها بر روی آن مطمئن‌ترین و اغلب اوقات ساده‌ترین روش است.



- در صورتی که نتوان از تبعیت صحیح از ITP اطمینان حاصل کرد، درخواست آزمایش‌های جایگزین کاملاً قابل توجیه خواهد بود. کنترل کنید که آیا مفاد قرارداد چنین درخواستی را پشتیبانی می‌نماید؛ قاعدتا باید چنین باشد.

### مسئولیت‌ها

در قرارداد، باید مسئولیت ایجاد صحیح قابلیت ردیابی مواد تعیین شده باشد. معمولاً این مورد جزء وظایف پیمانکار اصلی است، اما در عمل به علت ساختار قراردادهای دست دوم، این مسئولیت به پیمانکار فرعی منتقل می‌شود. به عنوان بازرس تعجب نکنید اگر الزامات قراردادی قابلیت ردیابی در یک یا دو مرحله از قراردادهای زنجیره‌ای پیمانکاری تغییر نماید و یا کلاً ناپدید شود. در این گونهٔ مواقع استفاده از یک چک لیست درباره مسئولیت‌های ایجاد قابلیت ردیابی مفید خواهد بود. در اینجا به این موارد اشاره می‌شود، که همین موارد می‌تواند زمینه‌ای باشد برای مسئولیت‌هایی که باید در ITP ذکر شود:

- ابتدا باید سفارش پیمانکار فرعی بررسی شود. این محلی است که معمولا قابلیت ردیابی دچار خدشه می‌شود. تنها معدودی از سازنده‌ها هستند که مواردی را که در قرارداد نیامده است را حاضر هستند داوطلبانه انجام دهند.
- نقش بازرس مستقل (TPI) باید بررسی شود. بازرس مستقل نزدیک‌ترین شاهد برای فعالیت‌های ریخته‌گری و نورد، قبل از برشکاری ، جوشکاری و ماشین‌کاری است. بازرس مستقل را تشویق نمایند که به قابلیت ردیابی توجه کامل نماید.
- ایجاد قابلیت ردیابی پس از برشکاری و ماشین‌کاری بر عهده سازنده است. در این مرحله بازرس ثالث نقش کمتری نسبت به سازنده دارد. یک بازرسی موثر شامل مدیریت بخشهای مختلف برای این موضوع می‌باشد.
- منقطع بودن قابلیت ردیابی معمولا به علت نقصان در سیستم است تا یک اتفاق مجزا (از ممیزان سیستم EN ISO 9000 بپرسید). بنابراین در این گونه مواقع اکتفا کردن به دادن گزارش عدم قابلیت ردیابی صحیح نیست، بلکه باید علت ریشه‌ای آن نیز شناسایی شود.

### محتویات ITP

موارد نسبتاً کمی در ITP ذکر می‌شود، ولی همین موارد کم باید کامل، خلاصه و کاملا دقیق باشد تا دستیابی به قابلیت ردیابی را ایجاد کند. شکل ۴-۸ یک شکل از نحوه ارائه موارد ITP را نشان می‌دهد. این مورد برای تجهیزات دیگ بخار مطابق با کد ظروف تحت فشار است. نحوه ارائه در صورتی که کاملا واضح و غیر مبهم باشد، نسبت به محتوا اهمیت کمتری دارد. حذف هر کدام از موارد نشان داده شده در شکل ۴-۸ تاثیر ITP را کاهش خواهد داد. به توضیحات اضافه شده در شکل هم باید توجه کرد. چهار رده برای قابلیت ردیابی وجود دارد که نشان داده شده است و تمام مواردی را که یک بازرس با آنها مواجه می‌شود را شامل می‌شود. در بالای جدول، بالاترین رده قابلیت بازیابی 3.1A تاکید شده است. به این دسته‌بندی باید توجه ویژه‌ای داشت.

به عنوان نکته نهایی در مورد بخش مواد ITP، باید به خاطر داشت که موارد ITP به اجزای مشخصه‌های قرارداد ربط داشته باشند. به خصوص برای مواردی که الزام قانونی وجود دارد. قابلیت ارجاع به

| عملیات | محل بازرسی TPI | C | M | الزامات مستند | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|
| لوله اصلی دیگ بخار | | | | | |
| ۱. انتقال علائم | | W | | EN 10 204 (3.1A) | |
| ۲. آزمایش‌های مکانیکی | | W | W | | |
| ۳. آنالیز شیمیایی | | W | W | | |
| ٤. هیدروآزمایش | | W | W | | |
| ۵. NDT لوله | | W | W | | در این ستون باید LANCR ذکر شوند. |
| ۶. مرور مستندسازی | | R | R | | |
| هرز گرد شیر اطمینان | | | | | |
| ۱. آزمایش‌های مکانیکی | | W | W | تاییدیه EN 10 204 ( 3.1 B) | |
| ۲. آنالیز شیمیایی | | R | W | | |
| ۳. NDT | | W | W | | |
| ٤. مرور مستندسازی | | W | W | | |
| فولادهای ساختمان بویلر | | | | | |
| ۱. آزمایش‌های مکانیکی (نمونه) | | R | W | EN 10 204 (2.2) | |
| ۲. آنالیز شیمیایی (نمونه) | | R | W | گواهی برای فولاد کربنی | |
| ۳. مرور مستندسازی | | R | W | | |
| اتصالات انبساطی لوله بخار | | | | | |
| ۱. مرور مستندسازی | | W | R | گواهی انطباق | |

افزایش قابلیت ردیابی

W : مشاهده حضوری ؛ M : سازنده ؛ C : پیمانکار ؛ R : مرور TPI : Third Party Inspector بازرس مستقل

**شکل ٤ ـ ۸ اجزای ITP : آزمایش‌های مواد و قابلیت ردیابی**

قرارداد کار بازرس را برای انجام شدن این فعالیت‌ها تسهیل می‌نماید. همچنین توجه به این موضوع در مراحل اولیه تدوین ITP (هنگامی که ایجاد تغییرات نسبتا ساده تر است) ضروری است.

## روش‌ها و دستورالعمل‌های آزمایش

روش آزمایش مواد به خوبی تهیه شده و موجود هستند. در بسیاری از کتابهای مرجع مهندسی و همچنین استانداردهای فنی اروپایی و آمریکایی روش‌های آزمایش مواد شرح داده شده است.
آزمایش‌های مخرب رایج برای اندازه‌گیری خواص مکانیکی مواد، که یکی از اصلی‌ترین معیارهای FFP است انجام می‌شود.

بازرسی موثر شامل رسیدگی به آزمایش‌های مواد به روش‌های خاص است. دو روش برای این کار وجود دارد. یا باید بازرس شخصا شاهد انجام آزمایش باشد و دقت و قابل اطمینان بودن نتایج را مشخص کند، یا به صورت ساده‌تر، نتایج آزمایش را مرور و بررسی کند. مشاهده انجام آزمایش نهایی بر روی نمونه‌ها بسیار مناسب است و باعث دقت کارکنان آزمایشگاه می‌شود. به هر حال نکته‌ای که نباید فراموش شود این است که علاوه بر نحوه انجام آزمایش، موقعیت تهیه نمونه و جهت‌گیری آن هم حتما باید بررسی شود؛ چرا که مسلما در نتایج آزمایش تاثیر بسیاری دارد. تجربه نشان داده است که در این موارد، بیش از اجرای



آزمایش نهایی مشکلات بیش می‌آید. لذا فقط با حاضر شدن در آزمایشگاه و مشاهده آزمایش‌ها نمی‌توان به اجرای صحیح کار اطمینان حاصل کرد و باید به موارد جنبی هم توجه شود.

## نحوه ارائه نتایج آزمایش

در این بخش به مواردی پرداخته می‌شود که باید در تاییدیه مواد موجود باشند. معمولاً این موارد کاملاً مشخص هستند. برای نمونه در شکل ۴-۹ برای فولاد آستنیتی ریختگی (فولاد با 2.5 درصد مولیبدن) نحوه و مواردی که باید در مدرک ماده ذکر شود آمده است. چند نکته دیگر که مناسب است ذکر شود عبارتند از:

- *سطوح پذیرش.* گستره مواد بسیار وسیع است، بنابراین نمی‌توان انتظار مقادیر مشخصی برای آنالیز شیمیایی و خواص مکانیکی داشت. از سوی دیگر متاسفانه در بسیاری از گواهی‌ها سطوح قابل قبول ذکر نشده‌اند، بلکه فقط به شماره ویژه ماده اشاره شده است. بنابراین بازرس باید با استفاده از استاندارد ماده مربوطه، اطلاعات داده شده را به دقت مقایسه کرده و از تطابق مقادیر مورد پذیرش اطمینان حاصل کند. پس بهتر است که جهت جلوگیری از اشتباه، سطوح پذیرش نیز از ابتدا در گواهی ذکر شده باشند. نباید در مقادیر مینیمم و ماکزیمم اشتباه شود.
- *واحدها.* معمولا در گواهی مواد از واحدهای سیستم SI استفاده می‌شود. استحکام کششی با واحدهای MPa ، $MN/m^2$ یا $N/mm^2$ داده می‌شود که هر سه اینها یکسان هستند. ازدیاد طول و کاهش سطح مقطع به صورت درصد بیان می‌شود. باید اشاره کرد که نتایج کشش وقتی قابل استفاده است که از ابعاد مناسب برای نمونه آزمایش استفاده شده باشد. در یک گواهی خوب طول و قطر نمونه آزمایش شده به صورت مثلا $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ بیان می‌شود. نتایج آزمایش ضربه معمولا با J ارائه می‌شود.
- *طبقه‌بندی دمایی.* دمای انجام آزمایش‌های مکانیکی باید با دمای مشخص شده در استاندارد مطابق باشد. دمای آزمایش به طراحی ماده بستگی دارد و علامات می‌توانند کمک ما باشند. به عنوان مثال آلیاژ ریختگی BS 1504 برای کاربرد در دماهای پایین دارای علامت LT پس از کد ماده است. همچنین ممکن است دمای انجام آزمایش با یک سری عدد مشخص شده باشند. در صورتی که دمای خاصی برای انجام آزمایش ذکر نشده باشد، می‌توان فرض کرد که دمای آزمایش، دمای محیط (20°C) است.
- *آزمایش‌های ضربه.* همه مواد تحت آزمایش ضربه قرار نمی‌گیرند. معمولا برای مواردی آزمایش ضربه ضروری است که دمای کاری پایین‌تر از 150°C باشد و یا ماده در معرض نیروهای ضربه‌ای باشد. در شکل ۹-۴، فقط در حالتی که ماده در دمای پایین (LT) استفاده شود آزمایش ضربه توسط استاندارد ضروری شده است.
- *نتایج مرزی.* همیشه باید به نتایج مرزی دقت بیشتری کرد. یعنی در مورد نتایج آنالیز شیمیایی و آزمایش‌های مکانیکی که خیلی نزدیک حدود میزان پذیرش هستند (در مثال ارائه شده، مقدار Mn یا مقادیر $R_{P1.0}$ و $R_m$) باید بررسی بیشتری کرد. در عمل معمولا مجبور هستیم که این مقادیر را بپذیریم (بدون اینکه آزمایش مجدد را تعیین کنیم). برای نتایج مرزی آزمایش‌های مکانیکی می‌توان عملیات زیر را انجام داد:
- بر روی اجزا آزمایش سختی بر اساس برینل انجام داده (که می‌تواند به صورت درجا هم صورت گیرد)،

و مقدار استحکام کششی تقریبی آن را با استفاده از فرمول تبدیل سختی به استحکام کششی تخمین زد. در صورتی که استحکام کششی به دست آمده بسیار پایین‌تر از مقدار مجاز باشد، نتایج آزمایش کشش زیر سوال خواهد رفت.

- برای موادی که دارای رده‌های مختلفی هستند، نتایج ارائه شده باید با مقادیر استحکام و درصد ازدیاد طول بیان شده برای یک رده پایین‌تر (با استحکام کمتر) مقایسه شود. در صورت وجود اختلاف زیاد در ازدیاد طول دیده شده در آزمایش و حد مجاز، دیگر نمی‌توان به نتایج ارائه شده اطمینان کرد. معمولا این حالت بین تسمه‌ها و ورق‌های فولادی مشاهده می‌شوند و احتمال نیاز به آزمایش مجدد برای این مواد نسبتا بالا است.

## آزمایش کشش

تست کشش اصلی‌ترین آزمایش مخرب مواد است. استاندارد اروپایی BS EN 10002-1 (جایگزین BS 18) جزییات آزمایش کشش را توضیح داده است. استاندارد آمریکایی ASTM A370 معادل این استاندارد می‌باشد. یکی از مهم‌ترین نکاتی که در بازرسی تاکید شده است، محل نمونه‌برداری و جهت‌گیری نمونه آزمایش است. در واقع آلیاژ تولید شده با فرایندهای اصلی فورج، ریخته‌گری و نورد تحت تاثیر متغیرهای این فرایندها، ناهمسانگردی (داشتن خواص متفاوت در جهات متفاوت) خواهد داشت. علت اصلی آن، جهت‌گیری ساختار دانه‌ای مواد است. حتی ریخته‌گری‌های حجیم که از نظر تئوری باید همگن باشند، به علت وقوع مکانیزم‌های پیچیده سرد شدن و انقباض ناشی از انجماد، از خود ناهمسانگردی نشان می‌دهند. بنابراین خواص کششی مواد با توجه به جهت نمونه‌برداری که تعیین کننده جهت‌گیری دانه‌ها در نمونه آزمایش است، متغیر است (شاید تا ۲۵± درصد).

**آنالیز شیمیایی**

| | C% | Si% | Mn% | P% | S% | Cr% | Mo% | Ni% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مشخص شده در (BS 1504 316 C12) | 0.03 max | 1.5 max | 2.0 max | 0.040 max | 0.040 max | 17-21 | 2-3 | 10 min |
| در عمل | 0.025 | 1.35 | 2 | 0.038 | 0.036 | 18 | 2.8 | 11 |

**خواص مکانیکی**

| | $R_{p\,1.0}$ (N/mm²) | $R_m$ (N/mm²) | A (%) | Impact (J) | HB |
|---|---|---|---|---|---|
| مشخص‌شده در (BS 1504 316 C12) | 215 min | 430 min | 26% min | - | - |
| در عمل (دمای اتاق) | 220 | 430 | 51% | - | - |

**شکل ۴-۹** اجزای گواهی ماده برای نمونه و نحوه ارائه آن ـ به نتایج مرزی توجه شود.



شکل اعمال نیروی کششی نیز می‌تواند متغیر باشد. در برخی از استانداردها مانند استانداردهای دیگ بخار و ظروف تحت فشار، جهت تهیه نمونه کشش مشخص شده است؛ ولی در بسیاری از استانداردهای دیگر این مورد ذکر نشده است. در شکل ۴-۱۰، مجموعه وسیعی از محل تهیه نمونه کشش از انواع اصلی قطعات مهندسی گردآوری شده است. باید به نکات زیر توجه داشت:

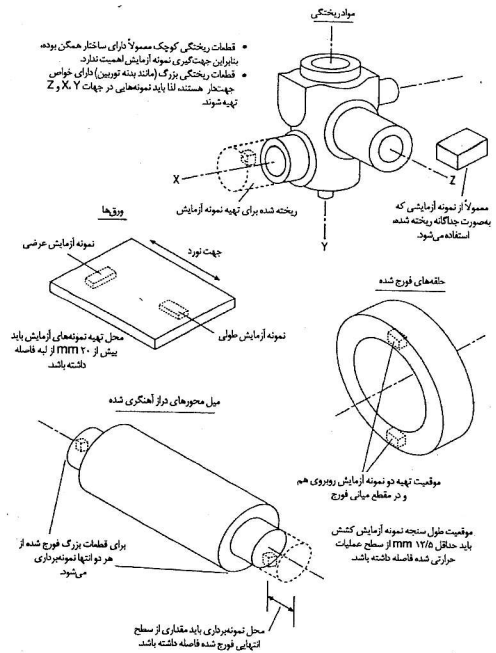
- *طول نمونه آزمایش*. ابعاد نمونه‌های آزمایش بسیار متنوع است، بنابراین باید بررسی شود که چه ابعادی باید مورد استفاده قرار گیرد. استاندارد ISO 2566/2 درباره این مورد است، هرچند که معمولا نیازی به رجوع به این استاندارد نیست.
- *تعریف نقطه تسلیم*. باید اطمینان حاصل کرد که آیا ماده مورد نظر می‌تواند فقط یک نقطه تسلیم داشته باشد (ممکن است برای یک ماده نقطه تسلیم بالایی $R_{eH}$ و نقطه تسلیم پایینی $R_{eL}$ داشته باشیم، ولی معمولا $R_{eL}$ مورد استفاده قرار می‌گیرد)؛ که فقط از روی ترکیب شیمیایی نمی‌توان به این نکته پی برد. لذا با مراجعه به بخش خواص مکانیکی استاندارد ماده باید دید که آیا تنش تسلیم تعیین شده است یا نه.
- *قابلیت ردیابی*. نمونه‌های آزمایش کشش باید با گزارش‌های مستند و حکاکی بر روی نمونه‌ها قابل شناسایی باشند. وجود نمونه‌های زیاد بدون شناسایی در آزمایشگاه، ممکن است در صحت نتیجه به دست آمده شک ایجاد نماید که در این صورت به آزمایش مجدد نیاز خواهد بود.

### استحکام کششی: قانون سرانگشتی؟

آیا برای مقایسه سریع استحکام کششی مواد حین بازرسی، قوانین سرانگشتی ساده یا جداول رایج وجود دارد؟ متاسفانه باید گفت حتی اگر فقط به آلیاژهای آهنی محدود شویم، این زمینه بسیار وسیع است. به علت وجود انواع بسیار زیاد مواد، در تقسیم‌بندی‌های آنها، برخی اوقات ممکن است بین آنها درجه‌ای از تشابه وجود داشته باشد. ولی برای مثال استحکام کششی انواع چدن بین 200 N/mm² تا 800 N/mm² متغیر است. فولادهای کربنی و زنگ‌نزن نیز دارای گستره تغییرات مشابهی هستند. دلیل ذکر این مطلب روشن کردن پیچیدگی علم مواد می‌باشد. توصیه می‌شود که یک بازرس جهت درک هر چه بهتر استانداردهای منتشر شده، در زمینه متالورژی اطلاعاتی کسب کند. با این وجود تعجب نکنید اگر بازرسانی را دیدید که معلومات اندکی از علم مواد دارند.

## آزمایش ضربه

آزمایش‌های ضربه بر روی مواد در دماهای پایین یا اعمال نیروهای ضربه‌ای و یا هر دو این شرایط انجام می‌شود. چندین نوع آزمایش وجود دارد، ولی رایج‌ترین آنها آزمایش ضربه شارپی با شیار V است. استاندارد BS EN 10045-1 (معادل ISO وجود ندارد) و ASTM E812 جزییات این روش را شرح داده است. همانند آزمایش کشش، در اینجا هم محل تهیه نمونه و جهت‌گیری آن اهمیت دارد. شکل ۴-۱۰ موقعیت تهیه نمونه آزمایش ضربه برای قطعات مهندسی رایج را نشان می‌دهد. باید به این نکته توجه داشت که نتایج آزمایش ضربه به علت ماهیت آن، برخلاف آزمایش کشش، تجدیدپذیری کمتری دارد و به شدت تحت تاثیر دقت در ماشین کاری شیار و ساختار مواد است. نتایج آزمایش ضربه حساسیت زیادی به تغییرات جزیی در اندازه دانه و رسوبات دارد. لذا کمترین تغییرات در عملیات حرارتی می‌تواند موجب ایجاد نتایج




**شکل ۴-۱۰ نمونهٔ آزمایش، راهنمای سریع**

متفاوت شود. به همین دلیل آزمایش ضربه معمولا بر روی یک گروه سه‌تایی از نمونه‌های آزمایش صورت گرفته و میانگین نتایج معیار قرار می‌گیرد. به دو نکته کلیدی زیر باید توجه داشت:

- طراحی آزمایش: هر چند که در بیش از ۹۰ درصد مواقع از آزمایش ضربه چارپی با شیار V استفاده می‌شود، ولی گاهی اوقات باید آزمایش های چارپی با شیار U یا ایزود انجام شوند. نکته قابل توجه



این است که بین نتایج این آزمایش‌ها رابطه‌ای وجود ندارد؛ یعنی نمی‌توان نتایج یک نوع آزمایش را برای آزمایش‌های دیگر تبدیل کرد. بنابراین اگر آزمایش اشتباه انجام شده باشد، تنها راه موجود ماشین‌کاری نمونه صحیح و انجام مجدد آزمایش است.

- واحدها: نتیجه آزمایش ضربه چارپی به ژول (J) ارائه می‌شود و مقدار انرژی جذب شده توسط نمونه در اثر شکست آن است و یک مقدار مینیمم برای حد پذیرش آن وجود دارد. گاهی اوقات مقدار ماکزیمم آن معیار قرار می‌گیرد؛ که این مورد اغلب در مورد موادی است که به دلیل تمایل به **کارسختی بالا، امکان ایجاد خطا در اندازه‌گیری داکتیلیته آنها با آزمایش کشش بالاست.** لذا در این مواد برای اندازه‌گیری داکتیلیته به جای آزمایش کشش از آزمایش ضربه استفاده می‌شود.

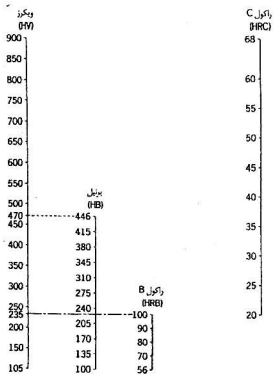
### دمای تبدیل شکل ظاهر شکست (FATT)

آزمایش FATT همراه با آزمایش ضربه انجام شده و دستیابی به مقدار آن نسبتاً ساده‌تر از آن است که تصور می‌شود. هدف از آن اندازه‌گیری دمایی است که ماده از آن پایین‌تر دچار شکست ترد (برخلاف شکست نرم) می‌شود. این دما به دمای انتقالی معروف است و برای تعیین این دما معمولا چند آزمایش ضربه در دماهای مختلف (نوعا ۰°C، ۲۰-°C و ۴۰-°C) انجام شده و نتایج آزمایش برای هر نمونه گزارش می‌شود.

با مشاهده سطح شکست که معمولا زیر میکروسکوپ انجام می‌شود، درصد سطحی که دچار شکست ترد شده اندازه‌گیری می‌شود. با کاهش دمای آزمایش ضربه درصد شکست ترد افزایش می‌یابد. FATT (که معمولا به صورت تقریبی بیان می‌شود) دمایی است که ۵۰درصد شکست نرم و ۵۰درصد شکست ترد رخ داده باشد. انتظار نمی‌رود که این دما به صورت کاملا دقیق تعیین شود. این آزمایش معمولا برای اجزای چرخنده تحت نیروی بالا که در دمای محیط کار می‌کنند در نظر گرفته می‌شود. جهت راهنمایی باید گفت که در فولادها، افزایش درصد کربن، گوگرد، سیلیسیم یا فسفر باعث افزایش دمای تبدیل و افزایش درصد منگنز و نیکل موجب کاهش دمای انتقالی می‌شود.

## سختی‌سنجی

سختی‌سنجی یک آزمایش بسیار سریع است و می‌تواند به صورت درجا بر روی قطعات نهایی یا ماشین‌کاری شده انجام شود. البته باید توجه داشت که گاهی اوقات برای آزمایش‌های درجا برای آماده‌سازی سطح مورد نظر برای سختی سنجی، سنباده‌زنی لازم باشد. سختی‌سنجی شامل فشار دادن یک گلوله فولادی، الماسی یا اشکال مشابه به سطح مواد و اندازه‌گیری نیروی اعمال شده یا اندازه اثر باقی‌مانده بر روی سطح در نیروی مشخص است. سختی مواد را می‌توان به هر دو صورت تعیین نمود. بسته به روش به کار رفته، چندین مقیاس برای سختی وجود دارد. مرسوم‌ترین آنها عبارتند از برینل، ویکرز و راکول (B و C). برخلاف آزمایش ضربه در اینجا امکان تبدیل نتایج به مقیاس‌های مختلف وجود دارد. شکل ۴-۱۱ تفاوت مقیاسهای مختلف سختی را برای فولاد نشان می‌دهد. جزییات بیشتر آزمایش سختی در استاندارد ISO 4964 و استاندارد معادل آن BS 860 ذکر شده است. همچنین استانداردهایی هستند که روش‌های مختلف سختی‌سنجی را شرح می‌دهند؛ از جمله: BS EN 10003 (برای آزمایش‌های برینل)، BS EN 10109 (راکول) و BS 427 (ویکرز).




- از این شکل برای تبدیل مقیاس‌های مختلف سختی به یکدیگر استفاده می شود.
- این تبدیل‌ها بصورت تقریبی است و دقیق نیست.
- معمولاً بهتر است که مقادیر سختی در گزارش بر حسب ویکرز بیان شود، چراکه بیشتر مورداستفاده قرار گرفته و برایتر است.

**شکل ۴-۱۱** مقایسهٔ مقیاس‌های سختی (برای فولاد)

برای قطعات فورج و ریختگی اغلب از روش برینل استفاده می‌شود. آزمایش‌های ویکرز و راکول C برای مواد با سختی بالا مناسب هستند. برای آزمایش برینل باید به نکات زیر توجه داشت:

- نحوه ارائه نتایج: نتایج آزمایش سختی به روش برینل به شکل زیر نشان داده می‌شود:

226 HBS 10/3000

که به ترتیب از راست به چپ:

- 10/3000 اندازه ساچمهٔ فرورونده به کار رفته را نشان می‌دهد (10). '3000' نشان دهنده بار اعمالی است که از ضرب بار اعمالی به نیوتن در ضریب 0.102 به دست می‌آید. مقدار نیروی اعمالی به سختی مورد انتظار ماده بستگی دارد.
- HB نشان دهنده مقیاس برینل است. S (یا W) جنس گوی به کار رفته را مشخص می‌کند که یا فولاد (S) است و یا تنگستن (W).
- 226 میزان سختی اندازه‌گیری شده برای ماده است. در آزمایش‌های آزمایشگاهی با اندازه‌گیری قطر اثر باقی‌مانده بر سطح، با استفاده از میکروسکوپ دارای چشمی خاص مجهز به دریچه اندازه‌گیری، میزان سختی تعیین می‌شود. در سختی‌سنج‌های قابل حمل و نقل نتیجه به صورت تابعی از نیروی فروروی، با یک عدد نشان داده می‌شود.



- دقت: دقت آزمایش برای یک آزمایش آزمایشگاهی باید حدوداً ±2 (برای مقیاس برینل) باشد. در صورت استفاده از سختی‌سنج قابل حمل و نقل، قبل از آزمایش، دستگاه باید برای یک تسمه از ماده مورد آزمایش کالیبره شود. به هر حال انتظار می‌رود که دقت تا حدود 4-3± درصد کاهش پیدا کند. برای افزایش دقت آزمایش معمولا چندین بار سختی‌سنجی صورت گرفته و میانگین نتایج معیار قرار می‌گیرد.
- مواد ریختگی: در مورد قطعات ریختگی لازم است قسمتی از سطح که سختی‌سنجی می‌شود سنباده‌زنی شود. در غیر این صورت، در اثر وجود آلودگی‌ها و دیگر تاثیرات سطحی (که معمولا سختی را افزایش می‌دهند)، میزان سختی اندازه‌گیری شده اشتباه خواهد بود.
- تخمین سریع استحکام کششی: از روی نتایج سختی در مقیاس برینل می‌توان با استفاده از فرمول زیر، مقدار استحکام کششی را تخمین زد:

$$-\mathrm{UTS(N/mm^2)} \cong 3.39 \times \text{Brinell hardness number (HB)}$$

در مواردی که نتایج حاصل از آزمایش کشش مشکوک باشد، می‌توان از این روش سریع که نیاز به نمونه کشش ندارد بهره برد. ولی باید توجه داشت که بعضی از متغیرها مانند نرخ کارسختی و اندازه دانه می‌توانند این فرمول را تغییر دهند. همچنین برای چدن دقت بالایی ندارد.

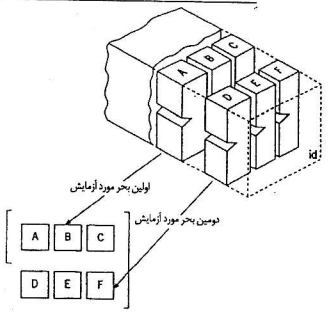
## آزمایش مجدد

با وجود اینکه در استانداردهای فنی تلاش شده است جهت افزایش اطمینان، روش‌های آزمایش مواد با دقت مشخص شوند؛ ولی انجام آزمایش مجدد بر روی مواد متداول است. در واقع برای آزمایش مجدد موادی که نتوانسته‌اند در آزمایش اولیه پذیرفته شوند، قوانینی وضع شده است. برای قطعات با فرایند متالورژی پیچیده مانند ریخته‌گری‌های دمای بالا و روتورهای توربین، سازنده‌ها معمولا روش‌های آزمایش مجدد خودشان را دارند. باید توجه داشت که این روش‌ها وقتی قابل قبول هستند که بر پایه استانداردهای مربوطه باشند.

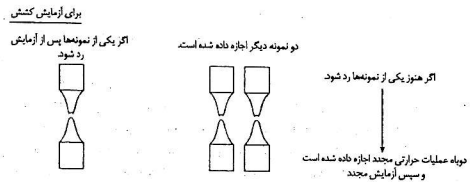
فلسفه معیارهای پذیرش برای آزمایش کشش و ضربه متفاوت است. آزمایش کشش قابلیت تکرار بهتری دارد و در اغلب موارد بر اساس نتایج یک یا دو آزمایش در مورد پذیرش مواد تصمیم‌گیری می‌شود. در حالی که آزمایش ضربه بیشتر به صورت میانگین نتایج ارائه می‌شود. شکل ۴-۱۲ نحوه افزایش نمونه‌های آزمایش اضافی برای محاسبه میانگین جدید را برای مواد ریختگی BS 1504 نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که این رهیافت برای آزمایش مجدد بیشتر بر اساس آمار باشد تا متالورژی. برای آزمایش مجدد باید به موارد زیر توجه داشت:

- باید تعداد آزمایش‌های مجدد مجاز در استاندارد مواد بررسی شود.
- در این حالت اجازه انجام عملیات حرارتی به منظور بهبود خواص مکانیکی داده شده است. باید به نحوه تهیه نمونه آزمایش جدید توسط سازنده توجه ویژه‌ای کرد. توصیه می‌شود نمونه آزمایش قبل از هر عملیات حرارتی مجدد با حکاکی مشخص شود. در صورت معیوب شدن نمونه‌های آزمایش، انجام آزمایش بر روی نمونه آزمایش غیر مشخص، مجاز نیست. حتما باید موقعیت تهیه نمونه و جهت‌گیری آن، همچنین جزییات قابلیت ردیابی نمونه‌های آزمایش مجدداً بررسی شود.

آزمایش ضربه (بر روی قطعات ریخته‌گری شده به روش فشاری طبق BS 1504)




- در صورتی‌که حد پذیرش مثلاً برابر یا حداقل [۳۵ باشد اگر مقدار میانگین (A+B+C/3) کمتر از [۳۵ باشد یا یکی از مقادیر A ، B یا C کمتر از ۷۰ درصد [۳۵ باشد ماده رد می شود. تست مجدد با تهیه ۳ نمونه جدید (D ، E و F) اجازه داده شده است. بازهم اگر میانگین نتایج {(A+C+D+E+F)/6} کمتر از [۳۵ یا بیش از دو تا کمتر از [۳۵ یا بیش از یکی کمتر از ۷۰ درصد باشد، ماده رد می شود.
- ممکن است بر روی ماده عملیات حرارتی مجدد انجام می شود که حداکثر دو بار می‌توان آزمایش‌های بالا را تکرار کرد. در صورتیکه دوباره رد شود، اجازه داده نشده است که فعالیت دیگری انجام شود.




**شکل ٤ـ۱۲** آزمایش مجدد بر روی قطعات ریختگی

- همواره برای روش آزمایش غیر صحیح یا نتایج آزمایش غیرقابل پذیرش، گزارش عدم انطباق (NCR) صادر می‌شود. باید اجازه داده شود تا بعداً آزمایش‌های مجدد یا عملیات حرارتی مجدد صورت پذیرد.



۱. برای تمامی آزمایش‌ها باید موقعیت، جهت گیری و تعداد نمونه‌های آزمایش باید بررسی شود.
۲. برای آزمایش کشش باید در گواهی‌نامه آزمون مواد علائم استاندارد به کار رفته باشد. که عبارتند از:
- $R_e$ : استحکام تسلیم ($R_{eL}$ استحکام تسلیم پایینی و $R_{eH}$ استحکام تسلیم بالایی است)
- $R_{P0.2}$ : ۰/۲ درصد استحکام اطمینان (proof strength)
- A% : درصد ازدیاد طول سنجه

بررسی موارد زیر:
- دمای آزمایش صحیح انتخاب شده باشد. اغلب مواد در دمای محیط مورد آزمایش قرار می‌گیرند.
- $R_e$ و $R_{P0.2}$ به درستی اندازه‌گیری شده باشد (به استاندارد مربوطه مراجعه کنید).

۳. آزمایش‌های ضربه
- ابعاد نمونه و موقعیت شیار بایستی بررسی شود. چندین نوع وجود دارد و باید توجه داشت که امکان تبدیل نتایج بین موارد مختلف از نظر ابعاد نمونه و موقعیت شیار نیست.
- بررسی سطح شکست در نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته و ارائه توضیح درباره آن در گزارش.
- بررسی مشخصه‌های قرارداد از این جهت که آیا به طور مشخص آزمایش FATT الزام دارد یا نه.

٤. اندازه‌گیری سختی
- اطمینان از صحت مقیاس (HV، HB، HRB یا HRC) به کار رفته.

**شکل ٤ـ۱۳** آزمایش‌های مواد ـ برخی نکات کلیدی و مهم

## خلاصه نکات کلیدی، مواد

### مناسب بودن برای منظور (FFP)

۱. سه معیار FFP برای مواد به کار رفته در تجهیزات عبارتند از:
- خواص مکانیکی
- قابلیت دمایی
- شناسایی مطمئن

### استانداردهای مواد

۲. استانداردهای مواد اغلب به شکل خاص ماده از قبیل فورج شده، ریختگی، ورق و لوله مربوط می‌شوند.

۳. تضمین پذیرش (acceptance guarantee) به شدت به استانداردهای فنی وابسته است. در مورد مواد با مشخصه‌های خود سازنده، قضیه کمی مشکل‌تر می‌شود. البته برای این مورد هم راهنمایی‌هایی برای تسهیل موضوع ذکر شده است.

۴. برخی از استانداردهای مواد دارای جداول و زیرنویس‌های پیچیده‌ای هستند. در این گونه مواقع باید دقت بیشتری به خرج داد، چراکه در موارد فنی بسیار اثر گذار هستند.

### قابلیت ردیابی

۵. بررسی قابلیت ردیابی مواد یک بخش مهم از وظایف بازرس به شمار می‌رود. باید تلاش شود تا قابلیت ردیابی به صورت یک فرایند کنترل نگریسته شود تا یک عمل مستندسازی. انتظار می‌رود بعضی اوقات این امر مشکل باشد.

۶. چندین سطح قابلیت ردیابی وجود دارد. استاندارد EN 10 204 یکی از استانداردهای پذیرفته شده است که انواع گواهی‌نامه‌های مواد مربوط به سطوح مختلف را پوشش می‌دهد.

۷. از آنجا که خواص مواد جهت‌دار است برای آزمایش کشش و ضربه محل تهیه نمونه و جهت‌گیری آن اهمیت دارد.

### آزمایش‌های مواد

۸. می‌توان مقیاس‌های مختلف سختی (برینل، ویکرز و راکول) را به هم تبدیل کرد؛ در صورتی که برای مقیاس‌های استحکام ضربه (چارپی و ایزود) چنین امکانی وجود ندارد.

۹. آزمایش مجدد در صورتی که نتایج اولین آزمایش‌های مکانیکی مواد مورد پذیرش نباشد، مجاز است.

شناسایی مطمئن نمونه‌های آزمایش باید بررسی شود.

۱۰. بازرسی درباره تایید مواد است، نه انتخاب مواد. بنابراین نیاز نیست بیش از اندازه در این موضوع عمیق شد.



## فهرست مراجع


1. BS 1530: 1989. Specification for steel foRTings for pressure purposes. A related standard is ISO 2604/1
2. ASTM A-273/A273M:1994. *Specification for steel foRTings for high strength pressure component application.*
3. BS 1504:1984. *Specification for steel castings for pressure purposes.*
4. ASTM A487/A487M: 1993. *Steel castings suitable for pressure service.*
5. ASTM A703/A703M: 1994. Steel castings, General *requirements for pressure containing parts.*
6. BS EN 10130: 1991. Specification*for cold -rolled low carbon steel products for cold forming: technical delivery conditions.*
7. BS 1501: Part 3:1990. Specification*for c orrosion and heat-resisting steels, plate, sheet and strip.*
8. BS 5996: 1993. *Specification* for *acceptance levels for internal imperfections in steel plate, strip and wide flats, based on ultrasonic testing.* A related standard is Euronorm 160.
9. BS 3059: Part 1: 1993. Specification*for low tensile carbon steel tubes without specified elevated temperature properties.* Related standards are ISO 1129, ISO 2604/2 and ISO 2604/3. BS 3059: Part 2: 1990. Specification*for carbon, alloy and aUTtenitic stainless* steel *tubes with specified elevated temperature properties*
10. The BSI standards Catalogue, ISBN O 580 25370 8, published annually by the British Standards Institution.
11. The annual book of ASTM standards.
12. "*Stahlschüssel*", 1995. Verlag Stahlschüssel Wegst GmbH (key to steel).
13. "Nimonic 115" is a trademark of the INCO family of companies.
14. "Waspalloy" is a trademark of the United Technologies Corporation. The nearest equivalent is material referenced as Werkstoff No. 2.4663.
15. "Hastelloy X" is a registered trademark of Haynes International Inc. The Hastelloy rang is a family of high-nickel alloy.
16. "Inconel 617" is a registered trademark of INCO Alloys International, Inc. the nearest equivalent is materials referenced as Werkstoff No. 2.4663.
17. ASTM A470. *Vacuum treated carbon and alloy steel forgings for turbine rotors and shafts.*
18. DIN 17 245: 1987. Ferritic *steel castings with elevated temperature properties; technical delivery conditions.*
19. ASTM A356/A356M: 1992. *Specifications for steel castings, (carbon low alloy and* stainless *steel, heavy wall) for steam turbines.*
20. DIN 17 155: 1989. *Steel plates and strips for pressure purposes.*
21. BS 3604 Part 1: 1990. Specification*for seamless and electric resistance welded tubes.*
22. BS 3605: 1992. *AUTtenitic stainless steel pipes and tubes for pressure purposes.*
23. ASTM A487/A487M. Specification*for steel castings suitable for pressure service.*
24. ASTM A430/A430M: 1991. *AUTtenitic steel forged and bored pipe for high temperature service.*
25. BS 2875: 1969. *Specification copper* and *copper alloy plate.*
26. BS 1400: 1985. *Specification for copper alloy ingots and copper/copper alloy castings.*
27. 316L stainless steel is described in BS 970: 1991 (see reference 29).
28. BS 3468: 1986. Specification*for aUTtenitic cast iron.*

29. BS 970 Part 1: 1991. Specification*for wrought ste els for mechanical and allied* engineering *purposes.*
30. BS 2789: 1985. *Specification* for *spheroidal graphite or nodular graphite cast iron.*
31. BS 970 (in varioUT parts): 1991. *Specification for wrought steels for mechanical and* allied *engineering purposes.*
32. EN 10 204:1991. *Metallic products, types of inspection documents.*
33. The TRD boiler code (Technischen Reguln für Dampfkessel).
34. BS EN 10002-1: 1990. *Method of [tensile] tests at ambient temperature.*
35. ASTM A370: 1992. *Mechanical testing of steel products.*
36. ISO 2566/2 (equivalent to BS 3894: Part 2: 1991). *Method of conversion for application to aUTtenitic steels.*
37. BS EN 10045-1: 1990. *The Charpy V-notch impact test on metals.*
38. ASTM E812: 1991. *Test methods for crack strength of slow bend* precracked *Charpy specimens of high strength metallic* materials.
39. BS 860: 1989. Table for comparison of hardness scales.

فصل ۵

# جوشکاری و NDT

## مقدمه

تقریباً تمام کارهای بازرسی شامل آزمایش‌های غیر مخرب (NDT) است، که بسیاری از آنها به جوشکاری آلیاژهای آهنی مربوط است. با پیشرفت‌های صورت گرفته در جوشکاری و NDT قابلیت اطمینان نتایج و کیفیت فعالیت‌های مهندسی افزایش یافته است. بدون شک داشتن اطلاعات کافی در زمینه جوشکاری و NDT کار بازرسی را بهتر خواهد کرد.

از دیدگاه بازرسی، ارتباط دقیق جوشکاری و NDT یک مزیت به شمار می‌رود. بحث درباره جوشکاری معمولا همراه با NDT است و برعکس. معیارهای اصلی مناسب بودن برای منظور (FFP) و همچنین وظایف بازرس در بررسی آنها برای جوشکاری و NDT کاملا قابل انطباق است و از نظر فنی و اجرایی بین این دو رابطه قوی وجود دارد. بحث درباره جوشکاری همواره همراه با اشاره به موضوع‌های NDT است و برعکس. به علت نیاز به نیروی انسانی در جوشکاری و NDT، نظارت بر این فرایندها غیر قابل اجتناب است. نکته قابل ذکر این است که کار بازرسی با نظارت متفاوت است و هدایت و ارزیابی کارکنان سازنده از وظایف بازرس به شمار نمی‌رود. طبق BS EN ISO 9001 بازرسان سازنده یا واحد کنترل کیفیت نقش حیاتی در نظارت فرایندهای جوشکاری و NDT دارند. لذا نوعی سیستم با توجه به بررسی‌ها، ایجاد توازن‌ها و عملیات کنترل در درون خود سازمان اجرا می‌شود.

## معیار مناسب‌بودن برای منظور (FFP)

یکپارچگی (integrity) جوش معمولاً مهمترین معیارFFP است. یکپارچگی جوش برای تمام انواع تجهیزات مهندسی در ارتباط با اتصال فلزات در کدهای قانونی و استانداردها تعریف شده است. حتی برای تجهیزاتی که تحت پوشش الزامات قانونی نمی‌باشند. نیز الزامات یکپارچگی جوش مشخص شده است؛ چرا که بر روی ایمنی به شدت تاثیر دارد و یکی از وظایف سازنده اطمینان از ایمنی تجهیزات است. مسئولیت بازرس بررسی یکپارچگی جوش است و در فعالیت‌های بازرسی، هنگام نوشتن گزارش‌های بازرسی و گزارش مغایرت‌ها (non-conformance) باید تمرکز بر روی یکپارچگی جوش حفظ شود.

مشکل تشخیص یکپارچگی جوش در این است که این امر به صورت مستقیم قابل تشخیص نیست. برای فرایندهای تشخیص مناسب می‌توان سه عامل را در نظر گرفت. این سه عامل به عنوان زیرمجموعه‌های FFP در کنار همدیگر موثر هستند و باید انجام شوند. بنابراین به سه موردی که در زیر آمده است باید به یک اندازه توجه شود.

## روش مناسب جوشکاری

برای هر کار جوشکاری، باید مناسب‌ترین روش جوشکاری مورد توجه قرار گیرد. اطلاعات کاملی در این زمینه موجود است و در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین دلیل منابع بسیار خوبی برای مستندسازی و کنترل روش‌های جوشکاری منتشر شده‌است که شامل استفاده از مشخصات روش جوشکاری(WPSs)، سابقه تایید صلاحیت روش جوشکاری (PQRs) و آزمون‌ها و نحوه تایید صلاحیت جوشکار می‌باشند. هدف از به کارگیری این موارد، اطمینان از طرح‌ریزی صحیح فرایند جوشکاری و کنترل آن است.

## آزمایش‌های مناسب

با بازرسی چشمی جوش اندکی از عیوب احتمالی جوش شناسایی می‌شوند. لذا برای شناسایی عیوبی که در یکپارچگی جوش تاثیر دارند، انجام آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب ضروری است. آزمون‌های غیرمخرب از جمله آزمایش‌های لازم برای بررسی جوش‌ها هستند؛ ولی از آنجایی که هر روش فقط بخشی از انواع عیوب با جهت‌گیری خاص را شناسایی می‌کند، انتخاب نوع آزمون غیرمخرب بسیار حائز اهمیت است. لذا از وظایف بازرس حصول اطمینان از انتخاب صحیح روش NDT و دقت و صحت نتایج آن است. هر چند که این مورد ممکن است کمی مشکل باشد.

## حد قابل پذیرش عیوب

عیوب شناسایی شده باید با معیار پذیرش صحیح عیوب که در بسیاری از استانداردهای مهندسی ذکر شده است، مقایسه شوند. اما باید توجه نمود که خیلی از این استانداردها ممکن است به طور خاص مستقیما قابل کاربرد برای قطعه مورد نظر نباشد. در مورد انتخاب استاندارد مناسب برای حد مجاز عیوب، تجربه می‌تواند نقش مهمی ایفا نماید. در چنین مواقعی مطالعه گزارش‌های کاری و استانداردهای مختلف به صورت بیطرفانه می‌تواند بسیار مفید باشد؛ و باید پس از مطالعه کافی قضاوت خود را مطرح کرد.

پس از شرح مختصر سه زیر مجموعه FFP، باز هم باید تاکید کرد که هر سه این موارد باید در کنار هم وجود داشته باشند. هر آزمایش غیر مخربی بر اساس حدس و گمان است و در کار مقداری ریسک ایجاد خواهد کرد. کار بازرس به حداقل رساندن این ریسک است.

## اطلاعات فنی پایه‌ای

در زمینه جوشکاری و NDT، اطلاعات کاربردی زیادی وجود دارد. تقریباً تمام بخش‌های تکنولوژی جوشکاری به صورت عمیقی مورد مطالعه قرار گرفته و هزاران مقاله تحقیقاتی در هر زمینه به چاپ رسیده است. همان‌گونه که قبلا ذکر شد با پاسخ گفتن به این سوال که یک بازرس به چه اطلاعاتی نیاز دارد؟ می‌توان اصل محدود کردن اطلاعات ضروری را رعایت کرد. اصل محدود کردن اطلاعات ضروری نقش بسیار کلیدی در بازرسی دارد و شاید در این باره مثالی بهتر از جوشکاری و NDT وجود نداشته باشد. اگر تمرکز کافی نداشته باشیم، اطلاعات بیش از حد حتی می‌تواند باعث گمراهی شود. برخی موضوع‌های کلیدی وجود دارد که یک بازرس باید با آنها آشنا باشد. هدف از این بخش آشنایی با فرایندها و فعالیت‌های اصلی است، تا دید بهتری در این زمینه ایجاد شود.



## روش‌های جوشکاری و علت ایجاد عیوب

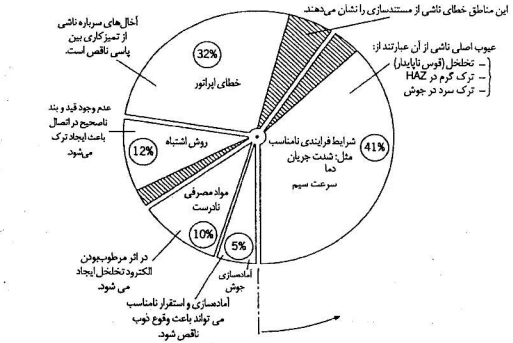
هیچ فعالیت جوشکاری کامل نیست. نباید تصور کرد که می‌توان با کنترل بسیار دقیق فرایند جوشکاری با یک سری آزمایش همیشه به یک جوش خوب رسید. به استثنای روش‌های پیشرفته جوشکاری که برای مثال در تاسیسات هسته‌ای و برخی لوله‌کشی‌های پیشرفته دریایی به کار می‌رود، برای اتصال مواد آهنی از یکی از چهار روش اصلی استفاده می‌شود، که عبارتند از: جوشکاری با الکترود دستی (MMAW)، جوشکاری زیرپودری (SAW)، جوشکاری با محافظت گاز خنثی (MIG/TIG) و روش‌های اتوماتیک جوشکاری که شامل یک دسته کلی از روش‌های پیشرفته جوشکاری مانند پلاسما و جوشکاری با استفاده از پرتو الکترونی است. این روش‌ها به صورت جامعی در کتب مختلف شرح داده شده‌اند.

لازم به ذکر است که حدود ۹۵ درصد از جوش‌هایی که یک بازرس در بازرسی واحدها و تجهیزات صنعتی با آن مواجه می‌شود، با یکی از روش‌های مذکور ایجاد شده‌اند. در هر روشی وجود عوامل عدم قطعیت سبب می‌شود تا در جوش امکان ایجاد عیب وجود داشته باشد. تصمیم‌گیری برای اولویت‌بندی روش جوشکاری مناسب، به منظور کاهش احتمال ایجاد عیوب، مشکل است. حتی به صورت قطعی نمی‌توان گفت که همواره روش‌های دستی نسبت به اتوماتیک، به خاطر وجود نقش جوشکار، باعث ایجاد عیوب بیشتری می‌شوند.

بررسی ویژگی‌های عیوب می‌تواند برای پی بردن به علت ایجاد عیوب کمک کند. شکل ۵-۱ به صورت شماتیک عوامل ایجاد عیوب در جوش برای چهار دسته اصلی روشهای جوشکاری را نشان می‌دهد. از این شکل می‌توان به موارد مرجع در بازرسی پی برد. به راهنمایی‌های زیر نیز باید توجه کرد:

- علت اصلی ایجاد عیوب جوش، شرایط فرایندی نامصحیح در عملیات جوشکاری است.
- خطای اپراتور یا جوشکار علت ایجاد حدود یک سوم عیوب است؛ البته در صورتی که شرایط فرایندی به درستی انتخاب شده باشد.
- اشتباه در انتخاب مواد و الکترود و یا انتخاب نامناسب فرایند جوشکاری، رایج نیست.
- اگرچه مستندسازی شامل مراحل مختلف کنترل فرایندهای جوشکاری می‌شود، احتمال ایجاد خطا فقط به علت مستندسازی نامصحیح عملا بسیار کم است (مناطق هاشور خورده در شکل ۵-۱) که در اغلب موارد شامل خطاهای مشخص در مراودات صورت گرفته، مانند دادن دستورالعمل کاری غلط به کارگاه است.
- از آنجایی که شکل ۵-۱ همزمان برای هر چهار گروه جوشکاری ترسیم شده است، بنابراین تقریبی است. انتظار می‌رود تا بخش مشکلات تکنیکی (غیر اپراتوری) در مواردی که ریسک تکنیکی ذاتی بالایی دارند، کمی بیشتر باشد. از این جمله:
- جوشکاری مواد با ضخامت بالا (بیش از 75 mm).
- جوشکاری فولادهای فریتی (با بیش از 16 درصد کرم) یا فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی پایدار نشده (بدون Ti، Nb).
- جوشکاری لب به لب مواد غیر همجنس، مثل فولاد کربنی به فولاد زنگ‌نزن.
- جوشکاری در حالتی که قطعه کار (یا الکترود) ناشناخته است یا تاییدیه مشخصی ندارد.

اطمینان داشته باشید که عیوب جوش نسبتا تکرارپذیر می‌باشند و تعجب نکنید اگر یک عیب دوباره و پس از تعمیر خود را نشان دهد و در نهایت یک روند پیدا نماید.




**شکل ۵ـ۱ چگونگی وقوع عیوب جوش**

## انواع جوش‌ها

جوش‌ها را می‌توان به چند نوع نسبتاً محدود تقسیم‌بندی کرد. ولی باید توجه داشت که در هر نوع تنوع زیادی وجود دارد. تعیین نوع جوش می‌تواند به بازرس در تعیین الزامات تست‌های غیر مخرب کمک کند. در استانداردهای ظروف تحت فشار BS 5500 و ASME دسته‌بندی انواع جوشها مشخص شده است، در صورتی که برای خیلی از تجهیزات این موضوع بر عهده قضاوت مهندسین گذاشته شده است.

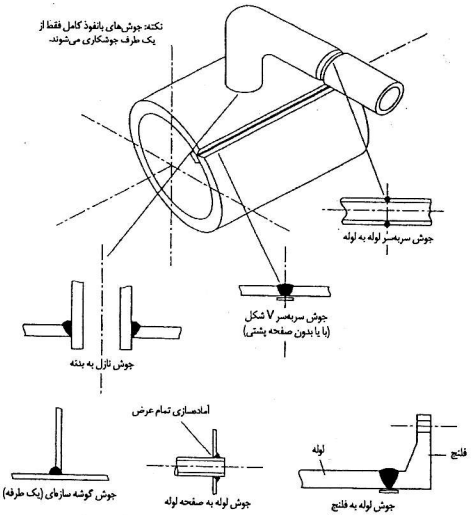
مهمترین نوع جوش، که نیاز به الزامات NDT سخت‌گیرانه‌ای دارد، جوش با نفوذ کامل یک طرفه است. این نوع جوش معمولا در اجزای تحت فشار و تجهیزات شبیه آن مطرح است.

### جوش نفوذ کامل

رایج‌ترین تعریف برای جوش با نفوذ کامل یک طرفه، جوشی است که شرایط زیر را داشته باشد:

- بین ناحیهٔ جوش به صورت کامل و با افزودن یک فلز پرکننده پر شده باشد، و جوش فقط از یک طرف دارای دسترسی باشد. منظور از دیواره فضایی است که معمولاً در ریشه جوش به همراه درز ریشه (root gap) وجود دارد.
- همچنین در تعریف بالا منظور از اینکه جوش فقط از یک طرف دسترسی داشته باشد، این است که جوش از پشت سنگ زده و جوشکاری نشود. در این شرایط احتمال بوجود آمدن عیب در ریشه جوش

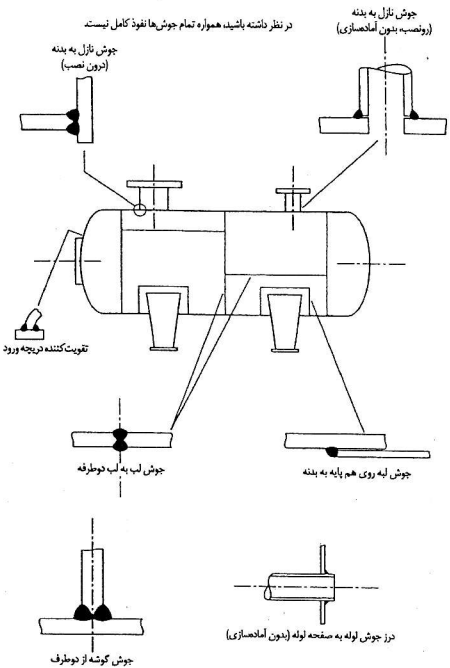





**شکل ۵ـ۲ جوش‌های نفوذ کامل یک‌طرفه ـ کاربردهای معمول**

بسیار زیاد می‌باشد. به برای اطمینان از رسیدن به جوش با نفوذ کامل یک طرفه، نیاز به یک روش NDT حجمی است. طبق این تعریف، جوش‌های لب به لب جناقی دوطرفه (double vee) و جوش‌های گوشه، جزء جوش‌های نفوذ کامل یک طرفه محسوب نمی شوند.

اغلب در قطعات یا سازه‌های مهندسی با جوش با نفوذ کامل یک طرفه مواجه هستیم و همان گونه که ذکر شد معمولاً این جوش‌ها از مهمترین جوش‌های سازه می‌باشند. به همین دلیل است که برای کاهش خطر باید NDT به صورت سخت‌گیرانه‌ای انجام گیرد. شکل ۵-۲ برخی مثال‌های رایج و کاربردهای آنها را نشان می‌دهد.




**شکل ۵ـ۳** انواع دیگر جوش

### انواع دیگر

انواع دیگر جوش‌ها که رایج‌ترین آنها جوش‌های گوشه، روی هم و درز جوش می‌باشند، برخلاف جوش نفوذ کامل یک طرفه نیاز به NDT سخت‌گیرانه ندارد. برخی دیگر از انواع جوش‌ها نیز وجود دارد که در شکل



۵-۳ نشان داده شده است. انواع مختلف جوش نباید با یکدیگر اشتباه شوند. البته نباید فراموش کرد که در بسیاری از موارد جوش‌های نفوذ کامل دوطرفه نیز باید NDT شوند؛ اما حساسیت کار در این موارد به دلیل احتمال کمتر بروز عیب کاهش می‌یابد.

## عملیات حرارتی جوش

عملیات حرارتی صحیح نقش مهمی در رسیدن به خواص مطلوب در مواد مهندسی دارد. به علت اعمال حرارت بسیار بالا در حین جوشکاری، اغلب انجام عملیات حرارتی ضروری است. به صورت کلی می‌توان این عملیات را به سه دسته تقسیم‌بندی کرد: پیش‌گرم کردن و انجام جوشکاری بلافاصله پس از آن؛ عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT) که می‌تواند به صورت موضعی برای کاهش سرعت سرد شدن انجام شود؛ و عملیات حرارتی در کوره جهت تنش‌گیری.

هدف از این نوع فعالیت‌ها جلوگیری از وقوع ترک در فلز جوش و منطقه تحت تاثیر حرارت (HAZ) است. یک مورد تعیین کننده، دستی یا اتوماتیک بودن فرایند جوشکاری به کار رفته است. باید گفت که عملیات حرارتی فقط برای جوشهای اولیه نیست، بلکه هنگام تعمیر جوش‌ها نیز عملیات حرارتی باید مورد توجه قرار گیرد. انتظار می‌رود تا عملیات حرارتی پیش‌گرم و پس‌گرم جزء موارد ساخت ITP ذکر شود. در غیر این صورت باید از اینکه عملیات حرارتی ضرورتی ندارد، اطمینان حاصل کرد. برای این کار توصیه می‌شود از استانداردهای مواد استفاده شود. در شکل ۵-۴ راهنمایی‌هایی برای عملیات حرارتی آمده است.

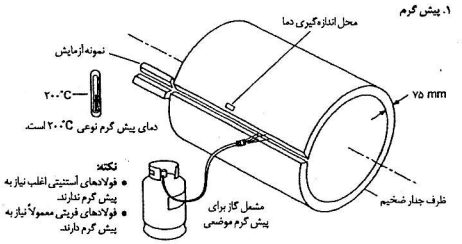
بررسی صحت انجام عملیات حرارتی لازم یکی از کارهای بازرس به شمار می‌رود. برای ایجاد تقدم باید گفت که به جاهایی که الزامات عملیات حرارتی پس از جوشکاری (PWHT) مشخص شده است، باید توجه زیادی کرد. عیوب جوش مهمتر بیشتر در اثر PWHT ناصحیح رخ می‌دهد تا پیش‌گرم ضعیف. در قسمت‌های بعدی همین بخش اهمیت نمونه‌های آزمایش جوش در بررسی خواص نهایی جوش و HAZ بیان خواهد شد.

## مستندات کنترل‌کننده

جوشکاری همراه با یک سری مستندسازی کاملا شناخته شده است. این مستندسازی دربرگیرنده بخشی از مکانیزم کنترل و گزارش عملیات است. هدف از مستندسازی عبارت است از:

- مشخص کردن روش جوشکاری مورد استفاده،
- تایید اینکه روش جوشکاری، مورد آزمایش قرار گرفته و با استفاده از آن روش خواص جوش مطلوب ایجاد شده است.
- تایید اینکه جوشکار قابلیت ایجاد جوش مربوطه را دارد.

استانداردهای فنی BS 5500 و ظروف تحت فشار ASME که به عنوان اساس تجهیزات تحت پوشش الزامات قانونی به کار می‌رود، نیاز به بررسی فرایند جوشکاری و آزمایش‌های جوش را بیان می‌کنند. اما بهتر است برای جلوگیری از ابهام، یک نمونه از مدارک کنترل کننده عملیات جوش بررسی شود. شکل ۵-۵ مستندات و چگونگی ارتباط آنها با جوش و با یکدیگر را نشان می‌دهد.




همیشه باید مشخصه‌های مواد از جهت تطابق با عملیات حرارتی قبل و پس از جوشکاری بررسی شود.

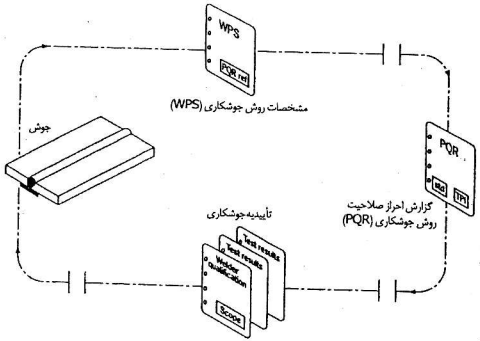
**شکل ۵ـ۴** عملیات حرارتی جوش: برخی راهنمایی‌ها

## دستورالعمل جوشکاری (WPS)

WPS روش جوشکاری را شرح می‌دهد و مجموعه‌ای است که متغیرهای جوشکاری به همراه جزییات آنها را به اندازه کافی برای جوشکار مشخص می‌کند. WPS توسط سازنده تهیه می‌شود و اصل اساسی این است که هر نوع جوشی باید WPS خاص خودش را داشته باشد. WPS شامل موارد زیر است:

- جنس قطعه کار






**شکل ۵ـ۵** جوشکاری: مستندات کنترل‌کننده

- فلز پرکننده / نوع الکترود
- آماده‌سازی جهت جوشکاری
- استقرار صحیح قطعات جهت جوشکاری
- شدت جریان جوشکاری، تعداد پاس‌ها، جهت‌گیری و دیگر متغیرهای ضروری
- سنگ‌زنی پشت ریشه جوش
- عملیات پیش‌گرم و عملیات حرارتی پس از جوشکاری
- سابقه تایید صلاحیت روش جوشکاری (PQR) مربوطه

## سابقه تایید صلاحیت روش جوشکاری (PQR)

عبارات مختلفی در استانداردهای مختلف برای این مورد استفاده شده است. ممکن است با عنوان تایید صلاحیت روش جوشکاری ((WPQ) weld procedure qualification) یا تایید روش جوشکاری ( weld procedure approval) شناخته شود؛ ولی معمولا از عنوان PQR (procedure qualification record) استفاده می‌شود. PQR سابقه آزمایش‌های انجام شده بر روی یک جوش خاص می‌باشد. همانند تست نوع (type test) که بر روی برخی قطعات انجام می‌شود. بر روی جوشی که مطابق یک WPS خاص ایجاد شده، یک سری آزمایش‌های مخرب و غیر مخرب جهت تعیین خواص آن انجام می‌شود که عبارتند از:

- بازرسی چشمی و شناسایی ترک‌های سطحی

- آزمایش‌های اولتراسونیک یا رادیوگرافی
- آزمایش‌های مخرب (معمولا آزمایش خمش و کشش) که جزییات آن در BS 709 آمده است. این آزمایش‌ها خصوصیات مکانیکی اساسی اتصال جوش را نشان می‌دهد.
- آزمایش سختی‌سنجی در طول جوش و HAZ (با پولیش و اچ نمونه‌های ماکرو). با این آزمایش می‌توان عملیات حرارتی صورت گرفته و ساختار مواد را سنجید. بازه سختی اندازه‌گیری شده در یک نمونه خاص، فاکتوری است برای تعیین احتمال بروز ترک در آینده.

البته آزمایش‌های دیگری نیز وجود دارد که در بخش‌های بعدی به آن اشاره خواهد شد. آزمایش‌های ذکر شده در PQR باید با نظارت سازمان بازرسی مستقل صورت گیرد. اگر به گزارش‌های جوشکاری و استانداردهای مربوطه مراجعه شود، مشاهده خواهد شد که یک PQR می‌تواند برای چندین نوع جوش (یا چندین WPS) به کار رود. برای اغلب جوش‌های رایج که مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، مادامی که متغیرهای اصلی جوش تغییر نکند PQR مربوطه از لحاظ زمانی معمولا از اعتبار ساقط نمی‌شود. بنابراین PQR می‌تواند مختص یک پروژه نباشد یعنی مشترک با پروژه دیگری که سازمان انجام داده است باشد. توجه شود که WPS این چنین نیست و قاعدتا مختص پروژه تهیه و تایید می‌گردد.

## تایید صلاحیت جوشکار

طبق مقررات توانایی جوشکاری قابل انتقال نیست. برای مثال جوشکاری که توانایی ایجاد جوش صحیح برای فولاد کربنی را دارد، ممکن است نتواند در شرایط مشابه فولاد زنگ‌نزن را جوشکاری کند. روش جوشکاری، موقعیت جوش و نوع مواد در قابلیت جوشکاری تاثیر زیادی دارد. مطابق با WPS الزامات مربوط به تایید صلاحیت و کدگذاری جوشکارها در ساخت ظروف تحت فشار و دیگر تجهیزات تحت الزامات قانونی باید رعایت شود. همچنین این مورد یکی از الزامات عمومی در قراردادهای اغلب نیروگاه‌ها و تاسیسات فراوری است و از این صنایع به سایر بخش‌ها سرایت نموده است.

جوشکار بر اساس یک WPS خاص (یا بر اساس وسعت کاری جوشکار با چندین WPS) آزموده شده و جوش ایجاد شده آزمایش می‌شود. در صورت تایید، جوشکار یک مدرک شخصی دریافت می‌کند که دارای عکس وی نیز می‌باشد. البته معمولا نتایج آزمایش‌ها و گواهی توسط یک بازرس سازمان مستقل مورد تایید قرار می‌گیرد.

## مشکلات عدم انطباق

بهترین حالت این است که محدوده کاری تکنیکی هر WPS خاص کاملا با PQR مربوطه مطابق بوده و همچنین جوشکار برای شرایط کاری مشابه (و آزمایش‌های مربوطه) که در PQR استفاده شده تایید شده باشد. ولی در عمل همیشه چنین نیست. استانداردهای EN و ASME اجازه داده‌اند تا در متغیرهای اصلی جوش، تا حد مشخصی اختلاف بین WPS و PQR و همچنین بین PQR و آزمایش تایید صلاحیت مربوطه برای جوشکار وجود داشته باشد. بنابراین نباید گفت که هرگونه تفاوت میان الزامات تکنیکی یک WPS با نزدیک‌ترین PQR به معنی بروز یک تضاد است. البته همین مورد باعث افزایش ریسک شده و یکی از دلایلی است که امکان کنترل کامل جوشکاری را سلب می‌کند.



بی‌توجهی به این فاصله میان WPS و PQR و الزامات تایید صلاحیت جوشکار ممکن است باعث ایجاد مشکل شود. خوشبختانه گستره تاییدیه کاملا وسیع است. استانداردها برای دسته‌ای از مواد با شماره گروه مشخص و ضخامت‌های معین، اجازهٔ استفاده از یک تاییدیه خاص را داده‌اند. قابل ذکر است که این تفاوت‌ها در WPS و PQR، نتیجه مطالعات عمیق در متغیرهای اساسی فرایند جوشکاری و تاثیر آن در یکپارچگی و خواص مکانیکی جوش ایجاد شده می‌باشد. به هر حال هنگام بازرسی باید از تطابق WPS و PQR و الزامات تایید صلاحیت جوشکار اطمینان حاصل کرد. این یک مورد مهم در مکانیزم FFP است.

## مشخصات فنی و استانداردها

با وجود اینکه جوشکاری و NDT از موارد بسیار مهم در FFP است، معمولاً در مشخصه‌های قرارداد اشارات کمی درباره آنها وجود دارد. در عوض به استانداردهای منتشره که شامل الزامات فنی هستند ارجاع داده می‌شود. البته باید گفت که خریدار ممکن است علاوه بر الزامات ذکر شده در استاندارد، در صورت احساس نیاز آزمایش‌های اضافی را مشخص کند. بنابراین در بازرسی جوش استانداردها کاملا دیده می‌شوند. به بیان دیگر کار بازرسی در این زمینه بیشتر بر پایه استانداردها است.

استانداردهای اروپایی و امریکایی به خوبی جوشکاری و NDT را از نظر فنی پوشش می‌دهند. استاندارد ASTM که در کدهای ظروف تحت فشار ASME ارجاع داده شده‌اند، استاندارد بسیار کاربردی و اجرایی است. استانداردهای اروپایی بیشتر تکنولوژیکی هستند. در پروژه‌های بزرگ معمولاً ترکیبی از این استانداردها به کار می‌رود.

## نقش معیارهای پذیرش

گروهی از استانداردهای فنی هستند که معیار پذیرش عیوب را پوشش می‌دهند. با این وجود برخی از آنها بیشتر به توضیح عیوب پرداخته‌اند تا بیان محدوده پذیرش آنها. یک نکته خیلی مهم این است که نباید انتظار داشت معیارهای پذیرش ارائه شده برای ظروف تحت فشار و تجهیزات تحت پوشش قوانین اجباری برای دیگر تجهیزات هم قابل استفاده باشد. یک بازرس بیشتر از آنکه لازم باشد به تفسیر معیارهای پذیرش بیان شده توسط استانداردها بپردازد و وارد جزییات شود، خود را به درستی در مسند قضاوت در مورد اینکه کدام معیار پذیرش برای چه تجهیز و یا بخشی از تجهیز می‌تواند کاربرد داشته باشد، می‌یابد. معمولا تفسیر معیارهای پذیرش در استانداردها نیامده است. در شکل ۵-۶ فهرستی از این استانداردها مشاهده می‌شود.

سعی کنید برای تعیین معیارهای پذیرش از راهنمایی های کلی ذیل استفاده کنید.

- با دقت متن استاندارد را مطالعه کنید. استانداردها مجموعه ای از اطلاعات مختلف هستند.
- برای ظروف تحت فشار و تجهیزات تحت قوانین رسمی سختگیرانه عمل کنید و معیارهای سختگیرانه در استاندارد را مدنظر قرار دهید.
- برای سایر تجهیزات قابلیت اعمال معیارهای پذیرش استاندارد را بررسی کنید. به داده های استاندارد خیلی خشک و مطلق نگاه نکنید.
- همواره جایی برای قضاوت و تفسیر در مورد گزارشات شما وجود دارد. خود را برای آن اماده کنید.

## استانداردهای اصلی

به طور کلی استانداردهای مورد نیاز شما به سه دسته تقسیم می شوند. این گروه ها اگرچه اغلب به همراه هم مورد ارجاع قرار می گیرند و از یکدیگر نقل قول می کنند، ولی از نظر فنی از یکدیگر مجزا هستند.

### استانداردهای جوشکاری

شما راهنمایی های جزء به جزء زیادی در استانداردهای جوشکاری نمی یابید (حداقل در آنهایی که فقط تکنیک جوشکاری را شرح می دهند). تکنیک جوشکاری به هدایت شدن و سرمشق گرفتن از صنعت نسبت به استانداردها تمایل دارد (بحث در مورد این مفهوم در فصل ۳ را به خاطر بیاورید). نتیجه آنکه استانداردهای فنی تنها یک گستره وسیع اطلاعات را ارائه می‌دهند. واضح ترین مثال ها از چنین استانداردهایی عبارتند از: BS 2633، BS 2971، BS 4570.

این استانداردها یک پوشش کلی از مطلب شامل عملیات حرارتی، مواد و توضیح گواهی‌های جوشکار را فراهم می آورند؛ اما شامل اطلاعات زیادی مربوط به بازرسی نیستند. از استانداردهای مطلقاً تکنیکی و فنی در زمینه جوشکاری که بگذریم، دو استاندارد مهم در استفاده بین المللی، رایج هستند. شما با مفاهیم این دو تقریباً در تمامی بازرسی های مربوط به تجهیزات ساخته شده برخورد خواهید داشت.

BS EN 288 به شش قسمت تقسیم می شود و موضوعات مشخصات روش جوشکاری (WPSs) و گزارش تأئید صلاحیت روش جوشکاری (PQRs) را پوشش می دهد. قسمتی که شما اغلب با آن برخورد خواهید داشت قسمت سوم BS EN 288 است؛ که تعیین می کند چگونه یک WPS توسط آزمایش فرایند جوشکاری، تصدیق می شود. هسته حقیقی این استانداردها این است که به شما این توانایی را می‌دهد که محدوده تایید یک PQR خاص را با استفاده از یک سری از جداول، تعیین کنید. این جداول پر از جزئیات هستند ولی به خوبی تنظیم شده‌اند و پیروی نمودن از آنها نسبتا ساده است.

اطلاعات مفیدی در جدول ۱ ارائه شده که حوزه NDT و آزمایش مخرب مورد نیاز بر روی قطعات آزمایش شده از جوش های سر به سر، جوش انشعابی سپری(tee-butt، branch)و گوشه‌ای را لیست می کند. BS EN 287 مربوط به آزمایش تایید جوشکار می باشد. سیستم تایید بر پایه یک سری قطعات آزمایش یکسان و موقعیت های جوشکاری می باشد.

اصول کلی آن است که توسط اثبات صلاحیت در یک نوع خاص اتصال جوش، جوشکار برای آن نوع جوش و تمامی آن دسته از اتصالات جوشی که آسان تر از اتصال آزمایش شده می باشند، واجد شرایط می‌شود. استاندارد یک سری جداول جهت تعیین محدودیت های دامنه‌های تایید را فراهم می آورد. جوشکار جوش های آزمایشی را تحت سرپرستی و نظارت انجام می دهد و سپس آزمایشات بررسی مخرب و غیر مخرب مختلفی انجام می شود. توجه به این نکته لازم است که استانداردهای خاصی برای ارزیابی نتایج وجود دارد. BS EN 26520 (ISO 6520) برای رده بندی نقایص به کاربرده می شود، در حالی که BS EN 25817 (ISO 5817) راهنمایی هایی را در زمینه این عیوب فراهم می آورد (این استاندارد درجات FFP را که شما می توانید برای تجهیزات به کار ببرید، معرفی نمی کند. پس مراقب باشید که خارج از مفهوم، از آن استفاده نکنید).

BS EN 287,288 در استفاده به صورت یک مجموعه یکپارچه مطرح هستند. تلاش کنید آنها را به عنوان قسمتی از مکانیزم کنترل در تولید ببینید. دامنه کاربرد پذیرش آنها از مخازن تحت فشار تا



ساخت‌های عمومی گسترده شده است. شما می توانید آنها را به صورت نوعی دسترسی به جزئیات تکنیک‌های سازنده به حساب بیاورید، و همچنین در مورد BS EN 287 به عنوان یک ابزار برنامه ریزی و مدیریت آموزشی.

### استانداردهای تکنیک NDT

شکل ۵-۶ استانداردهای رایج مورد استفاده که تکنیک های NDT را پوشش می دهند را نشان می دهد. به تفسیمات واضح بین روش های حجمی - رادیوگرافی (RT) و فراصوتی (UT) - و روش های سطحی - بررسی با ذرات مغناطیسی (MT) و بازرسی رنگ نافذ (DP) - توجه نمایید. استانداردهای NDT تمایل دارند که بسیار جامع باشند. امکان دارد که گاهی گمان ببرید که سازنده‌ها این استانداردها را به خوبی متوجه می شوند. این امر احتمالاً به دلیل استفاده از تکنیک های NDT به صورت روزانه بدون نیاز به مراجعه به متن استانداردها به صورت جزئی، می باشد.

به عنوان یک قسمت کلیدی FFP، بازرس نباید اجازه دهد که به هیچ وجه نکته‌ای از استانداردهای NDT از قلم بیافتد.

## استانداردهای حدود پذیرش

قبلاً به فلسفه استفاده از حدود پذیرش اشاره شده است. شکل ۵-۶ موارد اصلی آنرا نشان می دهد. یکی از موارد بسیار رایج مورد استفاده، بخش های مربوط در کدهای مخازن تحت فشار BS 5500 و ASME VIII می باشند. حوزه ASTM نشان داده شده در شکل، نقایص در قطعات ریختگی را پوشش می دهد- تصاویر رادیوگراف های مرجع می تواند زمینه‌ای مفید برای کمک به تصمیم گیری FFP باشد. اصولاً به دلیل روش تولید، قطعات ریختگی مستعد به عیوب هستند.

## طرح بازرسی و آزمون

به ندرت یک ITP بدون مقداری مضامین NDT و جوشکاری یافت می شود. معمولاً تنها چند خط در ITP در مورد یک خط جوش مطلب وجود دارد. اما این ها می توانند چندین مرتبه برای درز جوش های مختلف تکرار شوند. بهترین مثال برای آن، یک مخزن تحت فشار است که خط اتصال منفرد و جوش های نازل آن، دارای خطوط ITP خودشان هستند. شکل ۵-۷ یک نمونه ITP استخراج شده برای یک اتصال جوش داده شده ساده را نشان می دهد ( برای یک درز اتصال مخزن تحت فشار). این نوع شکل و محتوا بسیار رایج است. شما طرحی مشابه که برای کاربردهای دیگر نظیر لوله‌ها، قطعات ریخته گری و یا فورج جوش داده شده، استفاده شده است، خواهید دید (در مورد طرحی با جزئیات بیشتر مراحل بازرسی، برای مخازن تحت پوشش الزامات قانونی در فصل ۶ بحث شده است).

## NDT TECHNIQUES

**Radiography**

- BS EN 444: 1994. NDT General principles for RG examination of metallic materials
- BS 7257: 1989. Methods for RG examination of fusion welded branch and nozzle joints.
- BS 2600 Parts 1 and 2 (ISO 1106). RG examination of fusion welded butt joints in steel.
- BS 2910: 1986. RG examination of fusion welded circumferential butt joints.
- DIN 54111: Guidance for the testing of welds with X-rays and gamma-rays
- ISO 4993: RG examination of steel castings.
- ISO 5579: RG examination of metallic materials by X and gamma radiography.

**Standards concerned with image clarity are:**

- BS 3971: 1985. Specification for IQIs for industrial radiography (similar to ISO 1027)
- DIN 55110: Guidance for the evaluation of the quality of X-ray and gamma-ray radiography of metals.
- ASTM E142: 1992. Methods for controlling the quality of radiographic testing.
- BS EN 462-1: 1994. IQIs (wire type). Determination of image quality value.

**Ultrasonic testing**

- BS 4124: 1991. Methods for US detection of imperfections in steel forgings.
- BS 3889: Part 1: 1990. Automatic US testing for imperfections in wrought steel tubes.
- BS 3923: Part 1: 1986. Manual examination of fusion welds in ferritic steel.
- ASTM A609: 1991. Practice for US examination of castings.
- BS 6208: 1990. US testing of ferritic steel castings – including quality levels.
- ASTM A418: US testing of steel rotor forgings.

**Surface crack detection**

- BS 6072: 1986. Method for MP flaw detection.
- BS 5138: 1988. MP inspection of solid forged and drop forged crankshafts.
- ASTM E709: 1991. MP testing of castings.
- ASTM E1444: MP detection practice for ferromagnetic materials.
- ASTM A275: MP testing of steel forgings.
- ASTM E165: Dye penetrant examination.
- ASTM E433: 1993. Reference photographs for DP examination.
- BS 6443: 1984. Methods for DP flaw detection.
- ISO 3452: 1984. Dye penetrant examination general principles.

**Acceptance criteria/reference levels**

- BS 5500: 1994. Specification for unfired pressure vessels (see tables 5.7(1), (2) and (3)).
- ASME Section VIII: 1995. Rules for construction of pressure vessels (see UW-51 and UW-52).
- ASTM E71 and E446: 1989. Reference radiographs for steel castings up to 2" thickness.
- ASTM E186: 1991. Reference radiographs for steel castings 2 – 4½" thickness.
- ASTM E280: Reference radiographs for steel castings 4½ – 12" thickness.
- ASTM E99: Reference radiographs for steel welds.
- BS 2737: 1995. Terminology of internal defects in castings as revealed by radiography.
- AD Merkblatter HP 5/3.
- BS 4080 Parts 1 and 2. 1989: Severity levels for discontinuities in steel castings.
- BS 5996: 1993. Acceptance levels for defects in ferritic steel plates.

شکل ۵-۶ NDT: استانداردهای فنی مربوطه



| شماره سابقه | الزامات تصدیق | درجات بازرسی M | C | TPI | اسناد مرجع | نوع عملیات | شماره مرحله |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| XX/Y | BS EN 288 | R | - | - | WPS/PQR | دستورالعمل‌های جوشکاری | ۱ |
| XX/Y | BS EN 287 | R | - | - | BS EN 287 | تائید جوشکار | ۲ |
| XX/Y | ورقه ثبت | R | R | - | BS 2600 | ٪۱۰ RT | ۳ |
| XX/Y | ورقه ثبت | R | R | - | BS 6072 | ٪۱۰۰ MT | ۴ |
| XX/Y | ورقه ثبت | R | W | R | BS 5289 | بازرسی چشمی | ۵ |
| XX/Y | - | R | R | R | - | بررسی اسناد | ۶ |

W- Witness point,
R- Review,
M- Manufacturer,
C- Contractor,
TPI- Third party (or client's) inspection organization

شکل ۵-۷ قسمت جوشکاری یک ITP

سادگی ظاهری شکل ۵-۷ ممکن است گمراه کننده باشد. برای یک بازرسی موثر، وظایف بررسی نشان داده شده لازم است بسیار جامع تر از آن چیزی که نشان می دهند باشند. ITP در شکل ۵-۷ اشتباه نیست، تنها تعدادی وظایف وجود دارند که بیشتر باید از طریق استنتاج نیاز به آنها تفسیر گردد. شکل ۵ - ۸ صورت با جزئیات تفسیری بیشتر مراحل ITP ساده شده شکل ۵ - ۷، می‌باشد. در اینجا صراحتاً اموری را که بایستی در طی بخش های بازبینی یک بازرسی جوش انجام گیرد آورده شده است.

به دقت به این مطالب نگاه کنید چون خیلی ویژه و با جزئیات هستند. به منظور ایجاد بهترین اثر بایستی در هنگام کار آنها را انجام دهید، نه بعداً و صرفاً با مطالعه اسناد مذکور در دفترتان! توجه کنید که مراحل اندکی با نظارت حضوری وجود دارد که در ITP در شکل ۵-۷ نشان داده شده است. این اغلب حالتی است که برای تجهیزاتی که تحت پوشش قوانین اجباری نمی باشند، صادق است. البته باید گفت که این حالت ایده آلی برای امور نیست و باید برخی بازرسی ها را با مراجعه به محل کار انجام داد، اقلاً این کار باعث می شود که امور بازرسی تبدیل به فعالیت بررسی مدارک در دفتر نشود. مطالب زیر می تواند در این امر شما را یاری کنند:

- آماده سازی های جوش، به ویژه برای مقاطع ضخیم فولادی ( بیش از 20mm). یک بازرسی چشمی انجام دهید سپس موقعیت را با WPS مقایسه کنید.
- ناهمراستایی اتصالات به خصوص اتصال کلگی به بدنه برای همه انواع مخازن قبل از جوشکاری. BS 5500، ASME III و تمامی کدهای مخزن، حداکثر حدود این ناهراستایی را اعلام کرده اند.
- سنگ زدن پشت جوش های سر به سر دوطرفه
- بازرسی های MT در جریان کار (چون اشتباه انجام دادن این آزمایش، بیشتر از آزمایش مایعات نافذ امکان پذیر است)
- تعمیرات از هر نوع

مخصوصاً هنگامی که شما سر کار هستید، فقط در دفترتان ننشینید، ابزار و دستگاه های اصلی را بازرسی کنید. این واقعیت که شما این کتاب را می خوانید، نشان می دهد که یک بازرس هستید نه یک کارمند اداری. سپس گزارش کنید (فصل ۱۵ را ببینید).

**مرحله ۱ : دستورالعمل های جوشکاری (WPS)**
- WPSهای اصلی را در مقابل طرح و نقشه های مربوط چک کنید (به مقطع لبه و موقعیت ها نگاه کنید).
- محتوای WPS را با استاندارد چک کنید.
- روابط بین WPSها و PQRها را چک کنید.
- متغییرهای اصلی و نتایج تست PQR را چک کنید.
- تمام نقاط کنترلی بازرس مستقل را چک کنید.

**مرحله ۲ : تایید جوشکار**
- گواهینامه مهارت فنی اختصاصی هر یک از جوشکارها را چک کرده و محدوده و تاریخ های تایید را مطابق با استاندارد چک نمایید.
- نشان و مهر شناسایی هر جوشکار را با جوش هایی که تکمیل شده‌اند، مطابقت دهید.
- چک کنید که زمان میان تایید جوشکار و جوش انجام شده در حدود قابل قبول استاندارد باشد.

**مرحله ۳ : RT ۱۰٪**
- طریقه عملکرد و تکنیک رادیوگرافی را برای مطابقت با استاندارد چک کنید (شکل ۵-۶).
- به فیلم ها و ورقه های گزارش نگاه کنید، و با معیارهای پذیرش مطابقت دهید.
- نقشه محل RT و نشانه‌های روی خود جوش را چک کنید.
- ورقه گزارش را در صورت رضایت، امضاء کنید.

**مرحله ٤ : MT ۱۰۰٪**
- طریقه عملکرد و تکنیک MT را برای مطابقت با استاندارد چک کنید (شکل ۵-۶).
- چک کنید که مناطق صحیح تست شده باشند.
- اگر هر گونه شکی دارید، انجام نمونه دیگری از آزمایشات MT را در محل، نظارت نمایید.
- ورقه گزارش را هنگامی که متقاعد و راضی شدید امضاء کنید.

**مرحله ۵ : بازرسی چشمی**
- ابتدا دسترسی کامل به جوش های باربر و وجود نور کافی را با باز کردن دریچه و یا سایر اقدامات فراهم آورید.
- انجام بازرسی چشمی دقیق و نزدیک، مطابق با استاندارد (حتی اگر در ITP ذکر نشده بود تمرین خوبی به حساب می آید).

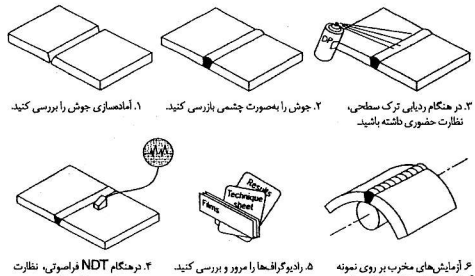
**مرحله ۶ : مرور مدارک**
- راهنمای اسناد را چک کنید، و یا به طور بهتر ارجاع متقابل به شماره‌های مرحله در ITP.
- خود مجموعه اسناد را برای کامل بودن چک کنید.
- اگر هر چیزی از قلم افتاده، یک گزارش عدم انطباق مطرح نمایید.

**شکل ۵ـ۸** شرح و تفسیر صحیح شکل ۵ـ۷

## روش ها و دستورالعمل های آزمایش

مشاهده آزمایش ها همانند انجام دادن آنها نمی باشند. به عنوان یک بازرس هدف شما بایستی تنها دستیابی به آن حدود آگاهی باشد که به شما توانایی تشخیص صحت انجام آزمایشات را بدون اتلاف زمان یا پول بدهد. در نتیجه شما نبایستی انتظار رسیدن به آن درجه اطلاعات و مهارت در زمینه تکنیک های جوشکاری و NDT را که یک تکنیسین یا اپراتور ماهر دارد، داشته باشید. در حقیقت کار شما بر بازبینی و تائید متمرکز است.






۱. آماده‌سازی جوش را بررسی کنید. ۲. جوش را به‌صورت چشمی بازرسی کنید. ۳. در هنگام رویایی ترک سطحی، نظارت حضوری داشته باشید.

۴. درهنگام NDT فراصوتی، نظارت حضوری داشته باشید ۵. رادیوگرافها را مرور و بررسی کنید. ۶. آزمایش‌های مخرب بر روی نمونه آزمایش ورقعای شکل را نظارت کنید.

**شکل ۵ـ۹** آزمایش‌های اصلی جوشکاری / NDT

بنابراین آن دسته از فعالیت های اصلی بازرسی و آزمایش مربوط به جوشکاری و NDT را مرور می‌کنیم که به احتمال زیاد در امر نظارت با آنها درگیر خواهید شد.

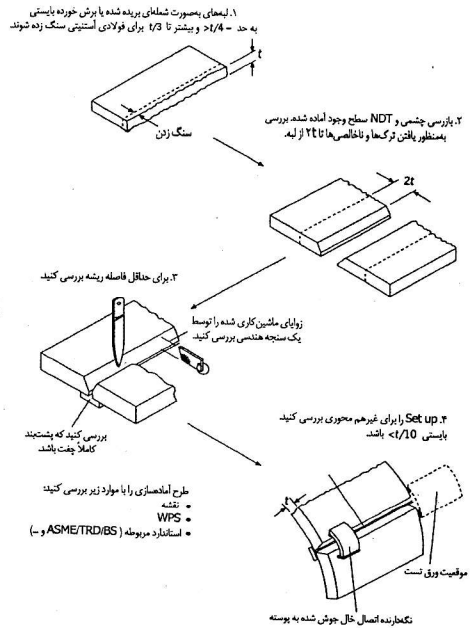
شکل ۵- ۹ آنها را تقریباً در طریقی که انجام می شوند نشان می دهد. در اینجا بیشتر بر دیدگاه «چگونگی بازرسی» این آزمایش ها نسبت به توضیحات دقیق تکنیکی آنها، تمرکز شده است. اگر اطلاعات جزئی‌تر و دقیق‌تری نیاز دارید، استانداردهای تکنیکی مربوط را بررسی کنید.

## بررسی آماده سازی های جوش

آماده سازی نا مناسب جوش منجر به ایجاد جوش های نامطلوب می گردد. یک برنامه بازرسی برای تجهیزات شامل جوش های تحت بار بایستی برای بازرسی مراحل مختلف «روند جوشکاری» تهیه شده باشد. بازرسی بعضی جوش های اصلی در مرحله آماده سازی تاکید می گردد.

بازرسی های لازم سریع و ساده هستند. شکل ۵-۱۰ بازرسی هایی را نشان می دهد که شما بایستی انجام دهید. قواعد و اصول مشابهی برای جوش های سر به سر و اتصالات به کار گرفته می شود. با طراحی شروع کنید. بررسی کنید که طراحی آماده سازی با طرح ساخت، WPS/PQR و هر استاندارد قابل کاربرد دیگر (معمولاً BS 5500 یا ASME)، مطابقت داشته باشد. توجه خاصی به زوایای آماده سازی جوش و درز ریشه یا تسمه پشت بند، داشته باشید. کد های مخزن تحت فشار، انواع آماده سازی هایی را نشان می دهند که برای مخازن منطبق با کد و استاندارد قابل قبول هستند ولی از این استانداردها انتظار نداشته باشید که کاملاً قابل به کار گرفتن برای طراحی اتصال خاص شما باشند.

بنابراین بعضی مواقع شما مجبور خواهید شد از تفسیر و قضاوت خود کمک بگیرید. موقعیت معمولاً برای جوش های سر به سر از جوش های نازل واضح تر است.




**شکل ۵-۱۰ چگونگی بررسی آماده‌سازی‌های جوش**

اگر در شک هستید می توانید یک گزارش عدم انطباق مطرح نمایید و از سازنده بخواهید مطابقت با استاندارد مربوطه را شرح دهد. مرحله بعدی بازرسی لبه های ورقه آماده شده است. این مسئله خیلی مهم است که نقائص قبل از شروع جوشکاری زدوده شوند. هر عیب و نقصی که در قطعه جوش باقی بماند، اغلب در لبه های HAZ، منشا شروع ترک ها می گردد. خواهید دید که آنها اغلب نقائص صفحه ای هستند، بنابراین توسط آزمایشات رادیوگرافی به راحتی پیدا نمی شوند. اطمینان حاصل کنید که:



- لبه های ورقه با شعله ای بریده شده و لبه های برش خورده، نزدیک به حداقل 1/4 ضخامت ورقه (t/4) سنگ زده شده باشند (قبل از اینکه آماده سازی زوایا ماشین کاری شوند) ، و حتی ترجیحاً بیشتر، برای حذف مناطق سوخته و کارسخت شده آن.
- بازرسی های MT و PT بر روی لبه های آماده شده، جهت یافتن ترک و یا سایر عیوب، در هر دو طرف ورق تا فاصله حداقل دو برابر ضخامت آن (2t)، از لبه های آماده شده، انجام شوند (شکل۵-۱۰ را ببینید). هیچ گونه علائم مشابه ترک هم در این مرحله قابل قبول نخواهند بود- تنها راه حل سنگ زنی و دوباره ماشین کاری آماده سازی است، و سپس تکرار بازرسی.
- در مورد جوش های نازل، بسیار محتاط باشید. ممکن است قطعه فورج شده باشد. اگر چنین است بایستی قبل از جوشکاری، تمامی اکسیدهای سطحی زدوده شوند تا سطح تمیز خوبی به دست آید.

در نهایت مونتاژ های جوش را بررسی کنید. تنظیم مونتاژ اتصال، مخصوصاً در تولیدات بزرگ می‌تواند کار مشکلی باشد. سالم بودن خال جوش‌ها و اینکه تمامی گل‌های جوشکاری برداشته شده باشند، را بررسی کنید.به دنبال یک درز ریشه یکنواخت و یکسان در امتداد یا و دور جوش بگردید.

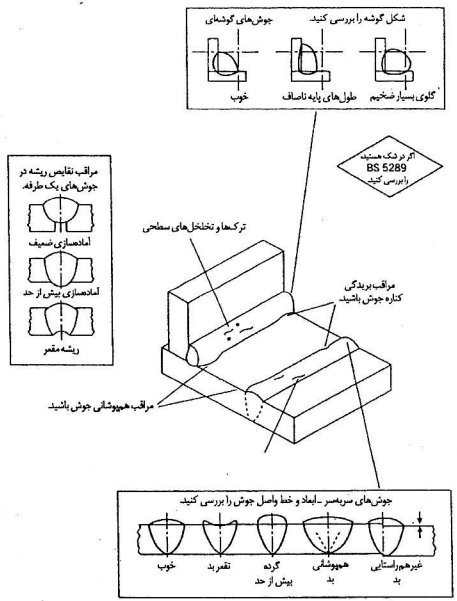
برای جوش های نازل بررسی کنید که جهت جلوگیری از اعوجاج و کشیدگی، مهارهای مناسب پیش-بینی شده باشد.

شما مجبور خواهید شد از تجربه استفاده کنید، یا از سازنده بپرسید؛ این موضوع در WPS ذکر نمی‌گردد ولی امکان دارد در طرح ساخت به آن اشاره شود.

تمرکز خود را از دست ندهید. شما به دنبال اطمینان از مونتاژی مناسب برای جوش هستید، به صورتی که یک جوش کاملاً نفوذی و بی عیب را ایجاد نماید. در این شرایط نظارت حضوری خود عملیات، هنگام جوشکاری زیاد الزامی نخواهد داشت؛ می توانید در بین مراحل انجام لایه های مختلف، جوش را از نزدیک بررسی نمایید.

## بازرسی چشمی جوش ها

می توان گفت که تمامی جوش‌ها بایستی تحت بازرسی چشمی قرار گیرند. به طور قطع بازرسی چشمی قسمتی از پروسه NDT محسوب می گردد. به خصوص برای کنترل موقعیت رادیوگراف ها و در طی آزمایش های فراصوتی روی ورق پایه یا جوش های تکمیل شده. نحوه برخورد شما با بازرسی چشمی بسیار مهمتر از چیزی است که در ابتدا به نظر می‌رسد. این موضوع تا حد زیادی مهم است چون ظاهر قابل مشاهده جوش ها، پس از آنکه تجهیزات در محل خوشان وارد شدند، به راحتی توسط استفاده کننده ها، مدیران یا سایر بازرس ها مورد اظهار نظر قرار می‌گیرند. برخی اظهار نظرها می‌تواند از روی بی اطلاعی باشد. همچنین لازم به ذکر است که بعضی از عیوب ذکر شده می توانند مهم و بعضی فقط ا جنبه زیبایی اهمیت داشته باشند. به این دلیل، پیشنهاد می‌شود که رهیافتی اتخاذ کنید که بتوانید بازرسی های چشمی جوش و هر عیبی را که یافتید، گزارش کنید. بهترین راه استفاده از یک چک لیست است. این موضوع امکان ایجاد یک راه ساده و روشن و واضح برای ارائه یافته‌های شما در گزارشتان را ایجاد می‌نماید. همچنین به دیگران و گاهی خودتان نیز در تمایز و تشخیص مشاهداتی که به درستی بر FFP اثر می‌گذارند از آنهایی که صرفاً جنبه زیبایی دارند، کمک خواهد کرد.




همچنین بررسی کنید:
- جوش [راسته و تمیز شده باشد (اگر ذکر شد باشد)].
- تمامی سرباره، پاشش‌ها و علائم ناشی از قوس جوشکاری حذف شده باشند.

**شکل ۵-۱۱** بازرسی چشمی جوش‌ها

شکل ۵- ۱۱ نیز در همین راستا عیوب قابل مشاهده معمول را نشان می‌دهد و شکل ۵-۱۲ نیز یک چک لیست است که شما می توانید از آن استفاده کنید. لازم به ذکر است که استاندارد رایج جهت استفاده برای بازرسی چشمی جوش ها، به عنوان مثال BS 5289(9) می‌باشد.



### بررسی ها

**تمیزکاری**
- تمامی سرباره‌ها حذف شده باشند.
- علائم ناشی از اعمال قوس حذف شده باشند.
- بقایای پاشش جوش حذف شده باشند.

**ابعاد و شکل جوش**
- ساقه‌ای برابر (جوش های گوشه‌ای)
- ابعاد گلوگاه صحیح (جوش های گوشه‌ای)
- هیچگونه تقعر گلوگاه (جوش های گوشه‌ای)
- الگوی سطح منظم (جوش های سر به سر یا گوشه‌ای)
- درستی و صحت اندازه گرده جوش (جوش‌ای سر به سر)
- ذوب کامل در پنجهٔ جوش(جوش های گوشه)

**نقایص**
- بریدگی کناره جوش (جوش های سر به سر یا گوشه‌ای)
- هم پوشانی (جوش های سر به سر یا گوشه‌ای)
- ترک های سطحی (جوش های سر به سر یا گوشه‌ای)
- تخلخل های سطحی (جوش های سر به سر یا گوشه‌ای)
- شیار در پنجه جوش(جوش گوشه)
- عیوب قابل رویت ریشه(جوش های سربه سر

اگر نقایصی پیدا کردید، سپس:
- به دقت آنها را توصیف کنید
- جوش را توسط شماره درز یا مکان، شناسائی کنید
- عکس برداری کنید (یا یک طرح مکان تهیه کنید)

**شکل ۵-۱۲** بازرسی جوش‌ها ـ یک چک‌لیست

## ترک یابی سطحی (و محدودیت های آن)

درصد زیادی از ترک ها و عیوب بر روی سطح قطعات ریختگی، فورج شده و مواد کار سرد شده ، در مقایسه با ترک های داخل بدنه مواد (به استثناء ریشه جوش که یک منبع رایج عیوب است) یافت می‌شود. این موضوع به روش های ساخت مربوط می شود و علی رغم تمام کنترل های فرایندهای ساخت، رخ می دهد. روش های زیادی برای ترک یابی سطحی توسعه پیدا نموده اند، ولی اصلی ترین آنها مایعات نافذ و ذرات مغناطیسی می باشند.

بازرسی چشمی دقیق برای تشخیص علائم سطحی و به طور کلی یافتن نقایصی که بسیار ساده تر هستند، مفید می‌باشد. همچنین از نظر انجام سریع و نسبتاً ساده هستند. همانند تمامی تکنیک های NDT، کارایی آنها بستگی به فاکتورهایی نظیر پرداخت سطح مواد، جهت گیری نقائص و میزان مهارت و

آشنایی، دارد. به عنوان یک بازرس شما بایستی با احتیاط و هوشیاری با نتایج NDT برخورد نمایید.

تکنیک های MT وPT ترک های با سایز قابل مشاهده را ردیابی می‌کنند که اگر بدون مراقبت رها شوند باعث شکست می شوند. اما یک محدودیت بسیار تقریبی 0.1 mm برای حداقل اندازه عیبی که هنگام استفاده از این روش ها در یک موقعیت کارگاهی قابل یافتن است، وجود دارد. توجه به این نکته لازم است که امکان دارد این 100 میکرون، بزرگ تر از اندازه بحرانی ترک برای برخی مواد باشد.

## بازرسی توسط رنگ نافذ (PT)

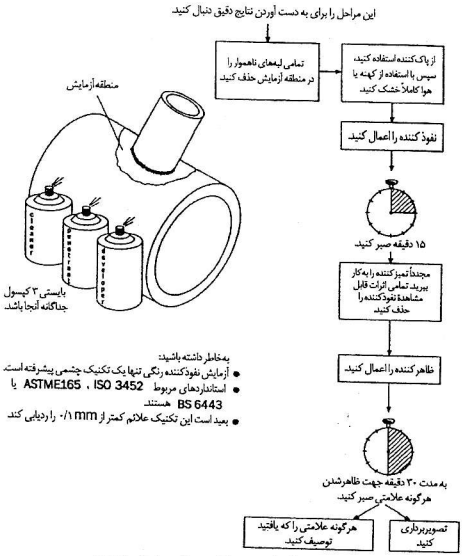
این روش ساده ترین و آشنارین روش برای یافتن ترک های سطحی است. استانداردهای مختلفی وجود دارند که ضمن توضیح تکنیک، انواع عیوب را نیز نشان می دهند (شکل ۵ -۶). PT دارای این مزیت است که یک روش ثبت چشمی در دسترس به شمار می‌آید. علائم می توانند عکس برداری شوند.

با وجود آنکه PT تکنیکی ساده به نظر می رسد ولی هنوز هم دیده می شود که گاهی اوقات به صورت غلط انجام می‌شود. شکل۵-۱۳ طریقه صحیح انجام آن را نشان می دهد. در این راستا سه نوع قوطی اسپری مورد استفاده قرار می گیرند- پاک کننده یک محلول پاک کننده و بیرنگ است، نفوذ کننده قرمز است و ظاهر کننده هم سفید می باشد. نکات و راهنمایی های زیر را به خاطر بسپارید:

- PT بر روی تمامی مواد فلزی موثر است، اما نسبت به شرایط سطحی قطعه، حساس می‌باشد. لبه های تیز و پاشش های جوش باعث ایجاد علائم غلطی خواهند شد. به عنوان یک راهنمایی پرداخت معمولی قطعه پس از ریخته گری و درست کردن تمامی لبه های زبر، بایستی قابل قبول باشد. هر چیز زبرتر نیاز به سنگ زنی سبک دارد.
- همان طور که در شکل ۵- ۱۳ نشان داده شده است، اطمینان حاصل کنید که مراحل تمیزکاری صحیح انجام شده‌اند. شستشوی مستقیم سطح جهت حذف نفوذ کننده قرمز قبل از به کاربردن ظاهر کننده، توصیه نمی شود. این مسئله ممکن است باعث شسته شدن نفوذ کننده از عیوب سطح شده و نتایج ضعیفی را بدهد.
- اشتباه رایج در این زمینه ندادن زمان کافی به نفوذ کننده قرمز جهت نفوذ است. حداقل ۱۵ دقیقه زمان برای این کار مورد نیاز است.
- ترک های سطحی به صورت خطوط قرمز زمختی در روی سطح ظاهر کننده سفید نمایان می‌شوند. تخلخل های سطحی نیز به صورت یک دسته یا رشته‌ای از نقاط قرمز کوچک ظاهر می‌گردند.
- تورق های لبه ای در جوش آماده شده یا ورق فولادی بریده شده اغلب به صورت علائم نازک، شبیه ترک جهت گیری شده در امتداد لبه بریده شده، ظاهر می شوند. همچنین امکان دارد روی ورق بریده شده ترک های متقاطعی ببینید که به سبب کارسختی بیش از حد ورق ایجاد شده‌اند. انجام یک آزمایش PT موفق بر روی لبه شعله ای بریده شده بدون سنگ زنی و آماده سازی، امکان ندارد.
- اگر نقصی یافتید، جهت قرار دادن و افزودن به گزارش بازرسی از آن عکس برداری کنید.

تکنیک های PT برای قطعات پیچیده نظیر سرشاخه های اصلی بویلر بازیافت حرارت در جایی که تعداد و نزدیکی نازل ها و سرلوله ها، MT را مشکل می‌سازد، استفاده بیشتری پیدا می‌کنند.

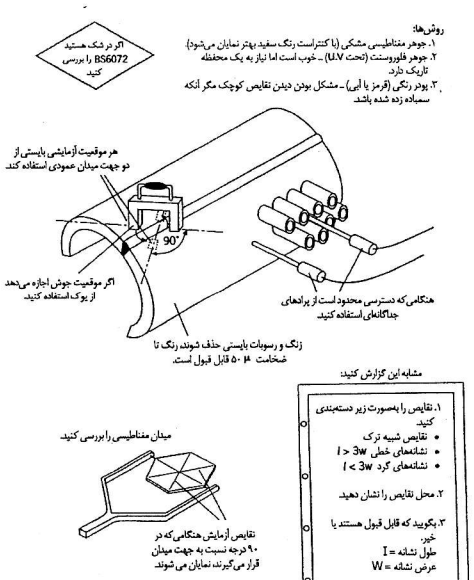





**شکل ۵-۱۳** آزمایش نفوذکننده رنگی - روش صحیح

## بازرسی توسط ذرات مغناطیسی (MT)

MT بر اساس خواص مغناطیسی مواد عمل می کند. یک میدان مغناطیسی از مواد عبور داده می شود و سطح توسط یک محیط مغناطیسی یا جوهر، اسپری می‌گردد. فاصله هوایی در عیب، یک ناپیوستگی در میدان مغناطیسی ایجاد می کند که ذرات مغناطیسی در جوهر را جذب می کند و باعث قابل رویت شدن آن عیب می گردد.




**شکل ۵-۱۴** وسایل معمول را در این زمینه نشان می‌دهد.

MT توانایی آزمایش مناطق بزرگ مواد یا جوش را بدون نیاز به آماده سازی زیاد دارد. به همین دلیل به صورت رایج برای مخازن بزرگ و سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد.

به صورت تئوری، چونکه میدان مغناطیسی، اندکی زیر سطح مواد نیز نفوذ می کند. این تکنیک می‌تواند حضور نقایص زیر سطحی را نیز به خوبی عیوب سطحی نمایان کند، البته در عمل این موضوع بسیار مشکل است- یک اپراتور MT با تجربه جهت تشخیص دادن چیزی با وضوح کمتر از یک عیب



سطحی مطلق مورد نیاز است. بنابراین بهتر است که برای یافتن عیوب زیرسطحی بر MT تکیه نمود.

انواع مختلفی از واسطه‌های مغناطیسی وجود دارند که می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند؛ پودر قرمز یا آبی، جوهر مغناطیسی مشکی، و جوهر فلوورسنت که تحت نور فرابنفش دیده می شود و همگی به صورت رایج استفاده می شوند و اساساً یک کار انجام می دهند. همچنین روش های مختلفی جهت اعمال میدان مغناطیسی به قطعه تحت آزمایش وجود دارد.

## راهنمایی های زیر را به خاطر بسپارید:

- MT نمی تواند برای مواد غیر فرو مغناطیس به کار برده شود. این مواد شامل فولاد زنگ نزن آستنیتی و مواد و آلیاژهای غیر آهنی است.
- MT جهت ردیابی ناخالصی های سطحی غیر فلزی، بهتر از PT عمل می‌کند. برای عیوب دیگر، قابلیت تفکیک آنها تقریباً مشابه و یکسان است.
- گرفتن عکس های خوب از نقایص یافت شده توسط MT مشکل است. همیشه تصویری از عیب و موقعیت آن روی نقشه یادداشت کنید تا در گزارش بازرسی آورده شود. توصیف عیب بسیار مهم است. سه دسته خاص از عیوب هستند که می توانند توسط MT ردیابی شوند: ترک ها (شما اغلب اینها را بطور کلی به صورت «نقایص شبه- ترک» می بینید)؛ نشانه های گرد و نشانه های خطی (شکل ۵- ۱۴). در گزارش شما بایستی از این اصطلاحات خاص استفاده شده باشد.
- دو راه جهت اعمال میدان مغناطیسی وجود دارد، یا به طور ثابت (جریان هنگامی که جوهر اعمال می شود برقرار می ماند) یا به صورت موقت (میدان اعمال می شود سپس برداشته شده و بعد از آن جوهر اعمال می گردد). هر دو روش قابل قبول هستند. در روش دوم، میدان توسط مغناطیس باقی مانده به مدت کافی جهت اعمال جوهر و تشخیص عیوب حفظ می شود. اگر در این زمینه شک دارید به BS 6072 یا ASTM A275/E1444 نگاه کنید.
- تکنیک MT بیشترین حساسیت را برای هنگامی که نقصی در جهت $90^{o}$ با میدان مغناطیسی جهت گیری کرده باشد، دارد. هنگامی که زاویه به زیر $45^{o}$ سقوط کند، حساسیت کاهش پیدا می کند.
- رایج ترین خطای تکنیکی، عدم استفاده از دو جهت عمودی میدان می باشد. عدم رعایت این مطلب به طور کلی سودمندی آزمایش را از بین می برد. دو جهت برای تعیین محل عیوب در جهت گیری های مختلف ضروری هستند، شکل ۵-۱۴. جهت اطمینان یافتن از اینکه قدرت و شدت میدان و خواص جوهر به حد کافی خوب هستند، از میدان سنجی استفاده کنید که دارای «عیوب نمونه» باشد.
- از «نشانه های فریبنده»[1] در گوشه ها و اطراف تغییرات تند و حاد برش ها (مقطع ها) حذر کنید. به ویژه در قطعات ریختگی واژه فنی درست برای این ها «نشانه های نامربوط»[2] است.
- یک پوشش رنگی کمتر از 50 میکرون، اثر چشمگیری بر حساسیت این تکنیک نخواهد داشت. یک پوشش نازک رنگ کنتراستی سفید اغلب جهت کمک به برجسته و نمایان شدن علائم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1- Phantom indications
2- Non-relevant indications

## بازرسی های غیر مخرب حجمی

NDT حجمی نام کلی است که به آن دسته از تکنیک های غیر مخربی داده می شود که نقایص را در داخل مواد یا قطعات شناسایی می کنند. شما نمی توانید به طور صحیح نقایص سطحی را با استفاده از تکنیک های حجمی پیدا کرده و تشخیص بدهید.

این تکنیک ها همچنین بسیار پیچیده تر از تکنیک های سطحی هستند و تنوع بیشتری نیز دارند. هدف شما آشنایی با دو تکنیک اصلی است: رادیوگرافی (RT) و فراصوتی (UT) و اینکه آنها چگونه در طی بازرسی ها به کار برده می شوند. به ویژه برای جوشکاری بنیادی مخازن تحت فشار و دیگر تجهیزات تحت پوشش الزامات قانونی.

### کدام تکنیک ـ رادیوگرافی یا فراصوتی

در نهایت، این سوالی است که برای شما پیش می آید (و یا برای مشتری شما). رادیو گرافی و فراصوتی روش های بسیار متفاوتی هستند. اساس کار، شرایط اجرا و حساسیت آنها متفاوت است.

توجه به این نکته لازم است که در هر حال، قرار است هر دوی آنها یک کار انجام دهند. این درست است که بگوییم برای بیشتر کاربردها، آنها می توانند به جای یکدیگر به کار گرفته شوند، اما بهتر است بگوییم این دو تکنیک تکمیل کننده یکدیگر می باشند.

در عمل به ندرت این دو تکنیک را در استفاده کنار هم پیدا می کنید. بسیاری از دانش مربوط به NDT حجمی از طرز کار و تجربه مخزن تحت فشار بدست می آید. در جایی که یک استاندارد بسیار بی عیب و نقص مورد نیاز باشد، استانداردهای مخزن TRD و BS اغلب به عنوان پایه طراحی برای دیگر انواع تجهیزات ساخته شده استفاده می شوند.

مضمون این استانداردها به تدریج توسط پروسه‌ای از اصلاحات و ضمائم تغییر می کند- آنها مدارک بی نقص و اثبات شده تجربی و همچنین حاصل اتفاق آراء، هستند.

یک نتیجه آن است که این استانداردها علاقه‌ای به تعیین یکی از تکنیک های فراصوتی یا رادیوگرافی در برتری نسبت به دیگری ندارند. این موضوع قابل قبول است که هر دو تکنیک اگر به درستی و مطابق با محدودیت های تکنیکی آنها استفاده شوند، موثر و مفید خواهند بود. اما انتخاب، به " توافق بین سازنده و مشتری" رجوع داده می‌شود.

این بدان معنی است که استانداردها تا حدی که دوست دارید به شما کمک نخواهد کرد. شکل ۶-۸ در فصل ۶ آنچه استانداردهای مخزن در مورد NDT حجمی جوشکاری‌ها، ورق ها، قطعات فورج شده و ریخته گری شده صحبت کرده‌اند را نشان می‌دهد.

در برابر این دورنما، تولید کنندگان به صورت روزافزون از تکنیک های فراصوتی برای NDT جوش‌های سازه‌ای، البته با اجازه و تایید محتاطانه مشتری ها و موسسه های رده بندی، استفاده می کنند. به عنوان یک بازرس شما بایستی به دنبال ایجاد توافق بین سازنده و مشتری خودتان باشید. معمولاً این مجوزهای محتاطانه برای استفاده از UT خود را در چند لایه الزامات و مشخصات نشان می دهند که نهایتاً به عبارت استانداردهای مناسب ارجاع می شوند.

اغلب تناقض های تکنیکی بین این الزامات وجود دارد. شما در چنین شرایطی چه کار می کنید؟ این موضوع وابستگی زیادی به دقتی که شروط گوناگون نوشته شده‌اند، دارد. برای توجه و تمرکز بیشتر به



| | |
|---|---|
| برای ورق ها | • UT بهترین است. ردیابی عیب لایه ای شدن توسط RT مشکل می باشد. |
| برای قطعات ریختگی | • برای قطعات ریختگی و قطعات جوش خورده ضخیم، موضوع اصلی، دسترسی است. RT نیاز به دسترسی به سمت پشت دارد. UT می تواند برای مواد ضخیم مورد استفاده قرار گیرد، اما نیاز به آماده سازی سطحی خوبی دارد. |
| برای قطعات فورج شده | • اکثر محورهای فورج شده ضخیم‌تر از حد عملی X-ray (حدود 150 mm) هستند. UT در چنین موقعیت‌هایی استفاده می‌گردد. |
| برای جوش های سر به سر (نفوذ کامل) | • تفاوت فرایندی اصلی در ایجاد یک سابقه و مدرک پایدار توسط RT است.<br>• UT برای یافتن نقایص صفحه‌ای بهتر است. RT برای نقایص دارای حجم نظیر ناخالصی ها و نفوذ ناقص مناسب تر است. |
| برای جوش های گوشه‌ای | • RT می تواند استفاده شود ولی UT بهتر و ساده‌تر است. |
| برای جوش های سر به سر لوله به لوله | • UT برای لوله های با دیواره بسیار نازک مناسب نیست. |
| برای جوش های لوله به هیدر و نازل | • UT بهترین تکنیک است. RT به سبب مشکلات مربوط به چروکیدگی فیلم، مشکل است. |
| برای جوش های فولاد زنگ نزن | • UT برای جوش های فولاد زنگ نزن قابل اطمینان نیست. این مطلب به دلیل آن است که موج های عرضی (Transverse wave) نمی توانند با اطمینان مورد استفاده قرار گیرند. |

**شکل ۵-۱۵** بازرسی فراصوتی ( UT ) در مقابل رادیوگرافی (RT)- مسائل فنی

اهمیت نسبی الزامات مکتوب اول به سلسله مراتب سند رجوع کنید. در فصل ۳، به بحث راجع به این نگاه کنید. یک هدف کلیدی این سلسله مراتب سند، کاهش وقوع شرایط فنی متناقض است. اکنون از آن استفاده کنید.

به آخر خط خوش آمدید. آنچه باقی می‌ماند، قضاوت مهندسی است- اساساً قضاوت شما. اما همچنین این موضوع به باقی گروه‌ها هم مربوط می‌شود: سازنده، پیمان کار و موسسه رده بندی. در ادامه وارد جزییات اینکه شما جهت رسیدن به نتیجه صحیح، چگونه بایستی با دیگر قسمت‌ها وارد عمل شوید، نمی‌شویم (فصل ۲).

در شکل ۵-۱۵، مباحث فنی مهم نشان داده شده است. این فضایی است که همیشه می‌توانید در آن بیشتر یاد بگیرید. قسمتی از دفترچه بازرسی خود را به این اختصاص دهید و تجربیات خود را برای استفاده در آینده فایل بندی کنید.

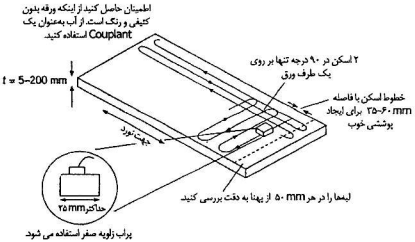
## بازرسی فراصوتی (UT)

روش‌های NDT فرا صوتی در چهار زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند: قطعات ریختگی، فورج شده، ورق‌ها و جوش‌ها.

درجات « لبه » مواد

| درجه پذیرش | حداکثر طول تک نقص (مساحت) | حداکثر شماره نقص‌های چندگانه در هر متر از طول | بالای حداقل طول |
|---|---|---|---|
| E1 | 30 mm | 50 mm (1000 $mm^2$) | |
| E2 | 20 mm | 30 mm (500 $mm^2$) | |
| E3 | 10 mm | 20 mm (100 $mm^2$) | |

- از یک تکنیک A-scan با المکاس پالسی استفاده کنید (۲-۵ MHz).
- نقص‌ها توسط مساحت با استفاده از روش کاهش دسی‌بل مشخص می‌شوند.
- اگر در شک هستید به BS 5996 مراجعه کنید.




**شکل ۵-۱۶ آزمایش فراصوتی ورق‌های فولادی**

درجات بدنه (جسم) مواد

| درجه پذیرش | حداکثر مساحت تک نقص (تقریبی) | حداکثر شماره نقص‌های چندگانه در هر متر مربع | بالای حداقل اندازه (مساحت) |
|---|---|---|---|
| B1 | 100 mm × 20 mm (2500 $mm^2$) | 10 000 $mm^2$ | |
| B2 | 75 mm × 15 mm (1250 $mm^2$) | 5 000 $mm^2$ | |
| B3 | 60 mm × 12 mm (750 $mm^2$) | 2 500 $mm^2$ | |
| B4 | 35 mm × 8 mm (300 $mm^2$) | 1 000 $mm^2$ | 10 |

- این‌ها تقریب‌ها هستند اگر نتایج مرزی هستند به BS 5996 نگاه کنید.

## بازرسی فرا صوتی ورق‌ها

جهت بازرسی ورق برای یافتن عیب لایه ای شدن که ناخالصی‌هایی می باشند که به صورت انقطاع‌های مسطح بین لایه‌های مواد نورد شده گسترده می‌شوند، از آزمایش فرا صوتی (UT) استفاده می‌شود. برای کاربردهای معمول، ورق‌ها در معرض آزمون صد در صد لایه‌ای شدن قرار نمی‌گیرد. این مطلب اغلب به دلیل آن است که اکثر ورق‌ها با استفاده از یک روش گاز زدایی خلأ تولید می‌شوند، که به طرز چشمگیری



احتمال وجود عیوب را کاهش می‌دهد. استاندارد فنی مربوط BS 5996 می‌باشد. به معیارهای پذیرش در این استاندارد توجه نمائید. این استاندارد درجات کیفی مختلفی را برای بدنه و لبه‌ها مشخص می کند که با تعداد عیوب مشاهده شده در سطح ارتباط دارند. قاعده کلی آن است که یک ورق جهت تطابق با درجه خاصی از کیفیت آزمایش می شود– اگر رد شد، به درجه پایین‌تری تنزل می کند. مثلاً یک درجه کیفیت معمول برای نوع فولاد مخزن تحت فشار، کیفیت درجه B4 برای بدنه و B3 برای لبه ها می باشد.

پراب‌های ویژه‌ای برای فولادهای آستنیتی مورد نیاز است. موادی که صد درصد بازرسی شده‌اند، اغلب توسط بازرسان مستقل برای استفاده در مخازن تحت فشار و جرثقیل‌های تحت پوشش الزامات قانونی تایید و با حکاکی علامت گذاری می‌شوند – شکل ۵ - ۱۶ نکات و اصول بازرسی را هنگام نظارت و مشاهده این تکنیک نشان می‌دهد.

## بازرسی قطعات ریخته‌گری شده

قطعات ریختگی فولاد مارتنزیتی و فریتی می‌توانند با استفاده از روش‌های فرا صوتی ساده بازرسی شوند. تکنیک اصلی با عنوان روش انعکاس پالسی A- scan شناخته می‌شود. لازم به ذکر است که تکنیک مشابهی نیز برای قطعات فورج شده استفاده می‌گردد. شکل ۵ - ۱۷ جزئیات آن را نشان می دهد. به خاطر داشته باشید که این یک تکنیک انعکاسی است (امواج توسط یک پراب که دارای دو کریستال است ارسال و دریافت می‌شوند) و همچنین آنکه از امواج فشاری استفاده می‌کند. هر موج به صورت طولی در امتداد محور باریکه نوسان می‌کند. مقیاس زمانی که فاصله تا شیء تحت بررسی را بیان می‌کند، همیشه در محور افقی نمایان می‌شود. روش اصطلاحاً B-scan از یک مبنای زمانی عمودی استفاده می‌کند اما رایج نمی‌باشد.

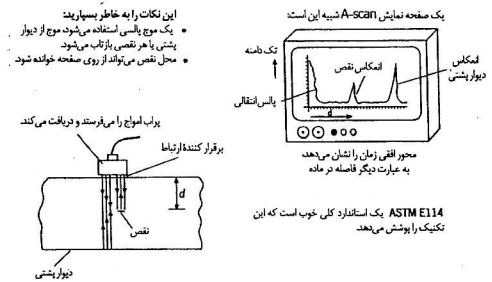
بازرسی فرا صوتی قطعات ریختگی تکنیکی بسیار ساده‌تر از آن چیزی است که برای جوش ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد اصلی آن برای قطعات ریختگی با ضخامت دیواره بیشتر از 30 mm می‌باشد و تکنیک‌های مورد استفاده برای قطعه ریختگی جهت کار تحت فشار یا کارهای کلی و معمولی یکسان می باشد. به دلیل هندسه پیچیده بعضی قطعات ریخته‌گری شده، بازرسی کامل آنها توسط ابزار فرا صوتی گاهی اوقات می‌تواند دشوار شود. به علاوه به علت ماهیت نقص‌هایی که در قطعات ریختگی اتفاق می‌افتد، تا حدی استانداردها در رویه های بازرسی این قطعات انعطاف پذیری نشان می دهند. این انعطاف پذیری به خصوص در مورد حدود پذیرش صادق است به اینصورت که استانداردها در جهت توصیف درجات کیفیت قطعات ریختگی، جهت گیری می‌شوند تا تعیین مطلق حدود قبولی/ ردی.

چنین تصمیماتی به موافقت بین سازنده و مشتری واگذار می‌شود. مشخصات قراردادی مرتبط با هر بندی که پایه و اساس این توافق است، بررسی کنید.

اگر شروط مشخص و روشنی وجود ندارد، کار درست دنبال نمودن راهنمایی‌های تکنیک و ارزیابی نقص ارائه شده در استاندارد مربوطه است. سپس به کار بردن قضاوت خودتان. مثل همیشه مناسب بودن برای منظور (FFP) نکته کلیدی است.

### تکنیک

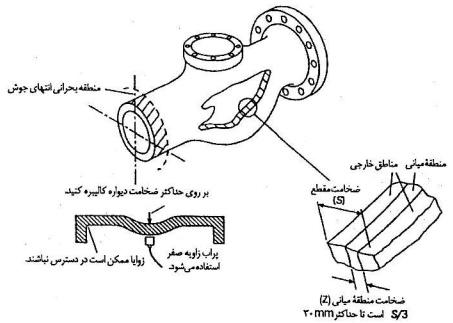
خود تکنیک بازرسی نسبتاً آسان می‌باشد، اما در این میان الزامات خاص اندکی به دلیل ویژگی‌های قطعات ریختگی وجود دارد (شکل ۵- ۱۸). هنگام نظارت و مشاهده آزمایش، نکات زیر را بازرسی کنید:




**شکل ۵-۱۷ آزمایش فراصوتی ـ روش A-scan پالس ـ انعکاس**

- اغلب یک پراب زاویه صفر (عمودی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از تکنیک پـراب زاویـه دار بـه دلیل ثابت نبودن ضخامت دیواره برخی قطعات ریختگی مشکل می‌باشد (اگر چه تکنیک پراب زاویه دار برای پره توربین استفاده شده است).
- ضخامت دیواره قطعات ریختگی بایستی به مناطقی تقسیم شود (شکل ۵- ۱۸).
- آزمایش فرا صوتی قطعه یک سری مراحل مشخص را دنبال می‌کند. شـما در ایـن جـا نیـاز بـه ارتبـاط نزدیک با اپراتور آزمایش دارید– به جهت دنبال نمودن آنچه که اتفاق می‌افتد – به دنبـال ایـن مراحـل اصلی باشید:
- تجهیزات را کالیبره کنید. در ابتدا از بلوک‌های آزمایشی و سپس از ضخیم‌ترین بخش‌های خود قطعـات ریختگی، استفاده کنید.
- یک اسکن مقدماتی در صد درصد سطح قطعه در فرکانس 2MHz انجام دهیـد، اگـر ضـرورت دارد بـه پراب‌های کوچکتر برای بررسی زوایای تیز تر تغییر دهید. هدف از این اسکن مقدماتی، شناسایی محـل ناپیوستگی‌های صفحه‌ای و غیر صفحه‌ای و نه تایید ورود آنها در این محل می باشد.
- قبل از شروع مراحل بعدی، لازم است که در مورد روشـی کـه بـرای انـدازه زنـی عیـوب (صـفحه‌ای و حجمی) استفاده خواهد شد، توافق نمایید. اگر عیوب اندازه زده نشوند، واقعاً این آزمون به ارزیـابی FFP قطعه کمک چندانی نخواهد نمود. معمول ترین روش، روش کاهش 6 dB است. این تکنیکی برای اندازه گیری لبه های عیب است. در این حالت لبه عیب جایی فرض می شود کـه انعکـاس برگشـتی از عیـب 6 dB کاهش یابد (یا دامنه موج انعکاسی نصف شود). یک روش محافظه کارانـه تـر وجـود دارد کـه بـر اساس 20 dB کاهش می باشد.
- ناپیوستگی‌های صفحه‌ای را توسط پیدا کردن محل لبه‌های هر ناپیوستگی، ارزیابی کنید.






**این مراحل را دنبال کنید:**

- مناسب بودن بدنه را برای تکنیک فراصوتی بررسی کنید
- یک بازرسی چشمی انجام دهید
- یک اسکن مقدماتی انجام دهید بدنبال هر دو نوع ناپیوستگی باشید
- ناپیوستگی‌های صفحه‌ای را ارزیابی کنید
- ناپیوستگی‌های غیرصفحه‌ای را ارزیابی کنید (گرانش‌های بالایی و پایینی آنها را بیابید و سپس مساحت آنها را مشخص کنید).
- با استفاده از جدول نشان داده شده نتایج را با درجات طبقه‌بندی کنید
- با دقت گزارش کنید.
- اگر در شک هستید، BS 6208 و BS 4080 را بررسی کنید

| ناپیوستگی‌های صفحه‌ای | درجه 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| حداکثر اندازه ناپیوستگی درون جدار (دیوار) | 0mm | 5mm | 8mm | 11mm |
| حداکثر مساحت یک ناپیوستگی | 0mm | 75mm² | 200mm² | 360mm² |
| حداکثر مجموع مساحت ناپیوستگی‌ها | 0mm | 150mm² | 400mm² | 700mm² |

| ناپیوستگی‌های غیرصفحه‌ای | درجه 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| حداکثر اندازه منطقه خارجی | 0.2Z | 0.2Z | 0.2Z | 0.2Z |
| حداکثر مساحت کل منطقه خارجی | 250mm² | 1000mm² | 2000mm² | 4000mm² |
| حداکثر اندازه منطقه میانی | 0.1S | 0.1S | 0.15S | 0.15S |
| حداکثر مساحت کل منطقه میانی | 12500mm² | 20000mm² | 31000mm² | 50000mm² |

**شکل ۵-۱۸ روش فراصوتی صحیح برای قطعات ریختگی**

- ناپیوستگی‌های غیر صفحه‌ای را از لحاظ اندازه ارزیابی کنید؛ برای این کار دو مرحله وجود دارد، یـافتن حدود بالایی و پایینی ناپیوستگی، و سپس یافتن (مشخص نمودن) لبه‌ها، جهت محاسبه حجم کلی.

- تمام جزییات را به دقت ثبت کنید. توصیف و توضیح اندازه‌ها و جهت گیری ناپیوستگی‌ها قبل از آنکه آنها را بتوان به طور صحیح با درجات نشان داده شده در شکل ۵ - ۱۸ به منظور ارزیابی مقایسه نمود ضروری است.
- تعریف مناطق بحرانی در قطعات ریختگی که در معرض شدیدترین سطوح ارزیابی قرار خواهند گرفت، معمول است. این‌ها، مناطقی هستند که خصوصاً تنش بالایی را تحمل می‌کنند؛ (مثل ریشه پره در پروانه‌ها) یا جایی که حتی ناپیوستگی‌های کوچک سبب ایجاد مشکلات FFP می‌گردد مانند مناطقی که متعاقباً جوش خواهند شد ( به سر جوشی شیر در شکل توجه کنید). این مناطق بحرانی تنها در «توافق» سازنده/ مشتری تعریف و مشخص می‌شوند. به طور کلی آنها را در استانداردهای فنی پیدا نخواهید کرد.
- آزمایش قطعات ریختگی با ساختار دانه‌ای آستنیتی می‌تواند بسیار مشکل باشد. یک بازرسی معمولی برای جذب صدا بایستی انجام شود تا معلوم گردد که آیا قطعه برای تحت آزمایش قرار گرفتن به صورت فرا صوتی مناسب است یا خیر. همراه با اپراتور بازرسی کنید. اگر با قابلیت نفوذ یا توان بیشتر از 15 dB نتایج خوبی از UT بدست نیامد و روش رادیوگرافی احتمالاً موثرتر خواهد بود.

## ارزیابی و بررسی نتایج

در اصطلاحات فنی فرا صوتی، هدف از آزمایش قطعات ریختگی، شناسایی ناپیوستگی‌ها است. ناپیوستگی‌ها به دو دسته متفاوت دسته بندی می شوند: صفحه‌ای (در یک صفحه تنها بدون هیچ ضخامتی) و غیر صفحه‌ای (دارای ابعاد گوناگون و از این رو یک مساحت یا حجم). یک اصل کلیدی آن است که ناپیوستگی‌های صفحه‌ای و غیر صفحه‌ای به صورت جداگانه تحت بررسی قرار می‌گیرند. هر نوع عیبی دارای یک سری ضوابط متفاوت می‌باشد که توسط آن به قطعه ریختگی یک «درجه» اختصاص داده می‌شود. این ضوابط در شکل ۵ - ۱۸ نشان داده شده است. به این مسئله دقت کنید که چقدر اندازه‌های ناپیوستگی‌ها در مقایسه با نقایص بسیار کوچک که هنگام بازرسی جوش‌ها مهم می باشند، نسبتاً بزرگ هستند. در اینجا بایستی بر اهمیت گزارش دادن دقیق، صحیح و توصیفی در مورد عیوب تاکید نمود. قطعات ریختگی دارای ناپیوستگی خواهند بود و تنها اشاره به نقایص"کوچک" یا "ناچیز" در گزارش کافی نیست. چنین اصطلاحاتی معنی مناسبی در این زمینه ندارند. با دقت به شرح آنچه که یافته‌اید بپردازید و سپس قضاوت FFP خودتان را برای آن به کار ببرید.

از مطالب ذکر شده کاملاً مشخص و روشن است که آزمایش فرا صوتی قطعات ریختگی از یک تکنیک کامل و ایده‌ال فاصله زیادی دارد – پیدا نمودن برخی انواع ناپیوستگی‌های صفحه‌ای کوچک مشکل بوده و خود تکنیک نیز می‌تواند به دلیل شکلهای پیچیده قطعاتی که مورد آزمایش قرار می‌گیرند محدود گردد. به طور رسمی، بازرسی فرا صوتی قطعات ریختگی احتمالاً هنوز به عنوان مکمل بازرسی رادیو گرافی مطرح می‌باشد؛ اما روز به روز تکیه بر آزمون فراصوتی بیشتر می شود. بسیاری از سازندگان باتجربه دیده می‌شوند که فقط آزمون فراصوتی را مورد استفاده قرار می‌دهند، حتی برای قطعات ریختگی تجهیزات تحت فشار توربین های بخار و بدنه شیرهای مربوطه.

## بازرسی فرا صوتی قطعات فورج شده

برای قطعات و اجزای فورج شده‌ای که دارای مقاطع ضخیمی هستند (بیش از 150 mm)، بازرسی فراصوتی



تنها نوع NDT حجمی است که می‌تواند انجام گیرد. رایج ترین استفاده آن بازرسی روتورها برای توربین‌ها، ژنراتورها، گیربوکس‌ها و پمپ‌ها (روتورهای کوچک تر توپر، و انواع بزرگتر تو خالی می باشند)، همچنین قطعات فورج شده خاص نظیر بدنه شیرآلات و مخازن با دیواره ضخیم تحت فشار بالا می باشد. پروسه NDT برای تمامی چنین قطعاتی، معمولاً شامل صد درصد ردیابی فرا صوتی و صد درصد ردیابی ترک سطحی توسط MP یا PT می‌باشد. به ندرت مناطق بحرانی در بازرسی ها تعریف می شود که از این نظر متفاوت با قطعات ریخته گری شده باشند.

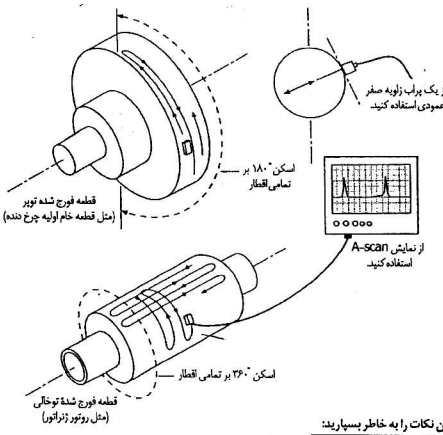
اگر چه هر دو استانداردهای عمومی و همچنین فنی ویژه اجزا خاص، قابل استفاده هستند، ولی توجه به این نکته لازم است که بیشتر محتوای استانداردها به جزییات تکنیک‌های بازرسی فرا صوتی نسبت به جنبه‌های کلیدی حدود پذیرش نقص اختصاص داده شده‌اند. استاندارد عمومی اصلی BS 4124، به هیچ عنوان نشانی حدود پذیرش را نمی‌دهد، در عوض به ضرورت توافق بین سازنده و مشتری جهت تعیین آنچه که قابل پذیرش است ارجاع می‌دهد.

از دیدگاه یک بازرس، تفسیر کردن ناپیوستگی‌های یافت شده، بر حسب اثر آنها بر FFP، حتی با وجود ساده بودن خود تکنیک‌های بازرسی، می‌تواند یک کار مشکل به حساب آید.

## تکنیک

قطعات فورج شده معمولاً دو مرتبه به صورت فرا صوتی آزمایش می‌شوند: قبل از ماشین کاری (هنگامی که تنها یک ارزیابی خشن ممکن است) و پس از عملیات حرارتی و ماشین کاری نهایی. شکل ۵ - ۱۹ تکنیک‌های اصلی که برای رایج ترین انواع قطعات فورج شده استفاده می‌شوند را نشان می‌دهد. نکات زیر را به خاطر بسپارید.

- نمایش A-scan مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۵ - ۱۷).
- برخی قطعات فورج خاص امکان دارد نیاز به یک آزمایش اضافی برای یافتن "عیوب نزدیک سطح" داشته باشند. این مطلب به یک پراب فرکانس بالا (10 MHz) جهت حداقل نمودن عمق "منطقه مرده" که یک مشخصه و ویژگی بازرسی فرا صوتی است، نیاز دارد.
- روش جاروبی، همیشه برای موارد با سطح مقطع ثابت، کاملاً ساده می باشد. این مسأله برای قطعاتی نظیر شیرها که هندسه پیچیده تری دارند، مشکل‌تر و پیچیده‌تر می‌گردد.
- یک پراب عمودی (زاویه صفر) برای تمامی اسکن‌های اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. ممکن است استفاده از پراب‌های زاویه دار جهت تعیین دقیق مکان و اندازه ناپیوستگی‌ها ضروری باشد.
- چهار روش اصلی جهت اندازه‌گیری ناپیوستگی‌ها وجود دارد. روش‌های dB 20+ افت وdB 6 افت در تمامی کاربردها نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و بنابراین استفاده آنها محدود می‌گردد. تکنیک‌های «فاصله-دامنه»(Distance- Amplitude) و « فاصله- اندازه گین پراب» (Distance- Gain)کاربردهای بیشتری دارند. می‌توانید توضیحات این تکنیک‌ها را در BS 4124 یا در کتب مرجع NDT بیابید. بررسی کنید که کدامیک در هنگام نظارت و مشاهده یک آزمایش مورد استفاده قرار می گیرد.
- این مسأله خیلی مهم است که اندازه یک ناپیوستگی با توضیحی پیرامون تکنیکی که جهت تعیین آن مورد استفاده قرار گرفته است، همراه باشد. حقیقت آن است که تکنیک‌هایی که برای تعیین اندازه به کار می روند، مشکل هستند، پس مقداری تغییر پذیری در نتایج معقول است.




**این نکات را به خاطر بسپارید:**

- هیچ سیستم درجه‌بندی عمومی برای ناپیوستگی‌ها وجود ندارد.
- تعریف معیارهای پذیرش مشکل است، بیشتر بر توافقات ویژه بین سازنده و خریدار تکیه می‌کند.
- BS 4124 یک استاندارد کلی خوب است، به ویژه ASTM A418 به قطعات فورج شده روتور مربوط می‌شود.

**شکل ۵-۱۹** آزمایش فراصوتی قطعات فورج شده

## بازرسی فرا صوتی جوش‌ها

بازرسی فرا صوتی به صورت روز افزون به عنوان یک روش مطمئن و قابل اتکا فنی جهت بازبینی جوش‌ها در فولادهای فریتی، در حال گسترش است. این گسترش به حدی رسیده است که حتی برخی سازندگان فقط از بازرسی فرا صوتی به عنوان یک روش NDT حجمی برای جوش‌های مخزن تحت فشار استفاده می‌کنند.

در بازرسی جوش ها هم موج‌های عرضی (برشی) و هم متراکم مورد استفاده قرار می‌گیرند. باریکه فرا صوتی با استفاده از یک گونه پراب‌های عمودی و زاویه دار از محل‌های مختلف در جوش و اطراف آن انتشار می‌یابد. نتایج در مانیتور آسکوپ نشان داده می‌شوند. این تکنیک همیشه نمی‌تواند به صورت موثری بر روی فولادهای آستنیتی استفاده شود مگر آنکه پراب‌های خاص مورد استفاده قرار گیرند، به خاطر اینکه ساختار دانه این فولاد، امواج فراصوتی را دچار انحراف می کند.

با استفاده از بازرسی فرا صوتی می‌توان شمار زیادی از انواع جوش را نظیر جوش‌های سر به سر، نازل،



گرینه و را مورد بازرسی قرار داد. برای هر نوع جوش نیز تکنیک خاص خودش بهترین کارائی را جهت یافتن نقایص دارا می‌باشد. از دیدگاه یک بازرس این بدان معناست که بازرسی فرا صوتی جوش همراه با حالش فکری خواهد بود. خوشبختانه کمک در قالب استانداردهای فنی آموزنده خاص در دسترس و قابل استفاده می باشد.

### استانداردهای فنی مفید

مفیدترین استاندارد BS 3923 (قسمت ۱) است. این استاندارد بازرسی فرا صوتی تمامی انواع رایج جوش‌هایی که با آنها در مخازن و دیگر اجزاء و قطعات مهندسی متداول مواجه می‌شوید پوشش می‌دهد. این استاندارد بسیار کاربردی است که بهترین تکنیک‌ها را جهت استفاده ارائه می‌دهد.

همچنین لازم به ذکر است که توضیحاتی پیرامون چگونگی تشخیص نقایص نیز در آن وجود دارد اما معیارهای پذیرش را نمی‌دهد. تنها به استاندارد کاربردی مربوطه، که اغلب یک کد مخزن تحت فشار خواهد بود، ارجاع داده می‌شوید. استاندارد آمریکایی معادل، ASTM E164:1992 می‌باشد که تا حد زیادی اصول و قواعد یکسانی را به مانند BS 3923 دنبال می‌کند؛ اما جهت استفاده در موقعیت کارهای عملی، کاملاً ساده نیست. یک نکته مهم که توسط استانداردهای فنی مطرح می‌گردد مراتب بازرسی است. BS 3923 سه سطح بازرسی را تشریح می‌کند. سطوح ۱، ۲ و ۳ برای هر نوع اتصال جوش داده شده در نتیجه پذیرفتن سه «درجه تایید» متفاوت برای یکپارچگی جوش می‌باشد. الزامات برای تعداد و حوزه جاروب‌ها، نوع پراب و شرایط سطحی جوش بین این مراتب تغییر می‌کند. مرتبه یک بالاترین سطح بازرسی به حساب می‌آید. از دیدگاه بازرسی، سطح دوم، حداقل سطح مورد نیاز برای هر اتصال جوش داده شده جهت تایید سلامت و یکپارچگی جوش می‌باشد.

شما بایستی سطح ۳ بازرسی را با عنوان «صرفاً مشورتی» به حساب بیاورید؛ همچنین لازم به ذکر است که این سطح توانایی یافتن تمامی نقایص جوش ممکن را که می‌توانند بر سالم بودن اتصال جوش داده شده اثر گذارند، ندارد. به همین دلیل شکل ۵ - ۲۰ بر پایه بازرسی سطح ۲ می‌باشد.

### ارزیابی جوش

برای آزمایش فراصوتی جوش، روش های روتین و مشخصی وجود دارد. در همین ارتباط اصول پایه برای جوش‌های سر به سر و گوشه ای و نازل یکسان می‌باشد. هنگامی که شما شاهد و ناظر این آزمایشات در طی یک بازرسی هستید، اطمینان حاصل کنید که ۵ مرحله اصلی به دقت انجام شده باشند .دقیق انجام شدن، این مراحل نیاز به زمان دارد. ۵ مرحله عبارتند از:

- **مواد اولیه** را بازرسی کنید. این موضوع بر پایه روش BS 5996 نشان داده شده در شکل ۵ . ۱۶ بنا شده است. هدف، بازرسی سطوح مواد اولیه است که باریکه ها با آنها برخورد دارد هنگامی که خود جوش بازرسی می‌شود و جهت تایید ضخامت مواد به طوری که مسیرهای باریکه برای مشاهده توسط پراب زاویه دار می‌تواند مشخص گردد. مثال‌ها در شکل ۵ - ۲۰ نشان می‌دهند که چگونه مسیرهای باریکه زاویه دار نیاز به بازتاب شدن از سطح داخلی مواد اولیه جهت ارزیابی جوش دارند.
- ریشه جوش را بازرسی کنید. این مرحله به خصوص برای جوش‌های سر به سری دارای کاربرد است که دارای یک پاس ریشه جداگانه هستند (اغلب MIG). برای جوش‌های یک طرفه با استفاده از یک نوار پشت بند، ریشه بدون آرایش خواهد بود و بایستی برای یافتن ترک ریشه و نفوذ ناقص ریشه، مورد

بررسی قرار گیرند. توجه کنید که بازرسی بایستی دو بار انجام شود، هر بار از یک طرف جوش. این تکنیک برای جوش‌های دو طرفه در شکل ۵ - ۲۰ نشان داده شده است.

- با استفاده از یک پراب عمودی (زاویه صفر) بازرسی کنید. تمامی جوش‌های سر به سر بایستی در سر تا سر سطح جوش با یک پراب زاویه صفر جهت یافتن هر گونه تقعر ریشه، ذوب ناقص در نوار پشت بند، یا ذوب بین پاس ضعیف، جاروب شوند. اطمینان حاصل کنید که:
  ۱. گرده جوش صاف باشد (BS 3923 موارد SP3 یا SP4) تا شرایط جهت یک بازرسی درست و صحیح فراهم گردد.
  ۲. فرکانس پراب حداقل در حدود 4 MHz باشد.
  ۳. برای مواد ضخیم (ضخامت بیشتر از 150) mm)، اسکن‌های جداگانه از سطوح بالایی و پایینی جوش انجام شود.
- اسکن برای نقایص طولی (در جهت طول جوش). در این حالت، زوایای باریکه و جهت جاروب برای یافتن هر نقصی که به صورت طولی در امتداد محور جوش قرار گرفته، عرضی هستند (از عرض جوش). استفاده از چندین پراب زاویه دار مختلف نیز رایج می‌باشد – بهترین احتمال برای یافتن یک نقص هنگامی رخ می دهد که باریکه با زاویه 90 درجه با سطح آن نقص برخورد کند. مراقب ترک‌ها یا ذوب ناقص در طول وجوه ذوب باشید.
- به دنبال نقایص عرضی بگردید. این نقایص توسط اسکن در طول محور جوش پیدا می‌شوند. در همین راستا راهنمایی‌های زیر را به خاطر بسپارید:
  ۱. گرده جوش بایستی صاف باشد (BS 3923 درجه SP3)
  ۲. زاویه پراب بایستی حدود ۲۰ درجه نسبت به عمود باشد. دو پراب برای جوش‌های با بیش از 15 mm ضخامت مورد نیاز است.
  ۳. جوش‌های ضخیم (بیش از 50 mm) بایستی از دو طرف بازرسی شوند.
  ۴. اتصالات گوشه و T شکل نیاز به تکنیک‌های اسکن ویژه‌ای دارند (BS 3923).

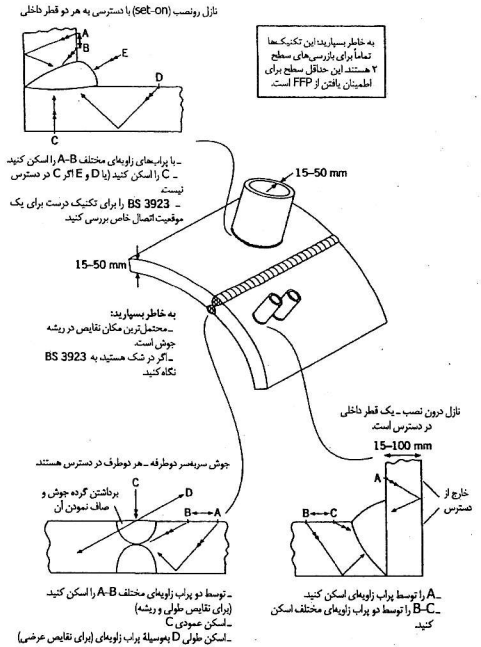
## ارزیابی نقایص

ارزیابی نقایص کاری حساس و سخت می‌باشد؛ اگر چه اصول و قواعد آن آسان و روشن است، تنوع زیاد مسیرهای باریکه و نشانه‌های نقص متفاوت، باعث دشوار شدن آن گشته‌اند. به همین دلیل ضرورت دارد هنگامی که نقصی یافت می‌شود، شما در کنار اپراتور آلتراسونیک با دقت کار کنید.

اینجا جایی نیست که بازرس کناری بنشیند و به امید تحلیل های سر فرصت بعد باشد. شما بایستی هنگامی که آزمایش در حال انجام است، اطلاعات خود را جمع آوری کنید. بهترین کار آن است که از اطلاعات با جزییات و چک لیست داده شده در BS 3923 قسمت ۱ استفاده کنید؛ در حالی که باید قواعد و اصولی که ارزیابی تحت آن ها انجام می گیرد را از یاد نبرید:

- ارزیابی مربوط به سطح بازرسی است که مورد استفاده می‌باشد. برای بازرسی سطح ۱، هر نشان و علامتی بالای پارازیت زمینه (چمن یا علف نیز نامیده می‌شود) نیاز به بررسی دارد. برای سطوح ۲ و ۳، تنها علائمی که باعث یک انعکاس قوی و قابل ملاحظه می‌شوند، بررسی می‌گردند. اندازه‌های انعکاس های خاص (مربوط به ارتفاع صفحه نمایشگر) در BS 3923 نشان داده شده‌اند. توجه کنید که آنها بسیار به تکنیک مورد استفاده، بستگی دارند.






**شکل ۵–۲۰** آزمایش فراصوتی جوش‌های سر به سر و نازل

- به عنوان یک قانون کلی، هر انعکاس بیشتر از 50 درصد ارتفاع صفحه نمایشگر (یا کاهش بیش از 50٪ موج انعکاسی) ارزش بررسی را دارد.
- اگر می خواهید گزارشتان معنی دار باشد، نقایص بایستی بر حسب نوع طبقه بندی، توصیف و اندازه‌گیری شوند. این به آن معنا است که هنگامی که نقصی پیدا می‌شود، اپراتور بایستی یک برگه

گزارش به همراه جزئیات کار را کامل کنند. در مورد طریقی که نقایص یافت شده را گزارش می‌دهید مراقب باشید (بایستی تمامی جزییات نوع و اندازه را شامل شود).

## رادیوگرافی

با وجود این حقیقت که الزامات اجباری برای بازرسی غیر مخرب از طریق رادیوگرافی در حال ضعیف شدن است، اما این روش هنوز به صورت گسترده‌ای در ساخت و تولیدات مهندسی متداول، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مزیت این روش در ارائه یک مدرک دائمی از نتایج بازرسی است که قابلیت مرور و صحه گذاری نتایج را توسط تمامی گروه‌های لازم مهیا می‌سازد.

مزیت فنی کلیدی رادیوگرافی، توانایی آن در تشخیص انواع مهم نقایص حجمی (تخلخل، ناخالصی‌ها، ذوب ناقص و نفوذ ناقص و موارد مشابه) و دسته بندی آنها بر حسب اندازه می‌باشد. این مسأله، باعث می‌شود که رادیو گرافی جهت پیدا نمودن آن دسته از انواع رایج نقایص یافت شده در جوش‌های چند پاسه بسیار مناسب باشد.

تعداد زیادی از استانداردها و تکنولوژی آزمایش رادیو گرافی (RT) از کار با مخازن تحت فشار بدست آمده است. از این رو جنبه‌های فنی بازرسی RT به خوبی توسط استانداردهای فنی مختلف نشان داده شده در شکل ۵ - ۶ و در فصل ۶ پوشش داده می‌شوند. شما می‌توانید در این مدارک انتظار راهنمایی های قطعی و صریح را داشته باشد. انواع نقایص نیز، به همراه حدود پذیرش به خوبی تشریح گردیده‌اند. البته به ناچار تا حدی تفسیر و قضاوت نیز مورد نیاز است.

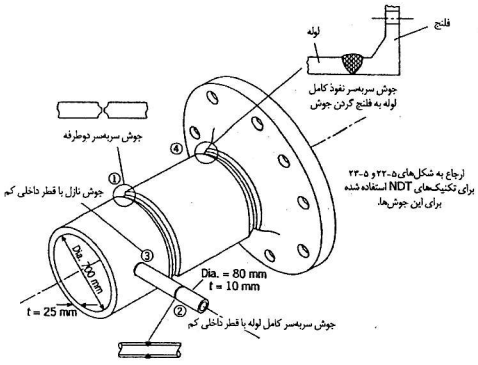
در این قسمت، ما به یک نمونه از کاربرد آزمایش رادیو گرافی نگاهی می‌اندازیم، یک جوش سر به سر با نفوذ کامل و جوش‌های نازل در لوله کشی های فولادی. چنین لوله کشی هایی برای کاربرد دمای بالا تحت کد ASME B31.1 یا یکی از استانداردهای اروپایی معادل، مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک بازرسی مؤثر و مفید شامل یک سری مراحل تعریف شده می‌باشد که در این قسمت تا آخر دنبال می شوند.

### کنترل تکنیک

شکل ۵ - ۲۱ موقعیت ۴ جوشی که می‌خواهند بازرسی شوند را نشان می‌دهد. جوش شماره ۱، جوش سر به سر یک لوله با قطر زیاد می باشد که از هر دو طرف به آن دسترسی وجود دارد. این جوش می تواند به سادگی با استفاده از تکنیک رادیو گرافی تک دیواره (Single- Wall) آزمایش گردد. جوش شماره ۲ یک جوش نفوذ کامل سر به سر لوله با قطر کم است. این جوش به راحتی تنها از بیرون قابل دسترسی می‌باشد؛ بنابراین بایستی که از روش رادیوگرافی دو دیواره‌ای(Double- Wall)، تصویر دو تایی، استفاده شود. جوش شماره ۳ یک جوش نازل کاملاً نشسته در محل خود می باشد. این جوش می‌تواند رادیو گرافی گردد اما تکنیک آن غالباً به دلیل مشکلات ناشی از یافتن یک محل خوب برای فیلم مشکل می‌باشد. خم نمودن فیلم به دور خارج جوش نازل با قطر کوچک، سبب چروک شدن فیلم گردیده که در نهایت یک تصویر ضعیف را ارائه می‌دهد.

به عنوان یک اصل کلی، جوش‌های نازل به بدنه جهت آزمایش توسط تجهیزات فرا صوتی مناسب‌تر هستند ( رادیو گرافی مشکل و غیر عملی است). جوش شماره ۴، اتصال لوله-به-فلنج که یک نوع رایج است می‌باشد و اغلب یک اتصال فلنج " گردن جوشی(Weld neck)" نامیده می‌شود. توجه کنید که این






**شکل ۵-۲۱** لوله‌کشی بخار فشار بالا ـ NDT حجمی جوش‌ها

جوشی یک طرفه با یک پاشنه ریشه می باشد؛ بنابراین به عنوان جوش با نفوذ کامل مطرح بوده و بر اساس اکثر کدها و استانداردها نیاز به بازرسی غیر مخرب کامل دارد.

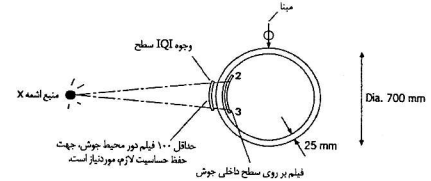
این اتصال را به شرطی که فضای کافی برای فیلم وجود داشته باشد، با استفاده از یک تکنیک تک دیواره مشابه آنچه که برای جوش شماره ۱ نشان داده شد، می توان رادیوگرافی نمود. بنابراین پهنای جوشی که می‌خواهد بررسی گردد نیایستی توسط موقعیت فلنج محدود شود. البته لازم به ذکر است که در اکثر حالات فضای باز خالی کافی و مناسب وجود خواهد داشت. همچنین اگر مورد نیاز باشد، استفاده از تکنیک فرا صوتی نیز برای این جوش توسط اسکن نمودن از سطح خارجی لوله و وجه فلنج امکان پذیر است. قبل از بررسی نتایج هر بازرسی رادیو گرافی، عقلانه است که به جزییات اینکه چگونه بازرسی انجام شده است دقت کنید (روش بازرسی). این مطلب می‌تواند در حکم یک سند جداگانه باشد یا به عنوان قسمتی از برگه نتایج به حساب آید. مثالی از اطلاعات تکنیکی برای هر یک از جوش‌های ۱ و ۲ در شکل‌های ۵ - ۲۲ و ۵ - ۲۳ آورده شده است. نکات زیر را بررسی کنید:

- تکنیک *تک دیواره‌ای یا دو دیواره‌ای* روش بازرسی جوش شماره ۱، تکنیک تک دیواره‌ای است – فیلم تصویر یک جوش گرفته شده از یک ضخامت تک جوش را نشان می‌دهد. جهت مشاهده این جوش در گرداگرد کل محیط آن، ۱۰ فیلم مورد نیاز است. در مقابل، جوش شماره ۲، یک تکنیک دو دیواره‌ای است، که برای لوله‌های کوچکتر مناسب است. تکنیک دو تصویر کنار هم نشان داده شده جهت جلوگیری از روی هم افتادن دو تصویر جوش در یک نقطه روی فیلم که تفسیر آن را

**یک تکنیک اشعه ایکس تک دیواره استفاده می شود:**

- قطر داخلی بزرگ اجازه دسترسی می دهد.
- تکنیک منبع خارجی بصورت رایج برای لوله‌های بزرگ استفاده می شود.

تکنیک شبیه این است:



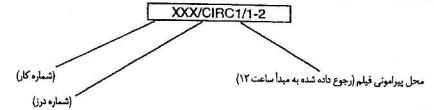

**و مانند این بیان می‌شود:**

| مشخصهٔ فنی | توضیحات |
|---|---|
| تک دیواره | تنها یک ضخامت جوش را بر فیلم نشان می‌دهد. |
| تکنیک شماره ۱ | مرجعی به BS 2910 که تکنیک‌های ۱۶-۱ را لیست می‌کند. |
| رده A | اشعه X و تکنیک تک‌دیواره بهترین نتایج را می‌دهد. |
| فیلم نازک | BS 2910 به استناد از درجات فیلم نازک یا متوسط اشاره می‌کند. |
| X-220kV | ولتاژ اشعه X به ضخامت جوش بستگی دارد. |

**تذکرات:**

IQI ، BS 3971 نوع ۱ است ( BS EN 462–1).
برای ضخامت جوش 25 mm حداکثر حساسیت قابل قبول در BS 2910 ، ۱/۲٪ است. این به آن معنی است که سیم 32/ mm بایستی قابل رؤیت باشد.
IQI بایستی در منطقه بدترین حساسیت منتظره قرار گیرد.

**نشان فیلم (از نشانه‌های راهنما استفاده کنید)**

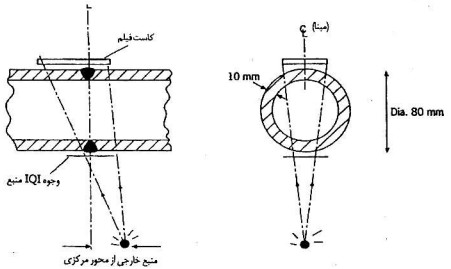



**شکل ۵ـ۲۲** تکنیک RT برای جوش سر به سر لوله‌های با قطر زیاد (شماره ۱)

مشکل می سازد، به کار برده می‌شود. به تفاوت در رده بین تکنیک‌های تک و دو دیواره‌ای نشان داده شده در اشکال توجه کنید – تک دیواره رده A است (از BS 2910).

- *موقعیت فیلم* توجه به این نکته لازم است که در مورد جوش شماره ۱، چگونه ۱۰ فیلم که هر کدام تقریباً 230 mm طول دارند، در پیرامون محیط آن قرار می‌گیرند. با شروع از یک نقطه مبدأ،






**و به صورت زیر ذکر می‌شود:**

| مشخصات فنی | توضیحات |
|---|---|
| تکنیک تصویر دو دیواره | دو ضخامت جوش مرجعی به BS 2910 را نشان می‌دهد. |
| شماره ۱۳ | با ارجاع به BS 2910 که تکنیک‌ها را از ۱ تا ۱۶ را نشان می‌دهد. |
| رده B | تکنیک‌های بعدی دو دیواره نسبت به روش‌های تک دیواره در مرتبه بعدی هستند. |
| فیلم نازک | BS 2910 استفاده درجات نازک یا متوسط را بیان می‌کند. |
| دانسیتهٔ 4.5–3.5 | درجهٔ سیاهی تصویر |

**تذکرات:**

- IQI ، BS 3971 نوع ۱ است (BS EN 462–1)
- برای ضخامت 10mm × 2 حداکثر حساسیت قابل قبول ارائه شده در BS 2910 ۱۶٪ است. این به آن معنی است که سیم 0/mm بایستی قابل رؤیت باشد.
- حداقل سه فیلم موردنیاز در صفر، ۱۲۰ و ۲۴۰ درجه از مبنا قرار می‌گیرند.
- حداکثر OD برای این تکنیک 90 mm است.
- در این چنین تکنیک‌هایی، اشعه X نسبت به گاما نتایج بهتری می‌دهد.
- منبع جهت جلوگیری از روی هم قرارگرفتن تصاویر خارج از محور می باشد.

**شکل ۵ـ۲۳** تکنیک RT برای جوش سر به سر لوله‌های با قطر کم (شماره ۲)

موقعیت آنها توسط شماره‌های راهنما نمایش داده می‌شود. بنابراین موقعیت هر نقص دیده شده در رادیو گراف می‌تواند روی جوش مشخص گردد.

- *نوع منبع مورد استفاده* شما تنها به یک بررسی کلی بر روی مناسب بودن نوع منبع نیاز دارید. برای تمامی اهداف کاربردی، این منبع یا X-Ray خواهد بود یا اشعه گاما.
- اشعه ایکس توسط یک لامپ X-Ray (tube) تولید شده و تنها بر روی فولاد تا ضخامت تقریبی 150 mm مؤثر است. میزان ولتاژ واحد منبع را کنترل کنید: ضخامت جوش تا حد 10 mm نیاز به حدود 140 kV دارد و ضخامت بیش از 50 mm نیازمند ولتاژ حدود 400-500 kV می باشد. این در حالی است که حداکثر مقدار عملی، 1200 kV است.

- اشعه‌های گاما توسط یک ایزوتوپ رادیواکتیو تولید می‌شوند و می‌توانند در ضخامت‌های مشابه استفاده شوند؛ اما در این حالت، وضوح کاهش می‌یابد. اگر از یک منبع اشعه گامای کبالت ۶۰ استفاده شود، بهترین نتایج، برای مواد با ضخامت بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر بدست می‌آید. همچنین این منبع نتایج خوبی برای جوش‌های لوله با دیواره نازک نمی‌دهد.
- امکان مقایسه دقیق و درست نتایج بدست آمده از روش‌های X-Ray و اشعه گاما وجود ندارد.

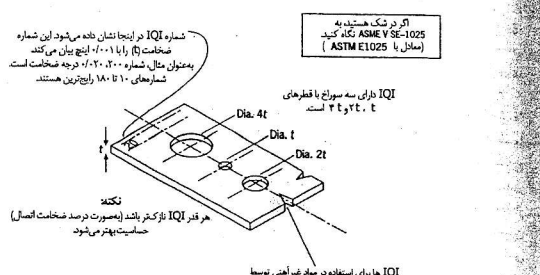
## کنترل فیلم‌ها

اگر چه روش‌های دیدن خود تصویر در هنگام رادیوگرافی به صورت تکنیکی عملی و شدنی است، اما اکثر تکنیک‌ها از یک فیلم فوتوگرافی که پس از پرتو دهی ظاهر می‌شود، استفاده می‌کنند. بنابراین یک مدرک عینی جهت بررسی توسط تمامی گروه‌های مربوطه، تهیه می‌شود.

بررسی نمودن فیلم‌های رادیوگراف به صورت صحیح، شامل ۶ مرحله اصلی می‌باشد. بهترین کار حرکت در یک مسیر سازمان یافته شده جهت اطمینان یافتن از بررسی کامل فیلم‌ها می باشد.

- *محل قرارگیری فیلم را بازرسی کنید.* اطمینان حاصل کنید که هر فیلم در محل فیزیکی خود در قطعه یا جوش کنترل شده گزارش شود. همچنین علامات فیزیکی جوش را با تصویر انطباق دهید.
- *حساسیت را کنترل کنید.* این بازرسی جهت تعیین آن است که آیا تکنیک رادیوگرافی به کار برده شده به حد کافی حساس بوده است که بتواند عیوب موجود را تشخیص دهد یا خیر. این مطلب بر حسب یک درصد بیان می‌شود. درصد حساسیت پایین‌تر بیانگر تکنیکی حساس‌تر و بهتر است. به عنوان مثال، حساسیت ۲ درصد بیان کننده آن است که به طور کلی، تکنیک، نقایص با حداقل اندازه ۲ درصد ضخامت ماده مورد بررسی را نشان می‌دهد.
- مقدار واقعی حساسیت با استفاده از یک نفوذسنج که همچنین شاخص کیفیت تصویر هم نامیده می‌شود (IQI)، تعیین می‌گردد. اصول کلی آن است که هر یک از سیم های IQI درصدی مشخص از ضخامت مواد مورد بررسی می‌باشد. اگر این سیم مورد نظر مرئی باشد، نشان می‌دهد که تکنیک RT به درستی در حال انجام است. انواع مورد استفاده مختلف و رایجی وجود دارند که توسط استانداردهای BS EN 462-1 و ASME/ASTM E142 توضیح و تشریح می‌شوند. شکل ۵ ـ۲۴ و ۵ ـ ۲۵ دو نوع آنها را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که شما نمی‌توانید مقایسه دقیقی بین انواع مختلف به عمل آورید. بنابراین ذکر مقدار حساسیت در مقابل یک نوع IQI خاص جهت بررسی و تطبیق دقیق، لازم و ضروری است. اگر حساسیت بدتر از مقدار معین شده باشد، پس تکنیک غیر قابل قبول بوده و توانایی یافتن نقایص مربوطه را ندارد. در این مرحله، یک گزارش عدم انطباق مطرح کنید. تلاشی در جهت استنتاج اینکه چرا حساسیت ناچیز است نکنید؛ این یک موضوع پیچیده است که شامل تمامی پارامترهای تکنیک می‌شود. توصیه آن است که این مسأله را برای متخصصین باقی گذاشته و رها کنید.
- عدم وضوح *را بازرسی کنید.* به طور صحیح «عدم وضوح هندسی» نامیده می‌شود. این مرحله در حقیقت اندازه‌گیری کنتراست تصویر یا به عبارت دیگر تفاوت و اختلاف بین مناطق روشن و تاریک آن می باشد. روش‌هایی که جهت اندازه‌گیری درجه کنتراست اختراع شده‌اند هنوز عینی نیستند بررسی کنید که تصویر حاصله، واضح، شفاف و بدون هر گونه لکه و محوی معلومی باشد شما






**تخصیص کیفیت تصویر به این صورت بیان می‌شود:**

(X) – (Y)t :

(X) ضخامت IQI است (t) بصورت درصد ضخامت اتصال (Y)(t) بیان می‌شود حفره‌ای است که بایستی قابل رؤیت باشد.

| علامت IQI | (حساسیت) | ● (حفره قابل رؤیت) |
|---|---|---|
| 1–2t | 1 | 2t |
| 2–1t | 1.4 | 1t |
| 2–2t | 2.0 | 2t |
| 2–4t | 2.8 | 4t |
| 4–2t | 4.0 | 2t |

● حفره‌ای که بایستی جهت اطمینان یافتن از سطح حساسیت نشان داده شده قابل رؤیت باشد.

**شکل ۵ـ۲۵** چگونگی خواندن نفوذ سنج ASTM (IQI)

می‌توانید با نگاه کردن به IQI برداشتی منطقی در این زمینه داشته باشید. اگر مشکلاتی مربوط با عدم وضوح پیدا کردید، برگه توضیح دهنده دستورالعمل را به منظور بررسی جزییات فواصل منبع-به-فیلم و شیء-به-فیلم کنترل کنید. به کار بردن فواصل نادرست یکی از رایج ترین عوامل ایجاد عدم وضوح به شمار می آیند. استانداردهای رادیو گرافی مثل BS 2910 حداقل فواصل مورد نیاز را در اختیار قرار می دهند.

- *تراکم (چگالی) فیلم را بازرسی کنید.* می توان تصور نمود که تراکم همان «درجه تیرگی» تصویر می‌باشد که توسط وسیله‌ای معروف به تراکم سنج تعیین می‌گردد. مقادیر نوعی بدست آمده برای آن بایستی بین 3.5 و 4.5 باشند. در صورت نیاز به جزییات اضافی در این زمینه، استاندارد جداگانه‌ای (BS 1384) نیز وجود دارد.
- *حالا هر فیلم را به منظور یافتن علائم بازدید کنید.* اصول و قواعد آن است که ابتدا علائم (که به

طور نادرست و بی ربط، نقایص نامیده می‌شوند) تشخیص داده شده و سپس مطابق با اندازه و نوع، رده بندی می‌شوند. خوشبختانه، رده بندی‌های نقایص به خوبی پذیرفته و تعریف شده‌اند. شکل ۵- ۶ شامل ارجاع به استانداردهایی که شامل فیلم رادیوگرافی مرجع هستند، می‌باشد. اینها برای هر دو تکنیک X-Ray و اشعه گاما، نشان می‌دهند که علائم مختلف به چه شبیه هستند. لازم به ذکر است که در موقعیت‌های عملی بازرسی، چنین فیلم هایی مرجعی اغلب کمتر از آنچه که شما انتظار دارید استفاده می‌شوند. معمولاً لیستی ساده‌تر از انواع کلی نقایص استفاده می‌گردد. شما می‌توانید انتظار لیستی مشابه با آنچه که در شکل ۵ - ۲۶ نشان داده شده را بر روی ورقه نتایج آزمایش رادیوگرافی داشته باشید. در حالت بسیار کلی، نقایص به صورت اصلی یا فرعی رده بندی می‌شوند. نقایص اصلی آنهایی هستند که به صورت مستقیم بر یکپارچگی جوش اثر می‌گذارند– از این نقایص انتظار داشته باشید که مضمون مرکزی و اصلی حدود پذیرش را شکل دهند. همچنین توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که نقایص اصلی اغلب نیاز به تعمیر دارند. نقایص فرعی اساساً بر روی سطح جوش ظاهر شده و معمولاً اثر کمتری بر روی یکپارچگی جوش می‌گذارند. این دسته از نقایص به صورت چشمی قابل رویت هستند. به اختصاراتی که برای نقایص مختلف در شکل ۵- ۲۶ استفاده می‌شود، توجه کنید. لیست پذیرفته شده اختصارات به صورت عمومی وجود ندارد، اما برخی موارد رایج آن در شکل نشان داده شده است. بررسی کنید که صفحه گزارش آزمایش رادیوگرافی شامل یک راهنما برای اختصارات مورد استفاده، باشد. تمامی گزارشات آزمایش تمایل به استفاده از اختصارات و بیان نتایج به صورت جدولی دارند.

- *علامت گذاری فیلم* این نقشی کلیدی برای بازرس است. با استفاده از برگه گزارش آزمایش، کار کنید. فیلم های رادیوگرافی را به نوبت مشاهده کرده و علائم گزارش شده را در مقابل آنچه که روی فیلم می‌بینید به دقت بازرسی کنید. علائم مهم را روی فیلم با مداد مخصوص chinagraph علامت‌گذاری کنید و از اختصارات صحیح استفاده کنید. اگر تعمیری مورد نیاز است، فیلم را با یک علامت "R" در گوشه سمت راست و بالا علامت گذاری و متناظراً بر روی صفحه گزارش نیز حاشیه نویسی کنید. هر بسته فیلم و صفحه گزارش آن را همراه هم نگه دارید. بررسی کنید که آنها در حالی که از هم جدا باشند نیز به طور صحیح ارجاع متقابل شده باشند.
- این مراحل شش گانه برای امور بازبینی تمامی رادیوگرافها رایج هستند. با این حال، روال بازبینی رادیوگرافها یک جنبه کلیدی بازرسی برای FFP می‌باشد. در این میان راهنمایی‌هایی وجود دارند که ممکن است مفید واقع شوند:

۱. قبل از شروع بازرسی فیلم‌ها، از سازنده بخواهید که نتایج را به صورت خلاصه بیان کند. سؤال کنید که آیا کلیه آنها قابل قبول هستند و کدام حدود پذیرش به کار برده شده است. قبل از برداشتن اولین فیلم منتظر جواب بمانید.

۲. *در ابتدا فیلم‌های دارای علائم را بازرسی کنید.* با موارد بدتر شروع کنید، آنهایی که علائم اصلی را که در شکل ۵- ۲۶ آورده شده‌اند، نشان می‌دهند. وقت را برای بحث در مورد علائم فرعی یا علائم سطحی تلف نکنید.

۳. در مورد حدود پذیرش تعیین شده در استانداردهای مخازن تحت فشار رایج، هوشیار باشید (در فصل ۶ خلاصه شده‌اند). مقادیر حیرت‌آوری از نقایص نظیر تخلخل مجاز می باشند.



**نقایص اصلی**

| نقص | شکل ظاهری نقص | نمسه(DIN 8524) |
|---|---|---|
| ترک (طولی) | خط موجی تیره و نازک در امتداد محور جوش | Ea |
| ترک (عرضی) | خط نازک در عرض سر تا سر محور جوش | Eb |
| خلل و فرج منفرد | علائم گرد تیره تر از تصاویر پیرامون | Aa |
| تخلخل خطی | خطوط خلل و فرج به هم پیوسته | Ab |
| سوراخ های کرمی (لوله‌ای) | علائم کشیده شده و تیز | Ab |
| ناخالصی های سربارهای | سایه‌های تیره با لبه‌های واضح و شکل نامنظم | Ba |
| نفوذ ریشه ضعیف | نوار تیره متناوب یا پیوسته در امتداد مرکز جوش | D |
| ذوب ریشه، جانبی یا بین پاسی ضعیف | خطوط یا نوارهای باریک در امتداد جوش | C |

**نقایص فرعی**

| نقص | شکل ظاهری نقص | اختصار (DIN 8524) |
|---|---|---|
| جای سنگ زنی | علامت خمیده روشن بر سطح جوش | - |
| جای چکش | علامت گرد و روشن بر سطح جوش | - |
| پاشش | به راحتی بر سطح جوش قابل رویت می‌باشد | - |
| بریدگی کناره جوش | سایه‌هایی در لبه کرده جوش | F |
| تقعر ریشه | شیار کم عمق در ریشه یک جوش سر به سر | - |
| سرباره سطحی | در سطح به صورت یک خط تیره قابل رویت است | - |

**شکل ۵-۲۶** علائم نقص در فیلم های رادیوگرافی جوش.

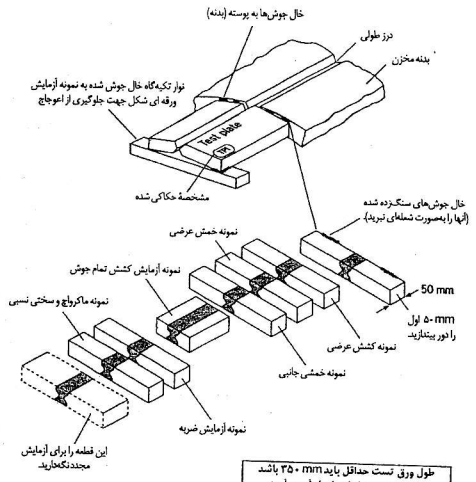
این مقدار بستگی به ضوابط خاصی که به کار برده می‌شود دارد. شما بایستی این ضوابط را به حساب آورید. لازم به ذکر است که شما معمولاً نمی‌توانید رادیوگراف‌هایی کاملاً بدون نقص را انتظار داشته باشید.

۴. بهترین حالت آن است که در مورد هر نقص ترمیم شده‌ای، به رادیوگراف‌های قبل و بعد نگاه کنید تا دریابید که چه اتفاقاتی افتاده است..

۵. اصول و قواعد را به یاد بیاورید (فصل ۲) و آنکه هدایت کردن افکار به سمت اجماع وظیفه اصلی شماست. این یک نکته مهم در جایی که تفسیر و قضاوت همیشه قسمتی از معادلات کاری هستند، می باشد. تجربه بازرس مستقل را نادیده نگیرید، به خصوص اگر شما در حال بازبینی رادیو گراف‌های جوش مربوط به یک واحد تجهیزات تحت پوشش الزامات قانونی باشید.

## آزمایش مخرب جوش‌ها

در مقابل روش‌های NDT، که در اصل تکنیک‌هایی پیشگویانه هستند، تنها راه تشخیص مستقیم یکپارچگی مکانیکی یک جوش، آزمایش یک تکه از آن است. در دو مورد امکان دارد شما را جهت شاهد




**شکل ۵ـ۲۷** ترتیب و نحوهٔ قرارگیری نمونه آزمایش ورقه‌ای شکل – درز طولی مخزن

بودن یک آزمایش مخرب جوش به کار گیرند؛ برای PQR جوشکاری (در همین فصل توضیح داده شد)، یا برای جوشکاری ورق آزمایش در حین ساخت (Production Test). نمونه آزمایش تولید نماینده یک درز جوش طولی مخزن تحت فشار می‌باشد که در حین تولید با خال جوش زدنتر ادامه درز طولی در شرایط تولیدی واقعی ایجاد می‌شود و شکل ۵ - ۲۷ ترتیب کلی قرار گیری و برخی نکات کنترلی را نشان می‌دهد.

## چه هنگامی نمونه آزمایش تولید مورد نیاز است؟

جواب دادن به این سؤال ساده نیست. استانداردهای اصلی مخازن تحت فشار، تمایل به دور شدن از تعیین آزمایش اجباری نمونه های تولید برای مخازن فولادی دارند. این مسأله بر موسسات رده بندی و سازمان‌های مستقل اثر گذاشته است و آنها هم همین رویکرد را اتخاذ نموده‌اند.

این به آن معنا است که شما بایستی مفاد قرارداد را بررسی کنید. در غیاب یک شرط ویژه مربوط به آزمایش تولید برای مخازن تحت فشار فولادی، می‌توانید به صورت منطقی در مورد این فرض که آنها مورد



نیاز نبوده‌اند، مطمئن باشید.

برای مخازن یا سازه‌های ساخته شده از مواد با مقاطع بسیار ضخیم، آلیاژهای پیچیده یا پروسه‌های جوشکاری غیر معمول (و اساساً تجربه نشده)، یا در جایی که به ویژه کنترل متغیرهای اصلی مشکل می‌باشد، آزمایش تولید تعیین شده‌است. در اینجا چند مثال آورده شده است:

- جوش‌های گوشه‌ای chest-to-casing شیر توربین بخار
- سر شاخه‌های اصلی درز دار بویلرها
- جوش‌های سازه‌ای بر روی پل‌های جرثقیلی
- جوش‌های طولی بر روی مخزن‌های بویلر (boiler drums) (با استفاده از مواد با ضخامت بیش از 25mm)
- جوش‌های بین مواد غیر همجنس

## محدوده پذیرش آزمایش

یک بار دیگر بایستی گفت که جواب دادن به این سؤال کار ساده‌ای نیست. یافتن راهنمایی خوب و مناسب بسیار مشکل است. استاندارد اصلی که شما در این زمینه خواهید دید، BS 709 «آزمایش مخرب اتصالات جوش داده شده ذوبی و فلز جوش در فولاد» می‌باشد. این استاندارد روش بررسی آزمایش‌ها را شرح می‌دهد ولی صحبتی در مورد محدوده پذیرش به میان نمی آورد.

یک سند که به محدوده پذیرش ارجاع می‌دهد، PD 6493 است که یک استاندارد نیست بلکه مدارک منتشر شده راهنما است. بنابراین حالت آن بیشتر مشورتی (پیشنهادی) است تا صریح و قطعی. اینجا نیز عرصه‌ای دیگر است که شما بایستی قضاوت خود را به کار گیرید. جهت کمک به شما در انجام این کار، در مسیر هر آزمایش، یک طرح کلی از طرز کار برای ارزیابی نتایج آزمایش‌ها، تهیه شده است. توجه کنید که تنها با استفاده از این راهنمایی‌ها عمل نمایید – در طی نظارت چنین آزمایش‌هایی، شما بایستی بر اساس توجه به مواد، نوع جوشکاری و کاربرد قطعه، تصمیم بگیرید.

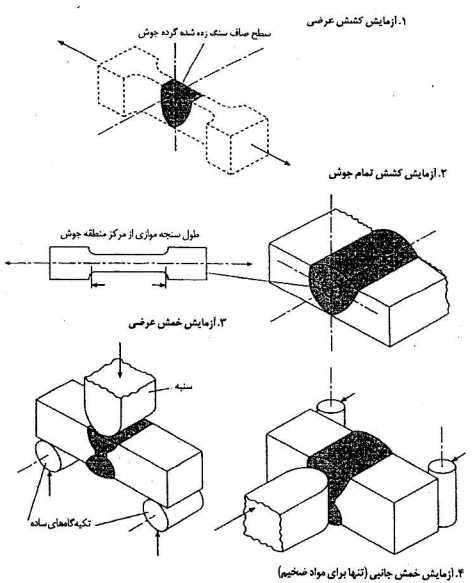
## آزمایشات

خود آزمایشات بر پایه آزمایش‌های مکانیکی که در فصل ۴ مورد بحث قرار گرفته‌اند می‌باشند، ولی همراه با اضافه شدن آزمایش‌های خمش ویژه، آزمایشات کشش، فشار، و سختی البته با انعطاف پذیری بیشتر در ارتباط با الزامات شکل و اندازه نمونه، دنبال می شود.

مشکلات فیزیکی در بدست آوردن نمونه‌های آزمایش با اندازه استاندارد از یک اتصال جوش خورده نیز، به ویژه در ورقه‌های فولادی نازک بایستی در نظر گرفته شوند. اگر به جزئیات بیشتری نیاز دارید به BS 709 مراجعه کنید. ۵ آزمایش در شکل ۵- ۲۸ نشان داده شده است.

### آزمایش کشش عرضی

این یک آزمایش کشش ساده از عرض جوش است. تکه‌های آزمایشی ویژه با مقطع کاهش یافته مورد قبول هستند و طول سنجه‌ها نیز امکان دارد متفاوت باشند؛ وگر نه آزمایش اصول کلی توضیح داده شده در فصل ۴ را دنبال می‌کند. در همین راستا موارد زیر را در مورد حدود پذیرش به خاطر بسپارید:




**شکل ۵ـ۲۸ آزمایش های خمش و کشش**

- *محل شکست بسیار مهم است.* یک جوش خوب بایستی دارای ساختار و خواص فیزیکی مشابه در سر تا سر جوش، HAZ و فلز پایه باشد؛ بنابراین در تئوری نقطه شکست می‌تواند در هر جایی از طول سنجه نمونه واقع گردد. مراقب باشید که آیا شکست در امتداد لبه فصل مشترک قطعه جوش/HAZ اتفاق می افتد یا خیر. این موضوع می‌تواند بر مشکلات ذوب ناقص، یا عملیات حرارتی غیر صحیح اشاره داشته باشد.
- *استحکام کششی* دلیلی وجود ندارد که مقادیر تسلیم/UTS تفاوتی با فلز پایه داشته باشد. این بدان معنا است که شما می‌توانید از مشخصات مواد پایه به مانند حد پذیرش خودتان استفاده کنید. امکان



دارد شما علاقه داشته باشید یک تلورانسی اضافی در حد ۱۰ درصد در مقادیر خود بدهید (شاید برای عدم اطمینان‌های ذاتی در فرآیند جوشکاری)، اما هیچ دلیل تصریح شده‌ای برای لزوم انجام آن وجود ندارد.

- *سطح شکست* سطح شکست قاعدتاً باید مانند یک تست کشش معمولی باشد. بررسی کنید و به دنبال گواهی بر نشانه‌ها روی سطح شکست که نشان دهنده ناخالصی‌های غیر فلزی یا فلزی هستند، باشید.

## آزمایش کشش تمام جوش

آزمایش‌های ناحیه جوش خیلی رایج نیستند. یک آزمایش کشش بر روی نمونه‌ای که به صورت طولی از جوش ماشینکاری شده است انجام می‌شود (شکل ۵ - ۲۸) و نمونه فقط شامل فلز جوش باشد. کاربرد اصلی این آزمایش، برای جوش‌های ضخیم که از یک طرف جوشکاری شده اند یا استفاده یک تکنیک جوشکاری که کنترل آن مشکل می‌باشد، است. راهنمایی‌های حدود پذیرش مشابه آنچه است که برای آزمایش کشش عرضی ذکر گردید.

## آزمایش خمش عرضی

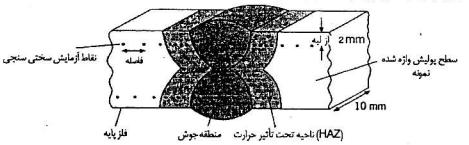
آزمایش‌های خمش که نمونه جوش خورده اطراف یک غلتک یا سنبه خمیده می‌شود، جهت بررسی سالم بودن قطعه جوش و HAZ و بازرسی اینکه HAZ به اندازه کافی نرم باشد، استفاده می‌شوند. آزمایش عرضی برای جوش‌های دو طرفه و یک طرفه استفاده می‌شود. حدود پذیرش کلی عبارتند از:

- بایستی هیچ گونه گسیختگی قابل مشاهده‌ای در HAZ یا نقطه اتصال آن با جوش، وجود نداشته باشد.
- ترک خوردن یا شکاف دار شدن مواد که در سطح ماکرو دیده شود، غیر قابل قبول هستند (بزرگنمای 200 X). این مطلب بر ضعفها و نقص‌های ساختار متالورژیکی ایجاد شده به سبب جوشکاری اشاره دارد.
- شعاع داخلی خمش را بازرسی کنید. این منطقه‌ای است که تحت تنش فشاری می‌باشد. این مسأله ممکن است در اطراف مناطق خمیده حالت موجی یا پیچ خوردگی را نشان دهد؛ اما به دنبال هر گونه ترک شعاعی باشید (عمودی، یا در یک زاویه حاد نسبت به لبه نمونه). این ترک ها بر روی صفحات لغزش در ساختار فلز شروع می‌شوند و نماینده نقص میکرو ساختاری هستند.

## آزمایش خمش جانبی

این آزمایش، سالم بودن نمونه از پهلوی جوش را با استفاده از یک جفت غلتک و سنبه مشابه آزمایش خمش عرضی بررسی می‌کند. همچنین لازم به ذکر است که این آزمایش به طور کلی تنها بر روی مواد ضخیم (بیش از 10 mm) انجام می‌شود. اگرچه معمولاً به صورت صریح مشخص نشده است، ولی استفاده از چند نمونه آزمایش خمش جانبی، حداقل یکی از هر انتهای نمونه ورق آزمایش و سپس مقایسه نتایج مفید واقع می‌گردد. این مطلب نشانه یکنواختی تکنیک جوشکاری می‌باشد.

این مسئله به خصوص برای جوش‌های دستی که احتمال تغییر در امتداد مسیر جوش برای آنها بیشتر است، مفید می‌باشد. راهنمایی‌های کلی در مورد حدود پذیرش شبیه مواردی می‌باشد که برای آزمایش خمش عرضی بود. توجه ویژه به لبه‌های منطقه جوش، بسیار با ارزش است. گاهی اوقات در این مرحله مشکلاتی در رابطه با جوش‌های چند پاسه در مورد مواد ضخیم‌تر، ایجاد می‌گردد.




**شکل ۵-۲۹** بررسی های ماکرو اچ و سختی سنجی در عرض یک جوش

## ماکرو اچ و سختی سنجی

این آزمایش بسیار رایج بوده (شکل ۵-۲۹) و شامل اچ نمودن و پولیش کردن یک برش عرضی ماشین کاری شده از میان جوش و سپس بررسی چشمی دقیق و بررسی سختی می‌باشد. نمونه‌ها با استفاده از کاغذ کاربید سیلیکون (تا P400 یا P500) بر روی یک صفحه چرخنده پولیش می شوند. سپس سطح فلز با استفاده از ترکیبی از الکل و اسید نیتریک (برای فولادهای فریتی) یا اسید هیدروکلریک، اسید نیتریک و آب (برای فولادهای آستنیتی) اچ می‌گردد. لذا در این زمینه بایستی بررسی کنید که ترکیب درستی انتخاب و استفاده شود.

اندازه نمونه آزمایش نیز مهم است. از اینکه نمونه حداقل ۱۰ میلیمتر ضخامت داشته باشد اطمینان حاصل کنید (شکل ۵- ۲۹). همچنین از اینکه مواد کافی در هر یک از دو طرف جوش جهت مشاهده HAZ و مواد پایه وجود داشته باشد (در یک جهت عرضی)، اطمینان حاصل نمایید. لازم به ذکر است که وجود فاصله در حدود10 mm فلز پایه در هر طرف HAZ ایده‌آل است. بررسی کنید که گرده جوش هم در نمونه دیده شود.

هنگامی که پولیش و اچ انجام شد، آزمایش شیب سختی که شامل آزمایش و ثبت مقادیر سختی در فواصل دقیق سر تا سر جوش، HAZ و فلز پایه می باشد، انجام می‌شود (هر یک از روش‌هایی که در فصل ۴ بحث شد می‌تواند استفاده شود). هدف جستجوی مناطقی است که بسیار سخت باشند یا مناطقی که در آنها شیب سختی تند است (به عبارت دیگر، در جایی که سختی به مقدار زیادی در یک منطقه کوچک تغییر می‌کند). هر یک از این موارد ضعف‌های بالقوه‌ای هستند که می‌توانند سبب شروع شکست شوند. هنگامی این آزمایش را مشاهده و نظارت می‌کنید، به نکات زیر دقت نمایید.

- در ابتدا توسط چشم یا با استفاده از یک ذره بین دستی سطح مقطع اچ شده را بازرسی کنید. به دنبال نقص‌های داخلی معلوم و مشهود، ذوب ناقص یا ناخالصی باشید. هر نقصی را که می‌یابید شناسایی کرده و رده بندی نمایید. در همین راستا یک تصویر نیز تهیه کنید.
- با استفاده از میکروسکوپ، مقطع را بررسی کنید. ریزساختار مناطق جوش، HAZ و فلز پایه را مشاهده و مقایسه کنید. توجه دقیقی به فصل مشترک این مناطق داشته باشید. اینها مناطقی هستند که احتمال یافتن مشکلات در آنها زیاد است. مراقب این موارد نیز باشید:



۱. ریز ترک‌ها یا حفرات
۲. دگرگونی‌های چشمگیر در سیمای ریزساختار در سر تا سر جوش
۳. ناخالصی‌های میکروسکوپی
۴. ساختار سوزنی شکل نامطلوب در ریزساختار

اگر هر یک از این موارد را مشاهده نمودید، یک گزارش عدم انطباق مطرح نمایید. شکل ریزساختار به صورت قابل توجهی بین فولادها متفاوت است؛ اما به عنوان یک راهنمایی کلی، برای مخازن تحت فشار از جنس فولاد کم کربن، بایستی ساختاری کاملاً یکنواخت با دانه‌های متوسط تنها با تغییرات تدریجی در عرض مناطق جوش خورده، HAZ و فلز پایه مشاهده گردد.

- بر روی آزمایش سختی متمرکز شوید. بررسی کنید که خط نقاط آزمایش به دقت 2mm از سطح نمونه قرار گیرد (شکل ۵ - ۲۹). این مطلب برای از بین بردن اندازه‌گیری های ناهمگون است. منطقه بحرانی برای سختی، HAZ می باشد. BS 709 فاصله گذاری 0.7-1 mm را بین نقاط آزمایش در این منطقه تعیین می‌کند که به اندازه کافی جهت تخمین منصفانه برای شیب سختی، دقیق است. فاصله گذاری در فلز جوش و ناحیه فلز پایه می‌تواند بزرگتر باشد (شاید 2-3 mm)، چون انتظار می رود شیب سختی در این مناطق کمتر باشد. توجه کنید که در شکل ۵- ۲۹ چگونه نقاط آزمایش اضافی در امتداد مرز جوش/ HAZ نشان داده شده است- این طریق می تواند یک رویه کلی و مناسب جهت پیروی باشد. این مسأله باعث ایجاد اطمینان مضاعفی می‌شود که هیچ منطقه با سختی بیش از حدی در این ناحیه بحرانی وجود ندارد. حدود پذیرش برای سطوح سختی نیاز به قضاوت دارد به عنوان یک راهنمایی کلی حداکثر سختی منطقه مجاور جوش باید رابطه‌ای با حداکثر سختی فلز پایه داشته باشد. افزودن ۱۰٪+ (ولی نه بیشتر) به عنوان یک تلورانس اضافی، غیر قابل قبول نخواهد بود. برای حداکثر تغییرات سختی قابل قبول در عرض ۳ ناحیه، گاهی اوقات رقمی در حدود ۱۰٪ استفاده می‌شود. البته ممکن است بعضی مواقع این حد ۱۰٪ بیش از حد محدود کننده باشد. شاید ۲۰٪-۱۵ بهتر باشد. اینها تنها راهنمایی‌های کلی هستند. شما بایستی از قضاوت مهندسی را استفاده کنید.

آزمایش‌های مخرب دیگری که گاهی اوقات استفاده می‌شوند عبارتند از: ضربه، آزمایش خوردگی بین کریستالی (برای فولاد زنگ نزن آستنیتی و جوش‌های لوله)، آزمایش شکست جوش گوشه‌ای و آزمایش چقرمگی شکست (KIc/COD). لازم به ذکر است که این آزمایشات کمتر رایج هستند. اگر به جزییات هر یک از این آزمایشات نیاز دارید، به BS 709 مراجعه نمایید.

## گزارش آزمایش

توجه لازم را به چگونگی گزارش نتایج آزمایش‌های مخرب جوش داشته باشید. به خاطر اینکه حدود پذیرش به خوبی تعریف نشده است، شما بایستی توضیحات مهندسی کاملی را به عنوان پایه تصمیمات ارائه نمایید – به خصوص اگر شما مشکلی را بخواهید گزارش نمایید. هدف ارائهٔ یک گزارش مختصر و مفید است.

نتایج آزمایش‌های مخرب جوش را با جزییات بیشتر از چیزی که شما برای آزمایش‌های مکانیکی استاندارد که حدود پذیرش تعریف شده بهتری دارند، توضیح دهید. در این جا یک چک لیست کوچک از نکاتی که بایستی رعایت شوند موجود می باشد:

- نمونه تحت آزمایش را توصیف کنید، اندازه‌اش (یا طول سنجه) و محل آن را در ورق آزمایش به طور صریح اشاره کنید که کاملاً با BS 709 مطابقت دارد یا خیر.
- برای آزمایش‌های کشش و فشار، توضیح دهید که کجا شکست اتفاق می‌افتد و همچنین شکل ظاهر سطح شکست را نیز توصیف نمایید. نقص‌ها را با استفاده از اصطلاحات فنی صحیح و مناسب رده‌بندی کنید (تنها به گفتن عیب بسنده نکنید).
- برای آزمایش های خمش، زاویه خمش، مساحت سطح مقطع عرضی نمونه و شعاع نهایی وجه داخلی را ثبت نمایید (طرفی که هنگام خمش نمونه، تحت فشار است).
- برای نتایج بررسی ماکرو، از اصطلاحات متالورژیکی دقیق و صحیح جهت توضیح ریزساختار استفاده نمایید. سعی کنید از به کاربردن جملاتی چون "ریزساختار خوب بود" که هیچ معنا و مفهوم خاصی ندارد، پرهیز کنید. بهتر آن است که بگوئیم " HAZ مدرکی دال بر وجود مارتنزیت نامطلوب نشان نداد". جهت توضیح اصطلاحات به یک کتاب مرجع ارجاع دهید. اما فقط به توضیحات اصلی بپردازید و شاخ و برگ ندهید.



## خلاصه نکات کلیدی: جوشکاری و NDT

۱. جوشکاری و NDT نظم و ترتیب جداگانه ای دارند، ولی برای اهداف بازرسی، می توانید آنها را بسیار مرتبط و نزدیک به هم به حساب آورید.
۲. ملاک کلیدی FFP، یکپارچگی جوش و ماده است. نقش یک بازرس، تحقیق و بررسی این یکپارچگی می‌باشد، نه دخالت کردن و وارد شدن در بحث های جزء به جزء در مورد تکنیک‌ها.
۳. آماده استفاده از قضاوت خود هنگام پرداختن به حدود پذیرش باشید. موقعیت همیشه کاملاً واضح و روشن نخواهد بود.
۴. عیوب جوش علت ها و ادرات قابل پیش‌بینی دارد.
۵. جوش های با نفوذ کامل به دقیق ترین NDT نیاز دارند. این به دلیل احتمال زیاد بروز نقص در ریشه جوش های یکطرفه است که نمی توان با سنگ زدن، ریشه جوش را عاری از عیب نمود.
۶. مستندسازی (WPSs ،PQRs) و تاییدیه‌های جوشکار) مهم هستند، اما این پایان کار نیست. اما بیش از حد روی مستندسازی تکیه نکنید که کم توجهی به خود جوش شود
۷. ردیابی ترک های سطحی: تکنیک‌های رنگ نافذ (PT) و بازرسی با ذرات مغناطیسی (MT) در حقیقت تنها شرایط یک ارزیابی چشمی پیشرفته را فراهم می آورند.
۸. NDT حجمی: برخی استانداردهای تجهیزات یا تکنیک های رادیوگرافی را قبول می کنند یا فراصوتی
۹. ترجیح یکی از این روش ها توسط آنها ساده نیست.
۹. در زمینه یادگیری اندکی در مورد تکنیک های فراصوتی مختلف تلاش کنید (به خصوص بررسی جوش‌ها)؛ چون لازم است بفهمید که هنگام نظارت حضوری یک آزمایش، چه اتفاقی می افتد.
۱۰. معمولاً یک بازرسی نمی‌تواند انتظار رادیوگراف‌هایی که هیچ نقصی را در ماده نشان ندهند، داشته باشد- شما بایستی از حدود نقایص پذیرش توافق شده تبعیت کنید.
۱۱. آزمایش های مخرب شامل تست های خمش، کشش و بازرسی ماکرو/ سختی سنجی در عرض مقطع جوش می باشد. توضیح دقیق نتایج این آزمایشات را فرا گیرید.

## فهرست مراجع


1. BS 709: 1983. Methods of destructive testing fusion welded joints and weld metal in steel.
2. BS 2633: 1987. Specification for class I arc welding of ferritic steel pipework for carrying fluids.
3. BS 2971: 1991. Specification for class II arc welding of carbon steel pipework for carrying fluids.
4. BS 4570: 1985. Specification for fUTion welding of steel coatings.
5. BS EN 288 Parts 1 to 8: 1992. Specification and approval of welding procedures for metallic materials.
6. BS EN 287-1: 1992. Approval testing of welders for fUTion welding.
7. BS EN 26520: 1992. Classification of imperfections in metallic fusion welds, with explanations. This is an identical standard to ISO 6520.
8. BS EN 25817: 1992. Arc Welded joints in steel-guidance on quality levels for imperfections.
9. BS 5289: 1983. Code of practice. Visual inspection of fusion welded joints.
10. BS 4124: 1991. Methods for ultrasonic detection of imperfections in steel foRTings.
11. BS 1384 Parts 1 (1985) and 2 (1993). Photographic density measurements.
12. PD 6493: 1991. Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fUTion welded structures.


فصل ۶

# بویلرها و مخازن تحت فشار

## مقدمه

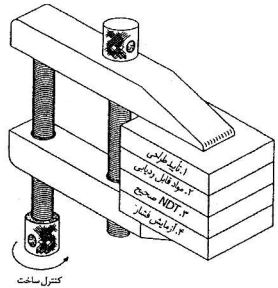
بازرسی بویلرها و مخازن تحت فشار، اصلی‌ترین نقش یک بازرس به شمار می‌رود. هر نیروگاه یا تاسیسات فراوری، تعداد زیادی مخزن تحت فشار با کاربردهای گوناگون دارد. بعضی از این مخازن تحت فشار مانند قسمت‌های تشکیل‌دهنده واحد تولید بخار یا تقطیرکننده‌های بزرگ پیچیده و بعضی دیگر مانند مخازن تحت فشار اتمسفری یا فشار پایین و دریافت کننده‌های هوا از مراحل طراحی و ساخت ساده‌تری برخوردارند. هر چند محدوده این فعالیت‌ها گسترده است؛ اما وظیفه بازرس در تمام این موارد مشابه می‌باشد.

در این فصل، اصول کلی و جنبه‌های فنی بازرسی بویلرها و مخازن تحت فشار با تکیه بر مطالب فصول گذشته در خصوص استانداردها، مواد مورد استفاده در تجهیزات، و بازرسی غیر مخرب بررسی خواهد شد. در بازرسی مخازن تحت فشار، به خوبی می‌توان دید که چگونه می‌توان جنبه‌های مختلف بازرسی را در کنار هم در یک بازرسی عملی تلفیق نمود. در ادامه به بررسی این موضوع که بسیاری از مخازن تحت فشار، موضوع الزامات اجباری هستند پرداخته می شود و همچنین موضوع " گواهی اجباری " مخازن تحت فشار بررسی خواهد شد. همچنین این فصل حاوی تصاویری است که " خلاصه‌های فنی" موارد رایج بازرسی مخازن تحت فشار و استانداردهای مربوطه را توضیح می‌دهد. در این زمینه بیشتر انواع مخازن تحت فشار بررسی می‌شود. هر خلاصه شامل اطلاعات فنی لازم است که در حین کار و همچنین هنگام آماده کردن گزارشات بازرسی به کار می‌رود؛ گام نخست و کانون توجه در بازرسی، درک معیارهای"مناسب بودن برای منظور" (FFP) است که در ابتدا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور(FFP)

مخازن تحت فشار می‌توانند خطرناک باشند. در هنگام استفاده، آنها مقادیر زیادی انرژی ذخیره را در خود جای می‌دهند. به این دلیل مهم‌ترین معیار مناسب بودن برای منظور(FFP)، حفظ یکپارچگی می‌باشد. در بازرسی مخازن بایستی مطمئن شد که مخزن تحت فشار ایمنی دارد و دچار تخریب نمی‌شود. واضح است که جنبه‌های مختلف مهندسی می‌تواند این ایمنی را تحت تاثیر قرار دهد؛ طراحی، خزش، خستگی، مقاومت به خوردگی و مهارت در ساخت، همگی دارای اثراتی می‌باشند. پدیده‌های فوق در ایمنی یک مخزن تحت فشار نقش دارند، اما یکپارچگی عبارتی کلی‌تر از ایمنی می‌باشد.

خوشبختانه، به منظور تایید یکپارچگی این مخازن تحت فشار در ۱۰۰ سال گذشته، صنعت مجموعه‌ای از معیارها را گسترش داده است؛ که هدف آنها تضمین یکپارچگی مخازن تحت فشار ساخته




- یکپارچگی و سلامت مخزن تحت فشار به طرق زیر حاصل می‌شود:
- ارزیابی مستقل طراحی
- استفاده از مواد قابل ردیابی
- استفاده از روش‌های NDT
- انجام یک آزمایش هیدرواستاتیک( فشار)

و سپس

- اعمال کنترل کامل در حین پروسه ساخت

**شکل ۶ـ۱ معیارهای مخزن تحت فشار**

شده می‌باشد. بعضی از این معیارها شامل قوانین سرسختانه و بعضی دیگر شامل راهنمایی‌هایی می‌باشد. هر چند این معیارها کامل نیستند؛ ولی عملاً بهترین مجموعه‌ای هستند که می‌توان یافت. شکل۶-۱ این معیارها را نمایش می‌دهد که شامل (۱) ارزیابی مستقل طراحی (۲) قابلیت ردیابی مواد (۳) ارزیابی غیر مخرب و (۴) آزمایش فشار می‌باشند. در شکل۶-۱، نحوه قرارگیری این عناصر در کنار هم نمایش داده شده است. نقش یک بازرس، نظارت بر قرارگیری این عناصر در محل خود، اجرای کامل آنها و در مجموع درست عمل کردن مکانیزم کنترل مخزن تحت فشار می‌باشد. با این کار، علیرغم مستقل بودن بازرس، خود او نیز بخشی از مکانیزم کنترل خواهد شد.

در یک وضعیت بازرسی واقعی، غالباً طرفهای متعددی درگیر هستند. سازنده، پیمانکار اصلی و بازرس قانونی همه FFP را مدنظر دارند؛ هر چند تفاوتهایی در کانون توجه هر یک وجود دارد. در اینجا بایستی اشاره نمود که بازرسی مخزن تحت فشار رایج‌ترین مکان برای دوباره کاری در امور بازرسی است که قبلاً توضیح داده شد( فصل۲)؛ پس بهتر است طرفهای درگیر انتظار آن را داشته باشند و با آن به صورت منطقی برخورد نمایند. اگر شما در بازرسی مخازن تحت فشار درگیر باشید، به زودی با گواهی اجباری آشنا خواهید شد. در ادامه مطلب، این موضوع که چگونه این گواهی بخشی از مفهوم یکپارچگی و FFP را شامل می‌شود، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



## گواهی اجباری

در مورد گواهی اجباری مخازن تحت فشار، ابهامات رایجی وجود دارد. بنابراین جای تعجب نیست که در این مورد با مطالب گیج کننده‌ای روبرو شوید؛ این سوال حتی در بین شرکتهای باتجربه و کارکنان حرفه‌ای آنها نیز وجود دارد که اساساً این گواهی چیست و چه کاربردی دارد. بنابراین، درکی درست از این مفهوم، می‌تواند به عملکرد موثر بازرسی کمک نماید.

## چرا به گواهی نیاز است؟

به چهار دلیل یک مخزن تحت فشار نیازمند گواهی است. این موارد عبارتند از:

- نیاز به گواهی توسط کشوری که مخزن تحت فشار در آنجا نصب و استفاده خواهد شد، از طریق مجاری قانونی الزام یا ارجاع شده باشد.
- نیاز به گواهی توسط کشوری که مخزن تحت فشار در آنجا تولید می‌شود، از طریق مجاری قانونی الزام یا ارجاع شده باشد.
- نیاز به گواهی توسط شرکتی که خود مخزن تحت فشار را بیمه می‌نماید الزام و یا ارجاع شده باشد و مسئولیت‌های طرف دوم و سوم، هنگامی که کاربرد داشته باشد.
- سازنده، پیمانکار و کاربر نهایی، کسب گواهی را انتخاب می‌کند؛ چون احساس می‌کند که:
  - این گواهی به حفظ یک استاندارد مناسب در زمینه طراحی و ساخت کمک می‌کند.
  - شاهدی است که نشان می‌دهد الزامات اجباری در مورد دقت در ساخت مخزن تحت فشار رعایت شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود سه دلیل از این دلایل، نتیجه الزام قانون و یا حداقل ارجاع توسط مجاری قانونی و سازمان‌های بیرونی است؛ در حالیکه دلیل دیگر، تصمیمی داوطلبانه است که توسط طرفهای درگیر اتخاذ شده است. با کمال تعجب، حدوداً ۳۰ درصد از مخازن تحت فشاری که گواهی را دریافت می‌کنند، در نتیجه اقدام داوطلبانه بوده است؛ در حالیکه بقیه آنها در نتیجه الزاماتی بیرونی است که در برخی موارد می‌تواند بیشتر ذهنی باشد تا واقعی. دلیل اصلی این مطلب آن است که در تعدادی از کشورهای جهان الزامات اجباری مبهم است و در بعضی دیگر اساساً چنین الزاماتی وجود ندارد. سازندگان و پیمانکارانی که کمتر حاضر به ریسک کردن می‌باشند، فرض می‌کنند چنین گواهی الزامی است و برای کسب آن تلاش می‌کنند.

## گواهی‌نمودن چیست؟

گواهی، تلاش به منظور ایجاد اطمینان از یکپارچگی به طریقه‌ای است که به وسیله سازمان‌های بیرونی پذیرفته شود. در اینجا از استانداردها یا کدهای مخزن تحت فشار مورد قبول مانند BS 5500 و TRD به عنوان شاخص و عرف خوب پذیرش استفاده می‌شود. گواهی، جنبه‌های طراحی، تولید و آزمایش مخزن تحت فشار را تا آنجایی که این جنبه‌ها با حداقل‌های ذکر شده در استاندارد انطباق داشته باشند، مورد نظر قرار می‌دهد. به عبارت دیگر، گواهی مدرکی است که نشان‌دهنده انطباق مخزن تحت فشار با معیارهای کد

است. البته بایستی توجه داشت انطباق با کد ASME یک استثنا است- در آمریکا، این انطباق می‌تواند یک الزام قانونی باشد. بنابراین، اگر یک مخزن تحت فشار به طور کامل گواهی شود، مدرک محکمی وجود دارد که آن مخزن تحت فشار با الزامات آن کد یا استاندارد انطباق دارد.

به منظور کسب گواهی کامل، سازمان صادر کننده آن باید فعالیتهای خود را با موارد مندرج در کد هماهنگ سازد. هر چند تفاوت‌هایی بین کدهای مختلف وجود دارد، با اینحال الزامات اساسی موجود در کدها شامل موارد زیر است:

- ارزیابی کامل از مراحل طراحی
- اطمینان از قابلیت ردیابی مواد به کار رفته
- نظارت بر فعالیتهای NDT و مرور نتایج
- نظارت بر آزمایش فشار
- پایش فرایند ساخت
- صدور یک گواهی ( "فرم X" استاندارد BS 5500 و یا معادل آن)

به شباهت‌های بین این فعالیت‌ها و معیارهای موجود در شکل۶-۱توجه نمایید. همچنین به یک تفاوت عمده توجه داشته باشید: بازرس گواهی‌دهنده، یک مشارکت ارزشمند در "مکانیزم کنترل" فرایند ساخت است؛ اما تمام آن نیست و تنها قسمتی از آن است. به منظور ممانعت از ایجاد برداشت نامناسب، بهتر است به محدودیتهای گواهی توجه شود. گواهی مخازن تحت فشار معمولاً:

- تضمینی برای بی‌نقصی و یکپارچگی نیست.
- نشان‌دهنده مناسب بودن برای منظور نیست.
- با جنبه‌های مهندسی خاص مخزن تحت فشار نظیر موقعیت نازل‌ها، دقت ابعادی، ابزار دقیق، مقاومت به خوردگی، رنگ‌آمیزی خارجی و حفاظت داخلی ( که شامل شات‌بلاست و آماده‌سازی نیز هست) ارتباط خاصی وجود ندارد.

گواهی، ابزاری به منظور انتقال مسئولیت‌های قراردادی یا تعهدات در قبال عملکرد محصول به سازمان گواهی‌کننده محصول نیست. البته بایستی توجه داشت در عمل گواهی‌کننده به ندرت نقشه‌ها و مدارک دیگر را تایید می‌نماید – معمولاً این گونه مدارک ممهور به مهر " بررسی شد" می‌شوند. همچنین در فرایند گواهی نمودن، اکثر جزئیات فنی مانند مجوزهای ارفاقی معمولاً با عنوان " مورد توجه قرار گرفت" ثبت می‌گردند؛ نه به عنوان " مورد توافق قرار گرفت".

محدودیت‌های فوق معمولاً در فرایند گواهی نمودن با عدم درک صحیح مواجه می‌شود.

## چه‌کسی می‌تواند مخازن تحت فشار را تایید کند؟

در مورد این سوال، دو جنبه باید در نظر گرفته شود: *استقلال و صلاحیت*.

### استقلال

کدهای مخزن تحت فشار اصلی شامل BS5500 و TRD مخازن تحت فشاری را می‌پذیرند که در صورت انطباق کامل با استاندارد به وسیله یک سازمان مستقل از تولیدکننده نیز تایید شوند. این مطلب به معنی



آن است که نباید ارتباط مستقیمی بین سازمانهای پیگیر بحث تجاری و سازمانهای تایید کننده مخزن تحت فشار وجود داشته باشد.

### صلاحیت

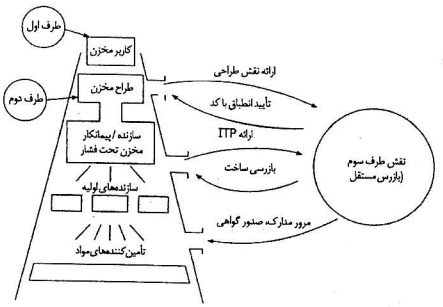
در بسیاری از کشورهای اروپایی، سازمانهایی که صلاحیت لازم برای تایید مخازن تحت فشار را داشته باشند، محدود هستند. بر حسب تعریف، سازمانهای گواهی‌دهنده در هر دو جنبه استقلال و صلاحیت توسط مقامات مجاز دولتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. مخازن تحت فشار ASME در اینجا نیز یک مورد خاص هستند.

در انگلستان، به سادگی می‌توان به این عبارت برخورد نمود که گواهی مخزن تحت فشار باید توسط یک شخص یا سازمان" صلاحیت‌دار" صورت پذیرد. انتظار نداشته باشید معیارهای صلاحیت دقیقاً مشخص شده باشد. صلاحیت تنها هنگامی زیر سوال می‌رود که حادثه‌ای اتفاق افتاده باشد که در این صورت سازمان گواهی‌دهنده بایستی صلاحیت خویش را اثبات نماید؛ با اینحال بایستی اشاره نمود که طرح‌های مختلفی وجود دارد که سازمان‌ها سعی می‌کنند از طریق آن موقعیت خود به عنوان یک سازمان دارای صلاحیت را بالا ببرند. در انگلستان، برای فعالیت‌های عادی(غیر هسته‌ای) هیچ کدام از این سازمان‌ها به طور مستقیم توسط ابزارهای قانونی تحت نظارت قرا نمی‌گیرند و اگر چنین چیزی نیز مشاهده گردد، صرفاً یک امر داوطلبانه خواهد بود. اکثر این طرح‌ها شامل موفقیت سازمان گواهی‌دهنده از ممیزی بر پایه BS EN 9001 می‌باشد که در بعضی مواقع الزامات دیگری نیز به آن اضافه می‌شود. بایستی توجه داشت از بین سازمان‌هایی که گواهی مخازن تحت فشار را بر عهده دارند، تعدادی از آنها از این رویه‌ها پیروی و تعدادی دیگر نیز پیروی نمی‌کنند.

از دید استانداردهای فنی( به غیر از ASME) که بازرسی، بررسی و یا گواهی نمودن توسط سازمان‌های بیرونی را الزام می‌نمایند، تمام سازمانهای مستقل می‌توانند وضعیت مشابهی داشته باشند و لذا هر کدام از سازمانهای زیر می‌توانند این کار را انجام دهند:

- یک موسسه رده‌بندی
- یک شرکت بیمه
- یک شرکت بازرسی مستقل
- یک مجموعه دولتی
- یک تولیدکننده یا پیمانکار مستقل ( البته در تئوری)

**هیچ‌گونه قانون مشخصی موجود نیست که الزام نماید، تمام قسمت‌های فرایند گواهی دادن باید توسط** یک سازمان صورت پذیرد. در عمل مشاهده می‌شود که بخش ارزیابی طراحی، معمولاً بخشی جداگانه است؛ به طوریکه در بعضی صنایع، این بخش توسط یک "موسسه طراحی" یا " موسسه طبقه‌بندی" انجام و بازرسی نیز به یک شرکت بازرسی مجزا واگذار می‌گردد. در شکل۶-۲، شکلی نمایش داده شده است که در آن به خوبی ماهیت مستقل سازمان تاییدکننده نمایش داده شده است. همچنین، مجدداً شکل۳-۳ در فصل" مشخصات، استانداردها و طرحها"( فصل۳) را ملاحظه فرمایید. به منظور درک بهتر گواهی، در نظر گرفتن این شکل‌ها در کنار هم می‌تواند مفید باشد.




**شکل ۶-۲** موقعیت بازرس مستقل

## کار با کدهای مخزن تحت فشار

در واحدهای صنعتی به سختی می‌توان قراردادی یافت که به یکی از مجموعه کدها یا استانداردهای مورد قبول بین‌المللی رجوع نداشته باشد. یکی از وظایف اساسی بازرسی ، فعالیت در چارچوب این کدها است و به بیان دقیق‌تر، آموختن روشهای بازرسی در یک کد خاص، نیاز اصلی یک بازرس می‌باشد.

مشکل اصلی در این رابطه، حجم و پیچیدگی متون کد است. هر کدام از این متون شامل صدها صفحه است که امکان همراه داشتن آنها در حین بازرسی را غیرعملی می‌سازد. حتی در صورت امکان حمل نسخه‌های کامپیوتری، هنوز دشواریهایی در این زمینه وجود دارد. به منظور رفع این مشکل، باید این کدها را به صورت *انتخابی* بررسی نمود. در عمل تنها بخش‌هایی از کد مخزن تحت فشار که مرتبط با فعالیتهای بازرسی مورد نظر است مورد نیاز می‌باشد. برای این کار در ابتدا بایستی بتوان یک دید کلی نسبت به ساختار متون کد به دست آورد. علیرغم وجود تفاوتهایی بین کدهای آمریکایی (ASME) و کدهای اروپایی(BS، TRD و...)، هر دو گروه شامل اصول مشترکی هستند. برای طراحی مخازن تحت فشار، اکثر اطلاعات در متن اصلی کد مربوطه موجود است؛ در حالیکه برای جنبه‌های بازرسی،(و در مرتبه پایین‌تر الزامات آزمایشی)، متن اصلی کد، معمولاً به استانداردهای جانبی رجوع می‌دهد؛ در نتیجه خود متن کدهای مخازن تحت فشار بیشتر تحت تاثیر جنبه‌های طراحی می‌باشند.

با توجه به بحث‌های صورت گرفته، به منظور بازرسی یک مخزن تحت فشار با استفاده از یک کد مشخص، نیاز به اطلاعات محدودی از آن کد است و اطلاعات تکمیلی نیز از سایر استانداردهای جانبی حاصل می‌شود. به منظور شروع کار می‌توان شکل۶-۳ را مدنظر قرار داد. به دقت این شکل را مورد توجه قرار دهید. در اینجا تنها بخشی از اطلاعات که مورد نیاز یک بازرس است، بیان شده است.



**۱. مسئولیت‌ها**

در ابتدای فعالیت، باید مسئولیت طرف‌های درگیر مشخص گردد؛ که شامل موارد زیر می‌باشد:
- مسئولیتهای مربوط به سازنده و خریدار
- نقش سازمان بازرسی مستقل
- الزامات فنی و موارد انتخابی بین سازنده و خریدار
- طریقه صدور "گواهینامه " انطباق با کد" و اینکه چه کسی مسئولیت آن را می‌پذیرد.

**۲. طراحی مخزن تحت فشار**

نکات مهم عبارتند از:
- جزئیات طبقه‌بندی‌های ساخت مختلف مشخص شده به وسیله کد مخزن تحت فشار
- آگاهی از طبقه‌بندیهای مختلف اتصالات جوش
- آگاهی از جنبه‌های طراحی غیرمجاز (عمدتاً اتصالات جوش)

**۳. مواد به کار رفته در تجهیزات**

در مورد مواد مورد نیاز برای اجزای تحت فشار مخزن تحت فشار، نیاز به اطلاعات زیر وجود دارد:
- موادی که به طور مستقیم توسط کد مشخص شده‌اند- اینها به زیرگروه‌های ورق، قطعات فورج، مقاطع میله و لوله‌ها تقسیم می‌گردند.
- الزامات کد برای سایر مواد ( ذکر نشده در کد) به طوریکه بتوان از آنها به عنوان مواد مجاز بهره برد.
- هرگونه الزامات کد خاص در مورد خواص مواد مانند میزان کربن، مقاومت کششی و مقاومت به ضربه
- الزامات خاص برای کاربردهای دمای پایین

**۴. ساخت، بازرسی و آزمایش**

زمینه‌های مربوطه عبارتند از:
- الزاماتی برای شناسایی و قابلیت ردیابی مواد.
- NDT مواد اولیه
- تلورانس‌های مونتاژ
- الزامات عمومی برای اتصالات جوش
- تایید جوشکار
- نمونه‌های آزمون تولید
- گستره NDT روی اتصالات جوش
- روش‌های قابل قبولNDT
- معیارهای پذیرش عیب
- آزمایش فشار
- محتوای بسته اسناد مخزن تحت فشار

**شکل ۶-۳** اطلاعات مورد نیاز از یک کد مخزن تحت فشار

این شکل می‌تواند یک راهنمای کلی قبل از شروع به کار با کدها باشد. همچنین در شکل‌های ۶-۴ تا ۶-۶ اطلاعات خاص‌تر در مورد هر کد بیان شده است. کدهای ASME VIII ،BS 5500 وTRD مواردی هستند که در اینجا مورد توجه قرار گرفته‌اند. در مورد سایر کدها نیز می‌توان این روند را پیگیری نمود؛ بهتر است از فهرست مطالب شروع کنید و حوصله نمایید.

در یک بازرسی موثر، می‌توان به سازنده اجازه انجام قسمتی از فعالیتها را داد. به عنوان نمونه می‌توان از سازنده خواست بخش‌های مرتبط در یک کد را مشخص سازد و سپس انطباق با آن مورد بررسی واقع شود.

### ۱. مسئولیت‌ها

اطلاعات بخش ٤-۱، مسئولیتهای انطباق با کد را مشخصاً بر عهده سازنده می‌گذارد.

- صدور گواهی

به بخش۱-۱ توجه شود- این قسمت تاکید می‌کند که این کد تنها در مورد ظروف تحت فشاری که تحت بازرسی مستقل قرار گرفته‌اند، کاربرد دارد. بخش ٤-۱ مشخص می‌سازد انطباق با کد با استفاده از " فرمX" مستند می‌شود- که این فرم توسط سازنده صادر و توسط سازمان بازرسی تایید می‌گردد.

- توافق سازنده/ خریدار

جدول۱-۵ تقریباً ۵۰ نکته برای توافق جداگانه بین سازنده و خریدار را مطرح می‌کند.

### ۲. طراحی مخزن تحت فشار

طراحی مخزن تحت فشار به وسیله بخش۳ استاندارد BS 5500 بیان می‌شود.

- گروه‌بندی ساخت : بخش۳-٤ سه دسته‌بندی ساخت(۱، ۲ و۳) که دارای الزامات مواد و NDT مختلف هستند بیان می‌کند.
- انواع اتصال: بخش ۵-۶-٤ انواع اتصالات جوش A و B را بیان می‌دارد که الزامات NDT ویژه خود را دارند.

### ۳. مواد

انتخاب مواد در بخش۲ بیان شده است.

- مواد مشخص شده

بخش۲-۱-۲(a) مواد استاندارد انگلیسی را مشخص ساخته است که اصلی‌ترین آنها عبارتند از: BS 1501 (ورق)، BS 1503 (قطعات فورج) و BS 3601 تا BS 3606 (لوله‌ها)

- سایر مواد مجاز

بخش ۲-۱-۱ (b) بیان می‌کند سایر مواد نیز به شرطی که معیارهای این بخش و بخش۲-۳-۲ را رعایت کنند، قابل کاربرد می‌باشند.

- خواص مواد

جدول ۲-۳ خواص مواد مشخص شده را برای تمام مواد تحت فشار بیان می‌دارد.

### ٤. تولید، بازرسی و آزمایش

- شناسایی مواد: در بخش ٤-۱-۲ بیان شده و باید مواد مورد نظر برای قطعات تحت فشار به خوبی مشخص شوند ( اما توجه شود که به گواهی مطابق EN 1024 اشاره نشود).
- انجام NDT روی مواد اولیه: در بخش ۵-۶-۲ بیان شده و هیچ گونه اجباری برای آن وجود ندارد (بخش ٤-۱-۲-۱ برای لبه‌های بریده شده ملاحظه شود)
- تلورانس مونتاژ: در بخش٤-۳-۲ بیان شده است. میزان خارج از دایره بودن و هم راستایی مشخص شده است. تلورانس‌ها نیز بستگی به ضخامت ماده دارند.
- الزامات عمومی برای اتصالات جوش: در بخش۳-٤ بیان شده است. سازنده باید شواهد جوشکاری مناسب را ارائه دهد.
- تایید جوشکاری: در بخش ۵-۵/۲-۳ بیان شده. WPS و PQR جوشکار باید تایید شوند و جوشکار دارای صلاحیت باشد.
- ورق‌های آزمایش تولید: در بخش ۵-٤ بیان شده است. در این مورد اجباری برای ظروف تحت فشار فولاد کربنی وجود ندارد و به انتخاب خریدار بستگی دارد.
- گستره NDT روی اتصالات جوش: در بخش ۵-۶-٤ بیان شده است. گستره مختلفی برای ظروف تحت فشار گروه ۱،۲ و ۳ و جوشهای نوع A و B تعریف شده است.
- روش‌های NDT: در بخش ۵-۶-٤ بیان شده که در آن آزمایشRT و UT هر دو روش‌های حجمی قابل قبول هستند.
- محدوده پذیرش عیب: در بخش ۵-۷ بیان شده است و می‌توان بسته به روش مورد استفاده از جداول ۵-۷(۱) تا ۵-۷(٤) استفاده برد.
- آزمایش فشار: در بخش ۸-۵ بیان شده است. در اینجا نظارت حضوری بازرس مورد نیاز است.
- مجموعه مستندات: در بخش ۱-٤-٤ بیان شده است. در اینجا فرم"X" الزامی است. همچنین در بخش ۱-۵-۲-۲ حداقل مستندات مورد نیاز لیست شده‌اند.

**شکل ۶-٤** خلاصه‌ای از موارد مورد نیاز در استاندارد BS5500 و نحوه یافتن آن.



### ۱. مسئولیت‌ها

بخش UG-90، ۱۹ مسئولیت تولیدکننده و ١٤ مسئولیت بازرس مجاز را مشخص می‌کند.

- صدور گواهی

ظروف تحت فشار برای اینکه دارای مهر و نشان ASME گردند، باید کاملاً منطبق با کد ساخته و بازرسی شوند. همچنین سازنده باید دارای گواهی صلاحیت باشد. در بخش UG-115 تا UG-120 الزامات علامتگذاری و صدور گواهی ارائه شده است.

- توافق سازنده/ خریدار

علیرغم اشاره، هیچ گونه لیستی از "موارد توافقی" ارائه نشده است.

### ۲. طراحی مخزن تحت فشار

در مورد طراحی مخزن تحت فشار، سه بخش در ASME VIII وجود دارد: Div1,2,3.

- گروه‌بندی ساخت: اکثر ظروف تحت فشار مدنظر در بخش۱ واجد شرایط شناخته می‌شوند؛ و بخش۲ برای ظروف تحت فشاری با مواد محدود و الزامات آزمایش دشوار می‌باشد. بخش ۳ نیز برای فشارهای بسیار بالا کاربرد دارد.
- انواع اتصال: قسمت UW-3 چهار گروه A، B، C و D از اتصالات جوش را بیان می‌کند که دارای الزامات NDT مختلف هستند ( شکل۶-۱۵ کتاب).
- جنبه های طراحی: شکل های ۱۲، ۱۳-۱، ۱۳-۲ و ۱۶-۱از قسمت UW نمونه ای از اتصالات قابل قبول (و تعدادی مردود) را نشان می دهند که بیشتر راهنمایی دارند تا اجبار.

### ۳. مواد

- مواد مجاز

UG-، به مواد مشخص شده در ASME بخشII ارجاع می‌دهد. همچنین بخش UG-10 اجازه می‌دهد مواد جایگزین با کاملاً مشخصات داده نشده دوباره تایید گردند. تعدادی از مواد مشخص شده: ASTM کد SA-202 (ورق)، SA-266 (قطعات فورج)، SA-217 (قطعات ریختگی) و SA-192 (لوله‌ها) می‌باشند.

### ٤. ساخت، بازرسی و آزمایش

- شناسایی مواد: در بخش UG-94 بیان شده و مواد مورد نظر برای قطعات تحت فشار بایستی دارای گواهی و علامت‌دار باشند؛ از این مطلب می‌توان نیاز به قابلیت ردیابی را هم تفسیر نمود.
- انجام NDT روی مواد اولیه: از بخش UG-93(d) می‌توان نیاز به بازرسی چشمی را نتیجه گرفت. DT/MT تنها برای مواد خاص و ضخامت‌ها مطرح می‌باشد.
- تلورانس‌های مونتاژ: در بخش UG-80 و UG-33 بیان شده است.
- تایید جوشکاری: در بخش UW-28,29,48 بیان شده و WPS ، PQR و صلاحیت جوشکار باید تایید شود.
- ورق‌های آزمایشی تولید: در بخش UG-84 بیان شده است. ورق‌های آزمایش تحت شرایط مشخص شده مورد نیاز می‌باشد.
- گستره NDT روی اتصالات جوش: در بخش UW-11 بیان شده است. در این بخش به رادیوگرافی اولویت و التراسونیک تنها در موارد خاص پذیرفته می‌شود.
- روش‌های NDT: در بخش UW-51,52,53 بیان شده است. ASME بخش V روش‌ها را مشخص می‌نماید.
- محدوده پذیرش عیب: در بخش UW-51,52 بیان شده است. UW-51 حد پذیرش برای آزمایشRT ۱۰۰٪ و UW-52 حد پذیرش برای آزمایش RT نقطه‌ای را مشخص کرده است.
- آزمایش فشار: در بخش UG-99 بیان شده است. نظارت حضوری بازرس مورد نیاز است. فشار اعمالی در آن بایستی ۱۳۰٪ فشار طراحی/ کاری باشد.
- مجموعه مستندات: در بخش UG-115 الی UG-120 بیان شده است. رعایت الزامات علامتگذاری و مستندسازی برای انطباق کامل با کد اجباری است.

**شکل ۵-۶** خلاصه‌ای از موارد مورد نیاز در استاندارد ASME VIII و نحوه یافتن آن

**۱. مسئولیت‌ها**

TRD 503 مشخص می‌سازد که گواهی نهایی مخزن تحت فشار توسط بازرس صادر گردد.

- **صدور گواهی**
  کنترل‌های قانونی که سازمان‌ها می‌توانند به واسطه آن به عنوان بازرس مجاز برای بویلرهای TRD عمل کنند.
- **توافق سازنده/ خریدار**
  وجود چنین توافقاتی که حتی می‌توانند الزامات استاندارد را تحت الشعاع قرار دهند را می‌توان غیرمستقیم نتیجه گرفت؛ ولی هیچ‌گونه لیستی از " موارد توافق" ارائه نشده است.

**۲. طراحی مخزن تحت فشار**

در مورد طراحی مخزن تحت فشار، چهار گروه اصلی I، II، III و IV در استاندارد TRD600 تعریف شده است.

- گروه‌بندی ساخت: اتصالات بر مبنای ضخامت ماده و نوع آن ( به جای مکان آن در مخزن تحت فشار) طبقه‌بندی می‌شود.
- انواع اتصال: مدارک TRD300 جنبه‌های طراحی را پوشش می‌دهد.

**۳. مواد**

- مواد مجاز
  100 TRD اصول عمومی مربوط به مواد را بیان می‌دارد. در حالت کلی، مواد استاندارد DIN مشخص شده‌اند. با اینحال سایر مواد نیز می‌توانند با تایید بازرس استفاده شوند (100 TRD شاخه۳-٤)؛ مواد مشخص شده نمونه عبارتند از: 17102/17155 DIN (ورق) ،17175/17177 DIN (لوله)، DIN 17243 ،17100/St372/DIN (قطعات فورج) و 17245/17445 DIN (قطعات ریختگی). در تمام موارد برای گواهی مواد به استانداردهای (EN10204) 50049 DIN ارجاع داده می‌شود.

**٤. ساخت، بازرسی و آزمایش**

- شناسایی مواد: در بخش 100(3.4) TRD بیان شده و مواد مورد نظر برای قطعات تحت فشار باید تایید شوند. بسته به مواد و کاربرد آن، از گواهی 3.1A,3.1B و EN 10 204 استفاده می‌شود.
- انجام NDT روی مواد اولیه: در بخش HP5/1 و 110/200 TRD بیان شده است. در حالت کلی بازرسی چشمی و آزمایشات UT مورد نیاز است.
- تلورانس‌های مونتاژ (ابعادی): در بخش 301,104/201 TRD بیان شده است. محدودیت‌هایی برای خارج از دایره بودن و هم‌راستایی مشخص شده است.
- پروسه‌های جوش: در بخش 201 TRD بیان شده است. WPS و PQR برای تمام جوشهای مهم مورد نیاز است و آزمایشات مربوطه نیز مشخص شده است.
- تایید جوشکار: در بخش 201 TRD بیان شده است. ضمیمه۲ ، آزمایشات تایید جوشکار را به DIN 8560 مربوط می‌سازد.
- ورق‌های آزمایشی تولید: در بخش 201 TRD بیان شده است. ورق‌های آزمایش مورد نیاز است که تعداد و نوع آنها مشخص شده است.
- گستره NDT روی اتصالات جوش: در بخش HP/0HP5/3 بیان شده است. در این بخش جداولی وجود دارد که الزامات NDT را مشخص می‌سازد.
- روش‌های NDT: در بخش HP5/3 بیان شده است. برای تمام روشهای NDT استانداردهای DIN مشخص شده است.
- محدوده پذیرش عیب: در بخش HP5/3 بیان شده است. در اینجا مراتب تایید برای بررسی‌های RT و UT مشخص شده است. همچنین تغییرات مورد نظر (بند۶) می‌تواند با بحث بین طرفین مورد توافق قرار گیرد.
- آزمایش فشار: در بخش 503 TRD بیان شده است. در اینجا نظارت حضوری بازرس مورد نیاز است و فشار اعمالی در این آزمایش بسته به کاربرد، 120-150٪ فشار طراحی می‌باشد(503 TRD بند ۵ را مشاهده کنید).
- مجموعه مستندات: در بخش 503 TRD بیان شده است. در اینجا لیستی از مستندات با جزئیات کامل وجود ندارد. با اینحال TRD نحوه ارائه مدارک نوع ماده، عملیات حرارتی و NDT را مشخص می‌سازد. الزامات همراه با مدارک برای انطباق با کد دشوار است.

**شکل ۶-۶** خلاصه‌ای از موارد مورد نیاز در کد بویلر TRD و نحوهٔ یافتن آن



با این حال، تعمیم این کار به حوزه‌هایی چون مواد اصلی، بازرسی غیرمخرب، معیار پذیرش و الزامات بازرسی عاقلانه به نظر نمی‌رسد و بازرس خود بایستی به آنها مسلط باشد. به منظور سهولت کار در این رابطه، در شکل‌های ۶-۷ تا ۶-۹، " جداول مرجع سریع" برای جنبه‌های مواد کلیدی، ارزیابی غیر مخرب و معیار پذیرش سه کد مخزن تحت فشار اصلی نمایش داده شده است. می‌توان از این جداول قبل و در حین بازرسی استفاده نمود. شکل۶-۱۰ نیز یک جدول مرجع کلی است که استانداردهای جنبی مهم را مشخص کرده است. در صورتی که بازرسی به درستی انجام شود، لحاظ کردن بخشی از این اطلاعات به منظور حصول اطلاعات فنی جزئی‌تر مدنظر قرار گیرد.

## کاربرد کدهای مخزن تحت فشار

اکثر کدهای مخزن تحت فشار بین المللی در وضعیتی قرار دارند که درک مناسبی بین نهادهای قانونی کشورها در مورد کدهای یکدیگر وجود دارد. در این کدها بخش‌های حساس مانند کلاسهای مخزن تحت فشار، معیارهای طراحی و الزامات بازرسی و الزامات مورد نیاز برای گواهی مستقل بر مبنای اصول مشابهی بنا شده‌اند. همچنین استفاده از کدهای مخزن تحت فشار برای سایر تجهیزات و اجزای مهندسی نیز روز به روز در حال افزایش است. این مطلب به ویژه در مورد کدهای BS 5500 و ASME که کدهایی بر پایه طراحی هستند، صادق می‌باشد. پارامترهای مربوط به تنش‌های مجاز و ضرایب ایمنی برای طراحی سایر تجهیزات نیز به کار می‌رود. تجهیزاتی که دارای مقاطع ریختگی ضخیم هستند مانند بدنه توربین بخار و بدنه‌های ریخته‌گری شده تیرآلات بزرگ و یا اجزایی که مشابه مخازن تحت فشار هستند مانند تغلیظ کننده‌ها و گرم‌کننده‌های لوله‌ای فشار بالا می‌توانند مشمول این قاعده شوند. همچنین در کاربردهایی که بارگذاری فشاری مسئله اصلی نیست، استفاده از کدهای مخزن تحت فشار در بازرسی و آزمایش قطعات یافت می‌شود؛ به طوریکه الزامات جوشکاری و NDT در استانداردهای ASME V /ASME VIII برای استفاده در دامپرهای گازی، کانال‌ها، ساختمان‌های فلزی، تانک‌ها و تجهیزات ساخته‌شده مشابه به کار گرفته می‌شوند.

## استفاده از کدهای مخزن تحت فشار با توجه به منظور

استفاده از بعضی قسمت‌های کدهای مخزن تحت فشار برای سایر تجهیزات، می‌تواند فعالیتهای بازرس را با اندکی مشکل مواجه سازد. به عنوان نمونه در مورد کنداسورهای بخار بزرگ، از نقطه‌نظر تنش، انطباق با استاندارد قابل اجرا است؛ در حالیکه در سایر جنبه‌ها مانند میزان NDT و معیار پذیرش عیب غالباً چنین انطباقی دشوار است؛ از این رو، سناریوی انطباق جزئی مطرح می‌شود. بایستی متذکر شد چنین وضعیتی غالباً در بازرسی‌ها مشاهده می‌گردد و لذا باید از طریق یک طرح مناسب با این کدها ارتباط برقرار کرد. وظیفه اصلی یک بازرس، یافتن حدودی است که موارد موجود در کدهای مخزن تحت فشار بتوانند به FFP تجهیزات کمک کنند. به منظور راهنمایی، می‌توان موارد زیر را مدنظر داشت:

- قسمتهایی از تجهیزات را که مشابه موارد مندرج در کد مخزن تحت فشار هستند، مورد توجه قرار دهید ( شکل۶-۱۶ به عنوان یک مثال مطرح شده است). در مورد این قسمت‌ها انطباق با کد باید به طور کامل رعایت شود.

| جزء | BS 5500 | ASME VIII | TRD |
|---|---|---|---|
| ورق‌ها ( هد و پوسته) | BS: 1501 بخش۱ Gr164: فولاد کربنی r223/224 :G فولاد C-Mn BS: 1501 بخش۲ Gr 620/621: فولاد کم آلیاژ BS: 1502 بخش۳ Gr304/321: فولاد پرآلیاژ | ASTM SA-20 (الزامات عمومی) ASTM SA-202: فولاد آلیاژی Cr-Mn-Si ASTM SA-240: فولاد زنگ‌نزن Cr-Ni (ASME II ملاحظه شود) | DIN 17155 و DIN 17102 فولادهای فریتی (TRD 101 ملاحظه شود) |
| قطعات فورج ( نازل‌ها و فلنج‌ها) | BS 1503 : فولاد C-Mn BS 1503 : فولاد زنگ‌نزن (آستنیتی یا مارتنزیتی) | ASTM SA-266: فولاد کربنی ASTM SA-336: فولاد آلیاژی ASTM SA-705: فولاد گرم کار و زنگ نزن | DIN 17100: کلاسهای St 37.2 ، St 37.3 و St 44.2 St 44.3 DIN 17243 : فولادهای دمای بالا ( TRD 103 ملاحظه شود) |
| قطعات ریختگی (مواردی که به عنوان یک قطعه تحت فشار استفاده می‌شوند) | در این مورد نیاز به توافق وجود دارد ( بخش۲-۱-۲-۳ ملاحظه شود) BS: 1504 فولاد کربنی، کم آلیاژ یا پرآلیاژ | ASTM SA-217: فولادهای آلیاژی و زنگ نزن ASTM SA-35: فولادهای دوگانه و آستنیتی | DIN 17245 : کلاسهای GS 18Cr Mo 9-10 و G-X8 Cr Ni 12 DIN 17445 : فولاد ریختگی آستنیتی (TRD103 ملاحظه شود) |
| لوله‌های تحت فشار | BS 3604 : بخش‌های ۱و۲ – فولاد آلیاژی فریتی BS3605 : بخش ۱- فولاد زنگ‌نزن آستنیتی | ASTM SA-192 : فولاد کربنی ASTM SA-213: لوله‌های آستنیتی و فریتی بدون درز ASTM SA-249: لوله‌های آستنیتی(درز جوش) | DIN 17175 , 7177: فولاد کربنی (TRD102 ملاحظه شود) |
| لوله‌های بویلر/ سوپرهیتر | BS 3059 : بخش۱ : فولاد C-Mn BS 3059 : بخش۲: فولاد آستنیتی | ASTM SA-250: آلیاژ فریتی ASTM SA-209: آلیاژ C-Mn | DIN 17066: کلاسهای 10Cr Mo9-10 و 13MoV 6-31 برای کاربردهای دمای بالا (TRD102 ملاحظه شود) |
| مقاطع و میله‌ها | BS 1502 : فولاد کربنی یا C-Mn BS 1502 : فولاد آستنیتی یا کم آلیاژ | ASTM SA-29: فولادهای آلیاژی و کربنی ASTM SA-479: فولادهای کرمکار و زنگ‌نزن | فولاد استاندارد عمومی DIN – 17100 کلاسهای مختلف ( TRD107 ملاحظه شود) |

**شکل ۶-۷** کدهای مخزن تحت فشار– الزامات مواد ( مرجع سریع)



**BS 5500**

**مخازن تحت فشار طبقه ۱**

- RT یا UT ۱۰۰٪ روی اتصالات نوع A (الزامی). شکل۶-۱۱ این کتاب ملاحظه شود.
- RT یا UT ۱۰۰٪ روی اتصالات نوع B در بالای یک ضخامت حداقل (جدول۶-۵-۴-۱-۱)
- ترک‌یابی ۱۰۰٪ ( PT یا MT) روی تمام اتصالات نوع B و جوشهای اتصالات
- ترک‌یابی روی اتصالات نوع A انتخابی است ( با توافق).

**مخازن تحت فشار طبقه ۲**

- RT یا UT روی حداقل ۱۰٪ طول کل دررهای طولی و محیطی نوع A به منظور شامل شدن تمام تقاطعات و نواحی درز نزدیکی دریچه‌های نازل
- RT یا UT ۱۰۰٪ روی جوش یک نازل از هر ده عدد نازل.
- ترک‌یابی ۱۰۰٪ (PT یا MT) روی تمام جوشهای نازل و جوش ورق‌های تقویتی
- ترک‌یابی ۱۰۰٪ (PT یا MT) روی تمام سایر جوشهای اتصالات به قطعات تحت فشار.

**مخازن تحت فشار طبقه ۳**

- تنها بازرسی چشمی: بدون الزام برای NDT
- سنگ زنی پشت ریشه جوش باید در حضور بازرس مجاز انجام شود.

**ASME VIII**

**مخازن تحت فشار Div. 1**

- گستره NDT به طور ساده مشخص نشده است. ابتدا به پاراگراف UW-11 مراجعه نمایید و سپس به بندهای ارجاع داده شده. به طور کلی، جوشهای زیر نیاز به RT ۱۰۰٪ دارند:
- اتصالات لب به لب بالای ۳۸ میلی‌متر ضخامت
- اتصالات لب به لب در مخازن تحت فشار بویلر غیر مشتعل که در فشار بالای ۳،٤ بار کار کنند.
- سایر جوشها باید در معرض آزمایش RT نقطه‌ای بیان شده به وسیله UW-52 قرار گیرند.

**مخازن تحت فشار Div 2**

- تمام جوشهای بدنه تحت فشار نیازمند RT ۱۰۰٪ هستند.

**TRD**

- جوش‌های طولی (LN): در حالت کلی به RT یا UT ۱۰۰٪ نیاز است.
- جوش‌های محیطی(RN): بسته به نوع ماده و ضخامت بین ۱۰٪ تا ۱۰۰٪ RT یا UT نیاز دارند.
- تقاطعات T خطوط جوش در جوش‌های لب به لب در حالت کلی نیازمند RT یا UT ۱۰۰٪ می‌باشند.
- جوشهای نازل و سپری در حالت کلی نیازمند PT یا MT ۱۰۰٪ هستند.
- جزئیات کامل گستره NDT در AD-Merkblatt HP O,HP 5/3 جداول ۱، ۲ و۳ مشخص شده‌اند.

**شکل ۶-۸** کدهای مخزن تحت فشار - الزامات NDT (مرجع سریع)

| | |
|---|---|
| BS 5500 (گروه ۱) | **بازرسی چشمی**<br>عیوب صفحه‌ای : مجاز نیست.<br>شکاف ناشی از کنار هم قرارگیری در جوش : حداکثر ۲ میلیمتر<br>بریدگی کناره جوش : حداکثر ۱ میلیمتر<br>انحراف ضخامت دیواره: mm 1-/5+<br>نفوذ اضافی : حداکثر ۳ میلیمتر<br>گودی جوش : حداکثر ۱.۵ میلیمتر<br>تقعر ریشه: حداکثر ۱.۵ میلیمتر<br>روی هم قرا گیری گرده جوش: غیر مجاز<br>برای جزئیات کامل به جداول ۵-۷(۱) و ۵-۷(۲) در استاندارد BS 5500 مراجعه شود. حد پذیرش عیب التراسونیک در جدول۵-۷(۲) ذکر شده است. |
| ASME VIII | **بازرسی‌های رادیوگرافی (۱۰۰٪)**<br>ترک، ذوب و نفوذ ناقص: غیر مجاز<br>عیوب کروی : ASME VIII ضمیمه ٤ ملاحظه شود.<br>عیوب کشیده شده ( مثلاً سرباره یا آخال) : حداکثر طول بین 6 تا 18 میلیمتر است که بستگی به ضخامت ماده دارد. برای جزئیات بیشتر، UW-52ملاحظه شود.<br>برای جزئیات کامل،UW-51 ملاحظه شود. |
| TRD | **بازرسی رادیوگرافی**<br>ترک و نفوذ ناقص دیواره کناری: غیر مجاز<br>ذوب ریشه ناقص: روی جوشهای یک طرفه غیرمجاز است.<br>آخال‌های کاری و جامد: حداکثر طول ۷ میلیمتر برای ضخامت کمتر از ۱۰میلیمتر یا ۲/۳ ضخامت برای ۱۰میلیمتر< ضخامت< ۷۵ میلیمتر<br>آخال‌های تنگستنی: بسته به ضخامت فلز از ۳ تا ۵ میلیمتر ضخامت<br>برای جزئیات کامل، AD-Merkblatt HP5/3 ملاحظه شود. |

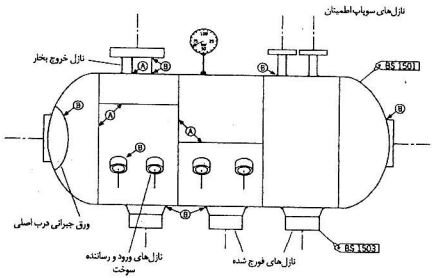
**شکل ۶-۹** کدهای مخزن تحت فشار– حد پذیرش عیب ( مرجع سریع)



| موضوع | BS5500 | ASME VIII | TRD |
|---|---|---|---|
| مواد | | ASTM SA-20, SA-202 (NDT برای ASTM SA-435) | |
| ورق‌ها | BS1501,1502 (BS 5996 برای NDT) | | DIN 17155,17102 |
| قطعات فورج | BS1503 (BS4124) برای NDT) | ASTM SA-266, SA-366 | DIN 17100,17243 |
| قطعات ریختگی | BS1504 (BS4080) برای NDT) | ASTM SA-217, SA-351 | DIN 17245,17445 |
| لوله‌ها | BS 3604,3605,3059,3603 | ASTM SA-192,SA-213 | DIN 17175,17177 |
| آزمایش مواد | | | |
| آزمایشات کشش | BS EN 10002(BS 18) BS 3668 | ASTM SA-370 | DIN 17245, 17445, 50145 |
| آزمایشات ضربه | BS 131 (BS EN 10045-1) | ASTM E-182 | DIN 50115 |
| آزمایش سختی | BS 240 ( BS EN10003) BS 860 | ASTM SA-370, E340 | DIN EN 50103<br>DIN EN 10036 |
| آنالیز شیمیایی | استفاده از استانداردهای مواد | ASTM SA-751, E354 | DIN EN 10188 |
| جوشکاری | | | |
| روش‌های جوشکاری | BS 5135 | ASME IX | AD – Merkblatt HP – 5/1, HP-5/3<br>AD HP – 2/1 |
| گواهی WPS/PQR | BS 4870 ( BS EN288) و BS 487( BS EN 287) | ASME IX, ASTM SA-488 | DIN8563<br>TRD 201<br>DIN 8560 |
| NDT | | | |
| روش‌های رادیوگرافی | BS 2600, 2910 | ASTM E9ϕE 1032 | AD HP- 5/3, DIN 54111 |
| کیفیت تصویر | BS 3971 ( BS EN462-1) | ASTM E142 | DIN 54109 |
| روشهای التراسونیک | BS 3923,41080 | ASTM SA-609, SA-745, E273 | DIN 54125,54126 |
| آزمایشات مایعات نافذ | BS 6443 | ASTM E165,E433, | DIN 54125 |
| آزمایشات ذرات مغناطیسی | BS6072 | ASTM E709, E1444, SA 275 | DIN 54130 |
| آزمایشات مخرب | BS 4870 ( BS EN 288), BS 709 | ASTM SA-370 | HP-5/2, HP-2/1 |
| آزمایشات فشار | BS 3636 (تنها gas tightness) | | TRD 503 |

**شکل ۶-۱۰** کدهای مخزن تحت فشار– تعدادی از استانداردهای مرجع

- در مواردی که یکی از تجهیزات با تجهیزات مشخص شده در کد مرتبط نباشد، باید اندکی تامل نمود و بر مبنای دانسته‌های مهندسی اقدام به تصمیم‌گیری کرد. ابتدا باید به دقت حدود FFP آنها بررسی شده و سپس تا آنجا که تضادهای فنی مستقیمی پیش نیامده است، الزامات کد را به کار برد. استانداردهای جانبی به خصوص استانداردهای مرتبط با آزمایش مواد و NDT می‌توانند بدون هرگونه تضاد فنی، برای بسیاری از انواع تجهیزات به کار رود. با اینحال اگر هنوز شک دارید مجدداً درباره معیارهای FFP تجهیزات فکر کرده و سپس بر مبنای نظر خود عمل کنید.




**مواد**

مواد استاندارد در BS 5500 بخش۲ موجود است. سایر مواد نیز در صورتی که الزامات آزمایش را برآورده سازند، قابل قبول هستند.

- حداکثر ضخامت ورق مشخص نشده است.
- برای فولادهای فریتی، محدودیت دمایی وجود دارد؛ اما مواد آستنیتی تا دماهایی حدود۲۰۰- درجه سانتیگراد مجاز می‌باشد.

**اتصالات جوش داده شده**

- انواع اتصالات A و B در شکل نمایش داده شده است.

**الزامات NDT**

| مکان | روش و گستره NDT | حد مجاز |
|---|---|---|
| مواد ورق | بررسی التراسونیک طبق BS 5996 (موردی) | BS 5996 |
| آماده‌سازی جوش | بازرسی چشمی الزامی است. | با توافق |
| جوش‌های نوع A | RT یا UT ۱۰۰٪ الزامی است. ترک‌یابی سطحی، اختیاری می‌باشد (PT یا MT). | BS 5500:RT جدول۵-۷ (۱)<br>BS 5500:UT جدول۵-۷ (۲) |
| جوش‌های نوع B | RT یا UT ۱۰۰٪ الزامی است ( بعضی استثنائات در مورد ضخامت وجود دارد)<br>PT یا MT ۱۰۰٪ شامل جوش‌های اتصالات | BS 5500 جدول۵-۷ (۳) |
| ورق آزمایش | الزامی نیست | با توافق |

**شکل ۶-۱۱** محفظه بویلر مربوط به BS 5500 دسته ۱

- یک *قانون طلایی* الزامات فنی اشاره شده در کدهای مخزن تحت فشار باید به صورت فعالیت‌های مهندسی مناسب و خاص مورد توجه قرار گیرد. البته نباید تصور نمود که آنها به اندازه‌ای خاص هستند که نمی‌توانند برای سایر تجهیزات مهندسی به کار روند.



## بویلر درام بر اساس BS5500 دسته ۱

### نکات کلیدی

*۱. انطباق با کد*

- برای ظروف تحت فشار بویلر، معمولاً انطباق کامل با الزامات دسته ۱ مورد نیاز است. باید به خاطر داشت برای انطباق کامل با BS5500 بازرسی و گواهی مستقل الزامی است.

*۲. مواد به کار رفته در تجهیزات*

- در صورت استفاده از مواد " مشخص نشده" در کد، نیاز به بررسی کامل روی خواص مواد وجود دارد. در BS 5500 بخش۲ بازرسی‌های مورد نیاز به منظور مجاز شمردن مواد ذکر شده است.
- بررسی شود که تمام مواد قطعات تحت فشار شناسایی شده و نسبت به منبع خود قابل ردیابی باشند. به عنوان راهنمایی، فولادهای پرآلیاژ باید گواهی 3.1A EN 10 204 را داشته باشند و سایر قطعات تحت فشار نیز باید قابلیت ردیابی 3.1B را دارا باشند- اما این گواهی‌های EN الزامی نیست.

*۳. بازرسی ساخت*

- آماده‌سازی‌های جوش برای فاصله ریشه صحیح و دقت در جفت‌شدن لبه‌ها باید بررسی شود. همچنین بایستی به دقت مراقب بود تا اعوجاج غیرمجازی مشاهده نگردد.
- تلورانس‌ها و جفت‌شدن‌ها مهم می‌باشند. موارد زیر بررسی شود:

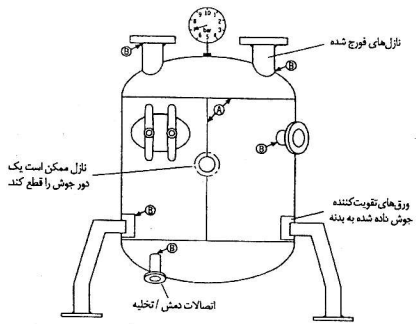
محیط:
برای O.D ≤ 650mm ، تلورانس ± 5mm می‌باشند.
برای O.D>650mm ، تلورانس ± 0.25% محیط می‌باشند.
مستقیم بودن:
حداکثر انحراف، ۰.۳٪ طول کل سیلندر است.
دایره‌ای بودن:
دایره‌ای بودن به وسیله I.D max-I.D min در هر سطح مقطع مشخص می‌گردد.
حداکثر مجاز برابراست با:
I.D max-I.D min ≤ [0.5 + 625/O.D] تا حداکثر ۱٪
هم‌راستایی سطحی:
برای ضخامت مواد (e)
اتصالات طولی ،برای 12mm ≤ e حداکثر خارج از هم ترازی برابر e/4 و برای 12mm < e < 50mm حداکثر خارج از هم ترازی برابر 3 میلیمترمی‌باشد.
اتصالات محیطی، برای 20mm ≤ e حداکثر خارج از هم ترازی برابر e/4 و برای 20mm < e < 40mm حداکثر خارج از هم ترازی برابر5 میلیمترمی‌باشد.

*۴. مستندسازی*

گواهی نهایی باید از فرم "X" نشان داده شده در BS5500 بخش۱ استفاده کند. همچنین بررسی گردد که از عبارات صحیح استفاده شود.

**شکل ۶-۱۲** BS 5500 دسته ۱ ـ نکات کلیدی

اما در مورد قابلیت ردیابی مواد نباید بیش از حد سختگیرانه رفتارنمود؛ چون اکثر تجهیزاتی که از لحاظ قانونی تحت اجبار گواهی نمی‌باشند، نیاز به قابلیت ردیابی کامل ندارند. به همین جهت، در بسیاری از صنایع، قابلیت ردیابی جزئی با استفاده از گواهی‌های EN 10 204 نوع 3.1B یا 2.2 مورد استفاده قرار می‌گیرد.




**مواد**

- ضخامت ورق محدود است به:
  ۴۰ میلیمتر برای فولاد کربنی ( گروه‌های M0 و M1)
  ۳۰ میلیمتر برای فولاد C-Mn ( گروه M2)
  ۴۰ میلیمتر برای فولاد آستنیتی
- مواد مشخص شده مشابه مواد مخازن تحت فشار گروه ۱ هستند – BS5500 جدول ۲-۳ ملاحظه شود.

**الزامات NDT**

| مکان | روش و گستره NDT | حد مجاز |
|---|---|---|
| مواد ورق<br>آماده‌سازی جوش<br>درزجوشهای نوع A | بازرسی التراسونیک طبق BS5996 (اختیاری)<br>بازرسی چشمی الزامی است.<br>حداقل ٪۱۰ طول کل RT یا UT شود؛ اما این مقدار شامل تمام تقاطعات و درزهای نزدیک نازل‌ها باشد ( در شکل نشان داده شده است) | BS5996<br>یا توافق<br>از BS 5500 جداول ۵-۷ (۱) تا (۴) استفاده شود. در صورت شناسایی عیب، روش ویژه‌ای برای ارزیابی مجدد وجود دارد. BS 5500 شکل ۵-۷ ملاحظه شود. |
| جوش‌های نازل ( نوع B) | RT یا UT ٪۱۰۰ روی یک نازل از هر ده تا.<br>PT ٪۱۰۰ یا MT روی تمام جوشهای نازل | BS 5500 جداول ۵-۷ (۱) یا (۲) و جدول ۵-۷ (۳) |
| جوش ورق‌های تقویتی<br>جوش‌های اتصالات به قطعات تحت فشار | PT ٪۱۰۰ یا MT<br>PT ٪۱۰ یا MT | BS 5500 جدول ۵-۷ (۳)<br>BS 5500 جدول ۵-۷ (۴) |
| ورق آزمایش | الزامی نیست | یا توافق |

**شکل ۶-۱۳** مخزن تحت فشار بر اساس BS5500 دسته ۲

مثالهایی فنی از کاربرد کدهای مخزن تحت فشار در شکل‌های ۶-۱۱ تا ۶-۲۲ نمایش داده شده است. یکی از مثال‌ها، چگونگی استفاده از کد با توجه به هدف را بیان می‌کند که قبلاً توضیح داده شد.



## مخزن تحت فشار بر اساس BS 5500 دسته ۲

### نکات کلیدی

*۱. انطباق با کد*
- مانند مخازن تحت فشار طبقه ۱، برای مخازن تحت فشار طبقه ۲ نیز، انطباق کامل با الزامات کد ضروری است. بازرسی و گواهی مستقل در اینجا الزامی است.

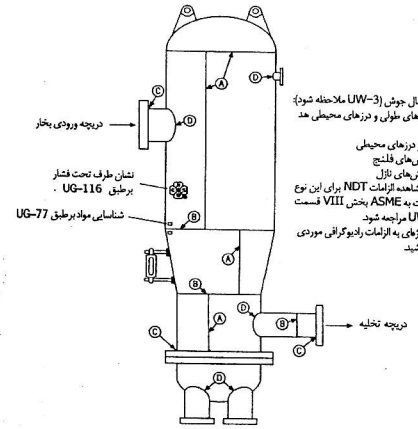
*۲. مواد به کار رفته در تجهیزات*
- مخازن تحت فشار BS5500 دسته ۲ دارای محدودیت‌هایی روی حداکثر ضخامت ورق هستند- این مطلب، فشار طراحی را محدود می‌کند.
- الزامات قابلیت ردیابی مواد مانند ظروف تحت فشار دسته ۱ می‌باشد.

*۳. بازرسی ساخت*
- توجه شود که ورق‌های پشت‌بند دائمی جوش برای ظروف تحت فشار دسته ۲ مجاز است. با این حال بایستی بررسی شود که از مواد " مناسب" استفاده گردد.
- تلورانس‌های هم راستایی همانند ظروف تحت فشار دسته ۱ می‌باشند ( شکل۶-۱۲ کتاب ملاحظه گردد.)
- از آنجا که تنها NDT حجمی "درصدی" مورد نیاز است، بدون شک بررسی نواحی بحرانی مهم می‌باشد. اینها شامل موارد زیر می‌باشند:
- تقاطع اتصالات طولی و پیرامونی (محیطی)
- نواحی درزجوش که در فاصله ۱۲ میلیمتری دریچه‌های نازل می‌باشد.
- انتهای درزهای جوش، مخصوصاً ابتدای " پاس".
- در بازرسی رادیوگرافی باید مطمئن شد که " ٪۱۰ از طول کل" شامل حداقل یک تصویر رادیوگرافی از هر درزجوش می‌باشد.
- فشار آزمایش هیدرواستاتیک، همانند ظروف تحت فشار طبقه۱ می‌باشد.

*۴. مستندسازی*
گواهی نهایی باید از فرم "X" نشان داده شده در BS5500 بخش۱ استفاده کند. همچنین بررسی گردد که ازعبارات صحیح استفاده شده و نشان "دسته ۲" به روشنی مشخص باشد.

**شکل ۶-۱۴** BS 5500 دسته ۱ ـ نکات کلیدی

هر کاربرد، چگونگی ارتباط برقرار کردن بین الزامات یک کد مخزن خاص و ساخت کل مخزن و یا قسمتی از آن را بیان داشته است ( این مطلب می‌تواند در الزامات قرارداد ذکر گردد). در اینجا، الزامات NDT و مواد به طور خلاصه بیان شده است- و بعضی نکات کلیدی درباره انطباق با کد، ساخت و مستندسازی بیان شده است. این شکل‌ها را با دقت بررسی نمایید- در آنها، اطلاعات اصلی مورد نیاز در هنگام بازرسی این نوع از مخازن بیان شده است.



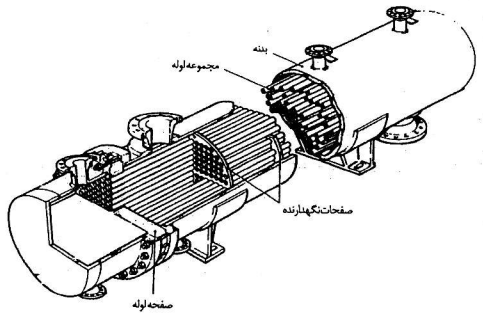

نکات کلیدی

- یک مخزن تحت فشار تنها در صورتی که نشان ASME داشته باشد، کاملاً منطبق برASME می‌باشد. این مطلب نیازمند موارد زیر است:
  - تولیدکننده باید به منظور تولید مخازن تحت فشار ASME تأیید شود.
  - مخزن تحت فشار باید توسط یک بازرس مجاز ASME بازبش شود.
  - انطباق کامل با ASME بخش‌های VIII، II، V و IX.
- تلورانس در حین ساخت شامل موارد زیر است:
  - خارج از دایره بودن مجاز (IDmax-IDmin) ≥ 1%D
  - نا همراستایی مجاز جوش لب به لب برابر است با:

| ضخامت (t) | انواع اتصالات | |
|---|---|---|
| | A | B, C,D |
| 12.7mm ≥ | t/4 | t/4 |
| 12.7mm-19mm | 3.2mm | t/4 |
| 19 mm – 38 mm | 3.2mm | 4.75mm |
| 38 mm – 51 mm | 3.2mm | t/8 |

**شکل ۶-۱۵** HP feed heater براساس ASME Sec.VIII Div.2






- مواد ( مخصوصاً در قسمت‌های داخلی) بعید است مواد مشخص شده به وسیله ASME II باشند. در محاسبات تنش از فرضیات ASME II استفاده می‌گردد (اما اغلب برای پوسته بیرونی و نه لوله‌ها)
- اجزای لوله صفحه لوله احتمالاً بر مبنای الزامات TEMA ( به جای ASME) می‌باشند.
- مخزن تحت فشار دارای مهر ASME نمی‌گردد.
- گستره NDT معمولاً بر مبنای ASME تعیین نمی‌شود. اغلب سیستم ساده‌تری استفاده می‌گردد.
- روشهای NDT و معیار پذیرش عیب می‌تواند بر مبنای کد ASME باشد و یا به وسیله توافق فروشنده/خریدار اصلاح گردد.
- این شکل، ویژگی‌های یک مخزن تحت فشار که از ASME اقتباس کرده است، را نشان می‌دهد؛ که امکان تفاوتهای زیاد نسبت به کد ASME وجود دارد. در شکل، موارد رایج نمایش داده شده است.

**شکل ۶-۱۶** مبدل حرارتی که ازASME VIII اقتباس کرده است.

## مبدل حرارتی که از ASME اقتباس کرده است

### نکات کلیدی

*۱. انطباق با کد*

- یک مخزن تحت فشار ساخته‌شده که از ASME VIII اقتباس کرده است، در تعریف به دارای مهر ASME نمی‌گردد. این به معنی آن است که یک مخزن تحت فشار ساخته شده بر این مبنا به طور مستقل بازرسی نمی‌شود و تایید انطباق کامل با کد ASME را ندارد و چنین هم شناخته نمی‌شود. بنابراین رجوع به ASME تنها جنبه راهنمایی دارد. برای اکثر مخازن تحت فشار ساخته‌شده بر این مبنا توافق با دستورات ASME VIII اغلب منحصر به بدنه تحت فشار بیرونی است( همانند مبدل حرارتی نشان داده شده در شکل۶-۱۶).

*۲. مواد*

- غالباً در ساخت مخازن تحت فشاری که از ASME VIII اقتباس کرده‌اند، از مواد مشخص شده به وسیله ASME II و ASME VIII استفاده نخواهد شد. مواد "جایگزین" باید به گونه‌ای بازرسی شوند که از حصول خواص دمای پایین و دمای بالا ( معادل با مواد مشخص شده در ASME II) اطمینان حاصل گردد. تفاوت‌های عمده معمولاً مربوط به خواص ضربه می‌باشد.
- حصول الزامات قابلیت ردیابی مواد در ASME چندان دشوار نیست. سیستمی که از گواهی EN 10204 مرتبه 3.1B برای قطعات تحت فشار بهره می‌برد، تقریباً با الزامات ASME VIII بخش UG-94 منطبق است.

*۳. بازرسی ساخت*

- بازرس مجاز ASME معمولاً با بازرس طرف سوم متفاوتی جایگزین می‌گردد. علیرغم اینکه نقش بازرسی احتمالاً مشابه آنچه که در UG-90 تعریف شده است می‌باشد، یک بازرس غیرمجاز نمی‌تواند مخازن تحت فشار تحت مهر ASME را تایید کند.
- NDT بخش مهمی است. اکثر مخازن تحت فشاری که از ASME VIII اقتباس گردیده‌اند، از انواع اتصال ABCD مشخص شده در ASME VIII استفاده نخواهند کرد و غالباً از محدوده ساده‌تر NDT استفاده می‌کنند. ( مانند RT یا UT روی درزجوش‌ها و DT/MT روی جوش‌های نازل).هر چند در این حالت می‌توان از حد پذیرش عیب ASME (UW-51,52) استفاده کرد؛ ولی در صورت توافق می‌توان از مراتب جایگزین نیز بهره برد. نکته‌ای که باید مدنظر داشت این است که قبل از پیش‌روی پروسه ساخت، باید مشخص شود که چه مبنایی برای گستره NDT و حد پذیرش عیب وجود دارد؛ چون این مطلب یکی از معمول‌ترین علل سردرگمی می‌باشد.

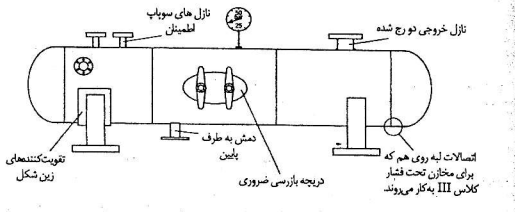
*۴. مستندسازی*

- به ندرت پیش می‌آید که محتوای مدارک باعث مشکلات قابل ملاحظه‌ای در مخازن تحت فشاری که از ASME اقتباس می‌کند، شود. اکثر اعمال مستند شده سازنده می‌تواند مورد موافقت قرار گیرد.

**شکل ۶-۱۷** مخزن تحت فشار با اقتباس از ASME VIII ـ نکات کلیدی



| کلاس | تعریف | نکات طراحی |
|---|---|---|
| I | فشار طراحی(P) و اندازه نامشخص | ورق‌های با انتهای تخت غیرقابل قبول هستند. نمونه آزمایشی ورقه‌ای شکل برای درزهای طولی موردنیاز است. |
| II | P ≥ حداکثر 35 barG<br>37 000 ≥ i.d(mm)*P(bar G) | نمونه آزمایشی ورقه‌ای شکل برای درزهای طولی موردنیاز است. (تنها نسبتهای خمشی و کششی عرضی) |
| III | P ≥ حداکثر 17.5 barG<br>8800 ≥ i.d(mm)*P(bar G) | نمونه آزمایشی ورقه‌ای شکل نیاز نیست. |




مواد

- دریافت‌کننده‌های هوا کلاس I از کلاس‌های فولاد زیر استفاده می‌کنند:
- BS EN 10207
- BS 1501 (ورق)
- BS 1503 (قطعات فورج)
- BS 1502/970 (میله)
- دریافت‌کننده‌های کلاس III از کلاس‌های BS 1449 و BS 4360 نیز استفاده می‌کنند.
- در صورتیکه دمای طراحی کمتر از صفر درجه سانتیگراد باشد، آزمایشات ضربه مورد نیاز است ( طبق BS 5500 ضمیمهD).

| مکان | الزامات NDT | | | معیار پذیرش |
|---|---|---|---|---|
| | کلاس I | کلاس II | کلاس III | |
| ورق پایه | مشخص‌نشده | موجود نیست | موجود نیست | • عیوب غیرقابل‌پذیرش عبارتنداز:<br>• ترک‌ها یا ذوب ناقص(I.o.f) |
| جوش‌های طولی و محیطی | ٪۱۰۰ RT | موجود نیست | موجود نیست | • آخال‌های خطی (BS 5169 ملاحظه شود) |
| جوشهای نازل و سایر جوشها | مشخص‌نشده | موجود نیست | موجود نیست | • مجموع حفرات > $6mm^2$ به ازای هر ۲۵میلیمتر ضخامت دیواره در هر $645\ mm^2$ سطح جوش |

**شکل ۶-۱۸** الزامات دریافت‌کننده‌های هوا Air reciver در BS 5169 (کلاس‌های II.I و III)

## الزامات کلی دریافت‌کننده‌های هوا مطابق "BS 5169"

### نکات کلیدی

*۱. انطباق با کد*

- در BS5169، نظارت صلاحیت‌دار برای دریافت‌کننده‌های کلاس I ضروری دانسته شده؛ ولی در کد مزبور مشخص نمی‌کند که بازرسی توسط سازمان مستقل مدنظر باشد. در عمل، معمولاً دریافت‌کننده‌های هوا از نقطه‌نظرالزامات اجباری معادل با مخازن تحت فشار BS 5500 در نظر گرفته می‌شوند و لذا معمولاً تحت پروسه گواهی مستقل قرار می‌گیرند.
- در کد، به ندرت مشاهده می‌شود که برای این دریافت‌کننده‌های هوا همه "انطباق جزئی با کد" مشخص شده باشد.

*۲. مواد به کار رفته در تجهیزات*

- برای دریافت‌کننده‌های کلاس I، ورق BS 1449 و BS 4360 مجاز نمی‌باشد.
- آزمایشات کشش و خمش لازم است.
- گواهی مواد برای دریافت‌کننده‌های کلاس I الزامی است. در مورد کلاس‌های II و III تنها در مواردی که دمای طراحی خارج از محدوده دمایی( ۱۰- و ۱۲۰) درجه سانتیگراد باشد. الزاماتی مشخص شده است.

*۳. بازرسی حین ساخت*

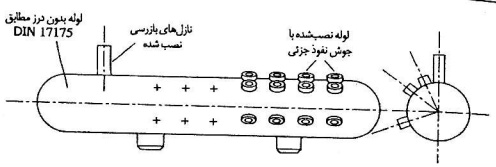
- گواهی جوشکار ،WPS و PQR برای مخازن تحت فشار کلاس‌های I و II مورد نیاز است.
- اکثر درزها با استفاده از جوشهای لب به لب دو طرفه پر می‌شوند. در صورت استفاده از جوش یک طرفه، به شرط انجام آزمایشات PQR رضایت‌بخش، می‌توان از یک نوار پشت‌بند استفاده نمود.
- برای دریافت‌کننده‌های کلاس I و II ، ورق‌های آزمایش جوش طولی مورد نیاز است.
- برای جوشهای لبه(LAP)(مجاز برای اتصالات هد به پوسته کلاس III) تنظیم پیش از جوش مهم است.
- فشار آزمایش هیدروستاتیک ۱۲۵٪ فشار طراحی برای کلاس۱ و ۱۵۰٪ فشار طراحی برای کلاسII می‌باشد.

*۴. مستندات*

- گواهی با استفاده از فرم رسمی X الزامی نیست، ولی در BS 5169 سازنده ملزم به صدور مدرک "گواهی تجهیزات و آزمایش" می‌باشد.

شکل ۶-۱۹ BS5169 ـ نکات کلیدی






مواد TRD104 الزامات خواص مکانیکی اصلی لوله‌های بدون درز را بیان می‌کند که این الزامات عبارتند از:

- حداقل انرژی ضربه (شیارV در ISO) برابر ۳۱-۳۱ ژول (بسته به استحکام کششی)
- حداقل قابلیت ازدیاد طول در شکست برابر ۱۶٪ ( با استفاده از یک نمونه مماسی)
- لوله‌های بدون درز نیاز به گواهی مواد DIN 50 049(N 10 204) نوع 3.1(B) دارند.

تلورانس‌ها عبارتند از:

- ۱٪ ± در قطر داخلی
- انحراف از مستقیم بودن ۰.۳٪ از طول سیلندر
- حداکثر خارج از دایره بودن< ۲٪ قطر میانگین

**شکل ۶-۲۰** لوله رابط بط سوپر هیتر مطابق کد بویلر TRD

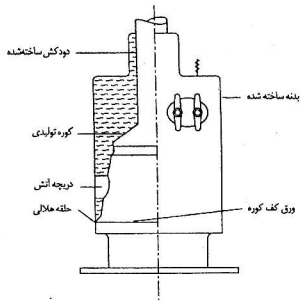
## طرح بازرسی و آزمون

استفاده از ITP[1] در صنعت ساخت مخزن تحت فشار به خوبی پذیرفته شده است.ITP یکی از مفیدترین مدارک کاری است که در آن فعالیتهای سازنده، پیمانکار و سازمان تاییدکننده قانونی به طور خلاصه بیان گشته است. به واسطه ماهیت قانونی مخازن تحت فشار می‌توان انتظار داشت که در ITP مجموعه‌ای از مراحل فنی موجود باشد. البته این مطلب شامل مواردی که نیاز به نظارت مستقیم بر مراحل فعالیت است، نمی‌شود؛ تعداد و گستره این موارد می‌تواند بین قراردادهای مختلف، متفاوت باشد.

در حالت کلی، توافقنامه‌ای بین بخش‌های درگیر وجود دارد که فعالیت‌هایی که باید در حین تولید مورد نظارت مستقیم قرار گیرند را، تعریف کرده است. به خاطر داشته باشید در ITP، اغلب گستره‌ی بازرسی اجباری که برای اهداف قانونی ضروری است، صریحاً تعیین نمی‌گردد. در اینگونه موارد، ملاک عمل کدهای متناسب مخزن می‌باشد و در بعضی موارد بسیار صریح‌تر از سایر مدارک است.

بنابر دلایل فوق، نمونه‌ای از ITP مخزن تحت فشار در شکل۶-۲۳، نشان داده شده است که روی مراحل فنی یک ITP مناسب متمرکز شده است؛ با این‌حال مسئولیت‌های مربوط به نظارت مستقیم این فعالیت‌ها تعریف نشده است. در این ITP مستندات مربوط به هر مرحله نیز شامل می‌شود. قبل از بررسی ITP مخازن تحت فشار تحت فشار، به عنوان راهنمایی به فصل۳ که موضوع ITP در حالت کلی بیان شده است مراجعه کنید. در تهیه ITP مخزن تحت فشار، موارد ذیل را مد نظر داشته باشید:

1- Inspection and Test Plans




**تعاریف کلاس**

| کلاس | تعریف | |
|---|---|---|
| I | فشار طراحی(P) > 7.2 و P/10 × قطر(d) > 920<br>فشار طراحی بر حسب بار و قطر بر حسب میلیمتر بیان می‌شود. | در الزامات ساخت، تفاوت زیادی در تجهیزات بین مخازن تحت فشار کلاس‌I،II و III وجود ندارد. اصلی‌ترین تفاوت در الزامات NDT است. |
| II | هیچ کدام از تعاریف کلاس‌I به کار نمی‌رود. | |
| III | P ≥ 3.8 و d ×P/10 ≥ 480 | |

**الزامات NDT**

| مکان | الزامات NDT | | معیار پذیرش |
|---|---|---|---|
| | کلاس‌I | کلاس‌II | کلاس‌III | |
| ورق پایه‌ی کف | UT٪۱۰۰ | UT٪۱۰۰ | الزامی نیست | BS 5996:Q- grade B4 and E3 |
| سایر ورق‌های اولیه | تنها لبه‌ها | تنها لبه‌ها | تنها بازرسی چشمی | BS5996: Q- grades E3(لبه‌ها) |
| جوش‌های لب به لب طولی | RT یا UT ٪۱۰۰ | RT٪۱۰ یا UT | تنها بازرسی چشمی | BS 2790 سه معیار پذیرش ارائه می‌کند. |
| جوش‌های محیطی پوسته به ورق کف | RT یا UT ٪۱۰۰ | RT یا UT ٪۱۰۰ | تنها بازرسی چشمی | |
| سایر جوش‌های محیطی | RT٪۱۰ یا UT | RT٪۱۰ یا UT | تنها بازرسی چشمی | بازرسی چشمی (پایین را ببینید) |
| جوش‌های کوره T شکل | RT٪۲۵ یا UT | RT٪۲۵ یا UT | تنها بازرسی چشمی | بازرسی رادیوگرافی |
| جوش‌های تجهیزات جانبی | PT٪۲۵ یا MT | PT٪۱۰ یا MT | تنها بازرسی چشمی | بازرسی الترasونیک |

**شکل ۶-۲۱** بویلر پوسته‌ای مطابق BS 2790 (کلاس‌های I، II، III)



BS2790 معیار پذیرش چشمی مربوط به خود را دارد که شامل موارد زیر است:
- بریدگی کناره جوش ≥ 0.5mm
- خفره انقباضی ≥ 1.5 mm
- سرفرنگی جوش مجاز نیست.
- نفوذ اضافی ≥ 3mm
- در هنگام تقویت جوش، امتزاج بایستی به خوبی صورت پذیرد.

**شکل ۶-۲۱** بویلر پوسته‌ای مطابق BS 2790 (کلاس‌های I،I و III) (ادامه)

- *انطباق یا کد.* یک ITP مخزن تحت فشار خوب در مورد موضوعات اصلی مانند فرایندهای جوشکاری، ساخت ورق‌های آزمایشی و NDT به بخش‌های مرتبط در استاندارد ارجاع می‌دهد.
- *معیار پذیرش.* ارجاع به استاندارد معیار پذیرش عیب در ITP از مواردی است که حتماً باید مدنظر قرار گیرد. در صورت موجود نبودن آن، باید یک نقطه توقف در ITP ایجاد نمود تا در این مورد با سازنده بحث کرد. البته بایستی متذکر شد حتی در کدهای مخزن تحت فشاری که معیار پذیرش عیب در آن موجود است، مباحثه و توافق بین طرفین لازم است.
- *نقاط توقف.* در نقطه توقف، سازنده باید تا تکمیل کارهای بازرسی، ساخت را متوقف کند. در تعیین این نقاط بایستی نهایت دقت را به عمل آورد. اغلب سازندگان، نقاط توقف را عامل تاخیر در کارها می‌دانند. به همین دلیل باید نقطه‌نظرات سازنده مدنظر قرار گیرد و توقف‌های اساسی به مراحل اصلی ساخت و همچنین در حین بازرسی نهایی/ آزمایش هیدرواستاتیک محدود گردد. البته این مطلب به معنی از دست دادن حق نظارت بر مراحل مهم ساخت نیست. معمولاً برای انجام این فعالیت‌ها، بازرسی غیر رسمی بدون اختلال در ساخت می‌تواند انجام گیرد.
- *مرور مستندات.* تعدادی از سازنده‌های مخزن تحت فشار پس از اتمام موفقیت‌آمیز بازرسی ابعادی/ چشمی و آزمایش هیدرواستاتیک اقدام به تکمیل مستندات می‌کنند. بعضی مواقع، مشاهده می‌شود که مستندات دو تا سه هفته پس از آزمایش هیدرواستاتیک تکمیل می‌گردند؛ در این مدت امکان دارد مخزن تحت فشار پس از شات بلاست و رنگ‌آمیزی آماده حمل شدن به محل نصب باشد. در عمل چنین روندی نمی‌تواند چندان مفید باشد؛ چون هر گونه مشکلی از بابت مستندات اشتباه و یا ناقص دیر روشن می‌شود؛

لذا در بسیاری از موارد، بازرسین برای ترخیص مخزن تحت فشار قبل از مرور کامل مستندات، تحت فشار قرار می‌گیرند. اگر شما به عنوان یک بازرس، ساز و کار ترخیص تجهیزات را درک کرده باشید (این موضوع در فصل۳ مورد بررسی قرا گرفته است)، هرگز با چنین مشکلی مواجه نخواهید شد. بایستی اطمینان حاصل کنید که تمام مستندات کلیدی در حین برنامه ساخت مرور شده‌اند. این مرور باید قبل از بازرسی ابعادی/ چشمی و آزمایش هیدرواستاتیک انجام شده باشد و لذا باید تذکرات لازم به منظور تکمیل این مستندات در مراحل اولیه ساخت داده شود. از سازنده بخواهید که آن را به شما نشان دهد؛ تنها به بیان اهمیت آن مستندات بسنده نکنید.

## بویلر پوسته‌ای مطابق BS 2790

### نکات کلیدی

*۱. انطباق با کد*

- طبق نظر BS 2790 گواهی مستقل مورد نیاز است.
- ویرایش‌های جدید کد، سازنده را موظف می‌سازد تا در محل ساخت سیستم کیفیت فعال داشته باشد.
- به ندرت مواردی مشاهده می‌شود که در آن "انطباق جزئی با کد " وجود داشته باشد.

*۲. مواد به کار رفته در تجهیزات*

- این بویلرهای پوسته‌ای عمدتاً از فولادهای کربنی و کربن-منگنزی مانند BS EN 10028/BS 1501 (ورق) و BS 1503 ( قطعات فورج) ساخته شده‌اند. سایر فولادها با کربن کمتر از ۰٫۲۵٪ می‌توانند تحت شرایط استاندارد استفاده شوند. در این مورد نیاز به بررسی خواص دمای بالا است.
- ورق‌های آزمایشی مورد نیاز است. نمونه‌هایی که مشخص کننده اتصالات لب به لب ذوب کامل یک طرفه هستند نیازمند آزمایشات خمش ریشه اضافی می‌باشند.
- مواد تحت فشار باید مشخص شوند، اما در استاندارد " قابلیت ردیابی کامل" به طور واضح مورد نیاز نیست.

*۳. بازرسی حین ساخت*

- گواهی صلاحیت جوشکار ،WPS و PQR (EN 287,288) مورد نیاز است.
- برای درزهای طولی و محیطی باید جوش‌های با نفوذ کامل استفاده شود. در این نوع جوش، حذف عیوب ریشه اهمیت زیادی دارد.
- تلورانس‌های هم‌راستایی اتصالات طولی در حدود t/10 است و حداکثر می‌تواند ۳ میلیمتر باشد.
- تعمیر جوش مجاز است- معیارهای پذیرش مشابه قابل استفاده است. معیار پذیرش جوش تعمیری مانند معیار پذیرش جوش اصلی است.
- در استاندارد، ۳ سری معیار پذیرش عیب وجود دارد. آنها مشابه موارد ذکر شده در BS 5500 هستند.
- اطمینان حاصل شود که جوش‌های تجهیزات جانبی، جوش‌های نازل یا درز را قطع نمی‌کنند.
- آزمایشات هیدرواستاتیک در ۱۵۰٪ فشار طراحی برای ۳۰ دقیقه انجام می‌شوند.

*۴. مستندات*

- هیچ‌گونه الزامی برای شکل گواهی صادر شده وجود ندارد. سازنده باید گواهی‌ای ارائه کند که توسط سازمان بازرسی مستقل تایید شود.
- معمولاً یک بسته مستندات کامل ( مشابه استاندارد BS5500) تهیه می‌شود.

**شکل ۶-۲۲** BS 2790 ـ نکات کلیدی



| فعالیت‌ها | مستندات مربوطه |
|---|---|
| *۱. ارزیابی طراحی* | |
| *۲. بازرسی مواد (قطعات فورج، ریختگی، ورق و لوله‌ها)* | |
| ۲.۱ قابلیت ردیابی/شناسایی | گواهی از سازمان بازرسی مستقل مبنی بر انطباق طراحی مخزن تحت فشار با استاندارد |
| ۲.۲ بازرسی ابعادی/چشمی | گواهی شناسایی مواد (شامل آنالیز شیمیایی) / گواهی تولیدکننده ورق. |
| ۲.۳ آزمایش UT ورق | علائم نشان‌دهنده نظارت. |
| ۲.۴ آزمایشات مکانیکی | گزارش آزمایش( و طرح). |
| *۳. حذف برچسب‌ها و انتقال نشان‌ها* | گواهی آزمایش |
| *۴. بازرسی لبه‌های بریده‌شده* | نتایج آزمایش مکانیکی ( شامل ضربه) |
| *۵. فرایندهای جوشکاری* | نقشه برش مواد (معمولاً نقشه ورق پوسته/کف و قطعات فورج شده) |
| ۵.۱ تایید پروسه‌های جوش | برگه نتایج MT/PT لبه‌های ورق آماده جوشکاری |
| ۵.۲ بررسی گواهی جوشکار | برگه WPS/PQR |
| ۵.۳ تایید مواد مصرفی | گواهی‌صلاحیت جوشکار |
| ۵.۴ تولید ورق‌های آزمایش | گواهی انطباق مواد مصرفی |
| *۶. جوشکاری* | نقشه موقعیت ورق آزمایش |
| ۶.۱ بررسی آماده‌سازی‌های جوش | بررسی بر اساس WPS |
| ۶.۲ بررسی خال جوشها و موتاژ درزها/نازل | برگه ضبط وقایع |
| ۶.۳ شیارزنی پشت جوش ریشه سمت اول، آزمایش PT برای ترک‌ها | برگه نتایج PT |
| ۶.۴ بازرسی چشمی درزجوش‌ها | برگه بازرسی چشمی و WPS |
| *۷. آزمایش غیرمخرب قبل از عملیات حرارتی* | |
| ۷.۱ RT یا UT درزهای طولی و محیطی | رویه آزمایش RT یا UT |
| ۷.۲ PT یا UT جوش‌های نازل | برگه نتایج عیب |
| ۷.۳ PT یا MT درزجوش‌ها | نقشه‌های NDT |
| ۷.۴ PT یا MT جوش‌های نازل | ثبت تعمیرات ( و نقشه مکان) |
| ۷.۵ رفع و تعمیر عیب | |
| *۸. عملیات حرارتی/ تنش‌زدایی* | برگه بررسی چشمی/ابعادی |
| ۸.۱ بررسی ابعادی/ چشمی قبل از عملیات حرارتی | نمودارهای دما/ زمان عملیات حرارتی |
| ۸.۲ بررسی عملیات حرارتی (از جمله استفاده ورق‌های آزمایش در جایی که کاربرد دارد) | |
| *۹. آزمایش غیر مخرب بعد از عملیات حرارتی* | پروسه‌های آزمایش RT یا UT |
| ۹.۱ RT یا UT روی درزهای طولی و کروی | برگه‌های نتایج NDT |
| ۹.۲ PT یا UT روی جوش‌های نازل | نقشه NDT |
| ۹.۳ PT یا MT روی درزجوش‌ها | |
| ۹.۴ PT یا MT جوش‌های تجهیزات جانبی | |
| *۱۰. بازرسی نهایی* | گواهی آزمایش |
| ۱۰.۱ آزمایش هیدرواستاتیک | برگه ثبت |
| ۱۰.۲ بررسی ابعادی و چشمی | برگه ثبت |
| ۱۰.۳ بازرسی داخل مخزن تحت فشار | برگه ثبت |
| ۱۰.۴ آماده سازی سطح/ شات بلاست | ثبت نتایج آزمایش چسبندگی و ضخامت رنگ |
| ۱۰.۵ رنگ آمیزی | ثبت نوع روغن استفاده شده |
| ۱۰.۶ حفاظت داخلی | رونوشت علامت ثبت شده بر مخزن تحت فشار ( پلاک شناسایی) |
| ۱۰.۷ علامت‌های مخزن تحت فشار | لیست بسته‌بندی |
| ۱۰.۸ بسته‌بندی | بسته کامل شامل ضمیمه |
| ۱۰.۹ بسته مستندات | فرمX یا معادل آن |
| ۱۰.۱۰ گواهی مخزن تحت فشار | ثبت تمام امتیازات اعطا شده (یا قضاوت فنی) |
| ۱۰.۱۱ جزئیات | |

**شکل ۶-۲۳** مخازن تحت فشار ـ محتویات یک ITP نمونه

## آزمایش فشار

تقریباً تمام مخازن تحت فشار طراحی شده برای کار در بالای فشار اتمسفری، تحت آزمایش فشار قرار می‌گیرند- در اغلب کارگاه‌های ساخت این آزمایش رایج و متداول است. بنابراین آزمایشات فشار با حضور ناظر یکی از کارهای رایج بازرسی است. آزمایش فشار، نقطه حضور تمامی طرف‌های درگیر در ITP است. در صورت صدور گواهی قانونی، حضور هنگام آزمایش فشار، از وظایف اصلی شرکت بازرسی و بازرسی رسمی است.

### منظور از آزمایش فشار

گاهی اوقات هدف از انجام آزمایشات فشار به خوبی درک نمی‌گردد. این آزمایشات بخشی از روند تایید یکپارچگی یک مخزن تحت فشار به شمار می‌رود- به خاطر داشته باشید که این آزمایشات یکی از معیارهای نشان داده شده در شکل ۶-۱، است. البته محدودیت‌هایی نیز درباره آزمایشات فشار وجود دارد. تنشهای اعمال شده به مخزن تحت فشار در حین یک آزمایش فشار از نوع استاتیک هستند؛ آنها باعث ایجاد تنش‌های اصلی و به تبع آن کرنش‌های اصلی روی یک مخزن تحت فشار می‌گردند. در حقیقت آزمایش تنها مقاومت مخزن تحت فشار را در برابر میدان‌های تنش و کرنش اصلی نشان می‌دهد و بارگذاری سیکلی (که باعث خستگی می‌شود)، خزش و یا سایر مکانیزم‌هایی که باعث شکست مخزن تحت فشار می‌شوند، در نظر نمی‌گیرد. توضیحات فوق به خوبی روشن می‌سازد که آزمایش فشار، یک آزمایش کامل به منظور بررسی احتمال شکست مخزن تحت فشار در شرایط کاری نمی‌باشد. در واقع امکان بروز شکست‌های ناگهانی در آزمایشات فشار تقریباً بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن است. همانطور که در فصول مختلف این کتاب ذکر شده است، تنها انجام آزمایش فشار نمی‌تواند سلامت مخزن تحت فشاری را که به طور کامل از لحاظ عیوب ( مخصوصاً عیوب جوش) بازرسی نشده، اثبات کند؛ علاوه بر این، آزمایش فشار نمی‌تواند سلامت مخزن تحت فشاری را که در آن عیوب قابل پذیرش یافت می‌شود، اثبات نماید.

- آزمایش فشار، آزمایشی برای بررسی نشتی تحت فشار می‌باشد.
- تنها برای همین مطلب کاربرد دارد.

### آزمایش هیدرواستاتیک استاندارد

این آزمایش رایج‌ترین آزمایش فشاری است که بر روی مخازن تحت فشار فولادی صورت می‌پذیرد. همچنین معمولاً به عنوان یک آزمایش هیدرولیک شناخته می‌شود. در هنگامی که ضخامت مخزن تحت فشار و تنش‌های مجاز به خوبی تعریف شده و هیچ‌گونه فاکتور ناشناخته مهمی در جنبه‌های مکانیکی طراحی وجود نداشته باشد، آزمایش هیدرولیک یک فعالیت مرسوم به شمار می‌رود. برای مخازن تحت فشاری مانند محفظه‌ها، لوله‌های رابط و دریافت‌کننده‌های هوا) یک آزمایش هیدرولیک می‌تواند تمام نیازهای ما را برآورده سازد. برای مبدل‌های حرارتی مانند هیترها، کولرها و تغلیظ کننده‌ها، روی هر "جداره سیال" مخزن تحت فشار یک آزمایش جداگانه انجام می‌پذیرد. شکل ۶-۲۴ راهنمایی از نحوه نظارت بر یک آزمایش هیدرواستاتیک را نشان می‌دهد. تمام کدهای مخزن تحت فشار فرمولی برای محاسبه فشار آزمایش به صورت ضریبی از فشار طراحی ارائه کرده‌اند. برای مقاصد بازرسی می‌توان فرض



### راهنمای نکات مورد توجه در نظارت یک آزمایش استاندارد هیدرواستاتیک روی هر نوع مخزن تحت فشار

**وضعیت مخزن تحت فشار**

- آزمایش باید پس از هر گونه تنش‌زدایی انجام شود.
- اجزای مخزن تحت فشار مانند لوله‌های انعطاف‌پذیر، دیافراگم‌ها و اتصالات که تحت آزمایش فشار قرار نمی‌گیرند باید جدا شوند.
- دمای کاری باید بالای صفر درجه سانتیگراد (ترجیحاً ۱۵-۲۰ درجه سانتیگراد) و بالای دمای تبدیل شکست ترد ماده مخزن تحت فشار باشد (اطلاعات حاصله از آزمایشات مکانیکی بررسی شود).

**فرایند آزمایش**

- تمام دریچه‌ها به وسیله فلنج‌های جامد مسدود شود.
- از پیچ و مهره‌های مناسب استفاده شود، نه بست‌های G .
- دو سنجه فشار در محل‌های مناسب نصب شود. محل نصب ترجیحاً روی نقاطی باشد که انشعاب‌های مستقلی دارند.
- لازم است به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر تمام هوای درون مخزن تحت فشار تخلیه شود. بررسی شود که نازل تخلیه در بالاترین نقطه باشد و شیر تخلیه در حین پمپاژ و تا هنگامی که تمام هوا خارج شود، بسته باشد. بهتر است در صورت امکان این مرحله تحت نظارت مستقیم باشد.
- پمپاژ باید به آهستگی صورت پذیرد ( با استفاده از یک پمپ پیستونی کم ظرفیت) به طوریکه تنش‌های فشاری دینامیکی بر مخزن تحت فشار وارد نشود.
- فشار آزمایش در ASME VIII ،BS5500 و یا استاندارد مرتبط مشخص شده است. این فشار مخزن تحت فشار را تحت تنش بیش از حد قرار نمی‌دهد. در صورت نیاز به اطمینان بیشتر، ازفشاری معادل ۱۵۰٪ فشار طراحی استفاده شود.
- پمپ را جدا ساخته و فشار را به مدت حداقل ۳۰ دقیقه نگه دارید.

**دنبال چه چیز بگردید؟**

- نشتی‌ها: اینها را باید عمدتاً دور درزها و جوش‌های نازل بررسی کنید. در ابتدا هرگونه رطوبت باید به وسیله هوای فشرده حذف شود؛ در صورت عدم انجام این کار، نشتی‌های کوچک معلوم نمی‌شوند. نشتی‌ها معمولاً در ترک‌ها یا نواحی حفره‌دار مشاهده می‌شوند.
- افت فشار در سنجه‌ها بررسی شود. هرگونه افت فشار، غیرقابل قبول می‌باشد.
- با اندازه‌گیری دقیق، اعوجاج وجوه فلنج بررسی شود. البته از آنجا که کرنش کلی مخزن تحت فشار بسیار کوچک است، بدون شک در اندازه‌گیری شما وارد نمی‌شود.
- در صورت مشکوک بودن، خواهان تکرار آزمایش شوید. این کار زیان چندانی وارد نمی‌کند.

شکل ۶-۲۴ آزمایش هیدرواستاتیک استاندارد – راهنما

کرد که فشار طراحی همانند فشار کاری است. به عنوان یک قانون کلی می‌توان بیان داشت در صورتی که فشار آزمایش به طور دقیق توسط سازنده محاسبه نشود، می‌توان این فشار را برابر ۱۵۰٪ فشار طراحی و مدت زمان اعمال را ۳۰ دقیقه در نظر گرفت.

### آزمایش پنوماتیک (هوا)

آزمایش پنوماتیک مخازن تحت فشار، یک آزمایش خاص است که در هنگام وجود دلایل کافی مبنی بر رجحیت داشتن آن نسبت به آزمایش هیدرولیک استاندارد، انجام می‌شود. دلایل رایج عبارتند از:

- مخازن تحت فشار سیستم سردکننده معمولاً بر مبنای ASME VIII ساخته شده و به طور پنوماتیک با نیتروژن مورد آزمایش قرار می‌گیرند.
- مخازن تحت فشار گاز خاصی که ضمانت شده نیستند و بنابراین وزن آب در آزمایش فشار را نمی‌توان تحمل کنند.
- مخازن تحت فشار استفاده شده در مکان‌های بحرانی که حتی مقادیر ناچیز آب نیز قابل قبول نیست این مخازن تحت فشار را عمدتاً می‌توان در صنایع تولید برق یافت.

آزمایشات پنوماتیک، آزمایشات خطرناکی هستند؛ زیرا گاز یا هوای فشرده انرژی بسیار زیادی دارد در صورت شکست مخزن تحت فشار، خسارت جبران‌ناپذیری وارد می‌شود. به همین دلیل مراحل مختلف قبل از آزمایش پنوماتیک و به منظور بالا بردن ایمنی آزمایش تعریف شده است. در شکل ۶-۵ راهنماییهای عمومی برای بررسی آزمایشات پنوماتیک و احتیاطهای لازم همراه آن ذکر شده است.

## آزمایش نشتی خلا

آزمایشات خلا ( که صحیح‌تر آن آزمایشات نشتی خلا است) با آزمایش هیدرواستاتیک و پنوماتیک تفاوت می‌کند. کاربردهای اصلی آن، در کندانسورها و واحد خروج هوای همراه آن است. اینها تجهیزات "خلا پایین" هستند که برای کار در فشارهایی تا حدود ۱ میلیمتر جیوه طراحی شده است. اکثر واحدهای خلا مهندسی در این دسته قرار می‌گیرند. البته کاربردهای آزمایشگاهی و مهندسی فراوان دیگری وجود دارد که در آنها از خلا بالاتر استفاده می‌شود؛ اما از آنجا که این موارد در مقایسه با کاربردهای رایج محدود و بسیار تخصصی است، در اینجا مورد بحث قرار نمی‌گیرد.

یک آزمایش خلا بیش از آنکه تنها در مورد خود مخزن تحت فشار اهمیت داشته باشد به عنوان یک آزمایش اثبات کننده برای سیستم خلا آن مطرح است. یک سیستم تزریق هوا از تعدادی مخزن تحت فشار کندانسور لوله‌ای و یک سیستم مرتبط کننده، تزریق کننده‌ها، لوله‌ها و شیرها تشکیل شده است. اغلب خروجی و ورودی کل سیستم مسدود شده و در وضعیت مونتاژ شده در معرض آزمایش خلا قرار می‌گیرد. آزمایش خلا بیش از آزمایش هیدرواستاتیک قابلیت جستجو دارد و توانایی شناسایی کوچکترین نشتی‌ها را دارد که آزمایش هیدرواستاتیک در بالاترین فشارها نیز نشان نمی‌دهد، دارد خواهد داشت. بنابراین هدف آزمایش خلا بیش از آنکه تشخیص ترک باشد، اندازه‌گیری نرخ نشتی می‌باشد.

### نرخ نشتی و واحدهای مربوطه

رایج‌ترین آزمایش برای نرخ نشتی، «روش عایق‌سازی و افت فشار» می‌باشد. سیستم مخزن تحت فشار یک فشار مشخص به وسیله یک پمپ خلا بخاری ( Vapour) یا گردان تحت خلا قرار گرفته و سپس عایق می‌گردد. به نکات زیر توجه کنید:

- نرخ نشتی قابل‌پذیرش معمولاً به شکل یک افزایش فشار مجاز (p) بیان می‌شود. این افزایش به وسیله طراح و با لحاظ کردن نرخ نشتی به صورت torr.Lit/sec بیان می‌گردد.

زمان (به ثانیه) / افت فشار × حجم مخزن تحت فشار = نرخ نشتی



### اقدامات پیشگیرانه قبل از آزمایش پنوماتیک

- در BS5500 به منظور تعیین کمّی ضریب ایمنی، مروری بر مراحل طراحی لازم است. الزامات NDT همان مواردی هستند که در کاربردهای ظروف تحت فشار دسته۱ یا دسته۲ مشخص شده‌اند؛ به علاوه تشخیص ترک سطحی با (MT یا PT) ۱۰۰٪ روی سایر جوشها صورت می‌پذیرد.
- طبق ASME VIII (بخش UW-50) تمام جوش‌های نزدیک دریچه‌ها و تمام جوشهای تجهیزات جانبی باید در معرض آزمون تشخیص ترک سطحی (MT یا PT) ۱۰۰٪ قرار گیرند.
- به منظور اطمینان بیشتر، بهتر است NDT حجمی ۱۰۰٪ و تشخیص ترک سطحی روی تمام جوش‌ها قبل از یک آزمایش پنوماتیک صورت پذیرد- حتی در صورتیکه کد مخزن تحت فشار آن را ذکر نکرده باشد، مخزن تحت فشار باید در یک گودال باشد.

### فرایند آزمایش

- در هنگام آزمایش مخزن تحت فشار باید در یک گودال باشد، یا به وسیله دیواره‌های بتنی احاطه شده باشد.
- دمای آزمایش باید بالای دمای شکست ترد باشد. در انجام آزمایش می‌توان از هوا استفاده کرد؛ اما استفاده از گاز خنثی مانند نیتروژن مناسب‌تر است.
- فشار باید به تدریج و بسیار آهسته در مراحل ۵-۱۰٪ افزایش یابد- در هر مرحله، اجازه پایداری داده شود.
- BS5500 حداکثر فشار آزمایش را ۱۵۰٪ فشار طراحی مشخص کرده است.
- ASME حداکثر فشار آزمایش را ۱۲۵٪ فشار طراحی مشخص کرده است – البته باید در این مورد با احتیاط برخورد کرد، چون شرایطی در آن بیان شده است.
- هنگامی که فشار آزمایش به نقطه مورد نظر رسید، مخزن تحت فشار باید عایق شده و کاهش فشار بررسی گردد. به خاطر داشته باشید که افزایش دمای ناشی از فشار خلا می‌تواند بر فشار تاثیر بگذارد.

شکل ۶-۲۵ آزمایش پنوماتیک- راهنما

برای مقاصد بازرسی می‌توان فشار torr1را برابر I میلیمتر جیوه در نظر گرفت. همچنین بایستی توجه داشت در هنگام بحث درباره خلا، فشارها به صورت مطلق بیان می‌گردند – بنابراین خلا 759 میلیمتر جیوه در فشار اتمسفر به صورت +1 میلیمتر جیوه نشان داده می‌شود.

- نرخ نشتی را می‌توان بر حسب سایر واحدها نیز بیان داشت که معمولاً برای سیستم‌های خلا زیاد استفاده می‌شود. در صورتی که از واحدی استفاده شود که قابل درک نباشد، ساده‌ترین راه تبدیل آن به واحد torr/s در سیستم SI می‌باشد.
- از آنجا که نرخ نشتی تابعی از حجم است، حجم تمام اجزای سیستم باید به طور دقیق تعیین شود. در اینجا استفاده از حجم طراحی تقریبی مخازن تحت فشار قابل قبول نیست.

### رویه آزمایش

رویه آزمایش " عایق‌سازی و افت فشار" ساده است. مراحل آزمایش عبارتند از : ایجاد خلا در سیستم، بستن شیرها و بررسی افزایش فشار در طول آزمایش. با این‌حال عمده تلاش باید بر روی مرحله آماده‌سازی آزمایش متمرکز گردد- اگر این مرحله به خوبی انجام نشود، امکان رسیدن به نتایج بی‌اعتبار زیاد است. شکل ۶-۲۶، اقداماتی را که قبل از آزمایش نشتی خلا بایستی انجام شود، ذکر می‌کند. از این فعالیت‌ها می‌توان در هنگام بازرسی یک آزمایش متوقف شده به واسطه ایجاد نشتی و همچنین آزمایشی که آماده‌سازی آن به خوبی صورت نگرفته ( این نتیجه پس از پرس و جو حاصل می‌شود که در فصل ۲ به آن

اشاره شد)، استفاده برد. نکته ای که بایستی به آن اشاره نمود این است که نباید عجولانه و قبل از این نکات اقدام به صدور NCR برای نشتی اضافی نمود. مسلماً یادآوری این نکات، علاوه بر آنکه شما انجام کارهای تکراری بر حذر می‌دارد، می‌تواند صرفه‌جویی در وقت و هزینه را برای سازنده به دنبال داشته باشد.

یافتن نشتی‌ها در عمل، اغلب دشوار می‌باشد. در صورتی که مشخص شود نرخ نشتی بالاتر از مشخصی است، ولی کماکان کوچک باشد، نیاز به بررسی مجدد سنجه فشار و تنظیم تجهیزات است. این مکان‌ها، محل‌های مناسبی برای ورود هوا به شمار می‌روند. گام بعدی جدا کردن بخش‌های مختلف سیستم به منظور تشخیص ناحیه نشتی می‌باشد. پس از آن سیستم را می‌توان با استفاده از دمش هوای کم فشار و یک مخلوط آب/صابون به نواحی مشکوک تحت بررسی بیشتر قرار داد. توصیه می‌شود نشتی‌های ویژه‌ای روی اتصالات داشته باشید. نشتی‌ها به صورت حباب‌هایی روی سطح ظاهر خواهند شد.

## بازرسی ابعادی و چشمی

بازرسی ابعادی و چشمی بخشی از بازرسی نهایی است که روی مخازن تحت فشار انجام می‌شود. بازرسی نهایی در مورد مخازن تحت فشاری که نیاز به گواهی قانونی دارند، الزامی است. بازرسی ابعادی و چشمی می‌تواند قبل یا بعد از آزمایش هیدرواستاتیک استاندارد صورت پذیرد. البته اغلب پس از آزمایش انجام می‌شود؛ لذا امکان بررسی‌های داخلی وخارجی در حین همان بازدید نهایی فراهم می‌گردد. در این مرحله مخزن تحت فشار آماده شات‌بلاست و رنگ‌آمیزی می‌باشد. بازرسی ابعادی و چشمی اغلب با هم انجام می‌شوند، ولی برای انجام بهتر هر یک می‌توان آنها را جداگانه انجام داد.

## بازرسی چشمی

هدف از بازرسی چشمی، یافتن مشکلاتی است که می‌تواند یکپارچگی را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر این با این بررسی می‌توان سرنخ‌هایی از اشکالات حین ساخت که از دید بازرس خارجی پنهان مانده است، به دست آورد.

### سطح خارجی مخزن تحت فشار

اصول اصلی بازرسی برای تمام مخازن تحت فشار مشابه می‌باشد. این نکات باید مورد بررسی قرار گیرند.

- *چینش ورق‌ها.* نقشه چینش ورق‌ها را همراه با نقشه تایید شده اصلی بررسی کنید. هر نقشه‌ای را برای بررسی برندارید؛ فقط از نقشه‌هایی که مهر معتبر دارند، استفاده کنید. سازندگان برای استفاده بهینه معمولاً تغییراتی در نقشه ایجاد می‌کنند تا از ورق‌های داخل انبار بتوانند استفاده کنند. در این صورت تغییراتی مانند نزدیکی زیاد دریچه نازل‌ها به خط جوش را بررسی کنید.
- *وضعیت ورق.* ورق را از لحاظ گودافتادگی و هر گونه آسیب فیزیکی بازرسی کنید. به دنبال هر گونه شیار و آثار سنگ زدن یا خراش باشید و خراش‌هایی را که عمیق‌تر از ۱۰٪ ضخامت ورق هستند مورد توجه قرار دهید.
- *پرداخت سطح.* پوسته‌های نوردی روی سطح ورق قبل از عملیات شات‌بلاست مجاز است. سطح باید لحاظ هر گونه موج‌های مشخص سطحی ناشی از نورد نادرست، بازرسی شود.



### اهمیت آماده‌سازی

۱. برای تشخیص نشتی‌های اصلی قبل از انجام آزمایش خلا بایستی یک آزمایش هیدرواستاتیک استاندارد انجام شود.
۲. در آزمایش نشتی قطعات کوچک (لوله، شیرآلات، تجهیزات انشعابات و غیره) قبل از مونتاژ اجزا، آزمایش نشتی انجام شود. بهترین راه آزمایش اجزای تحت فشار، قرار دادن آنها در آب است.
۳. سطوح داخلی تمام اجزا باید کاملاً تمیز و خشک باشد. هر گونه رطوبت یا روغن می‌تواند باعث جذب هوا شده که در حین آزمایش آزاد می‌شوند و باعث ایجاد خطا در نتایج می‌گردند.
۴. تمام سطوح فلنج‌ها باید قبل از مونتاژ به طور چشمی بازدید و تمیز شوند. تمام خراش‌ها باید پولیش زده شوند. از اتصالات لوله نو استفاده شود. از چسب‌های مایع و یا خمیری نباید استفاده شود، چون می‌تواند جلوی نشتی‌ها را بگیرد.
۵. آزمایش درشرایط خشک و نسبتاً گرم ( حداقل ۱۰ درجه سانتیگراد) انجام شود.
۶. وضعیت قرارگیری باید به گونه‌ای باشد که بخش‌های مختلف سیستم بتوانند از همدیگر جدا باشند. این کار باعث می شود محل‌های نشتی بهتر تشخیص داده شوند...

۶-۲۶ آزمایش نشتی خلا - راهنما

- *کاهش ضخامت.* سنگ زدن بیش از حد غیر قابل قبول است، زیرا باعث کاهش ضخامت موثر ورق خواهد شد. در این رابطه بایستی توجه خاصی به اتصال هد به بدنه شود. گاهی اوقات این ناحیه به منظور قرارگیری در محل خود خیلی زیاد سنگ زده می‌شود.
- *برآمدگی.* کل پوسته از لحاظ هرگونه برآمدگی بررسی شود. این نوع عیب اغلب به دلیل اعمال نیروی زیاد در حین خال جوش زدن یا انحراف از دایره بودن رخ می‌دهد.
- *موقعیت فلانج نازل.* بررسی شود که نازل‌ها در حین تولید یا عملیات حرارتی از محل صحیح خود خارج نشده باشند. این جابجایی می‌تواند باعث شود که موقعیت فلانج‌های نازل نسبت به محور مخزن تحت فشار تغییر کند؛ لذا یک بررسی ساده با یک تراز فولادی لازم است.
- *جوشکاری.* تمام جوشهای خارجی مورد بازرسی چشمی قرار گیرد ( از راهنمای ارائه شده در فصل۵ که برمبنای BS 5289 است استفاده شود). شما می‌توانید از طریق بررسی عرض جوش به براوردی از صحیح بودن پخ‌زنی ورق برسید. بررسی شود که یک جوش دو طرفه با یک جوش یک طرفه جایگزین نشده باشد؛ که دلیل این امر می‌تواند دشوار بودن دسترسی به داخل مخزن تحت فشار برای سازنده باشد. جوشهای ناهموار اطراف نازل‌ها مخصوصاً مواردی که قطر آن کمتر از ۵۰ میلیمتر است، بررسی شود. معمولاً در این نواحی امکان داشتن سطح جوش خوب دشوار است؛ لذا باید عیوبی چون نفوذ ناقص مد نظر قرار گیرد.

### سطح داخلی مخزن تحت فشار

بازرسی داخل مخزن تحت فشار از اهمیت زیادی برخوردار است. این کار نمی‌تواند تنها از طریق درب ورودی انجام گردد- در اینجا به منظور داشتن یک بازرسی مناسب لازم است با نور کافی به داخل مخزن تحت فشار رفت. در این رابطه نکات زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد:

- *تراز بودن کلگی به بدنه.* اکثر سازندگان توجه زیادی به تنظیم لبه‌های محیطی داخلی اتصال هد به بدنه می‌کنند.

- *ردیف‌های نازل.* طول ردیف‌های نازلی که به درون مخزن تحت فشار آمده‌است بررسی شود. مجاز باید نقشه‌های اولیه تایید شده بررسی شوند.
- *درزجوش‌ها.* در بررسی درزجوش‌های داخلی باید از بازرسی چشمی مشابه ناحیه بیرونی بهره گرفت. همچنین باید اطمینان حاصل شود که هر گونه پاشش جوش از اطراف جوش جمع‌آوری شده باشد.
- *خوردگی.* تمام سطوح داخلی به منظور ارزیابی خوردگی بررسی شوند. لکه‌های روشن روی سطح ممکن است به وسیله آب آزمایش هیدرواستاتیک ایجاد شده باشند و نباید به آن توجهی کرد، صورتی که درگواهی ساچمه‌زنی داخلی ذکر نشده باشد، چنین لکه‌هایی باید به وسیله برس سیمی حذف شوند. در حالت کلی نباید نشانی از پوسته‌های نوردی روی سطوح داخلی باشد. در صورت وجود چنین موردی، می‌توان گفت که ورق قبل از ساخت به درستی ساچمه‌زنی نشده است.
- *اتصالات داخلی.* بررسی شود که تمام آنها صحیح و مطابق نقشه باشند. در بسیاری از مخازن تحت فشار اتصالات داخلی مانند جداکننده‌های بخار قابل جابجایی هستند. محل وسایل داخلی نیز از اهمیت زیادی برخوردار است- بایستی اطمینان حاصل کرد که این وسایل مطابق نقشه مخزن تحت فشار جاسازی شده‌اند. همچنین بررسی تنظیم بودن درب اصلی و سایر تجهیزات مرتبط از ارزش زیادی برخوردار است.

در صورت وجود هر گونه عدم قطعیت از نتایج بازرسی داخلی باید سریعاً و قبل از اینکه سازنده اقدام در جهت بسته‌بندی نهایی کند آنرا اطلاع داد. همه نواحی جوشکاری مورد تردید باید با استفاده از آزمایش مایعات نافذ بررسی شوند ( فصل۵ ملاحظه شود). در انتها نیز بایستی گزارشی از تمام نواحی مورد بررسی همچنین عیوب یافت شده تهیه شود.

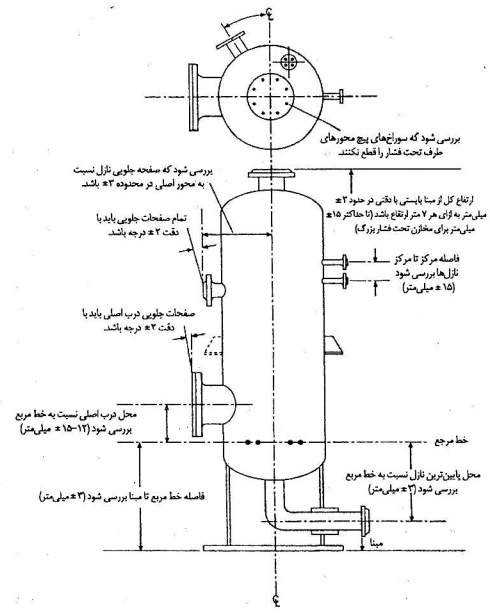
## بازرسی ابعادی

بازرسی ابعادی مخازن تحت فشار از فعالیتهای رایج می‌باشد. علیرغم اینکه ساخت مخزن تحت فشار فعالیت خیلی ظریفی محسوب نمی‌شود، ولی موقعیت اتصالات متصل به بدنه آن از اهمیت زیادی برخوردار است. هم ترازی لوله‌های اتصال می‌تواند تغییر کند؛ در صورتیکه محاسبات تنش لوله با فرض هم ترازی نسبت به مکانهایی مانند فلنج‌های مخزن تحت فشار،انجام می‌شود. بنابراین باید از هرگونه عدم هم ترازی جلوگیری نمود. در عمل، بازرسی ابعادی می‌تواند قبل و یا بعد از آزمایش هیدرواستاتیک انجام شود. هرگونه کرنش یا اعوجاج رخ داده کوچک بوده و لذا به دشواری توسط روش‌های اندازه‌گیری ساده قابل ارزیابی است. معمولاً سازنده مخزن تحت فشار قبل از رسیدن بازرس اقدام به تهیه گزارش بازرسی ابعادی تنها در مورد ابعاد کلیدی) می‌نماید. این کار با حذف بعضی جنبه‌های مورد نظر برای بازرسی، کار بازرس را اندکی آسان می‌کند. بازرسی ابعادی می‌تواند با استفاده از یک نوار فولادی بلند لبه صاف انجام گردد.

تلورانس‌های ابعادی برای مخازن تحت فشار در دامنه وسیعی تغییر می‌کنند. در این رابطه بایستی تلورانس‌های مشخص‌شده در نقشه ساخت دنبال شود. در صورت بزرگ بودن تلورانس‌ها، مثلاً بیش از ۶-۵± میلیمتر، بررسی مجدد آنها الزامی است؛ توجه داشته باشید استاندارد فنی DIN 8570 که استانداردهای رایج است، راهنمایی‌های عمومی را برای تجهیزات تولیدی ارائه می‌نماید. در هنگام بازرسی ابعادی، مراحل زیر را رعایت نمایید:



- *خطوط مرجع.* در ابتدا خطوط مرجع را با استفاده از نقشه رسم نمایید. هر مخزن تحت فشاری دارای دو خط مرجع طولی ( معمولاً خط مرکزی) و عرضی می‌باشد. خط عرضی معمولاً خط جوش محیطی نمی‌باشد؛ این خط می‌تواند در فاصله 100-50 میلیمتری از درز به سمت هد قرار داشته باشد شکل ۶-۲۷. معمولاً این خط روی مخزن تحت فشار با گچ یا ماژیک کشیده می‌شوند.
- *موقعیت درب اصلی.* موقعیت درب اصلی باتوجه به خط مرجع طولی بررسی شود.
- *دیواره فلنج درب اصلی.* بررسی شود که وجه فلنج نسبت به صفحه مربوطه آن موازی باشد. در اینجا تلورانسی با زاویه۱ درجه قابل قبول می‌باشد.
- *موقعیت نازل.* یکی از مهمترین ابعاد قابل اندازه‌گیری، موقعیت نازل‌ها با توجه به خطوط مرجع می‌باشد. در اینجا اندازه‌گیری فاصله لبه هر فلنج نازل نسبت به خط مرجع آسان‌تر از تعیین موقعیت مرکز هر نازل می‌باشد.
- *دیواره‌های فلنج نازل.* برای این کار از یک نوار لبه صاف بلند روی وجه فلانج استفاده شود و سپس فاصله بین لبه صاف تا بدنه مخزن تحت فشار اندازه‌گیری شود. وجوه فلنج مخزن تحت فشار نبایستی انحرافی بیش از 0.5 درجه نسبت به صفحه مربوطه داشته باشند. علاوه بر این فاصله هر دیواره فلنج نازل از خط مرکزی مخزن تحت فشار باید اندازه‌گیری شود- تلورانس 3 ± میلیمتر قابل قبول است.
- *سوراخ‌های پیچ فلنج.* اندازه سوراخ‌های پیچ بررسی شود؛ معمولاً برای ایجاد سوراخ‌های پیچ، سوراخ‌های افقی با هم و سوراخ‌های عمودی با هم فرزکاری می‌شوند.
- *اندازه‌گیری انحنای مخزن تحت فشار.* مخازن تحت فشار عمودی و افقی اغلب در حول محور مرکزی انحنا پیدا می‌کنند. انحناء، معمولاً در نتیجه تنش‌های نامتقارن حین ساخت و عملیات حرارتی ایجاد می‌گردد. میزان انحنای مجاز بستگی به طول (یا ارتفاع) و قطر مخزن تحت فشار دارد. یک مخزن تحت فشار کوچک با 3-5 متر طول و قطر حداکثر 1.5 متر باید انحنایی کمتر از ۴ میلیمتر داشته باشد. همچنین به عنوان نمونه یک مخزن تحت فشار بویلر با طول حدوداً 10 متر و قطر 2.5 متر می‌تواند انحنایی حدود 6-7 میلیمتر داشته باشد؛ البته مقادیر بیشتر از این، نمی‌توانند مطلوب باشد. به منظور تشخیص انحنا می‌توان با چشم، سطح خارجی مخزن تحت فشار را بازدید کرد. به منظور آگاهی از میزان انحنا، سه یا چهار نقطه در اطراف محیط مخزن تحت فشار بایستی به وسیله یک سیم کشیده ارزیابی شود.
- *نگهدارنده‌های مخزن تحت فشار.* مخازن تحت فشار افقی معمولاً نوعی نگهدارنده زین شکل دارند. باید به دقت از قرارگیری مناسب مخزن تحت فشار اطمینان حاصل گردد. در اینجا تلورانس 3 ± میلیمتری کافی است. البته برای مخازن تحت فشار ذخیره بزرگ‌تر که تمایل بیشتری به انحراف دارند تلورانس کمتری بایستی وجود داشته باشد. مخازن تحت فشار عمودی می‌توانند نگهدارنده‌های زین شکل سه پایه داشته باشند که در شکل۶-۲۷ نمایش داده شده است. در این مورد بایستی با دقت بیشتری عمل شود. مخزن تحت فشار با حداکثر انحراف ۱ درجه باید قرار گیرد. بهترین زمان برای بررسی پایه‌های لوله‌ای، قبل از جوشکاری آن به بدنه‌ی مخزن است.




**سطوح پذیرش قوس مخزن تحت فشار**

| ارتفاع (mm) | قطر (mm) | | |
|---|---|---|---|
| | 1200 > | 1300 > | 1700 > |
| 3000 > | 2.5 | 2 | 2 |
| 9000 - 3000 | 4 | 7.5 | 6 |
| > 9000 | 5 | 10 | 8 |

**شکل ۶-۲۷** بازرسی ابعادی مخزن تحت فشار



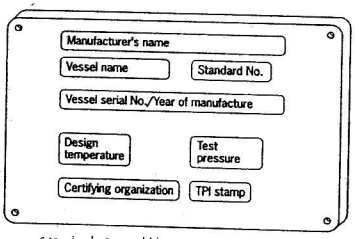
در بازرسی ابعادی یک مخزن تحت فشار، معمولاً امکان خارج از حد تلورانس بودن بعضی ابعاد وجود دارد. این مطلب الزاماً به معنی رد شدن مخزن تحت فشار نیست. با اینحال در گزارش بازرسی بایستی محل‌های انحراف به خوبی مشخص شده باشد. همچنین باید ذکر شود که آیا این انحرافات می‌توانند FFP مخزن تحت فشار را تحت تاثیر قرار دهد ( مانند به هم خوردن تنظیم نازل‌ها) یا خیر. علاوه بر این، هر گونه غیر دقیق بودن ابعاد که می‌تواند اتصال مخزن تحت فشار به سیستم‌های لوله‌کشی در سایت را تحت تاثیر قرار دهد، باید مورد توجه قرار گیرد.

## نشان‌های مخزن تحت فشار

نشان‌های روی مخزن تحت فشار در هنگام دریافت مخزن تحت فشار در محل نصب آن، منبع مهمی از اطلاعات می‌باشد. یک واحد صنعتی بزرگ دارای صدها مخزن تحت فشار است که بر اساس کدهای مختلف ساخته شده‌اند و کاربردهای گوناگونی دارند و لذا شناسایی هر کدام از آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. بسیاری از مخازن تحت فشار پس از نصب در معرض آزمایش هیدرواستاتیک دیگری قرار می‌گیرند و لذا در این مورد، اطلاعات فشار طراحی و فشار حین کار بایستی به خوبی روشن شده باشد. علاوه بر این علامت‌گذاری صحیح جزو الزامات کدهای مخزن تحت فشار بوده و شرایط کاربرد صحیح مخزن تحت فشار در آن مشخص شده است. در عمل، علامت‌گذاری مخزن تحت فشار به وسیله حک کاری بدنه و یا استفاده از پلاک‌های مخصوص صورت می‌پذیرد. اگر مخازن تحت فشار برای کار در دماهای پایین طراحی شده باشند، استفاده از پلاک‌هایی با ضخامت کمتر از ۷ میلیمتر ارجحیت دارد. نمونه‌ای از این پلاک‌ها در شکل (۶-۲۸) نمایش داده شده است.

به منظور بالاتر بردن دقت کار ، این پلاک‌ها بایستی در حین بازرسی نهایی با استفاده از راهنمای زیر بررسی شود:

- جزئیات مورد نیاز برای تکمیل پلاک بایستی قبل از خروج مخزن تحت فشار از محل ساخت تکمیل شده باشد. این مطلب تمام اطلاعات مورد درخواست در شکل۶-۲۸، را شامل می‌شود. تنها مورد استثنا هنگامی است که به طور واضح و روشن توافق شده باشد که آزمایش هیدرواستاتیک استاندارد در محل نصب مخزن تحت فشار انجام شود، نه در محل ساخت. این به ندرت اتفاق می‌افتد؛ ولی با اغلب کدهای مخزن تناقضی ندارد.
- بایستی اطمینان حاصل کرد که بازرس قانونی پلاک را حکاکی کرده است. این مطلب می‌تواند باعث اطمینان بیشتر کارکنان محل نصب از رعایت جنبه‌های قانونی طراحی و ساخت گردد.
- *امتیازنامه‌ها*. یک مخزن تحت فشار با امتیازنامه انطباق کامل با کد بایستی به خوبی شناخته شود. راههای مختلفی برای جلب توجه کارکنان محل نصب به این امتیازنامه وجود دارد. در صورتی که این کار به خوبی صورت پذیرد، می‌توان هر گونه محدودیت در کاربرد مخزن تحت فشار را به خوبی مشخص ساخت. برای مخازن تحت فشار BS 5500 راه‌حل رایج، افزودن علامتXX به شماره سریال پلاک می‌باشد. در صورت اعمال این علامت‌گذاری، توضیحات مربوط به امتیازنامه بایستی به خوبی در بسته مستندات مخزن تحت فشار ذکر گردد. همچنین یادداشت ویژه‌ای در گزارش بازرسی ارائه شود.
- از اتصال کامل پلاک به مخزن تحت فشار اطمینان حاصل شود. در عمل بایستی ابتدا یک پلاک




**شکل ۶ـ۲۸** پلاک مخزن تحت فشار ـ محتویات ضروری

فولادی به بدنه جوش داده شود و سپس پلاک مربوط به مشخصات بر روی آن پیچ یا پرچ گردد. پلاک شل را نپذیرید؛ زیرا امکان دارد، پلاک جدا و گم شود.

## عدم انطباق و اقدامات اصلاحی

در صورت وجود هر گونه عدم انطباق در یک مخزن تحت فشار، معمولاً امکان شناسایی آنها وجود دارد. دلیل اصلی این مطلب آن است که الزامات یک بازرسی قانونی، استفاده از ITP و بازرسی دقیق مخزن تحت فشار را متذکر شده است. مسئله‌ای که در این باره می‌تواند مشکل‌زا شود، کشف دیرهنگام عدم انطباق است که امکان اقدامات اصلاحی را محدود می‌گرداند. در عمل دو نوع عدم انطباق وجود دارد؛ نوعی که می‌توان با یک اقدام اصلاحی انطباق کامل با FFP را ایجاد کرد و نوع دیگری که تنها راه اصلاح، بازنگری فعالیتهای صورت‌گرفته می‌باشد. البته راه حل دوم راه حل کاملی به شمار نمی‌رود و اغلب منجر به ارائه یک اصلاحیه همراه با مخزن تحت فشار می‌گردد.

بخش مهمی از نقش یک بازرس در بازرسی مخازن تحت فشار موافقت با راه‌حل‌های ارائه شده در زمینه عدم انطباق‌ها می‌باشد. این امر می‌تواند باعث اعمال فشارهای زیادی از جانب سازنده مخزن تحت فشار به منظور پذیرش راه‌حل‌های سابق گردد. این مطلب شامل مصالحه در مورد بعضی معیارهای FFP می‌باشد. در این موارد، به منظور کاهش هزینه‌ها بایستی با حفظ جوانب فنی به دنبال راه‌حل‌های توافقی باشد. سازنده بود. رهیافت جایگزین که صرفاً تکیه بر جنبه‌های فنی است، هر چند می‌تواند قابل قبول باشد، ولی هزینه و زمان را بالا خواهد برد.

در کنار اصول بیان شده فوق، موارد مهم و رایجی از عدم انطباق که در مخازن تحت فشار یافت می‌شود، در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همیشه سعی کنید تا جایی که عدم انطباق‌ها از لحاظ فنی مشکلی ایجاد نمی‌کنند، به دنبال راه‌حل هایی باشید که مستقیماً با سازنده سر و کار داشته باشید. این بسیار اقتصادی و موثر است. روش دیگر، مراجعه به یک متخصص فنی است. این روش قابل قبول بوده، ولی هزینه بالایی دارد.



این اصول را در یافتن یازده نوع عدم انطباق عمده در مخازن تحت فشار به خاطر داشته باشید. در اینجا سعی می‌شود که عدم انطباق‌های رایج، به طور مفصل شرح داده شود.

### گم شدن مستندات

در عمل، چنین وضعیتی به وفور یافت می‌شود. از جمله علل وقوع آن می‌توان به لحاظ نکردن مراحل ITP اشاره نمود. همچنین گاهی اوقات در نتیجه ارتباط ضعیف با تامین‌کنندگانی که در مراتب پایین‌تر زنجیره ساخت قرار دارند، چنین حالتی روی می‌دهد. هنگام مواجه شدن با این مسئله، بایستی به سرعت در مورد علت گم شدن مستندات تصمیم گرفت که آیا گم شدن مدارک، معیارهای FFP را به مخاطره می‌اندازد یا خیر. در حدود ۹۰ درصد مواقع، چنین فرضی صحیح نیست و فعالیت مرتبط به درستی انجام شده است؛ ولی مستندات مربوطه مفقود شده است. در سایر موارد، ایرادات در بحثFFP (به خصوص در مورد NDT) وجود دارد که می‌تواند منجر به عدم اطمینان از سلامتی جوش گردد. بهترین کار در چنین مواقعی عبارت است از:

- تصمیم‌گیری در مورد در معرض خطر بودن FFP.
- پرسیدن سوال: بررسی مدارک ارائه شده در مورد انجام تمام فعالیت‌های لازم ( علیرغم مفقود شدن مستندات مربوطه).
- برای حل کردن مسئله تمام تلاش خود را به کار بندید و در صورت لزوم با تامین‌کننده‌های اولیه تماس بگیرید.
- اقدام به صدور عدم انطباق با ذکر مستندات مفقوده نمایید. همچنین در این گزارش به تصمیمات اخذ شده اشاره و نظر خود را در مورد علت مفقود شدن مستندات اعلام نمایید و همچنین قید کنید که آیا مدارک مفقود شده بر FFP تاثیر می‌گذارند یا خیر.

### ناقص بودن گواهی قانونی

موقعیت‌های متعددی وجود دارد که می‌تواند منجر به نقص در گواهی تحت پوشش الزامات اجباری بودن گردد. ابهاماتی در مورد مسائل طراحی، مستندات مفقود شده و یا مشاهدات در حین فرایند ساخت، همگی مواردی هستند که سازمان تاییدکننده را با تردیدهایی مواجه می‌کند. در این وضعیت، گواهی انطباق با کد فاقد شرایط لازم، صادر شده است که در بعضی قسمت‌های آن ایراداتی را متوجه سازمان تایید کننده می‌سازد. به همین منظور بایستی سوالات دقیقی مطرح گردد تا هر گونه انحراف و یا توضیح اضافه‌ای شناسایی شود. هدف از این کار اطمینان از واجد شرایط بودن گواهی‌های مخزن تحت فشار می باشد- آنها بایستی تمام شرایط ذکر شده در B5500 "فرم X" و یا معادل آن در استاندارد ASME را داشته باشند. اگر در مورد دقت عمل در این کار شکی دارید، فرض کنید مخزن تحت فشاری که شما تایید کرده‌اید دچار یک حادثه ناگهانی می‌شود و شما باید در مورد علت پذیرفتن این گواهی که در واقع انطباق با استاندارد را تایید کرده است، توضیح دهید.

مجدداً تاکید می‌شود که در این مواقع یافتن راه‌حل‌های فنی بهترین کار است. این کار باید قبل از اینکه پروسه تولید به مرحله‌ای برسد که تنها راه، اعلام عدم انطباق مخزن تحت فشار با استاندارد مربوطه است، انجام شود. البته سازمان‌های تاییدکننده‌ی معدودی وجود دارند که به این طریق اقدام به صدور گواهی فاقد شرایط لازم کرده باشند.

## نقص در قابلیت ردیابی مواد

نقص در قابلیت ردیابی مواد را با خواص نادرست مواد که مورد بسیار مهمی می باشد، اشتباه نگیرید. مگر اینکه عدم انطباق با معیارهای FFP کاملاً مشهود باشد( به طوریکه مخزن تحت فشار بایستی رد و باز تولید شود). این مورد می‌تواند منجر به آزمایشات جایگزین شود. برای اجزای بدنه تحت فشار، بهترین کار ترتیب دادن آزمایش مجدد مواد آزمایش از ورق تولیدی می‌باشد ( فصل۵ ملاحظه شود). این کار، مشکل به وجود آمده در مستندات را تبدیل به یک فعالیت مهندسی می‌نمایدو همچنین نیاز به کسب اطلاعات از تامین‌کننده‌های مواد اولیه را که مستلزم صرف زمان فراوان است، برطرف می‌سازد( شکل ۴-۶ ملاحظه شود). البته بایستی در مورد نتایج آزمایش مجدد به دقت رفتار کرد و در مورد انجام کار و علت آن توضیحات لازم را داد. باید توجه داشت در مورد اجزایی از مخزن که تحت فشار نیستند می‌توان با سهولت بیشتری برخورد کرد؛ چون این اجزا FFP مخزن تحت فشار را کمتر تحت تاثیر قرار می‌دهند.

## نادرستی ابعاد

در مورد مخازن تحت فشار بزرگ، یافتن ابعادی که خارج از تلورانس‌های ابعادی هستند، امری رایج است. در صورتی که این عدم تطابق‌ها به وسیله اعوجاجها و انحرافات جدی به وجود نیامده باشد، از اهمیت کمتری برخوردار هستند؛ به طوریکه عاقلانه این است که در این موارد سخت‌گیری کمتری وجود داشته باشد- یک NCR تنها در هنگامی قابل توجیه است که مخزن تحت فشار به وضوح دارای " ابعاد نادرست" باشد. به منظور تکمیل فعالیت‌ها، ابعاد خارج از تلورانس به خصوص در صورتی که این موارد شامل موقعیت نازل‌ها باشد، باید ثبت شود. در لوله‌کشی‌ها، هر گونه ابعاد نادرست باید ارزیابی شود.

## عدم هم ترازی کلگی به بدنه

عدم هم ترازی، ایرادی متمایز نسبت به ابعاد نادرست است. حداکثر عدم هم ترازی مجاز بایستی به دقت محاسبه شود تا تنش ناپیوستگی ( که به وسیله عکس‌العمل‌های متفاوت بدنه و هد به فشار داخلی ایجاد می‌گردد) در درون محدوده تعریفشده قرار گیرد. در صورت رعایت نشدن محدوده این انحرافات، تنش‌های ناپیوستگی می‌تواند بسیار زیاد شود. در صورت مشاهده چنین انحرافی، باید اقدام به صدور NCR نمود.

## نادرستی آماده‌سازی‌های جوش

عمده ایرادات یافت شده در این زمینه عبارتند از:

- اشتباه بودن زوایای آماده‌سازی جوش
- آماده سازی جوش های نامتقارن که به اشتباه ماشینکاری شده‌اند.
- نادرستی درز ریشه ( پس از خال جوش زدن)

یافتن یک بیان کلی درباره امکان پذیرش آماده‌سازیهای جوش نامناسب امری دشوار است. بخشی از WPS، نقشه آماده‌سازی جوش، برای یک اتصال خاص است. اتصالی که کیفیت آن توسط PQR که نتایج آزمایشات صورت گرفته روی جوش را نشان می‌دهد، تایید می‌گردد. هنگامی که ارتباط WPS/PQR در نتیجه استفاده از یک آماده‌سازی جوش نامناسب دچار اختلال گردد، می‌توان انتظار داشت که استحکام و یکپارچگی جوش تحت تاثیر قرار گیرد. در این مواقع بهترین راه‌حل، درخواست آماده‌سازی مجدد جوش به طریق صحیح است؛ البته این کار در صورتی توصیه می‌شود که از دست رفتن ماده اولیه باعث ایراد در سایر تعلالت مخزن تحت فشار نگردد.

اگر امکان ماشینکاری مجدد وجود نداشته باشد، راه‌حل جایگزین بررسی کیفیت اتصال نامناسب از طریق ساخت یک نمونه آزمایشی و قرار دادن آن در معرض آزمایشات مخرب و غیر مخرب و نهایتاً صدور یک PQR جدید می‌باشد. این مطلب به خصوص در مورد جوشهای نازل به بدنه که استحکام آنها کمتر قابل پیش‌بینی می‌باشد، صادق است.

## نادرستی مشخصات روش جوشکاری (WPS)

در این مورد نیز بایستی مشابه آماده‌سازی جوشهای نادرست عمل کرد. هر چند در مورد مراحل حساس‌تر دقت بیشتری لازم است. از آنجا که ایرادات یک WPS ناقص اغلب پس از اتمام جوشکاری مشخص می‌گردد، برای تصحیح آن هیچ شانسی بدون برش مخزن تحت فشار و جوشکاری مجدد وجود ندارد. به غیر از این، تنها راه‌حل به کار بردن مجدد مراحلPQR به منظور تایید صلاحیت WPS می‌باشد. البته مراقب باشید که در مورد پیشنهاد این راه‌حل اشتیاق زیادی نشان ندهید. در ابتدا WPS نامناسب بایستی به دقت بررسی شود. در صورتی که اصلاحات مورد نظر شامل تغییرات در ریشه جوش و یا مواد قبل(مصرفی) باشد، هر گونه تلاش بعدی برای تایید کردن WPS جدید ناموفق خواهد بود و آزمایشات مرتبط با شکست مواجه خواهند شد. برای سایر متغیرهای جوش، ریسک‌های فنی کمتر می‌باشد. در هر حال در گزارش نهایی حتماً ذکر شود که متغیرهای ضروری را قبل از تصمیم‌گیری لحاظ کرده‌اید.

## نادرستی خواص مواد

این وضعیت هنگامی به وجود می‌آید که خواص مواد خارج از تلورانس‌های مشخص قرار داشته باشد و وضعیتی که مواد کاملاً اشتباه استفاده شده است را در بر نمی‌گیرد. در عمل خواص مکانیکی مواد مخزن تحت فشار از اهمیت بیشتری نسبت به ترکیب شیمیایی برخوردار هستند. این مطلب از آن جهت است که خواص مکانیکی تابعی از آنالیز شیمیایی هستند و همچنین این خواص می‌توانند علیرغم ثابت ماندن ترکیب شیمیایی به وسیله عملیات حرارتی تغییر کنند. در مجموع شما به عنوان یک بازرس با دو نوع خواص مکانیکی غیر منطبق مواجه می‌شوید. ساده‌ترین آن، خواص کششی خارج از تلورانس است- رایج‌ترین حالت، هنگامی است که استحکام تسلیم بسیار پایین باشد. برای بسیاری از مخازن تحت فشار تفاوت در خواص کششی می‌تواند به وسیله لحاظ کردن یک فاکتور ایمنی مناسب در حین طراحی جبران گردد. همچنین حد مجاز خوردگی نیز باید منظور شود؛ هر چند در بیشتر کدهای مربوط به مخازن تحت فشار این عامل در تعیین ضخامت مواد برای محاسبات تنش محسوب نمی‌شود. در عمل کمتر اتفاق می‌افتد که تغییرات در استحکام کششی به تنهایی بتواند مخزن تحت فشار را از اهداف مورد نظر دور سازد. با آینحال در NCR بایستی محاسبه مجدد لحاظ شود تا اطمینان حاصل گردد که آیا فاکتور ایمنی اعمال شده ( با استفاده از استحکام کششی واقعی) می‌تواند الزامات کد را برآورده سازد یا خیر. همچنین نتایج این کار را به دقت با سازمان تایید کننده مطرح سازید.

در صورتی که نتایج آزمایش سختی و یا ضربه خارج از حدود مشخص شده باشد، اثرات وارده می‌تواند جدی‌تر باشد. مقادیر ضربه پایین یا سختی بالا می‌تواند تردی ماده را به دنبال داشته باشد. تردی مستقیماً به مبحث رشد ترک که از جمله عوامل کمک کننده به مکانیزم‌های شکست مخزن تحت فشار است مربوط می‌شود. در این مواقع، انجام آزمایشات مجدد می‌تواند راهکار مناسبی باشد. از آنجا که به دست آوردن نتایج قابل استناد در آزمایشات ضربه دشوار است، به خاطر داشته باشید حداقل از سه نمونه استفاده گردد (فصل۴ ملاحظه گردد). در صورتی که نتایج آزمایشات مجدد کاهش بیش از حد خواص ضربه را تایید کند، تردیدهای جدی درباره FFP مخزن تحت فشار مطرح می‌گردد. باید توجه داشته باشید که تاکنون بررسی دقیقی در مورد اثرات استحکام ضربه پایین انجام نشده است - هیچ کدام از کدهای مخزن تحت فشار در این حوزه وارد جزئیات نشده‌اند. به همین دلیل برای طراحان مخزن تحت فشار، اثبات کارکرد مخازن تحت فشار تحت این شرایط نسبت به مواقعی که افت خواص کششی مشاهده می‌گردد، دشوار است.

شما می‌توانید با تسریع در انجام این فعالیت‌ها صرفه‌جویی فراوانی در زمان داشته باشید. به نظر می‌رسد رد شدن یک مخزن تحت فشار در نتیجه خواص ضربه خارج از حد تلورانس کاملاً قابل توجیه باشد. در صورتی که بتوانید مدرک معتبری از تردی زیاد مخزن تحت فشار ارائه نمایید، می‌توانید از نقطه-نظر فنی در وضعیت قابل قبولی قرار گیرید- کمتر اتفاق می‌افتد که سازمان تاییدکننده اقدام به رد این تصمیم کند. نکته قابل ذکر این است که بایستی در برابر راه‌حل‌هایی که خواهان استفاده از مخزن تحت فشار در فشارهای پایین‌تر است با احتیاط برخورد کرد.

## انجام نشدن بخشی از NDT

انجام نشدن بخشی از NDT، هر چند به عنوان یک نقص مطرح می‌باشد، اما مطلبی نیست که بتواند مشکلات زیادی به وجود آورد. راه حل این مسئله ساده است و شامل انجام مجدد NDT روی مخزن تحت فشار در وضعیت فعلی خود می‌باشد. تشخیص ترک سطحی به وسیله PT یا MT صورت می‌پذیرد و آزمایش التراسونیک نیز می‌تواند جایگزین آزمایش رادیوگرافی گردد- در مورد بیشتر کدهای مخزن تحت فشار چنین روندی قابل قبول می‌باشد. روش مورد استفاده در این بخش و همچنین استاندارد مربوطه، باید در NCR شما ذکر شود. هر گونه پرداخت سطح خشن می‌تواند به وسیله سنگ زنی اصلاح گردد و نواحی بحرانی جوش‌های نازل و جوش‌های لب به لب نیز به وسیله یک اپراتور ماهر قابل شناسایی است ( فصل۵ ملاحظه شود). عدم اطمینان از انجام آزمایشات NDT لازم می‌تواند به عنوان نقطه ضعف بازرسی محسوب شود. نتایج NDT، مدارک مهمی هستند که یکپارچگی سازه‌های جوش را تایید می‌نمایند. مرور این مدارک **بخش مهمی از مسولیتهای بازرس به شمار می‌رود.**

در اینجا مجدداً راه‌حل استفاده از یک آزمایش هیدرواستاتیک در یک فشار بالاتر به جای NDT انجام نشده را به خاطر بیاورید. هر چند این راه‌حل نقاط قوتی دارد، ولی از جنبه فنی دارای ضعف‌هایی می‌باشد.آزمایشات هیدرواستاتیک نشتی‌ها را تشخیص می‌دهند- اما نوع عیبی که شروع شکست را باعث می‌شود مشخص نمی‌کنند. در مجموع بایستی متذکر شد که NDT صحیح برای اثبات یکپارچگی و FFP مخزن تحت فشار ضروری است.



## تعمیرات ثبت‌نشده

گهگاه در حین بازرسی چشمی یک مخزن تحت فشار، می‌توان مدارکی از تعمیرات ثبت نشده یافت. این مطلب بیشتر در مورد جوشها یافت می‌شود تا بدنه اجزا مانند نازل‌ها. هر چند تعمیرات مخزن تحت فشار امری مجاز است، اما باید مراحل مختلف این پروسه ثبت شود. برای شروع، باید از نبود پروسه تعمیر و مدارک مربوطه اطمینان حاصل نمود- ممکن است چنین مدارکی موجود باشد، اما در بسته مستندات ارائه شده نهایی موجود نباشد. در صورتی که به این نتیجه رسیدید یکی از تعمیرات ثبت نشده است، در ابتدا از عدم وجود موارد مشابه مطمئن گردیده و سپس اقدام به بررسی بیشتر تعمیرات ثبت‌نشده نمایید. برای این کار NDT سطحی ۱۰۰٪ را انجام داده و سپس برای نواحی بیشتر بحرانی، بازرسی حجمی درصدی صورت پذیرد (اتصالات لب به لب و جوش‌های دارای نفوذ کامل نشان داده شده در شکل ۵-۲ کتاب). در انتها بایستی اطمینان حاصل کرد که NCR صادر شده، به وضوح نوع و گستره NDT لازم را مشخص کرده است.

## نشتی‌های آزمایش هیدرواستاتیک

در صورت وجود هر گونه نشتی حتی از فلنج‌های موقتی یا اتصالات لوله، اقدام به صدور NCR کنید. نشتی‌های موجود در جوش‌ها معمولاً نشان‌دهنده تخلخل و یا ترک‌های گسترده می‌باشند. سوالی که باید پرسیده شود این است: " چرا چنین عیوبی در حین فعالیت‌های NDT نمایان نشده است؟" در پاسخ به این سوال بایستی دقت کرد- در ابتدا نیاز است که مشخص کنید که آیا عیوب دیگری، علاوه بر عیوب مشاهده شده در مخزن تحت فشار وجود دارد که سلامت آن را تحت تاثیر قرار دهد. نواحی دارای تخلخل و ترک می‌تواند شناسایی و مجدداً جوشکاری شود. همچنین باید مطمئن شد که این تعمیرات تایید شده است- در مورد بعضی مواد پس از جوشکاری تعمیری، نیاز به عملیات حرارتی کل مخزن تحت فشار وجود دارد تا تنش‌های به وجود آمده در حین فرایند حذف شود. در صورت نیاز تمام پروسه تعمیر باید ثبت گردد.

## خلاصه نکات کلیدی: مخازن تحت فشار

**FFP**

۱. معیار FFP در مورد مخازن تحت فشار، یکپارچگی مخزن تحت فشار، به ویژه اتصالات جوش است. صنعت چهار معیار برای این منظور توسعه داده است ( فعالیت‌های پذیرفته شده زایچ) تا از یکپارچگی مخازن تحت فشار اطمینان حاصل کند. اینها شامل موارد زیر هستند:

- ارزیابی مستقل طراحی
- قابلیت ردیابی مواد
- ارزیابی غیر مخرب
- آزمایش هیدرواستاتیک (فشار)

**گواهی**

۲. الزامات گواهی مخزن تحت فشار می‌تواند به وسیله کاربر نهایی، خریدار، شرکت بیمه و یا الزام قانونی مورد درخواست قرار گیرد.

۳. گواهی مخزن تحت فشار تنها انطباق با کد طراحی(BS، ASME، TRD و سایر موارد) یک مخزن تحت فشار را نشان می‌دهد. البته این گواهی نمی‌تواند ضمانتی برای یکپارچگی یا FFP باشد؛ و معمولاً ارتباطی با الزامات خاص پروژه ندارد.

**کدهای مخزن تحت فشار**

۴. کدهای مخزن تحت فشار عمدتاً بیشتر از جنبه‌های بازرسی بر جنبه طراحی تکیه دارند. بیشتر اطلاعات مرتبط با بازرسی در استانداردهای فنی جانبی و نه در خود متن کد یافت می‌شود.

۵. انتظار داشته باشید که استفاده از کدهای مخزن تحت فشار برای سایر تجهیزات ریختگی و تولیدی را مشاهده کنید. در چنین مواردی یک راه‌حل با قابلیت انعطاف بیشتر مورد نیاز است.

۶. یک آزمایش هیدرواستاتیک، آزمایشی برای یافتن نشتی و توانایی مخزن تحت فشار برای تحمل تنش‌های اصلی استاتیک می‌باشد. در حالیکه هنگام شکست مخازن تحت فشار، آنها معمولاً مکانیزم‌های شکست متفاوتی را تجربه می‌کنند. بنابراین، یک آزمایش هیدرواستاتیک نمی‌تواند جایگزین مناسبی برای NDT صحیح باشد.

**بازرسی نهایی**

۷. در یک راه‌حل محتاط، استفاده از بازرسی ابعادی / چشمی یک مخزن تحت فشار می‌تواند مفید باشد. از یک فهرست بررسی استفاده گردد.

۸. ۱۱ دسته مختلف از عدم انطباق وجود دارد که بایستی از آن آگاه باشید. بعضی از آنها در صورتی که در حین فرایند ساخت دیر یافت شوند، تنها راه‌حل‌های جایگزین ( و غیر کامل) هستند. در صورتی که مراقب نباشید ( یا سازمان‌دهی خوبی نداشته باشید)، هزینه‌های فعالیت‌های اصلاحی افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.



## فهرست منابع


1. BS 5500: 1994. Specification for unfired fusion welded pressure vessels.
2. Technische Regeln fur Dampfkessel (TRD) – . Vereinigung der Technischen UberwachungsVereine. E.V. Germany. Also the Arbeitsgemeinschaft Druck Behalter ( AD Merkblatter) range of standards.
3. The ASME boiler and pressure *vessel code: 1995 edition*. An internationally recognized code, published by the American Society of Mechanical Engineers.
4. BS EN ISO 9001: 1994. Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing.
5. BS 5289: 1983. Code of practice. Visual inspection of fusion welded joints.
6. Deutscher Normenausschus (DIN) 8750. 1987. Part 1: General tolerances for welded structures – linerar and angular dimensions. Part2: Geometrical tolerances.

فصل ۷

# توربین‌های گازی

صنعت توربین‌های گازی معروف به استفاده از مهندسی قوی است. اگر یک توربین با چند عیوب کوچک و مهم در ساخت را برای کار ارسال داربد، سریعاً خواهید دید که زود خراب شده و کار نخواهد کرد. توربین‌های گازی مورد توجه خاص بازرسها هستند. بعید است که ماشین‌های دیگری با چنین پیچیدگی بسیار که از تعداد زیادی عملیات ساخت بسیار دقیق استفاده کنند. شاید به همین دلیل می‌توانید انتظار داشته باشید که فرایندهای ساخت توربین‌های گازی در زمره فنی‌ترین کارهایی باشند که تا کنون دیده‌اید.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور(FFP)

اندکی غیر عادی به نظر می رسد که بازده حرارتی ماشین، که طراحان توربین های گازی پیوسته تلاش در ارتقاء آن دارند، خیلی کم بر کار یک بازرس تأثیر دارد. نکات و موضوعات اندکی در زمینه تلاش برای رسیدگی و تشخیص و تأیید بازده حرارتی در طی فعالیت‌های بازرسی معمولی توربینهای گازی وجود دارد. بازده اغلب توربین ها به طراحی وابسته بوده، و سپس به تنظیمات (که در زمان و محل نصب جهت مواجه شدن با شرایط محیطی و رژیم بارگذاری طراحی شده، انجام می‌شود). رسیدگی به این مطالب را برای سایر دست اندر کاران مهندسی باقی گذارید.

معیارهای FFP که لازم است مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- *سلامت توربین، در زیر بار* این مورد به خصوص در توربین های گازی به دلیل دماها و سرعت‌های بالا و تلورانس‌های محدودشان (tight tolerances) مهم است. توجه زیاد به آزمایش‌های متعادل سازی و لرزش داشته باشید. اینها کانونهای اساسی فرآیند ساخت هستند.
- *وظیفه سیستم‌ها*، به جهت تکنولوژی پیچیده به کار رفته در آنها، توربین های گازی به سیستم‌های پشتیبانی‌شان بسیار وابسته می باشند. سیستم‌های کمکی جهت تأمین هوای اتمیزه، سوخت، روغن هیدرولیک (رانش) و روانکار و قطع نیرو، عموماً روی فریم های توربین های گازی نصب می‌شوند و از این رو جزء محدودهٔ مسئولیت سازنده می باشد. سیستم‌های ایمنی و کنترل نیز مهم هستند. یکی از اهداف اصلی FFP اطمینان یافتن از آن است که این سیستم ها به درستی تکمیل و با یکدیگر یکپارچگی داشته باشند. بنابرین آزمایش‌های عملکردی توربین های گازی پیچیده‌تر از آزمایشهای انواع دیگر ماشینها و محرکه‌های اصلی هستند که سیستم‌های حمایتی ساده‌تری دارند. بنابراین یک بازرس خوب توربین‌های گازی کسی است که به جزییات توجه کند. قطعاً برای بررسی FFP توربین های گازی، روشهای با دقت پایین و برخوردهای کلی مفید نخواهند بود و باید وارد تک تک جزئیات شد.

## اطلاعات فنی پایه

به طور کلی توربین های گازی به ماشین‌های تک محور و دو محوری تقسیم‌بندی می‌شوند، که در نوع اخیر، ژنراتور گازی و توربین توان دارای محورهای جداگانه‌ای هستند. اکثر طراحی‌ها برای تولید برق از نوع تک محور هستند. اندازه‌ها از واحدهای کوچک 1MW تا تقریباً 230 MW تغییر می کنند. مجوز دهنده‌های (licensors) اصلی توربین های گازی با استفاده از «اندازه‌های فریم» یا شماره مدل، ماشین‌هاشان را طبقه‌بندی می‌کنند.

تأسیسات سایت می‌تواند یا سیکل باز باشد یا سیکل ترکیبی، که در آن خروجی توربین های گازی به یک بویلر بازیافت حرارت متصل می شود. توربین های گازی مشابهی برای هر دو حالت استفاده می‌شوند. انتظار می‌رود که توربین های گازی تولید کننده توان بر مبنای عملیات بار پیوسته طراحی شده باشند. سوخت اصلی، معمولاً گاز طبیعی با قابلیت استفاده از سوخت مایع بعنوان ذخیره و جایگزین می باشد. این به آن معنی است که اکثر توربین های گازی که خواهید دید یک سیستم سوخت دو تایی دارند. تجهیزات کمکی نصب شده برروی فریم امکان دارد متفاوت باشد. این موضوع به طریقی بستگی دارد که توربین های گازی با تأسیسات سایت ترکیب خواهد شد.

## ضمانت‌های پذیرش

ضمانت‌های پذیرش برای توربین‌های گازی ترکیب مشکلی از الزامات صریح استنتاج شده می‌باشد. در اکثر مشخصات فنی قراردادی خواهید دید که چهار الزام ضمانتی اجرایی ساده وجود دارد: بازده توان، نرخ گرمای ویژه خالص، مصرف توان کمکی و سطح انتشار $NO_x$. اینها توسط یک سری منحنی‌های تصحیح سازنده که با تفاوت‌های مختلف بین شرایط مرجع و شرایط آزمایش در محل نصب ارتباط دارد، تعیین و تأیید می‌شوند. شما نمی‌توانید هیچکدام از اینها را (به صورت دقیق) در طی یک آزمایش راه اندازی بدون بار در کارخانه بررسی کنید. این به آن معنی نیست که مشاهده حضوری آزمایش‌های بدون بار توربین گازی در کارخانه تشریفاتی می‌باشد. واقعیت آن است که موقعیت برعکس است. با حضور داشتن در آزمایش کاری (work test) شما مسئولیت قابل استفاده بودن تأسیسات را خواهید پذیرفت. به خاطر داشته باشید که شما تنها برای ارزیابی ضمانت‌های اجرایی ساده آنجا نخواهید بود.آنچه شما به دنبال آن هستید FFP می‌باشد. به این دلیل است که در یک مشخصات فنی خریداری خوب توربین های گازی، مقادیر قابل توجهی از الزامات مهندسی را خواهید یافت – این مطالب اغلب تحت عنوان «مشخصات فنی» یا در یک جدول فنی پیوست شده، ارائه می‌شوند. اینها الزامات FFP استنتاج شده هستند و عبارتند از:

- *مشخصه‌های تنظیم کننده* (governing characteristics): محدوده تنظیم سرعت و افت (droop) .
- *وضعیت‌های فوق سرعت* (overspeed setting): معمولاً برای انجام کار در 110٪ از سرعت کامل برای لغزش الکترونیکی(electronic trip) اول و 112 درصد برای لغزش الکترونیکی دوم یا مکانیزم پیچ مکانیکی(mechanical bolt)، طراحی می‌شوند.
- *سرعت های لرزش و بحرانی* :انتظار دیدن سطوح ارتعاش قابل قبول که به دو طریق مشخص شده‌اند را داشته باشید: اندازه‌گیری لرزش بدنه یاتاقان و اندازه‌گیری لرزش نسبت به محور.
- *سطوح صدا*: سطوح سر و صدا نیز گاهی اوقات به دو طریق مشخص می‌شوند: یک سطح امکان دارد در



یک متری محفظهٔ صوتی و یا در حد حصار محل نیروگاه مشخص شود (این متاثر از دیگر تجهیزات نیز است، از این رو تنها تابعی از توربین گازی نیست).

جنبه مهم دیگری در مورد ضمانت‌های پذیرش توربین گازی وجود دارد. به دلیل پیچیدگی ماشین‌ها، استانداردهای فنی به عنوان اساس برای خرید مورد استفاده قرار می‌گیرند و بطور خاص به «توافق بین خریدار و فروشنده» ارجاع می‌دهند. این مسأله اشاره بر یک توافق فنی بر مهندسی ویژه یا موارد آزمایشی دارد که به خوبی در استانداردهای کاربردی تعریف نشده‌اند. اطمینان حاصل کنید که جزییات چنین توافق‌هایی را در صورت وجود، در اختیار داشته باشید. برخی خریداران الزامات خاصی را خواهند داشت که شما امکان دارد مشکل آنها را پیش‌بینی کنید.

## مشخصات فنی و استانداردها

ساخت توربین گازی یکی از معدود زمینه‌های تکنولوژی نیروگاهها (power plant) است که در آن استانداردهای فنی بین‌المللی به سرعت رویه و تکنولوژی سازنده‌ها بسط نیافته است. دلیل اصلی عقب افتادن توسعهٔ استانداردها به رقابت فنی شدید بین یک گروه نسبتاً کوچک سازنده‌ها برمی گردد، که به صورت ثابت به سه یا چهار پروانه دهنده برجسته متصل هستند. این امر باعث شده است که تکنولوژی بسیار سریع تر از استانداردهای مرتبط رشد کند. مثلاً توربین‌های گازی تکامل یافته از توربینهای هوایی (aero-deriative) که به سرعت توان خروجی نیروگاه را افزایش داده اند. بعضی جنبه‌های مکانیکی این نوع توربینها طی مدت کوتاهی در عرض چندین سال تغییرات بسیاری کرده است.

گفته شد که استانداردهای توربین های گازی منتشر شده اغلب از بعضی از بهترین کارهای صنعتی عقب است.این مسأله اندکی قدرت بازرس خارجی را هنگامی نظارت آزمایش‌های کاری، کاهش می‌دهد. اگر می‌خواهید همچنان موثر باشید، بایستی آماده اصلاح اندکی در روشی که نقش استانداردها را هنگام مواجه با توربین‌های گازی مشاهده می‌کنید، باشید. آنها کمتر جنبه تجویزی و قطعی دارند. نیاز به اطلاعات صلاحیت (qualfying Info.) را که در فصل ۲ معرفی شدند به یاد داشته باشید. استانداردهایی که امکان دارد با آنها برخورد کنید در زیر نام برده شده‌اند. محتوای آنها از خیلی کلی (در بالای فهرست) تا استانداردهای فنی خاص به سمت آخر فهرست، تغییر می‌کند.

ISO 3977، راهنما برای تهیه و خرید (procurement) توربین گازی که معادل BS 3863 می‌باشد. این استاندارد را به عنوان یک سند راهنمایی که برای تعریف پارامترهای سیکل و توضیح سیستمهای سازنده و خریدار، انواع سیکلهای بسته و باز، متفاوت مفید است، مرجع خوبی برای توافقات کلی است. به نظر نمی‌رسد که این استاندارد آنقدر جزییات کافی داشته باشد که بتوان از آن به عنوان یک مشخصات فنی خرید خودکفا و مستقل استفاده کرد.

ISO 2314 آزمایش‌های پذیرش توربین گازی (BS 3135). این یک رویه مرحله به مرحله برای انجام یک آزمایش بدون بار توربین نمی‌باشد. این استاندارد بیشتر شامل اطلاعات فنی در مورد تغییرات پارامترها و تکنیک‌های اندازه‌گیری برای فشارها، سیال‌ها، توان‌ها و غیره است. امکان دارد اگر درگیر محاسبات اجرایی با جزییات زیاد شوید، به این استاندارد نیاز پیدا کنید.

ANSI/ASME PTC 22 ،Gas turbine power plants. این یکی از کدهای خانوادهٔ آزمایشی عملکرد

توربینها می‌باشد (PTC). مقدمه این استاندارد محدودهٔ کاربرد آن را بصورت روش‌های آزمایش توربین‌های گازی بیان می‌کند. محتوای آن کاملاً محدود است و به صورت گسترده منطقه‌ای را همانند ISO 2314 ولی با جزییات کمتر ، پوشش می‌دهد (بنابراین شاید خواندن آن ضروری نباشد).

API 616. توربین گازی پالایشگاهها (refinery). مانند اکثر استانداردهای API، پوشش فنی خوبی را فراهم می‌آورد. اندکی از هر کاری که می توان با توربین گازی انجام داد در اینجا وجود دارد. بهترین راه برای به کار گیری آن، در ابتدا بررسی آن است که آیا یک الزام ساده مشخصه فنی خرید است یا خیر. اگر نیست، آگاه باشید که این استاندارد دقیقاً با مشخصات برخی توربین‌های گازی خاص سازگاری ندارد. به خصوص انواع توربینهای مجوز دهندگان اروپایی. برخی سازنده‌ها تجربه زیادی در درخواست مجوز ارفاقی دارند و لیستی آماده از بخش های فنی API 616 دارند که با آنها موافق نیستند.

این موضوع به معنی آن نیست که این استاندارد مفید و آگاهی دهنده نمی باشد، بلکه نکته این جاست که تنها بایستی آنها را در جایگاه صحیح بکار برد.

ISO 1940/1. (معادل با BS 6861 قسمت ۱) و VDI 2060 بالانس کردن روتورها را پوشش می‌دهند. اینها استانداردهای مفیدی هستند که بسیار مشابه اند. اگر بخواهید بالانس کردن را بفهمید، به ISO 1940 نیاز خواهید داشت. این استاندارد حدود عدم توازن قابل قبول را می‌دهد (که خیلی مواقع انطباق با حدود پذیرش خود سازنده می باشند.)

ISO 10494 (مشابه BS 7721) و ISO 1996 استانداردهایی هستند که با سطوح صدای توربین های گازی مرتبط می‌باشند. این استانداردها در اکثر صنایع استفاده می‌شوند. آنها استانداردهای خوبی هستند به خاطر اینکه فهمیدن آنها ساده می‌باشد.

استانداردهای لرزش مورد استفاده به صورت زیر هستند:

- لرزش بدنه یاتاقان توسط VDI (گروه T) پوشش داده می‌شود. این استانداردی رایج برای تمامی ماشین‌های چرخان می‌باشد. به خاطر داشته باشید که این استاندارد از سرعت لرزش (mm/sec) به عنوان پارامتر تعیین کننده استفاده می‌کند.
- لرزش‌های محور که از پراب‌های مستقیماً نصب شده استفاده می‌کند، توسط API 616 یا ISO 7919/1 پوشش داده می‌شوند. (همچنین به صورت رایج برای دیگر ماشین‌ها استفاده می‌شود). پارامتر لرزش اندازه‌گیری شده، دامنه می‌باشد. VDI 2059 (قسمت ۴) نیز گاهی اوقات استفاده می‌شود. اما این استاندارد بیشتر یک سند تئوری می‌باشد که به مفهوم لرزش‌های غیر سینوسی می‌پردازد. این استاندارد کمتر برای استفاده مستقیم طی بازرسی‌های کاری مناسب می‌باشد.

علاوه بر این استانداردها همچنین تعدادی استاندارد مؤاد مهندسی وجود دارد که برای فولادهای مورد استفاده در سازه توربین به کار گرفته می‌شوند.

## طرح‌های بازرسی و آزمون (ITPs)

فعالیت‌های بازرسی و آزمون، اساسی برای ساخت توربین‌های گازی هستند. یک بررسی و تحقیق مختصر در مورد فرایندهای مونتاژ سازنده‌ها، نشان می دهد که مقدار زیادی اسناد و مدارک وجود دارند که جزئی از یک سیستم جامع و پیوسته می باشند. از نقطه نظر بازرسی، کنترل تعداد و پیچیدگی فرآیندهای ساخت



می‌تواند مشکل باشد بطوریکه خیلی راحت می توان در مدارک غرق شد. جواب کار انتخابی رفتار کردن است. یک ITP خوب توربین گازی برای استفادهٔ بازرسان خارج از سازمان و تنها برای آن هدف طراحی شده است. کاربرد ITP در اینجا برعکس تجهیزات ساده است. در مورد تجهیزات ساده تر ITP یک هدف دوگانه دارد، راهنمای ساخت است و از طرفی در ساختاردهی به تعاملات با سازمانهای بیرونی نقش دارد. ITP برای یک توربین گازی کامل و سکوی توربین شاید سه یا چهار صفحه باشد. امکان دارد که یک ITP جداگانه برای روتور بیابید. این موضوع به خاطر آن است که روتور اغلب در یک محل جداگانه ساخته می‌شود، به دقت توسط پروانه دهنده‌های تکنولوژی کنترل می‌شود. در ITP قسمتهای جانبی توربین و استارتر توربین (Starter) امکان دارد تفاوتهای اندکی وجود داشته باشد. این تفاوت به دلیل این است که این بخشهای توربین به پیمانکارهای فرعی واگذار می شوند و بنابراین نیاز به کنترل مستقیم کمتر می‌شود.

تعداد نقاط با نظارت حضوری بازرسان خارجی در ITP کلی بسیار کم می‌باشد. بررسی کنید که این مراحل ضروری در ITP وجود داشته باشند..

### قبل از مونتاژ و نصب روتور به بدنه

- اندازه‌گیری خروج از محور (run out measurement) روتور،
- بالانس دینامیکی روتور،
- آزمایش فوق سرعت روتور و
- مرور مستندات بین مراحل.

### پس از مونتاژ

- اندازه‌گیری لقی‌های پره های شعاعی و محوری
- آزمایش راه اندازی بدون بار. همه سازنده‌ها این آزمایش را انجام نمی‌دهند مگر آنکه در قرارداد خریداری خواسته شده باشد. انتظار نداشته باشید که هیچ یک از استانداردهای فنی این آزمایش را به عنوان یک الزام درخواست نموده باشند.
- آزمایش عملکرد کامل تمامی سیستم‌های روی فریم( این واقعاً به معنی آزمایش‌های در عملکردی کامل می باشد)،
- مرور دقیق مستندات نهایی،

برخی قراردادهای توربین گازی با موفقیت و با خشنودی تمام گروه‌ها (کم و بیش) تنها با استفاده از این مراحل بازرسی کامل شده‌اند. به این نکته توجه داشته باشید که بازرسی اضافی هزینه بیشتری در بر خواهد داشت. واقعاً ببینید آیا توجیه اقتصادی برای بازرسی بیشتر وجود دارد یا خیر.

## اندازه‌گیری خروج از محور (run out) روتور

قبل از مونتاژ و نصب نهایی پره ها به روتور توربین گازی، خروج از محور روتور اندازه‌گیری می‌شود. هدف تشخیص خروج از محور بیش از اندازه در قطعه چرخان است که هنگام کار توربین باعث ایجاد نیروهای غیر متعادل می‌شود. اطمینان حاصل کنید از اینکه هیچگونه لنگی زیاد یا مخروطی شدن (laper) سطوح

یاتاقان گرد وجود ندارد. اندازه‌گیری خروج از محور روتور کار نسبتاً ساده ای است، ولی نکات مختلفی وجود دارد که بایستی به آنها توجه نمود.

- مقدار صحیح اندازه‌گیری خروج از محور، مقدار کامل و حداکثر آن است. این بیشترین اختلاف ثبت شده در شاخص عقربه ای(dial test indicator (dit) می‌باشد. هنگامی که روتور یک دور کامل می‌چرخد، اختلاف را اندازه بگیرید.

شکل ۷-۱ یک نوع فرمت نتایج را نشان می‌دهد.

- اطمینان حاصل کنید که روتور به طور صحیح نصب و محکم شده باشد، وگرنه نتایج امکان دارد بی‌معنی شوند. نصب روتور معمولاً روی یک میز تراش انجام می پذیرد.

بررسی کنید که:

۱. مرغک دستگاه تراش با گردش مخزن روغن برای حداقل ۳۰ دقیقه چرخانده می‌شود. این مطلب اطمینان می‌دهد که محور در مرکز قرار گرفته است.

۲. مرغک دستگاه تراش بایستی روتور را از طریق دو اتصال یونیورسال جهت حفظ متحدالمرکز بودن محور مرکزی روتور براند.

۳. لازم است که پایه هایی که فاصله سنج روی آنها نصب شده محکم و ثابت باشد. بخصوص هنگامی که پایه ها در ارتفاع نصب شده اند، اطمینان از لق نبودن مجموعه مهم می باشد.

- حدود پذیرش حداکثر TIR قابل قبول معمولاً توسط سازنده تعریف می شود و مستقیماً از استاندارد فنی استخراج نمی شود. با سه سطح حدود قابل پذیرش مواجه می شوید، شکل ۷-۱. کمترین حد برای یاتاقانهای ژورنال، 15-10 میکرون می باشد. سطوح شعاعی دیسکهای پره توربین دارای حدی معادل 50-40 میکرون هستند. این محدوده برای وجوه محوری، 90-70 میکرون است. در نهایت حدود دقیق قابل پذیرش TIR به طراحی بستگی دارد.

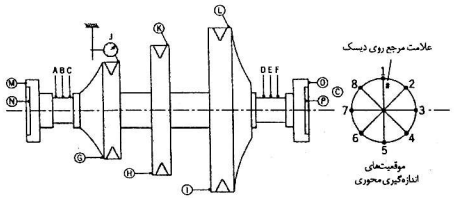
## بالانس‌کردن روتور

تمام روتورهای توربین گاز بصورت دینامیکی بالانس می شوند. این مرحله، بخشی کلیدی در برنامه نظارت بر ساخت این توربین‌ها می‌باشد. در عمل، بالانس کردن همراه با تمام پره‌های نصب شده انجام می‌گردد؛ با اینحال فرایندهای انجام این کار می‌تواند اندکی متفاوت باشد. در صورتی که محور توربین و کمپرسور مجزا باشد، اجزای آن ممکن است به طور جداگانه بالانس شوند (این حالت برای توربین‌های دارای سه یاتاقان بزرگ‌تر نیز مرسوم می‌باشد)؛ این در حالی است که بعضی سازنده‌ها ترجیح می‌دهند روتوری را کاملاً مونتاژ و سپس آنرا بالانس نمایند. با وجودیکه دینامیک بالانس کردن به علت مواجه بودن با مقادیر برداری، می‌تواند اندکی گیج‌کننده باشد، شکل فیزیکی ساده اکثر روتورها باعث می‌شود که فرایند محاسبات مربوطه تقریباً بدون مشکل باشد. مطلب کلیدی که باید به خاطر داشت این است که شما با دو سطح (صفحه) تصحیح روبرو هستید.

### با کدام حدود بایستی کار کرد؟

حدودی که در بازرسی روتورها بیشتر مورد توجه است، حد قابل قبول غیر بالانس بودن می‌باشد. توجه داشته باشید که این مطلب غالباً برای هر صفحه تصحیح بیان می‌گردد (همانند ISO 1940)؛ اما در






| Measurement point | Typical limit (μm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | TIR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A, B, C | 15 | | | | | | | | | |
| D, E, F | 15 | | | | | | | | | |
| G, H, I | 70 | | | | | | | | | |
| J, K, L | 45 | 13 | 15 | 47 | 41 | 18 | 21 | 31 | 35 | 34 |
| M, N, O, P | 15 | | | | | | | | | |

نتایج‌نمونه:
TIR اندازه گیری شد 13μm – 47 μm = 34μm
که کمتر از حد 45μm است و بنابراین قابل قبول است.

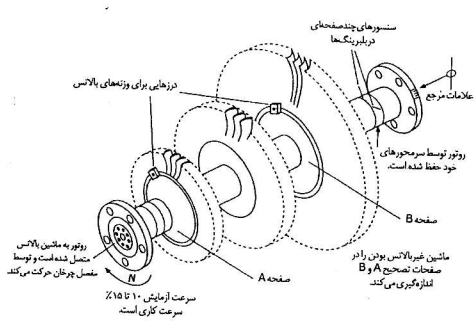
**شکل ۷-۱** اندازه‌گیری قبل از راه‌اندازی روتور توربین

فرایندهای آزمایش ساخت، به صورت برایند برداری مجاز غیر بالانس بودن روی دو سطح تصحیح بیان شده است. واحد تصحیح غیر بالانس بودن، گرم متر (gm) می‌باشد. شما ممکن است با وضعیتی روبرو شده باشید که سازنده‌ها حدود مورد نظر خود را بدون ارجاع به یکی از استانداردهای فنی اعمال می‌کنند. در اینجا می‌توان با یک بررسی سریع، تشخیص داد که آیا این حدود با استاندارد ISO 1940 کلاس 2.5 انطباق دارد یا خیر ( این استاندارد به عنوان یک مرجع قابل قبول برای روتورهای توربین مطرح می‌باشد)؛ در این رابطه می‌توان از نمودارهای موجود در استاندارد استفاده کرد. البته تجربه نشان داده است که سازنده‌ها این حدود را رعایت و حتی بیش از آن را در نظر می‌گیرند. در شکل۷-۳، طریقه بیان حدود مجاز نمایش داده شده است تا به وسیله آن امکان مقایسه آسان با نتایج آزمایش فراهم گردد.

### آزمایش بالانس کردن

همانطور که در شکل ۷-۲ نشان داده شده است، آزمایش در حضور بازرس، از مجموعه‌ای مراحل مشخص تشکیل شده است. این مراحل را به ترتیب زیر دنبال کنید:

- روتور توسط یاتاقان‌های سرمحور خود در یک ماشین بالانس نگهداشته می شود و در سرعت آزمایش حدود ۱۰-۱۵ درصد سرعت کاری، در حال چرخش می‌باشد. در این حالت میزان غیر بالانس بودن کوپلینگ محرک (drive coupling) اندازه‌گیری می‌شود؛ سپس کوپلینگ جدا شده و با ۱۸۰ درجه جابجایی، مجدداً به روتور متصل می‌گردد. این فرایند مجدداً تکرار می‌شود تا میزان غیر بالانس بودن




**شکل ۷-۲** بالانس‌کردن دو صفحه‌ای (دینامیک) یک توربین گاز

کوپلینگ مشخص گردد؛ که نهایتاً به صورت برنامه وارد ماشین بالانس می‌شود تا آنرا جبران نماید. در نتیجه در آخرین چرخش، ما میزان تخمینی غیر بالانس بودن اولیه محور را خواهیم داشت.

- مرحله بعد، *پایدارسازی* ( *stabilization*) می‌باشد. در این مرحله، روتور در نزدیک سرعت آزمایش کار می‌کند تا پره‌ها بتوانند موقعیت در حین راه‌اندازی خود را تنظیم نمایند ( به خاطر داشته باشید که این پره‌ها ثابت نیستند و می‌توانند جابجا شوند). اطمینان حاصل کنید که بازه پایدار شدن هنگامی خاتمه می‌یابد که نتایج ثابت هستند که این وضعیت نشان دهنده پایدار شدن پره‌ها می‌باشد ( راهکار صحیح برای انجام این کار، بالا و پایین بردن سرعت گردش به میزان اندک است؛ در این حالت باید دید ک تغییر در نتایج کمتر از مقدار قابل قبول ۵ درصد باشد). زمان مورد نیاز برای پایدار شدن می‌تواند از ۱ ساعت تا ۲۴ ساعت متغیر باشد. این زمان برای روتورهای ردیف کمپرسور طولانی‌تر است.
- هنگامی که روتور به وضعیت پایدار رسید، باید به سرعت آزمایشی باز گردد. در اینجا، نتایج آزمایش مجدداً خوانده می‌شود. شکل ۷-۳، روشی که نتایج غیر بالانس بودن ثبت خواهد شد، را نمایش می‌دهد ( در اکثر اوقات یک نسخه چاپی نیز تهیه می‌کنند).
- تفسیر، برای هر صفحهٔ تصحیح ( توجه کنید درست مانند صفحهٔ تصحیح، صفحه اندازه گیری نیز وجود دارد) جرم متعادل در راستای زاویه ای که با خط مرجع می سازد، نشان داده می شود. میزان جرم غیر متعادل بصورت وزن معادل در شعاع مورد نظر برای عملیات تصحیح محاسبه می گردد، شکل ۷-۲. حال، اینها را با حدود مجاز هر صفحه تصحیح ( بر حسب gm- یا در صورتی که با برایند آنها کار می‌کنید، دو حد را جمع کرده و آنها را با هم مقایسه کنید. شکل۷-۳ این روش و مجموعه‌ای از نتایج را نشان می‌دهد. در این مثال مشاهده خواهید کرد که حدود غیر بالانس بودن به ازای هر صفحه



متفاوت خواهد بود؛ که البته بستگی به زاویه بین بردارها دارد. این مطلب به دلیل آن است که زاویه بیش از 90 درجه منجر به یک گشتاور اضافی روی روتور خواهد شد؛ بنابراین حدود کمتری باید منظور شوند. نگرانی زیادی درباره این موضوع نداشته باشید. استاندارد ISO 1940 با این موضوع به صورت یک موضوع با اهمیت درجهٔ دوم برخورد می‌کند. با اینحال یک سازنده خوب آن را لحاظ می‌کند.

- افزودن وزنه‌های بالانس. در صورتی که میزان غیربالانس روتور در محدوده مجاز قرار داشته باشد، نیازی به افزودن هیچ گونه وزنه‌ای وجود ندارد. در صورت نیاز به وزنه، اجازه دهید کادر آزمایش در مورد آن تصمیم بگیرند؛ انتخاب موقعیت این وزنه‌ها همواره آسان نیست؛ چون ممکن است سوراخ پیچ‌ها و یا وزنه‌های موجود، موقعیت ایده‌آلی که وزنه‌ها باید افزوده شوند را اشغال کرده باشند. محل وزنه‌ها را در گزارش خود قید کنید و سپس آزمایش را مجدداً تکرار نمایید.
- بررسی دقت ماشین بالانس. مراقب باشید که در این زمینه گمراه نشوید. پس از بالانس کردن روتور تا محدوده مجاز، مرسوم است که صحت کارکرد ماشین بالانس بررسی شود. هدف از این کار، پرهیز از خطاهای اندازه گیری به واسطه تجمع عدم دقت ها در اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. این کار با افزودن وزنه-های شناخته‌شده به روتور انجام می‌شود؛ ابتدا به منظور جبران غیر بالانس بودن اندازه‌گیری شده و سپس ایجاد غیر بالانس بودن. با مرور نتایج ماشین بالانس، امکان اندازه‌گیری میزان دقت آن فراهم می‌گردد. توصیه می شود در این بخش از آزمایش بعنوان شاهد حضور داشته باشید. در حین آزمایش، میزان دقت مجاز بهتر از۵٪± درصد برای جرم و ۵± درجه برای زاویه فاز را در نظر داشته باشید.

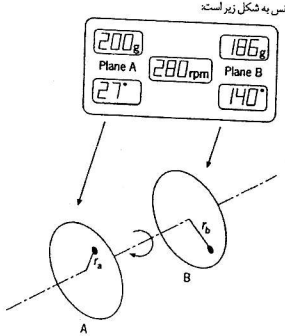
روتورهای توربین گاز پس از نصب گاهی اوقات دچار مشکلاتی می‌شوند. در صورت بروز چنین اتفاقی، گزارش نظارت بر بالانس که تهیه کرده‌اید، می‌تواند به عنوان یک مرجع مهم مطرح باشد. آیا شما موارد زیر را در گزارش لحاظ کرده‌اید؟

- یک نقشه گویا از محل قرارگیری وزنه‌های تعادلی هنگام بالانس کردن خود محور و هنگام بالانس کردن روتور که با متعلقات نصب شده می توانید ارائه دهید.
- مقایسه کامل حدود مجاز و نتایج آزمایش واقعی
- ثبت بردار بالانس و برایند؛ لذا شما می‌توانید نشان دهید که اتفاقات روییداده را درک کرده‌اید.
- تاییدیه‌ای مبنی بر اینکه پایدارسازی روتور را قبل از ثبت نتایج غیر بالانس بودن باقیمانده مشاهده کرده‌اید.

## آزمایش فوق سرعت روتور

روتورهای توربین گاز، هنگامی که تمام پره‌های توربین و کمپرسورها در محل خود قرار دارند، در معرض آزمایش فوق سرعت قرار می‌گیرند. هدف از این کار، تایید حفظ یکپارچگی مکانیکی اجزای تحت تنش و محدود شدن تنشهای وارده به زیر حد الاستیک است. همچنین این آزمایش خصوصیات ارتعاش را در شرایط فوق سرعت و کارکرد بررسی می‌کند. آزمایش با راه‌اندازی روتور در ۱۲۰ درصد سرعت کاری به مدت ۳ دقیقه انجام می‌گردد. راه‌اندازی توسط یک موتور الکتریکی بزرگ صورت می‌گیرد و آزمایش در یک محفظه خلا بتنی به منظور حذف اثرات ناشی از مقاومت هوا انجام می‌شود. همانطور که قبلاً اشاره شد، نظارت و کنترل ارتعاش بر مبنای استاندارد VDI 2056 و یا API 616 انجام می‌شود.

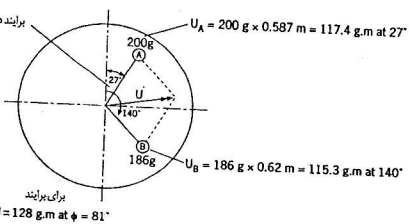
نتایج ماشین بالانس به شکل زیر است:




شعاع تصحیح عبارت است از:

$r_a$ = m 0.587

$r_b$ = m 0.62




نتایج را مانند زیر نشان دهید:

| زاویه برایند | $U_{\text{معلوم}}$ | $U_{\text{مجهول}}$ |
|---|---|---|
| $\phi < 90°$ | 165g.m | 128g.m |
| $\phi > 90°$ | 123g.m | – |

این روتور در حد قابل قبول است.

**شکل ۷-۳ بالانس کردن روتور - تفسیر نتایج**



در هنگام نظارت بر آزمایش نکات زیر را در نظر داشته باشید:

- میزان ارتعاش را در حین راه‌اندازی ثبت نمایید. این کار، شاخصی برای سرعت بحرانی اولیه به شما می‌دهد.
- هنگامی که روتور به ۱۲۰ درصد سرعت می‌رسد، مقادیر ارتعاش در حین بازه سه دقیقه‌ای را به دقت ثبت نمایید. شما باید به دقت هرگونه تغییر در میزان ارتعاش را در نظر داشته باشید. این اتفاق می‌تواند بیانگر تسلیم شدن یا جابجایی اجزا باشد که هر کدام از آنها نیازمند توجه ویژه‌ای می‌باشند.
- پس از آزمایش فوق سرعت، روتور موجود در محفظه آزمایش را بازرسی چشمی نمایید. به دنبال موارد زیر باشید:
- وزنه‌های بالانس جابجا شده یا مفقود شده ( نقشه‌ها را بررسی کنید تا از محلی که وزنه‌ها باید در آنجا باشند، آگاه شوید).
- هر گونه آسیب قابل مشاهده یا مدرکی دال بر تسلیم شدن. ریشه‌های پره‌ها را کاملاً در نظر داشته باشید. در صورتی که بتوانید طول محوری پره‌های بلندتر را اندازه بگیرید، کار با ارزشی انجام داده‌اید؛ پس از این می‌توانید در صورت موجود بودن تجهیزات تخصصی، اقدام به مقایسه نتایج خود با تلورانس‌های موجود در نقشه نمایید.

یک نکته مهم: تحت هیچ شرایطی، حتی یک لحظه، اجازه ندهید سرعت به بیش از ۱۲۰ درصد برسد. در صورت بروز چنین اتفاقی، تنها راهکار باز کردن کامل روتور و اندازه‌گیری ابعاد هر پره می‌باشد. این کار به منظور بررسی احتمال تسلیم شدن یا ازدیاد طول پره‌ها باید انجام پذیرد.

## بررسی فضاهای مجاز پره

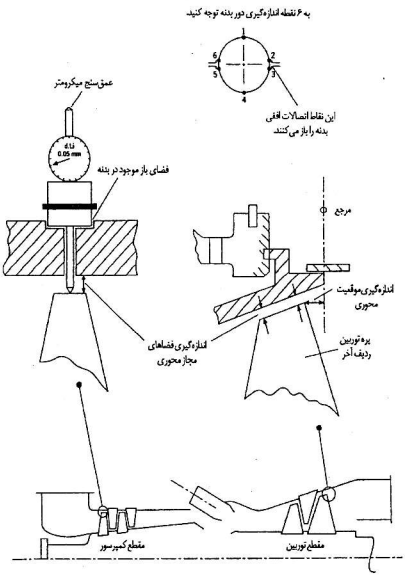
اندازه‌گیری فضاهای مجاز محوری پره، یک نقطه شاهد مهم در برنامه مونتاژ توربین گاز به شمار می‌رود. هدف از این کار، تایید فضاهای مجاز بین انتهای پره‌های روتور و داخل بدنه در حین راه‌اندازی می‌باشد. در اینجا لازم است در مقابل فضاهای مجاز نادرست که نتیجه عدم هم‌ترازی روتور/یاتاقان، ابعاد پره نادرست و یا مونتاژ غیر دقیق مقاطع بدنه باشند، دقت داشته باشید. فضاهای مجاز خیلی بزرگ منجر به کاهش راندمان ردیف می‌شوند. در صورت محدود بودن فضاهای مجاز، ممکن است پره‌ها با داخل بدنه تماس پیدا کنند و باعث شکست به خصوص در انتهای کمپرسور شوند.

### آماده‌سازی

آزمایش پس از نصب نهایی روتور در بدنه، انجام می‌شود و پیچ‌های بدنه تا گشتاور طراحی خود، سفت می‌شوند. پس از روغنکاری دستی یاتاقان‌ها، روتور با سرعت بسیار آهسته‌ای شروع به گردش می‌کند (اغلب تا این لحظه هیچ گونه سیستم روغنکاری نصب نشده است). حدود ۱۵ تا ۳۰ دقیقه اجازه چرخش آهسته دهید تا اطمینان حاصل کنید که روتور، به یک وضعیت پایدار رسیده است.

در این مرحله، باید بررسی‌های زیر انجام شود ( شکل ۷-۴ را ببینید):

- دقت سنجه عمق‌سنج را با یک قطعه کالیبراسیون دقیق بررسی کنید.




**شکل ۷-۴ بررسی فضاهای مجاز توربین گاز**

- به منظور بررسی هر حفره در بدنه باید یک سطح مرجع وجود داشته باشد تا امکان بررسی عمق آن وجود داشته باشد. همچنین بررسی کنید که ضخامت دیواره بدنه نزدیک هر حفره، مهر برجسته خورده شده باشد ( تمام این ضخامت‌ها یکسان نخواهند بود و لذا دقت اندازه‌گیری باید در حد 0.01 میلیمتر باشد).
- اطمینان حاصل کنید که هر گونه حرکت آزاد محوری در موقعیت روتور در نظر گرفته شده است. روتور باید در محل راه‌اندازی خود باشد تا وضعیتی که در هنگام کارکرد توربین و در مواجه با نیروی گازها تجربه می‌کند، شبیه‌سازی شود.



- *تلورانس‌های مجاز*. سازنده باید یک برگه نتایج پیش‌نویس داشته باشد تا نتایج آزمایش را ثبت نماید. اطمینان حاصل کنید که این برگه، مقادیر تلورانس هر کمپرسور و ردیف توربین را موجود دارد. یک تلورانس عمومی نمی‌تواند قابل قبول باشد.

### ثبت اندازه‌گیری‌ها

شکل ۷-۴، محل‌های رایج اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در اینجا، ۶ مکان شعاعی وجود دارد؛ توجه کنید که بلافاصله قبل و بعد از خط افقی یک اندازه گیری انجام می شود تا هرگونه عدم انطباق میان دو نیمهٔ قطعهٔ ریختگی مشخص گردد.

بعضی نکات کلیدی در این رابطه وجود دارد که باید در حین اندازه‌گیری مشاهده شود:

- سنجه عمق‌سنج را پس از هر بار خواندن، صفر کنید. در غیر اینصورت خطا در اندازه گیری ایجاد می شود.
- از فضاهای مجاز محوری، آگاه باشید. اینها مقادیری هستند که با استفاده از سنجه‌های لغزنده اندازه‌گیری می‌شوند. این مقادیر بین نقشه‌های مختلف، تفاوت می‌کنند؛ اما شاخص‌های اصلی عبارتند از:

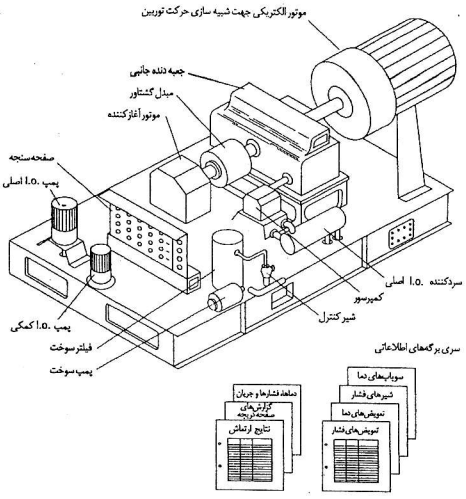
| | |
|---|---|
| • ردیف انتهایی کمپرسور ۱-۵ | 1.6-2 میلیمتر |
| • ردیف انتهایی کمپرسور ۹-۱۶ | 1.8-2.4 میلیمتر |
| • ردیف انتهایی کمپرسور ۱۶+ | 2-2.4 میلیمتر |
| • انتهای توربین | 4-4.5 میلیمتر |
| • موقعیت محوری روتور (فضاهای مجاز انتهای پره‌های انتهایی) | 7-8 میلیمتر |

### آزمایش اصلی تجهیزات جانبی(accessory base test)

آزمایش پایه تجهیزات جانبی با عبارت آزمایش کارکردی (functional testing) شناخته می‌شود. این آزمایش یک آزمون عملکردی میانی بر روی سری کامل سیستم‌های جانبی موثر در کارکرد توربین می‌باشد؛ و در انتهای فرایند ساخت، با نصب اجزای جانبی (نه توربین گاز) بر روی یک پایه انجام می‌شود. این آزمون بیشتر بر اساس شبیه‌سازی است. به گونه‌ای که حرکت توربین گاز با یک موتور الکتریکی بزرگ شبیه‌سازی می‌شود. در مورد مدارهای بسته سیال، روغن هیدرولیک و روغن‌کاری، سوخت و هوا، شبیه‌سازی حرکت توربین با ایجاد شبکه های لوله‌کشی همراه با نازل‌ها و موانع مناسب جهت ایفای نقش به عنوان موانع سیستم، صورت می‌گیرد. شکل ۷-۵ این آرایش را نشان می‌دهد. برای انجام یک بازرسی موثر حین آزمایش پایه تجهیزات جانبی، باید به دو موضوع کلیدی این آزمایش که در زیر آمده است، توجه شود (به چگونگی انطباق اینها با معیارهای عمومی FFP توجه کنید).

- اطمینان از اینکه عملکرد تمامی اجزا پایین‌تر از شرایط بار کامل (شبیه‌سازی شده) قرار دارد. این عامل موجب صرفه‌جویی در زمان راه‌اندازی در محل کاربرد خواهد شد.
- شناسایی هرگونه نقصی که در مراحل اولیه شروع به کار توربین رخ می‌دهد. اغلب این نقص‌ها به دلیل مونتاژ ناصحیح است.

آزمایش پایه تجهیزات برای بررسی کارایی سیستمها انجام می‌شود و یکی از معیارهای کلیدی FFP است.




- با دقت بررسی کنید که سری برگه‌های اطلاعات حین آزمایش سرعت نامی / بدون بار کامل باشد.
- نتایج را با مقادیر طراحی مقایسه کنید.

**شکل ۷ـ۵** آزمایش اصلی تجهیزات توربین گازی

## آماده‌سازی

طبق اصول عمومی که در فصل‌های پیشین ذکر شد و همانند موارد دیگر، ابتدا باید مدارها بررسی شوند. قبل از آزمایش باید روغن، سوخت و سیستم‌های هوا (به صورت حداقل) مورد بررسی قرار گرفته و اجزای سیستم شناسایی شوند. بررسی این اجزا باید بدقت و تک به تک انجام شود. در اینجا نمی‌توان بصورت انتخابی و کلی بازرسی را انجام داد. برای درک چگونگی کار سیستم لازم است تا شماتیک‌ها را به صورت دقیق مرور کنید. همچنین باید مسیر لوله بر روی فریم را شناسایی شود. این بدین معنا نیست که فقط به دیدن نقشه‌ها بسنده کنید. بلکه شما باید هرگونه خطای احتمالی را مشخص کنید.



## خود آزمایش

- مرحله ۱ - *مونتاژ* (به شکل ۷-۵ مراجعه شود): معمولا قبل از حضور شما خود سازنده، تجهیزات جانبی را مونتاژ می‌کند. البته این امر لطمه‌ای در کار بازرسی ایجاد نمی‌کند. در این مرحله سیم‌کشی مورد بازرسی قرار می‌گیرد. بنابراین شما می‌توانید در صورت حضور در محل، بر آن نظارت داشته باشید. اما بقیه کار مشخص است، مونتاژ مکانیکی.
- مرحله ۲ - *آزمایش‌های قبل از راه‌اندازی*(pre-running test): ابتدا نشتی‌های ساکن (static leakage)را بررسی کنید. سپس بر نحوه عملکرد پمپ‌های لوله‌های روغن‌کاری نظارت کنید. آزمایش مهم دیگر در این مرحله، بررسی عملکرد اجزای سیستم سوخت گاز است.
- مرحله ۳ - *آزمایش در دور استارت* (cranking test): شامل به کار انداختن موتور استارتر، مبدل گشتاور پیچشی (torque converter)، چرخ دنده کمکی و رابط مکانیکی در سرعت راه‌اندازی موتور است. نشتی‌ها را دوباره بررسی کنید. بر کالیبراسیون سیستم خودکار تنظیم سوخت مایع ( liquid fuel servo system) نظارت کرده و همچنین کارکرد پمپ سوخت را بررسی کنید.
- مرحله ۴ - *سرعت اسمی (rated speed)و آزمایش عملکرد (performance test)*: در این مرحله جعبه دنده تجهیزات جانبی با ۱۰۰ درصد سرعت اسمی توسط موتور الکتریکی به کار انداخته می‌شود. تمامی مقادیری که ثبت می‌شوند (در شکل ۷-۵ نشان داده شده‌اند)، باید در این شرایط خوانده شوند. اکنون باید بررسی کنید که آیا حلقه‌های سیال به درستی حضور توربین را شبیه‌سازی می‌کنند یا نه. منحنی‌های کالیبراسیون مربوط به ظرفیت حجمی و دبی که سازنده نشان می‌دهد را مرور کرده و مقادیر خوانده شده در سیستم واقعی را با مقادیر طراحی مقایسه کنید. از انطباق آنها اطمینان حاصل کنید. با یک بررسی سرتاسری از کارکرد صحیح تمامی اجزا مطمئن شوید. در این آزمایش اندازگیری مقادیر مستقیماً در محل نسبت به اعتماد کردن به سیستم های اندازه گیری از راه دور ارجحیت دارد. در این مرحله باید هرگونه تردید در باره دقت و صحت مقادیر خوانده شده، حذف شود. به بیان دیگر قبل از شروع آزمایش راه اندازی بدون بار( No load running )توربین و در انتهای این مرحله باید از ایجاد هرگونه عدم اطمینان از نتایج جلوگیری کرد. همچنین بررسی کنید که تمام نتایج به درستی در برگه اطلاعات گزارش شده باشد.

هنگام راه‌اندازی موتور باید دو بررسی مکانیکی اساسی صورت گیرد:

- سطح ارتعاش اجزای چرخنده بررسی شود. خصوصاً جعبه دنده محرک کمکی و کمپرسور هوای کمکی. از به کارگیری قاب‌های ارتعاش‌گیر مخصوص این اجزا اطمینان حاصل کنید. همچنین از همراستایی صحیح رابط مکانیکی و تمام محرک‌های تسمه‌ای ذوزنقه‌ای (V-belt drives) را اطمینان حاصل کنید.
- لوله‌ها، شیرها، مجراهای تخلیه (drain) و زانویی‌ها (trap) باید در دسترس باشند. به عبارت دیگر نباید در زیر دیگر لوله‌ها یا نگهدارنده‌های کابل‌ها پنهان شده و غیر قابل دسترسی باشند.

## آزمایش راه اندازی بدون بار( No load running )

معمولا سازندگان توربین‌های گازی با استاندارد، آنها را در کارخانه تحت بار مورد آزمایش قرار نمی‌دهد. برخی از سازنده‌ها احساس نیاز نمی‌کنند که قبل از آزمون عملکردی کامل که پس از قرارگیری و نصب در

محل کاربرد انجام می‌گیرد، آزمون روشن کردن توربین بدون بار انجام دهند. این گرایش با پیشرفت تکنولوژی و افزایش تعداد توربینهایی که در آزمایش ها موفق بوده اند، به شدت در حال افزایش است. البته برخی خریداران محتاط، انجام آزمایش روشن کردن بدون بار را برای توربینی که قصد خرید آن را دارند، الزامی می‌کنند. این خواسته بیشتر در مواقعی مطرح می شود که ساختار قرارداد مانند وظایف شرکتهای تجهیز کننده نیروگاه( power plant packager) ،مجوز دهنده و سازنده توربین گاز به هر شکل جدا از هم باشند. در این شرایط عاقلانه است که تمام احتیاط‌های ممکن جهت کاهش احتمال مشکلات FFP، قبل از راه‌اندازی توربین در محل کاربرد انجام شود. روش معمول برای دستیابی به این هدف، آزمایش راه اندازی بدون بار است. در ابتدا آزمایشی برای یکپارچگی مکانیکی توربین و عملکرد جمعی و تعامل صحیح سیستم‌های پشتیبان است. این آزمایشی نیست که بتوان برای تایید ضمانت‌نامه پذیرش که قبلا در این فصل ذکر شد به کار برد. علارغم اینکه وظیفه آن فقط ارائهٔ راهنمایی در مورد عملکرد توربین است ولی می‌تواند در تایید دیگر موارد FFP ماشین نیز کمک بسیاری کند. برای اینکه ، آزمایش راه اندازی بدون بار به خوبی انجام شود، لازم است که برنامه ریزی با دقت صورت گرفته و وقایع به درستی مستندسازی شود. همچنین برای نظارت مناسب باید یک روش ساختار داده شده و متعادل اتخاذ کنید. این آزمایش در زمان ۴ تا ۵ ساعت انجام می‌شود و شامل به کار انداختن توربین در بازه سرعت آن است. لازم است حداقل یک روز بازرسی کامل برای نظارت بر این آزمایش و انجام بررسی‌ها و مرورهای لازم در نظر گرفته شود. عجله نکنید و بدانید که یک نصف روز کافی نیست.

## بررسی تنظیمات

قبل از شروع آزمایش باید برخی تنظیمات مهم را بررسی کنید. این موارد در زیر ذکر شده‌اند. فرض بر این است که شما قبلا بر بررسی‌های عملکردی کامل بر تجهیزات جانبی اصلی نظارت حضوری داشته و نتایج رضایت‌بخش بوده است.

- صورت تجهیزات (equipment inventory) را بررسی کنید. هدف از این کار اطمینان یافتن از این است که کدام یک از تجهیزات آزمایش متعلق به قرارداد است و کدام یک متعلق به کارگاه (یا به عبارت دیگر همراه با توربین به محل نصب منتقل نمی شود). معمولاً موارد زیر از تجهیزات مربوط به کارگاه هستند.
- ورودی و اگزوز سیستم،
- پمپ‌های آب خنک کننده و خنک کننده‌ها،
- تامین کننده هوای ابزار دقیق،
- باتری‌ها و رکتیفایرها و
- تابلوهای کنترل.

هیچ کدام از این موارد در صحت آزمایش اهمیت زیادی ندارند. نکته مهم این است که اجزای به کار رفته باید اجزای قرارداد باشند. در غیر این صورت، آزمایش در بعضی مواقع بی‌معنی خواهند بود. در صورتی که با اجزای ذکر شده در قرارداد آزمایش انجام نگیرد، FFP به صورت واقعی آزمایش نشده است. سازنده‌های توربین گاز خوب، یک برگه بررسی مقدماتی دارند که صورت تجهیزات و اینکه مربوط به



قرارداد می‌شوند یا نه را نشان می‌دهد. این لیست را بخواهید و بعضی از شماره سریال‌ها را بررسی کنید. وجود یک مورد اختلاف را می‌توان خطا تلقی کرد ولی وجود دو مورد یا بیشتر نشان دهنده یک روند است.

- روغن به کار رفته برای روغن‌کاری را بررسی کنید. در توربین گازی استفاده از روغن آلوده مجاز نیست. از سازنده بخواهید تا نشان دهد که روغن به کار رفته تا 8 μm فیلتر شده است، برای اطمینان، بهتر است گواهی هم ارائه شود. در صورت مطابقت بخواهید که سیستم روغن را مجدداً برای دوساعت در مدار با فیلتر 8 μm قرار دهند. بعد از دو ساعت دوباره اجزای فیلتر را بررسی کنید. آنها باید کاملا تمیز باشد.
- گزارش ثبت سوابق تنظیم: این گزارش شامل تمام تنظیمات شیرها، اندازه نازل‌ها، نقاط تنظیم (set point) کنترل‌کننده، سطوح کالیبراسیون و تنظیمات قطع مدار (trip setting) برای اجزای کنترل توربین گاز و مدارها است. این باید یک گزارش جداگانه باشد. مرور این اطلاعات، به خصوص در مورد نقاط قطع مدار (trip point)، شاخص خوبی برای چگونگی رفتار متغیرهای سیستم حین آزمایش است.

## مراحل آزمایش

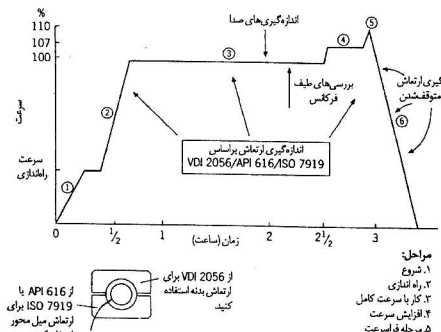
پس از انجام بررسی‌های مذکور، فرایند آزمایش آغاز می‌شود. ممکن است برخی تغییرات جزئی توسط سازنده‌ها ایجاد شود؛ ولی حتماً باید مراحل و اهداف اصلی در آزمایش گنجانده شده باشند. شکل ۷-۶ نمونه‌ای از یک روند آزمایش را نشان می‌دهد.

*مرحله ۱- آغاز:* واحد معمولا با سوخت مایع و تا سرعت راه‌اندازی شروع به کار می‌کند. توجه شود که شروع به کار باید به آهستگی صورت گرفته و نشتی روغن، هوا یا گاز از همان ابتدا بررسی شوند. نرخ افزایش سرعت باید ثابت باشد (این مورد از قبل در نرم‌افزار سیستم کنترل توربین گاز برنامه‌ریزی می‌شود). تمام تجهیزات جانبی باید بدون صدا و ارتعاش مکانیکی اضافی کار کنند.

*مرحله ۲- شروع به کار (run-up):* مراحل افزایش سرعت تا رسیدن به ۱۰۰ درصد سرعت ادامه پیدا می‌کند. نرخ افزایش سرعت باید ثابت بوده و به شرطی که مشکلی ظاهر نشود، نیازی به نگهداشتن در سرعت‌های پایین وجود ندارد. حین کار، ابزار اندازه‌گیری ارتعاش را به صورت چشمی بررسی کنید. باید برخی نشانه های اولین سرعت بحرانی را مشاهده کنید.

*مرحله ۳- کار کردن با سرعت کامل به مدت دو ساعت:* این مرحله فرصتی است برای پایدار شدن تمام دماها و فشارها. ابزارهای اندازه‌گیری تمام متغیرها باید توسط سیستم ضبط داده‌هایی که به صورت متوالی رخ می‌دهند (datalogging system) در فواصل زمانی با قاعده گزارش شوند. قابل ذکر است که ANSI/ASME PTC 22 بیشترین فاصلهٔ زمانی در ثبت گزارش اطلاعات را ۱۰ دقیقه تعیین کرده است. سطوح ارتعاش به صورت پیوسته، طی دو ساعت پایش شده (monitored) وصدا در زمان‌های مناسب اندازه‌گیری می‌شود. در انتهای این مدت، انتظار می‌رود که آنالیزهای فرکانس ارتعاش انجام شده باشد. نظارت حضوری بر این فعالیت، مهم است.

*مرحله ۴- افزایش سرعت کار:* سرعت توربین تا ۱۰۷ درصد سرعت اسمی افزایش داده شده و برای ۱۵ دقیقه در آن سرعت کار می‌کند. اطمینان حاصل کنید که نرخ افزایش سرعت بیش از ۱ درصد در ۵ ثانیه نباشد تا از وارد شدن تنش بیش از حد (over-stressing) به اجزای چرخنده جلوگیری شود. به دماها و سطوح ارتعاش در این مدت توجه ویژه‌ای داشته باشید.




**شکل ۷ـ۶** آزمایش بدون بار توربین گازی

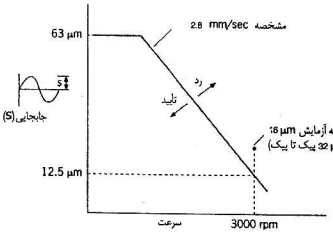
*مرحله ۵- قطع فوق سرعت* (overspeed trip): سرعت به آرامی از ۱۰۷ درصد افزایش داده می‌شود، تا جایی که اولین قطع الکترونیکی سرعت بالا به کار بیافتد. این آزادسازی باید در ۱۱۰ درصد سرعت اسمی با تلورانس ۰٫۵± درصد باشد. دقت داشته باشید که منظور 0.5± سرعت اسمی است. باید اشاره کرد که توربین‌های گازی دو مکانیزم مجزا برای قطع با سرعت بالا دارند. دومی که ممکن است مکانیکی یا یک سیستم الکترونیکی مجزا باشد، باید در ۱۱۲ درصد (۰٫۵± درصد) آزمایش شود. این مورد در شکل ۷-۶ نشان داده نشده است ولی معمولا بعد از مراحل نشان داده شده، انجام می‌شود و همچنان نیاز به نظارت حضوری دارد.

مرحله ۶- متوقف کردن (run down): اجازه داده می‌شود تا واحد به صورت طبیعی از سرعت قطع مدار متوقف شود. رسیدن به توقف نهایی چندین دقیقه طول می‌کشد. به نشانگر سرعت نگاه کنید؛ تا مطمئن شوید توقف کاملا آرام صورت می‌گیرد. توقف به صورت نامنظم یا در زمان بسیار کوتاه، در اکثر مواقع نشان دهنده معیوب شدن اجزای مکانیکی (در سرعت بالا) یا وجود اشکال‌هایی در یاتاقانها است. یکی از کلیدی‌ترین قسمتهای آزمایش، ثبت اطلاعات ارتعاش حین توقف سیستم است.

## ارزیابی نتایج ارتعاش

قابل ذکر است که سطوح ارتعاش برای توربین‌های گازی و دیگر ماشین‌های چرخنده بزرگ می‌تواند بر دو منشا اصلی متفاوت داشته باشند.





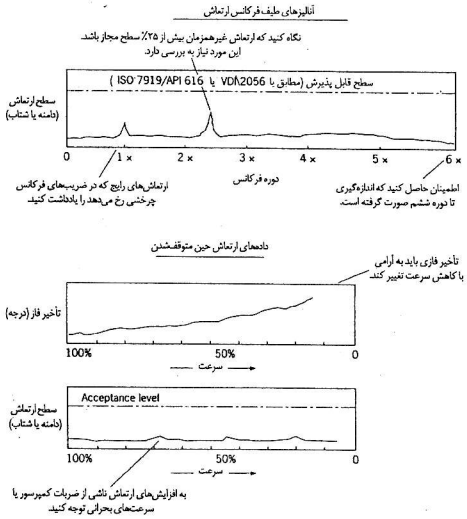

| | تبدیل موردنیاز | |
|---|---|---|
| مستقیماً با سطح قابل پذیرش 2.8 mm/sec که در VDI 2056 گروه T مشخص شده، مقایسه شود | V(rms) mm/sec | سرعت (rms) |
| با استفاده از رابطهٔ $V_{rms} = V_{peak}/\sqrt{3}$ به $V_{rms}$ تبدیل شود و مثل بالا مقایسه شود | V(peak) mm/sec | سرعت (پیک) |
| اینتا میبار 2.8 mm/sec به جابجایی مجاز تبدیل شود (از VDI 2056 جدول ۷ (در سرعت نامی ماشین، سپس مقدار واقعی خوانده شده با این مقایسه شود (توضیحات زیر را ببینید). | s microns | جابجایی (پیک تا پیک) |

**یک مثال:**

۱. یک ماشین 3000 rpm مطابق با VDI 2056، میبار 2.8 mm/sec .
۲. مقادیر ارتعاش خوانده شده در آزمایش بالانس برابر با 32 µm جابجایی پیک تا پیک است.
۳. در VDI 2056 ، ماکزیمم جابجایی قابل پذیرش برای 2.8 mm/sec در 3000 rpm به مقدار 12.5 µm (ضرب در 2 برای تبدیل به پیک تا پیک) می باشد = 25 µm .
۴. مقدار واقعی خوانده شده 32 µm است و از 25 µm بزرگتر می باشد، لذا عدم انطباق وجود دارد.

**شکل ۷ـ۷** نحوه تفسیر مقادیر ارتعاش

- *ارتعاش جعبه یاتاقان:* ارتعاش پوسته در توربین در VDI 2056 گروه T پوشش داده شده است. حد تعیین شده برای این مورد، ریشه میانگین مربعهای سرعتهای برابر با mm/sec8/2 می‌باشد و فرض شده است که به شکل سینوسی باشد. تبدیل مقادیر خوانده شده به دیگر واحدها ساده است. در شکل ۷-۷ یک مثال برای روشن شدن قضیه ارائه شده است.
- *ارتعاش میل محور:* برای اندازه‌گیری این ارتعاش، یک رهیافت کاملا متفاوت نسبت به ارتعاش جعبه یاتاقان وجود دارد. این مورد در API 616 آمده است ولی می‌توانید جزئیات آن را در (BS ISO 7919/1




**شکل ۷-۸** آنالیزهای فرکانس و متوقف‌شدن توربین‌های گازی

6749 بخش ۱) ببینید. در هر دو این استانداردها، دامنه تغییرات (مقدار تفاضل حداکثر از حداقل) به عنوان معیار تعیین شده است. معمولا حد پذیرش مورد استفاده، برای توربین‌های گاز حداکثر 38 μm در بازه سرعت 4000-8000 rpm و 50 μm برای سرعت‌های کاری زیر 4000 rpm در نظر گرفته می‌شود. به نکات زیر توجه کنید:

- تبدیل‌های مشخصی برای تبدیل ارتعاش جعبهٔ یاتاقان به ارتعاش محور (و بر عکس)وجود ندارد.
- تعداد کمی از سازنده‌ها، از اندازه گیری ارتعاش میل محور در مقابل ارتعاش جعبهٔ یاتاقان استفاده می‌کنند. اگر استاندارد ISO 7919/1 را ببینید، به پیچیده بودن این کار پی خواهید برد. همچنین از نظر عملی نیز مشکل است؛ چرا که نیاز به پوسته بلبرینگ نصب شده مخصوص دارد که بتواند پراب‌های غیر تماسی را نگهدارد.



پنابراین قبل از ارزیابی نتایج آزمایش ارتعاش، لازم است که بررسی کنید شما کدام منشا ارتعاش را در نظر گرفته‌اید. در شکل ۷-۷ رایج‌ترین روش‌هایی را که سازنده‌های توربین‌های گازی با رهیافت‌های متفاوت از آنها استفاده می‌کنند، نشان داده شده است. دو جنبه دیگر ارتعاش وجود دارد که باید حین نظارت حضوری آزمایش، مرور شوند. اینها نیز ممکن است پیچیده باشند. در شکل ۷-۸ ساده شده آنها نشان داده شده است.

- *آنالیزهای طیف ارتعاش* (vibration spectrum analysis): معمولاً این مقادیر در انتهای زمان ۲ ساعت کار توربین با ۱۰۰ درصد سرعت کاری ثبت می‌شوند. انتظار می‌رود که دو سری از مقادیر (ارتعاش افقی و عمودی) در هر بلبرینگ محوری ثبت شوند. اندازه‌گیری‌های ارتعاشی در سرتاسر طیف فرکانسی تا حدود شش (six times) فرکانس چرخشی توربین گزارش می‌شوند و اسم آن درجهٔ ششم است. هدف مشخص کردن سطوح ارتعاش اضافی در فرکانس‌های غیر همزمان (non-synchronoUT) مخصوصاً در بالاترین انتهای طیف است. به عنوان راهنمایی، هر ارتعاش غیر همزمان مجزا که بزرگتر از حدودا ۲۵ درصد حدود پذیرش باشد لازم است که مورد بررسی قرار گرفته و برای حذف آن NCR صادر شود.
- *آنالیزهای ارتعاش حین کاهش سرعت تا توقف* (run down vibration analysis): اغلب آزمایش‌های متداول بر روی واحدهای چرخنده بزرگ شامل اندازه‌گیری اطلاعات ارتعاش حین کاهش سرعت تا توقف تجهیزات است. باز هم مقادیر مجزا برای حسگرهای افقی و عمودی نصب شده بر هر یک از بلبرینگ‌ها گزارش می‌شود. سرعت ارتعاش (یا دامنه آن) بر حسب سرعت چرخش و نرخ کاهش سرعت تا توقف کامل رسم می‌شود. همچنین انتظار می‌رود اندازه‌گیری‌های اختلاف فاز نیز دیده شوند. شکل ۷-۸ یک نمونه از این منحنی‌ها را نشان می‌دهد.

## اندازه‌گیری صدا

در اغلب مشخصات فنی قراردادها، بررسی اندازه‌گیری صدای توربین گاز ضروری است. این یک مورد رایج در آزمایش‌های بازرسی است. اصول و روش‌های اندازه‌گیری صدا در اکثر انواع تجهیزات مهندسی یکسان است، لذا توضیحات فنی عمومی زیر می‌توانند برای موتورهای دیزل، جعبه دنده‌ها یا پمپ‌ها نیز به کار روند.

استاندارد فنی اصلی مربوط به آزمایش صدای توربین گاز ISO 10494 برای اندازه‌گیری صدای در فضا است(معادل BS 7721). این استاندارد توسط استاندارد آماده‌سازی توربین گاز ISO 3977 ارجاع داده شده است و شامل اطلاعات خاص درباره اندازه‌گیری سطوح صدای توربین گاز می‌باشد. قابل ذکر است که استاندارد بسیار عمومی ISO 1996، بخش‌های ۱ تا ۳ نیز وجود دارد که برپایه اصول فنی مشابه با ISO 10494 است؛ با این تفاوت که هیچ توضیح مخصوصی برای انواع ماشین‌ها (یا معلوم کردن حدود پذیرش صدا) ندارد. بنابراین ممکن است این استاندارد برای تمام انواع تجهیزات چرخنده به کار رود. در واقع این استاندارد برای استفاده در مورد توربین‌های گاز منع نشده است، ولی استفاده از ISO 10494 برای اهداف بازرسی راحت‌تر است. انتظار می‌رود در مشخصات فنی قرارداد حدود مجاز صدا تعیین شده باشد؛ در مقابل اینکه استانداردهای فنی بیشتر بر روی روش‌های آزمایش تمرکز دارند.

## اصول اندازه گیری صدا

صدا در اثر ارتعاش ضربان فشار حاصل از حرکت مولکولهای هوای نزدیک سطح یک منبع ارتعاش ایجاد می شود. بوسیله دستگاهی این تغییرات فشار در هوا تشخیص داده می شود و سپس این فشار صوت اندازه گیری شده را به نسبت یک سطح «صفر» اندازه گیری می کند.از آنجایی که یک ماشین ترکیبی از فرکانسها را ایجاد می کند، در اندازه گیری صدا تنها یک فرکانس صدا را نمی توان اندازه گیری کرد. در عمل ا دو راه مورد استفاده می شود، توجه داشته باشید که آنها مکمل هستند . آنها عبارتند از :

- *سطح صدا عمومی*: این اغلب به عنوان یک واژه محاوره ای برای چیزی که دقیقا به عنوان سطح فشار صوت A((A-weighted تعریف شده ، استفاده می گردد. این سطح از صدا ترکیبی از چند فرکانس است و سطح کل آن مطابق فرمولی که بهترین تقریب از میزان صدا را می دهد، حاصل می شود. این به عنوان یک داده دستگاه در واحد دسی بل نشان داده می شود. در اینجا dB) A).
- *پهنای فرکانس سطح فشار صوت*. تعیین سطوح باند فرکانس صدا مستلزم اندازه گیری سطح فشار صوت در تعدادی از باندهای فرکانس می باشد. صداها در باندهای اکتاو ( گام هشت تایی) یا یک سوم اکتاو در اصطلاح فرکانس باند متوسط خود منظم می شود، شکل۷-۹.

محدود فرکانسهای مورد توجه در اندازه گیری صدا ماشین آلات از حدود 30 HZ تا 1000 HZ می‌باشد. توجه داشته باشید که سطوح صوتی فشار باند فرکانس نیزدر واحد با دسی بل (dB) بیان می‌شود.

دسی بل یک مقیاس لگاریتمی است. میزان صوت در dB اینگونه تعریف می شود.

$$10 \log_{10} (p_1/p_0)^2 = dB$$

$p_1$: فشار صوت اندازه گیری شده

$P_0$: سطح فشار مرجع صفر

## ویژگی های صدای توربین گازی

توربین های گازی ذاتاً ماشینهای پر سروصدایی هستند که صداهایی با فرکانسهای مختلف ایجاد می کنند. صدا از برخی قسمتهای ماشین سرچشمه می گیرد ، ولی برخی ساده سازی ها به طور اجتناب ناپذیر هنگام در نظر گرفتن یک برنامه عملی اندازه گیری در محیط کار نیاز می باشد.

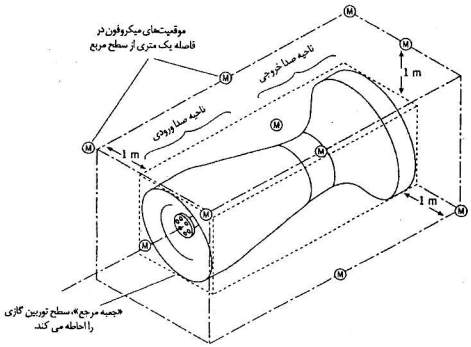
سه منبع اصلی انتشار صدا وجود دارد :

سطح کامل ماشین ، سیستم ورودی هوا و سیستم خروجی گاز مصرف شده. در عمل صدای سیستم خروجی و ورودی در صدای ناشی از سطح در نظر گرفته می شوند. این ساده سازی لازم است. یاتاقانهای ماشین در فرکانس های مربوط به سرعتهای چرخش خود ، صدا منتشر می کنند. در حالی که فرایند احتراق یک محدوده گسترده تر و غیر قابل پیش بینی تر از فرکانس های صوتی انتشار می دهند. بسیاری از توربینهای صنعتی در داخل یک محفظه عایق صدا (آکوستیک ) نصب می شوند تا از انتشار صدا به اطراف کاسته شود.

## آزمایش صدا

آزمایش صدا به طور ذاتی یک فرایند سر راست (مستقیم ) است ولی برخی اوقات انجام این آزمایش روی ماشینهای گردان با مشکلات عدم قطعیت مربوط به روشهای آزمایش یا عدم درک درباره ارزیابی نتایج همراه می شود. یک آزمایش صحیح به دو سری از مراحل زیر تقسیم می شود.






فرکانس‌های باند متوسط رایج عبارتند از:

| 63 Hz | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1000 Hz | 2000 Hz | 4000 Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|

اصلاح صدا پس‌زمینه (دقت درجه ۲ ISO 10494 )

| تفاوت بین صدا در حال کارکرد و صدای پس‌زمینه | این مقدار را از صدا در حال کارکرد کم کنید |
|---|---|
| 6dB | 1dB |
| 7dB | 1dB |
| 8dB | 1dB |
| 9dB | 1dB |
| 10dB | 0 |
| >10dB | 0 |

**یک آزمایش صدا از مراحل تشکیل شده است:**

۱. سطح مرجع را مشخص کنید.
۲. میکروفون‌ها را در فاصله یک متری از سطح مرجع قرار دهید.
۳. صدای پس‌زمینه را اندازه بگیرید (در هر موقعیت میکروفون).
۴. صدا در حال کارکرد را در هر موقعیت میکروفون اندازه بگیرید.
۵. اصلاح صدای پس‌زمینه را محاسبه کنید (جدول فوق را مشاهده نمایید).
۶. توجه کنید که یک عدم قطعیت dB ±2 در اکثر آزمایشات صدا وجود دارد.

**شکل ۷ـ۹ آزمایش‌های صدای توربین**

- یک *سطح مرجع تعریف کنید*. سطح مرجع یک جعبه مستطیلی فرضی است که تمام سطوح مهم توربین گازی را احاطه می کند. این جعبه به عنوان سطح منتشر کننده صدا از توربین گازی عمل کند.

- *میکروفنها را قرار دهید.* موقعیت های میکروفون در فاصله یک متری از سطحِ «جعبه مرجع» واقع شده است. (یک متر، فاصله استاندارد در تمامی آزمایشات صدا می باشد.) در یک آزمایش خوب بایدحداقل از ۱۲-۱۰ موقعیت میکروفون استفاده شود تا صدای منابع اصلی انتشار صدا ، یاتاقانها ، نواحی ورودی و خروجی و محفظه احتراق را بگیرد.
- *اندازه گیری صدای زمینه* –قبل از روشن شدن توربین باید یک عدد زمینه از صدای میکروفون های نصب شده گرفته شود. بطور نظری تجهیزات جانبی اصلی توربین گازی باید در حال کار باشند ولی در عمل این کار ممکن نیست زیرا آنها معمولاً بوسیله خود توربین بکار می افتند . مقادیر صداهای زمینه را ثبت کنید.
- *صدا را در حال کار کردن توربین گازی در شرایط حالت پایدار اندازه بگیرید.* ابتدا میزان فشار سطح A (A-weighted)) را در واحد dB(A) در هر میکروفون اندازه گیری نمایید ، لازم است که به هر میکروفون در هر موقعیت جدید ۳۰ ثانیه فرصت دهید تا عدد نشان داده شده پایدار شود. مطمئن شوید که در یک موقعیت ثابت شده است. تمام نتایج را ثبت کنید. مرحله دوم این است که میزان فشار صوت را در باندهای فرکانس مختلف یادداشت نمایید. قوانین دقیقی برای اینکه کدام باند اندازه گیری شود وجود ندارد. باندهای فرکانس یک آزمایش در شکل ۷-۹ نشان داده شده است. اعداد فرکانس باند یک سوم اکتاو می تواند به عنوان فرکانسهای باند اکتاو طیف صدا در نظر گرفته شود. هدف اصلی اندازه گیری یک سوم اکتاو، توجه دقیقتر به فرکانسهایی است که در محل تمایل دارند میزان فشار صوت بیشتر از حد انتظار نشان دهند. شما باید در اینجا اندکی به سازندگان توربین گازی اعتماد کنید. تمامی نتایج را ثبت نمایید.
- *تصحیحات صدا پس زمینه را محاسبه کنید* – بدلیل خاصیت لگاریتمی مقیاس دسی بل این یک تفریق مستقیم نیست . شکل ۹-۷ اصلاحات صدا هنگام کار کردن توربین را نشان می دهد. بسته به اختلاف ثبت شده بین صدا در حال کار توربین و صدا پس زمینه که قبلا اندازه گیری شده است، اصلاحات صورت می پذیرد. محدودیت هایی در مورد آنچه قابل پذیرش است وجود دارد ، مفهوم قابلیت پذیرش بر اساس چیزی به نام «دقت درجه ۲ » (این یک پارامتر ISO 10494 است ) می باشد. برای دستیابی به این دقت باید اختلاف ثبت شده بین صدا در حال کارکرد و صدا زمینه حداقل dB۶ باشد. اختلاف کمتر بدین معنی است که نتایج آزمایش احتمالا غیر قابل اعتماد و خواهند بود. به نظر نویسنده خوب است که یک بازرس بخواهد که آزمایش صدا با دقت درجه دو ISO 10494 مطابقت داشته باشد تا قابل پذیرش در نظر گرفته شود.
- *نتایج را با الزامات مشخصات فنی قرار داد ارزیابی نمایید* – با توجه به تلورانسها ، استانداردهای فنی در میزان عدم قطعیت کلی که به روشهای اندازه گیری صدا نسبت می دهند. تفاوت دارد . به عنوان یک راهنمایی تحت شرایط کنترل شده کارگاه آزمایش با تجهیزات خوب ، انتظار داشته باشید که تلورانس ۱.۵ ±تا ۲ دسی بل مصداق داشته باشد. اگر یک گزارش عدم انطباق برای ماشینی که در محدوده صدا خود قرار ندارد ولی در داخل این تلورانس است ، ارائه کنید، ممکن است تکرار آزمایش نتایج بهتر (یا بدتر ) بدهد در این مواقع به داده های باند فرکانس با دقت توجه کنید تا برای رسیدن به نتیجه به شما کمک کند ، این اطلاعات نیاز به تحلیل بیشتری دارند ولی در صورت دقت می توانند پاسخهای قطعی بدهند.



## گزارش آزمایش

آزمایش راه اندازی بدون بار باید با تدوین یک گزارش آزمایش کامل و با جزئیات دقیق سازنده بخوبی مستند سازی گردد. اطلاعات زیادی در اینجا وجود دارد که در طول آزمایش عملکرد در سایت یا هنگام رخ دادن مشکل در عمر اولیه کاری واحد (توربین ) مورد استفاده قرار می گیرد. با مقایسه داده های گزارش شده با یادداشت‌های شخصی که در طول آزمایش برداشته اید باید گزارش آزمایش را باز نگری کنید. تنها امضا کردن برگه نتایج آزمایش کافی نیست . بازرسی موثر مراقبت از این است که مطمئن شوید هر گونه عدم قطعیتی در گزارش آمده است. به گونه ای گزارش دهید که فهم عدم قطعیت برای مشتری آسان باشد. به نظر نویسنده شما حداقل باید به نکات زیر در گزارشتان اشاره کنید . آنرا مشخص سازید:

- نظر در مورد فلسفه روش اندازه گیری ارتعاش که استفاده شده است . آیا اندازه گیری ارتعاش بر اساس اندازه گیری های ارتعاش جعبهٔ یاتاقانها است یا اندازه گیری ارتعاش نسبی محور توربین ؟ توضیح دقیقی درباره اینکه خطاها چگونه حذف شده اند، ارائه دهید. شما باید نشان دهید که دانش کاری در این مبحث را دارید. – برخی بازرس ها این کار را انجام نمی دهند. توجه کنید نتیجه گیری در باره مقادیر لرزش بر اساس نتایج تعادل دینامیک قابل پذیرش نیست. عوامل فنی پیچیده بسیار زیادی در گیر هستند – هر کدام را جداگانه و با دقت در گزارش بیاورید.
- *جمله های واضحی درباره حدود دماهای کاری توربین گازی بیان کنید* . به یادداشتهای روزانه توجه نموده و به دماهای یاتاقان ، دماهای فضای چرخ و دماهای گاز خروجی اطمینان کنید. اگر شما شاهد دمای فلز یاتاقان بیشتر از ۷۰°c ، دمای فضای چرخ بیشتر از ۳۰۰°c یا دمای گاز خروجی بیشتر از ۲۵۰°c در شرایط کارکرد حالت پایدار بدون بار بوده اید. باید توضیحی برای قابل پذیرش بودن که این دماها ارائه دهید.
- نظر خود را در مورد داده های کار بدون بار اعلام کنید. اینها شامل جریان هوا – گاز ، نسبت فشار مصرف سوخت و جریان می شود توانایی ارزیابی این دادهای بدون بار به شرایط طراحی شده حتی با استفاده از منحنی های تصحیح سازنده نیاز به مهارت زیادی دارد. بنابراین سعی نکنید کارکرد در سایت را پیش بینی نمایید. بر گزارش دهی صحیح ، با واژه های مرجع آزمایش بدون بار اصرار کنید.
- بدلیل محدودیت استانداردهای بین المللی توربینهای گازی – یک خریدار معمولا مطمئن نیست از اینکه آیا سازندگان توربین خود را به این استانداردها مقید ساخته اند یا آنها آزادند تا استانداردهای پذیرش خود را برای دماهای کاری ، میزان لرزش و غیره مورد توجه قرار داده اند. یک گزارش بازرسی خوب در توضیح دادن این موقعیت به خریدار کمک خواهد کرد توضیحات ساده و شفافی برای اینکه آیا ماشین با الزامات API 616 , VDI 2056 , ISO 7919/1 تطابق دارد یا نه فراهم کنید حتی اگر ماشین مخصوص این استاندارد ها نیست. ولی بهتر است این را نیز بگوید که آیا بهتر از استانداردها یا بدتر از استانداردها نتیجه گرفته اند.اکثر برنامه های آزمایش توربین گازی با حضور ناظر ، انجام آزمایش کار کرد بدون بار پایان می یابند بر خلاف یک موتور دیزل ، در اینجا معمولاً آزمایش باز کردن (Strip Down) وجود ندارد مگر اینکه در قرار داد بطور ویژه در خواست شده باشد یا مشکلی شناسایی شده باشد. سازندگان اغلب بازرسی بورسکوپ بعد از آزمایش محفظه های احتراق مختص خود را انجام می دهند. ولی معمولاً فقط در صورتی که مشکلی در طول آزمایش کارکرد آشکار شود، پوسته توربین باز می شود.

**عدم انطباق‌ها و اقدامات اصلاحی رایج: توربینهای گازی**

| عدم انطباق | اقدام اصلاحی |
|---|---|
| در طول آزمایش کار بدون بار نشتی هوا یا گاز از سطوح فلنج | در صدور گزارش عدم انطباق مجعول نباشید.ا نشتی‌ها اغلب وقتی بدنه به دمای کارکرد حالت پایدار می رسد ، بسته می شوند. |
| دمای بالای فلز یاتاقان ها | شما باید ابتدا مشکلات پیش پا افتاده را حذف کنید بنابراین : نرخ جریان روغن روانکار را کنترل کنید. کالیبراسیون ابزار اندازه گیری را بررسی نمایید. سوابق فاصله یاتاقان را دوباره بررسی کنید. اگر هیچ دلیل منطقی برای اندازه زیاد (دما) نیافتید تنها راه حل باز کردن برای بازرسی یاتاقان است. |
| صدا مکانیکی زیاد | آزمایش باید سریعا متوقف شود . اجازه دوباره روشن شدن توربین را ندهید تا وقتی که سازنده توضیح دقیقی درباره تشخیص و برطرف شدن مشکل بدهد این مشکل بعید است که بدون بازکردن تجهیزات مرتفع گردد. |
| لرزش اضافی تجهیزات پشتیبان سوار شده روی فریم | نتایج آزمایش تجهیزات فرعی را بررسی کنید این تقریبا همیشه یک مشکل پایش است. |
| لرزش اضافی محفظه های یاتاقان توربین یا میله (شفت) | شما باید به دقت ، طبیعت واقعی لرزش اضافی را تشریح کنید . این یک کمک اساسی در تشخیص مشکل است . مشاهدات خود را همانند زیر دسته بندی کنید: آیا لرزش اضافی در محدوده سرعت ثابتی است یا در سرعتهای چرخش متفاوت متغییر است؟ یک اسکن انجام دهید تا فرکانس بیشترین ارتعاش را بیابید این را به عنوان ضریبی از فرکانس چرخش ثبت کنید. در صورتی که این فرکانس درجه دو (دو برابر ) بود بنویسید. به حداقل فرکانس طبیعی خمش حداقل میله (شفت) ارجاع دهید. شکل موج لرزش را بررسی نمایید ، منظم است یا نوسان دارد ؟ این کارها به دسته بندی مسایل کمک خواهد کرد. گزارش اقدامات اصلاحی (CA) شما باید اقدامات لازمی که شما بر سر آن با سازنده به توافق رسیده‌اید را تشریح کند. |

**یک نکته احتیاطی**

لرزش توربین گازی یک زمینه تخصصی است از تجربه خود در تشریح دقیق مشکل استفاده نمایید ولی سعی در حل کردن آن نکنید . تجربه برتر مجبور دهنده توربین گازی را بپذیرید و سپس مطمئن شوید که سازنده به مشکل رسیدگی می کند.



## خلاصه نکات کلیدی: توربین‌های گازی

### مناسب بودن برای منظور

۱. دو معیار واضح FFP که شما می توانید در طول کار بازرسی تایید کنید ، سلامت و یکپارچگی کارکرد و عملکرد سیستم‌ها ست.تایید تضمین هایی نظیر کارایی حرارتی یا بازده ممکن نیست.

۲. دیگر معیارهای FFP استنباط شده که می توانید بررسی کنید اینها هستند:
- خواص تنظیم کننده (governor)
- تنظیمات فوق سرعت
- مقادیر لرزش ، سرعت های بحرانی و صدا

### استانداردها

۳. استانداردهای مجوز دهندگان / سازندگان توربین گازی از استانداردهای فنی منتشر شده جامع تراست. با استانداردهایی مانند ASME PTC 22 , ISO 3977 , API 616 فقط به عنوان یک چهارچوب کاری رفتار کنید ، نه یکسری الزامات تجویزی.

### مراحل ITP

۴. مهمترین مراحل ITP آزمایشات قبل از سوار کردن موتور(بررسی خروج از محور روتور، بالانس و فوق سرعت) ، بررسیهای فاصله پره ، آزمایش تجهیزات جانبی و آزمایش کارکرد بدون بار ماشین تکمیل شده می باشد.

۵. موتورهای توربین گازی بصورت دینامیک بر اساس الزامات ISO 1940 یا API 616 با استفاده از دو صفحه تصحیح بالانس می شوند.

۶. آزمایش تجهیزات جانبی برای تایید عملکرد سیکل های روغن ، هوا و سوخت به شدت به شبیه سازی تکیه دارد.

۷. یک آزمایش کار بدون بار توربین گازی برای بررسی عملکرد کلی ، مقادیر صدا و لرزش و مکانیزم‌های ایمنی بکار می رود . شما باید یک رویکرد سازمان یافته برای نظارت بر این آزمایش ها اتخاذ کنید. امضاء کردن برگه های آزمایش سازنده به تنهایی کافی نیست گزارش شما باید مشاهدات مهندسی خوبی درباره مواد زیر داشته باشد.
- روشهای اندازه گیری لرزش (و نتایج آن )
- پارامترهای کاری (دماها و فشارها)
- آیا ماشین عدم انطباقی با استانداردهای فنی منتشر شده نشان می‌دهد.

۸. مراقب باشید از مهارت خود در تشریح دقیق هر گونه مشکلی که تشخیص داده اید استفاده نمایید ولی سعی در حل آن نکنید. توربینهای گازی تجهیزات پیچیده ای هستند. تجربه برتر سازنده را بپذیرید.

## فهرست مراجع


1. BS 3863: 1992 (identical to ISO 3977: 1991). Guide for gas turbine procurement.
2. BS 3135: 1989 (identical to ISO 2314). Specification for gas turbine acceptance test.
3. ANSI/ASME Performance Test Code 22: 1985. Gas turbine power plants.
4. API 616 Gas turbines for refinery service, 1989, American Petroleum Institute.
5. ISO 1940/1: 1986 (identical to BS 6861 Part 1: 1987). Balance quality requirements of rigid rotors: Part 1, Method for determination of permissible residual unbalance.
6. ISO 10940: 1993 (identical to BS 7721: 1994). Gas turbine and gas turbine sets. Measurement of emitted airborn noise-engineering/survey method.
7. VDI 2056: 1984, Criteria for assessing mechanical vibration of machines. Verein Deutscher Ingenieure.
8. ISO 7919/1: 1986 (identical to BS 6749: Part 1:1986). Measurement and evaluation of vibration on rotating shafts- Guide to general principles.
9. VDI 2059 Part 4: 1981, Shaft vibrations of gas turbosets- measurement and evaluation. Verein Deutscher Ingenieure.


فصل ۸

# توربین‌های بخار

توربین‌های بخار از جمله تجهیزات سنگینی هستند که به دلیل داشتن مقاطع ضخیم، مسائل و مشکلات فنی مختص به خود را دارند. علیرغم اینکه بدون شک تکنولوژی این توربین‌ها تقریباً کامل می باشد. با این‌حال توجه روز افزونی به فعالیت‌های طراحی و ساخت آنها می‌شود. امروزه، عمده توربین‌های با ظرفیت ۲۰ مگاوات به بالا، توسط شرکت‌هایی که مجزا از شرکت‌های طراحی فعالیت می‌کنند، ساخته می‌شوند. این مطلب باعث ایجاد ریسک‌های فنی و به تبع آنها مشکلاتی می‌گردد که در نهایت می تواند بازرسی توربین‌های بخار را با مشکلاتی مواجه می‌سازد.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور(FFP)

از دیدگاه یک بازرس فنی، FFP در مورد توربین بخار، در مقایسه با سایر تجهیزات، با مسائل پیچیده‌تری روبروست. بخشی از این مطلب، به واسطه این واقعیت است که امکان آزمایش توربین تنها هنگامی فراهم می‌گردد که اتصال به سیستم بخار برقرار باشد؛ در نتیجه محدودیت‌های مربوط به انجام آزمایش در محل ساخت روشن می‌گردد. مشکل دیگر، مربوط به ضمانت‌های توربین است؛ به طوریکه امکان بررسی راندمان و توان توربین تنها پس از نصب آن، فراهم می‌گردد. با توضیحات فوق به خوبی مشخص می‌شود که به منظور ارزیابی مناسب‌تر، لازم است موضع متفاوتی در مورد FFP اتخاذ شود. معیار " یکپارچگی" که در بخش‌هایی از این کتاب در مورد توربین‌های گازی، دیزل‌ها و جعبه دنده بیان می‌شود، کماکان مطرح است؛ اما برای توربین‌های بخار نیاز است یک گام به عقب بازگردیم. در واقع نیاز است در مورد فرایند ساخت بررسی بیشتری صورت پذیرد تا از وجود FFP در توربین اطمینان حاصل گردد. این، یکی ازراه‌های اعتباربخشی به معیار FFP توربین می‌باشد و به نظر می‌رسد بهترین راه‌حل باشد. مطلب فوق به معنی نیاز به آگاهی بیشتر از نحوه ساخت توربین بخار است؛ مطلبی که در مورد سایر تجهیزات مانند موتور دیزل به چشم نمی‌خورد.

## اطلاعات فنی پایه

در این کتاب، امکان بیان توضیحات جزئی درباره طراحی و ساخت توربین بخار وجود ندارد. در این زمینه، منابع معتبری وجود دارد که برای اطلاعات بیشتر می‌توانید از آنها کمک بگیرید. از نقطه نظر یک بازرس، تنها اطلاعاتی که در راستای فعالیت بازرسی است می‌تواند مفید واقع شود. در زمینه ساخت، در سه جنبه می‌توان تمرکز بیشتری داشت؛ که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. هر چند نبایستی فراموش کرد که در اینجا ساده‌سازی زیادی نسبت به تجربیات گسترده و وسیع درباره توربین بخار صورت پذیرفته است.

## بررسی مواد

در حالت کلی، توربین‌های بخار به دو دسته توربین‌های بخار اشباع و توربین‌های بخار سوپر هیت، تقسیم می‌گردند. از دیدگاه بازرسی، تفاوت اصلی بین این دو دسته، موادی است که در تجهیزات آنها استفاده می‌شود، به خصوص اجزای بدنه تحت فشار. این مواد معمولاً قطعات ریختگی فولاد فریتی هستند که به منظور داشتن خواص کششی مناسب در دمای بالا به کار می‌روند. اغلب این مواد قابلیت جوشکاری دارند و عیوبی که شناسایی شده‌اند، به راحتی می‌توانند تعمیر شوند. از جمله فولادهای ریختگی به کار رفته، DIN 17245 کلاس GS-17CrMoV 511 است ( این فولاد را می‌توانید تحت طبقه‌بندی Werkstoff آلمان (DIN) با شماره 17706 پیدا کنید). فولاد مذکور دارای مقادیر کم کربن (0.15تا 0.2 ٪ ) است و عمده خواص خود را از عناصر آلیاژی منگنز (0.5تا 0.8٪)، کرم (1.2تا 1.5٪) و مولیبدن (0.9 تا 1.1٪) به دست می‌آورد. UTS در محدوده Mpa 780-590 است و از تنش 0.2 درصد به منظور بیان استحکام در دماهای کاری تا حدود 550 درجه سانتیگراد استفاده می‌شود.

مانند سایر قطعات ریختگی، اجزای توربین بخار معمولاً در یک سیستم طبقه‌بندی کیفیت قرار می‌گیرند. این روش در فصل‌های ۴ و ۵ معرفی شد. استاندارد مورد استفاده بستگی به الزامات قرارداد دارد. DIN آلیاژ 17245 که ذکر شد در مرتبه $T_2$ از DIN 1690 قرار دارد؛ در حالیکه یک توربین بخار مطابق API 611، استانداردهای ASME/ASTM را مرجع قرار داده است. میزان عیب در بدنه توربین بخار، اغلب توسط سازنده تعریف می‌شود و معمولاً در استانداردهای فنی وجود ندارد. اکثر استانداردهای فنی، به منظور تعریف مقدار عیب قابل پذیرش، توافق سازنده/ خریدار را مجاز می دانند. نکته‌ای که بایستی به آن توجه داشت این است که تعریف دو معیارجداگانه، چندان غیرمعمول نیست. معیار پذیرش سختگیرانه برای نواحی بحرانی مانند نواحی لبه های جوشکاری و سطح فلنج و معیار ساده‌تر برای بقیه نواحی قطعهٔ ریختگی.

به دلیل اهمیت سلامت مواد در تضمین FFP، مشخصات مواد، نتایج آزمایشات و مدارک مربوط به قابلیت ردیابی مواد و تاییدیه های کیفیت، بخش‌های کلیدی برای بازرسی به شمار می‌روند. تمرکز بر بخش‌هایی که عمدتاً منبع اشکالاتی در قطعات ریختگی توربین بخار هستند، از ارزش زیادی برخوردار است که امکان فراگیری سریع آن نیز فراهم می‌باشد:

- *تغییر در آنالیز شیمیایی:* انتظار تغییر در آنالیز شیمیایی قطعات ریختگی بزرگ را داشته باشید. این اشکالات می‌تواند در نتیجه روش گرفتن آنالیز به وجود آید ( یا تغییرات بحر به بحر در قطعات مختلف ریختگی یا از داخل خود بدنه قطعه ریختگی).
- *تغییر در خواص مکانیکی:* این مشکل می‌تواند هم در نتیجه تغییر موقعیت قطعه آزمایشی و هم ضخامت ماده ریختگی که آزمایش روی آن انجام می‌شود، به وجود آید. همچنین عملیات حرارتی نهایی، تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی خواص دارد. اکثر قطعات ریختگی توربین بخار، کارخانه را در وضعیت" کوئنچ و تمپرشده" ترک می‌کنند و لذا به منظور ممانعت از مشکل، استاندارد مواد باید به دقت بررسی شود- این استاندارد بایستی خواص مکانیکی مورد نیاز را که در نتیجه نوعی عملیات حرارتی و پرداخت خاص حاصل می‌شود، ذکر کند.



## اندازه توربین را در نظر داشته باشید

توربین‌های بخار می‌توانند بسیار بزرگ باشند؛ به طوریکه ماشین‌هایی با ظرفیت 1500 مگاوات نصب شده‌اند که دارای روتورهای کم فشار (LP) با قطر چندین متر هستند. اما نکته قابل ذکر این است که اندازه یک توربین ( و ملاحظات طراحی پیچیده که به واسطه آن حاصل می‌شود) جنبه‌های اساسی بازرسی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. تنها مسئله‌ای که در عمل با آن مواجه می‌شویم، افزایش احتمال بروز مشکلات عملی است. این مطلب، نهایتاً بر نقاط نیازمند نظارت حضوری در حین ساخت اثرگذار خواهد بود.

در مورد ماشین‌های بزرگ، انتظار روبرو شدن با موارد زیر را داشته باشید:

- فشار و دمای سوپرهیت بالا، نیاز به موادی با ویژگیهای مناسب.
- مقاطع ضخیم در بدنه توربین. این مطلب، احتمال وجود عیب خاص در این مقاطع را افزایش می‌دهد.
- طول روتور بدون تکیه گاه بلندتر. این مطلب باعث می‌گردد تمایل به خمش و ارتعاشات بعدی، به خصوص در ماشین‌های تک محوره افزایش یابد.
- قطرهای بزرگ‌تر، مخصوصاً در مورد روتورهای LP که در آن اکثر تنش روی یک پره بخاطر نیروهای گریز از مرکز به جای بار ناشی از بخار وارد می‌شود. وجود تنش‌های بالاتر به معنی حساسیت بیشتر به اندازه عیب می‌باشد که در نتیجه نیاز به روش‌های NDT با قابلیت بیشتر روی اجزای در حال چرخش را مطرح می‌سازد.

تمام نکات فوق متذکر این مطلب است که بازرسی توربین بخار بزرگ به نسبت یک توربین کوچک، با احتیاطهای بیشتری همراه می‌باشد.

## سعی کنید مانند یک سازنده فکر کنید.

یک بازرس خوب می‌تواند مانند یک سازنده فکر کند. در صورتی که مفهوم FFP که قبلاً بیان شد، را بپذیرید، باید درک مناسبی از روش‌های استفاده شده در ساخت توربین داشته باشید. در صورتی که بتوانید این روش‌ها را به خوبی درک کنید، امکان فهم مشکلات به وقوع پیوسته ساده‌تر می‌گردد. در مجموع، سه بخش از توربین که دارای روش‌های ساخت متفاوت هستند، در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرند.

### قطعات استاتور

این قطعات، قطعات سنگینی هستند که معمولاً توسط یک کارخانه ریخته گری تولید می‌شود. درک نحوه ساخت این قطعات چندان آسان نیست؛ چون این روش‌ها بر مبنای تجربیات سال‌های متمادی حاصل شده است. بعضی از این روش‌ها دارای اساس تجربی قوی ( که در نتیجه آنالیز دقیق این روش را دشوار می‌سازد) و بعضی دیگر روش‌هایی بر مبنای سعی و خطا هستند. شاید به همین دلیل، عملیات حرارتی و آنالیز مواد از اهمیت زیادی برخوردار است. دقت ابعادی این قطعات، تلورانس‌های بازی دارند.

### قطعات روتور

قسمت‌های مختلف روتور از قطعات فورج ساخته می‌شوند که در نتیجه خواص مواد در جهات مختلف در آنها اهمیت می‌یابد. تنش‌های طراحی در این موارد بالا هستند و دقت ماشینکاری زیادی مورد نیاز است؛ و

لذا تلورانس‌های پیشنهادی محدود است. بالانس کردن قطعات روتور، یک مرحله کلیدی است (خوشبختانه این مرحله دارای یک اساس تئوری دقیق است). ساخت روتور تقریباً همیشه توسط سازنده‌ای که مجوز ساخت و سوار کردن توربین را دارد، انجام شده و لذا ریسک کمتری در پی خواهد داشت.

### قطعات نصبی

این بخش از قطعات، از تامین‌کننده‌های متخصص به جای سازنده توربین بخار خریداری می گردد. قطعاتی مثل بلبرینگ‌ها، شیرهای داخلی و تعدادی از پرهها از جمله این موارد هستند. میزان دقت این قطعات بالاست، اما سازنده توربین در مورد FFP این اجزا به طور کامل به تامین‌کننده اعتماد می‌کند.

در مورد تفاوت این سه طبقه ساخت، باید تامل بیشتری نمود.

هدف از ارائه توضیحات فوق، بیان این واقعیت است که هنگام در نظر گرفتن FFP قطعات توربین بخار، بایستی در ابتدا نوع قطعه مشخص گردد. توجه داشته باشید که مقدار مدارک مرتبط با قطعات مختلف، متفاوت است. بعضی قطعات در معرض کنترل‌های حین ساخت مناسب‌تری هستند و در مورد بعضی قطعات ( که به طور عمده مربوط به سازنده‌های زیرمجموعه است)، احتمال یافتن نقص‌هایی در زنجیره ردیابی بیشتر خواهد بود. عبارات فوق، چارچوب مناسبی به منظور کسب تجربه ارائه می‌کنند. همچنین، به تمرکز صحیح روی FFP نیز کمک خواهند کرد.

### ضمانت‌ها

بیان مجموعه‌ای از ضمانت‌های مورد قبول در مورد توربین بخار آسان به نظر نمی‌رسد. در ابتدا نیاز است این واقعیت را بپذیرید که ضمانت‌هایی درباره اطلاعات و پارامترهای مشمول در بخش فنی مشخصات خرید، اساس ارزیابی FFP شما خواهد بود. همچنین بایستی اطمینان کافی نسبت به استانداردهای مختلف کسب کنید تا راهنمای روشنی نسبت به پارامترهای فنی که در ضمانت‌های مورد قبول مربوط به قرارداد ذکر نشده است، در اختیار داشته باشید.

## مشخصات فنی و استانداردها

در بخش قبل اشاره شد که به عقیده ما، استانداردهای توربین گاز در مقایسه با پیشرفت‌های صورت گرفته در بین سازنده‌های این توربین‌ها، کمتر توسعه یافته است. البته این مطلب در مورد توربین‌های بخار صادق نیست- احتمالاً به این دلیل که تکنولوژی توربین بخار تکامل یافته‌تر است و به سرعت تغییر نمی‌کند. استانداردهای بین‌المللی که در این رابطه مطرح هستند، به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند.

### استانداردهای تکنولوژی کلی

این استانداردها، جنبه‌های طراحی، ساخت و آزمایش را به خوبی پوشش می‌دهند. در این حوزه، فعلاً می‌توان استانداردهای API را به عنوان شروع فعالیت در نظر گرفت. دو استاندارد مطرح در این زمینه، یکی API 611 در مورد توربین‌های بخار با مقاصد کلی برای سرویس‌های پالایشگاهی، و 612 API در مورد توربین‌های بخار با مقاصد خاص برای سرویس‌های تصفیه و پالایش می‌باشند، مانند دیگر استانداردهای



اصلی API ، کاربرد این استانداردها نیز فراتر از حوزه‌ای است که در عنوان آنها ذکر شده است. نکته قابل ذکر این است که استاندارد ASME/ ANSI PTC (کدهای آزمایش عملکرد) شماره 6 ، مجموعه‌ای از دستورالعمل‌هایی است که می‌تواند استانداردهای API را تکمیل نماید. البته برای توربین‌های تولید برق بزرگ، استفاده از آن رایج نیست.

### استانداردهای آزمایش عملکرد توربین

این استانداردها تنها آزمایشات عملکرد توربین تحت شرایط کار با بخار را پوشش می‌دهند. اینها برای آزمایشات کارگاهی به کار نمی‌روند؛ بلکه برای تصدیق کارکرد پس از نصب در سایت به کار می‌رود.

در بعضی مواقع نادر که یک آزمایش فشار در حین ساخت انجام می‌شود، استانداردهای زیر می‌توانند استفاده شود: BS 5988 (5) ( مشابه IEC 46-2) و BS 752(6) (مشابه IEC 46-1) که کدهای مربوط به انجام آزمایشات می‌باشند.

### استانداردهای تدارک

این دسته از استانداردها، مفیدترین دسته به منظور اهداف بازرسی در حین راه‌اندازی می‌باشند. استاندارد در زمینه تدارک توربین بخار، BS EN 600451(7) است – مانند IEC 46-1. اخیراً این استانداردها به روز شده‌اند و بسیاری از فعالیت‌های نوین که از طریق آن توربین‌های بخار شناسایی و خریداری می‌شوند، در آن وارد گشته‌اند. در اینجا به جاست که تعدادی از جنبه‌های مهم پوشش داده شده در این استانداردها بیان گردند:

- این استانداردها، راهنمایی‌های روشنی در مورد خصوصیات کاری و سطح فوق سرعت دارند.
- ارتعاش به دو طریق بیان شده است که در این کتاب به صورت یک روش عمومی معرفی شده است. به عنوان نمونه، ارتعاش بدنه یاتاقان با استفاده از VDI 2056/ISO 2372 ( با استفاده از mm/sec به عنوان متغیر راهنما) و ارتعاش شافت با استفاده از ISO 7919 و اندازه‌گیری جابجایی نسبی.
- الزامات قابل تعریف برای آزمایشات هیدرواستاتیک روی اجزای تحت فشار توربین بیان شده‌اند.

اطمینان حاصل کنید که به این استاندارد دسترسی دارید – شما بایستی بعضی از نقاط کلیدی آن را در دفترچه بازرسی خودتان بیان کنید. استانداردهای مهم و رایج مربوط به بالانس کردن و ارتعاش، قبلاً در بخش‌های مختلف این کتاب بیان شده است. استاندارد قابل بیان دیگر که در صورت استفاده از رادیوگرافی به منظور NDT حجمی بدنه‌های توربین قابل استفاده است، استاندارد BS 2737 می‌باشد. این استاندارد، اصطلاحات مربوط به عیوب داخلی در بدنه‌ها را ذکر می‌کند. شناسایی و طبقه‌بندی عیوب، مرحله مهمی در تعیین FFP اجزای ریختگی توربین می‌باشد.

## طرح بازرسی و آزمایش

ITP برای توربین‌های بخار دارای یک فرمت توسعه‌یافته و مناسب است. در این فرمت، کنترل بسیار دقیق مواد، هم برای اجزای ریختگی بزرگ و هم برای اجزایی مانند پره‌ها وجود دارد. استانداردهای آنالیز و

| آزمایشات خاص | بررسی‌های ابعادی | PT | MT | UT | آنالیز شیمیایی | آزمایشات ضربه | آزمایشات کشش | نوع قطعه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| توزیع سولفور | • | | | • | • | • | • | قطعات فورج روتور |
| آنالیز اسپکتروسکوپی | | | • | • | | | | روتور پس از جوشکاری و ماشینکاری |
| | • | | • | • | • | • | • | چرخ‌های روتور |
| بررسی سختی ( به ازای یک دسته پره)، آنالیز اسپکتروسکوپی | • | | | • | • | • | • | پره‌های استاتور و روتور |
| | • | | | | | | | روتور پس از قرارگیری پره‌ها |
| MT روی تمام محل‌های تخلیه شده، آزمایش سختی (روی وجوه فلنج)، تکرار NDT پس از تعمیر و عملیات حرارتی | • | | • | • | • | • | • | بدنه خارجی و valve chest |
| | • | | • | • | • | • | • | حامل‌های پره |
| | • | | | | | | • | روکش کلاهک آببند |
| | • | | | | | | • | پایه‌های یاتاقان |
| آزمایشات کشش اضافی برای اجزای چدنی | • | | | • | | | | |
| آزمایش التراسونیک اتصال فلنز یاتاقان به ماده پشت‌بند، آزمایش PT برای تخلخل سطحی | | • | | • | | • | • | بدنه‌های یاتاقان |

شکل ۸ـ۱ ITP توربین بخار ـ آزمایشات مواد

آزمایش مواد، معمولاً موارد بیان شده در فصل۴ را دنبال می‌کنند. شکل ۸-۱، گستره رایج در مورد آزمایشات انجام شده روی مواد مختلف برای اجزای اصلی توربین را بیان می‌کند. نکته‌ای که بایستی در نظر داشت، توجه به فعالیت‌های NDT برای اطمینان از یکپارچگی اجزای ثابت و گردان می‌باشد.

مطلب دیگری که در ITP وجود دارد، بررسی‌های پس از مونتاژ است که عمدتاً مربوط به فضاهای مجاز و هم‌راستای می‌باشد. سعی کنید که در هنگام انجام بعضی آزمایشات، نظارت حضوری داشته باشید ( احتمالاً بیشتر از موارد بیان شده در مورد توربین گاز)- اکثر آنها، روش‌های اندازه‌گیری با استفاده از سنجه‌های فیلر (filler gauge) می‌باشد. در اینجا انتظار داشته باشید که در چارچوب تلورانس‌های طراحی سازنده فعالیت کنید.

بررسی‌های پس از مونتاژ اصلی که درITP وجود دارند، عبارتند از:

- فضاهای مجاز بین پره‌ها (محوری و شعاعی)
- فضای مجاز کلاهک آببندی (محوری و شعاعی).
- فضاهای مجاز بین بدنه نازل و پیستون بالانس ( در صورت نصب).
- بررسی وضعیت روتور در پایه‌های یاتاقان
- فضاهای مجاز شعاعی بلبرینگ سر محور (محور یاتاقان)
- فضاهای مجاز فوق سرعت، پمپ روغن و مکانیزم‌های دنده دوار



- هم‌ترازی بدنه/ یاتاقان بلبرینگ
- بررسی شیر کنترل و شیر توقف و اندزه‌گیری فضاهای مجاز
- پیش‌کشش مهره‌های حمل‌کننده‌های پره، محفظه نازل و محفظه بیرونی

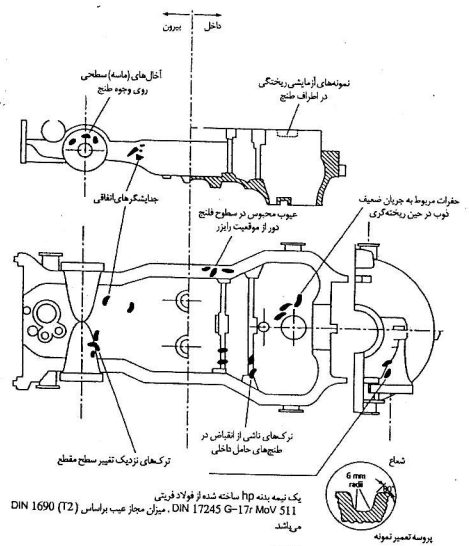
## رویه‌ها و تکنیک‌های آزمایش

یک برنامه بازرسی مناسب برای یک توربین بخار شامل حداقل سه بازدید جداگانه با فواصل چند هفته می‌باشد. این سه بازدید تقریباً با سه دسته آزمایش که نیاز به نظارت حضوری دارند منطبق می‌باشد. به تداوم و پیوستگی این بازدیدها توجه کنید. سعی نمایید در هر سه مرحله نظارت حضوری داشته باشید. این کار، مستندات را تقویت کرده و امکان داشتن درک مناسب‌تر از FFP ماشین را فراهم می‌آورد.

### آزمایشات بدنه

نگاهی کلی به استانداردهای توربین بخار نشان می‌دهد که تمام اجزای تحت فشار مثبت، ابتدا باید در معرض آزمایشات غیر مخرب و بررسی‌های متالورژیکی و پس از آن تحت آزمایش هیدرواستاتیک قرار گیرند. در این آزمایش‌ها، به خوبی می‌توان ساخت اجزای ریختگی که در آن وجود عیب غیر قابل اجتناب است، را کنترل نمود. جنبه کلیدی و مهم در ریخته‌گری این اجزاء، شناسایی و تعمیر چنین عیوبی می‌باشد. یکی از وظایف اصلی شما به عنوان بازرس در تضمین FFP، بررسی و تایید مجموعه این فعالیت‌ها است. در ابتدا بایستی به تقدم و تاخر این فعالیت‌ها در مورد بدنه یک توربین بخار توجه نمایید:

- پس از انجماد، بدنه از قالب جدا شده و سیستم تغذیه و راهگاهی آن بریده می‌شود. پس از این مرحله، قطعه به وضعیت شبه‌نهایی خود می‌رسد.
- یک بازرسی سطحی چشمی انجام و پس از آن NDT حجمی صورت می‌پذیرد (استفاده از بازرسی رادیوگرافی و التراسونیک رایج است). در این مرحله، بدنه شامل عیوب متعددی است- این عیوب می‌توانند بسیار بزرگ باشند؛ حتی حفراتی که در بعضی نواحی، کل ضخامت را شامل شده‌اند. نکته مهم این است که این عیوب شناسایی شوند و با استفاده از یک " نقشه عیوب" ثبت گردند.
- به منظور تعمیر عیوب، باید بدنه سنگ‌زنی شود تا به قسمت سالم آن رسید. در این مرحله، فرایند تعمیر آغاز می‌شود- این فرایند، مشابه فرایند WPS/PQR است که در فصل ۵ به آن اشاره شد و برای بخش PQR، فعالیت رایج، تایید آن توسط طرف سوم ( بازرس مستقل) می باشد. شکل ۸-۲، یک نقشه عیب نمونه که برای یک بدنه توربین پرفشار (hp) آماده شده است، نمایش می‌دهد. همچنین به فرایند تعمیر نشان داده شده در شکل توجه کنید.
- پس از تعمیر و عملیات حرارتی نهایی، بدنه در معرض NDT نهایی قرار می‌گیرد. این مرحله شامل بازرسی سطحی و حجمی روی تمام نواحی است و تنها مناطق تعمیری را در بر نمی‌گیرد. یکی از استانداردهای مربوط به بازرسی التراسونیک، استانداردASTM A609 می‌باشد- توجه داشته باشید که استانداردهای مرجعASME VIII دستهI معمولاً برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. بازرسی سطحی مربوطه می‌تواند با استانداردهای MSS SP 55(10) (چشمی) و ASTM E709/E125 (برای MT) صورت پذیرد.




یک نیمه بدنه hp ساخته شده از فولاد فریتی DIN 17245 G-17r MoV 511 ، میزان مجاز عیب براساس (T2) DIN 1690 می‌باشد.

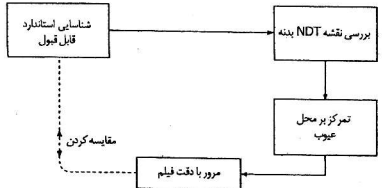
**تذکرات:**

۱. تمام اندازه عیوب (طول × عرض × ارتفاع) برحسب میلی‌متر ثبت شود.
۲. عیوبی که تا کل ضخامت دیواره گسترش یافته‌اند.
۳. تمام عیوب استخراج شده توسط یک پروسه جوشکاری مناسب تعمیر گردد.
- دمای پیش گرم: ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد
- دمای بین پاس: ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد
- تنش‌زدایی کامل پس از تعمیر جوشکاری
- ریشه GTAW، پرکردن SAW .

**شکل ۸ـ۲** عیوب ریختگی رایج بدنه توربین

- آزمایش رادیوگرافی: هر چند بعضی سازنده‌های توربین بخار تنها از آزمایش التراسونیک برای آزمایش بدنه‌ها استفاده می‌کنند، رادیوگرافی کماکان رایج‌ترین آزمایش برای بیشتر اندازه‌های توربین به غیر از بزرگ‌ترین آنها می‌باشد. این آزمایشات بر مبنای استانداردهای ASTM E94 و ASME بخش VIII شاخه1، UW-51 و UW-52 انجام می‌شود.






**۵ دسته عیوب عبارتند از:**
- حفرات
- ترک‌ها
- عیوب محبوس سرد
- جدایش‌ها
- آخال‌ها

**از اطلاعات زیر می‌توانید کمک بگیرید:**
۱. رادیوگراف‌های مرجع ASTM 446 و E 280 .
۲. واژه‌شناسی عیوب موجود در قطعات ریختگی BS 2737 .
۳. استانداردهای چشمی برای قطعات ریختگی فولادی MSS-SP55 .

**شکل ۸ـ۳** ارزیابی فیلم‌های رادیوگرافی بدنه توربین

آزمایش رادیوگرافی را مهم‌ترین بخش کار خود بدانید- در اینجا، نیاز به درک روشن از موارد مورد جستجو وجود دارد. برای انجام این مرحله، نیاز به آماده‌سازیهایی وجود دارد. در شکل ۸-۳، مراحل پیشنهادی نمایش داده شده است. به اطلاعات اضافی بیان شده در شکل توجه نمایید.

نکته‌ای که بایستی مدنظر داشت این است که به منظور حصول نتایج مناسب از دیدگاه بازرسی، استانداردهایی باید مورد استفاده قرار گیرد که سطوح قابل پذیرش عیب را تعریف نماید. اظهار نظر سازنده مبنی بر انطباق بدنه با "روش کار مقبول" و یا " دارا بودن کیفیت تجاری" نمی‌تواند مدرکی دال بر مناسب بودن محصول باشد. بهترین راه تضمین FFP این است که استانداردهای پذیرش عیب به عنوان بخشی از الزامات قرارداد بین سازنده و خریدار موجود باشد. در صورت عدم وجود چنین الزاماتی، باید از این استانداردها تنها به عنوان اطلاعاتی که در تکمیل اظهارنظر مهندسی به شما کمک می‌کند، بهره برد.

## آزمایش هیدرواستاتیک

معیار اصلی طراحی برای بدنه‌های توربین، توانایی مقاومت در برابر تنش محیطی در حداکثر دمای کاری می‌باشد. به دلیل مشکلات عملی، آزمایش هیدرواستاتیک در دمای محیط انجام می‌شود؛ این محدودیت تنها یکی از محدودیت‌هایی است که به واسطه آن، اطلاعاتی که یک آزمایش هیدرواستاتیک به ما بدهد، محدود می‌شود. رایج‌ترین مورد اشتباه در برداشت از نتایج، عبارت است از:

- در صورتی که بدنه بتواند آزمایش هیدرواستاتیک را با موفقیت سپری کند، اندازه عیوب موجود در آن چندان مهم نیست و می‌تواند قابل قبول باشد.

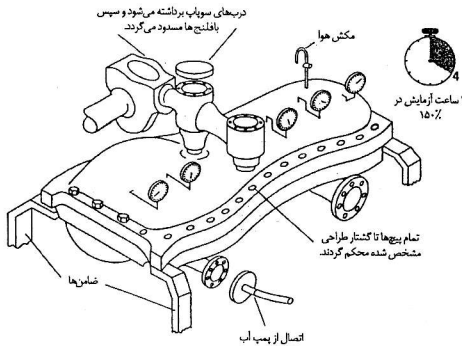
این مطلب، یک نتیجه‌گیری نادرست است- آزمایش هیدرواستاتیک، تنش‌های اصلی را تحت شرایطی غیر از شرایط کاری به بدنه وارد می‌سازد؛ در حالیکه در عمل، بدنه به وسیله مکانیزم‌های خستگی، خزش یا گسترش ترک و یا ترکیبی از این موارد می‌شکند.

نکته قابل ذکر این است که بایستی به آزمایش هیدرواستاتیک به عنوان بخش مهم و معتبری از ارزیابی خود توجه داشته باشید ( به بخش ۸-۴ مراجعه شود)؛ اما همواره در نظر داشته باشید که این **آزمایش قادر به تامین شرایط FFP نمی‌باشد.**

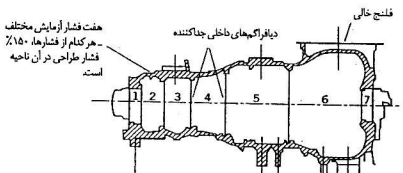
در هنگام مشاهده آزمایش، نکات مهم زیر را در نظر داشته باشید:

- فشار آزمایش معمولاً حدود ۱۵۰٪ فشار مجاز حداکثر در هنگام سرویس بدنه می‌باشد. نکته مورد توجه این است که بایستی ضریبی برای استحکام کششی فولاد در نظر گرفته شود تا بتواند اختلاف بین این استحکام در دمای اتاق و دمای بالا را جبران نماید. در عمل ممکن است سازنده به منظور اندازه‌گیری تنش‌های وارده بر مواد و فشار آزمایش مربوطه به کد ASME (بخش Div. I VIII برای بدنه و یا B 31.1 برای لوله‌کشی) مراجعه نماید. شما می‌توانید به عنوان بازرس درخواست بازدید این محاسبات را داشته باشید. همچنین در مورد انجام آزمایش در یک فشار مصنوعی محتاط پایین باشید.
- بعضی انواع بدنه (به خصوص آنهایی که برای شرایط تنشی بسیار دقیق طراحی شده‌اند) توسط دیافراگم‌های فولادی که به وسیله جک‌هایی در محل قرار گرفته‌اند، قسمت‌بندی می‌شوند که این کار باعث می‌گردد، مناطق مختلف بدنه بتوانند در معرض فشارهای آزمون مختلف قرار گیرند و لذا امکان اعمال شیب فشاری که بدنه در حین استفاده تجربه می‌کند، فراهم می‌گردد. شکل ۸-۴، چنین آزمایشی را نمایش می‌دهد.
- فشار بایستی حداقل به مدت ۳۰ دقیقه به بدنه اعمال گردد. در صورت امکان، بهتر است اعمال فشار در حد چند ساعت باشد. به دقت به سنجه‌های فشار ( که بایستی ۲ تا باشد) توجه کنید تا هر گونه افت فشار را تشخیص دهید. دقیق‌ترین راه برای آزمایش، استفاده از سنجه‌ها در جایی است که فشار ۷۰ تا ۷۵ درصد فشار قابل اندازه‌گیری باشد.
- استفاده از بتونه روی سطوح فلنج بدنه قابل قبول است؛ اما بایستی توجه داشت که این کار، می‌تواند اعوجاج فلنج بدنه یا پرداخت سطحی ضعیف را پوشش دهد. در صورت روبت بتونه، پس از دمونتاژ کردن، به دقت سطوح فلنج را بررسی کنید.
- مشاهده موردی بدنه‌های تحت فشار چندان مناسب نیست. برای انجام بهینه این کار، نیاز است تمام سطوح خارجی با هوای فشرده خشک گردد و سپس تمام نواحی آن، توسط یک نور قوی بررسی گردد. توجه ویژه‌ای به نواحی نزدیک تغییر سطح مقطع و نواحی که امکان تشکیل عیوب انقباضی و ترک در حین سرد کردن وجود دارد، داشته باشید همچنین به جاست که تعمیرات صورت گرفته بررسی شود تا محل آن مشخص گردد.
- پس از تکمیل آزمایش هیدرواستاتیک، بازرسی داخل بدنه توربین به منظور ردیابی عیوب قابل مشاهده، توصیه می‌گردد- معمولاً حدود ۳ ساعت وقت به منظور خشک کردن بدنه و دمونتاژ کردن آن لازم است. نتایج این بازرسی بایستی در گزارش نهایی ذکر گردد. این مطلب می‌تواند در آینده و هنگامی که در حین عمر کاری توربین، عیوبی روی سطح آن به وجود می‌آید، مرجع مفیدی باشد. از در نظر گرفتن نکات زیر اطمینان حاصل نمایید:






این تصویر، یک بدنه توربین پیشرفته hp/ip که در فشارهای آزمایش مختلف آزمایش شده است را نشان می‌دهد.




**شکل ۸-۴** آزمایشات هیدرواستاتیک یک بدنه توربین HP/IP

- *سطوح فلنج*. سازنده بایستی پس از آزمایش هیدرواستاتیک، مجدداً تختی سطوح فلنج را بازرسی نماید ( با استفاده از علامتگذاری با رنگ آبی) تا از عدم وجود اعوجاج، اطمینان حاصل کند. سعی کنید در هنگام انجام این آزمایش نظارت حضوری داشته باشید. توجه ویژه‌ای به لبه‌های داخلی که اغلب اولین اعوجاج‌ها در آن مشاهده می‌شود، داشته باشید.
- *سوراخ‌های* پیچ. اطراف تمام سوراخ‌های پیچ فلنج را برای یافتن ترک به طور چشمی بازرسی نمایید.

- *شعاع داخلی*: بررسی کنید که شعاع کوچک داخل بدنه به خوبی آماده شده باشد تا تمرکز تنش در آن به حداقل برسد.
- *پرداخت سطحی کلی*: در مورد بدنه‌های ریختگی که در داخل آن ناهمواریهای سطحی به طور قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد، این ارزیابی از اهمیت زیادی برخوردار نیست. در این مرحله، از استاندارد بازرسی چشمی MSS SP 55 به عنوان یک راهنمای جامع می‌توان استفاده کرد. در این بخش از ساخت، تمامی عیوب سطحی قابل مشاهده بایستی حذف شود. به این دلیل، به منظور بازرسی سطح بایستی از نور مناسب بهره گیرید.
- نتایج یافته‌های خود را با احتیاط و دقت مطابق راهنمای ارائه شده در فصل ۱۵ گزارش کنید.

## آزمایشات روتور

روتورهای توربین بخار در معرض آزمایشات بالانس دینامیکی، فوق سرعت و ارتعاش قرار می‌گیرند و در تمام آنها نیاز به نظارت حضوری وجود دارد. روش‌های به کار رفته، مشابه روش‌های بیان شده در مورد روتورهای توربین گاز و گیربکس می‌باشد- برای توضیحات مقدماتی می‌توانید به فصل‌های ۷ و ۱۰ مراجعه کنید. معیارهای پذیرش می‌تواند متفاوت باشد- به طوری‌که این حوزه نسبت به حوزه‌هایی که سازنده‌ها اقدام به تعیین معیارهای خود می‌کنند، اندکی متفاوت است. در حالت کلی، این معیارها بایستی بر مبنای استانداردهای رایج بنا شود.

### بالانس‌کردن دینامیکی

این آزمایش پس از مونتاژ و سوار کردن پره‌ها، معمولاً در سرعت پایین (400-500 rpm) صورت می‌پذیرد. روتورهای ip و hp کوچک‌تر، دو صفحه تصحیح‌کننده به منظور تعدیل وزن خواهند داشت؛ در حالی‌که روتورهای بزرگ، سه تا از این صفحات دارند.

API 611/612 حداکثر غیر بالانس بودن به ازای هر صفحه (U به صورت g mm اندازه‌گیری می‌شود) را به صورت زیر بیان می‌کند:

$$U = \frac{6350W}{N}$$

که در آن:

W : بار یاتاقان سر محور بر حسب kg

N : حداکثر سرعت بر حسب rpm می‌باشد.

ISO 1940 کیفیت بالانس خود را برای روتورهای توربین بخار، در کلاس G2.5 بیان می‌دارد. یک روش مشابه توسط VDI 2060 پذیرفته شده است.

### آزمایش ارتعاش

API 611/612، ارتعاش را به صورت یک دامنه مشخص می‌سازد. حداکثر دامنه پیک تا پیک A (میکرون) توسط رابطه زیر بیان می‌گردد: $25.4\sqrt{(12000/N)}$ A( m) با حد نهایی 50 μm به BS EN 60045-1 مانند دیگر استانداردهای توربین گاز اروپایی، روش مشابهی را پذیرفته است. ارتعاش بدنه یاتاقان، استاندارد



ISO 2372 (مشابه VDI 2056) را با استفاده از معیار سرعت 2.8 mm/sec دنبال می‌کند. ارتعاش شافت با توجه به ISO 7919-1 تعریف می‌شود ( این مطلب در فصل ۷ توضیح داده شده است که این رهیافت تا چه حد پیچیده است).

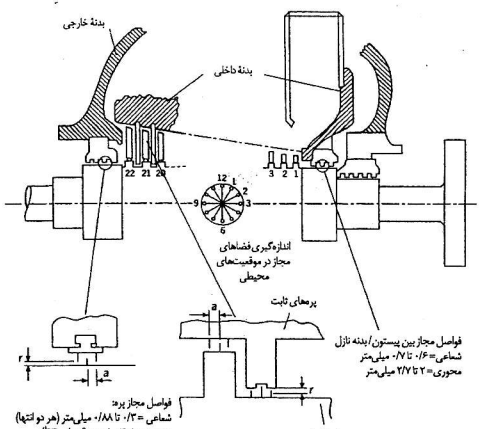
### آزمایش فوق سرعت

آزمایش فوق سرعت می‌تواند در یک محفظه خلا انجام شود تا مشکلات مربوط به وزش باد را به حداقل برساند. API 611/612 بیان داشته است که یک روتور توربین بخار بایستی در سرعتی معادل ۱۱۰ درصد سرعت کاری تحت آزمایش قرار گیرد؛ این در حالی است که BS EN 60045-1، حد این آزمایش را معادل ۱۲۰ درصد سرعت کاری در نظر گرفته است. در عمل، این سرعت معمولاً بیش از ۱۱۰ درصد است. پس از آزمایش فوق سرعت، به منظور تشخیص هر گونه شکست یا تسلیم، بایستی بازرسی چشمی دقیقی صورت پذیرد.

## آزمایشات مونتاژ کردن

در حین مونتاژ نهایی توربین، سازنده اقدام به بررسی جزییات فضاهای مجاز و هم‌راستایی‌ها می‌کند. ابعاد ثبت شده در این مرحله، هنگامی که توربین در هنگام بازرسی‌های در حین سرویس مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، به عنوان مرجع مهمی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. این ابعاد، مسائل مربوط به هم‌ترازی و سایش را روشن خواهد ساخت. بر خلاف توربین‌های گازی، بررسی فضاهای مجاز اجزای توربین بخار، قبل از قرار دادن نیمه بالایی بدنه خارجی توربین، انجام می‌گردد. نظارت حضوری بر این مرحله از اهمیت زیادی برخوردار است. این کار، دانش طراحی شما را نیز بالاتر خواهد برد- شما می‌توانید فضاهای مجاز هر مرحله را مقایسه کرده و یادداشت‌های مفیدی به منظور مقایسه بین طرح‌های سازنده‌های مختلف داشته باشید. شکل ۸-۵، نمونه‌ای از ثبت فضاهای مجاز اصلی و همچنین مقادیر مربوطه در یک توربین hp را ذکر کرده است. موارد زیر را هنگام ثبت نتایج، در نظر داشته باشید:

- *فضاهای مجاز آب‌بند (gland)*. فضاهای مجاز محیطی و محوری، معمولاً در طرفی که فشار پایین‌تر است، بزرگ‌تر می‌باشد. یافته‌ها بایستی در چهار موقعیت مورد ارزیابی قرار گرفته و همدیگر را تایید کنند ( شکل ۸-۵).
- *بدنه نازل و درزهای پیستون بالانس*. انتظار داشته باشید که فضاهای مجاز محوری تقریباً ۳ برابر فضاهای مجاز محیطی باشد.
- *فضاهای مجاز پره*. از سنجه‌های بلند فیلری( 400-300 میلیمتر) برای اندازه گیری و ثبت فضاهای مجاز در محل‌هایی که کمتر امکان دسترسی فراهم است، استفاده گردد. توجه داشته باشید که چگونه فضاهای مجاز محوری و محیطی ( و تلورانس‌های مجاز) با حرکت به سمت انتهای کم‌فشار توربین افزایش می‌یابد. نکته قابل ذکر این است که فضاهای مجاز محیطی برای پره‌های گردان مشابه پره‌های ثابت می‌باشند. با این‌حال، در توربین‌های دمای پایین‌تر که پره‌های ثابت در دیافراگم‌های فولادی ریختگی قرار می‌گیرند، ممکن است فضاهای مجاز درزی بین دیافراگم و روتور کوچک‌تر باشند. در انتها بایستی خاطرنشان ساخت، همواره برگه‌های اطلاعات سازنده را بررسی کنید تا از فضاهای مجاز موجود آگاه گردید.




| ردیف | پره‌های ثابت/گردان | |
|---|---|---|
| | محیطی (میلیمتر) | محوری (میلیمتر) |
| ۴-۱ | $0.9 \pm 0.3$ | $4 \pm 1.5$ |
| ۹-۵ | $0.9 \pm 0.3$ | $5 \pm 1.6$ |
| ۱۴-۱۰ | $1.0 \pm 0.35$ | $5 \pm 1.6$ |
| ۱۸-۱۵ | $1.2 \pm 0.35$ | $6 \pm 1.6$ |
| ۲۲-۱۹ | $1.4 \pm 0.40$ | $6 \pm 1.6$ |

**شکل ۸-۵ فواصل خالی یک توربین HP نمونه**

- تمام فضاهای مجاز پره را در حداقل ۴ موقعیت داشته باشید ( معمولاً در جهت عقربه‌های ساعت مطابق شکل ۸-۵)، همچنین می‌توانید در میان این موقعیت‌ها، خوانده‌های اضافی داشته باشید، مخصوصاً اگر نظری در مورد غیر بالانس بودن شافت وجود داشته باشد. توجه داشته باشید که تمام نتایج ثبت گردند- برای این کار، بهتر است از فرم‌هایی که قبلاً توسط سازنده تهیه شده است، استفاده کنید.



## عدم انطباق‌های رایج واقدامات اصلاحی: توربین‌های بخار

| عدم انطباق (NCR) | اقدامات اصلاحی (CA) |
|---|---|
| کمبود قابلیت ردیابی مواد روتور یا استاتور | این، یک مشکل جدی است. اقدام صحیح در این مورد عبارت است از:<br>• *مرور تمام مدارک*. به محل کارگاه ریخته‌گری یا فورج بازگردید و از اطلاعات آنجا به عنوان مبنای بررسی‌ها استفاده کنید.<br>• *انجام آنالیز شیمیایی روی قطعه*. بهتر است قبل از انجام آنالیز، درباره آنالیز مورد قبول، توافق کنید. البته این، تنها یک راه‌حل موقتی است- در صورتی که قطعات آزمایش مکانیکی برای آنالیز کامل موجود نباشند، امکان نپذیرفتن قطعه وجود دارد. |
| بدنه توربین در آزمایشات مکانیکی مردود شده است | • اطمینان حاصل کنید که در مورد روش کار مناسب، به توافق رسیده‌اید.<br>سریعاً اقدام به نتیجه‌گیری نکنید. در ابتدا جنبه‌های مختلف شکست را طبقه‌بندی کنید. این کار را با ذکر نکات زیر انجام دهید:<br>• چه تعداد از نمونه‌ها ( معمولاً ۸ تا ۱۰ میله آزمایش به ازای هر بدنه) در حین آزمایش شکسته‌اند؟<br>• موقعیت نمونه شکسته شده در کجاست؟ در این‌باره نظر طراح توربین را در گزارش ذکر نمایید.<br>• آزمایشات ( با حضور شاهد) را با استفاده از نمونه‌هایی که از قسمت‌های باقیمانده میله‌های آزمایشی اولیه تهیه شده است، تکرار کنید. نتایج آزمایشگاهی را بررسی نمایید تا اطمینان حاصل شود که از نمونه‌های صحیح استفاده شده است. در صورت تکرار مجدد مشکل، توصیه می‌گردد بدنه مورد پذیرش قرار نگیرد. NCR ارائه شده باید حاوی راه‌حل های جایگزین باشد. |
| عیوب موجود در بدنه که با استفاده از رادیوگرافی بدنه مشاهده شده است (شکل ۸-۲ را برای عیوب رایج ملاحظه کنید). | این عیوب بایستی طبقه‌بندی شوند. به BS 2737 مراجعه کرده و این عیوب را به طور کامل تشریح نمایید و سپس با حد مجاز عیوب مقایسه نمایید. در صورتی که خارج از حدود مجاز باشند، نباید بدنه را پذیرفت. از کارخانه سازنده بخواهید که مدارک مربوط به فرایند تعمیر بدنه را ارائه نماید. پس از انجام تعمیر، تمام فعالیت‌های NDT و آزمایشات را تکرار کنید. |
| غیر بالانس بودن اضافی روتور | هیچ اظهار نظری دال بر محدودیت‌های بالانس کردن را نپذیرید. فرایند بالانس کردن به منظور انطباق با API611/612 یا ISO 1940 را از بررسی نمایید- دقت ماشین را مطابق مباحث API بررسی نمایید. |
| وجوه فلنج که در حین آزمایش هیدرواستاتیک نشتی می‌دهند. | • سفتی پیچ‌ها بررسی شود.<br>• تا هنگامی که سطح فلنج به منظور یافتن عیوب مورد بازرسی چشمی قرار نگرفته است، از کاربرد هر گونه ماده اتصال دهنده بیشتر خودداری نمایید. از یک ابزار لبه صاف دقیق به منظور یافتن خمیدگی استفاده کنید.<br>• سپس آزمایش را تکرار نمایید. |

## خلاصه نکات کلیدی: توربین‌های بخار

**معیار FFP**

۱. تایید FFP در مورد توربین‌های بخار با مشکلاتی مواجه است که دلیل آن انجام نشدن آزمایشات راه‌اندازی در محل ساخت می‌باشد.

۲. بازرسین راه‌اندازی نسبت به سایر انواع تجهیزات، نیاز به آگاهی بیشتری از نحوه ساخت یک توربین بخار دارند.

**استنباط فنی شما**

۳. در هنگام بازرسی یک توربین بخار، سعی کنید اثر فاکتورهای زیر را روی فعالیت‌های خود ارزیابی کنید:

- مواد استفاده شده در ساخت تجهیزات ( به خصوص قسمت‌های ریختگی)
- اندازه ماشین- به خاطر اینکه ماشین‌های بزرگ‌تر مقاطع ضخیم‌تری دارند.
- روش‌های ساخت مختلف استفاده شده برای قطعات استاتور، روتور و قطعات نصب‌شده که دارای ریسک‌های فنی متفاوتی می‌باشند.

**روش‌های آزمایش**

۴. شناسایی و طبقه‌بندی عیوب ریختگی بسیار مهم می‌باشد. شما بایستی این فعالیت‌ها را مشاهده و تایید نمایید.

۵. اکثر قطعات ریختگی بزرگ توربین دارای عیوبی می‌باشند. تنها فرایندهای تعمیر پیشرفته و مستند قابل قبول هستند.

۶. آزمایش هیدرواستاتیک بدنه مهم است؛ اما جایگزینی برای فعالیت‌های NDT مناسب نمی‌باشد

۷. معیار پذیرش عیب ضعیف که بر پایه مباحث " کیفیت تجاری" بنا شده را نپذیرید. تنها معیارهایی که بر پایه استانداردهای فنی تایید شده می‌باشد، موافقت نمایید. در صورت شک، با استاندارد DIN 1690، ATM E186 یا B 4080 و B 6208 آغاز کنید.



## فهرست منابع


1. DIN 1690: 1985. Technical delivery conditions for castings made from metallic materials: steel castings, classification into severity levels on the basis of non-destructiva testing.
2. API 611: 1989. General purpose steam turbines for refinery servicas. Ameriacan Petroleum Institute.
3. API 612: 1987. Special purpose steam turbines for refinery servicas. Ameriacan Petroleum Institute.
4. ANSI/ASME. Performance Test Code No. 6:1982. American Society of Mechanical Engineers.
5. BS 5968: 1980. Methods of acceptance testing of indUTtrial type steam turbines.
6. BS 752: 1974. Test code for acceptance of steam turbines.
7. BS EN 60045-1: 1993. Guide to steam turbines procurement.
8 BS 2737: 1995. Terminology of internal defects in castings as revealed by radiography.
9. ASTM A609/A609M: 1991. Practice for castings, low carbon, low alloy and martensitic stainless steel – ultrasonic examination.
10. MSS SP55: 1986: *Quality standards for steel castings – visual method.* The Manufacturers Standardisation Society of valves and fittings industry.

فصل ۹

# موتورهای دیزل

بازرسی مناسب و موثر موتورهای دیزل از مواردی است که کمتر راهکار مشخصی برای آن وجود دارد. انواع مختلفی موتور دیزل، به خصوص در اندازه‌های بزرگ، وجود دارد که دارای جنبه‌های طراحی پیچیده‌ای هستند که بازرسین نمی‌توانند به راحتی آنها را بازرسی نمایند؛ اما حتی به عنوان یک غیر متخصص، اتخاذ روشی تخصصی برای بازرسی از ارزش زیادی برخوردار است؛ هدفی که در این فصل دنبال می‌شود.

## معیار مناسب بودن برای منظور

خوشبختانه، معیار FFP موتورهای دیزل به خوبی تعریف شده است؛ در این رابطه، دو معیار کلی را می‌توان مطرح نمود:

### یکپارچگی

در بازرسی موتورهای دیزل، مانند موتورهای دیگر، نکته اصلی یکپارچگی، یکپارچگی مکانیکی سازه‌های مکانیکی و همچنین کارکرد موثر خصوصیات ایمنی و حفاظت موتور می‌باشد. به دلیل جنبه‌های خاص طراحی ماشین‌آلات دارای پیستون متحرک، اهمیت فواصل مجاز مناسب در حین راه‌اندازی در تایید عملکرد صحیح باید لحاظ گردد. در ادامه این فصل، آزمایش ترمز و بازرسی باز کردن همراه با جزئیات لازم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### عملکرد

زمینه اصلی در روند بهبود طراحی و توسعه موتورهای دیزل، بهبود عملکرد آنها می‌باشد. در صورتی که حرکت رو به جلوی سازنده‌های مطرح موتورهای دیزل را بررسی کنید، می‌توانید شواهدی دال بر بهبود کارکرد این موتورها از طریق بالا بردن توان خروجی و راندمان سوخت مشاهده نمایید.

معیار اصلی در عملکرد موتور دیزل، مصرف سوخت ویژه (sfc: Specific fuel consumpsion) می‌باشد؛ که بر حسب گرم (سوخت) به ازای هر کیلووات ساعت (توان ترمز) بیان می‌گردد. این معیار، راهکاری مناسب برای ارزیابی و مقایسه موتورها فراهم می‌آورد؛ در واقع می‌توان آن‌را یک معیار FFP مناسب دانست. مطلب قابل توجه این است که نقش ارزیابی معیار عملکرد در حین آزمایش ترمز را ناچیز و کم‌اهمیت نشمرید؛ به راحتی می‌توان این موضوع را به سایر موارد نیز رجوع داد ( در صورت نیاز به فصل۲، شکل۲-۳ رجوع کنید).

## گارانتی‌های پذیرش

برنامه گارانتی موتور دیزل، روند تعریف شده شکل ۹-۱، را دنبال می‌کند. در این شکل، متغیرهای مهم برای یک موتور پیشرفته با سرعت متوسط نشان داده شده است؛ تا به شما ایده بدهد که چه انتظاری داشته باشید. توجه کنید که ممکن است تمامی متغیرها در این شکل نشان داده نشده باشد- همچنین امکان دارد بعضی متغیرها به برنامه‌های فنی خاص که در مشخصات فنی قرارداد، ارجاع دهد. نکات زیر را درباره این برنامه گارانتی در نظر داشته باشید:

- تعدادی از الزامات کلیدی طراحی مانند محدوده سرعت بحرانی، ویژگی‌های تنظیم‌کننده، دمای مجاز یاتاقان‌ها و فشارهای حداکثر سیلندر به طور شفاف بیان نشده است؛ البته این مطلب، به معنی آن نیست که آنها بخشی از الزامات قانونی مشخصات فنی قرارداد نیستند.
- با توجه به مطلب بیان شده، برنامه گارانتی نمی‌تواند به تنهایی به عنوان یک اظهارنامه کامل الزامات FFP باشد؛ در اینجا لازم است که از یک استاندارد مرجع فنی به منظور تهیه " اطلاعات تأیید صلاحیت" استفاده شود.

## ارتعاش

ویژگی‌های ارتعاش یک موتور دیزل مانند ویژگی‌های ارتعاش مجموعه‌ای از ماشین آلات دوار است و با ویژگی‌های ارتعاش ماشین‌آلات توربین دار تفاوت می‌کند. وجود اجزای بزرگ با حرکت رفت و برگشتی بالانس کردن بعضی از این اجزا را دشوار می‌سازد. دو نوع مختلف ارتعاش، باید در نظر گرفته شود. ارتعاش محوری و محیطی ( در صفحات y,x و z) از همان نوعی است که در فصل‌های مربوط به توربین‌های گاز و بخار مورد بحث قرار گرفت. این ارتعاشات می‌تواند با استفاده از روش‌هایی ساده در حین آزمایش موتور به دست آید. دیزل‌ها، علاوه بر این ارتعاشات، ارتعاش پیچشی نیز دارند که خود موضوعی تخصصی است. فعالیت‌های بازرسی در حین راه‌اندازی، عمدتاً ارتعاشات محوری و محیطی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد- در عمل مواجه شدن با ارتعاشات پیچشی در حین نظارت بر ساخت موتور و آزمایش ترمز در محل کار، غیر محتمل است.

بالانس کردن موتورهای دیزل نیز دشواری‌های مختص به خود را دارد. قطعه در حال چرخش عبارت است از مجموعه میل‌لنگ و چرخ گردان همراه با بخش‌های در حال چرخش یاتاقان‌های انتهای پایین میله اتصال‌دهنده. این آرایش خاص دارای پیچیدگی هندسی زیادی است و اغلب نمی‌توان مانند یک "روتور صلب" و تحت استاندارد ISO 1940/1 و یا مانند یک روتور " قابل انعطاف" تحت استانداردهای خاص ISO 5343 و ISO 5406 ، به تحلیل آن پرداخت. در عمل امکان برقراری ارتباط بین میزان بالانس و ارتعاش ممکن نیست؛ چون باید اثر فرکانس‌های رزونانس نیز لحاظ گردد؛ و لذا درجه بالانس میل‌لنگ‌های موتور بیش از آنکه یک بازرسی حین کار محسوب شود، یک جنبه طراحی است. به همین دلیل نیاز نیست چندان درگیر آن شوید.

میزان ارتعاش بدنه موتورهای دیزل، به مراتب بیش از توربو ماشین‌آلات می‌باشد. سرعت ارتعاش معمول (rms) می‌تواند در حین راه‌اندازی عادی تا 50mm/s برسد؛ اما امکان دارد سرعت ارتعاش در سرعت‌های بحرانی (رزونانس) به 500 mm/s نیز برسد. موتورهای بزرگ بین وضعیت شروع و رسیدن به سرعت نهایی از 1 سرعت و در صورت امکان 2 سرعت رزونانس عبور می‌کنند. یافتن راهنمای مناسب و



همچنین میزان مجاز ارتعاش در استانداردهای فنی دشوار است. استاندارد VDI 2056 ( مشابه استانداردهای به کار رفته برای توربو ماشین‌آلات) از بهترین استانداردها در این زمینه است؛ که موتورهای دارای حرکت رفت و برگشت را در ماشین‌های گروه S و D طبقه‌بندی می‌نمایند. با اینحال، این استانداردها هیچ‌گونه نمودار و یا اطلاعاتی که بتوان از آن برای محاسبه حدود ارتعاش مجاز این گروهها استفاده کرد، فراهم نمی‌کند. توجه داشته باشید که مفهوم ارتعاش نسبی محور (ISO 7919/1) هیچ گونه ارتباطی با موتورهای دارای حرکت رفت و برگشتی ندارد.

## مشخصات فنی و استانداردها

استانداردهای فنی مرتبط با موتورهای دیزل به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته اول، استانداردهای ساخت هستند که تمرکز اصلی آن بر قطعات فورج‌شده اصلی موتور مانند میل‌لنگ، میله‌های اتصال‌دهنده، میل بادامک و چرخ دنده اصلی و همچنین قطعات ریختگی اصلی مانند سرسیلندرها، بوش سیلندر و پیستون‌ها می‌باشد. در دسته دوم نیز، استانداردهای عمومی ساخت وجود دارند که بسته به طراحی موتور به صفحه زیرین و محفظه‌ی میل‌لنگ مرتبط هستند. در فصول ۴ و ۵ به این استانداردها اشاره شده است. از این استانداردها برای کنترل ساخت اجزای مربوطه استفاده می‌گردد. بدنه اصلی استانداردهای فنی که بیشتر مورد توجه می‌باشد، بخش‌های مربوط به آزمایش موتور است. در این زمینه، استانداردی که بیشتر مورد پذیرش قرار گرفته است، استاندارد ISO 3046 می‌باشد: بخش‌های ۱ تا۷ ، *موتورهای احتراق داخلی دارای حرکت رفت و برگشتی: عملکرد* ( در تمام موارد مشابه استاندارد BS 5514 بخش‌های ۱ تا ۷). این، یک استاندارد جامع و گسترده می‌باشد- توصیه می‌شود بخش‌های مختلف ( که مدارک مجزایی هستند) و حوزه‌های فنی پوشش‌داده شده را مورد بررسی قرار دهید.

- ISO: 3046/1 *شرایط رجوع به استاندارد*. این بخش، شرایط رجوع به استاندارد ISO به منظور بهبود عملکرد موتور را تعریف می‌نماید. همچنین، اطلاعات مفیدی در زمینه مقادیر توان مانند توان اسمی و توان کاری، ارائه می‌نماید. به عنوان یک بازرس، لازم است درک صحیحی از این مفاهیم وجود داشته باشد؛ این کار، در تشخیص عملکرد موتور مطابق گارانتی‌های مربوطه به ما کمک خواهد کرد.
- ISO 3046/2 *روش‌های آزمایش*. این بخش در توضیح اساس گارانتی‌های قابل پذیرش در حین آزمایش ترمز، پیشگام است. همچنین، نحوه ارتباط دادن توان موتور در شرایط آزمایش واقعی به شرایط ISO و شرایط سایت به خوبی بیان شده است ( هر دو موردی که عملاً در مشخصات گارانتی موتور ذکر می‌گردد). موضوع مهم دیگری که در استاندارد آمده، تنظیم و تصحیح توان است. ممکن است در بعضی آزمایشات موتور به آن احتیاج داشته باشید. شدیداً توصیه می‌شود که برنامه " لیست A" که در این بخش استاندارد بیان شده است، مرور گردد. علاوه بر این، یک لیست جامع از ابعادی که باید در حین آزمایش ترمز کنترل شود، ارائه شده است. با استفاده از این لیست، می‌توان کامل بودن ابعاد ارائه شده توسط سازنده موتور را تایید نمود.
- ISO 3046/3 *متغیرهای آزمایش*. در صورتی که در مورد متغیرهای آزمایش مانند دما، فشار و سرعت گردش شک دارید، از این بخش استفاده نمایید؛ که در آن، انحرافات قابل‌قبول نیز بیان شده است.
- ISO 3046/4 *تنظیم‌نمودن سرعت (Speed governinig)*. پر استفاده‌ترین مضمون این بخش از

## اطلاعات فنی پایه ( اصلی)

### طبقه‌بندی سرعت

از نقطه‌نظر سرعت، موتورهای دیزل سه نوع هستند؛ موتورهای کم‌سرعت، بزرگ‌ترین موتورهای دو یا چهار زمانه که در سرعت‌های کمتر از 300 rpm و سرعت پیستون کمتر از 9 m/s کار می‌کنند و برای تولید برق و کشتی استفاده می‌شود. موتورهای با سرعت متوسط در محدوده rpm 300 تا 800 کار می‌کنند. موتورهای با سرعت بالای 800 rpm موتورهای سرعت بالا نامیده می‌شوند. این موتورها در لکوموتیوها، شناورهای دریایی سریع و ژنراتورهای کمکی کوچک استفاده می‌شوند.

این سه نوع موتور دارای اندازه و توان خروجی متفاوت هستند و در نتیجه از قوانین ساخت متفاوتی پیروی کرده‌اند. با این وجود، در حال حاضر در ساخت اینگونه موتورها قوانین و مقررات سختگیرانه‌ای وجود دارد؛ مثلاً ظرفیت سوخت زیاد که سابقاً در مورد موتورهای کم سرعت اهمیت داشت، در حال حاضر در مورد موتورهای دور متوسط اهمیت یافته است.

بر عکس این مورد، روش‌های ساخت ساده‌تر که در اصل برای موتورهای سرعت متوسط استفاده می‌شود، در حال تاثیرگذاری بر طراحی موتورهای سرعت پایین بزرگ می‌باشند. از دیدگاه بازرسی، این همگرایی تکنولوژی، یک مزیت به شمار می‌رود؛ به طوریکه می‌تواند منجر به عمومی‌تر شدن فعالیت‌های بازرسی گردد.

### ملاحظات فنی

لیست زیر، بعضی تفاوت‌های فنی بین سه نوع موتور دیزل مختلف می‌باشد:

- سرعت و روش روانکاری پیستون‌ها متفاوت است؛ این مطلب به معنی آن است که باید امکان فعال شدن مکانیزم‌های سایش مختلف روی سطوح پیستون/ بوش سیلندر مورد بررسی قرار گیرد.
- سازه میل‌لنگ، موتورهای کم سرعت بزرگ، تمایل دارند که میل‌لنگ‌های چند جزئی داشته باشند( به جای یک میل‌لنگ فورج‌شده). با این‌حال، اقدام کلیدی بازرسی که اندازه‌گیری انحرافات میل‌لنگ است، لزوماً یکسان می‌باشد.
- ترتیب کار توربوشارژر و تخلیه شدن گاز، متفاوت می‌باشد. این مطلب، بیشتر جنبه طراحی دارد و روش یا روش‌های به کار رفته در حین بازرسی را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد.
- موتورهای trunk بزرگ‌تر، دارای لوله‌هایی در انتهای میل لنگ هستند و بعضی اوقات دارای استهلاک‌های ارتعاشی پیچشی پیچیده می‌باشند. موارد بیان شده، گزینه‌های اضافی هستند که باید در حین بازرسی باز کردن مورد ارزیابی قرار گیرند.

با وجود جنبه‌های مختلف طراحی می‌توان دید که از نقطه‌نظر یک بازرس، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در تایید FFP انواع مختلف موتور دیزل وجود ندارد. روش‌های مهندسی استفاده شده، حقیقتاً مشابه هستند. تجربه نشان می‌دهد که انواع خطاها و عدم انطباق‌های رخ داده نیز دارای مشابهت‌های فراوانی هستند. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که یک بازرس غیر متخصص، اجازه نظارت بر آزمایشات تمام انواع موتور دیزل را داشته باشد.



### گارانتی‌ها

- میانگین توان خروجی باید 12 MW باشد (توجه داشته باشید موارد مطروحه در این قسمت بر اساس مرجع ISO 3046/2 است).
- موتور توانایی ایجاد توان ۱۰٪ بالاتر را داشته باشد.
- حداکثر سرعت پیوسته 500 rpm باشد.
- سوخت مشخص شده: به عنوان نمونه BS 2869 کلاس F.
- کلاس موتور: نوع A1، تک دور، کلاس دقت A1.
- استاندارد آزمایش باید ISO 3046 باشد.
- مصرف سوخت خاص ( واحدها: گرم بر کیلووات ساعت)

| MCR (٪) | گارانتی (g/(b)kWhr) | گارانتی + ٪2.5 (g/(b)kWhr) |
|---|---|---|
| 50 | 220 | 225 |
| 60 | 216 | 221 |
| 80 | 214 | 219 |
| 90 | 212 | 217 |
| 100 | 210 | 205 |

- توجه داشته باشید که گارانتی مصرف سوخت ویژه MCR٪100 اغلب با یک فشار خروجی مجاز حداکثر بیان می‌گردد.
- میزان ایجاد گاز
- حداکثر مقدار گاز ایجاد شده در مورد کلاس سوخت مشخص شده بر بار مبنا (۹۰٪) نباید بیش از موارد زیر باشد:

| | |
|---|---|
| NOX | 1400 mg/m3 |
| CO | 450 mg/m3 |
| ذرات | 100 mg/m3 |
| هیدروکربن غیرمتان (NMH) | 100 mg/m3 |

- فاکتورهای تنظیم موتور

معمولاً ارزیابی موتور با ارزیابی دقیق اثر تاخیر در زمان تزریق سوخت صورت می‌پذیرد. شما می‌توانید آن را به صورت زیر در نظر بگیرید:

اثر ۲ درجه به تعویق افتادن تزریق : حداکثر3٪ افزایش در sfc
حداقل کاهش 12٪ در NOx
حداکثر افزایش 3٪ در CO
هیچگونه اثر قابل اندازه‌گیری روی ذرات یا NMH وجود ندارد.
یادآوری: موارد بیان شده در نوع خود مناسب هستند؛ اما بستگی به طراحی موتور دارد.

- مصرف روغن روانساز

گارانتی مصرف l.o پس از راه‌اندازی سایت باید کمتر از g/(b)kWhr 1.5 در 1000 ساعت کار باشد(آیندی).
شرایط سایت با P=1 bar ( در سطح دریا) و T= 300k
رطوبت مربوطه= 40٪ تا 80٪
توان باید kw 12000 باشد.
شرایط بارگذاری سایت MCR 90٪ باشد.
کاهش عملکرد در شرایط سایت مجاز نمی باشد.

- مقدار صدا

در کف و فاصله ۱ متر از موتور، حداکثر میزان دسیبل مجاز باید حداکثر db 115 باشد.

**شکل ۹-۱ نمونه‌ای از لیست گارانتی موتور**

استاندارد، تعریف ۵ کلاس برای از دقت تنظیمات می‌باشد. در عمل یک گارانتی قابل پذیرش، یکی از این کلاس‌ها را به عنوان مبنا مطرح می‌نماید- و به همین دلیل، بهترانست بدانید که دنبال چه هستید.

- ISO 3046/5 *ارتعاشات پیچشی*. این بخش از استاندارد، پیچیده است و در بازرسی حین راه‌اندازی مفید نیست.
- ISO 3046/6 *مشخصات حفاظت از سرعت زیاد*. این بخش از استاندارد، مدرک بسیار کوتاهی است، اما به خوبی، مقادیر سرعت زیاد را تعریف نموده است. البته اطلاعات زیادی به مشخصات الزامات یک موتور اضافه نمی‌کند و لذا خواندن و بررسی آن ضروری نمی‌باشد.
- ISO 3046/7 *کدهای مربوط به توان موتور*. سازنده‌ها، توان خروجی موتورهای ساخته‌شده را با استفاده از کدهای ویژه‌ای، طبقه‌بندی می‌نمایند. این استاندارد، نحوه انجام این کار را توضیح می‌دهد. ممکن است شما این مدرک را مفید ارزیابی نمایید.

استاندارد مهم دیگر، استاندارد BS 2869 می‌باشد. این استاندارد، کلاس‌های مختلف سوخت را پوشش می‌دهد. متغیرهای اصلی، ترکیب شیمیایی و مقدار کالروفیک(پایین‌تر) (lcv) می‌باشد. بازرسی سوخت آزمایش بر حسب این استاندارد از ارزش زیادی برخوردار است- البته توجه داشته باشید که همواره شاهد انطباق نخواهید بود.

## طرح‌های بازرسی و آزمون

ITP موتورهای دیزل با ITP تجهیزات مشابه اندکی تفاوت دارد. یکی از تفاوت‌های عمده آن، امکان تاثیرپذیری از انجمن‌های طبقه‌بندی می‌باشد. موتورهای دیزل با سرعت آهسته و متوسط، به دلیل پتانسیل کاربردهای دریایی، بر مبنای " کلاس" ساخته می‌شوند؛ به عنوان مثال بر مبنای الزامات یک و یا چند انجمن طبقه‌بندی اصلی. به همین دلیل، مشخصات مواد، قابلیت ردیابی و الزامات آزمایش به خوبی کنترل و مشخص می‌شوند؛ این مطلب، معمولاً در ITP منعکس می‌شود. از آنجا که موتور دیزل، یک دستگاه مستقل است( بر خلاف توربین بخار که نیازمند بویلر است)، انطباق با الزامات گارانتی، می‌تواند در محل ساخت موتور تایید شود- به همین دلیل، می‌توان انتظار داشت که استانداردهای آزمایش عملکرد به خوبی در ITP مشخص شده باشند. یک ITP نمونه، برای موتورهای با سرعت متوسط در شکل ۹-۲ نشان داده شده است.

## فرایندها و روش‌های آزمایش

در ساخت یک موتور دیزل، مراحل کلیدی وجود دارد که نیازمند نظارت حضوری است. در این قسمت، توضیحات کلی درباره مراحل کلیدی و همچنین توضیح دقیق‌تری درباره آزمایش ترمز ارائه شده است.

### هم‌راستایی‌ها

در موتورهای دیزل هم‌راستایی‌ها مهم هستند؛ مخصوصاً برای موتورهای کم‌سرعت بزرگ؛ ولی در موتورهای کم سرعت کوچک‌تر آن نیز هم‌راستایی‌ها باید رعایت شوند. در مجموع، سه پارامتر هم‌ترازی کلیدی وجود دارد که باید اندازه‌گیری شوند:



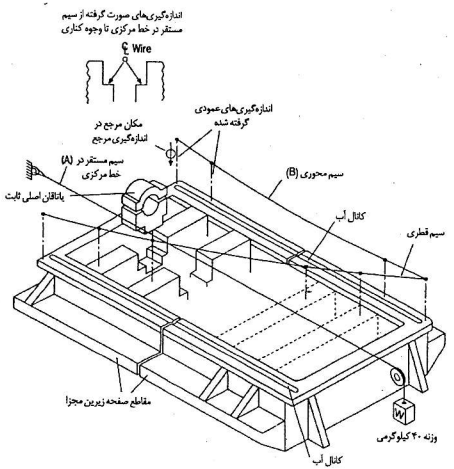
| اقدامات | بررسی‌ها |
|---|---|
| مستندات میل‌لنگ | تایید انجمن طبقه‌بندی مواد و ساخت |
| رینگ‌های پیستون | بررسی‌های متالورژیکی |
| محفظه‌ی میل‌لنگ | ترک‌یابی بر مبنای BS 6072 (MT) و آزمایش متالورژیکی روی میله‌های آزمایشی |
| | آزمایشات متالورژیکی |
| سرسیلندرها | بررسی‌های ابعادی، بررسی پرداخت ترازی بر اساس BS 1134 و یا DIN ISO 1302. |
| بوش سیلندر | آزمایش هیدرولیک |
| میله‌های اتصال‌دهنده | ترک‌یابی MT روی قطعات فورج قبل از ماشینکاری |
| بلوک‌های انتهایی بزرگ | ترک‌یابی MT روی قطعات فورج قبل از ماشینکاری. |
| | بررسی ابعادی |
| سرسیلندرها | بررسی‌های متالورژیکی روی قطعات ریختگی قبل از ماشینکاری. |
| | آزمایش هیدرولیک مسیرهای آب‌خنک‌کن. |
| | آزمایش هیدرولیک روی دهانه‌های شاخص. |
| مونتاژ کردن | ثبت فواصل خالی یاتاقان پیش راننده میل‌لنگ و انحراف مجموعه |
| بررسی اجمالی | بررسی تمیزی و ثبت آن |
| بررسی در حین راه‌اندازی | فرایند سازنده |
| آزمایش بار | آزمایش بر مبنای ISO 3046 ( بخش‌های ۱ تا ۷) |
| هم ترازی میل‌لنگ پس از آزمایش | |
| بازرسی باز کردن | |
| مونتاژ مجدد و مقابله با خوردگی | |
| رنگ‌آمیزی موتور | |
| مرور مدرک و گواهی | |

**شکل ۹-۲** ساخت موتور دیزل، محتویات یک ITP نمونه

### هم‌ترازی صفحه زیرین

اولین هم‌ترازی که باید انجام شود، هم‌ترازی صفحه زیرین می‌باشد. هدف آن نیز، به دست آوردن هم‌مرکزی یاتاقان‌های اصلی دور خط مرکزی میل‌لنگ پس از سوار کردن مقاطع صفحات زیرین می‌باشد؛ موتورهای بزرگ‌تر اغلب دارای صفحه زیرین مونتاژ شده هستند که در ۲ یا ۳ مقطع به منظور سهولت ساخت و حمل و نقل ساخته شده‌اند. به منظور انجام این بررسی، مقاطع صفحات زیرین، اغلب باید قبل از ماشینکاری نهایی، در معرض هم‌ترازی آزمایشی قرار گیرند. در این مرحله، یک نقطه نظارت کلیدی وجود دارد- هم‌ترازی دقیق در این مرحله، به طور وسیعی ریسک مسائل بعدی که ممکن است در حین عملیات مونتاژ رخ دهد، کاهش خواهد داد.

راه‌حل رایج، ترکیب روش‌های اندازه‌گیری سطح آب و طناب کشیده می‌باشد. شکل ۹-۳، اصول حاکم بر یک صفحه زیرین دو تکه از یک موتور کم سرعت بزرگ را نمایش می‌دهد. توجه داشته باشید که دو مجموعه ابعاد باید اندازه‌گیری شود؛ سیم A ، هم‌مرکز بودن هر یاتاقان دور یک خط مرکزی مرجع را اندازه می‌گیرد؛ در حالیکه سیم‌های B و C، دقت صفحه زیرین در صفحه عمودی را اندازه‌گیری می‌کند.




- موتورهای کم‌سرعت بزرگ ممکن است ۲ تا ۳ مقطع صفحه زیرین داشته باشند.
- هدف از این کار، هم‌مرکزی دقیق بدنه‌های یاتاقان‌ها به دور خط مرکزی میل‌لنگ می‌باشد.
- دقت اندازه‌گیری 0.01 (±) میلیمتر است.
- نیاز است اندازه‌گیریهای عمودی اصلاح شود شکم‌دار شدن سیم را جبران نماید. جداول موجود می‌باشند.

**شکل ۹-۳ بررسی هم‌ترازی صفحه زیرین موتور دیزل**

گام‌هایی که برای انجام آزمایش باید برداشت، عبارتند از:

- مقاطع صفحه زیرین باید برداشت، عبارتند از: این کار با پر کردن کانال‌هایی که در طول وجوه بالایی ماشینکاری شده‌اند با آب، صورت می‌پذیرد. تنظیم نهایی به منظور حصول عمق یکسان آب در طول کانال‌ها انجام می‌گردد.
- سیم A روی خط مرکزی و در طول محور میل‌لنگ قرار می‌گیرد. این سیم از بین پایه‌هایی که یاتاقان اصلی را نگه می‌دارند، عبور خواهد کرد؛ سپس باید اقدام به اندازه‌گیری فاصله سیم تا وجوه کناری هر پایه شود ( این وجوه، یاتاقان اصلی را به طور دقیقی نسبت به صفحه زیرین نگه می‌دارند)؛ بنابراین، این ابعاد، دقت محل خط مرکزی یاتاقان نسبت به سیم A را مشخص می‌سازد (شکل ۳-۹ ملاحظه شود).



در انتهای بررسی، می‌توان با تنظیم وجوه کناری، اقدام به هم‌مرکز کردن محور یاتاقان و خط اصلی نمود. توجه داشته باشید به منظور اعتماد به محور یاتاقان اصلی باید اقدام به هم ترازی صفحات x و y کرد.

- سیم‌های B و C در بالای فلنج صفحه زیرین و در قطر طولی آن قرار می‌گیرند که در شکل۹-۳، نشان داده شده است. فاصله بین سیم تا صفحات افقی ماشینکاری شده مرجع به طور دقیق اندازه‌گیری شود. تغییرات این ابعاد مشخص می‌کند که آیا نیاز به برداشتن لایه‌هایی از سطح به منظور حصول سطح کاملاً صاف وجود دارد یا خیر. در صورت ناصافی این سطوح، محورهای سیلندر و در نتیجه قطعات گیربکس دارای حرکت رفت و برگشتی از تراز بودن خارج می‌شوند؛ این شرایط پس از سوار شدن محفظه‌ی میل‌لنگ و entablature رخ می‌دهد؛ نهایتاً این وضعیت منجر به سایش شدید و احتمالاً شکست خواهد شد.

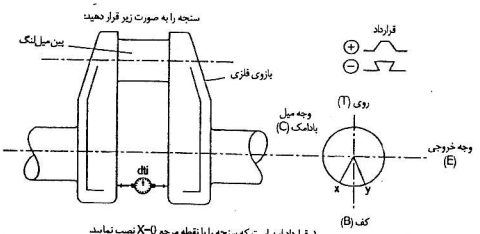
نکته حساسی که در اندازه‌گیری با سیم باید مورد توجه قرار گیرد، شکم‌دار شدن سیم می‌باشد. برای لحاظ کردن این پدیده رایج، در جداول مشخصی لیست تصحیحات اعمالی ذکر شده است (این تصحیحات بسته به طول سیم و محل تعیین فاصله متفاوت خواهند بود)؛ بنابراین، ابعاد ثبت‌شده در حین بازرسی و قبل از قضاوت در مورد تراز بودن اصلاح می‌گردند. فرایند انجام این کار سریع است و سازنده‌های خوب، تصحیحات زنجیرواری دارند که در برگه گزارش هم ترازی ذکر می‌شود. تلورانس‌های قابل‌قبول برای غیرهم ترازی بستگی به اندازه و سفتی صفحه زیرین و همچنین نوع موتور دارد. تمام سازنده‌ها و عوامل درگیر در ساخت موتور دیزل، نقشه هم ترازی را به عنوان بخشی از بسته طراحی خود ارائه می‌کنند – به دقت نتایج آزمایش را با تلورانس‌های ذکر شده در این نقشه مقایسه و یافته‌های خود را به طور دقیق تشریح نمایید- توجه داشته باشید که نباید تنها به بیان کلی " هم ترازی مشاهده شد" اکتفا نمود.

## هم‌ترازی میل‌لنگ (انحرافات)

هدف از اندازه‌گیری انحرافات میل‌لنگ، بررسی هم ترازی یاتاقان‌های سرمحور اصلی در هنگام نصب می‌باشد. این بازرسی در مراحل نهایی مونتاژ موتور پس از نصب میل‌لنگ انجام می‌شود. انتظار داشته باشید که این بازرسی چندین مرتبه و از جمله پس از آزمایش ترمز و همچنین پس از نصب انجام گردد. شکل ۹-۴، این روش را نشان می‌دهد.

سنجه ساعتی را به صورت عمودی بین جانهای میل‌لنگ و در مقابل و موازات پین میله قرار دهید. میل‌لنگ را به آهستگی یک دور کامل بچرخانید و در ۵ نقطه سنجه را بخوانید. این کار را روی دو جفت میل‌لنگ انجام دهید ( مجموعه‌ای از داده‌ها برای هر سیلندر به دست می‌آید) و نتایج را در جدولی قرار دهید. شکل۹-۴ نحوه رجوع به یافته‌های انحراف را نشان می‌دهد. به علامت ± که مربوط به جهت اعوجاج میل‌لنگ‌ها است، و همچنین جوانب موتور با آن نشان داده شده ، توجه خاصی داشته باشید: برای مثال، طرف خروج بخار(E) و طرف میل‌یادامک (C).

مقادیر اندازه‌گیری شده که اهمیت دارند، عبارتند از: تا هم‌ترازی عمودی( که به صورت T-B نمایش داده می‌شود) و تا هم‌ترازی افقی (که به صورت C-E نمایش داده می‌شود). محدوده‌های مشخصی برای میزان انحراف وجود دارد که توسط شرکت لیسانس‌دهنده موتور تعیین می‌گردد- این مقادیر به‌صورت یک




۱. قرارداد این است که سنجه را با نقطه مرجع X=0 تنصب نمایید.
۲. علامتها را اشتباه نگیرید؛ مثلا ۲+ = (۲-) - (۲-)
۳. بررسی کنید در این مثال یاتاقان اصلی بین سیلندرهای ۳ و ۴ زیاد است.

| موقعیت میله | شماره سیلندر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ۵ | ۶ |
| x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C | +4 | +1 | +3 | -6 | -2 | +1 |
| T | +8 | +3 | +10 | -12 | -6 | +3 |
| E | +4 | +2 | +5 | -6 | -4 | +2 |
| Y | -2 | +2 | -2 | 0 | 0 | -2 |
| B=(x+y)/2 | -1 | +1 | -1 | 0 | 0 | -1 |
| VM=T-B | +9 | +2 | +11 | -12 | -6 | +4 |
| HM=C-E | 0 | -1 | -2 | 0 | +2 | -1 |

VM: ناترازی عمودی
HM : ناترازی افقی

**شکل ۹-٤ انحرافات بازوی فلزی میل‌لنگ**

نمودار یا جدول نمایش داده می‌شود- توجه داشته باشید که چگونه از این مقادیر برای تشخیص نا هم-ترازی یاتاقان‌ها استفاده می‌شود. نا هم‌ترازی عمودی می‌تواند با استفاده از فاصله از پرکن‌هایی که به منظور تنظیم موقعیت نگهدارنده یاتاقان استفاده می‌شود، تصحیح گردد.

در ارتباط با نظارت بر اندازه‌گیری انحرافات، چند نکته کلیدی را مدنظر داشته باشید:

- قبل از ثبت انحرافات، فواصل مجاز یاتاقان اصلی را با استفاده از سنجه‌های مخصوص بررسی کنید. فواصل مجاز که دقیقاً زیر سرمحورها قرار می‌گیرند، صفر هستند. در صورت مشاهده اختلاف، یاتاقان از تراز بودن خارج شده است.



- به دلیل حضور میله اتصال‌دهنده، ثبت انحرافات در هنگامی که میل‌لنگ در ناحیه پایین قرار دارد، ممکن نیست. راه‌حل قابل قبول برای ثبت این مقدار، خواندن این مقادیر در نزدیک‌ترین مکان به آن (موقعیت‌های x0y) و سپس گرفتن میانگین از آن می‌باشد.
- مهره‌های نگهدارنده موتور در جهت گشتاور طراحی‌شان سفت شوند؛ مهره شل باعث خطا در اندازه‌گیری انحراف خواهد شد.
- قبل از ثبت مقادیر، اطمینان حاصل کنید که دنده برگداننده برعکس شده است و به آهستگی عقب آمده است تا نیروی روی دندانه‌های چرخ‌طیار برداشته شود. این کار، دقت اندازه‌گیریها را افزایش خواهد داد.

### تراز کردن قطعات دارای حرکت رفت و برگشتی

در موتورهای بزرگ، اندازه‌های هم‌ترازی پیستون‌ها و سایر قطعات دارای حرکت رفت و برگشتی را مشخص کنید. این اندازه‌ها شامل موارد زیر می‌باشند: شیب پیستون ( محوری و عرضی)، فواصل مجاز لوله‌ی انتهای میل‌لنگ و فواصل مجاز پین لوله ی انتهای میل لنگ. این مقادیر در موقعیت‌های مختلف پیستون اندازه‌گیری می‌شوند تا درستی مونتاژ را تایید نماید؛ با این‌حال ابعاد مهمی وجود دارند که باید به دقت آنها را و در مکان‌های خاص اندازه‌گیری کنید. توصیه می‌شود مدارک فرایند تراز کردن سازنده موتور مرور گردد – این مدرک، بهترین راهنما می‌باشد.

## آزمایش ترمز (Brake Test)

اکثر موتورهای دیزل بزرگ‌تر از 1-2 MW در کارخانه و تحت بار آزمایش می‌شوند. این آزمایش را آزمایش ترمز گویند و این آزمایش معمولاً به عنوان نقطه شاهد در بازرسی است. آزمایش ترمز، فعالیتی کلیدی به منظور اثبات FFP است. در اینجا بهتر است آزمایش را به صورت چند مرحله‌ای در نظر بگیرید که در تمام آنها بازرس شاهد است – البته این کار از نقطه‌نظر هزینه نمی‌تواند چندان مناسب باشد. این چهار مرحله عبارتند از :

### گام اول : تمیزکاری

قبل از راه‌اندازی یک موتور جدید، قطعاً لازم است که سیستم لوله‌کشی روغن روانساز و تخلیه به طور کامل شستشو شود. هدف این مرحله، پاک کردن و از بین بردن تمام پوسته‌ها، کثیفی‌ها و پاشش‌های جوش می‌باشد. متاسفانه، موارد زیادی مشاهده شده است که موتور در سرویس اولیه و به واسطه تمیزکاری نامناسب، خراب شده اند.

در این رابطه، موارد زیر بررسی شود:

- قبل از پر کردن با شارژ روغن، محفظه‌ی میل‌لنگ و سیستم تخلیه با توسط دست تمیز شوند. توجه ویژه‌ای به داخل لوله‌های جوش‌داده شده داشته باشید و اطمینان حاصل کنید که تمام پاشش‌ها و جرم‌های جوش با چکش‌کاری از بین رفته‌اند و خارج شده‌اند – می‌توان تضمین داد که این موتور، احتمالاً پس از راه‌اندازی در سایت به خوبی عمل خواهد کرد. توجه خاصی به لوله‌های فولادی جوش داده شده که برای از بین بردن آخال و جرم‌ها تحت عملیات اسیدشویی قرار

نگرفته‌اند، داشته باشید- در صورت وجود هرگونه شک دراین‌باره، بر بازرسی چشمی داخل لوله اصرار داشته باشید.

- اطمینان حاصل نمایید که نخاله‌های ناشی از محفظه‌ی میل‌لنگ و سیستم تخلیه، قبل از اینکه شانس رسیدن به قسمت‌های حساس موتور را داشته باشند، فیلتر شده‌اند. این کار با استفاده از ایزوله کردن سیستم تامین روغن با فلنج‌های ساده و قرار دادن فیلتر در مسیر گردش روغن روان‌کننده انجام می‌شود. گردش روغن تا هنگامی که فیلترها آخال‌ها را حذف نکرده‌اند، ادامه می‌یابد. انجام سریع این کار لازم نیست- یک بازه گردشی طولانی بدون مدرکی دال بر آلودگی فیلتر به منظور اثبات تمیزی روغن لازم است. سعی کنید فرایند تمیزکاری را مشاهده و گزارش‌های مربوط به این فرایند را تایید نمایید.

**گام دوم: آب بندی (Running in)**

برای موتورهای دیزل، انجام یک دوره آب بندی و کارکرد قبل از آزمایش ترمز تحت نظارت رایج است. علاوه بر کاهش هزینه به دلیل قرارگیری مناسب سطوح سایش و یاتاقان، با انجام این کار، امکان انجام تنظیمات مختلف به منظور کارکرد موثر موتور فراهم می‌گردد. بررسی کنید که بازه راه‌اندازی در ۱۸-۲۴ ساعت خاتمه یابد. فعالیت‌های ذیل، بخشی از فرایند را تشکیل می‌دهد:

- یک بازه کوتاه کار زیر 20٪ بار به منظور بررسی سیستم‌های شروع، کنترل و اضطراری.
- کار به مدت 2-4 ساعت در 30 تا 50 درصد بار: بررسی بادامک‌های دیاگرام شاخص توسط برداشتن کارت‌های شاخص نمونه (یا ثبت‌کننده‌های الکترونیکی نصب شده).
- اندازه‌گیری انحرافات میل‌لنگ پس از8-10 ساعت مجموع کار موتور. درخواست مشاهده نتایج را داشته باشید. این نتایج را با یافته‌های انحراف قبل از آزمایش مقایسه نمایید.
- کار برای 4-6 ساعت در 50 تا 70٪ بار: آزمایش ترمز اضطراری و rpm حداقل.
- حداقل 3 ساعت فعالیت در80-90٪ بار. تحت این شرایط، معمولاً یک بررسی با جزئیات از زمان‌بندی تزریق انجام می‌شود.
- گام نهایی کار در یک بازه3-4 ساعته است که بار موتور از تقریباً 90 ٪ تا 100٪ افزایش می‌یابد که معمولاً به عنوان قدرت پیوسته حداکثر (Maximum continous rating: MCR) تعریف می‌شود. در حین این بازه، یک آزمایش کامل صورت می‌پذیرد. در این مرحله، به مدرک آزمایش اولیه سازنده نیز توجه داشته باشید.

برای سازنده‌های موتور، انجام آزمایشات متعدد در حین آب بندی غیرمعمول نیست؛ به خصوص روی موتورهای بزرگ که نیازمند تنظیمات بیشتری هستند. بررسی نتایج این آزمایشات از اهمیت زیادی برخوردار است- شما می‌توانید با بررسی آنها، مطالب زیادی در مورد موتور کسب نمایید؛ البته این امر، مستلزم بررسی موشکافانه و دقیق اتفاقات روی داده در حین آزمایشات می‌باشد. اینجا محلی است که مشکلاتی که احتمال روی‌دادن آنها در آینده وجود دارد، خودشان را نشان می‌دهند.

- *مرور اطلاعات.* یک سازنده موتور خوب، ممکن است درباره جزئیات و علت انجام آزمایشات تکراری حین راه‌اندازی بی‌میل باشد. در فصل ۲ این کتاب، یک روش کلی ارائه شد که توصیه می‌شود به آن مراجعه و بخش " پرسیدن و گوش کردن" را مجدداً مطالعه کنید.

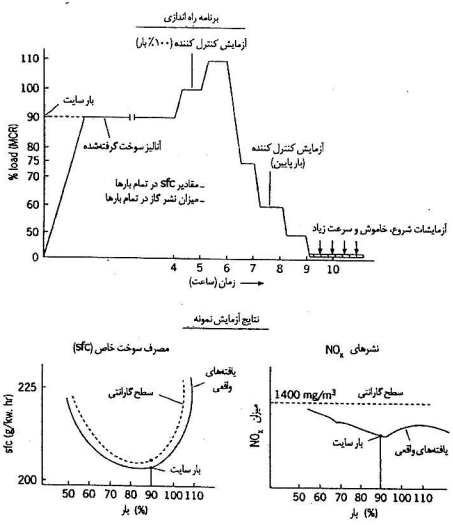


**گام سوم : آزمایش ترمز**

آزمایش ترمز موتور از یک برنامه مدون و مشخص پیروی می‌نماید. در صورتی که فرایند مکتوبی موجود نباشد، دنبال کردن آنچه روی می‌دهد، دشوار خواهد بود. قالب دقیق آزمایش بستگی به الزامات قرارداد خرید دارد؛ اما این قالب معمولاً دارای مجموعه‌ای از قوانین مشخص و مدون می‌باشد. موتور در طولانی‌ترین بازه زمانی آزمایش، در یک بار متناسب با بار طراحی تحت ارزیابی قرار می‌گیرد که این فرایند در برنامه گارانتی نیز ذکر شده است.

بازه‌های زمانی کوتاه‌تر در سایر بارها اعمال خواهد شد و همواره باید یک بازه در 100٪ بار نهایی موجود باشد. شکل ۹-۵، نمونه‌ای از منحنی بار/زمان را نمایش می‌دهد- در این مورد، منحنی مربوط به موتوری است که برای بار 90٪ طراحی شده است. وظیفه شما به عنوان بازرس این است که همواره اعتبار یک برنامه آزمایش راه‌اندازی ارائه شده توسط سازنده را بررسی نمایید تا از انطباق آن با الزامات گارانتی و مشخصات قرارداد اطمینان حاصل نمایید. در اینجا تعدادی بررسی مفید دیگر قبل از آزمایش ذکر شده است:

- *شستشو.* حتماً از انجام صحیح این فعالیت اطمینان حاصل نمایید. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد پذیرش اطمینان سازنده چندان عاقلانه نیست- تقاضای دیدن برگه شستشو را داشته باشید. در صورت مشکوک بودن، درب محفظه‌ی میل‌لنگ را باز کرده و یک نمونه روغن روان‌کننده بردارید (پمپ l.o اصلی را روشن نمایید)؛ این روغن را به منظور یافتن نخاله‌های اکسیدی و فلزی بررسی نمایید.
- *ثبت‌کننده داده‌ها.* اکثر سازنده‌های موتور از یک ثبت‌کننده داده‌ها به منظور جمع‌آوری و ثبت مقادیر فشار و دما در حین آزمایش استفاده می‌کنند. قبل از شروع به کار موتور، داده‌های صفر این مقادیر را بررسی کنید. پس از آن، ثبت‌کننده اطلاعات باید در فواصل حداقل 15 دقیقه، اقدام به چاپ این متغیرها نماید.
- توجه ویژه‌ای به روش اندازه‌گیری توان ترمز داشته باشید. این اندازه‌گیری، معمولاً از مقدار گشتاور محور ترمز مشتق می‌شود- بنابراین استفاده از "ثابت ترمز" مناسب را در نظر داشته باشید تا بتوانید توان دقیق را محاسبه نمایید. همچنین اطمینان حاصل کنید که گواهی جاری کالیبراسیون ترمز است و استفاده از ثابت ترمز صحیح را تایید نماید.
- ثبت‌کننده دمای هوای ورودی موتور بررسی شود ( در اینجا باید محدوده دمایی کاملاً کنترل‌شده‌ای موجود باشد – که به منظور لحاظ کردن مبنا برای ارزیابی داده‌های نشر خروجی لازم می‌باشد).
- *تنظیمات موتور.* این فعالیت باید با حضور بازرس و تحت نظارت او صورت پذیرد. قبل از شروع آزمایش سازنده وضعیت تنظیمات موتور را برای شما مشخص می‌نماید- این کار به منظور معنی‌دار کردن عملکرد آزمایش و اندازه حجم گازهای خروجی الزامی است. به خاطر داشته باشید که تنظیمات معمولاً در حین بازه‌های راه‌اندازی قبل از آزمایش ترمز انجام پذیرد- بنابراین شما می‌توانید تقاضای بازدید این نتایج را داشته باشید.




**شکل ۹-۵** آزمایش ترمز موتور دیزل

تنظیماتی که باید برای هر سیلندر ثبت شود، عبارتند از:

- جلوبودن بادامک سوپاپ خارجی (در بازدید)
- میزان بلند شدن بادامک سوخت (mm)
- تنظیمات VIT (در صورت نصب)

ویژگی‌های تنظیمات موتور در برنامه گارانتی وجود دارد؛ بنابراین، آنها بخش مهمی از فرایند تایید را شامل می‌شوند. یک موتور که آزمایشات صورت گرفته بر مبنای محدوده مجاز را با موفقیت پشت سر گذاشته است، احتمالاً نمی‌تواند پس از چند هزار ساعت از راه‌اندازی، حدود نشر آلاینده‌ها را رعایت نماید. این نکته را با دقت بررسی نمایید- توجه داشته باشید که ISO 3046 ، جزئیات بیشتری در اختیار شما قرار



می‌دهد؛ اما سازنده موتور باید قادر به توضیح در این باره باشد. علاوه بر این، سازنده نباید اقدام به تنظیمات غیر برنامه‌ریزی و غیر ثبت شده در حین آزمایش ترمز نماید. از هنگام آغاز آزمایش ترمز، معمولاً متغیرهای مربوطه از یک ایستگاه اندازه‌گیری از راه دور، کنترل می‌شود. با فرض اینکه ثبت‌کننده داده‌ها وظیفه خود را به درستی انجام دهد، احتیاج به صرف وقت زیاد به منظور دیدن نتایج آن وجود ندارد. زمانی که شما از اعمال تنظیمات بار مناسب مطمئن شدید، بهترین محل قرارگیری، نزدیک موتور و در جایی است که بتوانید عملکرد اجزاء را پایش نموده و درک خود را از میزان صدا و ارتعاش واقعی‌تر کنید.

به نکات زیر توجه کافی داشته باشید:

- میزان ارتعاش را در شرایط بارگذاری موجود در سایت ( در مثال ما، 90٪ MCR) و همچنین در 100٪ MCR بررسی مجدد کنید.
- به تغییرات ولتاژ و جریان توربوشارژر گوش کنید. این موارد کاملاً قابل شنیدن می‌باشد و خودشان را به صورت تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سرعت توربوشارژر نشان می‌دهند (افزون بر انحراف مجاز 2 ± ٪ در rpm)؛ مخصوصاً در شرایط 100٪ MCR. برای یک موتور نو، این تغییرات توربوشارژر، شاخصی مبنی بر تنظیم غیر اصولی و یا حتی مسائل جدی‌تر در طراحی می‌باشد.
- ثبت دماهای یاتاقان نیز یکی از مراحل کلیدی FFP می‌باشد. این دماها کاملاً مشخص نشده‌اند (گستره‌ی $^0C$ 15-10 قابل قبول است)؛ اما آنها باید در یک محدوده تقریباً ثابت قرار گیرند. احتیاطات لازم را در مورد هر گونه واکنش فلز یاتاقان در بالای دمای تخلیه روغن، بالای 85 °C داشته باشید. دمای سطح یاتاقان بالاتر خواهد بود و ممکن است به مقدار بحرانی نزدیک شود.
- دمای گاز خروجی، بهترین شاخص در مورد عملکرد سیلندرهای موتور است. انتظار محدوده دمایی $^0C$ 25 و یا بیشتر را داشته باشید؛ اما در مورد دماهای بیشتر احتیاط کنید- این موارد، ناشی از مشکلاتی در تزریق سوخت و یا مشکلات سوپاپ خروجی می‌باشد.
- عملکرد تنظیم کننده. این عملکرد، معمولاً دو بار آزمایش می‌شود (MCR و40-50/٪MCR ). در هر بار، آزمایش با دو تنظیم در افت صفر و در افت بالاتر انجام می‌پذیرد. شما باید به دنبال دو چیز باشید:
- زمانی که طول می‌کشد تا سرعت پس از تغییر بار به یک وضعیت متعادل برسد (انتظار زمان 5 تا 8 ثانیه را داشته باشید).
- تغییر در سرعت ( که به عنوان افت شناخته می‌شود) بین بار صفر و 100 درصد MCR.
- در صورت وجود هر گونه شک، استاندارد ISO 3046 بخش ۴ را بررسی کنید.
- تریپ‌ها. در انتهای آزمایش ترمز، تریپ‌های مختلف و جنبه‌های ایمنی بررسی خواهد شد. اطمینان حاصل نمایید که آزمایش را بر اساس موارد زیر شاهد بوده‌اید:
- تریپ با سرعت بیش از حد معمول. با استفاده از چرخه هوای کنترل شده به منظور بستن کاتالهای سوخت.
- تریپ پرسرعت فوری (مکانیکی).
- تریپ با فشار روغن روانساز پایین (l.o) که باید در تقریباً ۲۵٪ زیر فشار ذخیره معمولی l.o باشد.
- فشار l.o توربوشارژر پایین (برای موتورهای با سرعت پایین).

- تیرگی روغن زیاد (برای بعضی از موتورها).
- اهرم توقف اضطراری
- قفل داخلی (ضامن) چرخدنده ( در تمام موتورها).

### گام ۴: بازرسی باز کردن

بازرسی باز کردن یکی از بخش‌های اساسی آزمایش ترمز می‌باشد. ولی ISO 3046 در این زمینه ضعیف است و تنها در بخش ۲ استاندارد، به آزمایش پس از ترمز اشاره نموده است. با اینحال، یک بازرسی باز کردن مناسب، راهکاری عالی برای اثبات ایمنی موتور به منظور راه‌اندازی است که یک معیار کلیدی FFP به شمار می‌رود. به علاوه، این بازرسی بهترین روش برای ارزیابی روانکاری و مسائل سایش یک موتور که در آینده امکان دارد به وقوع بپیوندد، فراهم می‌آورد.

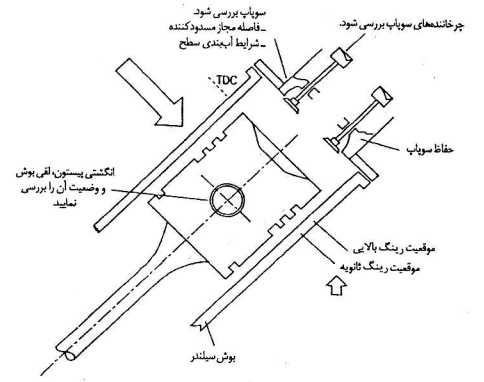
آزمایشات باز کردن کمک می‌کند تا شما تجربیات بازرسی خود را به تدریج افزایش دهید. شما متوجه خواهید شد که ارزیابی شرایط تجهیزات یک کار رد یا قبول ساده نیست- بلکه این کار نیازمند تجربه زیادی می‌باشد. همانطور که در بخش‌های دیگر این کتاب پیشنهاد شد، استفاده از یک لیست بررسی از اهمیت زیادی برخوردار است. شما باید بدانید که به دنبال چه چیز هستید- در صورتی که این کار صورت نگیرد، شما فقط می‌توانید تایید بر تصمیمات اخذ شده توسط سازنده موتور داشته باشید. علاوه بر این، بازرسی موتورهای دیزل مورد خوبی است که در آن می‌توانید تهیه گزارش فنی دقیق را تمرین نمایید. به خصوص، روش شرح آنچه یافته‌اید ( یک مرور سریع به فصل ۹۵ که در این مورد بحث کرده است، داشته باشید).

این بازرسی شامل باز کردن تمام اجزای سیلندر/پیستون، یاتاقان‌های آن و یاتاقان‌های سر محور میل‌لنگ اصلی می‌باشد. بعضی سازنده‌ها قبل از انتخاب سیلندر مورد نظر برای باز کردن اقدام به بازرسی بوروسکوپی روی تمام سیلندرها می‌کنند؛ در حالیکه سایر سازنده‌ها، یک مورد را به صورت تصادفی انتخاب می‌نمایند. به منظور تصمیم‌گیری در این مورد، داشتن داده‌های ورودی همواره ارزشمند است؛ تصمیمات خود را بر مبنای فشارهای سیلندر و دماهای خروجی ثبت‌شده در آزمایش ترمز، مورد ارزیابی قرار دهید. همچنین، اطمینان حاصل کنید که نتایج یافته‌های انحراف میل‌لنگ پس از آزمایش لحاظ شده است. سیلندرهای با دماهای خروجی بالا و سیلندرهایی که دسته میل‌لنگ‌ها دارای انحراف بحرانی می‌باشند، موارد خوبی برای باز کردن هستند.

شکل‌های ۹-۶ و ۹-۷ نواحی مورد بررسی و همچنین موارد مورد جستجو را نمایش می‌دهد. به ابعاد مختلف و برگه‌های ثبت که پر می‌شود، توجه داشته باشید؛ شما می‌توانید لیست بررسی خود را بر این مبنا بنا نمایید. قبلاً هم اشاره شده است که مسائل و نگرش‌های باز کردن به طور گسترده وابسته به تجربیات شماست. با اینحال موارد متعددی در این حوزه وجود دارد که توجه جدی را باعث گشته است. با توجه به این موارد گزارش عدم انطباق خود را آماده سازید. این موارد عبارتند از:

- هرگونه مکانیزم سایش فعال مانند خط‌افتادگی یا خراشیدگی روی سطوح لغزش پیستون، رینگ‌های پیستون و بوش سیلندر. این حالت مشخص می‌سازد که روغنکاری ناکافی است. البته مراقب باشید که این مکانیزم‌ها با سایش معمولی و رایج روی داده در این اجزا که قابل‌قبول است، اشتباه نشود.
- سوختن شیر خروجی یا سایش نشیمنگاه یا بدنه شیر.






مشاهدات پیستون، رینگ و بوش سیلندر موارد زیر ثبت گردد:
- خراش‌ها
- بارگی
- بارگی فعال
- شیارهای سایش
- ساییدگی‌ها
- سایش تقاطع شیاری

همچنین
- شکاف‌های رینگ بررسی شود.
- فواصل خالی رینگ اندازه‌گیری شود.
- فعالیت رینگ بررسی شود- گیر کردن‌ها مشاهده گردد.

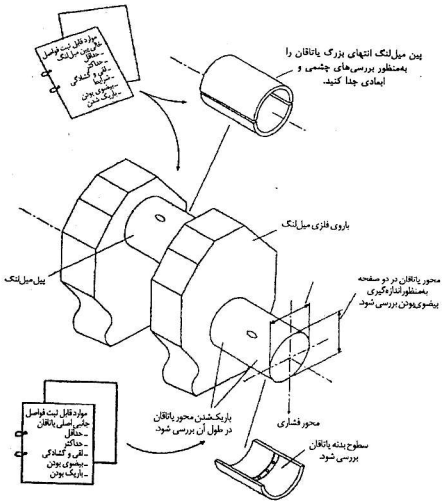
سایش بوش سیلندر اندازه گیری شود (تا ۰/۱ میلی‌متر) در
- A ـ رینگ بالایی (محوری)
- B ـ رینگ بالایی (عرضی)
- C ـ رینگ ثانویه (محوری)
- D ـ رینگ ثانویه (عرضی)

قطر میانگین = $(A+B+C+D) / 4$
سایش میانگین ثبت شود.

در حین باز و بسته کردن:
- از سطوح در حال راه‌اندازی عکس‌برداری شود.
- بصورت دقیق مشاهدات خود را توصیف کنید.

**شکل ۹-۶ موتور دیزل ـ بازکردن قسمت رویی**

- زبرسازی ضعیف هر کدام از یاتاقان‌های گردان هیدرودینامیک تا محدوده‌ای که لایه پشت‌بند فلز سفید در معرض دید قرار گیرد. این وضعیت، نشان‌دهنده نا هم ترازی می‌باشد.
- نشانه‌هایی دال بر وجود خراش عمیق یا شیاردارشدن هرکدام از سطوح یاتاقان‌ها. این وضعیت، نتیجه آلودگی روغن روانکار می‌باشد. متاسفانه تعداد زیادی موتور دیزل در سایت به این دلیل از کار می‌افتد.




**شکل ۹-۷** موتور دیزل ـ بازکردن قسمت زیرین

- نگاه ویژه‌ای به انگشتی پین و بوش آن داشته باشید. انگشتی پین اجزایی هستند که تحت بارگذاری شدید می‌باشند. این اجزاء، دارای فواصل خالی محدودی هستند و در دوره‌های مشخص تحت روانکاری قرار می‌گیرند. بسیاری از مسائل و مشکلاتی که ناشی از کیفیت روغن است، در ابتدا خود را از این محل‌ها نشان می‌دهند. این قطعات را بررسی کنید.

مانند سایر تجهیزات گردان، از کارافتادگی‌های موتور دیزل در حین سرویس خیلی رایج است. در صورت روی دادن چنین اتفاقی، گزارش‌های بازرسی قبل از راه‌اندازی، مرجع مهمی در زمینه علل از کار افتادگی می‌باشند. در صورتی که مایلید فعالیت‌های بازرسی حین راه‌اندازی به خوبی درک شود، باید در آماده کردن این گزارشات دقت کافی داشته باشید. مجدداً قانون مهمی که در جای جای کتاب به آن اشاره شده است، را یادآوری می‌کنیم که :

«آنچه را که انجام داده‌اید بیان کنید؛ ولی آنچه را که یافته‌اید شرح دهید».



**عدم انطباق ها و اقدامات اصلاحی موتورهای دیزل**

| عدم انطباق | اقدام اصلاحی |
|---|---|
| فشار حداکثر سیلندر بسیار بالا یا پایین یا متغیر. | این مورد غیر معمول نیست. نکته کلیدی این است که آیا این ایرادات به دلیل آنالیز ذرات منتشرشده غیر قابل قبول است- این مطلب می‌تواند ناشی از تنظیم ضعیف سیستم سوخت باشد. همچنین، اتصالات سرسیلندر را به منظور بررسی نشتی، ارزیابی نمایید- آزمایش مجدد مورد نیاز است. |
| انحرافات زیاد میل‌لنگ | ابتدا انحراف بازوی موتور را دوباره بررسی کنید تا از صحیح قرار گرفتن یاتاقان‌ها مطمئن شوید. سپس پوسته یاتاقان را بررسی نمایید و آنرا سفت کنید. اگر مشکل از یاتاقان‌ها و پوسته آنها نبود، مشکل اساسی وجود دارد. موتور را تا زمانیکه به طور کامل مورد تحقیق و رسیدگی قرار نگرفته و حل نشده، راه‌اندازی نمایید. |
| سوختن یا سایش نشیمنگاه سوپاپ | این مشکل بیشتر ناشی از سوخت است. مجدداً آنالیز سوخت و زمان‌بندی تزریق را بررسی نمایید- اما شیرهای آسیب‌دیده باید قبل از آزمایش مجدد تعویض گردند. |
| ساییدگی یا برداشته‌شدن فلز (یا یک ظاهر پولیش‌شده) روی قسمت پشتی بدنه‌های یاتاقان. | شماره سریال یاتاقان‌ها و بدنه آنها را بررسی کنید تا از تطابق با اندازه استاندارد اطمینان حاصل نمایید. اجازه ماشینکاری اتفاقی سطوح یاتاقان را ندهید و سفتی پیچ مهره‌های یاتاقان را بررسی نمایید. |
| ارتعاش زیاد | در ابتدا از تشخیص ماهیت ارتعاش اطمینان پیدا کنید- آنالیز فرکانس به منظور کمک به تشخیص منبع الزامی است. بررسی گشتاور پیچشی تمام پیچ‌های داخل محفظه‌ی میل‌لنگ توصیه می‌شود- وسپس یک آزمایش مجدد با احتیاط انجام شود. در صورتی که ارتعاش ادامه یابد، یک بررسی با جزئیات بیشتر مورد نیاز است. |
| سایش یا خراشیدگی سطح یاتاقان | سعی نکنید این مشکل را با تعویض یاتاقان آسیب دیده و تکرار آزمایش حل کنید. راه‌حل سریع در این وضعیت اندازه‌گیری مجدد تمام انحرافات میل‌لنگ و قطعات دارای حرکت تناوبی و همچنین اندازه‌گیری هم ترازی/ فواصل مجاز می‌باشد. تمام این موارد را بررسی نمایید. اطمینان حاصل کنید که قبل از تکرار آزمایش نتایج را درک کرده‌اید. برای خراشیدگی، سیستم l.o را تخلیه و تمام یاتاقان‌ها را بررسی کنید و آزمایش را مجدداً تکرار نمایید. |
| موتور به توان اسمی خود نمی‌رسد. | ببینید در آزمایش اشتباه نکرده باشید. عملکرد موتور را بر اساس ISO 3046 بررسی کنید و انحرافات ابعاد مجاز را مرور نمایید. توجه: واقعیت این است که نرسیدن موتورهای دیزل به توان اسمی خود چندان غیرمعمول نیست. قبل از اقدام به صدور NCR در این زمینه، اطمینان حاصل کنید که محاسبات را به خوبی درک کرده‌اید. |
| مقادیر دود خارج شده از موتور بیش از حد مجاز است. | تقریباً همیشه این وضعیت به دلیل سوخت نامرغوب و یا تنظیم سوپاپ نامناسب روی می‌دهد. بهترین کار در این وضعیت، درخواست یک نسخه از سابقه نحوه تنظیمات است. این نسخه را قبل از انجام آزمایش مجدد به دقت بررسی نمایید. بررسی کنید که sfc (مصرف سوخت ویژه) در هنگام تلاش برای حداقل کردن این گازها، از مقادیر مجاز تجاوز نکند. عقب انداختن زمان‌بندی تزریق، sfc را افزایش خواهد داد. |
| هر گونه نقص در تریبهها و لوازم ایمنی | برای انجام آزمایش تحت بار هیچ ترتیبی را خارج نکنید. در صورت بروز سرعت بیش از حد، سریعاً آزمایش را متوقف کنید. سرعت نهایی را با دقت ثبت کنید تا طراح را قادر سازید که بتواند آسیب‌های ناشی از نشن بیش از حد را ارزیابی نماید. |

## خلاصه نکات کلیدی : موتورهای دیزل

**هماهنگی برای منظور**

۱. دو معیار اصلیFFP یک موتور دیزل، عبارتند از: یکپارچگی مکانیکی و عملکرد (ترمز). هر دوی این معیارها می‌توانند توسط بازرسی‌های حین کار ارزیابی گردند.
۲. موتورها به سه دسته موتورهای با سرعت کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی می‌شوند. فعالیت‌های بازرسی در حین کار همه انواع تقریباً مشابه می‌باشد.
۳. چارچوب گارانتی‌های عملکرد به خوبی تعریف شده است؛ اما الزامات گارانتی یک بیان کلی برای تأمین معیارهای مناسب بودن برای منظور یک موتور فراهم نمی‌کنند.

**استانداردها**

٤. استاندارد رایج در این زمینه، استاندارد ISO 3046 می‌باشد. این استاندارد مربوط به آزمایش عملکرد موتور است و از هفت بخش جداگانه تشکیل شده است. سازنده یک موتور دیزل، استانداردهای مهندسی عمومی را دنبال می‌کند. در صورت ساخته شدن موتور " بر حسب کلاس" ، یک سازمانهای رده‌بندی نیز باید نظر دهد.

**فرایندهای آزمایش**

۵. سه نوع هم‌ترازی در حین ساخت وجود دارد که باید بازرس شاهد آن باشد. این موارد عبارتند از:
- هم ترازی صفحه زیرین - این بررسی توسط روش میزان آب و سیم کشیده انجام می‌شود.
- میل‌لنگ (انحرافات)- هدف این مرحله، اطمینان از تراز بودن یاتاقان‌های اصلی می‌باشد.
- هم ترازی قطعات دارای حرکات رفت و برگشتی.

۶. برای اثبات عملکرد موتور، یک آزمایش ترمز انجام می‌شود. شستشوی داخلی با روغن و راه‌اندازی، گام‌های ابتدایی مهم می‌باشند. اطمینان حاصل کنید که قبل از شاهد بودن در یک آزمایش ترمز، آن را به خوبی درک کرده‌اید.
۷. مقادیر ارتعاشات در مقایسه با توربو ماشین‌آلات بسیار بالاتر است. مقادیر تا حدوداً 50 mm/s (rms) قابل‌قبول می‌باشد.
۸. یک بازرسی باز شدن پس از آزمایش ترمز انجام می‌شود. با باز شدن به صورت زیر برخورد کنید:
- مهم‌ترین بخش فرایند آزمایش
- یک اقدام تشخیصی ( به مشکلات روانکاری و فواصل خالی حین راه‌اندازی توجه نمایید).
- فرصتی برای تمرین تهیه گزارش توصیفی روشن.



## فهرست منابع

1. BS 5514 Parts 1 to 7: Reciprocating internal combustion engines: performance.
2. BS 2869: Part 2: 1988. Specification for fuel oil for agricultural and indUTtrial engines and burners (classes A2, C1, C2, D, E, F, G and H).

فصل ۱۰

# انتقال توان

## جعبه دنده‌ها

در صنعت، جعبه دنده‌ها کاربردهای وسیعی دارند؛ از چرخ دنده محرک پمپ‌ها گرفته تا دستگاه های بزرگی که در سیستم رانش کشتی ها و دنده های محرک ژنراتورها استفاده می‌شوند.

چرخ دنده جزئیات فنی زیادی دارد که شامل معیارهای پیچیده طراحی و تکنیک‌های پیشرفته ساخت می‌باشد. خوشبختانه از نقطه نظر بازرسی، الزامی به دانستن تمام جزییات فنی جعبه دنده ها نمی باشد. داشتن اطلاعاتی کلی از تکنولوژی آن و همچنین دانستن چگونگی به کار بردن تکنیک‌های رایج آزمایش، کافی می‌باشد.

شکست چرخ دنده ها در حین کار بسیار رایج است. تجربه نشان می‌دهد که احتمالاً ۷۰٪ شکست‌های مکانیکی به دلیل عوامل بهره برداری می‌باشند (نظیر بارگذاری ضربه‌ای خارجی یا مشکلات مربوط به تامین روغن روانکار) و ۳۰٪ باقی‌مانده را می‌توان به فعالیت‌ها و امور ساخت نسبت داد. جعبه دنده‌ها قطعات بسیار دقیقی هستند، به همین دلیل تکنیک‌های ساخت و آزمایش آنها پیشرفت زیادی کرده است.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور(FFP)

هدف هر جعبه دنده این است که به صورت موثر و کارآمد، نیرو محرکه را انتقال دهد. در همین راستا سه معیار تعریف شده واضح FFP وجود دارد که باید مد نظر قرار گیرد:

- سری چرخ دنده هایی که صحیح ماشینکاری شده و کاملاً همراستا قرار گرفته‌اند. این موضوع احتمال سایش بیش از حد و شکست آن را حداقل می‌سازد.
- قطعات دوار به درستی بالانس شده، جهت پایین نگه داشتن لرزش در میزان‌های قابل قبول.
- یکپارچگی مکانیکی اجزاء، به خصوص برای قطعات دوار تحت تنش بالا و دندانه‌های چرخ دنده آنها.

## اطلاعات فنی پایه

طراح چرخ دنده ها و جعبه دنده، به دقت آنانرا با کاربرد مربوطه مطابقت می دهند. واحدهایی با سرعت بالا که به صورت پیوسته کار می‌کنند، موضوع بحث ما می‌باشد. این قطعات در ماشین آلات توربو (اغلب توربین‌های گازی)، موتورهای دیزل، پمپ‌ها، کمپرسورها، سانتریفوژها و محرکه‌های تجهیزات کمکی مشابه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها ممکن است بسته به کاربردشان به عنوان افزایش دهنده یا کاهش دهنده سرعت عمل کنند. چرخ دنده‌هایی که در این تجهیزات وجود دارند، به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

## چرخ دنده‌های ساده (Spur gear)

چرخ دنده‌های ساده، ساده‌ترین نوع دنده‌های با محور موازی هستند و هنوز در جعبه دنده‌های ساده سرعت بالا غیر معکوس استفاده می‌شوند. در تست های کاری، ارزیابی میزان سر و صدای بالا که اغلب یکی از مشخصه‌های این نوع جعبه دنده ها است، اهمیت دارد. در تجهیزاتی که نیاز به نسبت کاهش بالا و سرعت بالا است، چرخ دنده‌های ساده اغلب در یک شکل سیاره ای قرار داده می‌شوند. این نحوه قرار دادن چرخ دنده ها باعث کم وزن و کم حجم شدن جعبه دنده می شود.

## چرخ‌دنده‌های مارپیچ ساده (single helical gears)

این چرخ دنده‌ها یک تک سری دندانه‌های حلزونی دارند. آنها سر و صدا و لرزش کمتری از چرخ دنده‌های ساده دارند؛ زیرا این نوع چرخ دنده ها بر اساس درگیری چندین دندانه چرخ دنده با هم، در هر لحظه از زمان طراحی می شوند. یک مسئله کلیدی بازرسی برای این جعبه دنده‌ها، عملکرد موفق یاتاقان‌ها، به خصوص یاتاقان طولی برای جذب فشار محوری باقی‌مانده از مارپیچ دنده، می‌باشد.

## چرخ‌دنده‌های مارپیچ دوبل (Double Helical gears)

این چرخ‌دنده دو سری حلزونی در چرخ‌های اصلی در سری چرخ دنده‌ها دارند. حلزونی‌ها در جهت مخالف یکدیگر کار می کنند تا فشار محوری را حذف نمایند. نحوه قرار دادن و تنظیم چرخ دنده‌ها می‌تواند یک مشکل به حساب آید. چرخ‌دنده‌های مارپیچ دوبل نیازمند دقت خیلی زیادی در ساخت هستند. بنابراین بازرسی در جهت بررسی نحوه قرارگیری چرخ دنده ها می باشد.

اصول آزمایش های کاری این سه نوع جعبه دنده مشابه است، ولی امکان دارد اختلافات جزیی در اهمیت مولفه های FFP آنها وجود داشته باشد. در اکثر قراردادها، الزامات در قالب جدول ضمانت نامه به روشنی بیان می‌شود. در ادامه نوعی جدول و مقادیر قابل قبولی که احتمالاً با آنها برخورد می‌کنید نشان داده شده است. این ضمانت نامه برای یک محرکه ژنراتور توربین گازی می باشد.

علاوه بر این ضوابط صریح و ساده، الزامات استنتاج شده مختلفی وجود دارند که بایستی آنها را مد نظر داشت. این موارد به روشنی در استاندارد طراحی آن قطعه بیان می‌شوند.

## مشخصات فنی و استانداردها

در API/AGMA، BS، VDI/DIN و ISO استانداردهایی وجود دارند که مربوط به جعبه دنده‌های با سرعت بالا هستند. از دیدگاه تعیین کننده FFP در کارهای ساخت، ما می‌توانیم موقعیت را توسط مشاهده اینها در دو مقوله، روشن‌تر کنیم: استانداردهای طراحی چرخ دنده و استانداردهای بازرسی/ آزمایش.

### استانداردهای طراحی چرخ دنده

استانداردهای طراحی چرخ دنده در مرحله تعیین مشخصات فنی تعریف می‌شوند. مشخصات فنی به کاربرد جعبه دنده بستگی دارند. در استانداردها معمولاً اطلاعاتی مانند، ضریب (استحکام) طراحی، فرم و شکل دندانه، مواد و دقت ساخت موجود می‌باشد. به عنوان یک بازرس لزومی ندارد که درک همراه با جزییات



| | |
|---|---|
| استاندارد طراحی | به عنوان مثال API 613 |
| سرعت نامی ورودی / خروجی | 5200/300 rpm |
| ظرفیت افزایش سرعت | 110 درصد ( 3300 rpm ) |
| تلفات توان بی باری | حداکثر 510 kW (گاهی اوقات به صورت درصدی از توان ورودی بیان می شود) |
| جریان روغن | 750 lit / min ( با تلورانس 5 ± درصد) |
| لرزش بدنه | VDI 2056 گروه T : 2.8 mm/sec. rms (اندازه گیری شده بر حسب سرعت) |
| لرزش محور | دنده هرزگرد ورودی 39 میکرون محور خروجی 50 میکرون پیک تا پیک (هر دو بر حسب یک دامنه اندازه گیری شده اند) |
| سطح سر و صدا | ISO 3746 : 97 dB(A) در فاصله ۱ متری |

زیادی از تمامی این استانداردها داشته باشید. اما به دانستن دامنه کاربرد آنها و روشی که آنها بازرسی تکمیلی دیگر و استانداردهای آزمایش را تعیین و ذکر می‌کنند، نیاز دارید. این اطلاعات در مورد هر استاندارد عبارتند از:

- API 613 . یک استاندارد جامع وسیع است که معیارهای طراحی و جنبه‌های آزمایش را پوشش می‌دهد. این استاندارد ارتباط مستقیمی با بازرسی دارد و در خیلی از صنایع استفاده می‌گردد ( نه فقط صنایع پالایشگاهی). آنرا یک استاندارد سودمند و کاربردی خواهید یافت. برای جزییات فنی بیشتر، API 613 به استانداردهای انجمن سازندگان چرخ دنده آمریکا(AGMA) ارجاع می‌دهد.
- ISO 1328 . استانداردی با جزییات در مورد تلورانس‌های ساخت با استفاده از کلاس‌های ISO Q-grade دقت، می‌باشد. بیش از ده یا بیشتر استانداردهای ISO وجود دارد که در مورد طراحی چرخ دنده هستند اما بعید است که با آنها مواجه شوید.
- BS 1807 . چرخ دنده های محرک دریانوردی را پوشش می‌دهد. این استاندارد به طور خاص ضرایب طراحی دنده و الزامات بار گذاری ضربه‌ای را پوشش می دهد.

## بازرسی چرخ دنده / استانداردهای آزمایش

API 613 راهنمای خوب و وسیعی برای بازرسی می‌باشد اما استانداردهای ISO، VDI و BS در زمینه فراهم آوردن اطلاعات با جزییات جهت استفاده در امور بازرسی نیز بسیار مفید می‌باشند. محتوای اصلی این استانداردهای تکمیلی، روش‌های تعیین و اندازه‌گیری سطوح قابل پذیرش سر و صدا و لرزش است.

VDI 2056 معیارهای ارزیابی لرزش مکانیکی ماشین‌ها را پوشش می‌دهد. دقت کنید که این استاندارد تنها برای لرزش بدنه ها و پوسته‌های جعبه دنده کاربرد دارد و نه محور. استفاده و رعایت این استاندارد بسیار ساده است. در این استاندارد، ماشین آلات به شش گروه کاربردی به همراه جعبه دنده‌ها که صراحتاً در گروه T تعریف می‌شوند، تقسیم می‌گردند. سرعت لرزش (rms)، پارامتر اندازه‌گیری شده است. همچنین سطوح پذیرش نیز به روشنی معرفی شده‌اند.

ISO 2372 (معادل BS 4675) دامنه کاربردی مشابه با VDI 2056 دارد اما روش های فنی متفاوتی را به کار می‌برد.

| اقدامات | الزامات استاندارد |
|---|---|
| • برگهٔ اطلاعات فنی | الزمات API 613 |
| • گواهی‌نامهٔ مواد | |
| ـ تمام اجزای دوار | EN 10204 (3.18) |
| ـ یاتاقان‌ها | EN 10204 (3.18) |
| ـ پوستهٔ جعبه دنده | EN 10204 (2.2) |
| • NDT اجزای دوار | ۱۰۰٪ تست US (ASTM A388) |
| | ۱۰۰٪ تست MPI (ASTM A275) |
| | تست UT روی پیوستگی فلز یاتاقان |
| • NDT یاتاقان‌ها | MT روی قسمت‌های حساس و جوش‌ها |
| • NDT پوستهٔ جعبه دنده | حداکثر انحراف 8 µM |
| • میزان انحراف | بعد از نصب حداکثر انحراف ترکیبی مکانیکی / الکتریکی کوچکتر مساوی ۲۵٪ دامنهٔ ارتعاش حداکثر باشد. |
| | API 613 (بخش 2.6.2) یا ISO 1940 G6.3 |
| • بالانس دینامیکی | > ۸۵ ٪ تماس در خط گام باشد. |
| • بررسی محل تماس دندانه‌ها | > ۷۵ ٪ تماس روی ارتفاع گام باشد. |
| | ۱۲۰ ٪ تست فوق سرعت |
| • تست راه‌اندازی و فوق سرعت | VDI 2056 یا API 613 |
| • تست ارتعاش | ISO: 3746 97 dB (A): در فاصلهٔ یک متر |
| • تست سر و صدا | - |
| • انطباق گواهی‌نامه | |

شکل ۱۰-۱ محتویات ITP به دنده

ISO 8579 (معادل BS 7676) در دو قسمت سطوح لرزش و سر و صدا است و پوشش خوبی را ایجاد می‌کند. اما در حد دیگر استانداردهای VDI و ISO، رایج نیست.

ISO 7919/1 (معادل با BS 6749 قسمت ۱). این استاندارد به صورت اختصاصی با تکنیک اندازه‌گیری لرزش محور ارتباط داشته و بسیار پیچیده است. بهترین راه آن است که این استاندارد را به عنوان مکمل برای دیگر استانداردها به حساب آورد، اما امکان دارد که به تنهایی نیز برای برخی واحدهای بزرگ چرخ دنده استفاده شود. انتظار دیدن این استاندارد را برای محرک های اصلی ماشین آلات توربو داشته باشید؛ در جایی که روند آزمایش نیاز به معرفی حالت‌های گوناگون لرزش در محدوده سرعت کاری دارد. در فصول ۷ و ۸ نیز مطالب و جزییاتی در مورد توربین‌های گازی و بخار گردآوری شده است. اصول و قواعد مشابه است. API 613 روش ساده‌تری را برای ارزیابی لرزش محور جعبه دنده با استفاده از دامنه به عنوان پارامتر اندازه‌گیری ارائه می دهد.

ISO 3746 و API 615 مربوط به استانداردهای صدا هستند. قسمت‌های دیگر روش آزمایش که توسط این استانداردها آدرس داده می‌شوند، بالانس سازی دینامیکی و آزمایش‌های محل تماس دندانه هستند. مشاهده خواهید نمود که API 613 این مطالب را به روشی ساده بیان می‌کند.

## طرح‌های بازرسی و آزمون (ITPs)

ITP یک جعبه دنده به گونه ای نوشته می شود که موارد ذکر شده در آن در ارتباط مستقیم با صحه‌گذاری سه معیار FFP باشد. در شکل ۱۰- ۱ یک نمونه ITP نشان داده شده است.



## روش ها و دستورالعمل های آزمایش

بازرسی اکثر جعبه دنده ها شامل یک نظارت حضوری در آزمایش راه اندازی بی باری، و سپس آزمایش بازکردن (strip down) می باشد. همچنین بازرسی های اولیه بالانس سازی اولیه و گاهی اوقات بازرسی های محل تماس دندانه، به عنوان بخشی از برنامه نظارت حضوری، رایج است. اگر مراحل ساخت را دنبال کنیم، اولین آزمایش بالانس سازی دینامیکی است.

## آزمایش بالانس سازی دینامیکی

در اکثر طراحی جعبه دنده‌ها، بالانس سازی دینامیکی پس از مونتاژ و نصب چرخ‌دنده‌ها و دنده‌های هرزگرد در محورهایشان انجام می‌شود. پس از مونتاژ به آن چرخ دنده روتور می گویند.

بالانس سازی دینامیک با نصب روتور همراه با یاتاقان ژورنال آن روی یک ماشین خاص انجام می‌شود. روتور در حدود سرعت نامی‌اش می‌چرخد و حسگرهای چند فازی که در بدنه نصب شده‌اند، نیروهای نامتعادل را حس کرده و در یک صفحه نمایش آن را نشان می دهند.

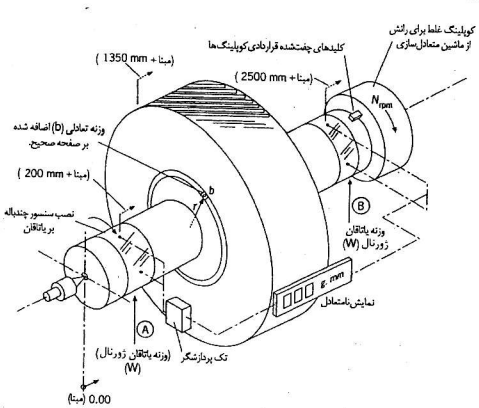
هدف از انجام آزمایش بالانس سازی دینامیک کاهش عدم توازن باقی‌مانده تا حدی است که مشخصه‌های لرزشی جعبه دنده مونتاژ شده قابل قبول باشد. در عمل، سازنده‌های جعبه دنده برای کاهش این عدم توازن به صفر یا پایین‌ترین حدی که عملاً امکان پذیر است، تلاش می‌کنند. در این راستا آنچه که می‌توان به آن دست یافت اغلب بستگی به اندازه چرخ دنده روتور و مهارت سازنده دارد. شما می‌توانید یک تقریب اولیه مفید برای حداکثر عدم توازن مجاز را در API 613 بیابید (شکل ۱۰- ۲).

این موضوع که واحدهای عدم بالانس را با هم اشتباه نگیرید، مهم است. واحد جزء صحیح gmm (گرم میلیمتر) است، یعنی یک جرم نامتعادل که در یک شعاع مؤثر از محور دوار عمل می‌کند. تقریباً تمامی ماشین‌های بالانس سازی جدید امکان خواندن عدم توازن را به صورت دیجیتالی فراهم می‌آورند، بنابراین هیچگونه محاسبات دستی مورد نیاز نیست.

از صحت گواهی نامه کالیبراسیون اطمینان حاصل نمایید. هر عدم توازن باقی‌مانده‌ای (پس از توقف روتور) توسط افزودن وزنه‌هایی به سوراخ‌های پیچ‌دار اصلاح می‌شود. سپس برای بررسی نتایج، آزمایش مجدداً تکرار شود.

در هنگام نظارت حضوری آزمایش‌های بالانس سازی، رعایت برخی از نکات بسیار با اهمیت می باشد.

- سرعت آزمایش را بازرسی کنید. این سرعت اغلب سرعت نامی روتور است اما امکان دارد به دلیل محدودیت های ماشین بالانس برای دستگاه‌های با سرعت بالا، نتوان به آن رسید. لازم به ذکر است که در بالاتر از سرعت نامی آزمایش نکنید.
- سازنده بایستی تلاش کند که عدم توازن صفر را بدست بیاورد. یک روتور که تنها به مقادیر قابل قبول رسیده است احتمالاً می‌تواند بهتر شود. اگر نشد، عاقلانه آن است که به اندازه‌گیری‌های لرزش در طی آزمایشهای بعدی جعبه دنده توجه کنید. روتورهای نامتعادل می‌توانند سبب یک فرکانس اعمال نیرو شوند که امکان دارد یکی از سرعت‌های بحرانی را کاهش دهد، و آن را نزدیک سرعت نامی برساند. مراقب باشید.
- هنگامی که نتایج آزمایش بالانس دینامیکی را ثبت می‌کنید بایستی در مورد روشی که این کار را انجام می‌دهید دقیق باشید. شکل ۱۰-۲ روش API 613 را نشان می‌دهد. به خصوص چک کنید




نتایج را مثل زیر گزارش کنید:
محور با سرعت rpm = (N) سرعت نامی:
چرخش خلاف عقربه‌های ساعت (ACW) دیده شده از کوپلینگ

| | یاتاقان سرمحور B | صفحه صحیح | یاتاقان سرمحور A | |
|---|---|---|---|---|
| | 2500mm | 1350mm | 200mm | محل قرارگیری از مبنا 0.00 |
| محاسبهٔ نمونه (API 613) $\bar{U} = 6350\ W/N$ | W | – | W | بارگذاری استاتیک (Kg) |
| | – | b | – | وزن تعادلی افزوده شده |
| | $U_B$ | – | $U_A$ | عدم تعادل باقی‌مانده g.mm (U) |

**شکل ۱۰-۲** بالانس نمودن دینامیک یک روتور چرخ‌دنده

که سطوح اصلاحی (به عنوان مثال در هر جایی که وزن‌های تعادلی اضافه می‌شوند) واقعاً همان‌هایی باشند که در برگه‌های نتایج آزمایش نشان داده می‌شوند.

- یک نکته کاربردی: بازرسی کنید که آیا خارهای محوری یا بست‌های محوری که به روتور چفت می شوند طی آزمایش بالانس سازی وجود داشته اند. موارد اضافی مثل اینها بایستی نصب شوند یا برای محاسبات بالانس برای آنها جایی گذاشته شود.



- خواهید دید که برخی استانداردهای آزمایش نیاز به انجام کنترل حساسیت بر روی ماشین بالانس سازی دارند. بررسی حساسیت توسط افزودن وزنه‌های مشخصی به روتور و بررسی اینکه نتایج تطبیق دارند یا خیر، انجام می شود. برای یک ماشین بالانس سازی کالیبره شده جدید اگر مشخص شده باشد که از استاندارد پیروی شده است، نیازی به بررسی حساسیت نیست.

## بازرسی محل تماس

بازرسی محل تماس دنده ها یک روش ساده اما مؤثر برای بازرسی محل درگیری یک سری چرخ دنده با یکدیگر است. نتایج می‌تواند اطلاعات زیادی در مورد دقت ماشین کاری دندانه‌های دنده و همچنین مقیاس و میزانی از نظم و ترتیب نسبی محورها فراهم آورد. آزمایش با اعمال لایه رنگی روی دندانه های محل درگیری چرخ دنده ها و چرخاندن آن انجام می شود.

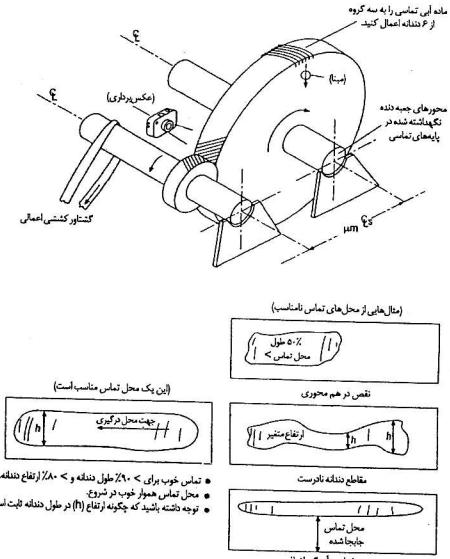
رنگ، الگوی محل تماس میان هر دندانه دنده را نشان می‌دهد. دو مرحله اصلی برای بازرسی‌های محل تماس وجود دارد. بازرسی‌های پایه محل تماس در طی مرحله مونتاژ اولیه جعبه دنده انجام می‌شود (شکل ۱۰-۳). پایه بایستی به دقت با محورهای مرکزی دنده که با دقت در حدود ۲۵ میکرونی قرار گرفته‌اند متحد شود. نظارت حضوری توسط بازرسان کارفرما در هنگام انجام این آزمایشات چندان متداول نیست؛ مگر اینکه یک مورد سفارشی تکی باشد یا نقشه خاصی داشته باشند. نتایج بایستی ثبت شوند و جهت بازبینی هم در دسترس باشند. بهترین راه برای ثبت الگوی محل تماس برداشتن الگوی اثر جزء آبی با استفاده از نوار چسب سلولوزی و انتقال اثر به یک برگه کاغذ سفید می باشد. لازم به ذکر است که شما می‌توانید عکس برداری هم بکنید. بازرسی‌های محل تماس در محل پس از آنکه سری چرخ دنده ها در جعبه دنده نصب و ثابت شدند، انجام می‌شوند. تکنیک بازرسی مشابه قبل است.

جهت بدست آوردن نتایج معنادار هنگام انجام یک بازرسی محل تماس دندانه، لازم است که مقداری بار روی دندانه‌ها اعمال شود. اعمال بار اطمینان می دهد که فضاهای خالی (لقی‌ها) و تنظیمات با شرایط بارگذاری، سازگاری دارند.

اعمال نیرو بر دندانه ها مخصوصاً برای سری چرخ دنده های مارپیچ دوبل که ساخت و دقت تنظیم آنها بحرانی می باشد، مهم است. رایج‌ترین روش اعمال گشتاور به محور خارجی با استفاده از یک ترمز تسمه‌ای است. حالت این آزمایش این است که گشتاور بار کامل اعمال شود؛ اما معمولاً تنها این حالت حدی، برای چرخ دنده‌های بزرگ مخصوص کارهای سنگین استفاده می شود.

برای چرخ دنده‌هایی که محورها بر روی یاتاقان‌های تر است نصب می‌شوند، حذف هر انتهای معلقی قبل از انجام بازرسی‌های محل اتصال، لازم است. برخی نکات مهم جهت بازرسی نقاط تماس هنگام نظارت حضوری در زیر آورده شده است (همچنین شکل ۱۰-۳ را ببینید)

- اطمینان حاصل کنید که دنده‌ها قبل از اعمال ماده آبی رنگ خشک و گریس زدایی شده باشند. بازرسی‌های محل تماس با آلودگی روغن در جعبه دنده ممکن نیست.
- مادهٔ آبی رنگ را به صورت تصادفی به کار نبرید. سه دسته (در فواصل ۱۲۰ درجه‌ای) شش دندانه‌ای بر روی بزرگترین دنده نقاط درگیری چرخ دنده‌ها کافی است. رنگ آبی بایستی مالیده شود (به طوری که یک فیلم ۲۰ میکرونی نازک ایجاد نماید) نه اینکه مانند رنگ پاشیده شود. در




**شکل ۱۰-۳** بررسی‌های محل تماس چرخ‌دنده

طی آزمایش، رنگ آبی از چرخ به دنده هرزگرد انتقال می‌یابد و سپس بر روی چرخ برمی‌گردد. سپس اثرهای محل تماس از روی دندانه‌ها بین دندانه‌های آبی شده اولیه گرفته می‌شوند.

- **هنگام ثبت نتایج**، به موقعیت دندانه‌های مورد بررسی اشاره کنید. برخی چرخ دنده‌ها اصطلاحاً «hunting tooth combination» نامیده می‌شوند که دندانه‌ها الگوی نقاط درگیری چرخ دنده‌ها خودشان را با هر دوران کامل تغییر می‌دهند. چرخ‌دنده‌ها اغلب علامتی دارند که مبدا صفر را نشان می دهد. برای نشان دادن موقعیت هر دندانه در چرخ دنده، دندانه ها نسبت به مبدا و در جهت عقربه های ساعت شماره گذاری می شوند.



- به دنده‌های حلزونی دو تایی توجه خاصی داشته باشید و اطمینان حاصل کنید که آزمایش‌های محل تماس بر روی هر دو دسته‌های حلزونی انجام می‌شود.
- اغلب جعبه دنده‌ها معکوس شونده نیستند، اما اگر با موردی مواجه شدید که معکوس شونده بود، انجام بازرسی‌های محل اتصال بر روی هر دو طرف جهت های جناغی دندانه لازم است.
- به یاد داشته باشید که گشتاور کششی برای رسیدن به نتایج معنادار ضروری است.

## آزمایش‌های راه اندازی

آزمایش راه اندازی مکانیکی مرحله کلیدی اثبات عملکرد و کارایی جعبه دنده می‌باشد و اغلب مرحله ای با نظارت حضوری است. بعضی از سازندگان تجهیزاتی دارند که چرخ دنده ها را با تمام یا بخشی از ظرفیت راه اندازی و تست می کنند، ولی چندان رایج نیست.

اکثر خریداران به آزمایش راه اندازی بدون بار، اعتماد می‌کنند. شاید دیده باشید که به این نوع آزمایش ها، آزمایش اطمینان یا اثبات (Proof test) می گویند، ولی دقیقاً اینگونه نیست.

نکات کلیدی آزمایش راه اندازی مکانیکی، بازرسی جریان‌های روغن، میزان لرزش و سر و صدای جعبه دنده است که بایستی در مقادیر قابل قبول باشند. به خاطر داشته باشید که این مقادیر از بندهای ضمانت نامه هستند، بنابراین به عنوان یک بازرس به دیدی بسیار روشن از این الزامات و راه‌هایی که آنها در طی تست بررسی می‌شوند، نیاز دارید. اول، شیوه عملکرد آزمایش را مرور کنید که معمولاً شامل مراحل زیر است (شکل ۱۰-۴):

### مرحله ۱: چرخش با سرعت کم

چرخ دنده را با سرعت کم به کار بیاندازید؛ خروج از محور شفت در این مرحله اندازه‌گیری می‌شود. این مرحله، مقداری را برای فضای عمل الکتریکی و مکانیکی چرخش با سرعت کم می‌دهد که هنگام تفسیر اندازه‌گیری‌های لرزش محور مورد استفاده قرار می‌گیرد. مخزن (ذخیره) روغن روانکار (LO) را بررسی کنید. به دنبال نشتی روغن بگردید.

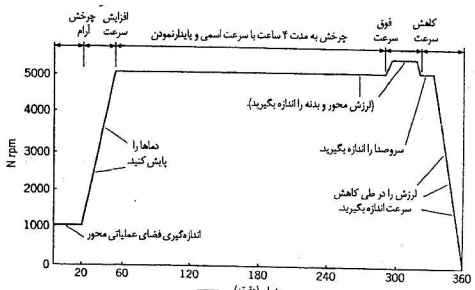
### مرحله ۲: افزایش سرعت

سرعت را به تدریج تا ۱۰۰ ٪ سرعت اسمی افزایش دهید، فشار و دمای روغن روانکار(LO )را حداقل هر 10 دقیقه بخوانید.

### مرحله ۳: چرخش با سرعت اسمی

بعد از آنکه سرعت به ۱۰۰٪ سرعت اسمی رسید، به مدت ۴ ساعت در این سرعت آن را نگه دارید. به ثبت دماها و فشارهای LO در فواصل معین ادامه دهید. توجه خاصی به خالی شدن LO یا دماهای ترموکوپل یاتاقان ژورنال/تراست داشته باشید. این موضوع تعادل حرارتی جعبه دنده را نشان می‌دهد. از دمای یاتاقان‌ها می توان فهمید که روی کدام یک بیشترین بار گذاری انجام شده است.

یاتاقان ژورنال/ تراست مرکب بایستی به دقت کنترل (پایش) شوند، مخصوصاً اگر آنها توسط یک تک لوله توزیع LO روغنکاری شوند. در گزارش، یاتاقان ها و دماهای کاری‌شان بایستی به درستی مشخص




**شکل ۱۰-۴ آزمایش راه‌اندازی بی‌باری جعبه دنده**

گردند. اگر روشن نیست (یا اگر برای کسی که گزارش را در سال بعد مرور می کند واضح نباشد)، به هر یاتاقان یک شماره بدهید و آن را در نقشه قرارگیری چرخ دنده ها ثبت کنید.

حداکثر دمای کاری سطح فلز یاتاقان مخصوص جعبه دنده در حدود 125°C می‌باشد. اگر حداقل 15°C برای اعداد مرزی و اشتباهات اندازه‌گیری قائل شوید، دمای روغن تخلیه شده یاتاقان باید 110°C باشد. این دما مهم است. هر گونه تغییر دمای یاتاقان ها بدون دلیل واضح را مشاهده و دنبال کنید. به عنوان یک قانون کلی بسیار مراقب دماهای یاتاقان در طی یک آزمایش راه اندازی بدون بار باشید. وضعیت با اعمال بار بهتر نمی‌شود، بلکه همیشه بدتر می‌شود. هر گونه مشکلات دیگری را هم مشاهده کردید در گزارش به آنها اشاره کنید.

به محض آنکه دماها و فشارهای I.O ثابت شدند، لرزش باید اندازه‌گیری شود. اصول کلی در اینجا نیز همان اصول کلی برای دیگر تجهیزات دوار است. با این حال، برخی شیوه‌ها و تکنیک‌های خاص مربوط به جعبه دنده‌ها وجود دارند که بسیار مهم هستند. به مطالب گذشته در این فصل نگاه کنید، استانداردهای مختلفی برای ارزیابی لرزش جعبه دنده و محورها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای جعبه دنده، استاندارد VDI 2056 از پارامتر «شدت لرزش» استفاده می‌کند. این پارامتر به عنوان میزان سرعت (rms) بر حسب mm/s تعریف می‌شود. این تعریف برای اهداف بازرسی مناسب است زیرا لرزش را در فرکانس‌های چندگانه تا یک مقدار $V_{rms}$ تخمین می‌زند.

این تعریف بازرسی مقادیر نسبت به حدود پذیرش را نسبتاً ساده می‌کند؛ به شرطی که وسایل اندازه‌گیری صحیح و مناسب استفاده شود. بررسی کنید که شما از یک حسگر سرعت الکتریکی/ مکانیکی به همراه یک مشخصه قانون مرجع استفاده می‌کنید. این موضوع امکان خواندن مستقیم rms مستقل از فرکانس، را فراهم می‌سازد. اگر دستگاه تنها جابجایی مکانیکی را اندازه‌گیری نماید، پس شما به اندازه‌گیری‌های چندگانه در محدوده فرکانس نیاز دارید. بنابراین به یک آنالیز فرکانس هم نیاز خواهید



داشت. در استاندارد VDI 2056، جعبه دنده ها در گروه ماشین آلات T قرار می گیرند؛ بنابراین برای یافتن حداکثر درجه لرزش یک نوع جعبه دنده ژنراتور/ توربین گازی با ظرفیت بار 50MW به دنبال عددی در حدود 2.8 mm/sec باشید. (برای رفع هر گونه شک و شبهه شکل ۷ از این استاندارد را بررسی کنید). لرزش محور توسط VDI 2056 پوشش داده نمی‌شود. API 613 یا ISO 7919/ BS 6749 از حداکثر فاصله پیک تا پیک (دامنه، s) برای اندازه‌گیری لرزش استفاده می‌کنند. لرزش‌ها در دامنه فرکانس دریافت می‌شوند (معمولاً 0-1000Hz). محاسبه آن بسیار ساده است. در API 613 از این فرمول استفاده می‌شود:

$$\text{(S) حداکثر فاصله پیک تا پیک.} = 25.4\sqrt{\left(\frac{12000}{N}\right)}\mu m$$

در فرمول فوق N بر حسب rpm اندازه‌گیری می‌شود. حداکثر فاصله پیک تا پیک به 50 میکرون می‌رسد که در سرعت رانش همزمان 3000 rpm رخ می دهد.

قبل از مقایسه مقادیر خوانده شده با حدود قابل قبول، باید خروج از محور (فضای عمل) مکانیکی والکتریکی چرخش کند را از آن کسر نمایید تا به اندازه حقیقی برسید.

برای ارزیابی لرزش جعبه دنده، محل نصب حسگرهای لرزش بر روی جعبه دنده مهم است. حسگرها بایستی در نقاطی روی جعبه دنده نصب شوند که انرژی لرزش به پایه‌ها منتقل می‌شود ( معمولاً روی پایه یا لبه ها نصب می گردد (شکل ۱۰- ۵)).

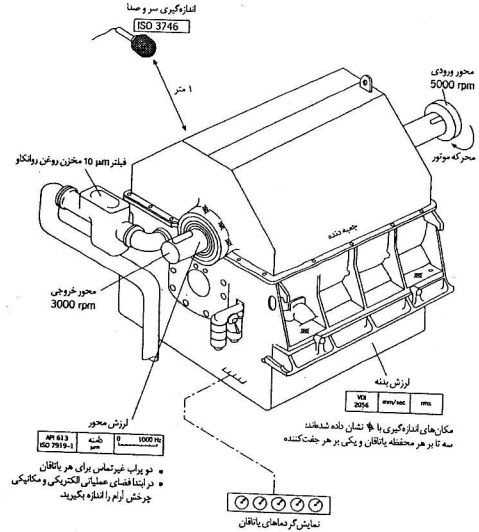
برای ارزیابی لرزش یاتاقان، حسگرهای لرزش محور غیر تماسی معمولاً بر روی محورهای عمودی یا افقی در محفظه‌های یاتاقان، نزدیک‌ترین محل ممکن یاتاقان ژورنالی قرار می‌گیرند. شکل ۱۰ - ۵ محل حسگر برای یک جعبه دنده تک کاهشی، تک حلزونی را نشان می‌دهد.

### مرحله ۴: فوق سرعت

آزمایش فوق سرعت روی اکثر جعبه دنده‌ها انجام می‌شود. این آزمایش برای بررسی استحکام و یکپارچگی قسمت‌های دوار و همچنین برای اطمینان از اینکه یک ناحیه سرعت بحرانی بسیار نزدیک سرعت اسمی پیوسته وجود نداشته باشد، انجام می‌گیرد. مثالی از میزان فوق سرعت، 120% سرعت اسمی می‌باشد. سرعت بایستی به تدریج از سرعت اسمی در مدت حداقل 15 دقیقه به همراه کنترل (پایش) فشار و دمای مقرر، افزایش یابد. سپس در حداکثر 120% سرعت اسمی برای مدت سه دقیقه نگه داشته می‌شود. لرزش در وضعیت فوق سرعتی اندازه‌گیری می‌شود (اگر چه همیشه مشخص نمی‌شود) اما از مقادیر خوانده شده انتظار می‌رود که حدود 40-50% بالاتر از سرعت اسمی باشند. هر مقدار بزرگ‌تری اهمیت دارد. لرزش محور نیز در طی کاهش سرعت در جهت تکمیل آزمایش راه اندازی ثبت می‌شود.

### مرحله ۵: سر و صدا

سرعت به تدریج تا سرعت اسمی جهت ایجاد شرایط انجام آزمایش‌های سر و صدا، کاهش می‌یابد. میزان سر و صدا یکی از موارد ضمانتی است و اغلب مطابق با الزامات ISO 3746 یا API 615 اندازه‌گیری می‌شود. اکثر ضمانت نامه‌ها به سادگی یک مقدار کلی را بر حسب دسی بل dB(A) مشخص می‌کنند. به دنبال یک میزان 97 dB (A) در فاصله 1m برای میانگین یک مجموعه اندازه گیری باشید (شکل ۱۰- ۵). به خاطر بیاورید که مقیاس dB خطی نبوده بلکه لگاریتمی است. گهگاه ضمانت نامه‌ها امکان دارد به مقادیری در




**شکل ۱۰-۵** آزمایش جعبه دنده: پایش

فرکانس‌های معین نیاز داشته باشند. در اینجا شما بایستی محدوده فرکانس را در فاصله بین دو فرکانس صوت (تقریباً 31Hz تا 16000Hz) اسکن کرده و نتایج را با مقادیر حداکثر مشخص شده مقایسه کنید. توزیع فرکانس انواع مختلف دنده‌ها با هم تفاوت زیادی دارند؛ از این رو توزیع فرکانس **اغلب به دقت برای** کاربردهای بسیار ویژه مشخص می‌شود.

### مرحله ۶: باز کردن

مرحله نهایی باز کردن است. بعضی سازنده‌ها این مرحله را انجام نمی‌دهند مگر آنکه درخواست شده باشد (API 613 آن را لازم دانسته است). باید دقت لازم را به عمل آورید که آزمایش باز کردن به دقت و کامل انجام شود. برای جعبه دنده‌ها تأکید بر روی مشاهده چشمی موقعیت قسمت‌های دوار است تا بررسی شکل



و مشخصه‌های طراحی داخل جعبه دنده.

اگر می‌خواهید بازرسی را به درستی انجام دهید، یک فهرست بررسی خوب مورد نیاز است. نگاه عجولانه و سرسری به داخل جعبه دنده و اعلام اینکه «همه چیز مرتب است» کافی نمی باشد. لازم است بدانید که مشکلات و عیوب ساخت رایج و متداول که بعداً می‌توانند منجر به شکست جعبه دنده شوند، توسط یک بازرسی عجولانه مشخص نمی‌گردد. بازرسی را کامل و اصولی انجام دهید.

از دانش فنی مهندسی خود استفاده کنید. مانند یک کاراگاه باشید. در این جا اساس یک چک لیست باز کردن جعبه دنده آورده شده است:

- **اولاً** انگشت خود را هنگام حرکت چرخ دنده‌ها از آنها دور نگه دارید.
- یکپارچگی و صحت هر یک از دندانه‌ها را بررسی کنید. در طی اولین دوران کامل، گوشه‌های بالایی(top corners) دندانه‌ها را بازرسی کنید. به دنبال پریدگی یا ترک‌های قابل مشاهده کوچک در نوک‌های دندانه باشید.
- دنده‌ها را برای بار دوم یک دوران کامل بدهید. در این مرتبه تنها زوایای ریشه در ته دندانه‌ها را بررسی کنید. به دقت به دنبال شیار و حفره به دلیل خطا در گام ظاهری باشید (به خصوص در چرخ دنده های دوبل). لازم به ذکر است که مشکلاتی که وجود دارند لزوماً در سرتاسر دنده قابل مشاهده نیستند. از فرصت خود استفاده کنید.
- محل تماس دندانه: با بازرسی چشمی محل اتصال دندانه ها امکان دارد به نتایج بسیار مفیدی برسید. بر روی یک سری دنده‌های نیتریده شده ماشینکاری شده خوب، زبری سطحی پس از ماشین کاری معمولاً 0.6μRa تا 0.8μRa خواهد بود، که پس از یک دوره کارکرد به کمتر از 0.4μRa کاهش می‌یابد. داشتن یک سنجه (گیج) مقایسه نیز همیشه مفید است. در طی یک آزمایش راه اندازی ۵ یا ۶ ساعته، بشرطی که دستگاه مکراراً قبلاً آزمایش نشده باشد شما باید متوجه شوید که سطح کمی براقی خود را از دست می دهد. با یک نور خوب علائم مرئی خوبی از الگوی محل تماس دندانه‌ها ارائه خواهد نمود. تشخیص هر گونه خراش دندانه‌ها مهم و ضروری می‌باشد. این موضوع می‌تواند بیانگر ضعف در روغن کاری باشد. خراش از روی نوارهای تیره بر روی سطح دندانه تشخیص داده می‌شوند. آنها اغلب موجی بوده و ظاهری ناپیوسته‌تر از ظاهر یک سطح تماس عادی دارند. به خصوص به دنبال خراشی باشید که در آنجا سرعت لغزشی بیشترین مقدار بوده است. اگر خراشی یافتید، به مناطق تحت تأثیر اطراف دنده نگاه کنید تا ببینید که آیا کاهش زیاد ضخامت لایه روغن سبب درگیری های جزئی(Mictoseizures) شده است یا خیر. این گیرهای جزئی توسط یک سطح بسیار کدر و نوار مانند مشخص می‌شود. همچنین ممکن است به صورت **لکه‌هایی دیده شود** و در هنگام لمس نیز زبر باشد. عمق این عیب معمولاً بسیار بیشتر از سایش معمول در حین چرخش است و اغلب با دیگر مشکلات روانکاری نیز همراه می باشد (معمولاً در یاتاقان‌ها).
- بازرسی یاتاقان‌ها: یاتاقان‌ها حساس‌ترین قسمت در یک واحد چرخ دنده به شمار می‌آیند و نیاز به بازرسی با جزییات در طی بازرسی باز کردن دارند. به محض آنکه نیمه بالایی جعبه دنده برداشته شود، از جا برداشتن پوسته‌های بالایی یاتاقان ژورنال و سپس وارونه کردن پوسته‌های پایینی با استفاده از یک ابزار خاص کار نسبتاً ساده‌ای است. امکان دارد دستیابی به لایی‌های یاتاقان تراست

مشکل‌تر باشد، چون اغلب در میان یک قفس یا حلقه هستند؛ اما انکار هم امر ساده‌ای در بحث تعمیر و نگهداری است.

لازم به ذکر است که چهار مشکل اساسی وجود دارد که شما بایستی به دنبال آنها باشید. در مقام مقایسه، این مشکلات مسئول تمامی خرابی‌های یاتاقان و اغلب یک پیش زمینه برای خسارات مهم بعدی به دندانه‌ها به حساب می آیند.

۱. *خراش سطحی*، می تواند روی سطح یاتاقان های ژورنال و تراست ایجاد شود. جستجوی این عیب را ابتدا بر روی سطوح فلز یاتاقان انجام دهید. لازم به ذکر است که خط افتادگی می‌تواند با بازرسی چشمی و همچنین با کشیدن ناخن در امتداد سطح در زاویه ۹۰ درجه با جهت چرخش ردیابی شود. خراش توسط آلودگی روغن روانکاری ایجاد می‌شود و در اکثر موارد آلودگی روغن به دلیل وجود گل جوش یا پلیسه که به خوبی از داخل جعبه دنده پاک نشده‌اند، می باشد. فیلتر روغن را بازرسی کنید. اندازه روزنه های فیلتر حداکثر باید ۱۰ میکرون باشد، اما در این زمینه اشتباه نکنید؛ تمیز بودن یک فیلتر به معنای آن نیست که قطعاً هیچ گونه آلودگی در یاتاقان‌ها وجود ندارد. اگر فلز یاتاقان خط بیفتد می توانند آنرا تعویض کنند. شما هیچگاه نبایستی یک یاتاقانی را که خراش دارد، قبول کنید. هر قدر هم که سازنده دلیل بیاورد قابل قبول نیست زیرا در حین کار نه تنها بهتر نمی‌شود بلکه بدتر هم خواهد شد.

۲. *مک دار شدن فلز یاتاقان*. امکان دارد مک‌های ریزی در سطح فلز یاتاقان بیابید. این نوع سوراخ ها اغلب روی لایی‌های (pad) یاتاقان تراست یافت می شوند تا پوسته‌های یاتاقان ژورنال. مک ها می‌توانند پراکنده و جدا از هم باشند یا مانند لانه زنبوری، سطح زیادی از فلز یاتاقان را پوشش دهند. اگر مک های سطحی، پراکنده و جدا از هم بودند و مشکلاتی از قبیل داغ شدن یا تغییر رنگ وجود نداشت، به طور حتم در ساخت یاتاقان مشکلی ایجاد شده است. آزمایش راه اندازی را با پوسته‌های جدید تکرار کنید.

۳. *سایش متقارن*. این نوع خراش را به یک کولیس اندازه‌گیری کنید و با ابعاد نقشه مقایسه نمایید. بررسی کنید که مانعی در مقابل حرکت شیبدار شدن لایی یاتاقان ها و جود نداشته باشد و از لایی های صحیح در جای خود استفاده شده باشد. سایش نامتقارن اغلب در یاتاقان های تراست رخ می دهند و در سایر قسمت های جعبه دنده به ندرت مشاهده می شوند.

۴. *داغ شدگی و تغییر رنگ*. با فرض آنکه یاتاقان ژورنال و یاتاقان‌های تراست به درستی اندازه شده باشند برای بارگذاری‌های طراحی آنها، داغ شدن یاتاقان نشان می دهد که ضخامت لایه روغن درست نیست. در یاتاقان تراست، این مسأله توسط تلورانس قطری تاثیر می پذیرد (نقشه و همچنین تنظیمات واشر را دوباره بررسی کنید)، ضمن اینکه ضخامت لایه روغن در یاتاقان تراست تابع سرعت لغزش و زاویه شیب می‌باشد. همچنین از بازرسی ویسکوزیته روغن روانکاری نیز مطمئن شوید. باید مشخصات فنی ذکر شده در ISO 3448 Vg را داشته باشد.



**عدم انطباق ها و اقدامات اصلاحی رایج : جعبه دنده‌ها**

| عدم انطباق (N.C) | اقدامات اصلاحی (C.A) |
|---|---|
| • لرزش زیاد بدنه یا محل‌های قرارگیری یاتاقان | در ابتدا جعبه دنده را باز کنید و موارد زیر را بررسی کنید:<br>ـ دندانه‌های شکسته<br>ـ پایه‌های سست<br>ـ ترک در جعبه دنده (این ترک‌ها سفتی را کاهش می‌دهند).<br>اگر هیچ دلیل روشنی نیافتید، آن قسمت دستگاه را باز کنید و تعادل دینامیک قسمت‌های چرخان را مجدداً بازرسی کنید و در همان زمان محاسبه سرعت بحرانی را نیز بازبینی کنید. شما می‌توانید آنالیز واکنش غیرمیرای بی‌باری طراح را بخواهید و ببینید.<br>به‌خاطر داشته باشید که لرزش بیش از حد را تحت هیچ شرایطی قبول نکنید. لرزش تنها بدتر خواهد شد. |
| • الگوی محل اتصال بی‌نظم دندانه (پس از آزمایش راه‌اندازی) | اگر بی‌نظمی یا ناپیوستگی در الگو، پس از ۵ ـ۴ ساعت عملیات وجود داشته باشد، یک مشکل جدی وجود دارد. طراحی چرخ دنده‌ها بصورتی است که آنان نیازی به دوره آبندی ندارند. کار زیادی وجود ندارد که معمولاً بتواند به‌صورت درجا انجام شود. راه حل صحیح، جاکردن واحد، اندازه‌گیری مقاطع دندانه و سپس بازرسی تنظیمات محورهای مرکزی است. |
| • یافتن دندانه‌های ترک‌خورده یا شکسته | شما بایستی چرخ‌دنده‌های شکسته‌شده را به‌صورت یک جفت بردارید و برای تعیین میزان عیوب کل سطح را NDT کنید. یک آزمایش کنار هم قراردادن تنظیمات شکسته‌شده نیز به تشخیص عیوب کمک خواهد کرد. برای واحدهای دنده جدید، دندانه‌های شکسته‌شده، نبایستی به‌صورت درجا تعمیر شوند. مراقب پیشنهادات رایج به تعمیر دندانه‌های شکسته‌شده باشید. تعویض بهترین گزینه است. |
| • بالارفتن مکرر دمای یاتاقان (°C 110 <) | جفت دنده را بدون آن‌که به دنبال دلایل دیگر خرابی (تنظیم و غیره) بگردید، تعویض نکنید. سپس مجدداً آزمایش نمایید.<br>بارگذاری‌ها و تعادل حرارتی جعبه دنده را بازرسی کنید. برای کاهش دمای یاتاقان افزایش جریان روغن، توسط تعویض سیستم لوله‌کشی روغن جعبه دنده یا اندازه‌های روزنه امکان‌پذیر است. اما مراقب اثر آن بر روی دیگر یاتاقان‌ها باشید. مجدداً آزمایش کنید، توجه خاصی به توزیع دمای جدید داشته باشید. |
| • جابه‌جایی زیاد لرزش محور (ناشی از پراب غیرتماسی محور) | در ابتدا با استفاده از همان پراب، مجدداً میزان انحراف چرخش کند را بازرسی کنید. این مقدار بایستی کمتر از ۲۵٪ حداکثر جابه‌جایی یک تا پیک مجاز، یا ۶ میکرون (هر کدام که کم‌تر است) باشد. چگونگی نصب مبدل‌ها را بازرسی کنید. بهترین محل در سوراخ‌های شیردار در محفظه یاتاقان است، اگر نه، بر روی تکیه‌گاه نصب خواهند شد. آزمایش را دوباره انجام دهید، این مرتبه از یک وسیله جداگانه جهت دیدن این‌که تکیه‌گاه می‌لرزند و عدد نادرست می‌دهند یا نه، استفاده کنید. سطح محور زیر حسگر را بازرسی کنید. اگر زبری بیش‌تر از Ra 0.4 µm باشد، ممکن است باعث خطا در اندازه‌گیری شود. در نهایت بازرسی کنید که لرزشی که از محاور ماشین‌ها بیاید، وجود نداشته باشد. سپس آزمایش را تکرار کنید.<br>هنوز قابل قبول نیست؟ یک آزمایش باز و بسته کردن انجام دهید. |

## کوپلینگ‌ها (Couplings)

محور دوار و کوپلینگ که نیرو محرکه را به جعبه دنده انتقال می‌دهند قسمت‌های کلیدی مجموعه چرخ دنده به حساب می‌آیند. بازرسی و آزمایش این موارد اغلب نادیده گرفته می‌شود، اما برای تضمین عملکرد بدون مشکل جعبه دنده در آینده، بسیار مهم هستند.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور

دو معیار FFP اصلی برای محورهای نیرو محرکه و کوپلینگ‌ها وجود دارد:

- یکپارچگی مکانیکی اجزاء و قطعات بایستی مانند یکپارچگی اجزاء دوار جعبه دنده باشند.
- طراحی و نصب بایستی چنان باشد که هیچ نیروی مضری بر جعبه دنده به دلیل انحراف موازی، نامیزانی زاویه‌ای یا جابجایی محوری اعمال نکند. این مسأله به خصوص برای کوپلینگ‌های سرعت بالا اهمیت پیدا می کند. (بالای 5000rpm). این‌ها بایستی اثر خنثی‌ای بر روی بارگذاری‌های دندانه جعبه دنده در سرعت های بالای سرعت کامل کاری و محدوده دمایی باشد. ساده‌ترین محورها یا کوپلینگ‌ها نوع صلب آنها هستند؛ یک محور سخت و محکم به محرک و جعبه دنده توسط فلنج‌های جفت شده متصل می‌شود. انواعی که بیشتر مورد توجه ما هستند نوع با دیافراگم انعطاف پذیر یا انواع کوپلینگ با انتهای معلق مقید می‌باشند. موارد مذکور در توربین گازی و محرکه‌های جعبه دنده دیزلی با سرعت بالا رایج هستند. آنها در جهات محوری و شعاعی انعطاف پذیر بوده و نیاز به نصب و تطبیق طراحی دقیق دارند. ضمانت‌های پذیرش برای کوپلینگ‌های انعطاف پذیر سرعت بالا بایستی فرم زیر را اتخاذ کنند:

| | |
|---|---|
| استاندارد طراحی | به عنوان مثال API 671 گشتاور نامی بیان شده بر حسب Nm (نیوتن متر) |
| توانایی و قابلیت فوق سرعت | نوعاً 110 درصد (امکان دارد برای محرکه های توربین بیشتر باشد) |
| ابعاد محوری* | طول بی باری بین وجوه فلنج، ساکن، دردمای اتاق |
| درجه متعادل سازی | به API 671 رجوع شود |
| سفتی محوری* | نوعاً 2-4 kN/m در سرعت عملیاتی و محدوده دمایی |
| ویژگی جانبی * | توانایی تحمل یک میزان مشخص غیر هم محوری جانبی بر متر طول |

خواهید دید که برخی مشخصه‌های قراردادی شامل تمامی این پارامترهای ضمانتی نیستند. به طور عادی، سه ماده‌ای که توسط ستاره در فرم قبل مشخص شده‌اند، امکان دارد در مشخصه‌های استفاده کننده یا پیمانکار نیایند. بایستی دریابید که به هر حال آنها در مشخصات فنی سازنده اصلی محرک یا جعبه دنده آورده می شوند تا سازنده کوپلینگ.

هوشیار باشید که آنها موارد مهمی هستند و در هر صورت برای بررسی آنها آمادگی داشته باشید.

## مشخصات فنی و استانداردها

استاندارد اصلی کوپلینگ که با آن برخورد خواهید داشت API 671 است (کوپلینگ‌های با خصوصیات ویژه برای پالایشگاه‌ها). این استاندارد راهنمای محرکه‌های توربین گازی سرعت بالا است و مثل API 613



شامل کاربردهایی در دستگاه‌های مولد نیرو، مصارف صنعتی دریایی و کلی می باشد. همچنین پوشش طراحی، ساخت و آزمایش کلی و مناسبی فراهم می‌آورد.

بایستی توجه داشته باشید که اطلاعات بالانس سازی موجود در API 671 بسیار مفید هستند. این اطلاعات در استاندارد API 671 به روشنی توضیح داده شده‌اند و از لحاظ فهم ساده می باشند. همچنین جزییات مهندسی خوبی در مورد تلورانس‌ها، جاگذاری‌ها (fit up) و تنظیمات نصب در آن وجود دارد. از ضمیمه A استاندارد به عنوان یک چک لیست کلی اطلاعات فنی مربوط به طراحی کوپلینگ استفاده کنید.

AGMA 510 قطر داخلی سوراخ‌ها و شیارها در کوپلینگ‌ها را پوشش می‌دهد. این استاندارد بیشتر یک استاندارد طراحی است اما شامل برخی اطلاعات تایید صلاحیت مفید نیز می‌باشد. (مفهومی که در فصل ۲ معرفی شد) بیشترین روش بررسی و محدودیت‌های بالانس سازی مورد استفاده، در API 671 گنجانده شده است. همچنین امکان دارد که با ISO 5406، بالانس سازی مکانیکی روتورهای انعطاف پذیر (معادل BS 5265 قسمت دوم) نیز برخورد کنید. دقت کنید، ISO 1940/1 (BS 6861 – قسمت I) که مربوط به روتورهای صلب و انعطاف ناپذیر است، معمولاً استفاده نمی‌شود.

طرح‌های بازرسی و آزمون (ITPs) برای محورها و کوپلینگ‌ها، به صورت گسترده‌ای مضامین مورد استفاده برای جعبه دنده‌ها را دنبال می‌کنند که در مطالب گذشته این فصل معرفی شده‌اند. به خاطر بسپارید که قابلیت ردیابی مواد و الزامات NDT به یک اندازه مهم هستند.

## روش‌ها و دستورالعمل های آزمایش

به صورت ایده‌آل، تمام جعبه دنده‌ها آزمایش راه اندازی را هنگامی که به کوپلینگ یا محور سفارشی شان جفت شوند تحمل می‌کنند. این یک "string test" نامیده می‌شود و بهترین راه جهت ارزیابی مشخصات لرزشی کلی هنگام نصب در محل می‌باشد. در عمل این امر اغلب اتفاق نمی‌افتد ولی مواردی وجود دارد که یک مبدل دور کند نصب می شود تا اجازه دهد محور و کوپلینگ با هم آزمایش شوند. در این موارد احتمالاً شاهد آزمایش های جداگانه محور یا کوپلینگ خواهید بود. در این موارد دو جنبه جداگانه باید بررسی شوند که عبارتند از:

## بازرسی طراحی

در مقایسه با بیشتر تجهیزاتی که امکان دارد تحت بازرسی قرار گیرند، محورها و کوپلینگ‌ها اجزاء نسبتاً ساده‌ای هستند. آنها تعدادی اصول مهم اما تعریف پذیر انتخاب مواد استاتیک و دینامیک را ترکیب و یکی می‌کنند. اگر می‌خواهید بازرسی مفید و مؤثر باشید، از افزایش اطلاعات و علم طراحی خود بسیار سود خواهید برد.

به نکات مهم برای بازرسی طراحی پایه توجه نمایند (مراجعه شود به شکل ۱۰-۶)

- طول‌های بدون بار را بازرسی کنید. سازنده کوپلینگ یا یک نقشه نصب دارد که فاصله موجود بین فلنج خروجی محور اصلی و فلنج ورودی جعبه دنده را نشان می دهد یا یک طول کوپلینگ بدون بار سرد (دمای اتاق) که به روشنی مشخص شده. نقشه یا تلورانس این اندازه‌ها را بررسی کنید. سپس اندازه واقعی کوپلینگ را که معمولاً اندکی کوتاه‌تر از طول بین فلنج‌های موجود می‌باشد

برای اجازه دادن پیش کشش سرد به منظور یکی شدن بررسی کنید. در مورد موارد زیر دقیق باشید:

۱ـ از یک کولیس ورنیه دار بزرگ استفاده کنید – یک خط کش نمی‌تواند به حد کافی دقیق باشد.

۲ـ جهت بررسی موازی بودن فلنج‌ها، طول را در سه منطقه دور فلنج اندازه بگیرید.

۳ـ هنگام اندازه‌گیری‌ها، کوپلینگ را به درستی بر روی تکیه‌گاه‌های چوبی جهت جلوگیری از بروز هرگونه خطایی به دلیل تابیدگی کوپلینگ‌های طویل (<1m)، نصب و محکم کنید.

- انبساط حرارتی را تخمین بزنید. از دمای کاری مشخص کوپلینگ (T) استفاده کنید، شما می‌توانید انبساط حرارتی را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کنید:

$$\delta L = L\alpha(T - T_{ambient})$$

که در آن $\alpha$ ضریب انبساط حرارتی است.

- کشش محوری کوپلینگ را تخمین بزنید. این کار را هنگامی انجام دهید که به وضعیت پیش کشش سرد کشیده شده است. سازنده بایستی یک مشخصه طراحی بار- افزایش طول جهت دادن توانایی به شما برای انجام این امر داشته باشد. شما نمی‌توانید این مقدار را خودتان به صورت دقیق محاسبه کنید مگر آنکه با مشخصات و ویژگی‌های فنر- صفحه (plate-spring) ( حتی با وجود آن هم باز مشکل خواهد بود) بسیار آشنا باشید. اطمینان حاصل نمایید که این کشش پیش کشش در محدوده استحکام جعبه دنده و محرک اصلی یاتاقان های تراست می‌باشد. به دنبال یک فاکتور ایمنی حداقل در حدود سه، در این مرحله باشید زیرا به محض آنکه کوپلینگ شروع به چرخیدن کند، اثرات دینامیک آنرا کاهش خواهد داد (به شکل ۱۰-۶ مجدداً مراجعه شود)
- به فرکانس ذاتی محوری (ANF: Axial Neturel Frequency) کوپلینگ پی ببرید. سازنده بایستی اطلاعاتی را که نشان دهد این فرکانس چگونه با جابجایی محوری تغییر می‌کند، در دست داشته باشد. بررسی کنید که ANF بزرگتر از 210% سرعت کامل باشد. بررسی این معیار باعث می شود که محدوده کافی جهت جلوگیری از تشدید فرکانس‌ها در عمل وجود داشته باشد.

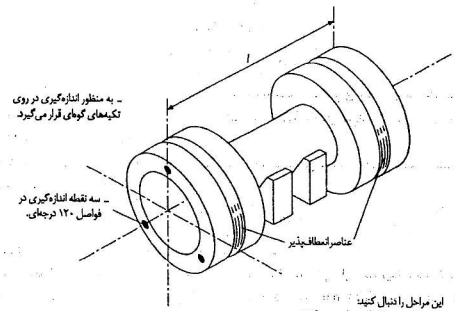
این معیارهای اصلی بازرسی طراحی را در گزارش بازرسی خود ثبت کنید. در ابتدا بگویید چه کاری انجام داده‌اید، سپس توضیح دهید که چه چیزهایی را متوجه شده‌اید. این مسأله باعث کمک به کارفرمای شما می‌شود.

## بالانس

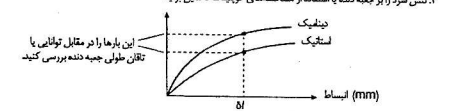
کوپلینگ‌ها دارای اندازه‌گیری خروج از محور و الزامات بالانس سازی خاص خود هستند. موارد زیر عملیات فنی دقیقی هستند که بایستی به ترتیبی صحیح انجام شوند.

- *اندازه‌گیری خروج از محور.* اندازه‌گیری خروج از محور کلی (TIR) کافی نیست. روش درست آن است که ابتدا بیضی بودن اندازه‌گیری شود. فاصله محاسبه شده بین مرکز چرخش و مرکز هندسی کوپلینگ بایستی در حدود 1 میکرون بر 25mm قطر باشد. این یک تلورانس محدود است. تا وقتی که درستی این فاصله مستقیم مشاهده نشده است، نتایج آزمایش بالانس سازی را قبول نکنید.

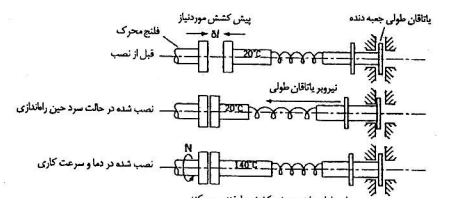





این مراحل را دنبال کنید:
۱. طول بدون بارگذاری را بررسی کنید.
۲. انبساط حرارتی را محاسبه کنید. $\delta l = l \propto \delta t$
۳. تنش سرد را بر جعبه دنده یا استفاده از مشخصه‌های کوپلینگ تخمین بزنید




**سه حالت کوپلینگ را به‌خاطر بسپارید.**




**شکل ۱۰ـ۶ کوپلینگ‌های با سرعت بالا ـ یک بررسی ساده طراحی**

- *تکنیک بالانس سازی.* بدون هیچ بحثی، API 671 مستلزم آن است که تمامی اجزاء یک کوپلینگ به صورت جداگانه قبل از مونتاژ بالانس شوند.

مراحل زیر را جهت اطمینان از انطباق با استاندارد دنبال کنید:

ـ هر جزء منفرد را تا حداکثر عدم توازن U متعادل کنید:

$$U(gmm) = \frac{6350W(kg)}{N(rpm)}$$

که در آن W وزن جزء می باشد. به خاطر داشته باشید که برای یک کوپلینگ سرعت بالا (>5000rpm) شما بایستی یک بررسی مضاعف با استفاده از وزنه‌های تعادلی آزمایشی انجام دهید (API 671 ضمیمه F را ببینید)

ـ کوپلینگ را مونتاژ کنید (با علائم تطبیق match-marks) سپس عدم بالانس مونتاژ شده را برای حداکثر مجاز زیر بررسی کنید:

$$U(gmm) = \frac{63500W(kg)}{N(rpm)}$$

توجه کنید که این ده برابر تعادل مجاز یک جزء مستقل است.

ـ اگر عدم تعادل باقی‌مانده بیش از این مقدار باشد، کوپلینگ بایستی باز شده (پیاده شود) و تک تک اجزاء مجدداً بالانس شوند. بالانس کردن با تراشیدن و اصلاح(Trim balance) کوپلینگ مونتاژ شده قابل قبول نیست.



**عدم انطباق ها و اقدامات اصلاحی رایج : کوپلینگ ها**

| عدم انطباق (NCR) | اقدامات اصلاحی (C.A) |
|---|---|
| • کوپلینگ بسیار بلند است | این مسئله اغلب می تواند پس از باز نمودن کوپلینگ توسط ماشین کاری فلنج انتهایی هر طرف شود. بیش از 1-2 mm از ضخامت را ماشین کاری نکنید (یا ۱۰٪ ضخامت فلنج)، یا اینکه فلنج ضعیف خواهد شد. توجه کنید که کوپلینگ دوباره مونتاژ شده بایستی مجدداً بالانس شود. اطمینان حاصل کنید که نقشه طرح شده اصلاح شود. |
| • کوپلینگ بسیار کوتاه است | آن را رد نمایید. این کوپلینگ بایستی مجدداً ساخته شود. کوپلینگ هایی که بسیار کوتاه هستند باعث کشش محوری زیادی هنگام بسته شدن به طول پیش کشش می گردند. سازنده امکان دارد استدلال کند که محرک یا جعبه دنده، جهت پذیرش کوپلینگی کوچکتر از حد معمول، می تواند تغییر موقعیت یابد. این مسئله را قبول نکنید مگر آنکه توسط پیمان کار تایید شده باشد. |
| • نیروهای خارج از تعادل شدید | کوپلینگ بایستی مطابق محدودیت های مشخصات فنی، مجدداً به خوبی بالانس شود. مطرح نمودن یک امتیاز عاقلانه نیست. یک کوپلینگ با محور خارج از تعادل می تواند سبب خرابی (شکست) جعبه دنده گردد. |

## خلاصه نکات کلیدی: انتقال توان

**جعبه دنده‌ها**

۱. علی رغم اینکه جعبه دنده ها موضوع پیچیده ای می باشند ولی بازرس‌ها تنها به فهمی کلی از طراحی نیاز دارند.

۲. اطمینان حاصل کنید که حتماً آزمایش‌های یکپارچگی مکانیکی، لرزش و سر و صدا را کاملاً فهمیده‌اید.

۳. API 613 یک استاندارد جعبه دنده گسترده و خوب است که برای جزییات به مجموعه AGMA استانداردهای طراحی دنده ارجاع می دهد.

۴. یک روش صحیح برای بازرسی‌های محل تماس دندانه وجود دارد.

۵. پنج مرحله بسیار واضح و تعریف شده برای آزمایش‌های راه اندازی بدون بار وجود دارد.

۶. یک بازرسی ساختار یافته را برای آزمایش بار کردن انجام دهید. داشتن یک دستورالعمل برای انجام کار به شما جهت ثبت مشاهداتی که مفید هستند کمک می‌کند.

۷. لرزش تقریباً همیشه در حین کار بدتر می‌شود نه بهتر.

**محورها و کوپلینگ‌ها**

۸. یک بازرس می‌تواند بررسی طراحی پایه‌ای انجام دهد. این یک بازرسی مفید و مؤثر است.

۹. برای رد نمودن کوپلینگ‌هایی که بسیار کوتاه یا خارج از بالانس هستند تأمل نکنید.



## فهرست مراجع


1. API 613: Special purpose gear units for refinery services. American petroleum Institute.
2. ISO 1328: 1975. *Parallel involute gears – ISO system of accuracy*. This is a related standard to BS 436 Parts 1 to 3, *Spur and helical gears*.
3. BS 1807: 1988. Specification for marine main propulsion gears and similar drives: metric module.
4. VDI 2056 Criteria for assessing mechanical vibration of machines. Verin Deutscher Ingenieure.
5. BS 4675 Part 1: 1986. Basis for specifying evaluation standards for rotating machines with operating speeds from 10 to 200 revolutions per second.
6. BS 7676 Part 1: 1993. Determination of airborne sound power levels emitted by gear units.
7. BS 7676 Part 2: 1993. Determination of mechanical vibrations of gear units during acceptance testing.
8. BS 6749 Part 1: measurement and evaluation of vibration on rotating shafts – guide to general principles.
9. ISO 3746: equivalent to BS 4196 Part 6: 1986. Survey method for determination of sound power levels of noise sources.
10. API 615: 1987. Sound control of mechanical equipment for refinery services. American Petroleum Institute.
11. API 671: 1990. Special purpose couplings for refinery service.

فصل ۱۱

# سیستم‌های سیّال

## پمپ‌های گریز از مرکز (Centrifugal pump)

تجربه نشان داده است که در مدار جریان سیال، پمپ‌ها بیشتر از سایر اجزا دچار خرابی می‌شوند و مشکلات زیادی را ایجاد می‌کنند. بنابراین برای انجام یک بازرسی خوب، باید به آزمایش‌ها و بازرسی‌های پمپ‌ها توجه ویژه‌ای داشت. چندین هزار نوع پمپ وجود دارد که برای ظرفیت‌های حجمی و ارتفاع تحویل (delivery head) مختلف طراحی شده‌اند. همچنین برای به کارگیری سیال‌های خاص، طراحی‌های ویژه‌ای وجود دارد. رایج‌ترین نوع پمپ‌ها که حدوداً در 80 درصد کاربردهای انتقال سیال به کار می‌روند، پمپ‌های گریز از مرکز هستند. بنابراین به این نوع پمپ‌ها می‌پردازیم.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور (FFP)

FFP برای پمپ‌ها براساس مقدار توانایی انتقال سیال تعیین می‌شود. متغیرهای اجرایی پمپ‌ها بسیار زیاد است؛ که برخی از آنها پیچیده بوده و ممکن است غیر قابل اندازه‌گیری باشند. برای اهداف بازرسی، فقط پارامترهایی اشاره شده در تضمین های پذیرش، مورد نظر هستند.

### دبی (volume flowrate) (q)

دبی یک پمپ اولین پارامتری است که توسط طراح مشخص شده و بر طبق آن سایر الزامات کارایی مطلوب پمپ تعیین می‌شود. دبی معمولاً به صورت حجمی بیان شده و با q نشان داده می‌شود. واحد آن $m^3/sec$ است.

### ارتفاع (head) (H)

بعد از مشخص شدن دبی، طراح ارتفاع لازم در دبی مشخص شده را تعیین می‌کند. ارتفاع با متر بیان شده و نشان دهنده کار مکانیکی مفیدی است که پمپ به سیال منتقل می‌کند. q و H با همدیگر نقطه کار (duty point) که اساس FFP است را مشخص می‌کنند.

### ارتفاع خالص مکش مثبت (Net positive suction head) (NPSH)

درک NPSH کمی مشکل است. از آن برای اندازه‌گیری توانایی پمپ در مقابله با کاویتاسیون (حباب‌زایی) در ناحیه ورودی (مکش) استفاده می‌شود. چرا که برای مقابله با کاویتاسیون، فشار اضافی بالاتر از فشار

بخار سیال در ناحیه ورودی اعمال می‌شود. در ضمانت نامه معمولاً یک NPSH ماکزیمم ذکر می‌گردد که واحد آن متر است.

## دیگر معیارهای FFP

- بازدهی پمپ (درصد η) که کار مکانیکی منتقل شده به سیال توسط پمپ است.
- توان (P) به وات که همان توانی است که توسط پمپ مصرف می‌شود.
- سر و صدا و ارتعاش

معمولاً معیارهای FFP بالا نیز در مقادیر ضمانت شده پمپ لحاظ می گردد. هدف از آزمایش کارایی، نشان دادن تطابق با ضمانت‌نامه است.

## اطلاعات فنی پایه‌ای

بسیاری از پمپها در طبقه‌بندی‌های عمومی پمپ‌های گریز از مرکز قرار می گیرند. مانند پمپ‌های شعاعی، جریان مخلوط و محوری که می‌توان با روش‌های مشابه آزمایش شوند. در بسیاری از مشخصات فنی مشاهده می‌شود که از ساختار مشابهی برای ضمانت‌نامه، انواع مختلف با طبقه‌بندی‌های وسیع پمپها استفاده می‌شود. در مرحله اول باید منحنی‌های نشان دهنده عملکرد پمپها را شناخت. اینها معمولاً با عنوان مشخصات یا منحنی‌های ساده شناخته می‌شوند و نمونه‌ای از آن در شکل ۱۱-۱ نشان داده شده است.

## منحنی q/H

اغلب مشخصات طراحی‌های پمپ‌های گریز از مرکز همانند شکل ۱۱-۱ است. آزمایش معمولاً در سرعت ثابت و با کاهش ارتفاع (H) و با افزایش دبی (q) انجام شده و یک منحنی با شیب منفی حاصل می‌شود. به چگونگی تعیین نقطه کار و توان مورد نیاز پمپ و تغییرات بازدهی با تغییرات دبی توجه شود.

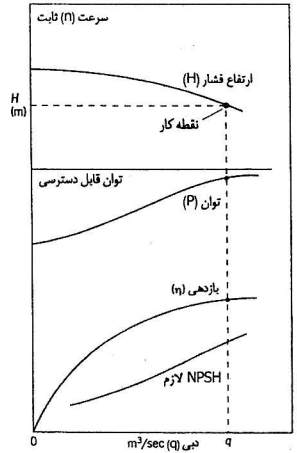
## منحنی NPSH (لازم)

برای توضیح کامل NPSH نیاز به دو محور متفاوت است و همین باعث می‌شود که درک آن مشکل شود. پایین‌ترین منحنی در شکل ۱۱-۱ نشان می‌دهد که NPSH لازم برای نگهداری ارتفاع کامل، با افزایش دبی افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که این منحنی مستقیماً از آزمایش q/H به دست نمی‌آید؛ بلکه از به هم پیوستن سه یا چهار نقطه حاصل از آزمایش NPSH مجزا رسم می‌شود. این آزمایش معمولاً پس از آزمایش q/H انجام می‌شود. در آزمایش NPSH باید به دنبال این بود که پمپ در NPSH برابر یا کمتر از مقدار مشخص شده در ضمانت‌نامه بتواند در ارتفاع کامل کار کند.

## فهرست ضمانت‌نامه پذیرش نمونه

ضمانت‌نامه پمپ خیلی دقیق ارائه می‌شود و معمولاً به شکل زیر است (مقادیر ارائه شده برای پمپ آب گریز از مرکز بوده و می‌تواند ایده خوبی برای مقادیر دهد).






**شکل ۱۱-۱** یک مجموعه از ویژگی‌های پمپ گریز از مرکز

باید به نکات زیر توجه داشت:

- تغییرات مجاز برای ارتفاع $\pm 1.5(H)$ درصد و برای دبی (q) $\pm 2$ درصد است (البته این مقادیر بسته به خواست طراح می‌تواند کمتر یا بیشتر باشد). ولی برای NPSH این مقدار 0+ است.
- استاندارد آزمایش پذیرش مانند ISO 3555 مهم است و شرایط آزمایش و دامنه تغییرات اندازه‌گیری که هنگام ترسیم منحنی لحاظ می‌شوند را شرح می‌دهند.

| | |
|---|---|
| سرعت نامی (n) با هم نقطه کار را تعریف می کنند. | 740 rpm |
| دبی نامی | $m^3$/second 0.9 |
| ارتفاع نامی کل (H) | 60 m } با هم نقطه کار را تعریف می‌کنند. |
| بازدهی نامی | 80 درصد در نقطه کار |
| توان دریافتی | 660 kW در نقطه کار |
| NPSH | ماکزیمم 6 m در چشمه پروانه برای 3 درصد افت ارتفاع فشار کل |
| ارتعاش | نباید بیش از 2.8 mm/sec rms در نقطه کاری باشد. |
| صدا | ماکزیمم مقدار مجاز 90 dB(A) در نقطه کار (در محل اندازه‌گیری مورد توافق) |

در ادامه چگونگی بررسی اینکه آیا پمپ مطابق با الزامات است یا نه بیان خواهد شد.

## مشخصات فنی و استانداردها

خوشبختانه در استانداردها به خوبی آزمایش‌های عملکرد انواع پمپ‌های شعاعی، جریان مخلوط و محوری پوشش داده شده است. این استانداردها فقط مخصوص پمپ‌ها هستند. پمپ‌ها به ندرت در محل تاسیسات فراوری شیمیایی که به کار می‌روند، آزمایش می‌شوند؛ بلکه معمولاً قبل از نصب در محل کاربرد در روی میز کار مخصوص تست، بر روی آنها آزمایش عملکردی انجام می‌شود.

استانداردهای اصلی در زیر آمده‌اند.

ISO 2548 (معادل BS 5316 بخش 1) برای سطح دقت کلاس C. این استاندارد برای کمترین سطح دقت بوده و دارای بیشترین دامنه تغییرات اندازه‌گیری مجاز هنگام رسم منحنی‌های آزمایش است. همچنین بیشترین مقدار تغییرات مجاز برای q و H را دارد.

ISO 3555 (معادل BS 5316 بخش 2) برای سطح دقت کلاس B. دارای دامنه تغییرات مجاز کمتر از کلاس C است.

ISO 5198 (معادل BS 5316 بخش 3) برای سطح دقت کلاس A. دارای دقیق‌ترین و سخت‌گیرانه‌ترین آزمایش‌ها و کمترین دامنه تغییرات مجاز است.

DIN 1944 با عنوان "آزمایش‌های لازم جهت پذیرش پمپ‌های گریز از مرکز". دارای ساختار مشابه با BS 5316 است و سه کلاس دقت دارد که به صورت کلاس‌های I، II و III مشخص می‌شود.

API 610 با عنوان پمپ‌های گریز از مرکز برای پالایشگاه‌ها است و استانداردی بر پایه طرح‌های عمومی تر می‌باشد.

ISO 1940/1 (معادل BS 6861 بخش1) که معمولاً برای تعیین مقادیر بالانس (balance) دینامیکی برای پروانه (Impeller) پمپ استفاده می‌شود.

VDI 2056 که عموماً برای تعیین ارتعاش پوسته یاتاقان (bearing housing) یا بدنه پمپ (pump casing) استفاده می‌شود. در استاندارد ISO 7919-1 (مشابه با BS 6749 بخش1) روش‌های بسیار پیچیده‌ای که ارتعاش بدنه را اندازه‌گیری می‌کنند، آمده است.

DIN 1952 و VDI 2040 استانداردهایی از رده خارج هستند ولی هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برخی مواقع ممکن است استاندارد آزمایش ذکر نشود که این امر صحیح نیست. ولی در این مواقع توصیه می‌شود موارد زیر رعایت شود:

- از استاندارد ISO3555 استفاده شود، البته به‌شرطی‌که مغایرتی با سایر مدارک تشخیص داده نشود.
- در صورتی که به دقت بالای آزمایش نیاز باشد، مثلاً در ضمانت‌نامه پمپ منحنی q/H حدوداً صاف مشخص شده باشد، می‌توان از استاندارد DIN 1944 (class I) استفاده کرد.
- اگر NPSH پمپ بحرانی باشد و یا NPSH قابل دستیابی از سیستم به هر دلیلی غیر مطمئن باشد (که این امر توسط طراح سیستم بررسی می‌شود)، یا یک پمپ آزمایشی باشد، بهتر است از استاندارد ISO 5198 استفاده شود. در این استاندارد آزمایش NPSH به صورت کاملا جامع آمده است و دامنه تغییرات اندازه‌گیری مجاز آن به صورت مشخص و به مقدار 3± درصد NPSH یا 0.15 ± متر بیان شده است.



استانداردهای دیگری نیز وجود دارند که ممکن است مشاهده شوند، ولی خوشبختانه به ندرت از آنها استفاده می‌شود.

## طرح بازرسی و آزمایش (ITP)

ITP برای مراحل ساخت پمپ باید بررسی شده و حداقل موارد زیر را داشته باشد:

### بدنه پمپ

- گواهی‌های آزمایش ماده (مطابق با EN 10 204 type 2.2)،
- گزارش‌های شناسایی مواد،
- نتایج NDT،
- گزارش عیوب ریخته‌گری، MPI و تعمیرها و
- آزمایش هیدرواستاتیک (معمولاً در حداکثر دو برابر فشار کاری).

### محور (shaft) وپروانه پمپ

- گواهی‌های آزمایش ماده (مطابق با EN 10 204 type 3.1B)،
- تاییدیه عملیات حرارتی،
- NDT و
- گواهی بالانس دینامیکی (معمولاً مطابق با ISO 1940 grade G6.3).

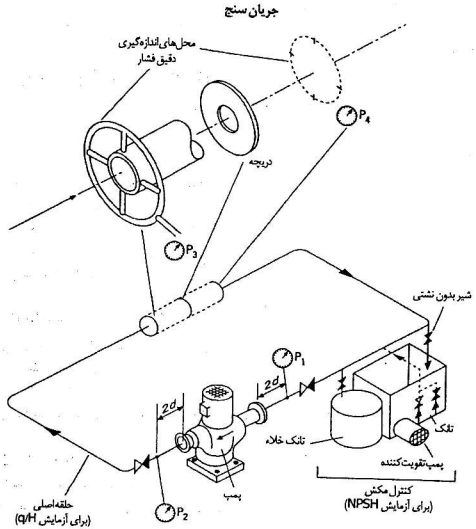
### پمپ مونتاژ شده

- برگه اطلاعات فنی کامل شده،
- نتایج و گزارش آزمایش‌های پذیرش ضمانت‌نامه،
- گزارش و گواهی رنگ‌زنی و
- مرور مستندات قبل از بارگیری.

البته ممکن است بعضی از سازنده‌ها اطلاعاتی بیش از این الزامات حداقل ارائه کنند.

## رویه‌ها و دستورالعمل‌های آزمایش

آزمایش پذیرش پمپ در یک مدار آزمایش که به این منظور ساخته شده، در محل کارخانه تولیدی انجام می‌پذیرد. عملاً ممکن است ساختار مدار آزمایش به صورت کامل قابل مشاهده نباشد. چرا که بخشی از آن ممکن است در زیر اجزای دیگر قرار گرفته باشد. خوشبختانه اغلب مدارهای آزمایش مربوطه، ساختار مشابهی دارند. شکل ۱۱-۲ چگونگی آن را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که دو بخش کاری متفاوت وجود دارد. مدار آزمایش برای آزمایش q/H و حلقه کنترل مکش کمکی که جهت آزمایش NPSH اضافه شده است. مدار باید دارای تجهیزات و توالی مناسب جهت رسیدن به اطلاعات عملکردی باشد. اکثر سازنده‌های پمپ دارای سیستم کامپیوتری کامل جهت ثبت و پردازش اطلاعات و نمایش نتایج هستند.




**شکل ۱۱ـ۲** مدار آزمایش پمپ

قبل از شروع آزمایش لازم است تا یک سری بررسی‌ها بر روی مدار صورت گیرد. این امر برای تعیین دقت نتایج آزمایش هم مفید است. برخی بررسی‌های مدار عبارتند از:

- معمولاً برای راه‌اندازی پمپ از یک موتور کارگاهی سازنده ( نه موتور قرارداد) استفاده می‌شود. لذا ابتدا باید از صحت مقادیر توان موتور اطمینان حاصل کرد.
- نحوه قرارگیری لوله‌ها در هر دو سمت ابزار اندازه‌گیری دبی باید بررسی شود. در آنها باید جریان مستقیم برقرار باشد تا از دقت آزمایش کاسته نشود.در این زمینه می‌توان در صورت تطابق از استاندارد ISO 5167 بهره برد.
- نحوه نصب مکش (suction) و تخلیه (discharge) در هر دو سمت پمپ باید بررسی شود. محل



اتصال ابزار اندازه‌گیری فشار باید حداقل به اندازه دو برابر قطر لوله از پمپ فاصله داشته باشد. در غیر این صورت فشار اندازه‌گیری شده غیر دقیق خواهد بود.

- صاف کننده‌های جریان (flow straighteners) باید قبل از پمپ نصب شده باشند. آنها معمولاً برای ایجاد ویژگی‌های مورد نیاز جریان داخلی اضافه می‌شوند ولی باید توجه داشت که ممکن است باعث کاهش فشار و تغییر نتایج شوند.
- باید از سازنده برای هر نوع تغییرات سطح ارتفاع (عمودی) در طول مدار توضیح بخواهید. این تغییرات مخصوصاً مرتبط با آزمایش NPSH هستند.
- باید از کافی بودن حجم سیال در مدار مطمئن بود تا از افزایش دما حین آزمایش q/H ممانعت شود. در صورتی که توان دریافتی پمپ نسبت به حجم آن بالا باشد، ممکن است سرد کردن اضافه لازم باشد.
- گزارش‌ها کالیبراسیون تمام تجهیزات اندازه‌گیری و نمایش دهنده نتایج باید بررسی شود. این امر به خصوص برای ترانس دیوسرها (transducer) اهمیت دارد.
- سازنده پمپ ممکن است فاکتورهایی برای محاسبات خود داشته باشد که پایه تجربی دارند. فاکتورهای اصلاحی چگالی سیال و اصلاحات سطح رایج‌ترین آنها است. آنها باید بررسی شوند.

این بررسی‌ها چند دقیقه بیشتر طول نمی‌کشند، ولی یک بخش ضروری در آزمایش به شمار می‌روند و مشاهدات باید به دقت ثبت شوند. آزمایش پمپ معمولاً با یک روال کاملاً مشخص صورت می‌گیرد؛ البته استثناتاتی نیز وجود دارد. مراحل زیر به ترتیب و بلافاصله انجام می‌شوند:

## مرحله ۱

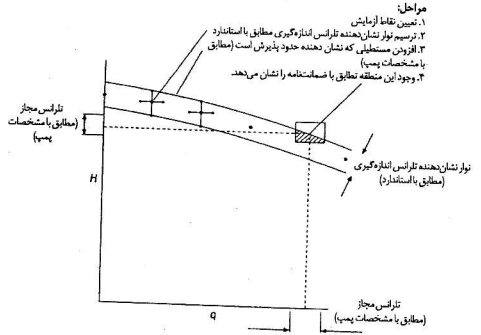
قبل از شروع باید مدار بررسی شده و آماده‌سازی تکمیل باشد.

## مرحله ۲

پمپ روشن شده و حداقل ۳۰ دقیقه زمان داده می‌شود تا مدار به حالت پایدار در آید. در این فرصت می‌توان بررسی‌های اولیه از تجهیزات اندازه‌گیری را به عمل آورد و از کارکرد صحیح آنها اطمینان حاصل کرد. همچنین ارتعاش و سر و صدا کنترل می‌شود.

## مرحله ۳ : آزمایش q/H

ویژگی‌های q/H به این ترتیب تعیین می‌شود: اولین اندازه‌گیری‌ها در نقطه کار (با ۱۰۰ درصد q) صورت می‌پذیرد. سپس برای رسیدن به دبی بیشتر از نقطه کار (معمولاً ۱۲۰ یا ۱۳۰ درصد q)، شیر باز شده و داده‌ها خوانده می‌شوند. شیر در چند مرحله بسته شده و جریان با یک برنامه مشخص کاهش می‌یابد (حرکت از سمت راست به چپ منحنی است). برای برخی پمپ‌ها، آخرین اطلاعات وقتی که شیر کاملا بسته شد (q =۰) خوانده می‌شود. البته همیشه این‌گونه نیست و برای پمپ‌های با توان بالا یا آنهایی که دارای ارتفاع تولیدی بالا هستند، کار کردن با شیر کاملاً بسته ممکن نیست. در طول آزمایش باید توجه ویژه‌ای به فواصل خواندن اطلاعات در اطراف نقطه کار مبذول داشت. به خصوص برای پمپ‌های کلاس A




**شکل ۱۱-۳ چگونگی بررسی انطباق با q / H ضمانت‌شده**

که سطح دقت بالایی لازم دارند ایجاد فاصله‌های کم در خواندن اطلاعات در اطراف نقطه کار، منجر به افزایش دقت نتایج و ترسیم بهتر منحنی خواهد شد.

پس از دستیابی به نقاط آزمایش شده، می‌توان دوباره الزامات ضمانت‌نامه را بررسی کرد. در اینجا چند مرحله جدا از هم لازم است (طبق شکل ۱۱-۳).

- مشخص کردن نقاط به دست آمده در محورهای q/H.
- استفاده ازسطح دقت اندازه‌گیری که برای کلاس‌های مختلف پمپ ارائه شده است و ترسیم محدوده مجاز اندازه‌گیری q/H به صورت یک نوار مطابق شکل.
- افزودن مستطیلی که نشان دهنده دامنه تغییرات مجاز در ضمانت‌نامه پذیرش برای ارتفاع کل (H) و دبی (q) است. برای مثال ISO 3555 مقدار تغییرات مجاز را ±2 درصد برای H و ±4 درصد برای q مشخص کرده است.
- در صورت برخورد یا تماس نوار q/H با مستطیل مشخص شده، انطباق با ضمانت‌نامه وجود دارد (مانند شکل ۱۱-۳). بنابراین قرارگیری مستطیل به صورت کامل در درون نوار q/H الزامی نیست.

استاندارد ISO 3555 مقادیر دامنه تغییرات مجاز را ±2 درصد برای q و ±1.5 درصد برای H مشخص کرده است. همچنین برای بررسی تطابق منحنی آزمایش با ضمانت‌نامه روش‌های پیچیده‌ای را آورده است. با وجود اینکه آن روش‌ها کاملاً صحیح هستند، ولی همیشه می‌توان از روش ساده‌ای که در شکل ۱۱-۳ نشان داده شد، استفاده کرد.



## مرحله ۴ : آزمایش بازدهی

برای آزمایش بازدهی از آزمایش‌هایی مشابه با آزمایش q/H استفاده می‌شود. همانگونه که در شکل ۱۱-۱ مشاهده می‌شود، بازدهی پمپ با مقدار دبی (q) متناسب است و در ضمانت‌نامه اغلب بازدهی بر حسب مقدار دبی بیان می‌شود. اصول بررسی انطباق همانند مرحله ۳ است؛ و باید یک نوار با در نظر گرفتن دامنه مجاز تغییرات اندازه‌گیری رسم شده و مستطیلی را که دامنه تغییرات مجاز تعیین شده در ضمانت‌نامه پذیرش را نشان می‌دهد، قطع کند.

## مرحله ۵ : اندازه‌گیری صدا و ارتعاش

سطح ارتعاش پمپ‌ها معمولاً در نقطه کار (q 100%) تعیین می‌شود. رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری ارتعاش در بدنه یاتاقان‌ها، استفاده از استاندارد VDI 2056 است. در این استاندارد، ارتعاش در فرکانس‌های چندگانه یک سرعت (rms)، واحد، تخمین زده می‌شود. معمولاً برای پمپ‌ها تطابق با سطح ارتعاش VDI 2056 گروه T تعیین می‌شود؛ که طبق آن مقادیر تا 2.8 mm/sec قابل پذیرش است. برخی سازنده‌ها در فرکانس‌های ارتعاشی خاص که معمولاً ضرایب فرکانس چرخش است، میزان ارتعاش را تخمین می‌زنند تا به تصویر بهتری از عملکرد ارتعاش دست پیدا کنند. این حالت هنگام وجود ارتعاش‌های بالا درآزمایش، می‌تواند در تشخیص عیوب کمک کند.

صدای پمپ هم در نقطه کار اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً به عنوان سطح فشار صدای اندازه‌گیری‌شده A (A-weighted sound pressure level) و بر حسب dB(A) در فاصله استاندارد ۱ متر از سطح پمپ اندازه‌گیری می‌شود (اصول آن در فصل ۷ توضیح داده شده است). اغلب اندازه‌گیری دقیق صدای پمپ به دلیل وجود سر و صدای زیاد ناشی از اغتشاش سیال، مشکل است. در مواردی که میزان سر و صدای پمپ به حد پذیرش آن بسیار نزدیک است، باید این آزمایش با دقت بیشتری برای سطوح ارتعاشی بیشتر انجام شده و توجه ویژه‌ای به یاتاقان‌ها و رینگهای سایش حین آزمایش باز کردن (stripdown) (که بعد از آن انجام می‌شود)، داشت.

## مرحله ۶ : آزمایش NPSH

دو روش رایج برای آزمایش NPSH وجود دارد. اولین روش به سادگی برای بررسی تاثیر تخریبی کاویتاسیون (cavitation) بر عملکرد پمپ در نقطه کار q/H تعیین شده و با شروع به کار NPSH در مدار آزمایش صورت می‌گیرد. این روش فقط برای مقادیر خاص NPSH که در مدار آزمایش ایجاد می‌شوند، قابل استفاده است. لذا نمی‌توان دیگر مقادیر NPSH را بررسی کرد و همین عامل دقت آزمایش را کاهش می‌دهد. روش کامل‌تر و مفیدتر، بررسی عملکرد NPSH با تغییر NPSH در یک بازه و مشاهده اثر آن است. روش افت فشار ۳ درصد، که در شکل ۱۱-۴ نشان داده شده است، رایج‌ترین روش برای این کار است.

برای این آزمایش از تجهیزات آزمایش q/H به اضافه تجهیزات کنترل فشار مکش، استفاده می‌شود (به شکل ۱۱-۲ توجه شود).فشار مکش در چند مرحله کاهش می‌یابد و در هر مرحله شیر خروجی پمپ برای یک دبی (q) خاص تنظیم می‌شود. این آزمایش تا کاهش ارتفاع پمپ به میزان ۳ درصد ادامه پیدا می‌کند. در این نقطه سطح زیان‌بخش کاویتاسیون رخ داده و به عنوان مقدار به دست آمده NPSH مطابق شکل ۱۱-۴ تعریف می‌شود. برای پذیرش، NPSH حاصله باید کمتر یا برابر با ماکزیمم مقدار مشخص شده در

ضمانت‌نامه باشد. قابل ذکر است مواقعی که برای NPSH دامنه تغییرات قابل پذیرش ذکر نشده باشد، میزان آن باید صفر در نظر گرفته شود. در استاندارد ISO 3555 مقدار تغییرات مجاز اندازه‌گیری ±3 درصد یا 0.15 m بیان شده است؛ ولی باید دقت داشت که مقدار تغییرات مجاز اندازه‌گیری با دامنه تغییرات قابل پذیرش متفاوت است.

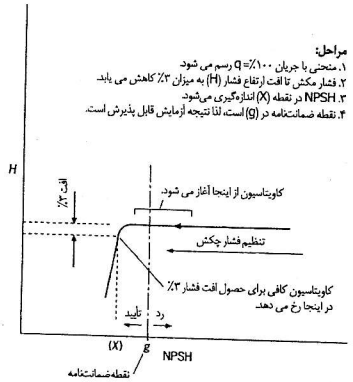
## مرحله ۷ : بازرسی بازکردن (The stripdown inspection)

همواره بعد از آزمایش‌های عملکردی باید در بازرسی بازکردن نظارت حضوری داشت. ممکن است به نظر برسد که این بازرسی، یکی از بخش‌های فرعی است و مهم نیست؛ ولی باید توجه داشت که باز و بسته کردن، به بازرس یک موقعیت عالی برای بررسی و گزارش برخی نکات مهم طراحی و ساخت پمپ را می‌دهد.

برای انجام بهتر این بازرسی در مرحله اول، دستیابی به پیش‌زمینه مناسب از برخی اطلاعات فنی، ضروری است. استاندارد پمپ API 610 مفید بوده و راهنمایی‌های روشنی را در مورد نکات طراحی مکانیکی مطلوب می‌دهد. سپس باید فهرستی از مواردی را که باید بازرسی شوند (شامل الزامات تعیین شده در سفارش خرید پمپ) را تهیه کرد. مواردی را که باید در فهرست مذکور باشند در زیر آمده است:

- مشاهده کاهش سرعت (run-down) پمپ - باید روان و کاملا متوازن بوده و صدای اضافی نداشته باشد.
- چرخاندن بلبرینگ محوری (shaft bearing) با دست - نباید هیچ گونه سفتی و سایش شعاعی وجود داشته باشد.
- بررسی سطوح بلبرینگ - نباید هیچ نشانه‌ای مبنی بر نقص در روانکاری یا گرم شدن اضافی وجود داشته باشد.
- بررسی آب‌بندی‌های مکانیکی - هر گونه لب‌پریدگی (chipping) و سایش نشانه‌ای از مونتاژ ناصحیح است.
- بررسی نحوه تثبیت پروانه‌ها - باید با یک مهره کلاهکی (cap nut) به محور قفل شده باشد و رزوه‌های میل محور (spindle tread) نباید در معرض سیال قرار گرفته باشد. پروانه باید یک اتصال قابل قبول با محور داشته باشد (برخی مشخصات فنی وجود یک اتصال خاری ( keyed drive) را ضروری کرده‌اند).
- بررسی حلقه‌های سایش - نباید سایش بیش از حد مشاهده شود (مطابق با طراحی سازنده یک حد برای آن مشخص می‌شود). از چرخش این حلقه‌ها باید با پین رزوه شده (treaded dowel) جلوگیری شود؛ نه با خال جوش.
- صافی سطوح مهم هستند - در صورت وجود هر گونه عدم اطمینان، باید از ابزار مقایسه‌گر (comparator gauge) استفاده شود. محور و سطوح آب‌بندی باید بهتر از $R_a$ 0.4 µm داشته باشند. برای سطوح خارجی بدنه $R_a$ 25 µm و برای سطوح داخلی آن 12.5 µm تعیین شده است.
- بررسی چشمی مجرای آب پروانه - سطوح صاف (مقدار $R_a$ 22.5 µm) نشان دهنده عملیات نهایی مناسب حین ساخت است. همچنین باید بررسی کرد که آیا شواهدی مبنی بر تراشیده شدن (trimming)پروانه و یا پر کردن ناقص (under filling) لبه‌های پشتی برای برقراری الزامات q/H رخ داده است یا نه. فقط در صورت رعایت محدودیت‌ها این مورد قابل پذیرش است.






**ضرایب تصحیح**

برای مواقعی که سرعت چرخش آزمایش برابر با سرعت چرخشی تعیین شده نباشد، نیاز به برخی ضرایب تصحیح است. ضرایب ارائه شده در زیر، دارای دقت خوبی هستند. خاطر نشان می‌شود که اینها برای q، H، P و NPSH به کار می‌روند:

- دبی تصحیح شده = q (اندازه‌گیری شده) × $(N_w/n)$
- ارتفاع تصحیح شده = H (اندازه‌گیری شده) × $(N_w/n)^2$
- توان تصحیح شده = P (اندازه‌گیری شده) × $(N_w/n)^3$
- NPSH تصحیح شده = NPSH (اندازه‌گیری شده) × $(N_w/n)^2$

که n سرعت حین آزمایش و $N_w$ سرعت تعیین شده است.

**شکل ۱۱-٤** اندازه‌گیری NPSH: روش افت فشار ۳٪

در نهایت باید نکات حاصل از بازرسی به دقت گزارش شوند.

## کمپرسورها

کمپرسورها طبق اصول ساده‌ای کار می‌کنند؛ ولی درک برخی از آزمایش‌های آنها ساده نیست. انواع مختلفی از کمپرسورها وجود دارند که برای ایجاد فشارهای پایین جهت اعمال چند بار تا ایجاد فشارهای بالا جهت اعمال گاهی اوقات تا ۳۰۰ بار طراحی می‌شوند. برای کاربردهای صنعتی عمومی اکثرا از هوا به عنوان سیال استفاده می‌شود؛ در حالی که برای برخی تاسیسات فراوری شیمیایی ممکن است از گاز یا بخار استفاده شود. کمپرسورها را می‌توان بر اساس روش فشرده‌سازی سیال به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:

**عدم انطباق‌های رایج و اقدامات اصلاحی :پمپ‌ها**

| عدم انطباق(NCR) | اقدامات اصلاحی (CA) |
|---|---|
| منحنی نقاط q/H بالاتر و در سمت راست نقاط ضمانت‌نامه است (به عبارت دیگر بسیار بالاتر). | برای طراحی‌های جریان شعاعی و مخلوط، با تراشیدن پروانه برطرف می‌شود و منحنی q/H به پایین و سمت چپ حرکت می‌کند. تغییرات حاصله در بالانس دینامیکی باید مشاهده شده و آزمایش تکرار شود. |
| منحنی q/H بسیار پایین است<br>- پمپ نتوانسته است به صورت کامل q و H الزامات ضمانت‌نامه را تامین کند. | اغلب افزایش ارتفاع تا ۵ درصد با نصب پروانه بزرگ‌تر قابل دستیابی است. اگر مشکل حل نشد، در طراحی هیدرولیک عیب وجود دارد؛ احتمالاً نیاز به تجدید نظر در طراحی پروانه است. راه‌حل‌های موقتی زیر نیز وجود دارد:<br>• برقراری کنترل جریان یا ابزارهای پیش چرخنده(pre-rotation device)<br>• نصب تنظیم کننده های جریان در بالا دست ( upstream throttles) به احتمال قوی این یک مشکل طراحی است تنها راه‌حل اصلاح طراحی و تکرار آزمایش است. |
| NPSH بالاتر از الزامات ضمانت پذیرش است. | انجام آزمایش مجدد و بررسی اینکه آیا باز هم همان نتایج حاصل می‌شوند یا نه. به حالت کاهش ارتفاع ۳ درصد باید توجه ویژه‌ای کرد (مشاهده و شنیدن نشانه‌هایی از کاویتاسیون). |
| نتایج NPSH مرزی است. | اغلب پذیرش نتایج بحرانی NPSH با بروز مشتعل همراه است، در این صورت باید قابلیت دستیابی NPSH سیستم بررسی شود و باید حد فشار رضایت‌بخش (حدوداً یک‌متر)، همچنان وجود داشته باشد. |
| ارتعاش زیاد در بازه سرعت | تمام اجزای پمپ باید از هم جدا و ابتدا توازن دینامیکی پروانه بررسی شود (می‌توان از استاندارد ISO 2373/BS4999 part 142/IEC.2 یا ISO 1940 برای راهنمایی استفاده کرد).<br>سپس تمامی اجزای پمپ از نظر معیوب بودن بررسی می‌گردد، علت اولیه می‌تواند مونتاژ ناصحیح باشد. حین مونتاژ مجدد باید متحدالمرکز بودن با اندازه‌گیری تمام علایم خارج از محوری (TIR) به وسیله گیج ساعتی (dial gauge)، بررسی شود. همچنین باید انطباق با نقشه بررسی شود.<br>سپس آزمایش تکرار گردد. |
| ارتعاش زیاد در سرعت نامی | محاسبات سرعت بحرانی که توسط سازنده صورت گرفته باید بررسی شود.اولین سرعت بحرانی باید حداقل ۱۵ تا ۲۰ درصد بالاتر از سرعت تعیین شده باشد. سپس تمام بررسی‌های ذکر شده در بالا باید انجام شود. شرح دقیق ارتعاشی که مشاهده می‌شود، مهم است. یک دلیل برای مراتب ارتعاش بالا و گسسته، فرکانس چرخشی است. ارتعاش تصادفی اغلب به علت وقوع اغتشاش در سیال رخ می‌دهد. |
| مقدار سر و صدای بیش از حد ضمانت پذیرش | اغلب اندازه‌گیری صدای پمپ به دلیل تداخل با صدای جریان سیال در مدار آزمایش، دشوار است. در صورت وجود سر و صدای بیش از حد به همراه ارتعاش، باز و بسته کردن و آزمایش مجدد ضروری است. |



- کمپرسورهای رفت و برگشتی (reciprocating compressor)، که یکی از رایج‌ترین نوع کمپرسورها با جابجایی مثبت برای ایجاد فشار پایین هستند. یک نوع خاص آنها برای ایجاد فشار پایین بدون روغن است که برای هوای دستگاه‌ها و کاربردهای خاص مشابه به کار می‌رود.
- کمپرسورهای پیچی (screw compressor)، که برای سرعت‌های با دقت بالا، برای استفاده در ظرفیت‌ها و فشارهای بالا و دریافت متغیرهای دقیق به کار می‌روند.
- کمپرسورهای دورانی (rotary compressor)، برای کاربردهای با ظرفیت بالا و فشار پایین‌تر. این نوع کمپرسورها از نوع جابجایی دینامیک بوده و شامل روتورهایی با پره‌های لغزشی (vane or meshing element) در درون بدنه هستند.

طرح‌های دیگر عبارتند از: کمپرسورهای گوشواره‌ای (lobe-type or roots blowers)، تخلیه کننده‌های (exhauster) فشار پایین ، پمپ‌های خلا و انواع مختلف فن‌های فشار پایین. اینها با استانداردها و فرایندهای پذیرش مختلفی پوشش داده شده‌اند. به هر حال باید در تشخیص نوع کمپرسور دقت کرد.

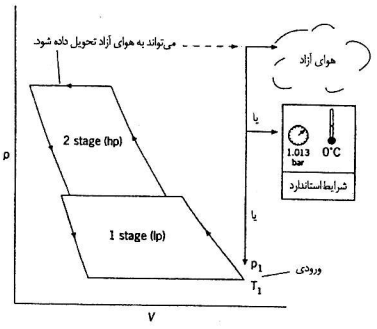
## معیارهای FFP

اصلی‌ترین معیار FFP برای کمپرسورها، تحویل (deliver) دبی تعیین شده از هوا یا گاز در فشار مورد نیاز سیستم کاری است. دومین معیار FFP، شامل مواردی می‌شود که در کارایی صحیح کمپرسورها نقش دارند. مهمترین آنها به خصوص در کمپرسورهای نوع رفت و برگشتی، ارتعاش است. یکی از ویژگی‌های کمپرسورها وجود برخی تجهیزات کمکی است که اساسی‌ترین آنها عبارتند از: سیستم حذف بار (unloading system) (که برای تغییر دبی تحویل شده به کار می‌رود) و همچنین ضامن‌ها و سوئیچ های (interlock and trip) مختلف جهت بهره برداری ایمن.

## اطلاعات فنی پایه‌ای

برای درک آزمایش‌هایی که بر روی کمپرسورها انجام می‌شود، نیاز به آشنایی با برخی تعاریف مربوط به عملکرد آنها است. در استاندارد ISO 1217 فهرست کاملی از تعاریف جامع آمده است. در اینجا فقط برخی تعاریف که اهمیت بیشتری دارند، ذکر می‌شود.

- فشار کل(p) : فشاری است که در نقطه سکون (stagnation point) اندازه‌گیری می‌شود. به عبارت دیگر افزوده شدن تاثیر سرعت به فشار هنگامی که جریان گاز متوقف می‌شود. در یک مدار آزمایش عملی، فشار کل مطلق در نقاط مکش و تخلیه کمپرسور اندازه‌گیری شده و در محاسبات استفاده می‌شود.
- دبی (q) : دبی به سه صورت اصلی تعریف می‌شود. لذا هنگام بحث درباره آن باید مشخص شود که منظور کدام است. شکل ۱۱-۵ این سه تعریف را نشان می‌دهد.
- تحویل به هوای آزاد (free air delivery) (FAD) : دبی اندازه‌گیری شده در تخلیه کمپرسور است و به هوای آزاد (همانند شرایط اتمسفر) اشاره دارد. در ضمانت‌نامه پذیرش کمپرسور، معمولاً این تعریف مد نظر است.




**شکل ۱۱ـ۵** سه روش بیان دبی کمپرسور

- دبی حقیقی (actual flowrate) : دبی اندازه‌گیری شده در تخلیه کمپرسور است؛ ولی به طور خاص به شرایط ورودی کمپرسور حین آزمایش اطلاق می‌شود. در واقع فقط مواقعی به این نیاز است که شرایط مکش کمپرسور بالاتر از فشار اتمسفر باشد.
- دبی استاندارد : مشابه FAD است و دبی اندازه‌گیری شده در تخلیه کمپرسور می‌باشد؛ ولی این بار با تنظیم شرایط ورودی به حالت استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. شرایط استاندارد رایج عبارتند از فشار 1.013 bar و دمای 0°C (273 K). برای تبدیل آن به FAD نیاز به یک فاکتور تصحیح است.
- الزامات خاص انرژی (specific energy requirement) : توان ورودی مورد نیاز محور (shaft) به ازای واحد دبی کمپرسور. توان معمولاً یکی از متغیرهای ضمانت پذیرش است.

## آزمایش نوع (type testing) در مقابل آزمایش پذیرش

بسیاری از مدل‌های کمپرسورها به خصوص آنهایی که با ابعاد کوچک هستند، با روش‌های تولید انبوه ساخته می‌شوند. غالباً طراحی به خوبی تصدیق شده و مورد آزمایش نوع قرار گرفته و به صورت گستره‌ای از مدل‌های کاتالوگی جهت تامین الزامات رایج مشتری ارائه می‌شوند. در چنین شرایطی معمولاً آزمایش‌های کارایی مختصر صورت گرفته و فقط به متغیرهای کلیدی و انحراف آنها از نتایج آزمایش نوع تایید و تضمین شده، توجه می‌شود.

مواردی که باید انطباق آنها با ضمانت‌نامه بررسی شود، شامل موارد زیر است:

- فشار ورودی ($p_1$) و دمای ورودی ($T_1$) تعیین شده. امکان دارد به صورت تلویحی بعنوان شرایط محیطی بیان شده باشد،
- ظرفیت FAD مورد نیاز (q) در فشار تحویلی ($p_2$)،



- توان مصرفی (P) در بار کامل،
- ارتعاش، که معمولاً برای کمپرسورها به صورت یک سرعت (طبق VDI 2056) تعیین می‌شود و
- صدا که در سطح A اندازگیری شده و بر حسب dB(A) بیان می‌شود.

اگر آزمایش های پذیرش قراردادی بخواهد معنی دار باشد، باید استاندارد مورد نظر برای آزمایش‌های پذیرش، مشخص شده باشد. البته همواره در مشخصات فنی ضمانت‌نامه ذکر نمی‌شوند، بلکه عموماً درک شده است که بر روی همه نتایج آزمایش، اصلاحات لازم باید صورت گیرد. در صورتی که خواسته شود سطح دقت حقیقی حفظ شود، لازم است تا موقعیت نقاط اندازه‌گیری مکش و تخلیه کمپرسور بسیار صریح بیان شود.

## مشخصات فنی و استانداردها

کمپرسورها همانند پمپ‌ها دارای استانداردهای خاصی هستند که آزمایش‌های پذیرش را در بر دارند. یکی از رایج‌ترین آنها ISO 1217 یا عنوان روش‌های آزمایش پذیرش (معادل با BS 1571 بخش 1) است.

ISO 1217 به صورت جامعی ویژگی‌ها و ترتیب آزمایش‌ها را برای انواع اصلی کمپرسورها بیان می‌کند. برای آزمایش کمپرسورهایی که تایید نشده‌اند و یا طرح خاصی دارند، استفاده از این استاندارد توصیه می‌شود. با این وجود در عمل معمولاً کمپرسورهایی که بازرسی می‌شوند، برای تایید عملکرد کلی آنها برخی ویژگی‌هایشان مورد آزمایش نوع قرار گرفته‌اند. برای چنین مواقعی استاندارد BS 1571 بخش 2 روش‌های آزمایش ساده‌ای را ذکر کرده است. باید اشاره کرد که مبنای اصلی تمامی روش‌های دستیابی به FFP در هر دو استاندارد یکسان است.

در حالت کلی، برای مواقعی که استاندارد ISO 1217 در مشخصات فنی کمپرسور تعیین نشده باشد، یا الزامات ایمنی مهمی که نیاز به کنترل دقیق شرایط سیال دارند، وجود نداشته باشند؛ توصیه می‌شود از استاندارد عمومی‌تر و ساده‌تر BS 1571 بخش2 استفاده شود.

استانداردهای مربوطه دیگر که ممکن است تعیین شده باشند عبارتند از:

API 617 : استاندارد طراحی کمپرسورهای گریز از مرکز،

API 618 : استاندارد طراحی کمپرسورهای رفت و برگشتی،

PTC ASME PTC 10 : مخفف کد آزمایش عملکردی (performance test code) است. PTC 10 استاندار امریکایی برای آزمایش کمپرسورها است که در استانداردهای API توصیه شده‌اند.

ISO 5388/BS 6244 : برای نحوه کار کمپرسورهای هوا ثابت (stationary air compressor). این استاندارد دارای دو بخش اصلی طراحی و ایمنی است.

ISO 2372/BS 4672 : اصول پایه تعیین استانداردهای ارزیابی ماشین‌های گردان و VDI 2056. در صورت مواجه شدن با مسایل ارتعاشی می‌توان به این استاندارد مراجعه کرد.

برای آشنایی با نمودارهای سیستم‌های سیال، مطالعه استاندارد ISO 1219/BS 2917 مفید است. این استاندارد تمامی نشانه‌ها و علائم مورد استفاده را توضیح می‌دهد.

## طرح بازرسی و آزمایش (ITP)

شکل ITP خود کمپرسور کاملا مشخص و روشن است؛ ولی با اضافه شدن اجزای وابسته مدار تحت فشار

| | |
|---|---|
| **محفظه‌های چندراهه مکش/ تخلیه (suction/discharge manifolds) و مخازن خشک‌کننده/ فیلتر (dryer/filter vessels)** | |
| طراحی مخزن | ASME VIII، BS 5169 یا BS5500 |
| تایدیه مواد | BS5500 یا EN 10 204 |
| آزمایش التراسونیک ورق‌ها | BS 5996 |
| فرایندهای جوشکاری | EN 287/288 |
| رادیوگرافی جوش‌ها | ISO 1106 |
| آزمایش مایع نافذ بر روی جوش‌ها | BS 6443 یا ASTM E165 |
| آزمایش فشار هیدرواستاتیک | دو برابر فشار کاری (یا مطابق کد) |
| آماده‌سازی برای رنگ‌زنی و بررسی ضخامت | به فصل ۱٤ رجوع شود |
| لوله کشی (interstage pipework) | ANSI B31.3 |
| **متعلقات (accessories)** | |
| شیرهای اطمینان | گواهی انطباق سازنده |
| میکروسوئیچ‌ها (Limit switch) و غیره | گواهی انطباق سازنده |
| **مونتاژ و آزمایش** | |
| آزمایش عملکرد | ISO 1217 یا BS 1571 Part 2 |
| بررسی کارایی در باربرداری ، قطع کننده ها و شیرهای اطمینان | رویه سازنده |
| مرور کامل مستندات | رویه سازنده |

مثل مخازن مکش/تخلیه و مبدل‌های حرارتی، شکل ITP پیچیده‌تر می‌شود. نمونه زیر با استفاده از چند نوع از استانداردهای پذیرش تهیه شده است.

## رویه‌ها و دستورالعمل‌های آزمایش

بهترین راه برای درک آزمایش کمپرسور، مراجعه به آزمایش پذیرش استاندارد BS 1571 Part 2 است. این آزمایش‌های اصلی متغیرهای ضمانت‌نامه، محتمل ترین بازرس هایی است که بازرس باید نظارت حضوری داشته باشد. اولین مرحله اصلی، بررسی اعتبار (validity) است.

## بررسی اعتبار

طبق استاندارد BS 1571 Part 2 آزمایش پذیرش فقط در شرایطی اعتبار کامل دارد که اختلاف میان شرایط آزمایش طراحی شده و آزمایش مستند شده در محدوده‌های زیر باشد:

- سرعت ۵ ± درصد
- دمای آب خنک کننده 8 ± درصد
- نسبت فشار (pressure ratio) 1± درصد
- فشار ورودی (intake pressure) (مطلق) 5± درصد. باید گفت که اختلاف فشار ورودی یکی از الزامات کلیدی است. برای مثال اگر فشار مکش 5bar باشد، و در آزمایش نوع شرایط مکش محیطی برقرار باشد، نمی‌توان آزمایش را پذیرفت.



## مدار آزمایش

از چندین نوع مدار آزمایش استفاده می‌شود که استاندارد ISO 1217 آنها را نشان داده است. رایج‌ترین نوع برای کاربردهای هوا، نوع مدار باز (open circuit) استفاده می‌شود. در این نوع مدار، از اتمسفر آزاد مکش می‌شود و می‌تواند نماینده کار کمپرسور در شرایط سرویس باشد. در صورت نیاز به فشار مکش اتمسفری بالا (برای نمونه در برخی کمپرسورهای گاز طبیعی، مدار آزمایش به صورت حلقه بسته (closed loop) خواهد بود.

دومین موردی که در مدار آزمایش مشاهده می‌شود، موقعیتی است که دبی (FAD) کمپرسور اندازه‌گیری می‌شود. دبی را می‌توان با استفاده از یک دبی‌سنج صفحه‌ای دریچه‌ای ( orifice plate flowmeter) در هر دو سمت مکش و تخلیه کمپرسور اندازه‌گیری کرد. به طور نمونه در طرف خروجی، با یک محفظه دریافت‌کننده (receiver vessel) که در میان دریچه و خروجی کمپرسور قرار داده می‌شود، اندازه‌گیری صورت می‌گیرد؛ تا تغییرات فشار غیر قابل پذیرش که موجب بی‌اعتباری نتایج آزمایش می‌شوند، خنثی شوند. مدار آزمایش از نوع حلقه باز با متغیرهایی که در آن اندازه‌گیری می‌شود در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است.

## بررسی‌های مدار

- *اندازه‌گیری دبی.* برای اندازه‌گیری دبی از نازل دریچه‌ای (orifice nozzle) استفاده می‌شود و باید مطابق با متغیرهای نشان داده شده در شکل ۱۱-۶ باشد. همچنین ابعاد مدار آزمایش باید بررسی شود. موقعیت صفحات مشبک (perforated plate) نیز باید صحیح باشد. صفحه مشبک برای آرام کردن جریان ورودی به نازل دریچه‌ای است. در صورت نیاز باید اندازه و فاصله سوراخ‌های صفحه مشبک بررسی شود. استاندارد ISO 1217 الزامات صفحات مشبک را بیان کرده است.
- *اندازه شیرهای کنترل.* شیرهای مورد استفاده باید قطر برابر یا کوچکتر از قطر لوله‌های انتقال سیال به نازل را داشته باشند.
- *اندازه محفظه دریافت کننده( resiver)* . غالباً از محفظه جمع کننده برای حذف ضربان‌ها استفاده می‌شود. اندازه را این‌گونه بررسی کنید: در صورتی که افت فشار در شیرهای کنترل بیش از ۳۰ درصد فشار مطلق بالادست(absolute pressure upstream) باشد، جمع کننده باید بزرگ‌تر از حجم مورد نیاز برای دربرداشتن ۵۰ پالس در فشار جمع کننده باشد. مثلا برای کمپرسورهای بزرگ:

$$\text{حجم جارو شده بر دور} = \frac{\text{FAD}(m^3/hr)}{n(rpm)\times 60} = \frac{700 m^3/hr}{745\times 60} = 0.016 m^3 \text{ per rev}$$

بنابراین کمترین اندازه مجاز جمع کننده در این مورد برابر خواهد بود با:

$$0.016 \quad 50 \quad 0.78 m^3$$

اگر افت فشار در عبور از شیر کمتر از 30 درصد باشد، توصیه می‌شود که ابعاد جمع کننده دو برابر شود. در صورت عدم اطمینان، باید دامنه تغییرات فشار داخلی نازل بررسی شود؛ و اگر تغییرات فشار بیشتر از 2 درصد باشد، اندازه جمع کننده احتمالاً کوچک انتخاب شده است.

- *ویژگی‌های نازل.* انتخاب نازل باید به درستی صورت گرفته باشد. این مورد را می‌توان با استفاده از

استاندارد BS 1571 Part 2 بخش 3.9 و با توجه به ضریب نازل (nozzle coefficient) (k) بررسی کرد. مقدار k در محاسبات FAD نیز به کار می‌رود.

## آزمایش

مراحل آزمایش عملکرد عبارتند از:

- بررسی‌های مدار آزمایش با توجه به نکات ذکر شده،
- راه‌اندازی کمپرسور برای رسیدن به حالت پایدار (برای رسیدن به حالت پایدار باید بیش از ۴ ساعت زمان داد)،
- بررسی انطباق متغیرهای سیستم با تغییرات مجاز در استاندارد ISO 1217 ،
- انجام تنظیمات فرعی در صورت نیاز، البته با حفظ شرایط آزمایش طراحی شده،
- خواندن مقادیر در فاصله‌های منظم (مثلا هر ۱۵ دقیقه) و در فواصل زمانی ۲ الی ۴ ساعته در شرایطی که کمپرسور با بار کامل کار می‌کند،
- بررسی مجدد مشکلات سیستماتیک آشکار در متغیرهای ثبت شده،
- انجام بررسی‌های لازم بر عملکرد تجهیزات باربرداری، شیرهای فشارشکن (relief valve) و قطع کننده‌های ضامن ها،
- اندازه‌گیری ارتعاش و صدا،
- انجام محاسبات و مقایسه نتایج حاصله با الزامات ضمانت‌نامه. شکل ۱۱-۷ مشاهده شود و
- متوقف کردن مدار و انجام بررسی‌های همراه با باز و بسته کردن (در صورت نیاز) برای انواع کمپرسورهای رفت و برگشتی.

## تجهیزات جریان هوا : دریچه‌های تنظیم (damper)

تجهیزات جریان هوا شامل اجزای سیستم‌های جریان گاز و هوا می‌باشد که در نصب دیگ‌های بخار نیروگاه‌ها یا برای کاربردهای عمومی استفاده می‌شوند. اجزای اصلی عبارتند از : دریچه‌های تنظیم، مبدل‌ها و گرمکن‌های هوا، فن‌ها، کانال‌های انتقال (ductwork) و اتصالات. تجربه نشان داده است که بین این اجزاء بیش از همه دریچه‌های تنظیم گاز خروجی (flue gas damper) مشکل‌ساز می‌شوند. لذا در این بخش فقط به دریچه‌های تنظیم پرداخته می‌شود.

البته قابل ذکر است که باید برای کانال‌های انتقال و دیگر اجزای مسیر جریان گاز نیز اصول مشابهی انتخاب مواد و دقت در ساخت رعایت شوند.

## معیارهای FFP

دریچه‌های تنظیم گاز بخش بزرگی از تجهیزات را تشکیل می‌دهند و با وجود ساختمان ساده، نقش مهمی در عملکرد کلی مجموعه ایفا می‌کنند. اصلی‌ترین معیارهای FFP عبارتند از :

- آب‌بندی کردن (sealing)، که عبارت است از توانایی دریچه تنظیم در مقابله با نشتی گاز در مسیر گاز و همچنین به اتمسفر بیرون.



| | | |
|---|---|---|
| مرحله ۱ | محاسبه q (FAD) با: $q(FAD) = \frac{kT_1}{p_1}\sqrt{\frac{hp_2}{T}}$ | q= دبی<br>h= افت فشار نازل (mmH2O)<br>k= ثابت نازل<br>T1= دما در ورودی کمپرسور (K)<br>T= دمای پایین‌دستی (downstream) نازل<br>p1= فشار ورودی کمپرسور (mmHg)<br>p2= فشار پایین‌دستی نازل |
| مرحله ۲ | q حاصله بر حسب لیتر بر ثانیه است و باید به m3/hr تبدیل شود:<br>m3/hr = l/sec×3.6 | فشار مطلق = فشار خوانده شده + فشار اتمسفر |
| سپس | آیا به فاکتورهای تبدیلی دیگری نیاز است؟ | (فشارسنج بررسی شود) |
| | *یادآوری* | |
| مرحله ۳ | اگر سرعت آزمایش با سرعت تعیین شده متفاوت است، q(FAD) باید به حاصل تقسیم سرعت تعیین شده بر سرعت آزمایش ضرب شود. | این فاکتور اصلاحی ساده معمولا تنها فاکتور مورد نیاز در آزمایش تحت استاندارد BS 1571 بخش 2 است. |
| | سپس | *یادآوری* |
| مرحله ٤ | با مقدار q(FAD) که در الزامات ضمانت‌نامه آمده مقایسه شود. | تغییرات مجاز ٤ تا ۶ درصد است که به اندازه کمپرسور بستگی دارد. در صورت عدم اطمینان، استاندارد BS 1571 بررسی شود. |
| مرحله ۵ | بررسی توان مصرفی (kW) | معمولاً با استفاده از دو توان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. |
| | در صورت نیاز باید از فاکتور اصلاحی (ضرب کردن در حاصل تقسیم سرعت تعیین شده به سرعت آزمایش) استفاده شود. | |
| | در صورت که مشخصا در ضمانت‌نامه ذکر شده باشد، توان مصرفی به صورت انرژی ویژه بیان شود:<br>انرژی ویژه= انرژی مصرفی بخش بر q(FAD) | واحدها ملاحظه شوند<br>معمولاً بر حسب kW hr/litre بیان می‌شود. |

**شکل ۱۱-۷** ارزیابی نتایج آزمایش کمپرسور

- عملیات (operation)، زمانی که طول می‌کشد تا دریچه باز یا بسته شود (و یا در وضعیت‌های تنظیم (modulation position) مختلف قرار گیرد).
- مقاومت در برابر خوردگی و سایش، دریچه‌های تنظیم گاز معمولا در محیط‌های کاری خورنده و ساینده به کار می‌روند. اصابت ذرات، خوردگی دمای پایین نقطه شبنم و دیگر مکانیزم‌های خوردگی که بستگی به محل استفاده از آنها دارد ممکن است رخ دهد. معمولاً دریچه‌ها دارای طول عمر محدودی هستند، لذا یک نکته حائز اهمیت مشخص بودن عمر مفید سرویس آنها است.

## اطلاعات فنی پایه‌ای

دریچه‌های تنظیم گاز دارای سه نوع اصلی هستند:

**عدم انطباق ها و اقدامات اصلاحی رایج کمپرسورها**

| عدم انطباق (NCR) | اقدامات اصلاحی(CA) |
|---|---|
| کمپرسور به q(FAD) تعیین شده نمی‌تواند دست پیدا کند. به عبارت دیگر با در نظر گرفتن تغییرات مجاز باز هم دبی ایجاد شده کمتر از مقدار لازم است. | ابتدا باید متغیرهای اندازه‌گیری شده دوباره بررسی شوند. باید مدار و تجهیزات آزمایش بررسی شوند تا از تطابق آنها با استاندارد اطمینان حاصل شود. یک واقعیت پذیرفته شده این است که نتایج آزمایش شدیداً تحت تاثیر خطاهای کوچک در مدار آزمایش قرار می‌گیرند. ممکن است اشتباهات رایج زیر رخ دهد: |
| **مشاهدات در باز کردن** | • اشتباه در خواندن فشار از فشارسنج (بین mm H2O و mm Hg) |
| سایش مکانیکی زیاد و غیر قابل پذیرش که بیشتر در محل‌های زیر ایجاد می‌شود: | • استفاده از ضریب نازل (k) نادرست (بررسی مجدد راهنمایی‌های BS 1571) |
| • سایش نامنظم در نشیمنگاه دیسک شیرها (valve seat) | • اشتباه q(FAD) که به شرایط ورودی مطلق مربوط می‌شود با دیگر دبی‌های محاسبه شده (به تعاریف دقت شود) |
| • سایش نامنظم در محل تماس پیستون با بوش سیلندر در انواع رفت و برگشتی. مخصوصا باید به علائم خراش یا شکستن پوسته نازک روغن توجه شود. | • ارزیابی صحیح انباشتگی خطاهای احتمالی (استاندارد مجدداً بررسی شود) |
| • سایش یاتاقان سر محور میل‌لنگ ( crankshaft journal) و انتهای بزرگ بلبرینگ در انواع رفت و برگشتی. باید تمام پیرامون بلبرینگها بررسی شود. | در صورتی که پس از این بررسی‌ها، خطایی مشاهده نشود، مشکلی وجود دارد. محتمل‌ترین دلیل برای کاهش دبی مورد زیر است: |
| | • افت بازده حجمی (volumetric efficiency) به علت نشتی داخلی یا طراحی غلط. |
| | اقدامات اصلاحی ممکن محدود است. لذا باید پذیرفت که دبی کمپرسور پایین است. البته برای کسب اطمینان باید وجود خطا در مونتاژ مثلا در پیستون/بوش سیلندر (liner) ویا فضای خالی(clearance) شیر بررسی شود. |
| | در صورت وجود سایش مکانیکی تنها راه حل ساخت مجدد کمپرسور بر اساس مشخصه‌های اصلی و انجام آزمایش مجدد آن است به صورتی که دیگر این اتفاق رخ ندهد. غالباً این مشکل ناشی از مونتاژ غلط است تا طراحی نادرست. |
| | بررسی‌ها باید تا یافتن منشا اصلی مشکل ادامه پیدا کند. در نهایت باید آنچه رخ داده و آنچه مشاهده شده گزارش‌شود (فصل ۱۵ مشاهده شود). |

دریچه‌های تنظیم گیوتینی (guillotine) که یک یا دو پره (blade) از ورق فولادی دارند که درون کانال (duct) از بیرون می‌لغزند. آنها معمولا به شکل مستطیلی بوده و ابعادشان در واحدهای بزرگ به ۵۶m² (۷m×۸m) می‌رسد. جداسازی تنها هدف استفاده از آنهاست. دریچه‌های تنظیم گیوتینی می‌توانند به خوبی به صورت عامل آب‌بندی گاز عمل کنند.



دریچه‌های کرکره‌ای (louvre) پره‌های جدا و معمولا افقی دارند که هر کدام از آنها سوار بر میل محور خود در درون کانال گاز قرار می‌گیرند. برخی از آنها (دریچه‌های کرکره‌ای دوتایی (double louvre)) دارای دو سری پره موازی هستند. دریچه‌های تهویه می‌توانند برای تنظیم گاز (gas modulation) و همچنین جداسازی به کار روند. برای جداسازی موثر عموما از نوع دوتایی با فضای مابین تهویه شده (ventilated) استفاده می‌شود. عوامل آب‌بندی (seal) میان پره‌ها و قاب و همچنین میان پره‌های مجاور هم گنجانده می‌شوند.

دریچه‌های تنظیم بالهای (flap) درون کانال یک دریچه چرخشی دارند. این دریچه‌ها تا ۹۰ درجه یا کمتر می‌توانند بچرخند و در هر دو موقعیت آب‌بند هستند. کاربرد اصلی این نوع دریچه تنظیم در قسمتهای دارای مجرای فرعی است که با قرار دادن دریچه در این نوع کانال‌ها می‌توان گاز را به هر دو مسیر هدایت کرد.

در تمام انواع دریچه‌های تنظیم، کیفیت آب‌بندی حائز اهمیت است. در دریچه‌های تنظیم با ابعاد بزرگ، به خصوص نوع تهویه‌ای، حتی در حالت تو بودنشان رسیدن به آب‌بندی صد در صد مشکل است. البته در حین کار در اثر سایش، خوردگی و گرفتگی غبار، بازده آب‌بندی کمتر هم می‌شود. به همین علت معمولاً عوامل آب‌بندی قابل برداشت و متشکل از قطعات قابل تعویض هستند. مواد آب‌بندی اکثراً پتنت هستند. آنها می‌توانند از نوع انگشتی (finger type) یا حبابی (bulb type) باشند که در محل استقرارشان فشرده می‌شوند. آزمایش عملکردی بر روی دریچه های تنظیم برای بررسی کارکرد صحیح آنها و بازدهی آب‌بندی صورت می‌گیرد. روش‌های خاصی برای محاسبه نشتی وجود دارد. به دلیل نحوه آب‌بندی ساده‌تر در دریچه های تنظیمی گیوتینی نسبت به دیگر انواع، آزمایش آنها ساده‌تر است.

موارد ضمانت‌نامه پذیرش نوعی برای دریچه‌های تنظیم، عبارتند از:

- بازده آب‌بندی که به‌صورت درصد حجم جریان (یا $m^3/minute$ در دما و فشار استاندارد) بیان می‌شود
- زمان لازم برای باز و بسته کردن به ثانیه،
- مصرف توان فن هوای آب‌بندی (seal air) بر حسب وات.

در دریچه‌های تنظیم همانند تمام اجزایی که از اتصال قطعات جداگانه تولید می‌شوند، انتخاب مواد، استانداردهای جوشکاری و دقت در مونتاژ اهمیت دارد.

| | |
|---|---|
| مشخصات فنی مواد فولادی تولید شده | BN EN سری ۱۰۰۰ |
| فولاد مقاوم در برابر خوردگی برای تسمه‌های مورد استفاده برای آب‌بندی | ISO 683 یا BS 970 |
| استانداردهای عمومی ساخت | BS 5135 |
| تلرانس ابعادی کلی | DIN 8570 |
| اندازه‌گیری خریان | ISO 5167 |

## مشخصات فنی و استانداردها

انواع مختلف دریچه‌های تنظیم به خوبی توسط استانداردهای بین‌المللی پوشش داده نشده است. به همین دلیل در کارهای صنعتی بیشتر از استانداردهای عمومی کارهای فولادی و ساخت استفاده می‌شود. در زیر چند استاندارد رایج که می‌تواند برای دریچه‌های تنظیم استفاده شود، آورده شده است. همچنین می‌توان از

استانداردهایی که جوشکاری را پوشش می‌دهند به عنوان مبنای ITP در تولید دریچه تنظیم استفاده کرد. به جز آزمایش عملکردی، هیچ مورد خاص دیگری جزء الزامات آزمایش وجود ندارد.

## رویه‌ها و دستورالعمل‌های آزمایش

برای دریچه‌های تنظیمی که دمای کاری کمتر از حدوداً 100°C دارند، عموماً آزمایش‌های عملکردی و نشتی به صورت سرد و در هوای محیط انجام می‌شود. در این حالت اختلاف دمای آزمایش با دمای کاری به اندازه کافی کم است تا نتایج نماینده آن دما باشد. هوای آب‌بندی نیز در دمای محیط تامین می‌شود؛ از اینرو لازم است تا هنگام محاسبه نشتی هوای آب‌بند و توان فن هوای آب‌بندی، ضرایب تصحیح اعمال شوند. قابل ذکر است که ممکن است در مواقعی که دریچه تنظیم بسیار بزرگ است یا دمای کاری آن بسیار بالا است نیز آزمایش سرد مشخص شده باشد. عیب آزمایش‌های سرد در این است که انبساط و اعوجاج به خصوص در قاب دریچه تنظیم به صورت کامل شبیه‌سازی نمی‌شود.

در آزمایش‌های گرم، دریچه تنظیم تا دمای کاری توسط کوره عایق شده (lagged) گرم می‌شود و معمولاً از گاز به عنوان سوخت جهت ایجاد حرارت استفاده می‌کنند. مجموعه مونتاژ شده برای چند ساعت در معرض حرارت قرار گرفته و دریچه تنظیم کاملاً مشابه با شرایط سرویس توسط کانال انتقال و قاب فولادی نگهداری می‌شود. در هر دو نوع آزمایش سرد و گرم، تاکید خاصی روی اندازه‌گیری جریان هوای آب‌بند است، تا به این طریق بازده آب‌بندی اندازه‌گیری شود. برای انواع دریچه‌های تهویه‌ای و گیوتینی نیز روش‌های مشابه با اختلاف‌های جزیی در روش‌های اندازه‌گیری بسته به منفرد یا دوتایی بودن پره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در آزمایش‌های عملکردی دریچه‌های تنظیم برخلاف برخی تجهیزات دیگر، تنش‌ها و اعوجاج‌ها، کاملاً مشابه با شرایط کاری به آنها اعمال نمی‌شود. بنابراین کنترل دقت و درستی در ساخت و مونتاژ حین تولید اهمیت بسیاری می‌یابد. با این کار می‌توان از وقوع بی‌دقتی‌های ابعادی مشکل‌ساز پیشگیری کرد. در ادامه یک نمونه برنامه بازرسی و آزمایش برای دریچه کرکره‌ای یا باله‌ای آورده شده است. اصول عمومی می‌توانند مطابق با نوع دریچه تنظیم، مورد استفاده قرار گیرد.

### مرور طراحی (design review)

طراحی دریچه‌های تنظیم معمولاً توسط سازمان بازرسی مستقل مرور نمی‌شود. خوشبختانه آنها اجزایی با ساختمان نسبتاً ساده هستند؛ لذا شما می‌توانید شخصاً با انجام مرور کامل طراحی، موارد FFP را بررسی کنید. البته این کار باید قبل از آغاز ساخت یا در مراحل اولیه انجام شود. راهنمایی‌های زیر را به کار ببرید:

- مواد، مشخصات فنی مواد به کار رفته در ساخت قاب و پره‌ها را مطابق با موارد ذکر شده در بخش مشخصات فنی مواد، بررسی کنید. باید توجه خاصی به درصد کربن و نرمی (ductility) (با مرور نتایج درصد ازدیاد طول) مواد داشت. از آنجایی که معمولاً مواد با رده‌های نسبتاً پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد، ممکن است قابلیت ردیابی به صورت کامل رعایت نشده باشد. در این باره در فصل ۴ راهنمایی‌هایی ارائه شد.
- قسمتهایی که برای آب‌بندی هستند، باید از جنس فولاد زنگ‌نزن یا مواد مشابه آن با خواص مقاوم در برابر خوردگی باشند (درصد Cr و Ni را با مقادیر مشخص شده مقایسه کنید).



- میل محور پره‌های دریچه‌های کرکره‌ای باید دارای خواص مقاوم به خوردگی باشند. مقدار سختی آنها را بررسی کنید؛ باید حداقل 400HV باشد تا دچار سایش و شیاردار شدن در محل قرارگیری در جعبه مواد آب‌بندی (stuffing box) نشود.
- بلبرینگ‌های میل محور، طراحی آنها را به منظور بیرون نگه داشتن گاز و غبار بررسی کنید. آنها باید دارای یک آب‌بند محوری در قسمت قاب داخلی داشته باشند.
- جوشکاری، انطباق نوع الکترود جوشکاری مورد استفاده را با فلز پایه بررسی کنید. همچنین حالاموقعیت مناسبی برای بررسی فرایند جوشکاری به کار رفته برای جوش‌های لب به لب و گوشه، با در نظر گرفتن نکات ذکر شده در فصل‌های ۵ و ۶ است.
- نگهدارنده‌های آب‌بندهای پره‌ها، آنها باید در برابر خوردگی مقاوم بوده و به گونه‌ای باشند که جاگذاری قسمتهای آب‌بندی راحت باشد. استفاده از پیچ‌های دو سر دنده (Stud) از جنس فولاد زنگ‌نزن با مهره کلاهک‌دار بهتر است.

### ساختمان

در این مورد سعی کنید در وحله اول بازرسی به این نکته توجه کنید که قاب دریچه تنظیم در کجا ساخته شده و مونتاژ اولیه پره‌ها در کجا صورت گرفته است. موارد زیر را بررسی کنید: (شکل ۱۱-۸)

- اعوجاج قاب، آیا قاب کاملا صاف و بدون اعوجاج است؟ خمیدگی‌ها و قوس‌های اصلی در هر دو صفحه نباید بیش از حدود۱ الی ۲ میلی‌متر در هر متر باشد. از چهارگوش بودن قاب اطمینان حاصل کنید، مخصوصاً در صورتی که هر گونه نوار مهاربندی (cross bracing) به آن جوشکاری شده باشد. نباید بیش از حدود ۱ الی ۲ میلی‌متر در هر متر شیب داشته باشد. می‌توان با اندازه‌گیری گوشه به گوشه این مورد را بررسی کرد. دقت در گوشه‌ها را از نظر وجود اتصالات چهارگوش و سالم بودن بررسی کنید.
- لقی پره‌ها، بررسی کنید که پره‌ها به راحتی و نه خیلی شل درون قاب قرار گیرند. برای نمونه، لقی نهایی میان پره‌های دریچه‌های تهویه و قاب حدود۲ تا ۳ میلی‌متر است. در این مورد باید نقشه را دید و تطابق با آن را بررسی کرد.
- نحوه قرارگیری میل محور، موقعیت‌های مرکزی آنها باید با نقشه انطباق داشته باشد. هرگونه بی‌دقتی می‌تواند بعداً برای قرارگیری صحیح پره‌ها و عوامل آب‌بندی ایجاد مشکل کند.

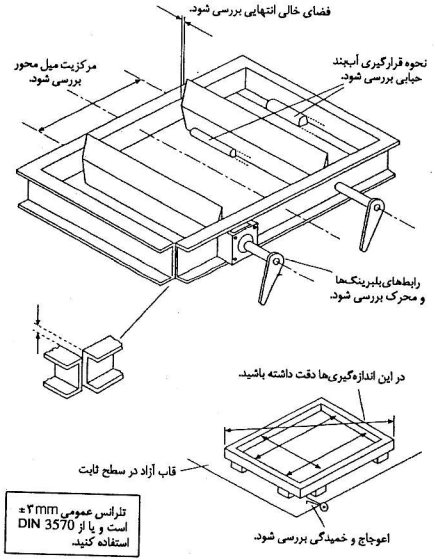
در تمام موارد باید از انطباق قاب با تلرانس‌های نشان داده شده در نقشه ساخت ( manufacturing drawing) و نه نقشه شکل کلی (چرا که ممکن است در آن جزییات به صورت کافی نیامده باشد) اطمینان حاصل کرد.

### آزمایش عملکردی گرم

توضیحات زیر برای دریچه تنظیم نوع باله‌ای است (شکل ۱۱-۹ را ببینید). البته باید به این نکته اشاره کرد که اصول اساسی آزمایش عملکردی گرم برای تمام انواع دریچه های تنظیم یکسان است.

### مرحله ۱: بررسی آرایش آزمایش

دبی هوای آب‌بندی در نقاط ورودی و خروجی، همانگونه که در شکل ۱۱-۹ نشان داده شده است،



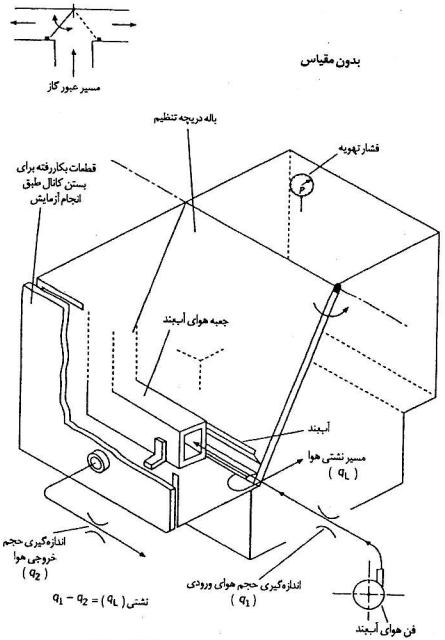

**شکل ۱۱ـ۸** روش بررسی یک دریچه تهویه

اندازه‌گیری می‌شود. بایستی ثابت‌ها و گزارش‌های کالیبراسیون دیسنج بررسی شود. لازم است تا اندازه‌گیری فشار در چندین محل صورت گیرد و در محل تهویه (plenum area) باید **توجه داشت که به** خاطر فشار نسبتاً پایین، نیاز به سنجه‌های دقیق به همراه گواهی‌های کالیبراسیونشان است. اندازه‌گیری دما باید در سه محل یا بیشتر انجام شود تا میانگین قابل اعتمادتری حاصل شود.

### مرحله ۲: آببندی

با بکارگیری صفحات مانع موقت هر سه دهانه آببندی می‌شود. وجود اتصالات کاملاً آببند جهت قابل استناد بودن نتایج آزمایش آببندی ضروری است. بررسی کنید که درزگیرهای (gasket) به کار رفته در






**شکل ۱۱ـ۹** آزمایش نشتی در دریچه تنظیم بالهٔ‌ای

برابر دما مقاوم باشند و پیچ‌های فلنج با ترتیب صحیح محکم شده باشند. تمامی سطوح جهت جلوگیری از کاهش حرارت باید عایق‌بندی شده باشند.

### مرحله ۳: حرارت‌دهی

دریچه تنظیم مونتاژ شده تا دمای کاری گرم می‌شود. باید اطمینان حاصل کرد که حداقل ۲ ساعت در معرض دمای کاری قرار گرفته است.

### مرحله ۴: اندازه‌گیری

وقتی که حالت پایدار حاصل شد، تمام اندازه‌گیری‌های فشار و دما انجام می‌گیرد. با رابطه زیر، مقدار نشتی محاسبه می‌شود:

- نشتی ($m^3/min$) = مقدار دبی در ورودی ($m^3/min$) − مقدار دبی در خروجی ($m^3/min$)
- سپس جهت مقایسه با مقدار قابل پذیرش بایستی به STP (یا شرایط هوای آزاد) تبدیل شود.

با اندازه‌گیری جریان، توان مصرفی فن هوای آب‌بند محاسبه می‌شود. برای دریچه‌های تنظیم نوع باله‌ای، طبق شکل ۱۱-۹، لازم است تمام اندازه‌گیری‌ها برای هر دو حالت باز (open) و میان بر(bypass) صورت گیرد.

### مرحله ۵: عملیات

زمان لازم برای عملکرد دریچه تنظیم را در شرایط گرم بررسی کنید. با وجود اینکه باله دیده نمی‌شود، ولی از روی محرک خارجی و نشانگرهای موقعیت امکان بررسی زمان وجود دارد. زمان لازم برای باز و بسته شدن عموما با تلرانس ۱۰ درصد مشخص می‌شود. مقادیر جریان موتور محرک را به خصوص در موقعیت نهایی باله بررسی کرده و از روی آن از قرارگیری آن در محدوده تعیین شده اطمینان حاصل کنید. مکانیزم کاری محرک را مشاهده کنید؛ بایستی در یک سیکل کامل و خیلی روان کار کند. هنگام نزدیک شدن پره به نشیمنگاهش (seat) باید یک عکس‌العمل مثبت و شدید، بدون هیچ‌گونه گیرکردنی وجود داشته باشد.

### مرحله ۶: بررسی ابعادی

بعد از اینکه دریچه تنظیم سرد شد، باید بررسی‌های عملکردی در دمای محیط تکرار شود. بعد از آن، باید دوباره بررسی‌های ابعادی صورت گیرد تا اطمینان حاصل کرد که اعوجاج و تغییر شکل دائمی رخ نداده است. با اندازه‌گیری دقیق ابعاد گوشه به گوشه دهانه‌های کانال، می‌توان پی به وقوع این تغییرات برد. قاب دریچه تنظیم را از جهت اینکه چهارگوشی و درستی آن تغییر نکرده باشد، بررسی کنید.

### مرحله ۷: بازرسی نهایی

در صورتی که پیش از این اجزای اصلی مونتاژ نشده‌اند، اکنون وقت آن است. برخی اوقات ممکن است قصد داشته باشند، دوباره در محل استفاده مونتاژ قطعات را انجام دهند. در مرحله بازرسی نهایی باید موارد زیر را بررسی کرد:

- رنگ: عموماً با ضخامت لایه خشک حداقل ۲۰۰ میکرون (در فصل ۱۴ جزییات این مورد ذکر شده است).
- روکشکاری: برخی طراحی‌ها می توانند لایه لاستیکی یا GRP داشته باشند و یا با فولاد مقاوم در برابر خوردگی پوشیده شوند (اغلب Hastelloy C276 یا آلیاژ پایه نیکل مشابه).
- جزئیاتی مثل نشانگرهای موقعیت، اجزای آب‌بندی یدکی، اتصالات فلنجی، قسمت‌های انبساطی و فولادکاری بررسی شود.



| عدم انطباق (NCR) | اقدامات اصلاحی(CA) |
|---|---|
| نشتی زیاد آب‌بند. این مورد بیشتر برای آب‌بند از نوع لایه ای (shim type) رخ می‌دهد. البته قبل از اینکه مقدار نشتی را اضافی تشخیص دهید، بایستی مقداری تلرانس جهت خطاهای محاسباتی در نظر بگیرید؛ شاید تا ۱۰ درصد مقدار مشخص شده اجازه بیشتر بودن داده شده باشد. | نوارهای آب‌بندی را دوباره بررسی کنید. آیا آنها به صورت صحیح قرار گرفته و محکم شده‌اند؟ برای عوامل آب‌بندی نوع حباب، ابعاد برآمدگی را بررسی کنید. عوامل آب‌بندی را دوباره محکم و جایگذاری کرده و مجدداً بررسی کنید. |
| عملکرد غیر یکنواخت (گیر و رها کردن / ارتعاش در کار). | وجود اعوجاج احتمالی در سطوح نشیمنگاه را دوباره بررسی کنید. برای این منظور از ترازهای مناسب استفاده کنید. در صورتی که قاب دچار اعوجاج شده باشد، معمولا مجدد با گیره(jig) بسته می‌شود. البته این کار معمولا کارگاهی‌است.<br>ابتدا هرگونه اعوجاج و تغییر شکل مکانیکی آشکار را رفع کنید. شما می‌توانید اندازه عمل کننده های مکانیکی را افزایش دهید، یا فنر هارمندی محرک را به صورت آزمون و خطا، تغییر دهید (ابتدا فنرهای قوی‌تر را امتحان کنید).<br>در دریچه‌های تهویه، سعی کنید قسمتهایی که به پره گیر می‌کنند و منشا مشکل هستند را پیدا کنید. در اکثر طرح‌ها می‌توان پره‌ها را از هارمندی محرک جدا کرد، بنابراین می‌توانید آنها را به صورت مجزا آزمایش کنید. دنبال میل محور خمیده باشید؛ می‌توان آن را جایگزین کرد. بلبرینگ‌های میل محور باید از نوع خود تنظیم باشند. |
| اغلب مشکلات دیگر، که احتمالاً مرتبط با طراحی است، باید از بررسی ویژگی‌ها و مشخصه‌هایی که قبلا در این بخش و به عنوان مراحل بیشتر ذکر شد، اطمینان حاصل کرد. | به عنوان یک رهنمود کلی موارد زیر غیر قابل پذیرش بوده و احتمالا باید اجرای دریچه تنظیم باز شود.<br>پیچ‌خوردگی یا کج‌شدگی اضافی قاب یا نقص در تماس عامل آب‌بندی با نشیمنگاه. باید یک تماس کامل در پیرامون نشیمنگاه برقرار شود.<br>هر گونه سفتی و کیپ بودن در باله (یا پره)، محرک‌ها یا اهرم‌بندی. |

## لوله‌کشی و شیرها

معمولاً در همه سیستم‌های سیال، شاهد حضور لوله‌ها و شیرها هستیم. حتی در هر واحد فرآوری کوچک هم انواع مختلفی از اینها به کار می‌روند. در پروژه‌های بزرگ سکوهای نفتی فراساحلی (offshore) و واحدهای شیمیایی، روی هم رفته حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از ارزش قرارداد به این اجزا مربوط می‌شود.

### لوله‌کشی

بهترین توصیه در لوله‌کشی این است که بیش از حد در آن عمیق نشوید. در واقع لوله‌کشی دارای نظام (discipline) نسبتا پیچیده‌ای است، که در استانداردهای مختلفی به آن پرداخته شده است. استانداردهای اروپایی و آمریکایی زیادی با جزییات کامل برای اندازه و مواد لوله‌ها، همچنین اجزای مربوطه مثل فلنج‌ها و اتصالات وجود دارد. این امر ممکن است شمای پیچیده‌ای به دست دهد. اساساً معیارهای FFP برای لوله‌ها به یکپارچگی (integrity) اجزا مربوط می‌شود. بنابراین بسیاری از مسایل عمومی درباره مواد، جوشکاری و NDT که قبلا بیان شدند، در این مورد نیز صادق هستند.

علاوه بر مواردی که درباره قابلیت ردیابی مواد گفته شد، باید این نکته هم اضافه شود که برای لوله‌های کوچک معمولا قابلیت ردیابی برای هر بحر است. آزمایش‌های مکانیکی مخرب مانند سایر مواد و طبق

اصول عمومی انجام می‌شود؛ به اضافه آزمایش انبساط (flaring یا expanding) که برای اندازه‌گیری نرمی لوله‌ها به کار می‌رود. البته لوله های بزرگ مورد آزمایش خمش قرار می‌گیرند.

آزمایش هیدرواستاتیک (فشار) استاندارد یکی از آزمایش‌های رایج است که باید با نظارت حضوری بازرس انجام شود. البته باید گفت که انجام این آزمایش بر روی تمام لوله‌ها ضروری نیست و می‌تواند فقط بر روی یک لوله که به صورت تصادفی از یک بحر انتخاب شده، انجام شود. نکته بسیار مهم این است که اصولا آزمایش هیدرواستاتیک یک آزمایش برای تشخیص نشتی تحت فشار است؛ لذا نمی‌تواند جایگزین روش‌های NDT شود و برای مقایسه با حدود پذیرش عیوب نمی‌توان از نتایج آن بهره برد.

در شکل ۱۱-۱۰ نکات اصلی بازرسی لوله‌ها و شیرها جمع‌آوری شده است. از این جدول می‌توان اطلاعات سودمندی را به دست آورد. همچنین استانداردهای فنی اصلی ذکر شده‌اند. توصیه می‌شود که به این استانداردها بسیار عمیق پرداخته نشود، بلکه توجه اصلی به ارزشیابی FFP باشد.

## شیرها

آزمایش شیرها یک بخش مهم از فعالیت‌های بازرسی است. انواع مختلفی از شیرها وجود دارند، ولی اصول اساسی بازرسی آنها مشابه است. مهم‌ترین نکات بازرسی در شکل ۱۱-۱۰ آمده است؛ با این توضیح که اصلی‌ترین معیارهای FFP یکپارچگی (integrity) و مقاومت در برابر نشتی (leak tightness) است. اکثر شیرهای دارای بدنه ریختگی و اغلب سر های جوشی ؛ لذا اصول بیان شده برای مواد در فصل ۴ برای آنها به کار می‌رود. همچنین شیرها بسته به کاربردشان مورد آزمایش‌های غیر مخرب حجمی و سطحی RT، UT، PT و MT قرار می‌گیرند. اصول و روش‌های NDT در فصل ۵ آمده است.

شیرها به خوبی توسط استانداردهای فنی پوشش داده شده‌اند. عموما استانداردهای مربوطه کاملا مشخص و ساده هستند. در حالی که همان طور که گفته شد برای لوله‌ها، استانداردها دارای اطلاعات زیادی درباره طراحی هستند که به صورت مستقیم در کارهای بازرسی کاربردی ندارند. از بهترین استانداردهای شیرها می‌توان ANSI B16.34 و ANSI/FCI 70-2 را نام برد.

ANSI B16.34 یک استاندارد عمومی برای تمام انواع شیرهای فلنجی، رزوه شده و جوشی است. این استاندارد دارای بخش‌های مفید برای آزمایش‌های لازم و همچنین جداول حدود پذیرش عیوب برای روش‌های NDT است. حتی اگر در مشخصه‌ها قرارداد صریحاً به آن اشاره نشده باشد، باز هم می‌توان از اطلاعات آن استفاده کرد.

ANSI/FCI 70-2 به صورت خاص به آزمایش نشتی نشیمنگاه دیسک شیرهای کنترل کننده پرداخته است. در این استاندارد شش کلاس مجاز برای میزان نشتی نشیمنگاه دیسک (seat leakage) از کلاس I (مقدار نشتی صفر) تا کلاس VI که در آن مقدار نشتی نسبتا زیادی قابل پذیرش است، بیان شده است. از این استاندارد باید کاملاً قاعده‌مند استفاده شود و لازم است تا علت وجودی کلاس‌های مختلف درک شود.

برای آغاز بازرسی شیرها، مشاهده برگه اطلاعات سازنده برای شیرهای آزمایش شده مفید خواهد بود. سازنده‌ها تقریبا برای تمام شیرها یک برگه اطلاعات با جزییات زیاد که شامل حدودا ۱۰۰ مورد اطلاعات درباره شیر، مواد به کار رفته، NDT، کلاس نشتی و اطلاعات آزمایش است، ارائه می‌کنند. معمولا این اطلاعات بیشتر از مواردی است که در ITP می‌آید.



### معیارهای مناسب بودن برای منظور FFP

#### لوله‌کشی

معیارهای اصلی عبارتند از:
- باید عاری از عیوب باشند
و
- انتخاب مواد باید مناسب با کاربرد آنها باشد

#### شیرها

- معیار برجسته و مهم یکپارچگی و مقاومت در برابر نشتی است به اضافه عملکرد که برای شیرهای بزرگ و خودکار اهمیت دارد.

## روش آزمایش

#### لوله‌کشی

- بسته به کاربرد، آزمایش‌های غیر مخرب PT، MT، UT و RT انجام می‌شوند.
- آزمایش جریان‌های گردابی برای بازرسی حین ساخت به کار می‌رود.
- آزمایش UT مخصوصا برای یافتن عیوب تورق (lamination) در لوله‌های با جداره ضخیم مفید است.
- RT عمدتا برای اتصالات جوشکاری به کار می‌رود.

*آزمایش‌های مخرب*
- معمولا درصد ازدیاد طول و کاهش سطح مقطع اندازه‌گیری می‌شود.
- برای برخی کاربردها آزمایش انبساط، آزمایش تخت شدن (flattening) و آزمایش خمش (proof bend test) لازم است.

*آزمایش‌های فشار*
- آزمایش هیدرواستاتیک با ۱/۵ تا ۲ برابر فشار کاری.

#### شیرها

بدنه شیر مورد آزمایش هیدرواستاتیک قرار می‌گیرد.
- آزمایش‌های نشتی نشیمنگاه دیسک با آب یا هوا انجام می‌شود. نشتی صفر یا یک مقدار ماکزیمم مورد پذیرش است. در این آزمایش شیر در حالت بسته است.
- برای شیرهای بزرگ و خودکار، کارایی آنها باید بررسی شود.

## استانداردها

#### لوله‌کشی

برای انواع مختلف لوله‌کشی رایج‌ترین استاندارد مورد استفاده ANSI B31.1-B31.8 است و استانداردهای BS 3889، BS 6072، BS 3601 برای لوله‌های فولاد کربنی است.

#### شیرها

ISO 5208: آزمایش شیرهای صنعتی مورد استفاده برای اهداف عمومی.
BS EN 6053: شیرهای کنترل کننده.
API 598: بازرسی و آزمایش شیرها.

شکل ۱۱-۱۰ (a) خلاصه‌ای از بازرسی لوله‌ها و شیرها

### موارد ضروری ITP

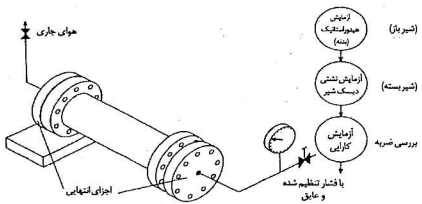
**لوله‌کشی**

- آزمایش‌ها و تاییدیه‌های مواد (EN 10 204)
- نتایج آزمایش‌های مخرب
- NDT حین ساخت
- NDT پیش از نصب به صورت نمونه‌ای (sample)
- علامت گذاری و شناسایی
- بررسی‌های چشمی و ابعادی

**شیرها**

- آزمایش‌ها و تاییدیه‌های مواد
- NDT اتصالات جوشی
- آزمایش هیدرواستاتیک بدنه
- آزمایش نشتی نشیمنگاه دیسک
- آزمایش کارآیی
- علامت گذاری و شناسایی
- بررسی‌های چشمی و ابعادی

### نمودار بازرسی




### عدم انطباق‌ها (NCR) و اقدامات اصلاحی (CA) رایج

| لوله‌کشی | شیرها |
|---|---|
| غالبا عدم انطباق‌ها به عیوب سطحی مربوط می‌شوند | نشتی نشیمنگاه دیسک |
| • باید قابلیت پذیرش با استفاده از استانداردهای ساخت بررسی شود. در صورت تردید، بایستی نمونه‌های بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. ترک‌های سطحی، غیرقابل پذیرش هستند. زیرا ممکن است باعث تخریب شوند. | مواد به کار رفته در نشیمنگاه و دیسک باید بررسی شود. باید مقادیر سختی این دو اختلاف مشخصی داشته باشد. |
| وجود اعوجاج محوری (axial distortion) باید بررسی شود. | تنظیم صحیح محورها و تغییرات نصب نسبت به نقشه باید مورد بررسی قرار گیرد. |

شکل ۱۱-۱۰ (b) خلاصه‌ای از بازرسی لوله‌ها و شیرها



## مبدل‌های حرارتی و کندانسورها

انواع مختلفی از مبدل‌های حرارتی وجود دارند که دامنه آنها از طرح‌های تحت فشار بالا برای سوخت مایع (fuel oil) یا حرارت دهی با آب تغذیه (feed water heating) تا کندانسورهای چند جزئی (multi-compartment) بزرگ برای راه‌اندازی توربین بخار می‌باشد. اصولاً بسیاری از فعالیت‌های بازرسی مبدل‌های حرارتی، مشابه با مخازن تحت فشار است. ممکن است مواد و ساخت آنها تفاوت‌هایی داشته باشند، ولی اصول و مراحل آزمایش آنها شباهت‌های زیادی با بقیه انواع دارد. در شکل ۱۱-۱۱ این موارد جمع‌آوری شده‌اند.

مهمترین معیار FFP مشابه با سایر تجهیزات سیستم‌های سیال، یکپارچگی مکانیکی (mechanical integrity) و مقاومت در برابر نشتی است. به علت عمل انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی، یک نکته بسیار مهم انجام بررسی‌های لازم بر روی موادی است که شامل سطوح انتقال حرارت هستند. چرا که در صورت وجود نقص در این مورد، عمر مبدل حرارتی به شدت کاهش می‌یابد. بایستی توجه داشت که نباید به علت شرایط کاری دما و فشار پایین، در انجام بررسی‌های لازم کوتاهی کرد.

## استانداردها

هیچ کدام از استانداردهای فنی به تنهایی تمام انواع مبدل‌های حرارتی را پوشش نمی‌دهند. در این استانداردها، به شرایط پیچیده حرارتی و مکانیکی و همچنین بخش‌های تکراری با استانداردهای مواد تاکید زیادی شده است. در کارهای بازرسی، انتخاب بخش‌هایی از اطلاعات این استانداردها که مورد نیاز هستند، اهمیت ویژه‌ای دارد. پوسته بیرونی (external shell) مبدل‌های حرارتی معمولا بر اساس یکی از کدهای مخازن تحت فشار BS 5500، ASME VIII، TRD یا مشابه آنها طراحی می‌شود. برای آزمایش مواد، جوشکاری، NDT و حدود پذیرش عیوب می‌توان از اطلاعات ساده شده‌ای که در فصل‌های ۴، ۵ و ۷ آمده، بهره برد. البته حتماً باید به نکات مربوط به هدف کدها (code intent) که در فصل ۶ (شکل‌های ۶-۱۶ و ۶-۱۷) به آن اشاره شده، توجه شود. خیلی شایع است که برای مبدل‌های حرارتی از محاسبات تنش اصلی بر اساس فرضیات و روش به کار رفته در کد مخازن تحت فشار استفاده کنند، ولی برای بقیه طراحی و همچنین فعالیت‌های ساخت و آزمایش از آن استفاده نکنند.

یکی دیگر از مشکلات مربوط به استانداردها، آشنایی و کار کردن با استانداردهای مواد غیر آهنی است. در بسیاری از مبدل‌های حرارتی در سطوح انتقال حرارت از آلیاژهای مس و نیکل استفاده می‌شود. معمولا آشنایی با اینها نسبت به استانداردهای فولاد کمتر است. مشکل از آنجا ناشی می‌شود که برخی از فلزات غیر آهنی با نام‌های تجاری سازنده آنها شناخته می‌شوند. لذا باید به تقسیم‌بندی‌های آنها توجه ویژه‌ای کرد. در عوض استانداردهای آنها صریح و روشن بوده و برای آنالیز شیمیایی و آزمایش‌های مکانیکی، اصول عمومی مشابه با استانداردهای فولادها به کار رفته است.

از آنجایی که در کار بازرسی به بررسی مواد پرداخته می‌شود و انتخاب مواد مد نظر نیست، لذا لازم نیست تا خیلی عمیق به این استانداردها پرداخته شود. در شکل ۱۱-۱۱ فهرستی از استانداردهای مفید و رایج ارائه شده است. از بین آنها کارکردن با استاندارد BS 3274 برای شروع کار راحت‌تر بوده و این استاندارد گستره خوبی را پوشش می‌دهد.

## طرح بازرسی و آزمایش (ITP)

شکل و اجزای ITP برای مبدل‌های حرارتی شبیه مخازن تحت فشار است؛ با این تفاوت که ممکن است جزییات کمتری برای مبدل‌ها لازم باشد. قابلیت ردیابی مواد برای پوسته بیرونی به گواهی‌های EN 10 204 level 2.2 (تا 3.1B) محدود می‌شود. لوله‌ها و صفحه لوله‌ها (tubeplate) باید دارای قابلیت ردیابی برای هر بحر باشند ولی حتماً باید برای آزمایش‌های مکانیکی لوله‌ها یک ITP جداگانه وجود داشته باشد.

جوشکاری و NDT اجزای بدنه مبدل‌های حرارتی نیز باید به صورت مجزا در ITP مشخص شده باشند و فرقی نمی‌کند که طراحی بر اساس یک کد کامل یا بخش‌هایی از کدهای مختلف باشد. برای بخش جوشکاری می‌توان از مدل ITP ارائه شده در فصل ۵ استفاده کرد. مبدل‌های حرارتی که برای سرد کردن آب استفاده می‌شوند (مانند کندانسورها) اغلب در طرف آب دریا دارای پوشش‌کاری با مواد لاستیکی (rubber lined) هستند. لازم است تا آزمایش و بازرسی این پوشش‌ها به صورت مجزا در ITP ذکر شود.

## روش آزمایش

آزمایش‌های مواد و NDT مبدل‌های حرارتی، مطابق فعالیت‌های مربوط به مخازن تحت فشار است. اصلی‌ترین موردی که در آن نظارت حضوری بازرس الزامی است، آزمایش هیدرواستاتیک طرف بدنه (shell side) و طرف لوله (tube side) مبدل‌ها است. به خصوص آزمایش طرف بدنه به خاطر امکان وجود نشتی در اتصالات لوله به صفحه لوله اهمیت دارد. اتصالات ممکن است به صورت اتصالات انبساطی (expanded) یا انبساطی به همراه جوش آب‌بند (seal weld) باشند. در هر دو نوع اتصال ممکن است به دلیل ایجاد اتصال ناصحیح، نشتی وجود داشته باشد. برای اتصال انبساطی لوله به صفحه لوله، انجام بازرسی مقدماتی سوراخ‌های صفحه لوله قبل از لوله‌گذاری مفید خواهد بود. در آنها نباید کشیدگی (drawing) وجود داشته باشد و قطر سوراخ‌ها و سطح داخلی نهایی آنها باید دقیقا طوری باشد که لوله‌ها به صورت صحیح و کامل جا داده شوند.

کندانسورها و مبدل‌های بزرگ که برای شرایط خلا طراحی می‌شوند، معمولا تحت فشار پایین و با هوا یا گاز خنثی مورد آزمایش نشتی قرار می‌گیرند. این آزمایش نسبت به آزمایش هیدرواستاتیک قانع کننده‌تر است؛ چرا که می‌تواند نشتی‌های ریز که آزمایش هیدرواستاتیک استاندارد قادر به تشخیص آنها نیست را شناسایی کند. بنابراین حتما باید قبل از آغاز آزمایش، روش آزمایش و مرتبه پذیرش نشتی مشخص شده و مورد توافق باشد.



در این بخش فقط آزمایش مربوط به مخازن مبدل‌های حرارتی با سیال LP پوشش داده شده است. مبدل‌های حرارتی LP اغلب شامل مخازنی می‌شوند که مانند کندانسورها تحت شرایط خلا کار می‌کنند.

### معیارهای مناسب‌بودن برای منظور (FFP)

- اصلی‌ترین معیار، یکپارچگی (integrity) است؛ به بیان دیگر مقاومت در برابر نشتی.
- عمر مفید بیشتر به مقاومت به خوردگی مربوط می‌شود. (بر اساس نوع ماده، میزان مجاز خوردگی (corrosion allowance) و پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی تعیین می‌شود).
- انطباق از نظر ساخت (manufacturing conformity)

### روش آزمایش

**آزمایش هیدرواستاتیک (فشار)**

**معمولا بر روی سطح بدنه و سطح لوله با فشار ۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر فشار طراحی برای ۳۰ تا ۶۰ دقیقه انجام می‌شود.**

**آزمایش نشتی، معمولا بر روی مبدل‌هایی که در شرایط خلا کار می‌کنند انجام می‌شود. همچنین بر روی مبدل‌ها و کندانسورهای بزرگ. روش‌های پیچیده شامل آزمایش نشعشع فرابنفش (black light) و آزمون ردیابی گاز (search-gas) هستند.**

**نکات کلیدی**

- قبل از آزمایش باید هواگیری کامل انجام شود.
- استفاده از فشارسنج‌های دوقلو (twin) کالیبره شده.
- توجه به افزایش دما، چرا که این امر می‌تواند دقت اطلاعات خوانده شده را کاهش دهد.
- پاشش رنگ سفید در شناسایی محل‌های نشتی کمک خواهد کرد.
- مایعاتی مانند نفت سفید (kerosine) نسبت به آب بسیار مولترتر خواهند بود، به شرطی که استفاده از آنها عملی و ایمن باشد. آب حتما باید دارای عامل ضد خوردگی (anti-corrosion agent) باشد.
- تجهیزات کوچک را می‌توان در تانک غوطه‌ور کرد (آزمایش حباب (bubble test)).
- از هوای با فشار پایین یا گاز با ویسکوزیته پایین استفاده می‌شود.

زمان / (افت فشار×حجم مخزن) = نرخ نشتی

برحسب (Nm/sec Watt) اندازه‌گیری و با ضمانت‌نامه مقایسه می‌شود.

### استانداردها

BS 5500 : بخش آزمایش فشار
BS 3636 : شناسایی نشتی
ASME VIII
T.E.M.A. : شامل آزمایش‌های فشار و نشتی مخصوص مبدل‌های حرارتی

ASTM E432 : روش آزمایش نشتی

ASME VIII

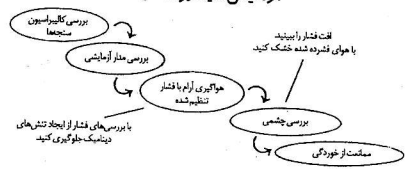
شکل ۱۱-۱۱ (a) خلاصه‌ای از نکات بازرسی مبدل‌های حرارتی

## مواد ضروری ITP برای کندانسورها

### برای کندانسورها

- گواهی آزمایش مواد برای لوله‌ها و صفحه لوله‌ها
- WPSها و PQRهای جوشکاری
- NDT در صورت ضروری بودن توسط کد.
- انبساط لوله/صفحه لوله : نمونه آزمایش
- آزمایش هیدرو استاتیک پوسته (درکارگاه)
- آزمایش خلا بر روی پوسته (در محل نصب)
- آزمایش روکش لاستیک (rubber lining) (ضخامت، چسبندگی و آزمایش جرقه (spark)
- آزمایش هیدرواستاتیک لوله‌ها (بررسی نشتی در صفحه لوله)
- بررسی چشمی و ابعادی نهایی
- بررسی رنگ‌زنی و بسته‌بندی (packing)

### آزمایش هیدرواستاتیک




## عدم انطباق (NCR) و اقدامات اصلاحی (CA) رایج

### عدم انطباق

اعوجاج مکانیکی پوسته (که با بررسی چشمی و یا با اندازه‌گیری شناسایی می‌شود).
نشتی‌های اتصال لوله به صفحه لوله.

نشتی‌های جهت‌دار. این نشتی‌ها فقط در یک جهت رخ می‌دهند و اگر از سمت دیگر فشار اعمال شود، نشتی وجود نخواهد داشت.
چسبندگی ضعیف پوشش لاستیکی، اغلب در گوشه‌ها و تغییر مقاطع.

### اقدامات اصلاحی

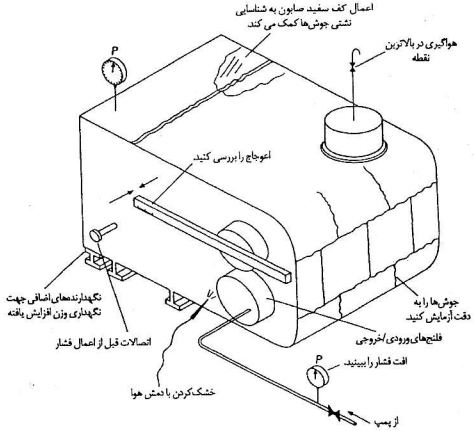
در صورت وقوع تسلیم، یک تغییر شکل دائمی رخ داده است. بنابراین راه‌حلی وجود ندارد.
در صورتی که کمتر از ۵٪ نشتی لوله باشد، می‌توان اتصال را برید و دوباره با روش انبساطی یا جوش اتصال مجدد برقرار کرد. اما اگر بیش از ۵٪ نشتی باشد، باید به دنبال یافتن مشکلات اساسی در ساخت یا جوشکاری بود. ممکن است سوراخ‌های نهایی صفحه لوله زبر باشد و یا در انتهای لوله کار سختی رخ داده باشد.

برداشتن رنگ یا پوشش و بررسی مجدد.

بررسی فرایند به کار رفته. ممکن است بتوان تصحیحات جزیی انجام داد، ولی اگر عیب به صورت گسترده باشد بهترین راه حل آماده سازی و پوشش‌دهی مجدد است.

**شکل ۱۱-۱۱ (b)** خلاصه‌ای از نکات بازرسی مبدل‌های حرارتی






**شکل ۱۱-۱۲** تست کندانسور یا LP مبدل حرارتی

## خلاصه نکات کلیدی: سیستم‌های سیال

**پمپ‌ها**

۱. خیلی از اوقات نیاز به نظارت حضوری بازرس برای آزمایش‌های پذیرش پمپ‌های گریز از مرکز است.

۲. بازرس باید آزمایش q/H و آزمایش NPSH را به خوبی درک کرده باشد (با وجود اینکه کمی مشکل است). به خاطر داشته باشید که منحنی q/H دارای یک نوار تلرانس است.

۳. بسیار مهم است که حین آزمایش بازکردن، یک بازرسی موثر صورت گیرد. باید فهرستی از مواردی که باید بازرسی شوند را آماده کرد، که این فهرست با افزوده شدن بر تجربیات شما کامل‌تر و بهتر خواهد شد.

**کمپرسورها**

۴. معمولا در کمپرسورها شرایط تحویل (delivery) به هوای آزاد (FAD) تعیین می گردد.

۵. ISO 1217 یکی از بهترین استانداردهای آزمایش می‌باشد. استاندارد BS 1571 Part 2 معمولاً برای طرح‌های تایید شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**دریچه‌های تنظیم**

۶. آزمایش‌های عملکردی و نشتی می توانند به صورت گرم انجام شود.

۷. دقت سازنده بسیار مهم است. در ابتدا باید ابعاد، چهارگوشی و درستی اتصالات بررسی شود (به جزییات توجه کنید).

**مبدل‌های حرارتی**

۸. در آزمایش هیدرواستاتیک باید دقت و توجه کافی صورت گیرد. تسلیم و اعوجاج غیر قابل پذیرش است. به یاد داشته باشید که برخی از نشتی‌ها جهت‌دار هستند.

**لوله‌ها و شیرها**

۹. انتخاب مواد باید بررسی شود. شیرها دارای آزمایش‌های هیدرواستاتیک (برای بدنه)، نشتی نشیمنگاه دیسک و آزمایش عملکردی هستند.



## فهرست منابع


1. ISO 2548: 1973 is identical to BS 5316 Part 1: 1976. Specification for acceptance tests for centrifugal mixed flow and axial pumps – Class C tests.
2. ISO 3555: 1977 is identical to BS 5316 Part 2: 1997 *Class B tests.*
3. ISO 5198: 1987 is identical to BS 5316 Part 3: 1988. *Precision class tests.*
4. DIN 1944: *Acceptance* tests *for centrifugal pumps* (VDI rules for centrifugal pumps). Verein Deutscher Ingenieure.
5. API 610: 8th Ed 1995. Centrifugal *pumps for general refinery service.* American Petroleum Institute.
6. ISO 1940/1: 1986 is identical to BS 6861 Part 1: 1987. Method for determination of permissible residual unbalance.
7. VDI 2056: 1964. Criteria for assessing mechanical vibration of machines.
8. ISO 1217: 1986, identical to BS 1571 Part 1: 1987 *testing of positive displacement* compressors *and exhausters – methods for* acceptance *testing.*
9. BS 1571 Part2: 1984. Methods simplified acceptance testing for air compressors and exhausters.
10. API 617: 5th Ed 1988. *Centrifugal compressors for general refinery* services. American Petroleum Institute.
11. API 618: 3rd Ed 1986. Reciprocating compressors general refinery services.
12. ASME PTC 10 for compressors and exhausters: 1984.
13. ISO 2372. This is identical to BS 6244: 1982. *Code of practice for stationary air compressors.*
14. ISO 2372. This is identical to BS 4675 Part 1: 1986. Basis for specifying evaluation standards for rotating machines with operating speeds from 10 to 200 revolutions per second.
15. ISO 1219-1: 1991. Identical to BS 2917 Part 1: 1993. *Specification for graphic symbols.*
16. BS EN 10 000 series. BS EN 10 001 to BS EN 10 242 provide extensive coverage of the general subject of metallic materials.
17. BS 970. Specification for wrought steels for mechanical and allied engineering purposes. Parts 1, 2, 3, and 4.
18. BS 5135: 1984. Specification for arc welding of carbon and carbon manganese steels.
19. DIN 8570 General tolerances for welded structures.
20. ISO 5167: 1980. This is identical to BS 1042 Part 1 Section 1.1: 1992. Specification for square-edged orifice plates, nozzles and venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full.
21. BS 3889 Part 1: 1990. Methods of automatic ultrasonic testing for the detection of imperfections in wrought steel tubes.
22. BS 6072: 1986. Method for the magnetic particle flaw detection.
23. BS 3601: 1993. Specification for carbon steel pipes and tubes with specified room temperature properties for pressure purposes.
24. ISO 5208: Testing of general purpose industrial valves. This covers the same subject matter as BS 6755 Part 1: 1991. Testing of valves specification for production pressure testing requirements.
25. BS EN 60 534/2/3 1993. Industrial process control valves – test procedures.
26. API 598 6th Ed 1990. Valve inspection and testing.
27. ASME/ANSI B16.34 1988. *Valves, flanged, treated and welding end.* The American Society of Mechanical Engineers.

28. ANSI/FCI 70-2 1982. *American National Standard for control valve seat leakage.* The American National Standards Institute.
29. BS 3274: 1960. Specification for tubular heat exchangers for general purposes.
30. BS 3636: 1985. Methods for proving the gas tightness of vacuum or pressurized plant.
31. ASTM E432. Guide for selection of a leak testing method.
32. TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association): 1985. Standards *for design and construction of heat exchangers*

# فصل ۱۲

# جرثقیل‌ها

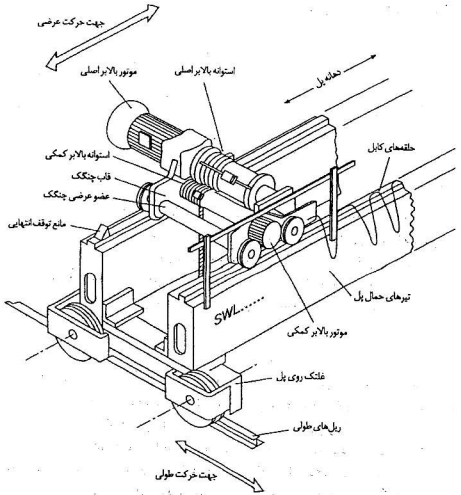
در یک پروژه نیروگاهی یا شیمیایی جرثقیل های سقفی اصلی ترین تجهیزات بلند کردن اشیا می باشند که ممکن است از شما بخواهند آنها را بازرسی نمایید. موارد دیگری مانند جرثقیلهای زنجیری، بالابرهای مسافر و مخزن و جرثقیل های متحرک وجود دارد ولی معمولاً به آنها به اندازه جرثقیل های سقفی اصلی توجه نمی‌شود. برخی پیمانکاران جرثقیل ها را به عنوان یک مورد اختصاصی هر سازنده در نظر می گیرند. اما در واقع جرثقیلها دراکثر کشورها تحت الزامات قانونی بسیار سختی قرار دارند و صدور گواهینامه برای آنان بخوبی تعریف شده است. به همین دلیل، جرثقیل ها براساس استانداردهای توسعه یافته فنی که مبتنی بر تجربه ای طولانی می باشند ساخته می شوند.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور(FFP)

لازم است که به معیارهای FFP جرثقیلها با توجه به نقششان به عنوان تجهیزات تحت پوشش الزامات قانونی نگاه شود. کنترل های قانونی به شما کمک می کند تا بر روی اینکه واقعاً FFP چیست تمرکز کنید. قوانین مقرر و الزامات که در طی دوره ای طولانی تدوین شده اند حاصل بازخوردهای تجربی و دانش فنی می باشند. شکل ۱ـ۱۲ تصویری از معیارهای سه گانه اصلی FFP را نشان می دهد که در ادامه نیز توضیح داده شده اند. به عنوان یک قانون کلی برای تجهیزات تحت الزامات قانونی، معیارها شاید آنطور که در تصویر نشان داده شده است از یکدیگر جدا نباشند. در استانداردها اجتماع الزامات وجود دارد؛ به عنوان نمونه الزامات فنی یک استاندارد می تواند در بر گیرنده الزامات قانونی و معیار ایمنی و عملکرد باشد، بنابراین خیلی خشک به آنها نگاه نکنید.

### طبقه‌بندی طراحی

جرثقیل های سقفی یک سیستم طبقه بندی طراحی دارند که توسط ISO و اکثر سازمانهای استاندارد دیگر پذیرفته شده است. هدف آن تعریف دقیق وظیفه مورد انتظار جرثقیل و تهیه یک چهارچوب برای توافق فنی بین خریدار و سازنده است. این طبقه بندی طراحی یک ابزار ارزشمند برای کار بازرسان شده است، که تعداد زیادی از معیارهای فنی را در چند مقوله طراحی به تفصیل بیان می کند، بنابراین بازرسان می توانند به سادگی یک بررسی سریع ولی موثر از طراحی انجام دهند. همیشه بررسی طبقه بندی طراحی جرثقیلها اولین قسمت از ارزیابی FFP است. در ادامه در این فصل نشان داده می شود که سیستم طبقه‌بندی چگونه کار می کند.



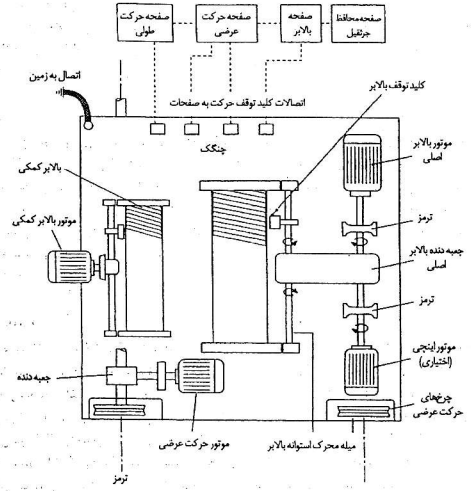

**شکل ۱۲ـ۲** یک جرثقیل سقفی ـ طرح فنی

اصلی را نشان می‌دهد. مهمترین مکانیزم، چیدمان سیم پیچ‌هاست. طبلک سیم پیچ معمولاً براساس یک استاندارد مخزن تحت فشار (ASME,BS و غیره) ساخته می‌شود. زیرا تنش فشاری زیادی در اثر پیچش طناب تحت بار به طبلک وارد می‌شود.

شیارهای طناب براساس پروفیل و فاصله طراحی شده با دقت زیاد ماشینکاری می‌شوند. توجه داشته باشید که راهنمای طناب- قرقره شیاردار (sheave) و دو "چرخ راکد" وقتی که بار کاملاً برداشته یا اعمال می‌شود، روی استوانه قرار می گیرند. یک سلول بار یا سگدست (اهرم) مکانیکی از بلند کردن بار اضافه جلوگیری می‌کند. هم چنین یک مکانیزم «تماس قلاب (hook approach)» وجود دارد تا از نزدیک شدن خیلی زیاد قلاب به استوانه جلوگیری کند، این مکانیزم با محدودکردن موقعیت محوری راهنمای طناب کار می‌کند و قابل تنظیم است.

موتورهای الکتریکی جداگانه‌ای برای بالابرنده اصلی، بالابرنده کمکی، (مقدار کمی از ظرفیت بلندکردن



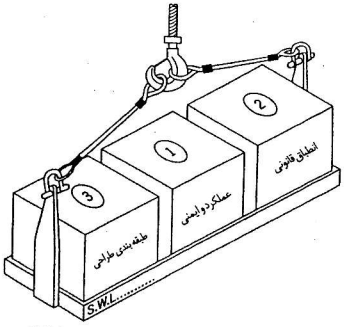



**شکل ۱۲ـ۳** مکانیزم‌های جرثقیل

معمولاً روی همان چرخهای خرچنگی سوار می‌شود) و حرکت طولی و حرکت عرضی وجود دارد. برخی اوقات یک موتور اینچی اضافی بر روی بالابرنده اصلی وجود دارد تا (به عنوان مثال) در هنگام بلندکردن روتورهای توربین سنگین، بار را به‌آهستگی حرکت دهد. تمام این موتورها ترمزهای اصطکاکی دارند که علامت اصلی ایمنی جرثقیل است، ترمزهای موتورهای بلندکننده از نوع گریز از مرکز هستند. تمامی ترمزها براساس اصل «fail-on» کار می‌کنند و برای توقف حرکت مربوطه در زمان کوتاه مشخصی طراحی شده‌اند. دستگاههای برقی محافظ مختلفی بر روی موتورهای الکتریکی و مکانیزمهای مختلف نصب شده است.

## طبقه‌بندی طراحی جرثقیل (و چگونگی بررسی آن)

علیرغم برخی از ضعفهای فنی ذاتی، بدون تردید توصیه می‌شود که طبقه بندی طراحی جرثقیل را به عنوان یکی از معیارهای اصلی FFP در نظر بگیرید. هدف مشخص از طبقه بندی طراحی، فراهم کردن یک




**شکل ۱۲ـ۱ جرثقیل‌ها ـ مناسب‌بودن برای منظور (FFP)**

## عملکرد و ایمنی

ساده ترین راه فکر کردن در مورد عملکرد وایمنی اینست که معیارهایی می باشند که باید پس از اینکه طراحی از تمام مراحل بررسی گذشت، مورد توجه قرار گیرند. عملکرد اینست آیا جرثقیل می تواند بار طراحی خود را با سرعت مشخص و بدون کج شدن اضافی یا تغییر شکل پلاستیک بلند کند، سپس باید اثبات شود که جنبه های ایمنی که تقریباً در تمام جرثقیلها مشترک می باشند درست کار کنند. مهمترین آنها ترمزها و دستگاههای محدودکننده حرکت-بار هستند. توجه کنید که همه این آزمایشها نمی توانند در هنگام کار سازندگان انجام شوند، بلکه برخی از آنها باید پس از نصب در عمل انجام گیرند.

## انطباق قانونی

در اکثر کشورها، شرایط قانونی ایجاب می کند که جرثقیلها بوسیله بازرسان مستقل (third party) یا جوامع رتبه بندی تائید شوند. ابزارهای قانونی که این الزامات را تحمیل می کنند کاملاً ساده به نظر می‌رسند، اما اگر کمی با دقت بیشتر آنها را مرور کنید می بینید قدرت آنها از طریق اعمال استانداردهای طراحی می باشد. این استانداردها برای جرثقیل ها نسبت به دیگر انواع تجهیزات، بیشتر حالت تجویزی دارند. برای گرفتن تائیدیه همچنین لازمست که روی جرثقیل آزمایشهایی مشخص انجام گیرد و قابلیت ردیابی مواد و کنترل ساخت اثبات شود. برای خیلی از تجهیزات توجیه نحوه ارتباط الزامات قانونی با FFP آسان نیست، اما در مورد جرثقیل ها شما می‌توانید براین دیدگاه که بین این دو یک رابطه نزدیک وجود دارد تکیه کنید.



این موضوع، کارها را مقداری ساده تر می‌کند. جنبه‌های الکتریکی نیز یک قسمت از الزامات تائید جرثقیل را تشکیل می‌دهند.

زمینه های اصلی عبارتند از:

- ترتیب جداسازی (Isolation arrangements)
- توقف اضطراری و دستگاه‌های کنترل
- نوع و آزمایشات موتور
- میزان و شرایط عایق بندی

## اطلاعات فنی پایه‌ای

انواع و طرحهای مختلفی از جرثقیلهای سقفی وجود دارد (که در ISO4301-1/BS466 نشان داده شده است). خوشبختانه استانداردها اصول و صورتهای مهندسی بسیار مشابهی را فراهم می آورند. حتی بین انواعی که از لحاظ ظاهری کاملاً متفاوتند. شکل های ۱۲-۲ و ۱۲-۳ ویژگیهای فنی اصلی که در یک جرثقیل هوایی خواهید یافت را نشان می‌دهند. در این مورد، یک نوع جرثقیل متحرک سقفی دارای دو تیر حمال نشان داده شده است. می‌توانیم به برخی از این ویژگیها بطور دقیق و جزئی نگاه کنیم.

## سازه

بزرگترین عضو تحت تنش، پل جرثقیل است که اغلب از سازه‌ای با دو تیر حمال تشکیل شده است. تیرهای حمال از مقاطع جعبه ای محکم (ساخته شده با جوشهای نفوذ کامل) تشکیل شده اند. به نوع تنش بر روی این اعضا توجه کنید، این تنش از نوع خمش ساده است زیرا تکیه گاههای ساده ای بوسیله چرخهای خرچنگی(crab wheel) و پل ایجاد شده است. واضح است که حداکثر تنش کششی روی فلنج پایینی تیرهای حمال اتفاق می‌افتد. از این نکته به عنوان راهنما استفاده کنید تا بدانید در کدام آزمایشهای غیرمخرب حضور داشته باشید. هنگامی که جرثقیل بار کاری ایمن (SWL)[1] خود را بلند می‌کند، حداکثر خم شدن عمودی، 1/750 دهانه پل می‌باشد. محاسبات طراحی از SWL به عنوان نقطه مرجع استفاده می‌کنند. غلتک نقاله انتهایی پل یا چرخهای نسبتاً کوچکی طراحی می‌شود (کمتر از یک هفتم دهانه جرثقیل)، بنابراین مستحکمتر است و اعوجاج آن اهمیت کمتری دارد. چرخهای خرچنگی نیز نسبتاً مستحکم است ولی در معرض بارهای اینرسی اصلی زیادی قرار دارد. بنابراین سازه از تعداد زیادی پایه های کمکی و مقاطع ضخیم تشکیل شده تا در برابر تنش مقاومت کند. این جزء(سازه) علاوه بر جوشهای نفوذ کامل که برای ساختن قاب اصلی بکار می‌روند، شامل تعداد زیادی جوشهای گوشه (سپری) تحت بار می‌باشد.

## مکانیزم ها (عوامل مکانیکی)

مکانیزمهای جرثقیل، علی رغم اینکه در استفاده مداوم قرار ندارند ولی در معرض بارهای استاتیک زیاد و یکسری شرایط دینامیک غیرقابل پیش بینی عمدتاً ناشی از بارهای اینرسی هستند. شکل ۱۲-۳ اجزای

1- Safe Working Load

چهارچوب فنی مرجع بین خریدار و سازنده است، به طریقی که جنبه های مهم طراحی جرثقیل را در بر بگیرد. این کار کمک می‌کند تا طراحی و شرایط کارکرد پیش بینی شده با هم سازگار شوند. جنبه مهم اینست که این کار آنالیز خستگی را نیز لحاظ می‌کند. (خستگی علیرغم اهمیتش اغلب در طراحی دیگر انواع تجهیزات نادیده گرفته می‌شود).

## اصول

سیستم رایج طبقه بندی با جزئیات در ISO 4301 بیان شده است، که در استاندارد طراحی تنش با جزئیات بیشتر BS2573 قسمت ۱و۲ نیز به آن اشاره می‌شود. انتظار دیدن این سیستم طبقه بندی را بصورت استفاده رایج در مشخصه های قراردادی برای نیروگاه‌ها، تاسیسات فراوری شیمیایی و صنایع مربوط به فولاد داشته باشید. اصل مهم اینست که سازه جرثقیل، شامل تیرهای حمال (از تیر ورق) پل و قاب قلاب، انواع مختلفی از مکانیزم‌های جرثقیل (قسمتهای گردان و اجزای اتصال یافته) داشته باشند. این بدان معنی است که شما می‌توانید نوع سازه را جدا از نوع مکانیزم مشخص کنید. بین این دو وابستگی مستقیمی وجود ندارد.

## کلاس سازه

کلاس سازه (شماره A1 تا A8 ) از ترکیب دو عامل طراحی، استفاده (U1 تا U9) و میزان بارگذاری (Q1 تا Q9) مشخص می‌شود. فاکتور استفاده مربوط به تعداد دوره های کاری بلند کردن توسط سازه جرثقیل می‌شود و محدوده اش بین اعداد ترجیحی 3200 سیکل (U1) تا $4\times10^6$ سیکل و بالاتر (U9) قرار دارد. فاکتور میزان بارگذاری به فرکانسی که سازه SWL را تجربه می‌کند، بر می‌گردد. Q1 وقتی است که جرثقیل بار SWL را بطور نامعمول بلند می‌کند و Q4 وقتی است که بار SWL را بصورت منظم بلند می‌کند. شکل ۱۲-۴ این فاکتورها را بصورت تصویری نشان می‌دهد. موقعیت‌های فرضی طبقه بندی سازه‌های معمول جرثقیل که شما با آنها برخورد خواهید داشت، نشان داده شده اند.

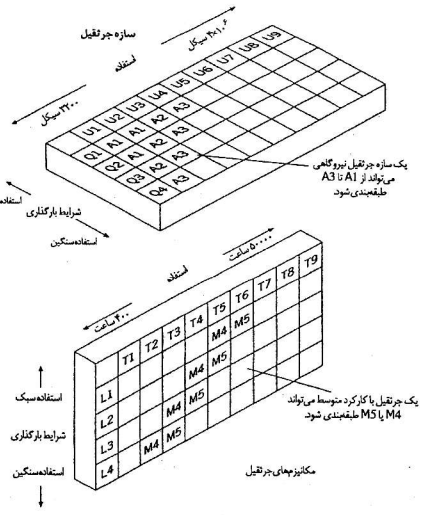
## نوع مکانیزم

این از اصل مشابه ولی با حروف متفاوتی استفاده می‌کند (شکل ۱۲-۴ مشاهده شود). نوع مکانیزم (M3 تا M9) بوسیله فاکتور استفاده (که در اینجا با T1 تا T9 مشخص شده) و میزان بارگذاری (L1 تا M9 ) و میزان بارگذاری (L1 تا L4 ) تعیین می‌شود. برای مکانیزمها، فاکتور استفاده براساس ساعتهای کاری عمر مورد انتظار (400 ساعت برای T1 تا 50000 ساعت برای T9) است، نه دوره‌های (سیکلهای) کاری.

فاکتور میزان بارگذاری بر همان اساسی است که برای سازه‌ها نیز استفاده شد. بواسطه این سیستم ساده طبقه بندی، بررسی موثر طراحی جرثقیل ممکن می‌شود. قبل از بازدید از کارخانه از راهنمایی های زیر استفاده کنید.

- طبقه بندی سازنده را در برابر الزامات نوع مکانیزم و ساختار در مشخصه قراردادی بررسی کنید. شما می‌توانید یک تخمین سریع از استفاده و میزان بارگذاری بدست آورید با درک کاربرد مورد نظر جرثقیل، ولی با جزئیات اطلاعات تنش در BS2573 (قسمت اول) درگیر نشوید.






برای جزئیات بیشتر به ISO 4301-1(BS 466) رجوع کنید.

**شکل ۱۲-۴ چگونگی طبقه‌بندی یک جرثقیل**

- سعی کنید و تصمیم بگیرید که کدام مکانیزم «ضعیفترین اتصال» را ارائه می‌کند و فقط کمی بیشتر به طبقه بندی طراحی آن توجه کنید. فکر کنید که سازنده چه کاری باید می‌کرد تا به شما ثابت کند که طراحی براساس M3 یا M4 است (نکته: به مفهوم فاکتور کاری مکانیزم "G" در BS2573 Part2 توجه کنید). یک لیست از پرسشها قبل از نظارت بر آزمایشهای جرثقیل در کار تهیه کنید. شکل ۱۲-۴ را با خود داشته باشید.

مواظب باشید خیلی دور نشوید. بازرسی موثر در مورد تایید FFP است، نه طراحی جرثقیلهای بزرگتر یا بهتر.

## ضمانت های پذیرش

شکل ضمانت های پذیرش باید الگوی نوع مورد استفاده در اغلب مشخصه های قراردادی را دنبال کند. این استاندارد پذیرش عمومی معمولاً ISO4301-1 است که بوسیله داده های اجرایی مختص قرارداد تعریف می‌شود.

سرعتهای نشانه (شاخص) و داده های مربوط به جرثقیل محفظه توربین ۱۳۰ تنی نشان داده شده است تا شما بدانید انتظار چه چیزی را داشته باشید:

- سازه جرثقیل مناسب با الزامات طبقه بندی گروه A1
- مکانیزم مناسب الزامات طبقه بندی گروه M3 (برای بالابرنده ها، تیر عرضی و حرکت طولی )
- بارکاری ایمن 130 تن- جرثقیل باید قابلیت بلند کردن 125 درصد از SWL را در وسط دهانه تیرهای حمال پل مطابق ISO4301-1 داشته باشد.
- سرعت کارکرد (با تلورانس10 ± درصد):
  - بالابرنده اصلی: 1.25 m/min
  - حرکت چنگک : 20 m/min
  - حرکت طولی : 30 m/min
- حداقل فاصله نزدیکی قلاب : 1.5 m
- حرکت عمودی مورد نیاز برای قلاب : 17 m
- حداقل ضریب ایمنی طناب (fos) بیشتر از 6 .
- حداکثر فاصله ترمز کردن:
- حرکت طولی: 40 mm
- حرکت عرضی: 40mm
- بالابرنده: 15mm

توجه کنید که برای جرثقیل محفظه توربین نیروگاه، این یک مثال سبک است. برخی جرثقیل ها طبقه بندی طراحی بالاتری از آنچه گفته شد، خواهند داشت.

## مشخصه‌های فنی و استانداردها

در چند صفحه قبلی وارد استانداردهای فنی اصلی شدیم. تکنولوژی جرثقیل به سرعت توسعه نمی یابد، بنابراین استانداردهای فنی موجود، تقریباً الزامات خریداران و سازندگان را یکسان برآورده می‌کنند.

ISO4301-1 به محتوای BS466 (مشخصه فنی برای جرثقیلهای متحرک هوایی موتورهای نیروگاهی) ارجاع می‌دهد. این بهترین استاندارد عمومی صنعت است و تقریباً تمام چیزهایی که لازمست بدانید را به شما می‌گوید. این استاندارد برخی جنبه های طبقه بندی و طراحی را پوشش می‌دهد ولی روی آزمایش کردن تمرکز دارد. این استاندارد اشاره مستقیمی به استاندارد BS2573 برای جزییات بیشتررا دارد.

قوانین BS2573 برای طراحی جرثقیل ها به دو بخش تقسیم می‌شوند. قسمت 1 یک سند قطور با اطلاعات جزئی درباره محاسبات تنش و معیارهای طراحی برای اعضای سازه ای جرثقیل است. این قسمت اطلاعات مربوط به طبقه بندی سازه ها را که در ISO4301-1 آمده است، تکرار می‌کند. بقیه اطلاعات کاملاً



تخصصی هستند و اعمال آنها در مورد جرثقیل در صورتی که با طراحی سازه آشنا نباشید، مشکل است. BS2573 استاندارد خوبی است ولی تنها استانداردی نیست که برای بازرسی لازم است. قسمت 2 مکانیزمها را پوشش می‌دهد، که ساده تر است ولی باز برای اکثر موقعیتهای بازرسی ضروری نیست. وقتی سئوالهای طراحی پیش می‌آید، از آن استفاده کنید. این قسمت بصورت تجربی توسعه یافته و پایه درست و معتبری دارد.

*Federation Europiene de la Manutention Rules for the design of hoisting appliances*: این یک استاندارد فرانسوی است که بیشتر به عنوان «آیین نامه های FEM» شناخته می‌شود. قسمتی که بیشتر مربوط به جرثقیلهای سقفی می شود، قسمت ۱ (تجهیزات بالابرنده سنگین) است. سند FEM معمولاً در کشورهای اروپایی استفاده می‌شود، که غالباً یک سری از قوانین طراحی است (که بر خلاف BS2573قسمت اول نیست)، که بر روی جنبه های ساختاری (سازه ای) تمرکز می‌کند.

BS1757 (مشخصه‌ای برای جرثقیلهای متحرک Power-driven): همانگونه که از اسم این استاندارد مشخص است، این استاندارد فقط برای جرثقیلهای متحرک می‌باشد.

BS2853 (مشخصه ای برای طراحی و آزمایش تیرهای متحرک فولادی هوایی) که فقط در مورد ریلهای جرثقیل که از فولاد نوردی ساخته شده اند، بکار می‌رود. برخی بازرسی ها ممکن است مستلزم آزمایش کردن ریلها باشند و شما باید استانداردی را برای پیروی آسان پیدا کنید، البته با کاربردهای محدود.

دو استاندارد که قابل کاربرد در اکثر جرثقیلها هستند عبارتند از: BS2903 (مشخصه ای برای قلابهای فولادی جرثقیل با استحکام کششی زیاد) و BS302 که طنابهای فولادی را پوشش می‌دهد. این استانداردها شامل اطلاعات ساده ولی مفید در مورد آزمایش مواد و قلاب هستند.

ممکن است شاهد اینها نباشید ولی اسناد مکتوب باید یک قسمت از الزامات مستند سازی را تشکیل دهند.

## طرح‌های بازرسی و آزمون (ITPs)

ITP ها برای جرثقیلها عموماً با جزئیات بیشتر و دقیقتر از سایر تجهیزات هستند. نیاز به تائید قانونی بر روی تمام قسمت‌های درگیر با طراحی و اجرای ITP به طریق مثبتی فشار اعمال می‌کند. از نقطه‌نظر بازرس، ITP یک ابزار عالی است، بنابراین ارزشمند است که توجه مخصوصی به برخی از جزئیات ریزتر انجام گیرد. برخی از نکاتی که فعالیت‌های بازرسی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، عبارتند از:

- ITP معمولاً به قسمت‌های تشکیل‌دهنده جرثقیل تقسیم می‌شود. اعضای سازه‌ای، استوانه و تجهیزات الکتریکی باید بخش مربوط به خود را داشته باشند.
- نقاط بازرسی حضوری (Witness Points) که روی ITP نشان داده شده‌اند باید شامل موارد مربوط به تأیید بازرس مستقل باشند. مطمئن شوید که فعالیت ارزیابی طراحی نشان داده شده باشد، اگر بعنوان یک الزام قانونی درخواست شده باشد.
- موارد اختصاصی خریداری شده مثل قلاب، طناب‌های سیمی و سیستم ترمز وجود خواهد داشت. این‌ها نیز شامل الزامات تأیید قانونی می‌شوند، بنابراین مقرراتی باید وضع شود تا الزامات تأیید صحیح را برای تأمین کنندگان فرعی نیز مشخص کند.

| اجزاء | بررسی | اسناد مرجع | استاندارد پذیرش | شاهد M | شاهد C | شاهد TP |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مواد اجزای پل | ۱۰۰٪ التراسونیک<br>بازرسی چشمی | BS 5996 | BS 5996 | × | | × |
| ساخت (شاهپر، غلتک انتهایی و استوانه بالابر) | مرور رویه‌های جوشکاری | EN 267/288 | EN 287/288 | | | |
| | ۱۰۰٪ التراسونیک | BS 5500 | BS 5500<br>جدول 7.5 .(2) | × | × | × |
| | ۱۰۰٪ MPI | BS 5500 | BS 5500<br>جدول 7.5 .(3) | × | × | × |
| | بررسی ابعادی/چشمی | نقشه‌ها | مطابق نقشه‌ها | × | × | |
| ریسمای سیمی اجزاء بلندکننده | تست اطمینان | BS 302 | BS 302 | | | × |
| | مرور کل مدارک | مشخصات فنی مواد | مشخصات فنی | × | | × |
| | | | | × | | |
| کنترل موتورها | تست کاری | ISO 4301-1 | ISO 4301-1 | × | × | |
| اجزایی مانند: چرخ‌ها، ریل‌ها، شاقت‌ها و چرخ‌دنده | تست نصب<br>مرور کل مدارک | مشخصات فنی و ISO 4301-1 | مشخصات فنی و ISO 4301-1 | × | | × |
| قلاب | تست بار اطمینان | BS 970 | BS 970 (یا گواهی تست نوع) | × | | × |
| | تست مواد | BS 970 | | | | |
| | بررسی ابعاد | BS 970 | | | | |
| مونتاژ جرثقیل | بازرسی ابعادی/چشمی<br>مرور مدارک موقتی | نقشه‌های GA | چک لیست | × | × | × |
| مونتاژ جرثقیل | مرور راه‌اندازی سیک | ISO 4301-1 | | × | × | × |
| | بررسی کاری | ISO 4301-1 | | × | × | × |
| | تست بار بیش از اندازه | ISO 4301-1 | | × | × | × |
| | بررسی نصب مرور | ISO 4301-1 | | × | × | × |
| | گواهی‌نامه نهایی | ISO 4301-1 | | × | × | × |

**شکل ۱۲-۵** ITP جرثقیل

- الزامات قابلیت ردیابی مواد زیاد است. این الزامات در قسمت‌هایی از ITP مربوط به فعالیت‌های شناسه‌گذاری مواد و علامتگذاری، منعکس خواهند شد. برخیITP ها ممکن است مکانیزم قابلیت ردیابی جداگانه‌ای برای محموله مواد که از انبار سازنده بیرون کشیده می‌شود، مشخص کنند. شکل ۱۲-۵ یک نمونه ITP برای جرثقیل را نشان می‌دهد.

## رویه‌ها و تکنیک‌های آزمایش

بجز جرثقیل‌های بسیار بزرگ، اکثر جرثقیل‌ها می‌توانند به طور مؤثر در کارگاه سازنده آزمایش شوند. برخی محدودیت ها نیز (بر اساس اندازه) وجود دارند که می‌توانند شبیه‌سازی تعدادی از فاکتورها را ضروری کنند ولی اثر کمی بر اعتبار ارزیابی FFP دارند. از آنجایی که جرثقیل‌ها تحت تأیید قانونی قرار دارند، معمولاً



چندین گروه بازرسی باید شاهد آزمایش‌ها باشند (در فصل ۲ این کتاب برخی راهنمایی‌های کلی در این‌باره شده است که مرور آن‌ها درباره آزمایشات جرثقیل مفید است). به عنوان یک مقدمه بر آزمایشات توصیه می‌شود که طبقه‌بندی طراحی را مرور کنید. عاقلانه است که مطمئن شوید بازرسان مستقل نیز این کار را انجام می‌دهند. بررسی طراحی را به عنوان یک تمرین آشنایی با طراحی جرثقیل مورد آزمایش تلقی کنید، منافع این کار خود را در محتوای گزارش فنی نشان خواهد داد.

## آزمایش چشمی و ابعادی

آزمایش چشمی و ابعادی می‌توانند قبل یا بعد از آزمایش بارگذاری روی جرثقیل انجام شود. در عمل، اندازه‌گیری‌های مهم پس از آزمایش بارگذاری به عنوان قسمتی از بررسی تغییر شکل پس از آزمایش، بهتر انجام می‌شود. انجام آزمایش ابعادی و چشمی بعد از بارگذاری همیشه مفید است ولی اصولاً مراحل کار آزمایش را با برخی بررسی‌های چشمی و ابعادی شروع کنید. این کار به شما کمک می‌کند که با ترکیب و شکل جرثقیل آشناتر شوید. حداقل بررسی‌هایی که باید انجام دهید به شرح زیر است:

### دهانه

اندازه دهانه پل جرثقیل (bridge wheel span) مهم است و باید کاملاً مطابق نقشه باشد. اندازه مهم، فاصله مرکز به مرکز غلتکهای روی پل است، که باید دقت بیش از ±3mm داشته باشد تا با تلورانس‌های معادل مورد استفاده در تراز کردن ریل طولی سازگار باشد.

### فاصله تا سقف (Roof clearance)

یک جرثقیل هو ایی طبق تعریف در نزدیکی سقف ساختمان کار می‌کند و طوری طراحی می‌شود تا به سازه و لوازمی مثل چراغ‌ها و کانالهای تهویه گیر نکند. ابعاد فاصله تا سقف را که در نقشه چیدمان کلی (GA) آمده بررسی کرده و مطمئن شوید که هیچ برجستگی روی خود جرثقیل وجود نداشته باشد که از این ابعاد تجاوز کند.

### طول کنترل آویز (Pendant)

جرثقیل به محض نصب شدن از کف توسط یک کنترل آویز، کنترل خواهد شد. طول کامل آویز نصب شده را بررسی کنید. باید به حد کافی بلند باشد تا به ارتفاع مشخص آویز آنگونه که در نقشه چیدمان کلی نشان داده شده است برسد.

### دقت در ساخت

دقت تیرهای حمال اصلی پل را چک کنید، به ویژه وقتی که از نوع تیر جعبه‌ای (box-girder) باشند. در مورد راست بودن و چهارگوش بودن سازه سرهم شده، تلورانس‌های نقشه ساخت را دنبال کنید. می‌توانید یک بررسی مقدماتی با چشم به صورت نگاه کردن در طول تیرهای حمال انجام دهید، ولی حداقل تغییر شکل (خمش) که می‌توانید با اطمینان توسط این روش تشخیص دهید، احتمالاً بهتراز حدود 30-40mm

در هر ۱۰ متر طول تیر نخواهد بود. این حد اطمینان کاملاً خارج از تلورانس‌های قابل پذیرش است. بهترین راه، استفاده از نوار فولادی برای اندازه‌گیری فاصله بین سطوح داخلی دو تیر در چندین نقطه در امتداد طول تیرها می‌باشد. این کار تخمین بهتری از راست بودن صفحه افقی می‌دهد. چک کردن راست بودن عمودی ساده‌تر است. شما می‌توانید اندازه‌گیری‌ها را از سطح پایینی هر تیر تا کف (سالن) انجام دهید. مطمئن شوید که در این حالت باری بر روی پل نباشد.

## رنگ

قطعات جرثقیل از لحاظ رنگ زدن به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول قطعات بزرگ (قاب چنگک، قاب‌های غلتک انتهایی و تیرهای حمال پل) که معمولاً توسط خریدار در دستور خرید مشخص می‌شود. 200-250 میکرون عرف رایج برای ضخامت رنگ است.

پوشش بالایی (نهایی) حدوداً همیشه زرد روشن می‌باشد. از راهنمایی‌های فصل ۱۴ در هنگام بررسی رنگ زدن این قسمت‌ها استفاده کنید. دسته دوم قطعات کوچکتر مثل موتورها و قسمت‌های اجزای بالا برنده هستند که اغلب از تأمین کنندگان فرعی خریداری می‌شوند. بررسی کنید که آن‌ها با الزامات رنگ تعیین شده مطابق باشند و ضخامت لایه خشک (dft)[1] خیلی کم یا نوع رنگ متفاوت نداشته باشند. به رنگ زدن جرثقیل‌های مورد استفاده در ساختمان‌های تأسیسات فرآوری شیمیایی توجه ویژه‌ای به عمل آورید. شرایط محیطی در نزدیکی سقف ممکن است برخی اوقات شدیداً خورنده باشد. این شرایط باعث ضعف در سیستم‌هایی که رنگ‌آمیزی نامناسب یا ضعیف دارند، می‌شود.

## آزمایش عایق‌بندی

استانداردهای فنی و سازمان‌های تأیید کننده مقرر کرده‌اند که آزمایش عایق‌بندی بر روی تمام اجزای الکتریکی نصب شده روی جرثقیل انجام شود. در عمل، این کار معمولاً روی مو تورها و صفحات الکتریکی پس از نصب صورت می‌گیرد.

آزمایش کاملاً ساده است، یک ولتاژ dc دو برابر ولتاژ مقرر اعمال شده و مقاومت تا زمین اندازه‌گیری می‌شود. حداقل مقاومت مجاز 0.5 MΩ است. اطمینان حاصل کنید که آزمایش در شرایط خشک انجام می‌گیرد. هم‌چنین می‌توانید یک آزمایش چشمی بر روی عایق‌ها در مورد آسیب مکانیکی انجام دهید؛ توجه خاصی به هادی‌ها که طول پل و دو حلقه کابل آویز کنترل که جرثقیل را حرکت می‌دهند داشته باشید.

## آزمایش راه اندازی سبک

این یک آزمایش بدون بار است و هدفش بررسی عملکرد سیستم‌های کاری و ایمنی مختلف قبل از کارکردن جرثقیل تحت شرایط بارگذاری است. توجه کنید که این ضرورتاً یک مساله ایمنی است. در صورت لزوم عملکرد سیستمها تحت بار می‌تواند بررسی شود. برخی سازندگان آن را به این طریق انجام می‌دهند. آزمایش شامل موارد زیر می‌باشد:

1- Dry Film Thickness



## بررسی سرعت

موتور بالا برنده، موتور حرکت چنگک و موتور حرکت طولی (به طور مجزا) به کار انداخته می‌شوند تا بررسی شود که آیا به خوبی دنده می‌خورند و سرعت حرکت مورد نیاز در مشخصه قرار داد را فراهم می‌کنند یا نه. اگر سرعت‌ها مشخص نشده باشند مقادیر قابل قبول را در ISO 4301-1 پیدا کنید. نکات ویژه و قابل توجه عبارتند از:

- دور موتور در هر دو جهت را بررسی کنید، شامل سرعت بالا و پایین و سرعت اینچی، بالا برنده. از یک نوار اندازه‌گیری و کرنومتر برای اندازه‌گیری تمام سرعت‌های حرکت و بالا بردن استفاده کنید.
- تلورانس معمول ±10 درصد در سرعت‌های مجاز است. سرعت‌های ترجیحی که در ISO 4301-1 آمده، خیلی باز می باشند، بنابراین اختلاف‌های کوچک بعید است که مهم و بحرانی باشد. سرعت‌ها بهتر است ترجیحاً خیلی آهسته باشند تا خیلی سریع (این مخصوصاً برای حرکت‌های طولانی قابل کاربرد است زیرا سرعت خیلی زیاد می‌تواند نیروهای اینرسی وارده را وقتی که چنگک یا پل در حین حمل کامل SWL توقف می‌کنند، به طور قابل توجهی افزایش دهد).
- در اکثر جرثقیلهای بزرگ، سرعت به دو روش آزمایش می‌شود. در یک روش غلتک با ریل در تماس بوده و در طول آن حرکت می‌کند. روش دیگر اینست که زیر غلتک بصورت معلق می‌ماند و دیگر در تماس با ریل نیست، دور خود می‌چرخد و حرکت طولی ندارد، از اینرو بررسی سرعت حرکت طولی ممکن نیست. تحت این شرایط به سادگی سرعت چرخش چرخ‌ها را در بیش از 30 ثانیه اندازه گرفته و سرعت طولی آن را محاسبه کنید.

## آزمایش نزدیکی قلاب

کارگاه باید فضای کافی داشته باشد تا بتوان آزمایش نزدیکی قلاب را انجام داد. بالابرنده به سمت بالا با سرعت کم به دور خود می‌پیچد تا وقتی که ترمز گردش بالا برنده به کار افتد و نیرو را از موتور جدا نماید. توجه داشته باشید که این ترمز توسط یک سوییچ قابل تنظیم است (که با استفاده از یک سوزن محوری قابل تنظیم بر روی راهنمای طناب بالا برنده کار می‌کند) بنابراین پس از آزمایش مطمئن شوید که دستگاه پوشیده شود تا از تنظیم خارج نشود. حداقل فاصله قابل پذیرش نزدیکی قلاب در مشخصه قرارداد یا طرح‌های فنی یا برگه اطلاعات فنی بیان شده است.

## ارتفاع بالا بردن

اگر سازنده جرثقیل از تأسیسات آزمایش (test rig) کوتاه استفاده کند، اندازه‌گیری مستقیم ارتفاع بالا بردن (hoisting height) امکان‌پذیر نخواهد بود. می توان ارتفاع بالا بردن را از تعداد دورهای طناب بر روی استوانه بالا برنده محاسبه نمود. به نکات زیر توجه کنید:

- از قطر موثر پیچیدن استوانه بالا برنده استفاده کنید (که به وسیله موقعیت مرکز طناب مشخص می‌شود)، نه قطر خارجی استوانه یا فلنج.
- تمام استانداردهای طراحی جرثقیل مقرر کرده‌اند که دو دور کامل طناب روی استوانه به عنوان «دورهای مرده» در نظر گرفته شوند. این بدان معنی است که باید دو شیار (Sheaves) خالی وقتی

که قلاب در حداقل فاصله نزدیکی است، وجود داشته باشد و دور پیچ کامل طناب وقتی که قلاب کاملاً پایین رفته، روی استوانه قرار داشته باشد. شما نباید این «دورهای مرده» را در محاسبه ارتفاع بالا بردن لحاظ کنید.

## عملکرد ترمز

ترمزها بر روی بالا برنده‌ها، مکانیزم‌های حرکت افقی و حرکت عرضی نصب می‌شوند. کارایی ترمز فقط در هنگام آزمایش بارگذاری کاملاً اثبات می‌شود، ولی آزمایش راه‌اندازی سبک یک فرصت خوب برای آزمایش عملکرد مکانیزم ترمزهاست. موارد زیر را بررسی کنید:

- *حالت از کار افتادن (Fail-Safe mode).* ترمزها باید وقتی که منبع برق قطع می‌شود از کار بیافتند.
- *عملکرد آزاد.* هیچ‌گونه درگیری ترمزی برای جرثقیل در حالت بی ترمزی نباید وجود داشته باشد. شما می‌توانید درگیر بودن ترمز را از صداهای اضافی یا گرم شدن محفظه ترمز که با جریان بالا در موتور مربوطه همراه است، تشخیص دهید. اکثر ترمزهای استوانه قابل تنظیم هستند.

## آزمایش عملکرد SWL

این مهمترین آزمایش اثبات عملکرد جرثقیل است. بار آزمایش یک بلوک بتنی در یک قاب فولادی می‌باشد. انتظار داشته باشید که سازنده یک طرح داشته باشد که وزن هر یک از اجزای بلند کردن (قاب، زنجیرها و غیره) را نشان می‌دهد تا نشان دهد که از SWL کلی صحیح استفاده می‌کند. یک وزنه کوچکتر مجزا برای بالا برنده کمکی لازم است. آزمایش شامل عناصر زیر می‌باشد:

### بالا و پایین بردن

بار چندین بار در نزدیکترین حالت ممکن به محدوده حرکت عمودی مشخص در محل آزمایش بالا و پایین برده می‌شود. نکات مهم و قابل توجه عبارتند از:

- ابتدا با سرعت کم بار را بالا ببرید و اجازه ندهید که بار خیلی نوسان کند (تاب بخورد).
- عملکرد ترمز را بررسی کنید. توقف کردن باید در هر دو جهت به نرمی صورت گیرد. نباید هیچ لرزش خاص هنگام توقف بار، وجود داشته باشد. فاصله توقف را با استفاده از یک نوار اندازه‌گیری یا یک علامت با گچ بر روی استوانه بالا برنده تخمین بزنید. توجه خاصی به بدترین حالت یعنی وقتی که بار پایین آورده می‌شود، داشته باشید و مراقب هرگونه لغزش ترمز باشید. به عنوان یک راهنما، حداکثر لغزش ترمز نباید بیش از 8mm-7به ازای هر m/min سرعت بالا بردن باشد.
- آزاد شدن ترمزها را بررسی کنید. ترمزها باید وقتی که جریان برق دوباره برقرار می‌شود به آسانی آزاد شوند. جریان موتور را دوباره بررسی کنید و به صداهای اضافه گوش دهید.
- آزمایش بالا بردن بهترین موقعیت برای بررسی هرگونه مشکل آشکار جرثقیل است؛ همان بررسی‌هایی که برای آزمایش بار اضافه نشان داده شد را به کار برید. توجه داشته باشید که لازمست بررسی‌ها دوبار انجام شوند، ابتدا در طول آزمایش SWL و سپس دوباره در طول آزمایش



بار اضافه. این کار خوبی نیست که فقط یک‌بار این آزمایش‌ها را در آزمایش بار اضافه انجام دهید؛ اگر مشکل ترک خوردن یا تسلیم شدن اتفاق بیافتد، دانستن این‌که مشکل در حین آزمایش SWL یا اضافه بار وجود آمده مفید خواهد بود.

### حرکت طولی و عرضی

حرکت های طولی یا عرضی جرثقیل باید تحت شرایط SWL آزمایش شود. حرکت طولی معمولاً به طور کامل نمی‌تواند آزمایش شود زیرا تجهیزات آزمایش در بهترین حالت شامل یک مقطع طولی کوتاه از ریل است و البته این یک مسئله رایج است. نکات مهم برای بررسی عبارتند از:

- مطمئن شوید که چنگک بیش از چندین بار با حرکت عرضی طول پل آزمایش می‌شود. یک حرکت عرضی همیشه برای نشان دادن همه مشکلات کافی نیست.
- دقت مسیر چنگک و ریل‌های پل را بررسی کنید (شکل ۱۲-۶ را ببینید). می‌توانید این کار را با استفاده از نوار اندازه‌گیری یا سنجه حسگر (feeler gage) دقیق انجام دهید. مهم است که مطمئن شوید فواصل در نقاط مختلف در طول ریل یکسان هستند؛ این نشان می‌دهد که ریل مستقیم و راست است.

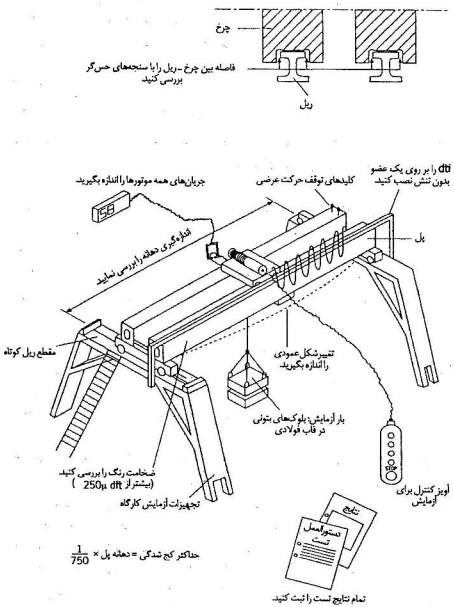
تلورانس‌های قابل پذیرش برای تغییر شکل ریل کاملاً کوچک هستند (در شکل۱۲-۷) برخی مقادیر تقریبی نشان داده شده است)، زیرا عدم تراز بودن باعث سایش بسیار سریع ریل در حین استفاده می‌شود در نتیجه چنگک در برخی موقعیت‌ها (اکثراً در انتهای پل) حرکت ناپایدار خواهد داشت.

- عملکرد محدوده‌های توقف حرکت عرضی چنگک را بررسی کنید. اینها معمولاً یک میکروسوئیچ ساده هستند. هم‌چنین باید متوقف کننده‌های فیزیکی یا ضربه‌گیر وجود داشته باشد که اگر سوئیچ محدود کننده خراب شد آن‌ها حرکت عرضی چنگک را متوقف کنند. ضربه گیرها باید با دقت قرار داده شوند تا چنگک به هر دو متوقف کننده یک زمان برخورد کرده و بار ضربه پخش شود.
- به دقت به چنگک پس از یک حرکت کامل در حین توقف نگاه کنید. برای این‌کار لازم خواهد بود که به بالای جرثقیل بروید. مشاهده آن از زمین فایده کمی خواهد داشت. بررسی کنید که نیروی اینرسی چه اثری بر روی لوازم چنگک دارد. نباید هیچگونه پرش چنگک روی ریل‌ها یا حرکت قابل مشاهده عوامل مکانیکی بالابردن که به چنگک پیچ شده‌اند، وجود داشته باشد، هنگامی که بار تاب می‌خورد. همه چیز باید به طور مطمئن محکم و پیچ شده باشد.

### اندازه گیری تغییر شکل

معمولاً تغییر شکل عمودی پل را تحت SWL اندازه می‌گیرند، همانگونه که توسط استاندارد طراحی مقرر شده است. برخی اوقات تغییر شکل عمودی تحت اضافه بار نیز اندازه‌گیری می‌شود. تغییر شکل را در وسط دهانه پل با استفاده از ساعت مدرج (dti)[1] اندازه بگیرید.

1- Dial Test Indicator

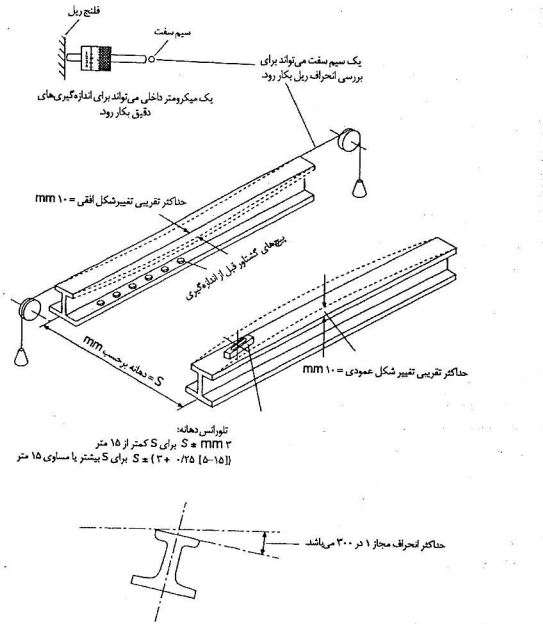



**شکل ۱۲ـ۶** آزمایش بار جرثقیل

شکل ۱۲ـ۶ چیدمان کلی را نشان می‌دهد. یک آزمایش خوب باید متشکل از نکات زیر باشد:

- خواندن (موقعیت) بدون تغییر شکل باید وقتی که چنگک در یک انتهای پل قرار دارد، انجام شود.
- میزان تغییر شکل را بلافاصله پس از بلند کردن بار اندازه گیری نکنید. بار را چند بار بالا و پایین ببرید و یک دقیقه صبر کنید یا به مقداری که سازه ساکن شود، صبر کنید و سپس تغییر شکل را اندازه‌گیری نمایید.






**شکل ۱۲ـ۷** چگونگی اندازه‌گیری صاف‌بودن ریل

- ضروری است که یک نقطه مرجع ثابت برای چیزی که بر ساعت مدرج روی آن قرار می‌گیرد داشته باشید. نقطه سوار شدن ساعت مدرج نباید به هیچ طریقی به سازه تحت تنش متصل شود. در غیر اینصورت قرائت میزان تغییر شکل بدون معنی خواهد بود (مقدار اندازه‌گیری شده کمتر از مقدار واقعی خواهد بود). معمولاً بهتر است که سعی کرده و ساعت مدرج را بر روی پله دسترسی یا مشابه آن نصب کنید. یک روش مشکل‌تر، اندازه‌گیری فاصله عمودی از سمت زیرین پل تا برخی نقاط مرجع روی کف

زمین است. اگر سازنده اصرار به انجام آن از این طریق دارد، با دقت بیاندیشید که آیا از دقت اندازه‌گیری‌های انجام شده قانع هستید یا نه.

- دوباره بررسی کنید که چنگک هنگام اندازه‌گیری تغییر شکل دقیقاً در وسط دهانه پل، قرار داشته باشد. باید یک علامت مرجع به وضوح حکاکی (استمپ) شده موجود باشد. اگر علامت وجود ندارد قبل از آزمایش، یکی درست کنید تا آزمایش را بتوان با دقت پس از نصب در محل انجام داد.
- میزان تغییر شکل عمودی تحت SWL باید حداکثر یک هفتصد و پنجاهم دهانه (فاصله مرکز به مرکز ریل طولی) باشد. هر چیز بیشتر از این یک عدم انطباق مهم خواهد بود.

## آزمایش اضافه بار

استانداردهای طراحی جرثقیل و اکثر مشخصه‌های قراردادی یک آزمایش اضافه بار در 125 درصد SWL را مقرر می‌کنند. این آزمایش به عنوان یک آزمایش اثبات کننده برای ضرایب ایمنی که در طراحی مکانیکی به کار رفته و صحت سازه و عوامل مکانیکی ساخته شده می‌باشد. وظیفه شما به عنوان بازرس در حین آزمایش اضافه بار این است که به سه چیز دقت کنید: تسلیم شدن ( تغییر شکل پلاستیک)، ترک خوردن و شکستگی. به طور شگفت‌انگیزی هیچکدام از این‌ها به راحتی پیدا نمی‌شوند، آن‌ها خودشان را فقط در بررسی با یک روش مناسب نشان می‌دهند. بار دیگر این محدوده‌ای نیست که شما بتوانید از یک روش بررسی کلی استفاده کنید. دو نکته اولیه را در نظر بگیرید:

- *چک لیست ها.* شما نمی‌توانید بدون داشتن فهرست بررسی که در آن نواحی جرثقیل که در حین آزمایش اضافه بار مورد بررسی قرار می‌گیرند، به طور کامل جرثقیل را بازرسی کرده و سپس به طور مؤثر گزارش دهید. هیچ دلیلی وجود ندارد که سازنده یکی از آن‌ها (فهرست بررسی) که به قدر کافی جامع باشد برای شما تهیه کند. یک فهرست بررسی خوب تمام اجزای تحت تنش اصلی سازه و عوامل مکانیکی گردان را پوشش خواهد داد.
- *بازکردن*[1]. برخلاف سایر تجهیزات، جرثقیل‌ها معمولاً نیاز به آزمایش باز کردن اضافی پس از آزمایش اضافه بار ندارند. ولی شما باید دو منطقه را بازرسی نمایید: قطار دنده‌های حرکت برای مکانیزم بالا بردن (آماده درخواست برای برداشتن پوشش‌های بازرسی برای بررسی شکست دندانه‌ها ی دنده باشید) و جوش‌های داخلی تحت تنش تیرهای حمال پل (ممکن است برداشتن دریچه‌های بازرسی یا صفحات پوشش روی مقاطع جعبه پل ضروری باشد).

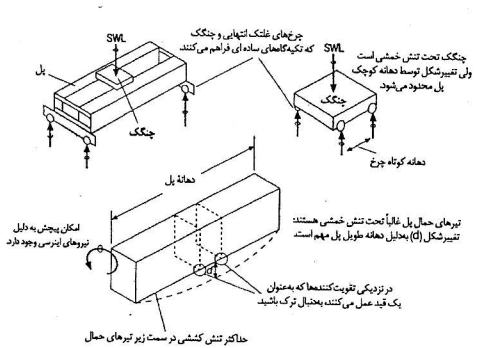
آزمایش اضافه بار شامل بلند کردن وزن 125 درصدی SWL برای تحت تنش استاتیک قرار دادن سازه است. توجه کنید که استانداردهای جرثقیل مستقیماً مشخص نکرده‌اند که آزمایش اضافه بار باید قابلیت مقاومت سازه در برابر بارهای دینامیک (اینرسی) ناشی از حرکت در شرایط اضافه بار را آزمایش نماید. ضرایب تمرکز تنش دینامیک می‌توانند بسیار بزرگ باشند بنابراین مراقب بارهای اینرسی باشید. استفاده از سرعت‌های کم برای بالا بردن و حرکت و صبر کردن برای توقف نوسان بار قبل از شروع حرکت بعدی قابل پذیرش است. شما می‌توانید تغییر شکل عمومی را در حین آزمایش اضافه بار را اندازه بگیرید ولی این عموماً یک معیار پذیرش و یا رد نیست.

1- Strip down



آزمایش باید شامل یک سری کامل از بالا بردن، حرکت (عرضی) چنگک و در صورت عملی بودن برای تاسیسات آزمایش (test rig)، حرکت‌های طولی باشد. در طول آزمایش و پس از آن مورد به مورد به فهرست بررسی خود مراجعه کرده و یک بازرسی چشمی کامل از تمام قطعات تحت تنش به عمل آورید. بررسی دقیق تنش به سرعت نواحی دارای تنش‌های کششی و برشی زیاد را مشخص می‌کند. برای مقاطع سازه‌ای چنگک و پل، نواحی تمرکز تنش مانند پنجه (toes) جوش گوشه (به ویژه در لچکی های تقویت کننده که در معرض تنش برشی متقاطع بر محور جان تیر هستند)، محلهای تغییر ضخامت مقطع ماده از ضخیم به نازک و گوشه های تیز تقاطعی هستند که ممکن است در آن‌ها ترک پیدا کنید. نبشی ها و قطعات تقویتی که در گوشه بسته شان حفره (Mouse- holes) ندارند نیز از نواحی معمول (برای تمرکز تنش) هستند (شکل ۱۲-۸ را ملاحظه کنید). برخی نکات مفید عبارتند از:

- اطمینان حاصل کنید که قبل از آزمایش جوش‌های گوشه تمیز هستند، تا بتوانید هرگونه ترک بعدی را مشاهده کنید. رنگ زدن خیلی ضخیم که جوش را محو می‌کند فکر خوبی نیست، این کار ترک‌ها را مخفی می‌کند.
- شما می‌توانید درخو است نمایید نواحی بحرانی آزمایش مایعات نافذ رنگی (PT) شوند تا معلوم شود در آن‌جا هیچ ترکی وجود ندارد. اگر آزمایش PT در دسترس نبود، یک روش مفید تمیز کردن جوش و اعمال یک پوشش نازک گرد (dust) از اسپری روکش سلولز سفید (در قوطی اسپری پاشش) این یک گرد و غبار ریز است و در چند ثانیه خشک می‌شود. این رنگ نازک ترک‌های کوچک را بیشتر آشکار می‌کند، هم‌چنین برای کمک به تشخیص هرگونه حرکت بالا برنده اصلی بر روی پایه‌هایش مفید است. ولی این فقط یک روش جایگزین دم دستی است و در شرایط معمول واقعاً نمی تواند جایگزین آزمایش مایعات نافذ رنگی یا ذرات مغناطیسی باشد.
- تشخیص تسلیم شدن ( تغییر شکل پلاستیک) مشکل‌تر است به ویژه اینکه اگر تا جایی پیشرفت نکرده باشد که منجر به ترک یا شکست شود. تنها روش کمّی تشخیص این نوع تسلیم به وسیله اندازه‌گیری مستقیم قطعه قبل و بعد از بارگذاری است. در عمل، به دلیل اندازه اجزای جرثقیل هوایی در مقایسه با دقت اندازه‌گیری (با استفاده از نوار یا خط‌کش مستقیم)، تنها تسلیم شدنی که می‌توانید با اطمینان آنرا مشخص کنید مربوط به تیرهای حمال پل می شود. چنگک کوچکتر و مستحکمتر است بنابراین تغییر شکل‌های کوچک اندازه‌گیری شان مشکل‌تر است. مطمئن شوید برای تیرهای حمال در طول بررسی تغییر شکل، مقدار اندازه گیری ساعت مدرج وقتی بار برداشته می‌شود به صفر برمی‌گردد. این کار کمی اطمینان می‌دهد که پل در محدوده الاستیک بارگذاری شده و تسلیم رخ نداده است.
- دندانه‌های چرخنده حرکت ضریب ایمنی بالایی مانند برخی قطعات سازه‌ای جرثقیل ندارند. این یک موضوع خاص است به ویژه اگر طراحی مکانیزم در دسته M3 یا M4 باشد. شما باید تمام دندانه‌های چرخنده حرکت‌های اصلی را برای یافتن شکست بازرسی کنید. هدف، جستجو برای شکست دندانه‌ها یا ترک‌های قابل مشاهده است. معمولاً اگر مشکلی در دندانه‌های چرخدنده وجود داشته باشد، باید انتظار داشته باشید که دندانه‌ها به دلیل تنش بیش از حد یا بار ناگهانی کاملاً شکسته یا لب‌پر شده باشند، (شما به دنبال ساییدگی یا هرگونه مکانیزم شکست که به علت دوران چرخ دهنده است نیستید).




**شکل ۱۲ـ۸** تنش‌ها بر روی اجزای جرثقیل

- نمایش بارگذاری: اگر ابزاری برای نمایش بارگذاری نصب شده باشد، باید به طور صحیح اضافه بار را در حین آزمایش مشخص کند. این را به دقت بررسی کنید. این یک نکته ایمنی مهم است.
- پس از اتمام آزمایش، شیارهای طناب را بر روی استوانه بالا برنده بررسی نمایید. به دنبال سایش آشکار لبه‌های شیار باشید که نشان دهنده این می باشد که مکانیزم راهنمای طناب به طور صحیح تنظیم نشده است.
- پوسته پوسته شدن رنگ روی تمام اجزا را دوبار بررسی کنید. پوسته پوسته شدن علامت تنش‌های زیاد است. تنها استثنای ممکن ، تیر حمال پل است به ویژه وقتی که یک تیر با مقطع تک جعبه‌ای (Single box) یا نوع offset cab باشد که گاهی درجرثقیل های سبک استفاده می‌شود. این‌ها ممکن است در محدوده الاستیک خود دچار پیچش و باعث پوسته پوسته شدن خفیف رنگ در گوشه‌های مقطع جعبه حول محور وسط دهانه شوند. این می‌تواند قابل پذیرش باشد ولی تغییر شکل عمودی را با دقت اندازه بگیرید تا مطمئن شوید تسلیم رخ نداده است. طراحی‌های با دو تیر حمال پل مقطع جعبه‌ای (نوعی که در شکل ۱۲-۲ نشان داده شده است) نباید آنقدردچار پیچش شده یا تغییر شکل دهند که منجر به پوسته پوسته شدن رنگ گردند.

توجه دوباره به اهمیت کامل کردن فهرست بررسی (چک لیست) ارزشمند است. در این‌جا به طور هدفمند یک مثال ارائه نشده زیرا بهتر است خودتان فهرست بررسی برای خود درست کنید. بهترین نوع فهرست بررسی، فهرستی است که شما را تشویق می‌کند تا نظریات خود را هم وارد لیست کنید نه فقط درجدولی علامت بزنید. بهترین مزیت یک گزارش با جزئیات بیشتر در حادثه شکست یک جرثقیل پس از



نصب است. آنوقت یک سند موثق از آنچه واقعاً در طول بازرسی مورد بررسی قرار گرفته، موجود خواهد بود. سعی کنید فهرست بررسی جرثقیل خود را تا آن‌جا که می‌توانید کامل و جامع تهیه کنید. یک فهرست بررسی ضعیف (یا عدم وجود فهرست بررسی) بعضی اوقات بعنوان اجتناب از مسئولیت انجام مشاهدات مهم ولی مشکل در مورد FFP است.

این که چرا برخی سازندگان نمی‌توانند تمامی آزمایش‌ها (به جز حرکت طولی که قبلاً به توجیه عدم انجام آن اشاره شد) را در کارگاه انجام دهند و آنرا موکول به انجام در محل نصب می نمایند قابل تفکراست. عوامل دخیل معمولاً طول پل و میزان بار مورد نیاز آزمایش هستند- اما واقعاً فقط باید گفت برخی سازندگان امکانات به حد کافی بزرگ برای آزمایش را در اختیار ندارند.

## عدم انطباق ها و اقدامات اصلاحی رایج در مورد جرثقیل ها

| عدم انطباق | اقدام اصلاحی |
|---|---|
| سرعتهای ناصحیح | به خاطر داشته باشید که سرعتها تلورانس ±10 درصدی دارند. انحرافهای مرزی تا وقتی که خارج از محدوده گسترده ذکر شده در BS 2573 Part 2 نباشند، خیلی اهمیت ندارند. تفاوتهای جزئی می توانند برای مجوز ارفاقی مورد درخواست قرار گیرند. سازنده را در این مورد حمایت کنید. در گزارش خود روشن کنید که در نظر اول احساس می‌کنید که ارفاق باید جایز شمرده شود یا خیر. |
| عملکرد ناقص سوییچهای محدودکننده یا سایر لوازم الکتریکی کوچک | این مشکل احتمالاً بوسیله نقصهای جزئی در چیدمان سیم کشی بوجود می‌آید، به دلیل جریان زیاد هم می‌تواند باشد. باید یک گزارش عدم انطباق ارائه کنید ولی مطمئن شوید که به لیست اصلاح که با سازنده به توافق رسیده اید ارجاع داده اید. اصلاح می‌تواند در محل و در حین نصب کردن نهایی انجام شود. بازرس مستقل (third party) را قانع کنید که این عیبی نیست که اثری بر تائید قانونی داشته باشد. |
| طراحی جرثقیل نمی‌تواند تائید شود. | این یک معیار اساسی FFP است که یک گزارش عدم انطباق (NCR) نیاز دارد. آنرا بنویسید زیرا شما کار را بعهده سازنده گذاشته‌اید تا طبقه بندی طراحی را تشریح کند؛ سپس آنچه را می‌توانید در بحث با طراحان سازنده هنگامی که هنوز در محل کار هستید انجام دهید. حداکثر نکات ممکن را روشن کرده و از مذاکرانتان یک صورت جلسه دقیق تهیه کنید. یک طراح خوب به شما پیشنهاد می‌کند که به دقت نکاتی را که مربوط به سازه و مکانیزمهاست جدا کرده تا سردرگم نشوید. می‌توانید در حدی که کاربرد دارد به بندهای موجود در ISO4301-1/BS 466 و BS 2573 قسمتهای یک و دو رجوع کنید. |
| مستندسازی ناقص | مستندسازی یک مسئله مهم است زیرا جرثقیل یک وسیله (تحت الزامات) قانونی است. بازرس مستقل به طور صحیح با خودداری از تائید کردن تحت این شرایط عمل می‌کند. اولاً اینکه کدام مستندات موجود نمی باشند را با استفاده از فهرست ITP به عنوان مرجع دقیقاً مشخص کنید. سپس گزارش عدم انطباق خود را با همکاری بازرس مستقل تهیه کنید، با اطمینان از اینکه در این موارد توافق دارد،تا بتوانید بطور کتبی در گزارش بیان کنید که کدام مستندات موجود نمی باشد. به سازنده ها فرصت بدهید تا مستندات را کامل کنند و به آنها (کتباً) بگویید مستندات را به چه کسی ارسال کنند. |
| ترمزهای ضعیف | آزمایشات جرثقیل را ادامه داده، مثل آنکه هیچ مشکل مستندسازی وجود ندارد و نتایج را همانگونه که انجام داده اید، یادداشت کنید.<br>ممکن است یک راه استراتژیک بیابید که به شما کمک کند فصول ۲ و ۳ را مرور کنید تا آنچه لازم دارید را دوباره به خاطر بیاورید.<br>این عیب معمولاً فقط نیاز به تنظیم کردن دارد بنابراین در ابتدا گزارش عدم انطباق را مطرح نکنید. بر روی تنظیم (ترمزها) نظارت مستقیم انجام داده و بدون تاخیر دوباره آزمایش کنید.<br>ولتاژ بالا بردن سیم پیچهای ترمز را بررسی و در گزارش خود به آن اشاره کنید. |
| ناهمتراز بودن ریل پل | اگر سایش مکانیکی واضحی بر روی ریلها مشاهده کنید آنگاه عدم تراز بودن جدی است. شما باید:<br>یک گزارش عدم انطباق (NCR) ارائه کنید.<br>شرایط فلنجهای چرخ را هم گزارش کنید.<br>سعی کنید با سازنده بی درنگ به توافق برسید که آیا ریلها یا چرخها (یا هر دو) نیاز به تعویض دارند یا نه. اگر عدم تراز بودن کوچک است؛ به عنوان مثال فقط با اندازه گیری دقیق مشخص می‌شود. آنگاه این چنین کنید: |



## عدم انطباق ها و اقدامات اصلاحی رایج در مورد جرثقیل ها

| عدم انطباق | اقدام اصلاحی |
|---|---|
| | یک گزارش عدم انطباق صادر کنید که در آن تهیه گزارش مقایسه اندازه گیری های تراز بودن واقعی ریل با حدود موجود در ISO 4301-1 بر عهده سازنده گذاشته شده باشد. هنگامی که در محل کار هستید شاهد اندازه گیری های واقعی باشید. یک طرح از نتایج تهیه کنید، آنرا امضا کرده و برای انجام مقایسه به سازنده تحویل دهید. آنها را تشویق کنید که منتظرید این کار را انجام دهند.<br>از هیچ گزارش عدم انطباقی دست نکشید مگر اینکه کاملاً راضی شوید. به سختی راضی شوید ولی غیرمنطقی نباشید. |
| تغییر شکل زیاد پل (بیش از 1/750 دهانه) | آزمایش را دوباره تکرار کرده و به دقت روش اندازه گیری توجه کنید.<br>اگر آزمایش مجدد تغییر شکل اضافه را تائید کرد آنگاه:<br>* به دنبال محلهای شکستگی، تسلیم شدن یا تقویت کننده‌ها (stiffeners) به عنوان یک دلیل آشکار باشید.<br>اگر تسلیم یا شکستگی آشکاری وجود نداشته باشد، احتمالاً یک مشکل جدی طراحی موجود است. یک راه حل سریع برای آن وجود نخواهد داشت. یک گزارش عدم انطباق ارائه کرده و شکست را توضیح دهید و یک گزارش طراحی تشریح کننده تطابق با BS 2573 را درخواست کنید. بار دیگر بازرسان مستقل را در این مورد درگیر کنید.<br>* درخواست یک مجوز ارفاقی نکنید. |
| تسلیم شدن، ترک خوردن یا شکست سازه یا مکانیزمها در طول آزمایش SWL با اضافه بار | مرحله ۱: بر آورد میزان عیب<br>با تمام بخشها در مورد میزان و طبیعت آسیب به توافق برسید. سعی کنید توضیحتان در مورد شکست (Failure)، دقت فنی داشته باشد (فصل ۱۵ این کتاب را مطالعه کنید).<br>مرحله ۲: بررسی طراحی<br>یک بررسی سریع روی طراحی انجام دهید با استفاده از راهنمایی هایی که در این فصل ذکر شد.<br>مرحله ۳: بررسی مواد<br>هر چه زودتر بتوانید امکان استفاده از مواد ناصحیح را محدود کنید بهتر است. گزارش های قابلیت ردیابی مواد را بررسی کنید؛ بازرس مستقل احتمالاً در این زمینه کاملاً ماهر خواهد بود.<br>توجه: اگر گزارشهای مواد اغفال کننده (درهم و برهم) بود به فصل دوم کتاب، بخش «پرسیدن و گوش دادن» مراجعه کنید. شما می‌توانید آن روشها را در اینجا امتحان کنید.<br>مرحله ٤: درخواست از سازنده برای گزارش طراحی<br>سپس با استفاده از اطلاعات مراحل فوق، یک گزارش عدم انطباق دقیق و مختصر بنویسید. |

## خلاصه نکات کلیدی: جرثقیل‌ها

۱. اصلی ترین معیارهای FFP برای جرثقیلهای هوایی عبارتند از:
- مناسب بودن طراحی (طبقه بندی)
- عملکرد و ایمنی
- انطباق قانونی

۲. تجهیزات بلند کردن اشیاء تحت تاثیر الزامات قانونی قرار دارند یعنی تائید گروه سوم (بازرسان مستقل) لازمست. انتظار داشته باشید که جرثقیلهای هوایی تحت بازنگری رسمی طراحی، بازرسی مستقل در حین ساخت و الزامات مستندسازی جامع باشند.

۳. جرثقیلها به خوبی تحت پوشش استانداردهای(BS 466) ISO 4301-1 , BS 2573 قسمتهای ۱و۲ هستند. اکثر مشخصه های قراردادی به اینها ارجاع خواهند داد.

۴. یک سیستم ساده طبقه بندی طراحی وجود دارد که می‌توانید استفاده از آن را یاد بگیرید. سازه های جرثقیل با A و مکانیزمها با B طبقه بندی می‌شوند.

۵. آزمایشات شامل یک آزمایش عایق گذاری، آزمایش راه اندازی سبک (برای بررسی عملکرد)، آزمایش اجرا در ۱۰۰ درصد SWL، آزمایش تغییر شکل پل و آزمایش اضافه بار در ۱۲۵ درصد SWL می‌شود.

۶. شما نیاز به تهیه یک فهرست بازرسی آزمایش اضافه بار برای خود دارید؛ تا یک رهیافت ساختاری برای مشاهداتتان به شما بدهد.

۷. اگر هر گونه شکست، ترک یا تسلیم وجود داشت از درخواست امتیاز(برای سازنده) حمایت نکنید. تشخیص تسلیم شدن در برخی اوقات می‌تواند مشکل باشد.



## فهرست منابع


1. ISO 4301-1: 1984. This is technically equivalent to BS 466: 1984. Specification for power driven overhead traveling cranes, semi-goliath and goliath cranes for general use.
2. BS 2573: Rules calculations and design cranes part 1: 1983. Specification for classification, stress calculations and design criteria for structures. BS 2573 part 2: 1980 Specification for classification, stress calculations and design mechanism.
3. Federation Europeian de la Manutention. Design rules section I and IX.
4. BS 1757: 1986. specification for power-driven mobile cranes.
5. BS 2853: 1957. Specification for the design and testing of steel overhead runway beams.
6. Bs 2903: 1980. Specification for higher tensile steel, hooks for chains, slings, blocks and general engineering purposes.
7. BS 302 Parts 1 to 8. Stranded steel wire ropes.

فصل ۱۴

# روکشدهی (Lining)

## روکشدهی با لاستیک (rubber lining)

تعدادی از مشکلات نامتجانس در مولدهای نیرو، واحدهای املاح‌گیری (desalination) و فراوری به دلیل تخریب روکشهای لاستیکی ایجاد می‌شود. این تخریب‌ها اغلب در زمان‌های غیر منتظره، شاید ۶ تا ۱۲ ماه پس از آغاز به کار واحد اتفاق می‌افتند. چراکه در این تجهیزات از روکشدهی جهت افزایش مقاومت به خوردگی و/یا سایش استفاده می‌شود تا بتوان مواد ارزان‌تر را جایگزین مواد گران کرد. در مخازن و تجهیزات بزرگ نیز از روکشدهی استفاده می‌شود؛ و نکته قابل توجه این است که در این کاربردها تعمیر روکش زمان و هزینه زیادی را تحمیل خواهد کرد. لذا با توجه به اهمیت روکشدهی در این فصل به این موضوع پرداخته شده است.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور (FFP)

بیش از ۹۰ درصد علل تخریب روکشها، به کاربرد غیر صحیح آنها مربوط می‌شود. کافی است تنها یک خطای کاربردی وجود داشته باشد تا آب‌بندی بین جریان سیال فرسایش‌گر و فلز پایه آسیب‌پذیر دچار تخریب شود. سپس پدیده‌های اصلی خوردگی، سایش و تخریب به سرعت و پی در پی رخ خواهند داد؛ و در برخی جریان‌های سیال طی فقط چند روز تخریب نهایی اتفاق می‌افتد. به همین دلیل توجه به معیارهای مناسب بودن برای منظور برای روکشدهی در مواقعی که به فلز پایه، روکش اعمال می‌شود ضروری است. به کارگیری نگرش ساده شده‌ای که بدان اشاره خواهد شد، کار بازرسی را برای شما تسهیل خواهد کرد. در این نگرش، بازرس به دنبال یافتن و محدود کردن تقریباً تمام خطاهای کاربردی است که می‌توانند موجب تخریب روکش شوند. این روش سر راست بوده و یک سری آزمایش‌های توسعه یافته و تایید شده را شامل می‌شود. همچنین قابلیت سازگاری با شرایط کاری مختلف را دارا است. همانگونه که در فصل ۲ بیان شد برخی مشکلات مهندسی می‌توانند به صورت‌های مختلف تکرار شوند؛ و البته بعضی از آنها قابل پیش‌بینی هستند. روکشدهی یکی از بهترین مثال‌ها در این مورد است. بایستی با کار بر روی موضوعات فنی، خطاهای کاربردی و محل‌هایی وقوع آنها را شناسایی کرد.

## اطلاعات فنی پایه‌ای

هدف از روکشدهی، حفاظت از فلز پایه آسیب‌پذیر در مقابل خوردگی و سایش است. معمولاً از اجزای لاستیکی به عنوان حفاظت کننده در سیستم های خنک شونده با آب دریا، تصفیه‌کننده‌های کندانسور

(condenser cleaning) و سیستم‌های تقسیم‌کننده شیمیایی (chemical dosing system) و همچنین ایجاد مقاومت در برابر مایعات فرسایش‌گر استفاده می‌شود.

دو نوع مجزا از لاستیک‌ها به کار می‌روند. لاستیک‌های طبیعی برای کاربردهای عمومی دمای پایین آب دریا یا کاربردهای سیستم دوغابی؛ و اجزای مصنوعی (synthetic component) مانند نیتریل (nitryl)، بوتیل (butyl) یا نئوپرن (neoprene) برای دماهای کاری بالاتر از 120°C یا در جاهایی که روغن وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر دو لاستیکهای طبیعی و مصنوعی را می‌توان بر اساس ترکیب آنها به دو نوع سخت و نرم طبقه‌بندی کرد. لاستیک‌های سخت درصد سولفور بیشتری دارند و بعضی از آنها اجزای سختی هستند که معمولاً به آنها ابونیت (ebonite) اطلاق می‌شود. از این نوع لاستیک عمدتاً برای دماهای بالاتر از 100°C استفاده می‌شود. در اصل لغات "سخت" و "نرم" برای لاستیک‌ها با توجه به سطح سختی خاص آنها، پذیرفته شده است.

در اغلب روش‌های به کارگیری هر دو نوع روکش لاستیک طبیعی و مصنوعی، لاستیک به شکل ورقه به سطح مخزن یا اجزای دیگر با یک چسب مناسب مثل ایزوسیانت (isocyanate) اتصال داده می‌شود. ورقه‌های لاستیکی معمولاً دارای ضخامت ۳، ۴، ۵ یا ۶ میلی‌متر هستند. این فرایند به صورت دستی انجام می‌شود. در مخازن بزرگ ورقه‌ها در مسیرهایی که رویهم افتادگی دارند بر سطح خوابانده می‌شوند؛ در حالیکه برای قطعات کوچک مانند شیرها و لوله‌ها، تکه‌های کوچکی بر پروفیل قطعات کشیده شده و چسبانده می‌شود و قسمتهای اضافی بریده می‌شود.در مرحله نهایی با چند ساعت حرارت‌دهی تا دمای حدوداً ۱۲۰°C در اتوکلاو گرم‌کننده با بخار (steam-heated autoclave) یا آون روکش کشیده شده ولکانیزه می‌شود.

طبق این توضیحات، دو نکته اساسی وجود دارد. اولا روکشدهی با لاستیک یک فعالیت بسیار وابسته به اپراتور است. به خصوص با توجه به اینکه اتوماتیک کردن روکشدهی تجهیزات مهندسی غیر ممکن است. البته شاید برای قطعات کوچک با تولید انبوه بتوان از روش‌های اتوماتیک بهره برد. لذا کل فرایند بستگی به مهارت اپراتور داشته و امکان ایجاد خطای انسانی وجود دارد. ثانیا روکشدهی با لاستیک فعالیتی است که نیاز به کنترل دقیق فرایند دارد. به بیان دیگر ایجاد تغییرات کوچک در روش مورد استفاده، نحوه اتصال‌دهی و ولکانیزه در نتیجه نهایی تاثیر زیادی خواهد گذاشت. این دو نکته ارتباط مستقیم با FFP دارند و مفاهیم مهمی درباره روش وارد شدن به کار بازرسی روکشدهی با لاستیک را ارائه می‌دهند.

## تضمین پذیرش

فرایند روکشدهی با لاستیک با جوشکاری قابل قیاس است و در تضمین پذیرش مشخصات قرارداد، معمولا استانداردهای فنی مرجع داده می‌شوند؛ البته بهتر است که یک لیست مجزا از آزمایش‌ها و معیارهای تایید / رد نیز وجود داشته باشد.

انتظار می‌رود که فقط نوع لاستیک، ضخامت و مقدار سختی مشاهده شوند. با این وجود یکی از موضوعاتی که در FFP بسیار ضمنی مانده است، بحث *مهارت اپراتور* است. به ندرت خواهید دید که این موضوع در فهرست ضمانت‌نامه نوشته شده باشد. تشخیص مهارت اپراتور در اجرای روکشدهی، با وجود اینکه به آن دلالت ضمنی شده است، از وظائف بازرس به شمار می‌رود؛ و یک بخش اصلی از الزامات ضمنی مشخصات قرارداد است.



## طرح‌های خاص

معمولاً در قسمت‌هایی که جهت انجام حفاظت از آنها روکشدهی صورت می‌گیرد، تعدادی شکل طرح‌های "خاص" وجود دارد. این موارد ناشی از تغییر عمده در طراحی نیستند( به عنوان مثال ضمائم کدهای رایج مخزن و شیرآلات). در این موارد تعدادی از شکل طرح‌ها وجود دارد که هنگام انجام روکشدهی (و همچنین نگهداری آن) برخی مشکلات خاص را ایجاد می‌کنند. در شکل ۱۳-۱ مواردی از این دست که اهمیت بیشتری دارند نشان داده شده است. مرور این شکل‌ها قبل از آغاز کار بازرسی روکشدهی مخازن و تجهیزات، برای بازرس مفید خواهد بود. البته در بخش‌های قبلی این کتاب نیز در چندین زمینه فنی توصیه شده بود که طرح‌های ساده‌ای مثل این موارد بررسی شوند؛ توجه داشته باشید که لزومی ندارد که شما حتما طراح باشید تا این کار را انجام دهید. همچنین برای کسب اطلاعات تکمیلی می‌توانید به خود استانداردهایی که طرح‌های شکل ۱۳-۱ از آنها برداشته شده است نیز مراجعه کنید. این استانداردها در زیر هر طرح مرجع داده شده‌اند.

## مشخصات فنی و استانداردها

با توجه به اینکه آنالیزهای شیمیایی و خواص مکانیکی لاستیک‌ها به صورت کاملاً جامع در استانداردهای فنی آمده است، برای اهداف بازرسی نیاز نیست که حجم بالایی از اطلاعات را داشته باشید. بسیاری از استانداردها بر روی خواص شیمیایی لاستیکها متمرکز شده‌اند و به مسائل عملی و آزمایشگاهی پرداخته‌اند؛ لذا به صورت مستقیم در کارهای بازرسی کاربرد ندارند. با این وجود تعداد کمی از استانداردها وجود دارند که برای اهداف بازرسی مفید هستند:

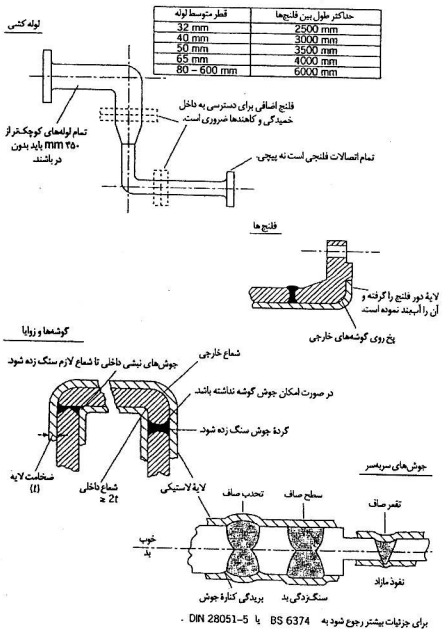
BS 903 آزمایش‌های فیزیکی لاستیک‌ها. یکی از بزرگترین استانداردهای فنی است که با آن برخورد خواهید داشت. بیش از ۶ بخش دارد که احتمالا شما به سه بخش آن مراجعه کنید:

BS 903 بخش A9 شامل نحوه اندازه‌گیری مقاومت به خراش (abrasion resistance) می‌باشد (معادل با بخش‌هایی از استانداردهای ISO 4649 و ISO 5470). این استاندارد بیشتر به "انتخاب" لاستیک پرداخته است و در این‌باره راهنمایی می‌کند. ولی در مجموع اطلاعات فنی مفیدی در مورد بازرسی دارد.

BS 903 بخش A36 (معادل با ISO 4661/1) درباره آماده‌سازی نمونه‌ها و قطعات آزمایش‌های فیزیکی است. بازهم اطلاعات فنی مفیدی دربردارد ولی باید اشاره کرد که در بازرسی اجزای روکش لاستیکی معمولاً نمونه آزمایش وجود ندارد. این کار قبلا و در مراحل طراحی یا آزمایش نوع انجام می‌شود.

BS 903 بخش A57 (معادل ISO 7619) روش‌های اندازه‌گیری سختی فروروی با استفاده از سختی‌سنج‌های دستی را توضیح می‌دهد. این آزمایش است که معمولاً حین بازرسی انجام می‌شود. در عمل این آزمایش بسیار سرراست بوده و نیاز به دستورالعمل‌های مرحله به مرحله ندارد، ولی در برخی مراحل نیاز به اطلاعات کالیبراسیون و مقیاس سختی است که در این استاندارد آمده است. نکته جالب توجه این است که استاندارد BS 903 اطلاعات مفیدی درباره آزمایش جرقه که یکی از مهم‌ترین آزمایش‌های یکپارچگی روکش است نمی‌دهد.

BS 6374 روکشدهی تجهیزات با مواد پلیمری برای صنایع فرآوری. یکی از استانداردهای خوب است که کاربرد عملی دارد. این استاندارد به ۵ بخش تقسیم می‌شود که هر بخش مختص یک طبقه از مواد روکشدهی است و عبارتند از:




برای جزئیات بیشتر رجوع شود به BS 6374 یا DIN 28051-5

**شکل ۱۳ـ۱ قطعات روکش‌شده با لاستیک**

- BS 6374 بخش ۱: این بخش کاربردهای ترموپلاستیک‌ها را پوشش می‌دهد. روکشهایی که معمولا در این طبقه قرار دارند دارای مقاومت زیاد به اسید هستند. این‌ها معمولا در روکش شیرهای فرآوری به کار رفته در واحدهای شیمیایی استفاده می‌شوند.
- BS 6374 بخش ۲، ۳ و ۴ کاربردهای ترموپلاستیک‌های غیرورقه‌ای و برخی رزین‌ها را پوشش می‌دهند. این مواد را هم ممکن است در روکشدهی واحدهای شیمیایی مشاهده کنید.



- BS 6374 بخش ۵ مشخصات روکشدهی با لاستیک‌ها را بیان می‌کند و شکل طرح‌های مطلوب را نشان می‌دهد (در شکل ۱۳-۱ حالت‌های بسیار معمول نشان داده شده است). در استفاده از این استاندارد باید بسیار دقیق بود و در این استاندارد راهنمایی‌ها از الزامات اجباری کاملا تفکیک داده شده‌اند. این بخش اطلاعات مفیدی در مورد ساخت مخازنی که روکشدهی می‌شوند، عیوب معمول روکشدهی و خواص لاستیک مربوطه دارد. همچنین آزمایش‌های سختی و پیوستگی لاستیک که دو آزمایش رایجی است که حین بازرسی باید بر آنها نظارت حضوری داشته باشید را توضیح می‌دهد. این یک استاندارد ساده و خوب است که در کاربردهای عملی بسیار مفید خواهد بود.

استاندارد آلمانی DIN 28 051-5 در زمینه شکل طرح‌ها و آزمایش‌ها مشابه با BS 6374 بخش 5 است. اختلاف‌های فنی جزئی بین این دو استاندارد وجود دارد ولی DIN کمی در تعریف شکل طرح‌های مطلوب صریح‌تر است. در این استاندارد برای آزمایش سختی به DIN 53 505 ارجاع داده شده است.

ASME VIII و BS 5500 موضوع روکشهای لاستیکی مخازن را با اندکی تفاوت در روش‌ها پوشش می‌دهند، ولی در اصول مشابه هستند. استانداردهای فنی رایجی مخصوص روکشدهی پمپ‌ها، لوله‌ها یا شیرها وجود ندارد.

## رویه بازرسی و آزمون (ITP)

در ITP مخازنی که روکشدهی می‌شوند، الزامات بازرسی همه‌جانبه‌ای نیاز است. اغلب لازم است که یک بند با عنوان "بازرسی روکشدهی" در انتهای ITP آورده شود؛ این مورد بخصوص برای تمام انواع مخازن، حتی مخازن بزرگ رایج است. همچنین ممکن است تعبیر عملی الزامات این قسمت کمی مشکل و گمراه کننده باشد. دلیل اصلی آن نقش کلیدی مهارت اپراتور و کنترل فرایند است که قبلا به آنها اشاره شد. کوچکترین خطای اپراتور یا خطای فرایندی حین اجرای روکشدهی حتماً در یکپارچگی نهایی و عمر مفید روکشدهی تاثیر منفی خواهد داشت. بسیاری از این خطاها به قدری جزئی هستند که شناسایی آنها در بازرسی نهایی با استفاده از روش‌های آزمایش عملی موجود، مشکل است. لاجرم بایستی حین فرایند روکشدهی نیز بازرسی را انجام داده و به انواع خطاهایی که ممکن است رخ دهد آشنایی داشته باشید. لازم هست که حتماً همگام با مراحل اجرای فرایند باشید و فقط به بازرسی نهایی اکتفا نکنید. این بازرسی‌های موقت به ندرت در ITP نشان داده می‌شوند. بنابراین خود را برای تعبیر صحیح از آنچه نوشته شده آماده کنید.

در صورتی که شما در تنظیم مشخصات قرارداد نقش داشته باشید، فرصت خوبی خواهید داشت تا اهمیت موضوع روکشدهی با لاستیک را افزایش دهید. حداقل تلاش کنید تا تطابق با استانداردهای BS 6374 یا DIN 28 051-5 را به عنوان الزامات تعیین شده ذکر کنید. در صورت امکان بازرسی‌های لازم در خلال آماده‌سازی روکش و اجرای فرایند را مشخص کنید. شکل ۱۳-۲ مثالی برای موارد لازمی است که بایستی در ITP ذکر شود. این موارد یک رهیافت کامل را ارائه می‌کنند و امکان ایجاد عیوب احتمالی در روکش را کاهش خواهند داد.

| مراحل بازرسی | توضیحات |
|---|---|
| ۱. شکل طرح را بررسی کنید. | شکل‌هایی را که ممکن است در روکشدهی ایجاد مشکل کنند را بررسی کنید (BS 6374 بخش۵) |
| ۲. بررسی ساخت | شکل جوش‌ها، شعاع لبه و پرداخت‌کاری نهایی جهت صاف کردن را بررسی کنید. |
| ۳. آماده‌سازی سطح | کمترین رده SIS 05 5900 Sa 2 1/2 مورد نیاز است. |
| ٤. بررسی مواد | عمر مفید ورقه‌های لاستیکی ولکانیزه نشده و چسب اتصال‌دهی را بررسی کنید. همچنین برای شناسایی عیوب (تخلخل، تاول زدن یا پارگی) ورقه‌ها، آنها را مورد بازرسی چشمی قرار دهید. |
| ۵. نظارت حضوری اجرای روکشدهی | شرایط محیطی (حداقل 3°C بالاتر از نقطه شبنم)، چسب‌کاری و روش اتصال‌دهی ورقه‌ها باید پایش شوند. |
| ۶. بازرسی قبل از ولکانیزه | روکشدهی کامل شده را بررسی کنید. یک آزمایش پیوستگی (جرقه) قبل از قرار دادن نوار پوششی (fitting cover-straps) جهت مشاهده انجام دهید. فرایند ولکانیزه را از جهت زمان، دما (۱۶۰-۱۲۵°C) و رطوبت مورد نیاز مرور کنید. |
| ۷. بازرسی بعد از ولکانیزه | بازرسی چشمی، سختی‌سنجی، آزمایش پیوستگی کامل (جرقه) و آزمایش چسبندگی (rapping). |
| ۸. تعمیرها | فرایند انجام تعمیرهای موضعی را بررسی کرده و بر آزمایش مجدد بعد از ولکانیزه مجدد نظارت حضوری داشته باشید. |
| ۹. بازرسی قبل از ارسال | بررسی نهایی برای بسته‌بندی صحیح جهت جلوگیری از تخریب روکش حین انتقال. |

**شکل ۱۳-۲** روکشدهی با لاستیک – مراحل ITP

## فرایندها و روش‌های آزمایش

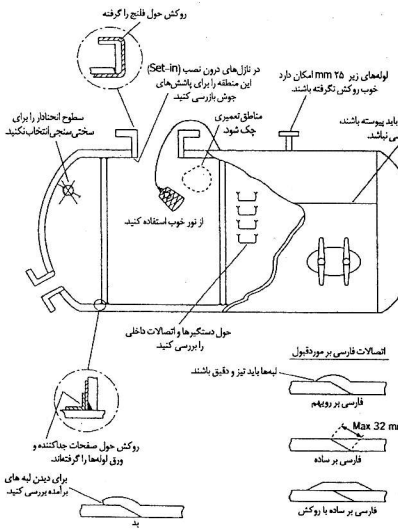
روش‌های آزمایش رایجی وجود دارد که در حین بازرسی نهایی روکش‌های لاستیکی مصنوعی و یا طبیعی استفاده می‌شود. البته نباید به این آزمایش‌ها به عنوان فرایندهایی کامل و بدون عیب نگاه کنید؛ این آزمایش‌ها دارای نقاط ضعفی نیز می‌باشند. با اینحال، می‌توان آنها را بهترین آزمایش‌های موجود برای استفاده در کارخانه دانست.

### بازرسی چشمی

در حین فرایند بازرسی و ترجیحاً قبل و بعد از فرایند ولکانیزاسیون لازم است که یک بازرسی چشمی از نزدیک صورت پذیرد. در این حالت یک بازرسی شتابزده و کلی نمی‌تواند کافی باشد و هدف شما باید بازرسی تمام و یا قسمتی از ورق مورد استفاده در روکش‌دهی و همچنین هر گونه اتصال و درز موجود باشد. موارد زیر را در هنگام بازرسی در نظر داشته باشید ( می‌توانید به شکل ۱۳-۳ نیز مراجعه کنید).

- در هنگام بازرسی چشمی یک مخزن که داخل آن روکش شده است، از نور کافی استفاده کنید. برای این کار می‌توانید از یک لامپ پرنور ac استفاده کنید؛ در اینجا نور یک چراغ قوه معمولی کافی نیست. در مخازن بزرگ، شما باید از یک نردبان چوبی برای رسیدن به دیواره‌های بالاتر و سطوح بالایی استفاده نمایید. توجه داشته باشید که هدف شما در اینجا یک بازرسی از نزدیک است؛ نه با فاصله.






**شکل ۱۳-۳** بازرسی چشمی مخازن با روکش لاستیکی

- برای بازرسی، یک راهکار روشمند را بپذیرید. بررسی را از یک انتهای مخزن شروع کرده و در راستای هر ورق روکش‌دهی و در طول هر درز تا انتهای دیگر آن آزمایش را انجام دهید. هر ورق را به منظور ارزیابی موارد زیر بررسی کنید:
- آسیب فیزیکی مانند خراش‌ها، بریدگی‌ها و یا سوراخ.
- چسبندگی به سطح ( این کار را به طور چشمی برای یک لحظه انجام دهید). هر گونه برآمدگی، تاول و یا موج به خصوص روی سطوح مقعر را شناسایی کنید؛ زیرا این عیوب مشخص‌کننده محل‌هایی از ورق هستند که به طور کامل چسبانده نشده‌اند. به دقت، محل نصب نازل‌ها را بررسی کنید؛ شما گاهی اوقات در محل‌هایی که ورق به طور کامل بر روی جوش گوشه نازل به بدنه قرار

نگرفته است، به حباب‌های هوایی برخورد می‌کنید. همچنین توجه خاصی به روکش داخلی لوله‌های با قطر کوچک که کاربرد ورق‌های لاستیکی در آنها دشوار است داشته باشید. یکی از بهترین محل‌ها برای بررسی، روی شعاع بیرونی می‌باشد؛ برای نمونه، جایی که ورق لاستیکی با یک فلنج لب به لب می‌شود. در صورتی که روکش را با پاشنه دست خود هل دهید، باید بتوانید به خوبی احساس کنید که آیا چسبندگی به سطح مناسب است یا خیر. متاسفانه هیچ گونه آزمایش کمی برای بررسی استحکام پیوند چسبندگی وجود ندارد؛ تنها راه، استفاده از نمونه‌های آزمایشی می‌باشد.

- *هموارى سطح روکش.* ورق را با نور کافی نگاه کنید و به دنبال هر گونه نشانه‌ای از پاشش جوش و یا ذرات خارجی کوچک که در زیر ورق مانده‌اند، باشید.
- *درزها.* اتصالات و یا هم پوشانی ها را در جایی که ورق‌های روکش به هم متصل شده‌اند، بررسی کنید. برای یک روکش لاستیکی با ضخامت 4 میلیمتر، حداقل باید اتصال سطحی 16 میلیمتری بین ورق‌های متصل برقرار باشد؛ اما این اتصال معمولاً نباید بیش از 32 میلیمتر باشد. درشکل (۱۳-۳) سه نوع اتصال پخ‌دار قابل مشاهده نمایش داده شده است. دست‌های خود را روی هر درز قرار دهید تا مطمئن شوید که لبه کاملاً حذف شده است. هنگامی که انگشتان خود را در جهت همپوشانی حرکت می‌دهید، نباید یک لبه آزاد احساس کنید. لبه‌های اتصال باید به طور کامل پخ زده شود تا یک اتصال محکم داشته باشید. وجود برآمدگی روی لبه اتصال وضعیت نامناسبی را پدید می‌آورد.
- *نازل‌ها و فلنج‌ها.* ورق‌های روکشی باید به طور کامل دور تمام نازل‌ها و فلنج‌ها را بپوشانند تا یک شرایط آب‌بند کامل در مقابل جریان‌های سیال ایجاد کنند. توجه خاصی به قطعات نصب شده با قطر کوچک‌تر از ۳۰ میلیمتر داشته باشید؛ چسباندن روکش به شعاع‌های داخلی آنها کار پیچیده‌تری است.
- *قطعات نصب شده داخلی.* قطعات نصب‌شده مانند صفحات بین لوله‌ها، جداکننده‌ها و ورق لوله های داخلی، معمولاً به عنوان فیکسچرهای دائمی در یک مخزن طراحی می‌شوند تا مانع از مشکلات حین اعمال روکش گردند. در صورت برخورد با قطعات نصبی قابل جابجایی، اطمینان حاصل کنید که ورق‌های روکش به گونه‌ای به کار رفته‌اند که امکان ایجاد شرایط آب‌بند مناسب را پدید می‌آورند. در صورت استفاده از نوارهای پوشش مجزا، اطمینان حاصل کنید که آنها به خوبی متصل و چسبیده شده‌اند. قطعات نصب‌شده مانند دستگیره‌ها، بست‌های فلزی و پاشنه‌ی درب دسترسی را فراموش نکنید.

به مانند سایر بازرسی‌های چشمی، استفاده از یک لیست بررسی می‌تواند مفید باشد. این کار باعث حصول اطمینان از عدم فراموشی موارد مورد نظر می‌شود و همچنین می‌تواند یک ضمیمه مفید برای گزارش بازرسی شما باشد. بهترین راهکار برای ایجاد این لیست، مراجعه به BS 6374 است؛ موارد خواسته‌شده در استاندارد را لیست کنید؛ سپس آنها را به گونه‌ای منطقی که در حین بازرسی چشمی مفید باشد، مرتب نمایید.



## بازرسی سختی لاستیک

سختی یک روکش لاستیکی، معیار مناسبی از خواص چون مقاومت به سایش است و می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب از تکمیل فرایند ولکانیزاسیون در نظر گرفته شود. بنابراین سختی پس از فرایند ولکانیزاسیون به عنوان یکی از خواص اصلی به شمار می‌رود.

سختی توسط یک ابزار دستی اندازه‌گیری می‌شود. نوک این ابزار به درون لاستیک فرو می‌رود و مقادیر سختی روی یک صفحه نمایش داده می‌شود. در کاربردهای رایج، دو مقیاس سختی وجود دارد. برای لاستیک‌های نرم از مقیاس سختی لاستیک بین‌المللی (IRHD) استفاده می‌کنند؛ این مقیاس از "۰" تا "۱۰۰" که متناسب با مدول یانگ می‌باشد، تغییر می‌کند. در حالت کلی، سختی یک لاستیک نرم در محدوده ۴۰ تا ۸۰ مقیاس IRHD قرار می‌گیرد (اگر سختی زیر ۴۰باشد لاستیک خیلی نرم است و اغلب استفاده نمی‌شود). لاستیک‌های سخت معمولاً در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ مقیاس IRHD قرار می‌گیرند. مقیاس دیگر سختی، Shore D می‌باشد ( استاندارد BS 903 بخش A57 ملاحظه شود). برای اکثر کاربردهای مهندسی، لاستیک‌های سخت در محدوده درجه Shore D بین ۶۰ تا ۸۰ در نظر گرفته می‌شوند. در اینجا یک تلورانس پذیرفته شده عمومی در محدوده ۵ ± درجه وجود دارد که برای اندازه‌گیری‌های Shore D و IRHD مجاز می‌باشد.

یکی از نکات مهمی که باید در نظر داشت این است که مقادیر سختی در نقاط مختلف دور روکش مخزن اندازه‌گیری شود تا یک میانگین مناسب به دست آید. در راستای ارزیابی سختی می‌توانید از راهنمایی‌های زیر استفاده کنید:

- همیشه سختی را روی سطوح صاف اندازه‌گیری کنید. اندازه‌گیری از سطوح انحنادار می‌تواند باعث بروز اشتباهاتی در حدود ۱۰ تا ۲۰ درجه IRHD گردد.
- سختی را در مرکز ورق‌های روکش و یا در حدود ۱ متر دورتر از لبه‌ها اندازه‌گیری کنید. به منظور حصول نتایج مناسب، بهترین راهکار، اندازه‌گیری سختی در ۳ نقطه مشخص روی هر ورق لاستیکی می‌باشد.
- تمرکز خود را روی مناطقی از مخزن قرار دهید که هنگام قرارگیری مخزن در اتوکلاو به منظور ولکانیزاسیون، در موقعیت پایین‌تری قرار داشته باشند ( اطلاعات مذکور را از پیمانکار فرایند روکش‌دهی اخذ کنید). شما می‌توانید مشاهده کنید که این نواحی، گاهی اوقات نرم‌تر می‌باشند. این امر می‌تواند مربوط به تقطیر بخارهای حاصله باشد که مانع از تکمیل فرایند ولکانیزاسیون می‌گردد. شما می‌توانید نمونه‌هایی از این حالت را در حین بازرسی چشمی مشاهده کنید؛ نواحی که به طور ضعیف‌تری ولکانیزه شده‌اند، دارای سایه کاملاً متفاوتی ( معمولاً روشن‌تر) نسبت به بقیه روکش خواهند بود.
- دمای محیط دارای اثراتی روی مقادیر سختی اندازه‌گیری شده می‌باشد. سعی کنید مطمئن شوید که دمای موضعی داخل مخزن، بین 15 تا $^{0}C$ 25 می‌باشد. در صورتی که مخزن در معرض نور شدید خورشید قرار گیرد، دمای داخل آن افزایش یافته و منجر به یافته‌های اشتباه خواهد شد.
- کالیبراسیون آزمونگر سختی را قبل از استفاده بررسی نمایید. نمونه‌های آزمون کالیبراسیون باید همراه هر آزمونگر باشند.

## آزمایش جرقه

هدف آزمایش جرقه، بررسی پیوستگی روکش‌ها می‌باشد. در واقع، این آزمایش به عنوان یک آزمایش جستجوگر شناخته می‌شود؛ یک جرقه الکتریکی، یک حفره یا ناپیوستگی کوچک روی روکش را که به طور چشمی قابل ردیابی نیست، شناسایی خواهد کرد. این فرایند عیوب چسبندگی را تشخیص نخواهد داد. یک منبع با فرکانس و ولتاژ بالا ( استفاده از یک ولتاژ 20 kv رایج است) بین فلز مخزن و پراب دستی برقرار می‌شود. پس از آن، پراب از روی سطح لاستیک عبور داده می شود. هنگامی که پراب از روی یک عیب عبور می‌کند، یک مسیربرای جرقه زدن را ایجاد خواهد کرد که باعث شناسایی عیب می‌گردد. در اینجا لازم است به چند نکته توجه شود:

- لازم است که ولتاژ به اندازه کافی بالا باشد تا جرقه قادر باشد تا از مسیر هوای موجود، عبور کند. این مسیر می‌تواند ناشی از یک اتصال پخدار نامناسب باشد. برای یک روکش با ضخامت 4 میلیمتر، این مسیر می‌تواند 32میلیمتر باشد. شما می‌توانید به راحتی امتحان کنید که آیا جرقه می‌تواند از طول مسیر بین پراب تا یک ناحیه غیر روکش‌دار مانند سوراخ پیچ عبور کند یا خیر.
- جرقه های سرگردان را از جرقه های آبی رنگ بزرگ ناشی از نشتی و سوراخ بودن لایه لاستیکی، باید بتوانید تشخیص دهید. این جرقه های سرگردان بخصوص در هوای مرطوب رخ می دهند.
- اعمال یک نور ضعیف، امکان مشاهده جرقه‌ها را راحت‌تر می‌سازد.
- مجدداً تاکید می‌شود، در رهیافت خود در آزمایش جرقه، به صورت روشمند عمل نمایید. در صورتی که بتوانید تمام درزهای پخدار، اتصالات نازل و هرگونه نوار پوشش روی قطعات نصب‌شده را بررسی کنید، کار ارزشمندی انجام داده‌اید. حفره‌های قابل دسترسی و دستگیره‌ها را بررسی نمایید. سطح زیرین مخزن، در جایی که آسیب فیزیکی محتمل‌تر است را امتحان کنید. این کار را می‌توانید در مکان‌هایی که ایجاد درزهای دقیق دشوار است، نیز انجام دهید.

برای قطعات روکش‌شده لاستیکی بزرگ مانند مخازن و لوله‌های هادی، انجام آزمایش جرقه قبل و بعد از ولکانیزاسیون، رایج می‌باشد. همچنین، این راهکار می‌تواند برای مخازنی که در محل ساخت و تحت شرایط کاری غیر ایده‌آل روکش و پس از آن ولکانیزه شده‌اند، نیز صادق باشد. برای درزهای پوشش‌دار با نوارهای ویژه، یک آزمایش جرقه اولیه باید قبل از چسباندن نوارهای پوشش انجام داد.

## آزمایش‌های چسبندگی

چسبندگی ضعیف، یکی از علل رایج خرابی روکش‌های لاستیکی می‌باشد؛ ورق روکش می‌تواند اغلب از روی ماده اصلی، کنده شود؛ این کندگی می‌تواند از یک حباب هوا و یا یک انحنای نامناسب شروع شود تا به یک درز برسد. در این حالت، سیال فرآیند می‌تواند به زیر روکش برسد و خوردگی عمومی و شکست در مدت زمان کوتاه اتفاق بیفتد.

در شرایط آزمایشگاهی، امکان حصول پیوند چسبندگی بین لاستیک و فلزی که محکم‌تر از آن است، وجود دارد ( BS 903 بخش A19/ISO 188؛ این موضوع را پوشش دهد). در عمل، متغیرهایی چون مخلوط کردن چسب، شرایط دمای بالا و مهارت اپراتور، حصول چنین امری را مخصوصاً دور انحناهای داخلی، گوشه‌های تیز و پروفیل‌های جوش گوشه، دشوار می‌سازد. یک بازرسی حین راه‌اندازی ساده اما مفید روی



**عدم انطباق‌های رایج و فعالیت‌های اصلاحی: روکش‌های لاستیکی**

| عدم انطباق | فعالیت اصلاحی |
|---|---|
| آماده‌سازی نامناسب سطح | آماده‌سازی نامناسب سطح را نپذیرید؛ شما باید درخواست انجام مجدد آن را داشته باشید بررسی کنید که: گرده جوش باید بطور مناسبی صاف شده باشد(لازم نیست که آنها به طور کامل تخت شوند). شات‌بلاست باید تا مرحله 2.5 Sa SIS 055900 انجام شود. نباید هیچ گونه لایه و یا زنگ‌زدگی روی سطح باشد و سطح باید روشن و خاکستری باشد. |
| ضخامت نادرست روکش لاستیکی | در اینجا یک تلورانس مجاز عمومی معادل 10% $\pm$ ضخامت ورق لاستیکی وجود دارد (قبل از ولکانیزه شدن). در صورتی که ورق خیلی ضخیم باشد، این امر نمی‌تواند باعث مشکل زیادی شود. آن را بپذیرید. در صورتی که ورق خیلی نازک ( حدود ۱ میلیمتر) باشد، آن را رد کنید. مخزن نیاز به باز کردن، شات‌بلاست و روکش‌دهی مجدد دارد. |
| عیوب یافت‌شده قبل از ولکانیزاسیون | تعمیر موضعی ممکن است. راهکار این مسئله، بریدن نواحی معیوب و نصب یک قطعه تعمیری می‌باشد. از اتصالات پخدار یا روی‌هم‌افتادگی ۱۰ تا ۱۵ میلیمتر استفاده کنید. اطمینان حاصل کنید که درزهای جدید به خوبی مسدود شده‌اند و تمام حباب‌های هوا خارج شده‌اند. |
| نتایج سختی اشتباه | در ابتدا، تلورانس‌های مجاز در BS 903 را بررسی کنید. یک تلورانس 5% $\pm$ در هر مورد قابل قبول است. سختی معمولاً به عنوان یک مقدار حداقل مورد نیاز مشخص می‌شود. علت اصلی سختی پایین، ولکانیزاسیون نامناسب است؛ ولکانیزاسیون مجدد در این حالت می‌تواند مناسب باشد. در صورتی که این کار باعث بهبود وضعیت پیش‌آمده نشود، علت مشکل می‌تواند گروه نامناسب لاستیک باشد. اختلاف کمتر از ۱۰ درجه ( IRHD و یا Shore D) می‌تواند تحت شرایط ذکر شده، قابل قبول باشد؛ اختلاف بیش از این نمی‌تواند FFP را جوابگو باشد. |
| عیوب یافت‌شده پس از ولکانیزاسیون (توسط آزمایش جرقه) | انجام تعمیرات ممکن است. پس از تعمیر، ناحیه مورد نظر باید به طور موضعی با استفاده از " انو" یا وسایل مشابه گرم شده، ولکانیزه شود. آزمایش جرقه، اندازه‌گیری سختی و آزمایش ضربه زدن را روی ناحیه تعمیر شده انجام دهید. |
| روی‌هم‌افتادگی ضعیف درز | اتصالات پخ‌دار ضعیف می‌تواند با نوارها پوشش داده شود؛ نوارهای روکشی بین 70 تا 100 میلیمتر عرض دارند. این راهکار برای گستره‌های محدود قابل‌قبول است، اما نمی‌تواند جایگزینی برای درزهای پخدار منظم باشد. نوارهای پوشاننده ممکن است در گوشه‌های تیز با شعاع داخلی کنده شوند. روش استفاده مناسب از آنها محدود است. |
| نبود ( و یا ضعف) چسبندگی | نواحی دارای چسبندگی ضعیف، معمولاً نشانه‌هایی از یک مشکل کلی‌تر در رابطه با آماده‌سازی سطح و یا چسبندگی می‌باشند. همیشه فرض کنید که این وضعیت می‌تواند در هنگام استفاده به سرعت باعث بروز مشکل شود. به جز نواحی بسیار کوچک نزدیک مرکز ورق‌های روکش، چسبندگی ضعیف غیر قابل قبول است. یک NCR صادر کنید و درخواست انجام مجدد فرایند را داشته باشید. |

چسبندگی، می‌تواند با انجام یک آزمایش ضربه زدن حاصل شود. در این حالت، با استفاده از یک چکش ته گرد مخصوص، به لاستیک ضربه وارد می‌شود. نواحی با چسبندگی خوب، صدای زنگ محکمی ایجاد می‌کنند. در صورت وجود یک فاصله هوایی بین ورق روکش و ماده پایه، صدا " آهسته‌تر" خواهد بود. این آزمایش به عنوان یک آزمایش دقیق شناخته نمی‌شود؛ چون نمی‌توان معیار یکسانی درباره صداهای حاصله تعریف نمود. تفاوت‌های ناچیز در سختی روکش، می‌تواند باعث تفاوت‌هایی در صداها گردد. همچنین، آزمایش فقط قادر به تشخیص نواحی است که به علت نبود چسبندگی قابل ملاحظه، دارای یک فاصله

هوایی هستند. این آزمایش، قادر به شناسایی چسبندگی جزئی و یا کم استحکام که موجب بروز خرابی‌های روکش دربسیاری موارد می‌شود، نیست؛ علاوه بر این، آزمایش قادر به شناسایی نواحی دارای چسبندگی ضعیف ابعادی کوچک و یا درزهای پخ‌دار نمی‌باشد. آزمایش ضربه زدن، به عنوان یک آزمایش کاربردی و قابل اجرا که در سایت نیز قابل اجرا است، شناخته می‌شود؛ البته باید محدودیت‌های همراه آن نیز کاملاً درک شود. این آزمایش نمی‌تواند جایگزینی برای مشاهده فعالیت روکش‌دهی ( مراحل ITP پیشنهادی در شکل ۱۳-۲ را ملاحظه کنید) و همچنین بازرسی دقیق آماده‌سازی سطوح، مخلوط کردن چسب و روش کاربرد باشد.

## روکش‌های فلزی

عبارت «روکشدهی فلزی» اغلب به صورت آزادی برای تعداد زیادی از فرآیندها استفاده می‌شود. این فرآیندها از لایه دهی و پوشش دهی فلز پایه توسط جوشکاری با آلیاژهای مقاوم به خوردگی گسترده می‌شود، تا فرآیندهای پیچیده‌تر که در آنها یک لایه بسیار نازک از ماده به سطح یک فلز توسط رسوب نشانی، اسپری و یا کنش الکترولیتی را شامل می گردد.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور(FFP)

مانند لاستیک‌ها، هدف اصلی اغلب روکشهای فلزی جلوگیری از خوردگی و سایش مواد پایه به وسیله یک سیال یا محیط جریان خورنده است. بنابراین معیار اصلی FFP، سلامت و یکپارچگی است. روکش اگر می‌خواهد مؤثر واقع گردد، بایستی یک آب‌بند عالی را ایجاد نماید. برای برخی پوشش‌ها مثل آبکاری کرم، پرداخت نهایی خود سطح آبکاری همچنین یک معیار FFP مهم به شمار می‌آید که به کاربرد بستگی دارد.

در حالت کلی روکشهای فلزی با فعالیت‌های بازرسی کمتری نسبت به انواع روکشهای لاستیکی درگیر هستند. یک دلیل آن است که خود فرآیندها به صورت تکنولوژیکی پیچیدگی بیشتری داشته و از این رو اصولاً برای اینکه اجرا شوند نیاز به کنترل بسیار دقیقی دارند. پاشش فلزی و آبکاری الکترولیتی مثال‌های خوبی در این زمینه می‌باشند. دلیل دوم نیز آن است که فرآیندهای ذاتاً ساده‌تر نظیر گلدینگ، تحت کنترل پروسه‌ها و تکنیک‌های جوشکاری قابل قبول در می‌آیند. همان طور که در فصل ۵ دیده شد، این یک روند به خوبی کنترل شده است.

## پروسه‌ها و تکنیک‌ها

در اینجا به صورت مختصر به سه تکنیک روکش کشی فلزی رایج که امکان دارد در یک موقعیت بازرسی با آنها روبه‌رو شوید نگاهی انداخته می‌شود.

### پوشش آزاد

پوشش آزاد اغلب در سیستم‌های فرآوری و سیال استفاده می‌گردد، به ویژه در جاهایی که شرایط فرآیند خورندگی وجود دارد؛ نظیر تأسیسات نمک زدایی یا شیمیایی. مواد پوشش اغلب یا یک آلیاژ با نیکل بالا مثل اینکنل یا مونل هستند یا فولاد زنگ نزن. عبارت «پوشش آزاد» یعنی اینکه ورقه‌های روکشی در کل

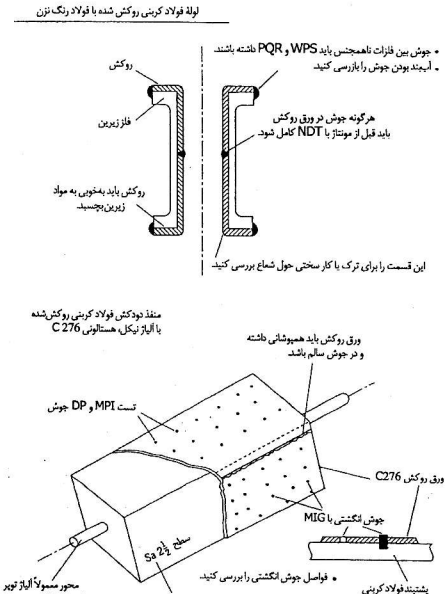


مساحت سطح‌شان به مواد پایه (معمولاً فولاد کم کربن) متصل نشده‌اند. پیوستگی به وسیله جوشکاری پیرامون محیط ورقه‌های روکشی بدست می‌آید و در نهایت مانند کاغذ دیواری داخل مخزن را پوشش می‌دهد. این عملیات امکان دارد توسط جوشکاری انگشتی (plug welding) تکمیل شود (یک تکنیک جوشکاری MIG که در آن جوش‌های نقطه‌ای از طریق ورقه‌های گلدینگ به مواد پایه در فواصل معین نفوذ می‌کنند). ASME VIII دارای قسمتی است که در آن خصوصاً به مخازن پوشش داده شده ( clad vessels) پرداخته شده است. برخی از راهنمایی‌های ویژه مربوط به بازرسی‌ها عبارتند از:

- خصوصیات طراحی. ASME VIII شامل راهنمایی‌هایی پیرامون خصوصیات طراحی مطلوب برای مخازن روکش شده می‌باشد. اگر در حال بازرسی مخازن متعارف هستید، می‌توانید با استفاده از نقشه‌های ساخت، یک بررسی طراحی بسیار وسیع انجام دهید؛ اما تجهیزات دیگر پیچیده‌تر هستند.
- جوشکاری. جوشکاری بین ورقه‌های روکشی و مواد پایه بایستی توسط سیستم WPSها، PQRها و صلاحیت جوشکار که در فصل ۵ توضیح داده شدند، پوشش داده شود. این موضوع تمرین خوبی برای ردیابی ترک سطحی بر روی این جوش‌ها است. استانداردهای مشابه با آنچه که برای دیگر جوش‌های مواد غیر مشابه استفاده می‌کنید، به کار گیرید.
- آزمایش هوا. برخی قطعات روکش شده (clad components) در معرض یک آزمایش هوا قرار می‌گیرند.
- آماده سازی سطح. شات بلاست نمودن سطح داخلی مواد پایه قبل از کلدینگ روش بسیار خوبی است. این کار باعث حذف هرگونه محصولات خوردگی می شود. سطح داخلی ورقه روکش نیز معمولاً به صورت مکانیکی قبل از کار گذاشتن تمیز می‌شود.
- بازرسی نهایی. انجام یک بازرسی نهایی از قطعات روکش آزاد شده ارزشمند خواهد بود. بررسی کنید که تمامی جوش‌های آببند به خوبی کامل شده باشند. رابطها و جفت و بست‌های کوچک بایستی جهت جلوگیری از خوردگی گالوانیک در حین استفاده، از مواد یکسانی با روکش باشند. شکل ۱۳-۴ برخی بررسی‌های خاص بر قطعات روکش آزاد شده رایج را نشان می‌دهد.

### گالوانیزه کردن (Galvanizing)

گالوانیزه کردن اغلب به عنوان یک عبارت کلی برای پوشش‌دهی قطعات آهن و فولاد با روی به کار می‌رود. استفاده اصلی آن برای محافظت مواد پایه در مقابل حمله از جانب یک اتمسفر خورنده یا آب می‌باشد. گالوانیزه کردن بیشتر در سطح بیرونی قطعات مهندسی استفاده می‌شود. گالوانیزه کردن را می‌توان به جای رنگ کاری یا گیگاهی در کنار آن استفاده نمود. سودمندی زیاد استفاده از عنصر روی به موقعیت آن در جدول تناوبی عناصر بر می گردد. روی نسبت به فولاد آند است و بنابراین آن را حتی اگر خراشیده شود، حفاظت می‌کند. به دلیل آنکه روی یک اتصال شیمیایی با آهن در فصل مشترک شکل می‌دهد، گالوانیزه کردن شبیه انواع بسیاری از کلدینگ یا پوشش‌دهی نمی باشد. سپس روی خالص‌تر با ترکیب آهن/روی اتصال برقرار می‌کند بنابراین لایه سطحی تقریباً روی خالص است. در این میان، چندین فرآیند مختلف نیز اشتباهاً گالوانیزه نامیده می‌شود.




**شکل ۴ـ۱۳ بازرسی قطعات روکش آزادشده**

فرآیندهایی نظیر شرودایزینگ (پوشش‌دهی قطعات با استفاده از یک غبار غنی از روی)، آبکاری روی (در واقع یک فرآیند رسوب نشانی الکتریکی)، و پاشش روی مناسب برای استفاده در قطعات کوچک تولید انبوه مثل چفت و بست‌ها و قطعات دقیق هستند. مناسب‌ترین فرآیند از نظر بازرسی تکنیک گالوانیزاسیون غوطه وری داغ است. این فرآیند به صورت گسترده‌ای برای سازه‌های فولادی و تولیدات بزرگ که در معرض اتمسفر قرار می‌گیرند استفاده می‌شود. گالوانیزاسیون غوطه وری داغ فرآیندی با تکنولوژی نسبتاً



ساده است به این ترتیب که در این تکنیک، قطعات تمیز می‌شوند سپس در یک حمام مذاب روی فرو برده می‌شوند. هنگامی که قطعه از حمام برداشته می‌شود، ترکیبات روی بر روی سطح تشکیل شده و باقی می‌مانند.

بیشترین استاندارد فنی استفاده شده برای گالوانیزاسیون غوطه وری داغ BS729 است. این استاندارد، یک راهنمای کلی خوب می باشد که شامل اکثر اطلاعاتی است که شما در طی بازرسی به آنها نیاز خواهید داشت. نزدیک‌ترین استاندارد قابل مقایسه با آن در محدوده ASTM، A90 AST است. بررسی‌های عملی که انجام می‌شوند به بررسی چشمی و آزمایش‌های خاص جهت تعیین وزن پوشش و یکنواختی محدود می‌شوند.

## بازرسی چشمی

اگرچه گالوانیزاسیون غوطه وری داغ می‌تواند به عنوان یک فرآیند قابل اطمینان و اثبات شده مورد توجه قرار گیرد، اما هنوزهم برخی اشتباهات می‌توانند در نتیجه ترکیب نادرست حمام روی یا توسط آماده سازی ضعیف فلز پایه، به وجود آیند. بنابراین یک بازرسی چشمی خوب این رابطه مهم خواهد بود. نکات کلیدی جهت بررسی عبارتند از:

- *شکل و سیمای سطح.* اگر فلز پایه دارای سطح صافی باشد، بنابراین سطح پوشش روی نیز بایستی دارای پرداختی صاف و هموار گردد. اشکال ناصاف مثل لبه‌ها و درزهای جوش در سرتاسر پوشش به روشنی نمایان می‌شوند. به صورت عادی این موضوع یک مشکل کاملاً ظاهری و تزیینی است.
- *رنگ.* بایستی براق باشد. تنها استثناء رایج موجود برای انواع فولادهای سیلیکون بالا است که در آنها عناصر آلیاژی باعث می‌شوند که پوشش، اندکی تیره شود. اگر این مسأله را دیدید، جهت اطمینان یافتن از آنکه علت همین امر است و اینکه این موضوع مشکلی در ارتباط با خلوص مخلوط روی مذاب نیست، نوع فولاد را بررسی کنید.
- *زنگ زدگی.* مشخصه‌های فنی (و تکنیک خوب) ایجاب می‌کنند که سطح گالوانیزه شده عاری از زنگ زدگی باشد. رایج‌ترین نوع زنگ زدگی به واسطه انبار کردن قطعات گالوانیزه شده در شرایط مرطوب برای مدت طولانی ایجاد می‌شود. این مسأله تولید اثری شبیه زنگ سفید می‌کند. اگر ضروری باشد می توان جهت توقف این اتفاق، قطعات را پس از گالوانیزاسیون در معرض عملیات سطحی فسفاته کردن یا کروماته کردن قرار داد.
- *ناپیوستگی‌های پوشش.* این مسأله اغلب نتیجه صدمات مکانیکی است تا مشکلات مربوط به شیمی فرآیند پوشش‌دهی. بنابراین با دقت به پیرامون لبه‌ها و گوشه‌های در معرض نگاه کنید. مناطق کوچک تا حد 30-40 $mm^2$ می‌توانند تعمیر شوند (با استفاده از یک میله پرکننده روی با نقطه ذوب پایین که تقریباً شبیه لحیمکاری نرم اعمال می‌شود). اما این اقدامی مناسب برای مناطق بزرگ به حساب نمی‌آید.

## آزمایش وزن پوشش

این آزمایش برای مشخصه‌های فنی گالوانیزاسیون، قراردادی است جهت تعیین وزن پوشش و با واحد $g/m^2$ بیان می‌شود. اکیداً، بهترین راه بررسی آن با برداشتن روکش روی انجام می شود که در آن یک قطعه آزمایشی کوچک در یک محلول اسید غوطه‌ور شده و وزنی از پوشش که (به واسطه حل شدن) حذف

می‌گردد، اندازه گرفته می‌شود. در عمل روش رایج‌تر مورد استفاده در طی بازرسی یک روش ساده‌تر اختلاف وزن می‌باشد. قطعه قبل و بعد از گالوانیزاسیون وزن می‌گردد، سپس اختلاف بدست آمده جهت بدست آوردن یک عدد پوشش $g/m^2$ بر مساحت تقسیم می‌شود. این روش، روشی قابل قبول است. شکل ۱۳-۵ چند مثال از وزن‌های پوشش مناسب برای قطعات مختلف را نشان می‌دهد. توجه به این نکته لازم است که سطح زبر و ناصاف (شات بلاست شده) فلز پایه، یک پوشش ضخیم‌تر را نسبت به پوشش نازک‌تر قبول می‌کند.

## آزمایش یکنواختی پوشش

آزمایش یکنواختی به عنوان مکملی برای آزمایش وزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش به تنهایی جهت تعیین ضخامت پوشش، دقیق نیست. هدف آن بررسی «همواری» پوشش می‌باشد. شما باید این آزمایش را که به عنوان یک معیار در اکثر مشخصه‌های فنی قراردادی گالوانیزاسیون نوشته شده است، ببینید. آزمایش به طور عادی یک «Preece test» نامیده می‌شود و شامل فرو بری یک قطعه آزمایشی به درون محلول سولفات مس است. محلول، فلز پایه را در مناطقی که پوشش نازک بوده آشکار می سازد و یک لایه قرمز- قهوه‌ای مس فلزی رسوب می کند. این مطلب نشانه آن است که پوشش دارای مناطق ضعیف می باشد و بنابراین غیر قابل قبول است. شکل ۱۳-۵ جزییات کلی را نشان می‌دهد.

در عمل اکثر بازرسی‌های قطعات گالوانیزه شده بر روی یک نمونه کوچک انتخاب شده از یک مجموعه که ممکن است یک بحر بزرگ از قطعات مشابه باشد، انجام می‌گیرد. این را به عنوان یک آیین قراردادی بپذیرید، اما در عین حال یک بازرسی چشمی کلی و عمومی بر تمامی بحر را فراموش نکنید (تنها به منظور اطمینان یافتن).

## آبکاری کرم

از آنجایی که اقلام آبکاری کرم شده اغلب کوچک هستند، بعید است که شما فقط برای بازرسی قطعات آبکاری شده به کارگاه بروید. خواهید دید که بر سطح میله های تجهیزات(rams) هیدرولیک بزرگ مثل همان‌هایی که برای دروازه‌های آب، جرثقیل‌ها، تجهیزات سنگ شکنی و برخی کاربردهای با تکنولوژی بالا، که یک سطح بسیار عالی مهم است، داشتن دانش پیرامون آنچه که به دنبالش می‌گردید، با ارزش است. استانداردهای فنی قابل اجرای مختلفی در این زمینه وجود دارد. مناسب‌ترین آنها BS 1224 می‌باشد که پوشش‌های نیکل و کرم آبکاری الکتریکی شده را شامل می شود.

هدف از آبکاری کرم تنها ایجاد یک پرداخت سطح عالی نیست، بلکه همچنین ایجاد پوششی که در مقابل شرایط محیطی که در حین کار وجود دارد مقاومت کند، می‌باشد. شدت این شرایط کاری در مقیاس‌های ۱ تا ۴ درجه‌بندی می‌شود. مقیاس ۴ شدیدترین وضعیت است و به شرایط هوای آزاد (بیرونی) در یک اتمسفر بسیار خورنده مربوط می‌گردد، در حالی که مقیاس ۱ شرایط اتاق (درونی) و در یک اتمسفر خشک و گرم است. یک سیستم طبقه‌بندی آبکاری جهت توصیف نوع آبکاری الکتریکی و ضخامت، ایجاد شده است. راه‌های مختلفی برای بیان طبقه‌بندی وجود دارد، یک مثال رایج و متعارف در اینجا آورده شده است:

Fe/Cu 20 Ni 25 (p) Cr (mc)



### وزن پوشش

| ماده پایه | حداقل وزن پوشش گالوانیزه شده (g/m2) |
|---|---|
| فولاد با ضخامت mm ۲-۱ | 335 |
| فولاد با ضخامت mm ۵-۲ | 460 |
| فولاد با ضخامت بیش از mm ۵ | 610 |
| قطعات ریختگی | 610 |

تبدیل تقریبی از وزن پوشش به ضخامت پوشش عبارت است از:

$1\ g/m^2 \approx 0/14\ \mu m$

وزن پوشش می‌تواند به صورت‌های زیر نیز تعیین شود:

- یک آزمایش شستن لایه با اسید (دقیق‌ترین روش آزمایشگاهی).
- اندازه‌گیری سیستم اختلاف وزن قطعات قبل و بعد از گالوانیزاسیون.
- گاهی اوقات یک ابزار اندازه‌گیری ضخامت الکترونیکی یا مغناطیسی ساده جهت محاسبه تقریبی از وزن پوشش استفاده می‌شود.

### یکنواختی پوشش (آزمایش Preece یا CuSO4)

آزمایش یکنواختی مکمل بررسی وزن پوشش است.

مراحل عبارتند از:

- نمونه‌های آزمایش از مواد گالوانیزه شده را آماده کنید.
- چهار مرتبه نمونه را پی در پی به درون محلول CuSO4 فرو ببرید. هر فرو بری بایستی 60 ثانیه طول بکشد و نمونه‌ها بایستی در بین فرو بری‌ها آبکش شوند.
- اگر لایه پایداری از مس فلزی قرمز-قهوه‌ای بر سطح فلز پدیدار شود، نمونه از آزمایش یکنواختی رد شده است.
- برای به‌دست‌آوردن جزییات بیشتر به BS 729 مراجعه کنید.

**شکل ۱۳-۵ گالوانیزاسیون غوطه وری داغ: آزمایش های وزن و یکنواختی.**

دقت کنید که تفسیر چگونه صورت می‌پذیرد:

- Fe ، ماده پایه فولاد یا آهن را مشخص می‌کند.
- Cu 20 ، حداقل 20 میکرون مس آبکاری شده روی فولاد را مشخص می‌کند.
- Ni 25(p) حداقل 25 میکرون نیکل آبکاری شده روی مس را مشخص می‌کند. (p) نشان می‌دهد که پرداخت نیکل «نیمه براق» است ((b) بیان می‌کند که نیکل در شرایط «کاملاً براق» رسوب نشانی شده است.)
- Cr (mc) بیان می‌کند که لایه بالایی آبکاری کرم با یک ساختار دارای ریزترک است.

در شکل ۱۳-۶ علائم مختلف ساختار کرم و حداقل ضخامت‌های آبکاری مربوطه آورده شده است. دقت کنید که اگرچه ضخامت Cr صراحتاً بیان نشده است، اما تلویحاً به وسیله علامت ساختار آبکاری کرم که استفاده می‌شود، مشخص شده است.

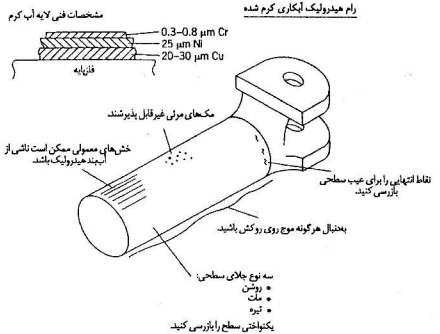
هنگام بازرسی قطعات آبکاری شده، بهترین شیوه آموختن تکیه کردن بر یک بازرسی چشمی دقیق و خوب است. تقریباً تمامی تکنیک‌های آزمایشی کمی برای ضخامت، چسبندگی، نرمی و مقاومت به خوردگی آبکاری، آزمون‌های آزمایشگاهی هستند که نیاز به استفاده از نمونه‌های آزمایشی از قبل آماده شده از قطعات آبکاری شده در حال بازرسی، دارند. معمولاً در عمل، طی بازرسی‌های عادی این نمونه‌ها در دسترس شما نیستند. مسیر معقول در ابتدا انجام یک بازرسی چشمی با جزییات است– سپس اگر احساس می‌کنید که این امر ضروری است می‌توانید در تحقیقات و بررسی‌ها عمیق‌تر شوید (توسط مرور فرآیند آبکاری حقیقی و خواستن قطعات آزمایشی آبکاری شده).

## بازرسی چشمی

برای دست یابی به یک رویکرد ساختاری به بازرسی چشمی، مراحل زیر را دنبال کنید (به شکل ۱۳ـ۶ توجه نمایید):

- *طبقه بندی روکش کاری:* ابتدا طبقه بندی روکش کاری که مشخص شده را پیدا کنید (اگر به جزئیات بیشتر نیاز دارید به BS1224 مراجعه نمایید). مهمترین اطلاعاتی که نیاز دارید نوع شرایط کارکرد و ترکیب وضخامت آبکاری الکتریکی (electroplating) می‌باشد.
- *ابعاد:* آبکاری الکتریکی به ضخامت یک قطعه می‌افزاید اگر چه روکش آبکاری نسبتا نازک است (در صورتی که به درستی اعمال شود) برخی قطعات هیدرولیک تلورانسهای ابعادی ودقیق خود را به ویژه برای سطوح آب بند (sealing faces) دارند. ابعاد سیلندر آبکاری شده را در برخی از نقاط در طول و محیطشان بررسی کنید تا از تلورانس ها بیشتر نشده باشد. شما هم چنین باید ناهمواری یا موجی بودن نامطلوب به وسیله مشاهده سطح آبکاری شده بررسی نمایید.
- *عیوب قابل مشاهده:* آسیب های مکانیکی مانند لب پرشدن وخراشهای عمیق ونا پیوستگی های آشکار در آبکاری را بررسی کنید. سپس به دنبال عیوب مربوط به فرآیند بگردید، مهمترین این عیوب عبارتند از ترکهای قابل مشاهده (ترک های زیر سطحی)، حفرات قابل مشاهده و تاول ها. تمام این عیوب غیر قابل پذیرش هستند. اگر این علائم کوچک را در طول محور یک بازوی هیدرولیک مشاهده کردید، بررسی کنید که آیا این می‌تواند مربوط به یک حلقه (رینگ)آب بند هیدرولیکی محکم باشد یا واقعاً یک عیب آبکاری است.
- *پرداخت سطح:* سه دسته بندی اصلی در مورد پرداخت سطح آبکاری شده وجود دارد؛ براق‌بودن (که باید مانندآینه باشد)، جلا وکمرنگی. اینها را می‌توان معمولاً به سادگی به صورت چشمی متمایز کرد. ولی در موارد مرزی یک ابزار مقایسه کننده می‌تواند به کار رود. ابزارهای مرجع مقایسه گر ویژه برای اندازه گیری های کمّی تر برحسب $R_a$ μm موجود هستند. لازم است که به یکنواختی پرداخت سطح توجه کنید، نباید تغییرات قابل مشاهده در نواحی مهم وجود داشته باشد. برخی نواحی مانند شیارهای آب بند(seal grooves) و شعاع هایی که در داخل ناحیه بحرانی نیستند، اغلب پرداخت سطحی ضعیفتری دارند و عموماً غیر بحرانی هستند. سطوح با پوشش کروم که با ترکهای ریز (mc) یا با تخلخل ریز (mp) مشخص شده اند را با میکروسکوپی با بزرگنمایی 100x بررسی کنید. توجه داشته باشید که این علایم (عیوب) با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیستند اگر این عیوب وجود داشته باشند،آبکاری مردود است. توجه داشته باشید که در سطح داخلی دیزل دور بالا از آبکاری کروم (mc) یا (mp) استفاده می‌کنند.






**شکل ۱۳ـ۶** نکات بازرسی ـ ورق آبکاری‌شده با کرم

مشاهدات دقیق و درست نکته کلیدی انجام آزمایش چشمی قطعات آبکاری شده است. سعی کنید از یک فهرست با جزییات دقیق استفاده کنید و در استفاده از آن هوشیار بوده وآنچه یافته اید را با دقت گزارش دهید. به یاد داشته باشید که هدف آزمایش مشخص کردن این است که آیا بررسی بیشتری نیاز است وآیا قطعات باید مورد آزمایشات بعدی قرار گیرند. در این تصمیمات، اغلب نظر شخصی وجود خواهد داشت، به این دلیل که معیارهای پذیرش به خوبی تعریف شده نیستند، به دقت درباره FFP بیاندیشید و سپس تصمیم بگیرید.

## آزمایش اضافی

اگر شما شواهد وجود مشکلاتی را بیابید، آزمایشاتی وجود دارد که به تشخیص مشکل کمک می‌کند. تمام آنها تست های آزمایشگاهی هستند و به نمونه های آزمایش نیاز دارند. رایج ترین آن ها عبارتند از:

- *بررسی ضخامت آبکاری:* ضخامت لایه های مس و نیکل پشتی از طریق مانت یک مقطع نمونه (ماکرو) ماده پلاستیکی و اندازه گیری ضخامت آبکاری با یک میکروسکوپ انجام می گیرد. روکش کروم نازکتر است و فقط با استفاده از روش کولومتری (کولن سنجی colometry) به دقت اندازه‌گیری می‌شود. این آزمایش مستلزم حل کردن کروم به صورت آند واندازه گیری زمان حل شدن است.
- تست چسبندگی: یک ارزیابی کلی چسبندگی روکش می‌تواند با استفاده از یک سوهان دستی زبر به طور مایل در لبه نمونه آزمایش آبکاری شده انجام شود تا مشاهده گردد روکش چگونه جدا می‌شود. آزمایش کوئنچ (سرد کردن سریع) نیز امکان پذیر است ولی این فقط یک شاخص است.
- تست نرمی: یک نمونه آبکاری شده در یک قالب خم می‌شود وسپس برای یافتن ترک مورد بررسی قرار می‌گیرد. میزان ازدیاد طول حداقل که به طورکلی پذیرفته شده، ۸ درصد می‌باشد. این به طور خاص یک آزمایش مفید نیست.
- تست های خوردگی: چندین نوع از این تست ها وجود دارد. رایج ترین آن ها تست CAASS (copper accelerated acetic acid salt spray) (پاشش نمک اسید استیک تسریع شده مس) است و مستلزم اسپری کردن نمونه با اسید است تا مشاهده شود با چه سرعتی خورده می‌شود. این آزمایش استفاده محدودی در عیب یابی مشکلاتی که در کار بازرسی با آنها مواجه می‌شوید، دارد.

خرابی روکش کروم در استفاده معمولی کاملاً نادر است. رخ دادن خرابی تقریباً همیشه نتیجه شرایط نامطلوب فرایند در طول اعمال لایه کروم نهایی یا به دلیل آسیب مکانیکی روکش می‌باشد. یک بازرسی دقیق چشمی و ابعادی معمولا این عیوب را در مرحله نهایی بازرسی آشکار خواهد کرد. بازرسی های مقدماتی در آماده سازی مرحله لایه زیرین (backing layer) غیر معمول است وبعید است که از اغلب شکست ها جلوگیری کند.

## پرداخت سطحی

ارزیابی پرداخت های سطحی ظریف نه فقط برای قطعات آبکاری الکتریکی شده بلکه برای پرداخت های ماشینکاری وسمباده زنی شده روی قطعات گردان ماشین آلات مانند توربین، دنده های چرخنده و محورها، اهمیت زیادی دارد. پرداخت سطحی همچنین با دقت در قطعات پرتنش مانند پره های توربین که پرداخت سطحی ضعیف می‌تواند باعث کاهش زیادی در استحکام خستگی شود مشخص می‌گردد. این ارزیابی پرداخت سطحی ظریف را با ارزیابی درجه بندی سطوح ساچمه زنی شده در فصل ۱۴ اشتباه نگیرید (برای هرکدام یک سری متفاوت از استانداردها به کار می‌رود).

دو روش پذیرفته شده برای تعیین درجه پرداخت سطح وجود دارد. زبری سطح را می‌توان با یک ابزار قلم فولادی دقیق اندازه گیری نمود، که یک عدد کتی واقعی می دهد. این روش معمولا در کار آزمایشگاهی به کار می‌رود. روشی که در کار بازرسی اغلب استفاده می‌شود یک ارزیابی مقایسه ای است. در اینجا سطح با یک سری از نمونه های مرجع آماده (که عموماً بر روی یک سنجه مقیاس گر ورق فولادی فراهم شده اند) مقایسه شده و یک ارزیابی کیفی صورت می‌گیرد. این یک تست سریع وعملی است که نیاز به تجربه زیادی ندارد و به قدر کافی برای اکثر اهداف بازرسی دقیق است.



طبقه بندی پرداخت های سطحی به خوبی در استانداردهای فنی شرح داده شده است. این یک مثال خوب از یک نظام فنی است که در آن استانداردها صنعت را راهنمایی می‌کنند. برخی تفاوت های جزیی در رویکرد بین استانداردها وجود دارد ولی اصول پایه اغلب یکسان هستند. زبری سطح با پارامتر $R_a$ تشریح می شود. این یک مقیاس از میانگین انحراف عمودی قله ها و دره ها در سطح است(یا $R_z$ که پارامتر کمتر مورد استفاده که فاصله عمودی بین بلندترین قله وعمیق ترین دره می‌باشد اشتباه نگیرید). توجه کنید که پارامتر$R_a$ با اندازه CLA (مساحت خط مرکزی) که قبلا استفاده می‌شد جایگزین شده است (تفاوت فقط در لغت است و روش اندازه گیری دقیقا یکسان می‌باشد).

شما خواهید دید که مشخصه های قرار دادی از پارامتر $R_a$ برای مشخص کردن یک درجه خاص از پرداخت سطحی ظریف استفاده می‌کنند. این پارامتر به استفاده از یکی از استانداردهای فنی زیر برمی گردد (به شکل۱۳-۷ که اطلاعات مهم مورد نیاز را خلاصه می‌کند، توجه کنید):

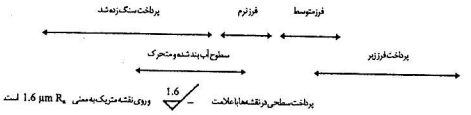
BS 1134,DIN ISO 1302 استانداردهای پذیرفته شده هستند. مقادیر ترجیحاً (بر حسب میکرون) با یک سری از اعداد N (N numbers) دسته بندی می‌شوند. یک استاندارد مشابه ANSIB 46.1 است که مقادیر$R_a$ را برحسب واحد های انگلیسی (میکروانیچ) نشان می‌دهد. شکل ۱۳-۷ مقادیر معادل به واحد متریک را نشان می‌دهد.

بررسی پرداخت سطحی باید همان اصول آزمایشهای چشمی که در این کتاب بحث شده را دنبال کند(بازرسی نزدیک و دقیق تمام سطح در نورمناسب) به همراه گزارش تشریحی دقیق نتایج.

چند نکته ویژه در هنگام استفاده از سنجه مقایسه گر وجود دارد:

- فرآیند ایجاد سطح اهمیت دارد. بافت سطح ناشی از تراشکاری، سنگ زنی سیلندری، فرزکاری و لیسه کاری داخلی بسیار با هم تفاوت دارد. این در استاندارد های فنی در نظر گرفته شده ویک سنجه مقایسه‌گر می‌تواند سطوح تولید شده با هریک از این فرایندها را مقایسه کند.
- استفاده از سنجه های مقایسه گر هم نیاز لمس کردن وهم نیاز به مشاهده دارد. شما باید ابتدا ناخن خود را در چند جهت به سطح مورد بررسی بمالید وسپس بهترین نمونه مشابه آن را در نمونه های مقایسه ای پیدا کنید.
- به عنوان یک راهنمایی شمابابد بتوانید ارزیابی دقیق بین شماره های N پرداخت ظریف از N1تا N5 ($R_a$ معادل 0.025 μm تا 0.4μm) وبهتر از آن را از شماره N6 ($R_a$ معادل0.8 μm) وبالاتر از آن انجام دهید. به عنوان یک قانون سرانگشتی، یک سطح تراش خورده زبر با علائم قابل مشاهده ابزار در روی آن، از درجه N 10 برابر$R_a$6.3 μm) است ویک سطح نرم بهتر ماشین کاری شده احتمالا از درجه N8($R_a$برابر 3.2 μm) می‌باشد. سطوحی که باسطوح پایدار دیگر جفت هستند یا یک سطح مرجع برای قرار گیری سطوح دیگر رافراهم می‌کنند معمولاً با درجه N7(Raمعادل1.6 μm) یا بهتر مشخص می‌شوند سطوحی که در حرکت نسبی یا عملکرد یاتاقان دخالت دارند از درجه N6 (Raمعادل0.8 μm) تا آخرین درجه ظرافت N1 (معادل0.025 μm) تغییر می‌کنند. پرداخت های ظریفتر ممکن است برای کاربردهای مخصوص یا قطعات آبکاری شده به کار رود. این ها ممکن است نیاز باشد با استفاده از یک ابزار (قلم فولادی) اندازه گیری شوند.

| | پرداخت نرم(ظریف) | | | | | | پرداخت زبر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_a$ (μm) BS1134 | 0.025 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 3.2 | 6.3 | 12.5 | 25 | 50 |
| $R_a$ (μ inch) ANSI B46.1 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 |
| N-grade DIN ISO 1302 | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 | N7 | N8 | N9 | N10 | N11 | N12 |




**شکل ۱۳-۷** تفسیر پرداخت سطح



## خلاصه نکات کلیدی: پوشش کاری

۱. دلیل ریشه ای اکثر خرابی های پوششهای پلاستیکی اعمال ضعیف آن ها است. شما می‌توانید با بازرسی های میانی از بروز آنها جلوگیری کنید.
۲. تعدادی از شکل های طراحی جزئی ولی مهم وجود دارد که برای پوشش مخازن وقطعات لاستیکی مطلوبند. بررسی این ها ارزش دارد. برای راهنمایی به BS 6374 part5 ,28 051-5 DIN مراجعه کنید.
۳. روش های معمول آزمایش برای بررسی موارد زیر به کار می‌روند:
- سختی
- پیوستگی (آزمایش جرقه)
- چسبندگی (آزمایش ضربه)

همیشه یک بررسی چشمی از نزدیک و دقیق انجام دهید. موارد ویژه ای برای جست وجو وجود دارند.
٤. عیوب در پوشش دهی با لاستیک را می‌توان تعمیر کرده ولی باید طرز عمل را پایش کنید تا مطمئن شوید به دقت کنترل می‌شود.
۵. برای روکش های فلزی، معیار اصلی FFP یکپارچگی است تا ماده پایه بی حفاظ نماند.
۶. روکش کاری (cladding) آزاد اصولا یک فرایند بر پایه جوشکاری است. می‌توانید برخی از اطلاعات فصل ۵ را به عنوان راهنما استفاده کنید.
۷. گالوانیزه کردن (پوشش دادن فولاد به وسیله غوطه ورسازی در روی مذاب) یک فرآیند رایج است.ASTM A90,BS729اطلاعات مربوط به بازرسی مفیدی دارند یکی از این تست های اصلی بررسی وزن پوشش روی می‌باشد.
۸. سعی کنید اصول ارزیابی درجات پرداخت سطحی را با استفاده از یک سنجه مقایسه گر یاد بگیرید. اصول یکسانی برای سطوح ماشین کاری شده وسطوح آبکاری شده به کار می‌رود. درجات مختلف با شماره N (ISO DIN 1320) یا با استفاده از پارامتر Ra که مربوط زبری سطح برحسب میکرون است، مشخص می‌شوند.

## فهرست منابع


1. BS 903. Physical testing of rubber (various parts).
2. BS 6374 Parts 1 to 5. Lining of equipment with polymeric materials for the process industries various parts.
3. DIN 28 051: 1990. Chemical apparatus; design of metal components to be protected by organic coatings or linings.
4. BS 729: 1994. Specification for hot dip galvanized coatings on iron and steel articles.
5. ASTM A90/A90M 1993. Test methods for weight (mass) coating on iron and steel articles with zinc or zinc-alloy coatings.
6. BS 1224: 1996. Specification for electroplated coatings of nickel and chromium.
7. DIN ISO 1302: 1992. Technical drawings – methods of indicating surface texture.
8. BS 1134 Part 1: 1988. Assessment of surface texture – methods and instrumentation.
   BS 1134 Part 2: 1990. Assessment of surface texture –guidance and general information.


# فصل ۱۴

# رنگ

دیده شده است که تقریباً هر کسی به تفسیر و تعبیر در مورد رنگ علاقه دارد. رنگ قابل رؤیت بوده و هدف آن بسیار شناخته شده است، بنابراین همیشه توجه زیادی را در طی بازرسی به خود جلب می‌نماید. با وجود این توجهات( که مجموعه ای از دیدگاه حاکمیتی و غیر مطلع می باشد) گاهی اوقات مشکلاتی از مهندسان سایت و استفاده کنندگان نهایی در مورد رنگ کاری ضعیف گزارش می شود. این مسائل اغلب تنها مشکلات ظاهری هستند، اما گاهی اوقات جدی‌تر شده و رنگ پس از یک زمان بسیار کوتاه پوسته پوسته شده و اجازه می‌دهد که خوردگی آغاز گردد. چرا؟

یک دلیل برای این موضوع، بازرسی ضعیف می‌باشد (منظور بازرسی نا کافی نیست.). بطور کلی بازرسی ضعیف به دلیل اشتباه شدن اهمیت نسبی معیارهای FFP رنگ کاری ایجاد می‌شود.

## معیارهای مناسب بودن برای منظور (FFP)

یک دلیل برای خطای ظاهری رنگ زدن آن است که، وزن نسبی (relative weights) معیارها ثابت نیستند. معیارهای FFP بیشتر بسته به قطعه‌ای که رنگ می‌شود بستگی دارد تا به سیستم رنگی که مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دلایل اصلی برای رنگ زدن قطعات کوچک و محکم تجهیزاتی نظیر پمپ‌ها، موتورها، شیرها و مخازن کوچک، تا حد زیادی زیبایی است تا محافظتی. برای قطعات بزرگ و قطعاتی که از اتصال اجزای مختلف ساخته شده‌اند و در یک محیط خورنده کار می‌کنند، اولویت‌ها تغییر می‌کنند. در مواردی مانند سازه‌های فراساحلی(سکوهای نفتی) و ساحلی، مدول‌های نمک زدایی مونتاژ شده، پل‌ها، کشتی‌ها، کانال های بیرونی و موارد مشابه، جهت کاهش اثرات خوردگی، از رنگ‌های بسیار خاص استفاده می‌شود و رنگ زدن یک بخش جدایی ناپذیر این تکنولوژی‌ها شده است. بنابراین در دامنه کارهای مختلفی که بازرسی می شود. رویکردهای متفاوتی برای ارزیابی معیارهای FFP رنگ مورد نیاز است. در این میان، بسیار کلی برخورد نمودن با مسئله، خطرناک است؛ اما معیارهای اصلی FFP عبارتند از:

- آماده سازی صحیح،
- یک سیستم رنگ مناسب
- به کار بردن و اعمال صحیح رنگ.

می‌توانید ببینید که چگونه اینها معیارهای ترکیبی هستند. توجه داشته باشید که این معیارها چگونه به مراحل کار ارتباط پیدا می کنند تا به ارزیابی ظاهر رنگ پس از اعمال آن. این شبیه رویکردی است که

برای ارزیابی جوشکاری در فصل ۵ استفاده شده است. بازرسی مؤثر و ساده‌ای در مورد کنترل فرآیند رنگ زدن انجام دهید و تنها به پایان کار توجه نکنید.

سناریویی که درست در شروع اولین پاراگراف این فصل مطرح شد به‌خاطر می‌آورید؟ شما می‌توانید با کمی تمرین، بر آن احاطه پیدا کنید. اول، یک تمرکز روشن بر معیارهای FFP داشته باشید، سپس در جهت دنبال‌نمودن اصول زیر تلاش کنید. این مطلب قطعی و مطلق یا کامل نیست، اما یک دانایی مسلم است.

### اصول

هنگامی که رنگ را بازرسی می‌کنید وقت خود را با خرده گرفتن بر تراشه‌ها و تورق‌ها و خراش‌ها تلف نکنید. به جای آن، به دنبال مسأله بزرگ باشید. مسأله بزرگ آن است که، آیا از سه معیار FFP، موردی وجود دارد که به درستی انجام نشده باشد.

## اطلاعات فنی پایه

برای بازرسی موثر قطعه رنگ شده، دانستن نقش پوشش رنگ ضروری است. این نقش بین انواع مختلف رنگ تفاوت می‌کند، اما خوشبختانه این اختلافات محدود هستند. این نقش به شیمی سیستم رنگ مربوط می‌شود. این مطلب با جزییات کامل در برخی کتب اصلی استاندارد پوشش داده شده است. آنچه شما نیاز دارید که بدانید احتمال یافتن مشکلاتی است که منجر به خرابی لایه رنگ خواهد شد. شکل۱۴- ۱ آمار تقریبی مشکلات احتمالی رنگ کاری را نشان می‌دهد. دقت کنید که چگونه مشکلات در قالب نقش و وظیفه رنگ نشان داده شده‌اند. نقشی که در صورت وجود مشکل انجام نمی شود.

## انواع رنگ

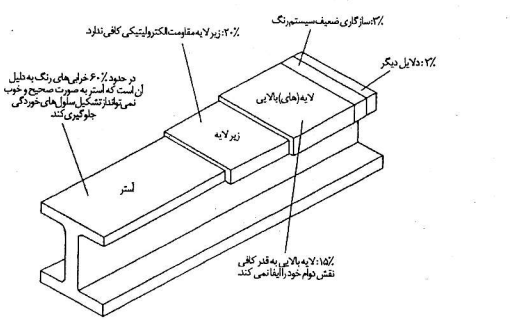
انواع مختلف و بی‌شماری رنگ وجود دارد اما برای اهداف بازرسی، تنها نوع رنگ که بر روش بازرسی و وزن سه معیار FFP اثر می‌گذارد، اهمیت پیدا می کند. این روشی ساده ولی رضایت بخش است. نیازی به داشتن دانش زیاد و احاطه داشتن کامل به شیمی رنگ نمی باشد. خوب است که دسته بندی‌های اصلی رنگها را بشناسید تا فقط بر نام تجاری آنها تکیه نکنید که می‌تواند گیج کننده باشد. تقسیم‌بندی‌های کلی، همراه با مشخصه های اصلی که بر بازرسی آنها موثر هستند در زیر آورده شده است.

### رنگ‌های هوا خشک

این نوع رنگ‌ها رایج‌ترین نوع هستند که در کاربردهای مهندسی متداول با آنها برخورد خواهید داشت. آنها شاید برای ۸۰-۷۰ درصد تمام رنگ کاری‌های سازه‌های داخلی و تجهیزات یا تأسیسات بیرونی که در معرض اتمسفرهای بسیار خورنده نیستند، به کار برده می شوند. سه نوع اصلی برای این رنگ ها وجود دارد:

- رزین های آلکیدی، که در آستر و زیرلایه‌ها استفاده می‌شوند. ضخامت‌های لایه خشک (dft = Dry Film Thichness) به طور کلی 35-50 µm برای هر لایه است. در انتظار دیدن مشکلات ظاهری کوتاه مدت ایجاد شده به علت لبه های خیس باشید. اگر آماده سازی به درستی انجام شده باشد، چسبندگی یک مشکل متداول و رایج نخواهد بود.






**شکل ۱۴-۱** دلایل عملی برای خرابی و عدم موفقیت رنگ

- *استرهای اپکسی (epoxy esters)* این نوع رنگ ها معمولاً روی سازه‌های فولادی و مخازن ذخیره استفاده می شود. این دسته رنگ‌ها دارای مقاومت شیمیایی بهتری از تمامی انواع آلکیدی‌ها هستند. لازم به ذکر است که الزامات بازرسی مشابه است. شما امکان دارد که نیاز پیدا کنید در برخورد با مشکلات ایجاد شده به خاطر ضعف در پاشش، با این نوع رنگ نقاط مشکل دار را محافظت کنید.
- *لاستیک های کلریده شده* این نوع رنگ ها، برای محافظت بیرونی سازه‌های فولادی و تولیدات در محیط‌های خورنده خاص مثل مناطق فرا ساحل یا ساحلی استفاده می‌گردد. پوشش بالایی معمولاً بر روی آستر غنی از روی یا یک(chlorinated rubber alkyd) مشابه اعمال می‌گردد. استفاده از انواع دیگر آستر امکان دارد منجر به مشکلات چسبندگی شود. ضخامت‌های لایه متفاوت است، اما dft تک لایه معمولاً کاملاً نازک و در حدود 50-60 µmبرای هر لایه به سبب مقدار زیاد حلال در رنگ می باشد.اما اغلب مشخصات فنی یک تک لایه ضخیم در حدود 300-400 µm را لازم دانسته‌اند. برای این موضوع یک عامل غلیظ کننده باید به رنگ اضافه گردد. رنگ‌های رابر کلریده شده اغلب دچار مشکلات چسبندگی بین لایه ای نمی شوند، زیرا لایه های ثانویه با یکدیگر به طور کاملاً مؤثری آمیخته می‌شوند. لازم به ذکر است که اگر لایه بسیار ضخیم اعمال شده باشد، مشکلاتی نظیر طبله کردن و پوسته انداختن می تواند بروز نماید.

### رنگ‌های دوقلو

رنگ‌های دوقلو شامل یک رزین رنگی و یک کاتالیست یا سخت کننده ( hadener) می‌باشد که با یکدیگر مخلوط می شوند. آنها بر خلاف رنگ های قبلی طی یک واکنش شیمیایی سخت می شوند، نه آنکه در اثر

تبخیر حلال. رایج‌ترین دسته آن، نوع اپکسی است که مقاومت به آب، محیط و حملات شیمیایی بالایی دارد. انتظار دیدن آن را در هر جایی که شرایط اسیدی یا قلیایی حاکم باشد نسبت به استفاده‌های کاری متداول و کلی، داشته باشید. در همین زمینه به چهار نکته ویژه مربوط به بازرسی توجه کنید:

- رنگ‌های اپکسی عموماً غلیظ هستند. میانگین dft برای هر لایه، 100 µm است.
- آنها هنگامی که با هم مخلوط می‌شوند دارای زمان سخت شدن بسیار کوتاه هستند، بنابراین مشکلات اجرایی پدید می‌آورند.
- دمای اتاق در طی رنگ زدن بسیار مهم است. اپکسی تنها در دماهای بالای 8-7 درجه سانتیگراد با موفقیت سخت می‌شود.
- درمجموع این نوع رنگ در مقایسه با رنگهای هوا خشک نسبت به عوامل فرایند حساسیت بیشتری دارند. این به آن معنا است که کنترل فرآیند اعمال، قسمتی بسیار مهم از فرآیند بازرسی می‌باشد.

نوع دیگر رنگ در این دسته، پلی اورتان دوقلویی است. این رنگ نیز برای کاربردهای مقاوم در برابر عوامل شیمیایی استفاده می‌شود. ضخامت لایه خشک (dft) می‌تواند 100-40 µm برای هر لایه، بسته به فرمول رنگ استفاده شده تغییر کند.

## آسترها

برای فلزی که شات بلاست شده است، اعمال یک لایه نازک آستر پایه روی به ضخامت 30 µm رایج است. این رنگ می‌تواند از نوع حک کننده باشد، شامل اسید فسفریک جهت حکاکی سطح، یا یک اپکسی دوتایی غنی از روی. آسترهای روی دارای خواص بازدارندگی هستند. روی (Zn) حفاظت کاتدی را برای آهن فراهم می‌آورد. از دیدگاه یک بازرس، مسأله کلیدی اطمینان از آن است که این آسترها فوراً پس از شات بلاست اعمال گردند. روی باید تماس نزدیکی با سطح فلز ایجاد کند و نباید توسط محصولات خوردگی که می‌توانند به سرعت بر روی یک سطح تازه شات بلاست شده شکل گیرند، محدود شوند. برای قطعاتی که زیاد بحرانی نیستند امکان دارد با آسترهای کرومات روی یا فسفات روی (یا گهگاهی سرب قرمز) که مورد استفاده قرار می‌گیرند، مواجه شوید. این موارد به صورت سنتی در پوشش‌های ضخیم اعمال می‌شوند و در تعمیرات"در جا" کاربرد بیشتری دارند تا تجهیزات جدید ساخت کارخانه. میزان کارایی آنها بر روی فولاد کاملاً تمیز نشده ، بسیار ضعیف است.

## آماده سازی

آماده سازی نادرست سطح، رایج‌ترین علت اصلی خرابی لایه‌های رنگ می باشد. به ویژه آنهایی که بر مواد آهنی متداول نظیر فولاد کم کربن اعمال شده است. آماده سازی ضعیف و بد همیشه منجر به خرابی لحظه‌ای نمی‌شود؛ بلکه امکان دارد یک دوره دو یا سه ساله قبل از آنکه مشکلات واقعی ظاهر شوند، سپری شود. به هرحال، احتمالاً خرابی تا آن موقع تقریباً کامل خواهد شد. سیستم رنگ حفاظت موثر خود را از فلز زیرین از دست می دهد. آماده سازی صحیح دو هدف دارد. اول حذف زنگ های سطحی موجود، اما کار اصلی زدودن هر گونه نواحی خوردگی فعال (یا پنهان) بر روی سطح فلز با حذف پوسته‌های نوردی است. پوسته های نوردی، اکسید ترد سختی است که در طی فرآیند نورد فولاد شکل می‌گیرد و سبب مشکلات



مکانیکی برای لایه رنگ می‌گردد. زیرا در اثر انبساط ترک می‌خورد و نیز باعث پوسته پوسته شدن رنگ می‌شود. پوسته های نوردی نیز به دلیل آنکه نسبت به فولاد کاتد می باشد، سبب مشکلات الکتروشیمیایی می‌گردند، بنابراین حملات آندی سریع را بر روی مناطق کوچک سطح محافظت نشده تشویق می‌نماید.

سه نکته کلیدی در مورد پوسته های نوردی:

- آماده سازی صحیح یعنی زدودن تمامی پوسته های نوردی قبل از رنگ زدن.
- پوسته های نوردی نمی‌توانند توسط برس سیمی حذف گردند (سختی بالایی دارند). تکنیک هوا دادن( weathering) مواد تنها مقدار پوسته های نوردی را کاهش داده و به طور کامل آن را حذف نمی‌کند.
- تنها راه مناسب حذف پوسته های نوردی شات بلاست با استفاده از ساچمه هایی با اندازهٔ مناسب است.

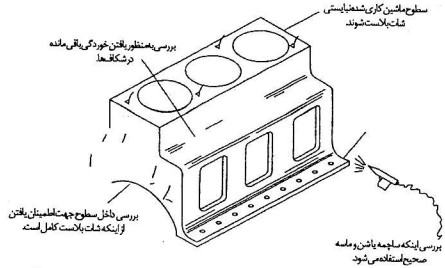
میزانی که یک ماده شات بلاست می‌شود مهم است. درجات پاکیزگی سطح شات بلاست شده توسط استانداردهای مختلفی پوشش داده می‌شود (جلوتر را نگاه کنید). از لحاظ FFP، محتاط بودن در مورد درجات پرداخت که حذف کامل پوسته های نوردی را تصریح نمی‌کنند، عاقلانه است. این درجات در شکل ۱۴- ۲ همراه با برخی نکات بازرسی نشان داده شده است.

## اعمال رنگ

رنگ اکثر تولیدات، مخازن و قطعات تجهیزات بزرگ که در طی بازرسی با آنها برخورد می‌کنید، توسط اسپری اعمال شده است. روش‌هایی نظیر غوطه وری (برای قطعات کوچک)، استفاده از غلتک یا قلم‌موی دستی، و رسوب نشانی الکتریکی کمتر رایج هستند. تکنیک اسپری رنگ به مهارت اپراتور بسیار وابسته است. این روش برای سطحی که به خوبی آماده شده خیلی خوب قابل اجراء است. باید متوجه باشید که می توان همه چیز را مناسب آماده نمود اما بخاطر تکنیک پاشش ضعیف رنگ، به نتایج دلخواه نرسید. تشریح تکنیک‌های اعمال رنگ در اینجا ممکن نیست. مراجع مختلفی در این رابطه موجود هستند (به مرجع شماره یک مراجعه شود). به عنوان یک بازرس داشتن دید و درک در مورد متغیرهای اصلی موثر بر اعمال رنگ، مهم می‌باشد. این متغیرها را در فرآیندهای رنگ کاری و برگه‌های ثبت استفاده شده توسط پیمانکارهای رنگ کار خوب خواهید یافت.

همچنین از آنها به عنوان یک فهرست اولیه بررسی، هنگام نظارت حضوری بر اعمال رنگ، استفاده کنید. متغیرهای اصلی عبارتند از:

- *کیفیت هوای اسپری شونده* هوا باید خشک و عاری از رطوبت باشد. این کار با استفاده از فیلتر *خشک* کننده‌ها جهت جلوگیری از ایجاد آلودگی در رنگ انجام می شود. برخی روش‌ها از اسپری بدون هوا استفاده می‌کنند که در آن، رنگ، به سبب افت فشار، هنگامی که از تفنگ اسپری خارج می‌گردد پودر می‌شود.
- *مخلوط رنگ و یکنواختی* این موضوع به خصوص برای انواع رنگ دوقلویی مهم است. محدودیت‌های زمان سخت شدن و عمر مفید باید رعایت شوند. توجه کنید که برخی رنگ‌ها قبل از آنکه اعمال شوند گرم می‌گردند.




شات بلاست کردن: نکاتی جهت بررسی

- به صورت بافل تماس اکسیدهای سطحی بایستی حذف شوند.
- مناطقی که بیش از حد شات بلاست شده اند را بررسی کنید. جاهایی که لبه دار، برفی ساییده شده اند.
- اطمینان حاصل کنید که سطوح بلاست شده از آسترزنی بررس زده شوند یا جاروبرقی شات بلاست اعمال شود.
- آستر بایستی بلافاصله پس از شات بلاست اعمال شود اگر هر گونه تأخیری قبل از اعمال آستر اصلی وجود دارد، بایستی از یک آستر بلاست سریع خشک شونده استفاده شود.

| درجات آماده سازی (استاندارد SIS 05 5900) | |
|---|---|
| Sa 3 | بلاست تا ظاهر خالص، تمیز می کند، هیچ رنگ، زدگی سطحی اصلاً |
| Sa 2½ | تمیزکاری بلاست بسیار کامل، تنها ازکدورتی سطحی کمی امکان دارد باقی بماند. |
| Sa 2 | تمیزکاری بلاست کامل، اکثر اکسیدهای سطحی و رنگ ها حذف می شوند سپس سطح تمیز می شود. |
| Sa 1 | تمیزکاری بلاست سبک، هر گونه اکسید سطحی و رنگ سست حذف می شود. |

استانداردهای دیگری که امکان دارد مورد استفاده قرار گیرند BS 7079 و ASTMSSPC هستند.

**شکل ۱۴-۲** شات بلاست ـ نکاتی جهت بررسی

- *شرایط محیطی*؛ که متغیری کلیدی است. دمای محیط و رطوبت نسبی بایستی در حدود تعیین شده باشند (مشخصات فنی رنگ به وضوح آنها را توضیح می‌دهند). رطوبت زیاد (بالای 80 %) و دماهای پایین (زیر حدود $^{0}C$ 4 ) نگران کننده هستند. خاک گرفتگی یا شرایط نمکی نیز نامطلوب هستند.

## مشخصات فنی و استانداردها

حوزه‌ای که استانداردهای فنی، مشخصات فنی قرارداد را ذکر می‌کنند بستگی به هدف یک قطعه، تجهیزات و کار آن در صنعت دارد. برای تولید برق، تأسیسات شیمیایی غیر خاص و مصارف صنعتی کلی،



بعید است که به آشنا شدن با جزییات برخی استانداردهای فنی خاص احتیاج پیدا کنید. بازرسی مؤثر قطعه رنگ شده بیشتر در مورد مشاهده دقیق و به کارگیری مقدار زیادی قضاوت مهندسی می‌باشد. به طور خلاصه، یک روش مبتنی بر درک کلی بهترین روش بازرسی است. یعنی جهت تقویت قضاوت‌هایتان نمی‌توانید زیاد بر استانداردهای فنی تکیه کنید. در این میان تجربه کمک خواهد کرد. دلیل دیگر که چرا نظارت حضوری بر تکنیک‌های رنگ زدن در مراحل آماده سازی و اعمال مهم می‌باشد، این است که فهمیدن تکنیک‌های اعمال رنگ هنگامی که آنها را در حین انجام شدن مشاهده کرده‌اید، بسیار ساده‌تر است. مجموعه‌های مختلفی از استانداردها مربوط به آماده سازی سطح و آزمایش رنگ وجود دارد. رایج‌ترین آنها در زیر توضیح داده شده‌اند.

**BS 7079:** موضوعات کلی آماده سازی زیرلایه‌های فولادی را قبل از رنگ زدن، پوشش می‌دهد. این استاندارد شامل ۱۶ سند مجزا که به ۴ دسته تقسیم می‌شوند، می‌باشد:

- گروه A: ارزیابی چشمی تمیزی سطح را شامل می شود.
- گروه B: ارزیابی کلی‌تری از تمیزی سطح را با استفاده از ماده شیمیایی و فشار شامل می شود .روش‌های نوار حساس. بعید است که استفاده اینها را در طی بازرسی‌های عادی مشاهده کنید.
- گروه C: ارزیابی زبری سطح (یا منحنی سطحی) را با استفاده از روش‌های اندازه‌گیری ابزار مستقیم و مقایسه‌ای شامل می شود.
- گروه D: خود تکنیک‌های آماده سازی را شامل می شود، شامل شات بلاست و برس‌زنی مکانیکی.

**استاندارد سوئدی:** SIS 055900 یک استاندارد مشابه است که درجات پرداخت سطح شات بلاست شده را تعیین و مشخص می‌کند. این استاندارد مورد پذیرش و استفاده در اکثر صنایع است و نسبت به BS 7079 در اولویت قرار می گیرد. این استاندارد تصاویر مرجع برای چهار درجه اصلی شات بلاست شده را ارائه می دهد که Sa 3، Sa 2½، Sa 2 و Sa 1 نامیده می‌شوند. اغلب اینها را خواهید دید که خودشان، بدون ارجاع به SIS 05 5900 استفاده می‌شوند. شکل ۱۴- ۲ شرح و تفسیر این درجات را نشان می‌دهد. تقریباً تمام مشخصه‌های قراردادی لازم می‌دانند که سطوح تا Sa 2½ آماده سازی شوند.

جهت رسیدن به این درجه، سطح بایستی تا حالتی که تنها اثراتی از پوسته‌های نوردی یا زنگ، باقی بماند، شات بلاست شود. در عمل این مسأله معمولاً به این معنی تفسیر می‌شود که تنها یک زنگ زدگی سبک بتواند مشاهده شود. تنها در شات بلاست با درجه Sa 3 است که نیاز است سطح تا فلز خالص و به طور یکنواخت شات بلاست شود.

**SIS 05 5900:** قوانینی نیز جهت توصیف میزان زنگ زدگی فولاد نورد گرم قبل از شات بلاست ارائه می دهد. در این استاندارد برای میزان شات بلاست چهار درجه A تا D وجود دارد. در درجه A سطح فولاد کاملاً از پوسته های نوردی پاک می شود ولی مقدار کمی زنگ بر روی سطح باقی می ماند اما بدون زنگ زدگی ، تا درجه D که بدترین شرایط را داراست. در این سطح پوسته های نوردی خورده شده و حفرات زیادی در سطح باقی مانده است.

در بازرسی‌ها امکان دارد با اینگونه علائم به همراه دسته بندی شات بلاست برخورد نمایید. برای مثال C Sa 2½ سطحی را که به صورت متوسط زنگ زده و سپس تا ½ Sa2، شات بلاست شده است را ارائه می‌دهد.

یک استاندارد آمریکایی مشابه با ASTM SSPC (انجمن رنگ سازه‌های فولادی) وجود دارد. این

استاندارد از اصول یکسان برای توصیف زنگ زدگی و شات بلاست با علائم متفاوتی استفاده می‌کند. رایج‌ترین موارد استفاده شده، A، B، C یا Sa2 1/2 D، به عنوان SSPC SD10 پایه انتخاب می‌شوند.

**BS 5493** : یک استاندارد فنی بسیار جامع برای پوشش دهی حفاظتی سازه‌های آهنی و فولادی در مقابل خوردگی می باشد. این استاندارد الزامات رنگ برای اکثر کاربردهای مهندسی که امکان دارد شما با آن مواجه شوید را پوشش می‌دهد، به غیر از آنهایی که در زمره صنایع فرا ساحل به شمار می آیند. در این استاندارد، دستورالعمل و راهنمایی‌های روشنی در مورد چگونگی انتخاب و تعیین یک سیستم رنگ مناسب برای محیط‌های مختلف وجود دارد. این استاندارد برخی اطلاعات در مورد عملکرد انواع مختلف رنگ را فراهم می‌آورد. اما این اطلاعات آنقدر نیست که بتوان ارزیابی کاملی از FFP به عمل آورد. قسمت ۲، جدول ۴ استاندارد، یک فهرست بسیار مفید از سؤالات فنی مربوط به ارزیابی یک سیستم رنگ را در اختیار شما قرار می‌دهد. می‌توانید از این اطلاعات یک چک لیست عالی جهت استفاده در بازرسی‌هایتان تهیه نمایید. خلاصه خوبی از مسائل FFP می‌باشد. قسمت ۳ استاندارد، از یک سیستم طبقه بندی انواع رنگ با استفاده از کدهای عددی استفاده می‌کند. شما استفاده این موضوع را در برخی مشخصه‌های قراردادی خواهید دید، اما این مسأله عموماً پذیرفته نشده است. برخی کارفرماها (و سازنده‌های رنگ) دارای سیستم‌های طبقه بندی رنگ خودشان هستند.

مقوله شرایط محیطی در BS 5493 پوشش داده می‌شود. محیط‌های مختلف در محدوده شرایط فضاهای داخلی تمیز تا اتمسفر ساحلی آلوده خارجی تعریف می‌شوند. شما عموماً با این مسائل در بخش‌های مختلف مشخصه‌های قراردادی رو به رو خواهید شد.

مسأله رنگ نقاشی در BS 381 آمده است که متقابلاً به یک سری دسته رنگ‌های استاندارد مطابق با شماره‌های RAL، در اصل به یک استاندارد آلمانی ارجاع می‌دهد. این نمونه‌های RAL دارای یک کد چهار رقمی است و هر کد یک کارت به همان رنگ برای مقایسه با رنگ های دیگر دارد.

تشخیص اکثر رنگ‌ها از یکدیگر کار دشواری نیست، در حالی که امکان دارد شما اندکی مشکل در مورد آبی‌ها و سبزها داشته باشید (RAL 5000 تا RAL 6000)، که از یک شماره سایه‌های رنگ کاملاً مشابه استفاده می‌کنند. به هر حال از یک کارت نمونه در طی بازرسی خود استفاده کنید. اما برای قائل شدن مقداری انحراف در خصوص سایه دقیق رنگی که استفاده می‌شود، آماده باشید.

**BS 3900** : استاندارد انگلیسی است که به آزمایش رنگ می‌پردازد. این استاندارد دارای دامنه کاربرد بسیار گسترده می‌باشد که در آن بیش از صد قسمت مجزا وجود دارد که برخی از اینها معادل‌های ISO دارند. این قسمت‌ها به گروه‌های ده تایی A تا J تقسیم می‌شوند، که هر گروه شامل تعدادی بخش‌های شماره دار متوالی می‌باشد. بیشتر استاندارد در جهت شیمی سیستم‌های رنگ می‌باشند که اکثراً در مفاهیم و زمینه‌های آزمایشگاهی استفاده می‌گردد.

در این میان، دو گروهی که ارتباط مستقیمی با بازرسی دارند عبارتند از:

- گروه E که شامل ۱۳ قسمت مرتبط با آزمایش‌های مکانیکی بر روی لایه‌های رنگ می‌باشد. مفیدترین این قسمت ها عبارتند از:

۱. قسمت E2 (معادل ISO 1518) آزمایش خراش را توضیح می‌دهد.
۲. قسمت E9 (معادل ISO 2815) آزمایش اثر گذاری (Buchloz) را توضیح می‌دهد.
۳. BS EN 24 624 (معادل ISO 4624) آزمایش کندن رنگ را برای چسبندگی یک رنگ توضیح



می‌دهد. این قسمت قبلاً قسمت E10 از 3900 BS بود و هنوز هم به قسمت‌های دیگر این استاندارد ارجاع متقابل می‌کند.

- گروه H که شامل شش قسمت مربوط به ارزیابی نقایص رنگ می‌باشد. این قسمت‌ها، نقایص متداول تاول زدن، زنگ زدن، ترک خوردن، ور آمدن و سفیدک زدن را پوشش می‌دهند. خواهید دید که این استانداردها برای توصیف واقعی نقایص رنگی که یافته‌اید مفید خواهند بود. آنها برخی نظرات شخصی را در این زمینه از بین می‌برند و بنابراین برای ارتقاء نیرومندی فنی گزارش نویسی شما از نقایص، مفید خواهند بود. این اسناد، استانداردهای مصور هستند، بنابراین توانایی مقایسه مستقیم را با نقایص رنگ واقعی ایجاد می نمایند. یک سیستم درجه بندی در قسمت H نشان داده شده است، ولی در مورد معیارهای پذیرش به شرحی کوتاه بسنده شده است. شرح و تفسیر، و یک تمرکز روشن و واضح بر FFP هنوز مورد نیاز است.

تعیین dft توسط IOS 2808 (3900 BS در قسمت C5) و همچنین ASTM D1186 پوشش داده می‌شود.

## روش‌ها و دستورالعمل‌های آزمایش

تکنیک‌های آزمایش محدودی وجود دارند که به صورت عملی طی بازرسی در کارگاه قطعه رنگ شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها تنها اندکی جهت بررسی مناسب بودن برای منظور یک لایه رنگ مؤثر هستند. عیوب و مشکلات بسیار جدی زیادی در مورد قطعه رنگ شده وجود دارد که ممکن است قابل شناسایی نباشند. این به آن معنا است که اساس بازرسی مؤثر قطعه رنگ کاری شده در ابتدا شامل بررسی مفاد سه گانه اصلی FFP (آماده سازی، سیستم، و اعمال رنگ) می‌باشد که در اول فصل مورد بحث قرار گرفتند. سپس، این مسأله وابستگی زیادی به بازرسی چشمی خوب، در کنار آزمایش‌های ساده دارد.

## بازرسی چشمی

برای اتخاذ یک روش کامل برای بازرسی چشمی، تلاش کنید. هدف، یافتن هرگونه مشکلات اساسی است که وجود دارند. قبل از آنکه شروع کنید، تجسم نمایید که چگونه اپراتور قطعه را اسپری نموده است. این مسأله بایستی به صورت مستدل واضح باشد که قطعه در چه وضعیتی قرار گرفته و اینکه اپراتور ایستاده برروی سطح زمین اسپری نموده یا اینکه داربست فلزی یا یک جرثقیل متحرک مورد نیاز بوده است (برای تولیدات و سازه‌های بزرگ). این موضوع درک و بینشی را در مورد اینکه مناطق بالقوه مشکلات در کجا امکان دارد قرار گیرند، فراهم می‌آورد. مناطق ذکر شده زیر را بررسی کنید. بررسی آنها به طور مساوی در آستر، زیرلایه یا مرحله پوشش بالایی قابل قبول و معتبر هستند.

### مناطق بسته

ابتدا این مناطق را بررسی کنید. مناطق بسته، مناطقی هستند که اگر چه لزوماً به طور کامل محصور نشده‌اند، ولی نمی‌توانند به صورت مستقیم از بیرون اسپری گردند. مثال‌های نوعی از آن عبارتند از داخل تانک‌ها یا مخازن، تیرهای حمال با مقطع قوطی شکل (box section girder)، مقاطع توخالی با مقدار

زیادی دنده (ribs) یا stringer و کانال ها (Ductwork). تمامی این موارد نیاز به اپراتوری دارند که بتواند برای اعمال اسپری به درون دسترسی پیدا کند. با توجه به این توضیحات مشخص است که قابلیت رؤیت و دسترسی به این مناطق مشکل خواهد بود و بنابراین چنین مناطقی اغلب محتمل‌ترین مکان‌ها جهت یافتن مشکل در زمینه آماده سازی سطح و اعمال رنگ می‌باشند.

### گوشه ها و زوایای داخلی

زوایای داخلی اغلب مشکلاتی در زمینه اعمال بیش از حد رنگ دارند، که سبب شکم دادن و پوسته انداختن رنگ می‌گردد. همچنین گوشه‌های داخلی جوش‌های گوشه‌ای را بررسی کنید؛ به ویژه گوشه‌های محصور، جایی که مواد ورقه‌ای در سه صفحه (مانند گوشه‌های داخلی یک جعبه) به یکدیگر متصل می‌شوند. در جایی که چنین مناطقی از تفنگ اسپری اپراتور فاصله دارند، به دلیل دسترسی مشکل، به دنبال مشکلات معکوس باشید. این نواحی اغلب بسیار نازک پوشش داده می‌شوند، چون اپراتور عملاً در جهت جلوگیری از اعمال مقدار زیادی رنگ تلاش می‌کند.

### لبه‌های داخلی

اینها لبه‌هایی هستند که در طی اسپری نمودن، از دید اپراتور دور می مانند. عموماً به دلیل آنکه هیچ دسترسی به طرف دیگر وجود ندارد. اسپری نمودن این مناطق کار ساده‌ای نیست. به دنبال dft بسیار نازک در لبه‌ها باشید.

### لبه‌های خارجی

لبه‌های خارجی آنهایی هستند که در مقابل اپراتور قرار می گیرند و در نتیجه اندکی بیشتر قابل پیش‌بینی می باشند. اپراتور ماهری که کار اسپری را انجام می‌دهد، ابتدا لبه‌های خارجی را قبل از پوشش‌دهی مناطق افقی یا عمودی پشت آن پوشش می‌دهد. به دنبال مناطق پوشش ناقص برروی لبه‌ها باشید، تا ببینید که آیا این موضوع به خوبی انجام شده است یا خیر. دیدن مرزهای رنگ شاید 100-200 mm پشت لبه رایج است (با نگاه کردن در طول لبه آن را بررسی کنید). این عیب به این دلیل ایجاد می شود که اپراتور اجازه می دهد رنگ لبه کمی قبل از آنکه هنگام اسپری مناطق نزدیک دوباره رنگ گردد خشک شود یا آنکه توسط اعمال یک لایه نواری جهت تقویت و بالا بردن ضخامت لبه، ایجاد می‌گردد. احتیاجی نیست که خیلی نگران این مسأله باشید. این موضوع هنگامی تنها یک خطر برای FFP محسوب می گردد، که dft لبه بسیار زیاد بوده به طوریکه عیوب «ضخامت بیش از حد» شناخته شده مثل شکم دادن یا جاری شدن رنگ شروع به پدیدار شدن کنند.

### سطوح افقی بزرگ

بررسی کنید که پوشش هموار و بدون هیچ گونه نواحی بیش از حد نازک یا ضخیم به نظر برسد. این مسائل گاهی اوقات می‌توانند از این که اپراتور از یک سطح بدون داربست فلزی یا جرثقیل متحرک اسپری کرده باشد، نشات بگیرند. صفحات افقی بزرگ محل خوبی برای یافتن عیوب ناشی از شرایط پیرامون می‌باشد. به دنبال تاول زدن یا ضخامت‌های غیرهموار در اثر تراکم باشید.



### سطوح عمودی بزرگ

معمولاً دستیابی به سطوح عمودی بزرگ برای اسپری نمودن ساده‌تر است، بنابراین ناهمواری پدیده‌ای متداول در آنها به شمار نمی‌آید. مشکل اصلی در اینجا جاری شدن رنگ است. این سطوح، آزمایش خوبی برای پایداری مخلوط رنگ (مخصوصاً برای انواع دوقلویی) و همچنین برای ارزیابی مهارت اپراتور در جلوگیری از اعمال بیش از اندازه، به حساب می آیند.

### دور اتصالات

اغلب محصولات فلزی اتصالاتی مثل زینی ها، سر نازل ها، رینگ های تقویت کننده، دریچه‌ها و فیکسچر دارند. اطراف اتصالات را بررسی کنید. بعضی از این اتصالات گوشه‌های معکوس، جان تیر و گوشه هایی دارند که هنگام اسپری رنگ باید توسط اپراتور به دقت دیده شوند. یافتن نقائص رنگ به دلیل بسیار ضخیم شدن لایه رنگ در این مناطق، از بسیار نازک شدن آن، محتمل تر است.

### مناطق رنگ نخور (masked-off)

روی برخی مناطق مختلف نظیر وجوه فلنج و وجوه درگیر ماشین کاری شده دقیق، در طی رنگ زدن، روکشی قرار می گیرد تا رنگ نخورد. بررسی طرح ساخت جهت اطمینان یافتن از اینکه مناطق علامت گذاری شده، حقیقتاً موارد درستی هستند، ارزشمند می‌باشد.

همچنین به همان اندازه نگران سطوح فرز شده، پیچ خورده یا ساییده شده که رنگ زده شده‌اند، باشید. این مسأله حتماً یک اشتباه است. مسلماً یک بخش کلیدی بازرسی چشمی، گزارش دادن آنچه است که یافته‌اید. دستورات کلی پیشنهاد شده در فصل ۱۵ را دنبال کنید: آنچه را که انجام داده‌اید بگویید اما آنچه را یافته‌اید توصیف و تشریح کنید. در همین راستا شما به تشخیص عیوب رایج رنگ کاری و اصطلاحات خاص مربوطه که در آن زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیاز دارید.

## عیوب رنگ‌کاری

در این بخش به توصیف عیوب اصلی رنگ کاری که احتمالاً با آنها مواجه می‌شوید، پرداخته شده است.

### شکم دادن و پوشاندن

تشخیص این عیوب ساده بوده و شامل مناطق واضحی می شود که ضخامت رنگ در آن قسمت بیش از حد باشد؛ جایی که لایه تر تحت وزن خودش شکم داده است. اغلب این مسأله را در نوارهای افقی پهن بر روی سطوح عمودی بزرگ مشاهده خواهید نمود. به طور کلی این عیب توسط اعمال مقدار زیاد رنگ ایجاد می‌گردد.

در موارد افراطی، این مسأله به سطوح عمودی تبدیل می‌گردد. اگر چه به وجود آمدن چنین عیبی ظاهر بدی دارد، ولی لزوماً سبب نرد شدن آن نمی‌گردد مگر آنکه گسترده و همه جانبه شده یا با مشکلات آماده سازی سطح همراه شده باشد.

### اثر پوست پرتقالی

در این حالت، سطح رنگ هنگامی که خشک است شبیه پوست پرتقال، به همراه یک سطح لکه دار، و گاهی اوقات همراه با تاول‌های کوچک می‌باشد. این موضوع می‌تواند از مشکل پایداری رنگ یا تکنیک اسپری ضعیف باشد. به دلیل این اثر، در اکثر حالات چسبندگی لایه تحت تأثیر قرار گرفته و بنابراین مناطق مهم اثر پوست پرتقالی دلیل روشنی برای رد شدن به حساب می آیند.

### کنده شدن و چروک شدن

در نگاه اول این عیب شبیه اثر پوست پرتقالی به همراه ظاهری تاول زده می‌باشد. سریع‌ترین راه برای تفکیک این دو عیب آن است که با کشیدن دست بر روی سطح بررسی کنید که آیا عدم چسبندگی مهم و قابل توجهی وجود دارد یا خیر. اگر لایه سطحی خیلی شل باشد (به خصوص در لبه‌های تاول زدگی‌ها) بیانگر یک مشکل بین لایه ای است. وخیم‌ترین مورد به دلیل ناسازگاری حلال‌های استفاده شده در پوشش‌های رنگ متوالی ایجاد می‌گردد؛ به عبارت دیگر یک سیستم رنگ اشتباه. یک اثر مشابه اما با وضوح کمتر می‌تواند توسط اپراتور به دلیل ندادن فواصل زمانی مناسب بین لایه ها ایجاد گردد.

### پرداخت سطحی خشن

پرداخت سطحی ضعیف معمولاً توسط عدم براقی در بالای پوشش نمایان می‌شود. مشاهده این مسئله بر روی سطوح صاف بزرگ ساده است. علل اصلی که در به وجود آوردن این عیب نقش دارند خاک متراکم یا گرد و خاک در هوا هستند. لازم به ذکر است که آلودگی خاک بسیار خطرناک می باشد. مگر در مواقعی که آلودگی بیش از حد باشد مالیدن و خشک کردن و مجدداً پوشش دادن آن بدون نیاز به حذف پوشش‌های رنگ موجود، بایستی ممکن باشد.

### مک سوزنی

این عیب دارای ظاهری با تعداد زیادی مکهای سوزنی متمرکز کوچک در سطح رنگ می‌باشد. محتمل‌ترین دلیل آلوده شدن رنگ توسط روغن یا آب است. مک سوزنی بزرگ نیاز به رنگ مجدد کامل دارد، در غیر این صورت بر FFP سیستم رنگ تأثیر خواهد داشت.

### مناطق نازک

نازک شدن لایه رنگ در برخی مناطق، رایج‌ترین عیبی است که با آن مواجه می‌شوید. انتظار یافتن قطعاتی با پوشش‌های سراسری بسیار نازک و نیز مناطق منحصر بفردی مثل لبه‌ها که رنگ آن ها کافی نیست را داشته باشید. در صورتی که آستر و زیر لایه اعمال شده باشند، سپس می توان ضخامت پوشش بالایی را به سادگی توسط اعمال رنگ، ایجاد نمود. اگر (همان طور که گهگاهی اتفاق می‌افتد) آستر یا زیرلایه بسیار نازک باشند، یا نادیده گرفته شده شوند، پوشش به الزامات FFP نخواهد رسید. افزودن ضخامت پوشش رویی راه قابل قبولی برای جبران کمبود ضخامت یک لایه آستر نازک نیست، چون آستر اغلب نقش بازدارنده در مقابل خوردگی دارد، در حالی که وظیفه اصلیِ پوشش بالایی محافظت در مقابل فرسایش هوا و صدمات مکانیکی و نور است.



### ضخامت لایه خشک (dft)

ضخامت رنگ بعد از خشک شدن (dft)، عامل مهمی محسوب می‌شود. با فرض اعمال رنگ و آماده‌سازی صحیح سطح، ماندگاری و خواص حفاظتی یک پوشش مستقیماً به dft آن بستگی دارد. برای آنکه لایه رنگ، مقاومت الکترولیتی کافی جهت جلوگیری از تشکیل پیل‌های گالوانیک موضعی که سبب خوردگی می‌شوند را داشته باشد، باید ضخامت آن، کافی باشد. اکثر مشخصه‌های رنگ کاری dft را که برای آستر، زیرلایه و لایه رویی لازم است، هم به صورت جداگانه و هم برای هر سه با هم، نشان می‌دهند. خواهید دید که این اعداد به عنوان حداقل dft ارائه شده‌اند. گاهی اوقات یک حداکثر نیز ذکر می‌شود اما اغلب ذکری از حداکثر ضخامت نشده است – به این موضوع نیز اشاره شده است که یک dft ضخیم‌تر، به شرطی که بسیار ضخیم نباشد به طوری که منجر به شکم دادن، پوسته انداختن یا دیگر عیوب ناشی از اعمال بیش از حد رنگ نشود، قابل قبول می‌باشد. تنها هنگامی که لایه رنگ به طور کامل خشک شود بدست آوردن dft حقیقی ممکن می‌گردد . این مسأله بسته به نوع رنگ، می‌تواند تا ۲۴ ساعت پس از اعمال آخرین لایه به طول بیانجامد. در طی اعمال رنگ، اپراتور ضخامت لایه "تر" را با استفاده از گیج های مخصوصی از نوع شانه ای یا چرخی( comb or wheel gauge) بررسی می‌کند. هنگامی که حلال تبخیر شد، این ضخامت به dft کاهش پیدا می‌کند. ذکر روابط کلی بین ضخامت لایه خشک و تر، از آنجایی که با نوع رنگ تغییر می‌کنند، مشکل می‌باشد (در صورت نیاز این مسأله در برگه اطلاعات سازنده رنگ نشان داده می‌شود).

از وسایل اندازه‌گیری دستی ساده‌ای برای بدست آوردن dft استفاده می‌شود. آنها بر اساس اصول جریان گردابی یا الکترومگنتیک کار می‌کنند و داده‌ها را به صورت دیجیتالی در اختیار قرار می‌دهد. برخی نیز دارای تجهیزات ثبت و چاپ اطلاعات می باشند. در ادامه برخی دستورالعمل‌ها و راهنمایی‌های کلی برای نظارت حضوری اندازه‌گیری dft آورده شده است.

- کالیبراسیون
  قبل از استفاده، ابزار اندازه‌گیری dft را کالیبره کنید. برای کالیبراسیون، قطعات آزمایشی کوچکی، مرکب از دو یا سه ضخامت لایه، معمولاً به همراه وسیله مذکور وجود دارد. کالیبراسیون را می توانید با صفر کردن مقادیر، روی سطح فولاد بدون رنگ ماشین کاری شده، انجام دهید.
- مناطق آزمایش
  تعداد زیادی از نقاط را بررسی کنید. دو یا سه محل کافی نیست. اطمینان حاصل نمایید که مناطق افقی و عمودی، گوشه‌ها، زوایا و لبه‌ها را بررسی کرده باشید. توجه خاصی به نواحی بسته داشته باشید. همچنین از درک مهندسی خود جهت تشخیص مناطقی که اسپری آنها برای اپراتور مشکل بوده است، استفاده کنید.
- نتایج
  الزامات dft مشخص شده عموماً به طوری که مقادیر «میانگین» یا «اسمی» در نظر گرفته می‌شود، پذیرفته می‌شوند. معمولاً، میانگین dft اندازه‌گیری شده (حاصل از چندین نقطه) در بیش از حداقل مساحت $1\ m^2$، بایستی بزرگ‌تر یا مساوی حداقل مقدار تعیین شده باشد، اما نبایستی در هیچ نقطه‌ای dft کمتر از 75 ٪حد تعیین شده باشد. این به آن معنی است که همیشه فضا برای اندکی شرح و تفسیر وجود دارد، مگر آنکه مشخصات فنی خریداری در مورد عدد و محل اندازه‌گیری‌ها، بسیار خاص باشد.

- اگر هنوز تردید دارید، بهترین استاندارد برای رفع هرگونه شبهه ISO 2808 (BS 3900 قسمت C5) می‌باشد.

## تعمیرات قطعه رنگ‌شده

ساده‌ترین مکان برای انجام تعمیرات بر روی قطعه رنگ شده در کارگاه قبل از حمل تجهیزات به سایت است. برخی محل‌های ساخت به خوبی مجهز شده‌اند و دارای پیمانکارهای فرعی ماهر برای رنگ زدن قطعات بزرگ هستند؛ در حالی که برخی موارد اینگونه نیستند! همچنین امکان دارد سایت دارای مشکلات محیطی مثل رطوبت زیاد و آب و هوای دریایی یا خاک آلود باشد. تکنیک‌های تعمیر به این بستگی دارند که عیوب، یک عدم انطباق اصلی با FFP داشته باشند (آماده سازی، سیستم یا اعمال نادرست) یا اینکه ظاهری باشند. عدم انطباق اصلی معمولاً تنها دارای یک راه حل می‌باشد - رنگ را از نقطه معیوب پاک کرده و فرآیند را مجدداً تکرار نمایید. از رفع کامل عیوب قبلی مطمئن شوید و نقاط دیگر را برای یافتن عیوب مشابه چک کنید.

- بدون تشخیص صحیح عیب اصلی و آنچه که مسبب آن بوده است، شروع به تعمیر نکنید.
- تنها راه درست برای دست یافتن به آماده سازی مناسب سطح، شات بلاست به طور کامل تا درجه حداقل Sa 2½ می‌باشد. روی این موضوع نظارت حضوری داشته باشید. تعمیرات اغلب در ضرب المجلهای کوتاه مدت انجام می شوند و این آماده سازی کامل و دقیق سطح را ترغیب نمی‌کند.
- هر سیستم رنگ جدیدی که وارد کار می شود را بررسی کنید. بهترین راه برای انجام آن بدون اتلاف وقت، صحبت مستقیم با سازنده‌های رنگ می‌باشد. آنها می‌توانند جواب سریعی به شما در مورد مناسب بودن یک سیستم رنگ برای یک هدف خاص، سازگاری پوشش‌ها، و جزییات آماده سازی و تکنیک‌های اعمال مورد نیاز بدهند.
- اگر عملی و سودمند است، نظارت حضوری بر اعمال هر سه پوشش داشته باشید. در غیر این صورت، اطمینان حاصل کنید که بررسی‌های dft و چشمی قابل اعتمادی پس از هر پوشش انجام شده باشد.
- تمام بررسی‌های نهایی را پس از اتمام رنگ کاری مجدد، دوباره تکرار نمایید. انجام اصلاحات در سایت، شیوه درستی نمی‌باشد. انتظار داشته باشید که برخی سازنده‌های تجهیزات شما را برای ترخیص قطعه قبل از آنکه به خوبی آنرا بررسی کرده باشید، تحت فشار قرار دهند. این گونه درخواست‌ها را قبول نکنید.

با نقایص ظاهری رنگ کاری، می‌توان به صورت متفاوتی برخورد نمود. مگر آنکه مواد زیر لایه عملاً بی‌حفاظ شده باشند یا مشکلات بزرگتری بوجود آمده باشد، بستگی به نظر شما دارد که آیا لازم است بر تعمیرات نظارت داشته باشیدیا بعد از تعمیر عیوب ظاهری رنگ آنرا بازرسی نمایید.

معایب ظاهری بایستی مجدداً رنگ کاری شوند حتی اگر شما چنین استنتاج کرده باشید که آنها برای FFP رنگ مشکلی ایجاد نمی کنند. سعی نکنید کاری انجام دهید یا چیزی بگوئید که باعث کج فهمی شده و موضوع از حالت تعادل خارج می شود بخصوص برای یک کارفرما که از کارگاه دور می باشد.



### خلاصه نکات کلیدی: رنگ

۱. برای رنگ زدن، معیارهای FFP به مراحل فرآیند رنگ کاری وابسته است که عبارتند از:
   - آماده سازی صحیح و درست سطح
   - یک سیستم رنگ مناسب
   - اعمال صحیح رنگ
۲. انواع اصلی رنگ، هوا خشک و دوقلویی (اپکسی‌ها) است. آنها دارای خواص، ضخامت‌ها و مشکلات مختلفی می‌باشند.
۳. آماده سازی صحیح سطح ضروری می‌باشد. این موضوع معمولاً به معنی شات بلاست کردن تا درجه Sa2 ½ استاندارد SIS 05 5900 است – یک سطح به خوبی شات بلاست شده به همراه حذف تمامی پوسته های نوردی.
۴. دانستن محتوای استانداردهای فنی که آماده سازی سطح و آزمایش رنگ را ذکر می‌کنند، مفید می‌باشد. ضرورتی به فهمیدن استانداردهای بسیاری که بر پایه علم شیمی هستند، نمی‌باشد.
۵. بازرسی چشمی، هسته بازرسی مؤثر و مفید قطعه رنگ کاری شده را تشکیل می‌دهد. انواع رایج نقایص رنگ کاری و همچنین چگونگی توصیف آنها را به درستی بیاموزید.
۶. آزمایش‌های کارگاهی اصلی برای تعیین ضخامت لایه خشک (dft) و چسبندگی (pull-off test) است.
۷. تعمیرات مهم و اصلی معمولاً نیاز به شات بلاست کامل و رنگ کاری مجدد دارند؛ راه‌حل‌های جزیی معمولاً غیرمؤثر هستند.
۸. تمرکز خود را حفظ کنید. وقت خود را با یافتن نقایص ظاهری کوچک تلف نکنید. به دنبال مسائل بزرگ باشید.

## فهرست منابع


1. Dunkley, F.G., Quality control of painting in the construction industry. JOCCA, 1976.
2. BS 7079. Preparation of steel substrates before application of paints and related products. This document is in 16 separate parts.
3. SIS 05 5900. Pictorial standards for blast-cleaned steel (and for other methods of cleaning). Standardiseringskommmissionen I Sverige, Stockholm.
4. BS 5493: 1977. Code of practice for protective coating of iron and steel structures against corrosion.
5. BS 381: 1988. Specification for colours for identification, coding and special purposes.
6. BS 3900. Methods for tests for painting. There are more than 100 parts to this standard.
7. ASTM D1186: 1993. Test methods for non-destructive measurement of dry film thickness of non-magnetic coatings applied to a ferrous base.


فصل ۱۵

# گزارش بازرسی

اغلب هر کسی می‌تواند چیزی به اسم گزارش بازرسی بنویسد. اما گزارش دهی مؤثر با کمی تفاوت یک محصول فنی که مستقیماً متوجه نیاز کارفرما است، می باشد. انجام این کار ساده نیست.

## گزارش محصول کار شماست

کارفرماها در اکثر کارهای بازرسی شما حضور نخواهد داشت و روشی که برای تأیید FFP تجهیزاتشان بکار می‌برید را نخواهند دید، همچنین از دانشی که اساس تصمیمات شماست آگاه نیستند. آنها گزارشات شما را می‌بینند.

عوامل اقتصادی مؤثر در قراردادهای بازرسی را نیز در نظر بگیرید. حتی می تواند این بخش قیمت شما را بیش از حد بالا ببرد و نتوانید کار را بگیرید و یا در بهترین حالت آن میزان بازرسی ای که دوست داشتید انجام نداده‌اید. گزارشها ثمره کار شما هستند و به عنوان ویترینی برای خدمات آینده شما، گزارشها باید خوب باشند.

## اهداف خود را بشناسید

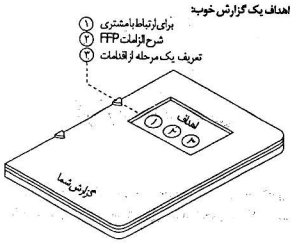
هدف یک گزارش بازرسی فقط شناسایی مشکلات نیست. قبل از شروع به نوشتن گزارش باید سه هدف را مد نظر داشت و در حین نوشتن باید آنها را به یاد داشت؛ اینها به شما کمک می‌کند تا در مسیر درست باقی بمانید. در شکل ۱۵-۱ این اهداف نشان داده شده است که در ذیل نیز شرح داده می‌شود.

## ارتباط با کارفرما

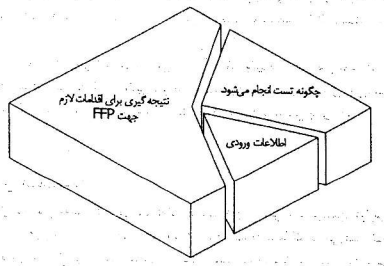
برای ایجاد ارتباط با کارفرما در سطح خودش به آنها از کاری که انجام می‌دهید اطمینان دهید. شکل ۱۵-۲ نشان می‌دهد که کارفرمای شما به چه چیز علاقمند است.

## تشریح FFP

به کارفرمای خود آنچه را که آنها می‌خواهند راجع به FFP تجهیزات که شما تست آنرا مشاهده کرده‌اید بدانند، بگویید. بهترین راه انجام این کار ان است که یاد بگیرید بین گزارش با توضیح و تشریح و گزارش بر اساس استثنا موازنه برقرار نمایید.




شکل ۱۵ـ۱ گزارشی بازرسی مؤثر




شکل ۱۵ـ۲ آن‌چه مشتری از گزارش بازرسی می‌خواهد

## تعریف اقدامات

تعریف اقدامات بطور خلاصه یعنی، یک اقدام مشخص را تعریف نمودن. سپس تعریف کردن نقاط مرجع و نظرات متعارض (نکاتی که در فصل ۲ درباره دستیابی به یک اتفاق نظر درباره FFP ذکر شد را به یاد بیاورید).

یک نکته ویژه شایسته توضیح بیشتر است. شما باید بدانید که دو دیدگاه در مورد گزارش بازرسی وجود دارد. آیا بازرسها باید از طریق شرح دادن (توضیح آنچه انجام داده‌اند و آنچه یافته‌اند) گزارش دهند یا از طریق اشاره به استثناء (فقط توضیح آنچه آنها در صورت بروز مشکل انجام داده‌اند). تاکید زیاد بر هر

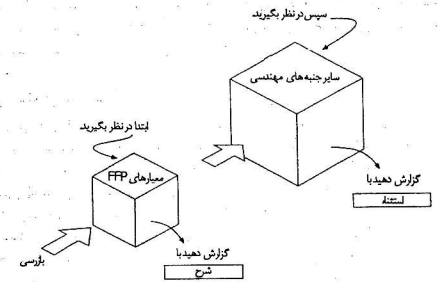


یک از این دو روش به ترتیب باعث گزارشهای طولانی (و هزینه بر) یا گزارشهای از نظر فنی سطحی می‌شود. شما باید بین این دو روش یک موازنه مطلوب برقرارکنید. شکل ۱۵-۳ روشی را که می‌توانید استفاده کنید نشان می‌دهد. برای آن جنبه‌های مهندسی که مستقیماً بر روی معیارهای اصلی FFP اثر می‌گذارند، بهتر است یک توضیح فنی دقیق از آزمایشهایی که شاهد آن بودید و مشاهداتی که انجام داده‌اید (یا نداده‌اید) تهیه کنید. باید متوجه باشید که این توضیح فنی بسیار مهم است، اما از سوی دیگر بسیاری از جزئیات دستورالعملی می‌تواند توضیح مازاد باشند و علی رغم اینکه بطور مفصل بیان شود چیز زیادی به دانش کارفرمای شما اضافه نکند. برای جنبه‌های بیشمار دیگر که مستقیماً به معیارهای اصلی FFP مربوط نیستند بهتر است که از طریق استثناء گزارش دهید. این بدان معنی است که شما فقط وقتی که مشکلی پیدا می‌کنید متوسل به توضیح جزئیات فنی می‌شوید. گزارش دادن با استثناء راه خوبی برای پایین نگهداشتن هزینه تهیه گزارش است. فقط خیلی مراقب باشید که این راه ساده به مباحث FFP گسترش پیدا نکند.

## ارائه فنی

وقتی مفهوم رسیدن به یک تعادل بین گزارش توضیحی و استثنایی را درک کردید، می‌توانیم دید خود را گسترش داده و به سمت موضوع ارائه فنی حرکت کنیم. ارائه فنی مربوط به چگونگی تهیه و ارائه مباحث فنی کوتاه که قلب یک گزارش بازرسی مؤثر هستند، می‌باشد.

با این فکر که ارائه فنی اهمیتی ندارد و اینکه سازندگان، پیمانکاران و کارفرمایان در مورد اظهارات شما سئوال نمی‌کنند، گمراه نشوید. آنها اغلب مواقع پرسش خواهند نمود. هم‌چنین به یاد بیاورید که گزارش شما باید جایگاهش را در میان بدنه عظیم اطلاعات فنی که در یک پروژه وجود دارد، پیدا کند.




شکل ۱۵ـ۳ گزارش: سعی برای ترکیب استثنائات و تشریح

کمی جلوتر به ایراد در مفاهیم یک گزارش بازرسی خواهیم پرداخت. ابتدا نیاز داریم که بر روی ساختار نوشتن در سطح فنی کار کنیم؛ روشی برای ارائه مشاهدات فنی کلیدی و نظرات در یک روش دقیق و منطقی.

## یک روند منطقی را هدف قرار دهید

در گزارش موضوعات فنی، نیاز به یک روند منطقی بحث های فنی دارید (بحث در معنی عام بودن استفاده شده و به معنی عدم توافق نیست). هر جمله‌ای باید از جمله قبل خود پیروی کند و بین بیان مطلب شکافی وجود نداشته باشد. رعایت این نکته باعث می‌شود که متن همخوانی فشرده خوبی داشته باشد.

شکل ۱۵-۴ مراحل تدوین گزارش نشان می‌دهد. از این مراحل برای تهیه نوشته خود در بخشهای گزارش که توضیحات فنی درباره مسائل بازرسی ارائه می‌دهید، استفاده کنید. ساختار ممکن است بیش از چند پاراگراف طولانی شود ولی معمولاً نباید بیش از حدود ۲۵۰ کلمه باشد؛ اگر خیلی زیاد شود نوشته شما پیوستگی خود را از دست داده و منطق آن دچار اختلال خواهد شد. این باعث می‌شود که گزارش استحکام خود را از دست بدهد.

شکل ۱۵-۵ چگونگی تدوین گزارش فنی «چکیده A» که در شکل ۱۵-۶ آمده را نشان می‌دهد. این یک مثال ساده درباره کشف یک عیب در یک قطعهٔ ریختگی قابل مشاهده در داخل پوسته یک توربین بخار توسط یک بازرس می‌باشد. توجه داشته باشید که "مراحل فکری" در ستون سمت راست شکل ۱۵-۵ با مراحل منطقی در شکل ۱۵-۴ مطابقت دارد. این نکات در سه پاراگراف از چکیده A در شکل ۱۵-۶ آورده شده اند. به جملات مجزا توجه کنید. اینها ممکن است گزارشات فنی را از نوشته عالمانه و ساده متمایز کنند ولی آنها توضیح ضروری را فراهم می‌کنند.

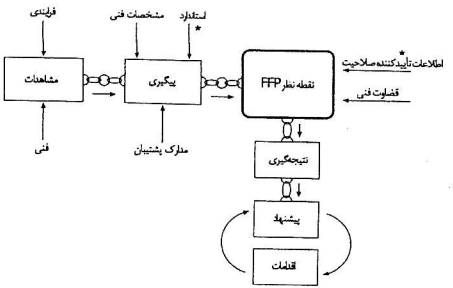
چکیده B مثالی از روند منطقی ضعیف است. توجه کنید که متن چگونه با عبارت لوکس و مبهم نوشته شده است(استفاده از اختصارهای ضعیف؛ جملات خنثی و غیر مستقیم و تردید، در میان دیگر چیزها). سعی کنیددر میان اینها ساختار اصلی واقعی گزارش (Statement) را بیابید. آیا مشاهده می‌کنید که چگونه تمرکز واضحی بر روی FFP وجود ندارد؟ آیا می‌توانید ساختار گزارش ضعیف را درک کنید؟ سعی کنید نکات مشابه اینها را در گزارش خود کم کنید.

## دقیق و استوار باشید

گزارش بازرسی جایی است برای تشریح صحت و دقت، نه تحت تأثیر قرار دادن دیگران با تخصص ویژه خود (در صورتی که داشته باشید). می‌توانید گزارش‌های خود را با توجه به نکات زیر بهبود دهید :

- صحت فنی- به قطعات و اجزا یا نامهای صحیحشان اشاره کنید. استفاده از واژه‌های عامیانه و غیر دقیق باعث می شود که معنی آنها با هم در آمیخته شوند. سعی کنید از واژهٔ صحیح استفاده کنید. اگر تردید دارید به نقشه چیدمان کلی تجهیزات یا هندبوک مهندسی مراجعه کنید.
- پیوستگی- در کل گزارش از واژه های مشابهی استفاده کنید. اگر شما به عنوان مثال یک بالابرنده جرثقیل را توضیح می‌دهید، بطور ناگهانی از آن به عنوان جرثقیل کابلی (winch) نام نبرید. این بدان معنی نیست که شما نمی‌توانید در طول گزارشتان مباحث فنی خود را توسعه دهید. مثلا برای یک عیب ریختگی که مورد آزمایش است این موضوع قابل پذیرش است که پس از معرفی آن






**شکل ۱۵-۴ روند منطقی تهیه گزارش**

در مقایسه با یک استاندارد مهندسی به عنوان یک ترک دسته بندی شود؛ این پیشرفت منطقی خوبی است که قبلاً شرح داده شد. ولی وقتی شما آنرا به عنوان یک ترک دسته بندی نمودید در ادامه گزارش ناگهان دوباره به آن بعنوان عیب اشاره نکنید. گزارش خود را بازخوانی کرده و یکپارچگی را مد نظر قرار دهید.

## مخفف‌ها (کلمات اختصاری)

کلمات اختصاری رندوم چهره گزارش بازرسی شما را خراب کرده و معنی آنچه می‌خواهید بگویید را مبهم می‌کنند. بخصوص اگر کارفرمای شما با یک زبان مادری متفاوت با شما صحبت کند. بهترین توصیه اینست که از کلمات اختصاری سیستم بین‌المللی (SI) برای واحدهای مهندسی با دقت تمام استفاده کنید. استفاده از کلمات اختصاری معمول که در صنعت مربوط به کارفرمای شما به خوبی شناخته شده هستند، قابل قبول است. هم‌چنین کورکورانه از کلمات اختصاری سازندگان در گزارش استفاده نکنید؛ این کلمات اختصاری ممکن است خیلی ویژه بوده و در خارج از محیط ساخت شناخته شده نباشند به عنوان مثال :

- گفتن اینکه سرعت توربین 300rpm و شرایط بخار ورودی 550°C/ 60 barg است، واضح است. اما جمله "T/B spd of 3000 rev" برای کارفرما بی‌معنی می‌باشد.
- HSS یک کلمه اختصاری قابل قبول برای فولادهای تندبر است که در ابزار برش ماشینکاری استفاده می‌شود. 316L نیز به عنوان فولاد زنگ نزن شناخته می‌شود ولی SS یا St. stl شناخته شده نیست.
- حتی یک کارفرمای خیال پرداز نیز نمی‌تواند حدس بزند که GBCF به turbine guide blade carrier flange اشاره دارد (شکل ۱۵-۶ را به یاد دارید؟)

| مراحل فکری | چکیده A | چکیده B |
|---|---|---|
| مشاهدات مربوط به شیوه عمل شما | یک بازرسی چشمی انجام شد. | توجه کنید چگونه چکیده B مراحل برنامه ریزی شده منطقی را استفاده نکرده اند. |
| مشاهدات فنی شما | به نواحی بخش تصمیم توجه کنید. عیب در داخل در موقعیت ساعت ۱ پیدا شد. | |
| به مدرک پشتیبان اشاره کنید توجه به مشخصه‌ها و استانداردها | نوع عیب<br>مشخصه بخش XXX و استاندارد MSS-SP-55 | تمرکز FFP کجاست ؟ |
| FFP را معرفی کنید<br>به اطلاعات صلاحیت‌دهنده ارجاع دهید | عیب بر صحت مکانیکی تاثیر می‌گذارد<br>ASME VIII محاسبات تنش | |
| قضاوت فنی را بکار برید<br>نتیجه گیری های خود را بیان کنید | عیب در ناحیه تنش بالاست<br>عیب غیر قابل پذیرش است. گزارش عدم انطباق ارائه شد. | |
| گسترش (در صورت ضرورت)<br>توصیه ( یک ) فعالیت | عیب بالاتر از اندازه ترک بحرانی است.<br>ارائه روش تعمیر:<br>ـ کندن<br>ـ تعمیر/ NDT اولیه<br>ـ عملیات حرارتی دوباره / NDT نهایی | |

**شکل ۱۵-۵ نظام دهی تفکرات**

## به اصل موضوع بپردازید

هر قدر ساختار گزارش فنی منطقی باشد و هر قدر هم متن فنی شفاف و آراسته باشد، اگر در پرداختن به اصل موضوع ضعف داشته باشد، ارزشی ندارد. باید در نتیجه گیری قاطع باشید. قابلیت نوشتن جملات ادبی ظریف خیلی خوب است، فقط این روش نوشتاری مناسب کارهای ادبی است نه بازرسی. ارزیابیFFP در ذهن شما ممکن است کاملاً روشن باشد. ولی کارفرماهای شما فقط گزارش را می‌بینند. عمل فیزیکی نوشتن یک تصمیم فنی قطعی به شما کمک خواهد کرد توجه کنید آیا آنچه می‌گویید مرتبط با اصل FFP است یا نه.

اگر حقیقتاً در احساس اطمینان راجع به دستیابی به نکته مشکل دارید چند راه وجود دارد که می‌توانید استفاده کنید.

سعی کنید :

- جملات نکته دار را تا حد امکان به طور ساده بیان کنید. اگر دوباره به شکل ۱۵-۶ نگاه کنید، جمله‌ای که بیان شده را خواهید دید : «اندازه و موقعیت عیب بر یکپارچگی (Integrity) مکانیکی پوسته توربین تأثیر خواهد گذاشت». توجه کنید که هیچ قیدی کیفی در این جمله نیست. جملات بلندی که چندین نکته دارند تردیدهای بیشتری نسبت به جمله ساده ایجاد می‌کنند.
- از (جملات) منفی به طور معقول استفاده کنید. به جمله منفی بعنوان یک جایگزین منطقی در چکیده A شکل ۱۵-۶ توجه کنید. می توانست گفته شود که:



### چکیده A

یک آزمایش چشمی بر روی پوسته توربین h.p. شماره 31248/X انجام شد. هیچ عیبی در نواحی بخش تصمیم‌گیری یافت نشد. یک عیب مهم در سطح داخلی در یک نقطه اتصال دهنده فلنج موقعیت حامل راهنمای پره سوم ( در موقعیت ساعت ۱ در جهت جریان سیال ) پیدا شد، این یک عیب خطی با طول حدود 20 mm می باشد که به طور محیطی در حول سطح پوسته جهت گیری کرده است ( شکل را ببینید).

بخش XXXX (بند YYYY) مشخصه قرارداد عیوب خطی با طول بیشتر از 2.0 mm را مجاز نمی داند. استاندارد MSS-SP-55 نیز این عیوب را غیر قابل پذیرش طبقه بندی می کند. موقعیت عیب، صحت مکانیکی پوسته توربین را تحت تاثیر قرار می دهد ( ASME VIII به عنوان یک مرجع راهنما برای محاسبه تنش ها در پوسته‌های توربین بکار می رود ).

این عیب غیر قابل پذیرش است. یک گزارش عدم انطباق ارائه شد. گزارش عدم انطباق سازنده را ملزم به ارائه یک روش تعمیر ( ظرف ۷ روز ) می کند که کندن عیب، تعمیرجوش، عملیات حرارتی و روش صحیح NDT را پوشش دهد.

### چکیده B

یک آزمایش بر روی پوسته توربین ( شماره ۱ ) تحت نور خوب و توسط آقای جونز از شرکت ... انجام شد. اظهار شد که پوسته کیفیت تجاری خوبی دارد، سطوح صاف و فقط شامل علایم سمباده زنی اندکی هستند. .... آقای جونز تایید کرد که سطوح پذیرش آن دسته از عیوب که مورد بحث بودند. در مشخصه قرارداد مورد اشاره قرار نگرفته اند. همچنین بیان شد که پوسته به صورت هیدروستاتیکی با دو برابر فشار طراحی آزمایش شده، بنابراین باید به دلیل ساخت معیوب شده باشد. این موضوع توسط مهندسان طراحی مورد توجه قرار خواهد گرفت.

در پی بازرسی موفق یک بازنگری دقیق سوابق مستند سازی انجام شد، اینها بر اساس ISO9001 انجام گردید. توجه شد که در صفحه ۶۷ خط ۱۴،۳ فقط یک مهر آبی و سیاه بود و مهر کوچک قرمز فراموش شده بود. همچنین آقای جونز صفحه ۲۱ را فراموش کرده است که امضاء نماید. مقدار کمی اصلاح لازمست. تمام نتایج مطلوب بودند.

**شکل ۱۵-۶ محتوی، ساختارو سبک گزارش (خوب و نه چندان خوب)**

«هیچ مدرکی توسط سازنده فراهم نشد که استاندارد MSS-SP-55 این عیوب را قابل پذیرش می‌داند». می بینید که به مطلب پرداخته شده و قضاوت مطرح شده است، اما نه بطور مستقیم. اما خیلی از جملات مبهم استفاده نکنید و طفره نروید.

- اگر اندکی تردید در ذهن خود راجع به اعتبار تصمیمتان دارید، در موضوع عمیق تر شوید. آماده استفاده از یک انتقال منطقی باشید. دو مرحله منطقی شکل۱۵-۴ را در نظرگرفته و هوشیارانه آنها را در مفاد روشی که متن را می‌نویسید منعکس کنید. این الگوی منطقی ایرادات بالقوه متن شما را هم کم رنگ خواهد کرد (حدود ۴۰ درصد از آنها از آنچه شما واقعاً می‌گویید درابتدا دچار سوء تعبیر می‌شوند) ولی فقط کمی سعی کنید تا تأثیر آنرا بر کسانی که می‌خواهید با آن توافق کنند،

ملایم‌تر کنید. دو مرحله نشان داده شده (*) در شکل ۱۵-۵ هنگام نوشتن چکیده A در شکل ۱۵-۶ منعکس شده اند. پیدا کردن نتایج آن در متن به شما واگذار می‌شود.

## سبک نوشتن گزارش

حتی در دنیای مهندسی، سبک نگارش آنقدر مربوط به کاری که انجام می‌دهید نیست که مربوط به روشی که کاری که انجام می‌دهید می باشد. این مفهوم شامل گزارشات بازرسی نیز می شود.

ادعا نمی‌شود که این کتابی در مورد سبکهای نگارش است و نمی‌توان به شما پیروی از یک سبک خاص را توصیه نمود. نکاتی که قبلاً در این فصل در مورد توضیح دادن، روند منطقی و استفاده با دقت از مخففها ارائه شد در تدوین یک سبک خوب (برای نوشتن) کمک خواهد کرد. در اینجا خوب به معنی اینست که اجازه یک ارتباط واضح با کارفرما را به شما بدهد. برخی چیزها که نباید انجام دهید را می‌توان توضیح داد؛ سبک گزارش هر چه باشد باید نکات ذیل در آن رعایت گردد.

- از جملات بلند استفاده نکنید. بسیاری از گزارشات بازرسی شامل جملات ۲۰ تا ۳۰ کلمه‌ای برای توضیح دادن هستند. جمله را کوتاه و قاطع نگهدارید. جمله نباید دوپهلو باشد.
- بطور کلی از سوم شخص استفاده کنید و صریح باشید. بگویید «توربین آزمایش شد» نه اینکه «ما توربین را آزمایش کردیم». وقتی به نکته‌ای می‌رسید بگویید «این عیب غیر قابل پذیرش است» و نگویید « در مجموع می توان این عیب را غیر قابل پذیرش در نظر گرفت».
- از کلمه سازی حقوقی یا منسوخ شده دوری کنید مانند :
  - ما امضاکنندگان ذیل،
  - از طرف موکلانمان،
  - .....
- شما در حال نوشتن یک قرارداد نیستید.
- از جملات بی‌معنی و آبکی پرهیز کنید (اگر به بسیاری گزارشهای بازرسی نگاه کنید از این جملات خواهید یافت)، مانند :
  - آزمایش بسرعت انجام شد.
  - این عیب می‌تواند بعداً اصلاح شود (کی ؟)
  - به وضوح
  - باید توجه شود که...
- بگویید چه چیزی انجام داده‌اید ولی آنچه یافته‌اید را شرح دهید. طفره نروید و به حواشی نپردازید.

تنها داشتن سبک گزارش نویسی خوب برای گزارش بازرسی کافی نیست. سبک گزارش فقط گزارش را جلا می دهد و اگر خوب باشد ارزش کاری که انجام داده‌اید را افزایش خواهد داد و به موقعیت رقابتی شما کمک می‌شود.

## متن گزارش

با یادآوری آنچه راجع به روند منطقی استدلالات فنی و اهمیت سبک نگارش ذکر شد، می‌توانیم به متن گزارش بازرسی بپردازیم. برای نوشتن یک گزارش خوب، بهتر است آنرا به سه بخش اصلی تقسیم کنیم



(یک مقدمه، بدنه اصلی گزارش فنی و یک نتیجه گیری). این بخشها با یک سری تسترهای مشخص شده کوچکتر مانند خلاصه اجرایی، مقدمه، فهرست محتوا، ضمایم و در برخی موارد برگه‌های گزارش عدم انطباق - اقدامات اصلاحی همراه می‌شوند.

ساختار اصلی یک گزارش در شکل ۱۵-۷ بطور خلاصه نشان داده شده است. از یک تک برگ که مانند شکل ۱۵-۷ تقسیم‌بندی شده برای طرح‌ریزی ساختار گزارش استفاده نمایید. اگر بطور تقریبی اندازه ها را همانقدر نگه دارید، این به شما کمک خواهد کرد که تعادل بخشها را حفظ کنید. از این برگه‌های طرح‌ریزی برای یادداشت برداری استفاده کنید؛ مواردی که سپس در بخش درست گزارش خواهید نوشت. از آنچه گفته شد بوضوح فهمیده می‌شود که بدون نظام‌بندی نکات مهم بر روی یک برگه طرح‌ریزی امکان نوشتن یک گزارش مؤثر وجود ندارد. پیش‌نویسی یک گزارش به ترتیب (مثلاً از ابتدا تا انتها) باعث خواهد شد که گزارش از لحاظ فنی چندان دقیق نباشد و روند منطقی در نتیجه‌گیری ممکن است مختل شود و گزارش شما ضعف خواهد داشت.

در آخر این فصل، می توانید برگه طرح‌ریزی که برای گزارش نمونه را مشاهده کنید.

کار اکثر مهندسان بازرس مستلزم نوشتن تعداد زیادی گزارشات نسبتاً کوتاه در مقایسه با مستندات خیلی تحلیلی و با جزئیات زیاد در سایر نظامهای مهندسی مکانیک می‌باشد. یک جنبه مثبت این تکرار اینست که با کار کردن با یک ساختار گزارش واضح، شما می‌توانید کارآیی گزارش نویسی خود را بیافزایید، مباحث FFP را بهتر شرح داده و از نظرات خوانندگانتان استفاده کنید.

محل قرارگیری اجزای یک گزارش فنی که در شکل ۱۵-۷ نشان داده شده است، در ذیل شرح داده می شود.

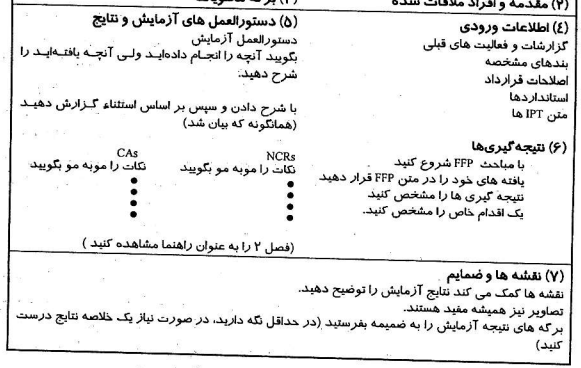
## خلاصه اجرایی

یک بحث قوی برای خلاصه اجرایی وجود دارد به گونه ای که شامل همه نکات بازرسی باشد ولی در عین حال کوتاهترین گزارش فنی بازرسی باشد. یک گزارش بازرسی متوسط ۸۰۰-۶۰۰ کلمه‌ای باید یک خلاصه اجرایی حدود دو یا سه پاراگرافی داشته باشد. خلاصه باید حداکثر یک صفحه باشد، حتی برای یک گزارش بازرسی خیلی دقیق.

خلاصه اجرایی تمرینی برای نوشتن فشرده است. هدف آن اینست که خلاصه‌ای مختصر از نکات جامع بقیه گزارش باشد نه اینکه نتایج یا تصمیمات جدیدی را معرفی کند. مطمئن شوید که خلاصه اجرایی شما اصول روند منطقی فرض شده را دنبال می‌کند. لازمست در خلاصه اجرایی منطق محکم تری از بدنه گزارش وجود داشته باشد (هر خطایی در متن خلاصه برجسته تر خواهد شد). تمرکز بر روی محتوای پاراگراف خلاصه اجرایی به ساختار و منطق کمک می‌کند. اکثر خلاصه‌ها در سه پاراگراف نوشته می‌شوند.

### پاراگراف اول

با ارجاع کوتاه ولی دقیق به تجهیزاتی که آزمایش شده اند شروع کنید و هدف اینست که خواننده را قادر به تشخیص تجهیزات سازید نه اینکه آنرا شرح دهید. سپس:




**شکل ۱۵-۷ چگونگی ساخت محتوای گزارش – برگه طرح ریزی**

- بگویید کدام آزمایشات انجام شده است. اگر تعدادشان زیاد است آنها را خلاصه کرده یا یک اصطلاح کامل بکار ببرید، ولی درک اینکه کدام نوع آزمایشات مورد بحث بوده اند را از دست ندهید.
- به مشخصات فنی، استانداردها یا سطوح پذیرش که از آنان برای کمک به تفسیر نتایج استفاده می‌کنید، توجه نمایید.
- به معیارهای اصلی FFP اشاره کنید. حتی‌الامکان این کار را کوتاه و در نزدیکی انتهای پایان پاراگراف اول انجام دهید، هدف آن ایجاد یک پیوند با پاراگراف دوم می‌باشد؛ تا متن روان باشد.

### پاراگراف دوم

نتایج و فقط نتایج را در اینجا بیان کنید. به عنوان یک قسمت از توجه به نتایج، شما نیاز به ارجاع مشخص به FFP دارید. دلایل موجهی برای این کار وجود دارد. سعی کنید در هر جمله به یک نتیجه و اثر FFP اشاره شود. از دو یا سه جمله جدا در صورت ضرورت استفاده کنید.

### پاراگراف آخر

اگر نتایج کاملاً رضایت بخش را گزارش می‌دهید، اینکار را در حداکثر دو جمله انجام دهید. نتایج را خیلی ساده بیان کنید. احساس نکنید که مجبور به شرح و بسط دادن هستید. اگر عدم انطباقهایی را مشخص



کردید، لازمست که پاراگراف آخر اندکی طولانی‌تر باشد. بهترین روش برای شرح عدم انطباقها در اینجا توضیح مختصر و مفید عدم انطباق است ولی به اقدامات اصلاحی فقط اشاره کنید. بیان مفصل خود در مورد اقدامات اصلاحی را در بدنه گزارش بازرسی به عنوان یک شرح از اجماع نظرها بر روی آنچه باید انجام شود، اظهار کنید.

یک روش توصیه شده برای خلاصه اجرایی با برخی جزئیات توضیح داده شد که یک قسمت کوچک از گزارش نهایی است. به این قسمت توجه کنید اگر چه در یک گزارش بحث‌انگیز، این بخش بیشتر از سایر بخشها مطالعه و تجزیه و تحلیل خواهد شد.

خلاصه اجرایی را در آخر بنویسید، بعد از اینکه بقیه گزارش نوشته و اصلاح شد. شما می‌توانید چگونگی اینکار را که در گزارش نمونه در آخر این فصل آمده است، مشاهده کنید.

## اطلاعات ورودی

این اطلاعات و داده‌ها هستند که پس زمینه فعالیتهای بازرسی را شکل می‌دهند. رایج است که اطلاعات ورودی استفاده شده را در نزدیکی شروع گزارش بازرسی بیان می‌کنند. نمونه ای از این اطلاعات عبارتند از :

- ارجاع به گزارشات و بازرسی‌های قبلی مربوط به تجهیزات (اینکار برای دستیابی به یکپارچگی با فعالیتهای اخیر خوب است).
- بخشهای مشخصات فنی و بندهای ویژه که به تجهیزات تحت آزمایش مربوطند. به سلسله مراتب مستندات (فصل ۳ ملاحظه شود) توجه کنید که چگونگی ارتباط مستندات به یکدیگر و اینکه کدام یک از آنها مهمترند را مشخص می‌کنند.
- استانداردهای فنی
- طرحهای بازرسی و آزمون
- مستندات کاری مانند روشهای آزمایش تجهیزات توسط سازنده
- نقشه‌ها

مقداری آزادی در انتخاب سر فصلهای گزارش تحت اینکه به کدام اطلاعات ورودی می‌توان ارجاع داد، وجود دارد. بطور یکسان استفاده از سرفصلهای مجزا برای «مشخصات فنی» و «استانداردهای فنی» یا ارجاع به هر چیز تحت عنوان «مستندات مرجع» قابل پذیرش است.

## رویه آزمایش و نتایج

این بخش میانی گزارش است. سعی کنید تا بصورت ساده با تأکید بر جنبه‌های مهندسی آزمایش و نه خیلی درگیر شدن با خود روش، شرح دهید کدام آزمایشات انجام شدند. دچار این خطا نشوید که ابتدا یک آزمایش را کاملاً توضیح دهید و سپس بگویید این آزمایش صحیح نبود. شما باید این مباحث را با آوردن مشخصه های فنی قرارداد و اشاره به سلسله مراتب مستندات حل کرده باشید.

یک قانون ساده در این بخش اینست که بگویید چه کار انجام داده اید، ولی آنچه یافته‌اید را شرح دهید. اگر کمی بیشتر روی نتایج متمرکز شوید (هر آنچه که باشد نکات مهمی هستند) نامطلوب نخواهد

بود. در شکل ۱۵-۳ به تعادل بین گزارش‌دهی با شرح دادن و گزارش دهی بر اساس استثناء (ایرادات) نگاه کردیم. البته اصل این کار درک شما از معیارهای FFP وسیله‌ای که بازرسی شده است، می باشد. اگر در تشخیص معیارهای صحیح FFP دچار مشکل باشید، در این قسمت گزارشتان نمایان خواهد شد. بطور اجتناب ناپذیر گزارش شما توسط مهندسانی با دانش تخصصی و مهارت در مورد آن تجهیزات خاص مطالعه خواهد شد؛ آنها احساس خاصی نسبت به مباحث FFP حقیقی دارند. واقعاً سعی کنید تا مباحث صحیح FFP را در این قسمت از گزارش بازرسی عنوان کنید.

جداول بزرگ نتایج باید در بخش ضمایم تنظیم شوند. اگر نتایج می‌توانند به سرعت خلاصه شده و در شکل جدولی یا گرافیکی ارائه شوند. پس گنجاندن آنها در اینجا قابل قبول است ولی سعی کنید تا جایی که می‌توانید بخش «رویه آزمایش و نتایج» کامل و خودکفا باشد. سعی کنید تا جایی که می‌توانید از نمودار و شکل به جای متن های متن های طولانی استفاده کنید.

در نهایت بررسی کنید که نتایج آزمایش واقعی را با محدوده‌ها یا سطوح پذیرش مقایسه کرده باشید. برای خواننده هیچ شکی نسبت به قابل پذیرش بودن یا غیر قابل پذیرش بودن نتایج باقی نگذارید.

## نتیجه گیری

نتیجه گیری خیلی به این بستگی دارد که آیا شما گزارش عدم انطباقی را مطرح کرده‌اید یا نه. اگر نه، یک جمله ساده که می‌گوید تمام قسمتها رضایت‌بخش بودند آن چیزی است که مورد نیاز است. درک اینکه چرا در این شرایط نیاز به نواحی خاکستری (مبهم) باشد سخت است. اگر موارد عدم انطباق وجود داشته باشد برای برخی روشهای گزارش دهی با دقت آماده باشید. ابتدا دو نکته عمومی:

- آیا محتوای NCR-CA را با استفاده از پیشنهادات فصل ۲ بررسی کرده‌اید؟
- آیا نکات بالا در گزارش NCR-CA که نوشته‌اید منعکس شده است؟ ساده است که عدم انطباق موضوع بحثها باشند ولی عملاً مکتوب نشوند.

عاقلانه است که متن نتایج تا حد امکان کوتاه نگهداشته شود. فقط بر کلیات تأکید کنید. بگذارید گزارش CA-NCR عقاید شما را ارائه دهد. می‌توانید این نوع روش را در گزارش نمونه مشاهده کنید.

## ضمایم

نتایج مفصل فنی ، پرینت‌های ثبت کننده اطلاعات و دیگر اطلاعات از این قبیل باید در ضمایم یا پیوستها قرار داده شوند تا بدین وسیله گزارش از محور اصلی خارج نشود. همیشه فکر کنید که این اطلاعات شواهد حمایت کننده نتایج گزارش هستند تا اینکه قسمتی از گزارش باشند. عموماً ضمیمه‌های کوتاهتر باید اول بیایند. یک نمونه از ضمیمه ها اینگونه باید باشد :

- گزارش NCR -CA (در صورت قابلیت کاربرد)،
- تأییدیه‌های آزمایش(امضا شده)،
- برگه‌های نتایج با جزییات،
- نقشه‌ها و تصاویر،
- مستندات دستورالعمل های آزمایش،



مهم است که شما تعداد برگه‌ها را در حد معقولی نگهدارید. نویسنده کتاب با حداکثر هشت تا ده برگه کار می‌کند. اگر احتمال افزایش بیش از این باشد شما باید اطلاعات را خلاصه کرده و داده‌های خام را بنابر قضاوت خود به بایگانی منتقل کنید تا در موقع نیاز به آنها دسترسی وجود داشته باشد. با ضمایم مانند یک قسمت ضروری گزارش برخورد کنید ولی در مورد تعداد افرادی که واقعاً آنها را می‌خوانند خوشبین باشید.

## برخی نکات کلیدی

جدا از محتوا، نکاتی وجود دارد که می‌تواند اثر مهمی بر کارایی گزارشهای بازرسی داشته باشد. اجازه دهید اقتصاد در اینجا کلمه عبور باشد. این نکات لجستیکی می‌توانند اثر مهمی بر روی هزینه‌های کلی فعالیتهای بازرسی شما داشته باشند بنابراین ارزش توجه را دارند. زمان گزارش دادن یکی از معدود وظایف بازرسی شماست که می تواند از کنترل خارج شود. شاید به دلیل اینکه گزارش دادن خیلی در معرض اثرات و عدم قطعیتها مانند فعالیتهایی که مستلزم همکاری با سایر بخشهای مربوط می‌باشد، نیست. یعنی شما مسئول عملی بودن مالی گزارش خود هستید. سه موضوع برای توجه وجود دارد.

## فرمت گزارش‌دهی استاندارد

این روش ممکن است به شما کمک کند یا برعکس شما را مقید کند. این نوع فرمتها در شرکتهای بازرسی که مجموعه‌ای از مهندسان بازرسی غیر استخدامی یا توانایی‌ها و مسئولیتهای مختلف را بکار گرفته اند، استفاده می‌شود. احساس می‌شود که آنها احتمالاً هزینه‌های گزارش دهی را پایین نگه می‌دارند، ولی به بهای تأیید واقعاً صریح FFP. آنها برخی اوقات باعث کاهش دقت در گزارشها خواهند شد. در اکثر فرمتهای استاندارد تمایل به ثبت تعداد زیادی نقشه و شماره سریال است. این خوب است تا وقتی که بتوانید بپذیرید که این فقط یک قسمت کوچک از بازرسی مؤثر شماست. حتماً شکل های گزارش دهی استاندارد بهینه شده ای برای استفاده در صنایع بازرسی وجود دارد.

اگر کار کردن با یک شکل گزارش دهی استاندارد شما را راضی نمی‌کند، پس مطمئن شوید که دو چیز را کنترل می‌کنید؛ «طول گزارش و تعادل گزارش».

گزارشهای خیلی طولانی برتری خود را از دست داده و اغلب وسیله‌ای برای بی‌تصمیمی (دودلی) می‌شوند. گزارشهای خیلی کوتاه نیز بعید است که توضیح کافی برای معیارهای مهم FFP را فراهم کند. ۸۰۰-۶۰۰ کلمه را برای گزارشات بازرسی‌های بی دردسر در نظر داشته باشید، تا حداکثر ۱۰۰۰ کلمه برای دستورالعملهای پیچیده آزمایش یا جایی که گزارش NCR- CA مربوط به مباحث FFP وجود دارد. در هیچ **شرایطی کمتر** از ۵۰۰ کلمه نروید حتی برای کارهای ساده بازرسی؛ در اینصورت مباحث را به درستی نشان نخواهید داد.

مهم است که تعادل بین بخشهای گزارش را حفظ کنید. به کلمه توزیع که در گزارش نمونه استفاده شده توجه کنید؛ این یک گزارش بازرسی متوسط مناسب حاوی یک یا دو نکته NCR/ CA می‌باشد. در تغییر کلمه توزیع بین بخشهای دستورالعمل آزمایش و نتایج و «نتیجه گیری» آزاد باشید تا متن را مطلوبتر کنید ولی آنقدر زیاده روی نکنید که نتایج آزمایشات بطور کافی نتیجه‌گیری‌های شما را حمایت نکنند یا برعکس. شاید مثال رایج برای گزارش ضعیف، طولانی کردن بخش «اطلاعات ورودی» باشد، مقدار

زیادی اطلاعات، اعداد نقشه و فهرست استانداردها. کارفرمایان فهمیده بزودی تشخیص خواهند داد که این قسمت زاید برای جبران ضعف ذاتی در کار واقعی تأیید FFP است. نگران این موضوع باشید.

## تولید

مؤثرترین راه را برای تولید گزارشهای خود انتخاب کنید. این احتمالاً ارزانترین راه نیز خواهد بود. به دقت درباره مزایای نسبی پیش نویس کردن دستی یا تایپ مستقیم در یک کامپیوتر بیاندیشید.

قبل از تصمیم سه نکته را در نظر بگیرید، برخی از آنها در بخشهای اخیر این فصل مورد بحث قرار گرفته‌اند. هر روشی که استفاده می‌کنید :

- نیاز به یک برگه طرح‌ریزی دارید تا به شما کمک کند طرح یک روند فنی منطقی را بریزید.
- هر گزارش بازرسی متفاوت خواهد بود زیرا هر دستگاه یک چیز متفاوت است.
- یک شیوه مشترک پایدار را در گزارش‌های خود مد نظر داشته باشید، یعنی توجه به فرمت صفحات، اندازه‌های حاشیه، اندازه قلم و فاصله و طرح سرفصل‌ها و زیر فصل‌ها

پیوستگی را مد نظر داشته باشید؛ هیچ چیز پیش از یک مجموعه گزارشهای حاوی برگه‌های دست‌نویس با فونتهای متفرق و سرفصل‌های خط خورده ناشیانه به نظر نمی‌رسد.

## توزیع

گزارش بازرسی خود را فقط به کارفرمای خود ارسال کنید. هرگز راضی نشوید که پیمانکار، سازنده یا بازرسان مستقل یک کپی فقط برای اطلاع داشته باشند. گزارش عدم انطباق - اقدامات اصلاحی که مورد توافق قرار گرفته برای نیازهایشان کافی است. این را موقعی که در کار هستند توزیع کنید. گزارش خود را به تأخیر نیاندازید. آنرا همیشه در سه روز کاری طرح‌ریزی کرده، نوشته، اصلاح و توزیع کنید.



# متن گزارش

## ۱. پیشگفتار

بازرس به عنوان شاهد بر آزمایش کارایی کامل بر روی اولین (از هشت) کندانسور پمپهای خنک کننده آب دریای شرکت... slightly lack laster حضور یافت. این پمپهای تک مرحله‌ای 500 $m^3/hr$ با 38 m هد کل(نقطه پذیرش) هستند. NPSH موجود در 0.5 m روی نقشه طراحی DD/ 01 نشان داده شده است. پمپهای بعدی فقط در ۱۰۰ درصد نقطه کاری آزمایش خواهند شد. یک بازنگری کلی مستندات در مرحله آخر بازرسی انجام خواهد شد.

## ۲. گزارشهای قبلی

گزارشهای بازرسی قبلی مربوط به این پمپ عبارتند از :

| شماره گزارش | تاریخ | موضوع | نتیجه |
|---|---|---|---|
| 01 | 02 Jane | تعادل روتور پمپ | مطلوب |
| 02 | 03 March | آزمایش هیدروستاتیک پوسته | مطلوب |
| 03 | 15 Jane | MPI پوسته و بازنگری رادیوگراف ها | مطلوب |

## ۳. مستندات مربوطه

۳. ۱. بند 1.1.1 مشخصات فنی آزمایش کارایی پمپ را (class B) ISO 3555 تعیین می‌کند.

۳. ۲. ارتعاش محفظه بر اساس VDI 2056 group T ارزیابی می‌شود.

۳. ۳. ITP No. 1234 / xy8, step 500 (Rw A)

۳. ۴. نقشه چیدمان کلی پمپ No. D3314/ J (Rw B)

## ۴. دستورالعمل آزمایش و نتایج

پمپ روی یک میز تست مدار بسته نصب شد. روشهای اندازه‌گیری و طرح کلی برای انطباق با ISO 3555 بررسی شدند. طرح فلومتر برای انطباق با ISO 9167 مشاهده شد. هیچ خطای اندازه‌گیری دیده نشد.

### ۴-۱- آزمایش کارایی q/H

آزمایش کارایی q/H با استفاده از پنج نقطه از 120 درصد q تا q=0 (خاموشی) انجام شد. تلورانسهای ISO (classB) 3555 اعمال شدند (2 + درصد q، 1.5 + درصد H). منحنی q/H مشاهده شد تا یک شیب افزایشی کافی در طول محدوده جریان تا خاموشی داشته باشد.

نتایج در زیر آمده است:

| الزامات ضمانت | عدد آزمایش | نتیجه |
|---|---|---|
| نقطه کار $q = 500\ m^3/hr$ | $520\ m^3/hr$ | مطلوب |
| $H = 38\ m$ | $40\ m$ | مطلوب |
| حداقل سر خاموشی، 34 m | 45 M | مطلوب |
| منحنی پیوسته در حال افزایش تا خاموشی | خاصیت افزایش پیوسته | مطلوب |

لرزش در ۱۰۰ درصد q در rms 1.0 mm/sec اندازه‌گیری شد. این کاملاً در زیر محدوده پذیرش VDI 2056 است. نویز dB(A) 85 اندازه‌گیری شد که در سطح حداکثر قابل پذیرش dB(A) 90 است. هیچ نقطه ضمانت مصرف انرژی یا راندمان برای این پمپ وجود ندارد.

### ۴-۲- آزمایش NPSH

پمپ در معرض یک آزمایش NPSH با استفاده از روش «مکش خفه شده» قرار گرفت. شکست جریان فرض شد که مطابق ۳ درصد نقطه افت ارتفاع کل است، همانگونه که در ISO 3555 تعریف شده است. پایداری جریان تا نقطه شکست جریان خوب بود. نوسانات فشارسنج تخلیه و مکش در تلورانسهای مجاز ISO 3555 بودند.

۳ درصد افت فشار کل به خوبی مشخص شده و در یک عدد گیج (gage) مکش مطابق NPSH of 4.3 $m(H_2o)$ رخ داد. این بیش از حداکثر قابل پذیرش سطح ضمانت $4.0\ m(H_2o)$ در ۱۰۰ درصد q است. آزمایش سه بار برای اطمینان از قابلیت تکرارپذیری انجام شد. دوباره عدد NPSH بدست آمد. قبل از آزمایش سوم فشارسنجهای تخلیه و مکش برای یک بررسی کالیبراسیون برداشته شدند. خطاها کمتر از ۰/۲ درصد مقیاس کامل ثبت شدند. اینها کمیتهای درجه دوم با اثر قابل چشمپوشی بر نتایج هستند. تأسیسات آزمایش برای عواملی که اثر خارجی روی رژیم جریان مکش پمپ دارند بررسی شد. موردی پیدا نشد؛ توافق شد که نتایج آزمایش NPSH در محدوده ISO 3555 قرار دارد.

### ۴-۳- آزمایش باز و بسته کردن

پوسته بالایی پمپ، روتور و اجزای بلبرینگ- آببند برداشته شده و تمام قسمتها تحت بازرسی چشمی دقیق قرار گرفتند. صحت مونتاژ و شرایط سطوح اتصال پوسته خوب بود. هیچ مشکلی در تراز میله یا بلبرینگ آشکار نبود. ظاهر دزدگیرهای مکانیکی در شرایط بهره برداری خوبی بود. اندازه همزن بررسی شد که همانند برگه‌های اطلاعات بود (دو اندازه زیر حداکثر). پرداخت سطح همزن عموماً خوب بود، فقط اثرات ملایم سطحی ناشی از سمباده زنی دستی مشاهده شد.

## ۵. نتیجه‌گیری‌ها

آزمایش کارایی پمپ مطابق (classB) ISO 3555 انجام شد. کارایی q/H پمپ مطابق الزامات ضمانت بود. ارقام خوانده شده صدا و ارتعاش کاملاً در سطوح قابل پذیرش بودند. عدد اندازه گیری NPSH پمپ (R)، 4/3 m بود. این بیش از ماکزیمم سطح ضمانت قابل پذیرش ۴/۰ m بود. یک گزارش عدم انطباق ارائه شد.



# ضمیمه ۱ : گزارش نمونه

## گزارش عدم انطباق

پمپ آب دریا (شماره ۱ از ۸) No kks / 123 با نرخ $500\ m^3/hr$ در هد 38 m.

۱. NPSH پمپ در $4.3\ m(H_2o)$ در ۱۰۰ درصد نقطه وظیفه q اندازه‌گیری شد. این بیش از 4.0 m (با تلورانس 0.15 m+) الزام ضمانت در این وظیفه بود. نتایج آزمایش به منظور دقت و قابلیت تکرار پذیری مطابق مواد (class B) ISO 3555 ارزیابی شد.

هیچ عامل تخفیف دهنده در نصب یا شرایط آزمایش آشکار نبود.

### اقدامات اصلاحی

۱. هیچ امتیازی قابل پذیرش نیست بدلیل کم بودن حاشیه NPSH موجود در سیستم.
۲. سازنده باید گزارش طراحی و کارایی پروانه را در ۱۴ روز داده و یک مقیاس زمانی برای طراحی پروانه جدید پیشنهاد دهد. توزیع به بازرس، پیمانکار و بازرس مستقل.
۳. آزمایش مجدد با همزن جدید توسط تمام بخشها نظارت شود. آزمایش مجدد کامل نیاز است (نه فقط NPSH).

# ضمیمه ۲ : گزارش نمونه

## گزارش بازکردن پمپ

پمپ آب دریا شماره KSS/ 123

### پوسته‌برداری

- پیچهای بالابر ....۲ عدد نصب شده
- دستگیره‌های حمل کننده پوسته ... ۱ عدد نصب شده
- همترازی سوراخ پیچ : بدون ناهمترازی
- وضعیت قوطی آب‌بندی :مناسب (حالت کشویی)
- شرایط ظاهری پوسته : بالا خوب / پایین خوب
- عیوب سطح پوسته : هیچ عیبی با عمق بیش از ۳mm قابل مشاهده نیست.
- ثابت بودن رینگ سایش پوسته : مناسب

### روتور

- چرخش آزاد : آری، با دست
- حداکثر اندازه پروانه نصب شده: ۲۱۰ mm / ۲۵۰ mm
- ثابت شدن پروانه: بدون کلید (keyless)
- ثابت بودن رینگ سایش پروانه: مناسب
- تماس رینگ سایش: خیر
- پرداخت سطحی پروانه : پرداخت شده با دست، خوب
- پرداخت شافت : زبری کمتر از ۰/۴ µmRa : خوب
- شرایط سطح آببند: زبری کمتر از ۰/۲ µmbRa : خوب
- بررسی نوع آببند: نوع غلافی مکانیکی
- تجهیزات شستشو: نیاز نیست

### بازنگری اسناد کلیدی: بررسی سریع

- تست فشار پوسته: بلی، بالانس قطعات : ISO 1940 G25، بالانس پوسته: ISO 1940 G63
- تأییدیه‌های مواد: بازنگری شد.

*نظرات: نتایج باز کردن پمپ قابل پذیرش است.*



### خلاصه نکات کلیدی: گزارش‌های بازرسی

۱. گزارش شما، محصول کار شماست یک کار حرفه‌ای انجام دهید.
۲. یک گزارش خوب، سه هدف اصلی دارد:
ارتباط، تشریح FFP، تعریف یک (و فقط یک) اقدام مشخص
۳. تمام نوشته‌های شما باید یک روند منطقی داشته باشد. مثالهای خوب و بد این نوشته ها نشان داده شد.
۴. به اصل مطلب بپردازید، حتی اگر برخی اوقات مشکل باشد.
۵. یکی از جنبه های مهم گزارش بازرسی سبک و فرمت است، ولی زیاد از حد به آن بها ندهید.
۶. اختصارات ضعیف بسیار جلوهٔ بدی دارد و خواننده‌ها را گیج می‌کند. از آن پرهیز کنید.
۷. یک چهارچوب کار خوب عبارتست از:
صفحه جلد (شامل خلاصه اجرایی)، مقدمه (ولی نه توضیح واضحات)، اطلاعات ورودی (در صورت امکان تحت چند زیر سرفصل)، دستورالعمل‌های آزمایش و نتایج، نتیجه‌گیری‌ها، ضمایم (ابتدا گزارشهای NCR/CA)
۸. به خلاصه اجرایی توجه ویژه داشته باشید. از شکل سه پاراگرافی استفاده کرده و متن را به دقت انتخاب کنید.
۹. اگر هزینه‌های زمان گزارش‌دهی شما خیلی زیاد شود، شما قابلیت رقابت را از دست می‌دهید. آنها را تحت کنترل نگهدارید.

# برگزیده‌ای از واژگان

| | |
|---|---|
| 0 degree probe | پراب زاویه صفر |
| Abrasion resistance | مقاومت به خراش |
| Absolute pressure upstream | فشار مطلق بالادست |
| Acceptance Criteria | حدود پذیرش، معیارهای پذیرش |
| Acceptance guarantee | تضمین پذیرش |
| Acceptance levels | سطوح پذیرش |
| Accessories | متعلقات |
| Accessory base test | آزمایش تجهیزات جانبی |
| Alignment | هم‌ترازی، ترازبودن |
| All-weld tensile test | آزمایش کشش تمام‌جوش |
| Angle probe | پراب زاویه‌دار |
| Angular misalignment | ناهم‌ترازی زاویه‌ای |
| Anti-corrosion agent | عامل ضد خوردگی |
| Apparent confusion | خطای ظاهری |
| Assembly | سوارکردن نصب، مونتاژ |
| Axial distortion | اعوجاج محوری |
| Back pressure | فشار برگشت |
| Background noise | پارازیت زمینه |
| Backing strip | نوار پشت‌بند ـ تسمه پشت‌بند |
| Balancing | متعادل‌سازی، بالانس‌نمودن |
| Batch | بحر |
| Blistering | تاول‌زدن |
| Boiler headers | سرشاخه‌های اصلی بویلر |
| Box section girder | تیر حمال با مقطع قوطی |
| Bracing | مهار ـ بادبند |
| Breakdown | خرابی ـ ازکارافتادگی |
| Bridge span | دهانه پل |
| Bubble test | آزمایش حباب |
| Bulging | برآمدگی |
| Butt weld | جوش لب به لب ـ جوش سر به سر |
| Bypass | میان‌بر |
| Casing | پوسته، بدنه |
| Cast number | شماره ذوب |

| | |
|---|---|
| Casting | قطعه ریختگی |
| Cavitations | کاویتاسیون |
| Centerline | محور مرکزی |
| Certificate | گواهی |
| Certificate of compliance | گواهی نامه انطباق |
| Certification | تایید، گواهی |
| Chain of responsibility | زنجیرهٔ مسئولیت |
| Chip | پریدگی |
| Chipping | لب‌پریدگی |
| Circumference | محیطی |
| Clad vessels | مخازن پوشش داده‌شده |
| Cladding | پوشش، روکش |
| Class | رده، دسته، طبقه |
| Classification society | انجمن (مؤسسه) رده‌بندی |
| Cleanliness | پاکیزگی و تمیزی |
| Clearance | فضای مجاز، فضای خالی، لقی |
| Client | مشتری، خریدار، کارفرما |
| Coating discontinuity | ناپیوستگی‌های پوشش |
| Coating uniformity test | آزمایش یکنواختی پوشش |
| Coating weight test | آزمایش وزن پوشش |
| Code intent | اقتباس از کد |
| Coded vessels | مخازن تحت پوشش کد، مخازن منطبق با کد |
| Cold shut | عیب روی هم رفتگی سرد، سرد جوشی |
| Comparator gauge | ابزار مقایسه‌گر |
| Compound distribution test | آزمایش بررسی نحوه توزیع ترکیب |
| Compression waves | امواج فشاری |
| Concession | اجازهٔ ارفاقی |
| Consistency | سازگاری ـ پایداری |
| Construction site | سایت، محل ساخت |
| Consultant | مشاور |
| Continuity | پیوستگی |
| Contract specification | مشخصه‌های قراردادی، مشخصات فنی قرارداد |
| Conventional vessels | مخازن متعارف |
| Corrective actions | اقدامات اصلاحی |
| Corrosion allowance | میزان مجاز خوردگی |



| | |
|---|---|
| Cosmetic problems | مشکلات ظاهری و زیبایی |
| Cranking test | آزمایش در دور استارت |
| Crease | چروک‌شدن |
| Damper | دریچه تنظیم |
| Dappled surface | سطح خال خال (لکه دار) |
| Data sheet | برگه اطلاعات |
| Datalogging system | سیستم ضبط داده‌ها |
| Dead zone | منطقه مرده |
| Debris | پلیسه، ذرات زائد |
| Definition | وضوح ـ آشکاری |
| Densitometer | تراکم‌سنج |
| Dent | گودافتادگی |
| Design classification | طبقه‌بندی طراحی |
| Design feature | ویژگی، شکل طرح |
| Design review | بازنگری طراحی |
| Diagnosis | تشخیص و یافتن عیب و نقص |
| Dial gauge | سنجهٔ ساعتی |
| Discolouration | تغییر رنگ |
| Dished ends for vessels | عدسی انتهای ظروف تحت فشار |
| Distortion | تابیدگی |
| Document hierarchy | سلسله‌مراتب مستندات |
| Documentation | مستندسازی |
| Double check | بررسی مضاعف |
| Double vee | جناقی دوطرفه |
| Double-wall method | روش دو دیواره |
| Downstream | پایین دست |
| Drain | مجرای تخلیه |
| Dry film thickness | ضخامت لایه خشک |
| Duct | کانال |
| Ductility | نرمی |
| Dumper | دریچه تخلیه |
| Dust laden | خاک‌گرفتگی |
| Dusty air | هوای خاک‌آلود |
| Duty point | نقطه کار |
| Dynamic balancing test | آزمایش متعادل سازی دینامیک |

| | |
|---|---|
| Eccentricity | خروج از مرکز، لنگی |
| Eddy current | جریان گردابی |
| Elongated inclusion | آخال‌های خطی، آخال‌های طولی |
| Enclosed areas | مناطق بسته، مناطق محصور |
| Equipment inventory | صورت تجهیزات |
| Equipment release | ترخیص تجهیزات |
| Evenness | همواری |
| Executive summary | خلاصه اجرایی، مدیریتی |
| External shell | پوسته بیرونی |
| Factor of safety | ضریب ایمنی |
| Failure | خرابی (شکست) |
| Fastener | چفت و بست |
| Field tester | میدان‌سنج |
| Fillet weld | جوش گوشه |
| Film densitometer | تراکم‌سنج فیلم |
| Fitness-for-purpose(FFP) | مناسب‌بودن برای منظور |
| Flake off | پوسته‌پوسته شدن، ورآمدن |
| Flattening test | آزمایش تخت‌شدن |
| Flow straighteners | صاف‌کننده‌های جریان |
| Flue gas damper | دریچه تنظیم گاز خروجی |
| Flushing | شستشو |
| Fracture appearance transition temperature | دمای تبدیل ظاهر شکست |
| Frame sizes | اندازه‌های قاب |
| Free air delivery | تحویل به هوای آزاد |
| Full load torque | گشتاور بار کامل |
| Functional testing | آزمایش کارکردی |
| Fusion face | دیواره ذوب |
| Gauge | سنجه |
| Geometric unsharpness | عدم وضوح هندسی |
| Girder | تیر حمال |
| Gland | آب‌بند |
| Gloss | صیقلی ـ براق |
| Governing characteristics | مشخصه‌های حاکمه |
| Governor | تنظیم‌کننده |
| Grind back | سنگ‌زنی پشت جوش |



| | |
|---|---|
| Guarantee schedule | جدول ضمانت‌نامه |
| Hand held hardness meter | سختی‌سنج دستی |
| Hand held meter | وسیله اندازه‌گیری دستی |
| Hard stamp | با مهر حکاکی‌شده |
| Head-to-shell joints | اتصالات کلگی به بدنه |
| Heat number | شماره ذوب |
| Hold point | نقطه توقف برای بازرسی |
| Image quality indicator (IQI) | شاخص کیفیت تصویر |
| Inclusion | ناخالصی |
| Indentation test | آزمایش فرورفتگی |
| Indoor conditions | شرایط اتاق (درونی) |
| Inhibitive properties | خواص بازدارندگی |
| In-situ test | آزمایش درجا |
| Inspection and test plan (ITP) | طرح بازرسی و آزمون |
| Intake pressure | فشار ورودی |
| Integrity | یکپارچگی، صحت |
| Intercoat | بین پوشش |
| Interim documentation | مستندات میانی |
| Inventory | فهرست دارائی ـ صورت کالا |
| Involved parties | طرف‌های درگیر |
| Issue an NCR | صدور گزارش عدم انطباق |
| Kinking | چروکیدگی |
| Lack of fusion | ذوب ناقص |
| Lack of penetration | نفوذ ناقص |
| Lamellar | لایه‌لایه |
| Lamination | تورق |
| Lamination defect | عیب لایه‌ای شدن |
| Lap weld | جوش روی هم |
| Lateral characteristic | ویژگی جانبی |
| Leading standards | استانداردهای پیشرو |
| Leak tightness | مقاومت در برابر نشتی |
| Leg length | طول ساق |
| Level of examination | مراتب (درجات) آزمون |
| Level of accuracy | سطح دقت |
| Liabilities | تعهدات، مسؤولیت‌ها |

| | |
|---|---|
| Licensor | مجوز دهنده، پروانه دهنده |
| Linear indications | نشانه های خطی |
| Lining | روکشدهی |
| Load-bearing welds | جوش‌های باربر |
| Loading | بارگذاری |
| Lobe-type or roots blowers | کمپرسور گوشواره‌ای |
| Longitudinal travel | حرکت طولی |
| Loose cladding | پوشش آزاد |
| Loss of gloss | عدم براقی |
| Main contractor | پیمانکار اصلی |
| Manufacturing conformity | انطباق ساخت |
| Manufacturing drawing | نقشه ساخت |
| Marginal results | نتایج مرزی |
| Mark up | علامت‌گذاری |
| Mechanical integrity | یکپارچگی مکانیکی |
| Mechanical performance | کارایی مکانیکی |
| Mesh(ing) | محل درگیری ـ نقاط درگیری چرخ دنده‌ها |
| Metal spraying | پاشش فلزی |
| Metallic lining | آسترکشی فلزی |
| Meters | وسایل اندازه‌گیری |
| Mill certificate | گواهی نورد |
| Millscale | اکسیدهای سطحی (ناشی از فورج و...) |
| Minor defects | نقایص فرعی |
| Mismatch | عدم تطابق، ناهمتراز |
| Monitoring | پایش‌کردن |
| Multi-layer weld | جوش چندلایه |
| NCR (Non Conformance Report) | گزارش عدم انطباق |
| No-load running test | آزمایش راه‌اندازی بی‌باری |
| Nominal | اسمی |
| Non-conformance | عدم تطابق، عدم انطباق، مغایرت |
| Non-relevant indications | نشانه‌های نامرتبط |
| Norm | معمول، عرف |
| Normal probe | پراب عمودی |
| Nozzle welds | جوش‌های نازل |
| Offset double-image technique | تکنیک دو تصویر کنار هم |



| | |
|---|---|
| Offshore | فراساحلی |
| Open circuit | مدار باز |
| Operation | عملیات، بهره‌برداری |
| Orange peel effect | اثر پوست پرتقالی |
| Out of roundness | خارج از دایره بودن |
| Over speed | فوق سرعت |
| Overhead crane | جرثقیل سقفی |
| Overheating | داغ‌شدگی |
| Overload test | آزمایش بار اضافی |
| Overspeed capability | ظرفیت افزایش سرعت |
| Overspeed settings | وضعیت‌های فوق سرعت |
| Overspeed trip | قطع فوق سرعت |
| Over-stressing | تنش بیش از حد |
| Packing | بسته‌بندی |
| Paint sagging | شکم‌دادن رنگ |
| Painting | رنگ، رنگ‌کاری |
| Painting test | آزمایش رنگ |
| Paintwork | رنگ‌کاری |
| Parallel offset | انحراف موازی |
| Parent material | مواد پایه ـ مواد اولیه |
| Party | گروه، بخش، تشکل، طرف |
| Peak-to-peak | قله تا قله |
| Peeling | پوسته‌انداختن |
| Penetrameter | نفوذسنج |
| Performance Test Code (PTC) | کد آزمایش عملکردی |
| Phantom indications | نشانه‌های فریبنده |
| Pipe work | لوله‌گذاری، لوله‌کشی |
| Pitting corrosion | خوردگی حفره‌ای |
| Plant | کارخانه، تأسیسات |
| Porosity | تخلخل |
| Positive identification | علامت‌گذاری مشخص، شناسایی مطمئن |
| Pressure vessel | ظرف تحت فشار، مخزن تحت فشار |
| Prestretch | پیش کشش |
| Prime movers | محرکه‌های اصلی (اولیه) |
| Primer | آستر |

| | |
|---|---|
| Procedure qualification record (PQR) | سابقه تایید صلاحیت روش جوشکاری |
| Process plant | تاسیسات فراوری، شیمیایی |
| Procurement standards | استانداردهای تدارک |
| Production test plate | نمونه‌های آزمایش تولید |
| Profile | منحنی سطحی |
| Proof test | آزمایش اطمینان (اثبات) |
| Qualifying information | اطلاعات صلاحیت دهنده |
| Rated power | توان اسمی |
| Rated speed | سرعت نامی |
| Reporting by description | گزارش‌دهی از طریق شرح‌دادن |
| Reporting by exception | گزارش از طریق استثنا |
| Requirements | الزامات |
| Resolution | قابلیت تفکیک، وضوح |
| Retest | آزمایش مجدد |
| Retrospective test | آزمایش عطف به ماسبق |
| Root concavity | تقعر ریشه |
| Root gap | درز ریشه |
| Root land | پاشنه ریشه |
| Root radii | انحنای ریشه |
| Root run | پاس ریشه |
| Rounded indications | نشانه‌های گرد، دایره‌ای |
| Rust | زنگ ـ زنگ‌زدگی |
| Scope | دامنه کاربرد ـ هدف |
| Scratch test | آزمایش خراش |
| Screen | صفحه نمایشگر |
| Seal weld | جوش آب‌بند |
| Sealing | آب‌بندی کردن |
| Seam | درز |
| Sharpness | وضوح |
| Shop | کارگاه |
| Side bend test | آزمایش خمش جانبی |
| Single wall radiography | رادیوگرافی تک دیواره |
| Slag | گل جوش، سرباره |
| Slag inclusions | ناخالصی‌های سرباره‌ای |
| Slip | لغزنده |



| | |
|---|---|
| Slow speed run | راه‌اندازی با سرعت کم |
| Spark test | آزمایش جرقه |
| Specific energy requirement | الزامات خاص انرژی |
| Specification & standards | مشخصات فنی و استانداردها |
| Stamp | نشان، مهر |
| Statutory compliance | انطباق (با الزامات) قانونی |
| Statutory vessels | مخازن تحت پوشش الزامات قانونی |
| Stripdown inspection | بازرسی بازکردن |
| Stripping test | آزمایش برداشتن (شستن) روکش (پوشش) |
| Structural steelwork | سازه‌های فولادی |
| Structural welding | جوش سازه‌ای |
| Structure | سازه |
| Structured examination | بازرسی سازمان‌یافته |
| Sub-contractor | پیمانکار فرعی |
| Substrate | زیر لایه |
| Supervision | نظارت |
| Support | تکیه‌گاه |
| Surface appearance | شکل و ظاهر سطح |
| Temperature capability | قابلیت دمایی، قابلیت تحمل دما |
| Test plate | ورقه نمونه آزمایش |
| Test procedures and techniques | روش‌ها و دستورالعمل‌های آزمایش |
| Test-piece | قطعه آزمایش |
| Third parties | بازرسان مستقل، طرف‌های سوم |
| Toughness | چقرمگی |
| Traceability | قابلیت ردیابی |
| Transverse bend test | آزمایش خمش عرضی |
| Transverse shear waves | امواج برشی |
| Trip settings | تنظیمات قطع مدار |
| Trips | قطع‌کننده‌ها، تریپ‌ها |
| Type testing | آزمایش نوع |
| Ultrasonic | فراصوتی ـ اولتراسونیک |
| Unbalance | عدم تعادل ـ عدم توازن |
| Under filling | پرکردن ناقص |
| Undercoat | زیر لایه |
| Undercut | بریدگی کناره جوش |

| | |
|---|---|
| Uneven wear | سایش نامتقارن |
| Unfired | بدون آتش، غیرمشتعل |
| Waterbox | محفظه آب |
| Wattmeter | توان‌سنج |
| Wear ring | حلقه سایش |
| Web | جان تیر |
| Weld back chip | شیارزنی پشت جوش |
| Weld cap | گرده جوش، برآمدگی جوش |
| Weld neck | گردن جوشی |
| Weld procedure approval | تأیید روش جوشکاری |
| Weld procedure qualification (WPQ) | تأیید صلاحیت روش جوشکاری |
| Welding procedure specification (WPS) | مشخصات روش جوشکاری |
| Witness point | نقاط نظارت حضوری، نقاط شاهد |
| Witnessed test | آزمایش با حضور بازرس |
| Works inspector | بازرس ساخت |
| Worm holes (piping) | سوراخ های کرمی (لوله‌ای) |