

# آزمون‌های غیر مخرب

در یک تعریف کلی؛ روش‌هایی که جهت تشخیص عیوب و ناهمگنی‌های درونی و سطحی مواد، بدون تخریب قطعه و نمونه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرند با نام آزمون‌های غیر مخرب شناخته می‌شوند.

حسین مدیحی بیدگلی

کارشناس ارشد نفت، گاز و پتروشیمی  
hoseinmadihi@yahoo.com



عیوب به اندازه‌های مختلف در ماده یا قطعه مانند ترک‌های حاصل از خستگی یا خوردگی به وجود آید که با آزمون‌های استاندارد و تخریبی قابل ارزیابی و کنترل نیست. بنابراین جهت مشاهده عیوب در مراحل تولید و پس از آن و همچنین آشکارسازی سریع و تعیین ابعاد دقیق رشد آنها، بکارگیری تجهیزات و روش‌های قابل اطمینان ضروری است. اهمیت این نکته، زمانی آشکارتر می‌شود که بدانیم ماهیت و ابعاد عیوب بر روی فرآیندهای بعدی آن قطعه تاثیر خواهد گذاشت.

رشد تکنولوژی در تجهیزات و ادوات وابسته به آزمون‌های غیرمخرب و همچنین کسب مهارت‌ها و افزایش دانش کارشناسان این حوزه از یک سو و ارتقای استانداردها، توسعه و رقابتی شدن بازار مصرف از سوی دیگر باعث گسترش استفاده از این روش در صنایع کلیدی مانند صنایع پزشکی، صنایع

نقش و کاربرد آزمون‌های غیرمخرب در تولید، تعمیرات و نگهداری قطعات از اهمیت زیادی برخوردار است؛ به گونه‌ای که در بسیاری از صنایع مانند صنایع هواپیمایی، نفت، گاز، پتروشیمی و خودروسازی در تضمین سلامت جامعه و محیط زیست نقش حیاتی دارد.

## ضرورت و مزایای استفاده از آزمون‌های غیرمخرب

اغلب مهندسين جهت كسب اطلاعات ارزشمند از خواص مكانيكي مواد عادت به انجام آزمون‌های استاندارد از قبیل تعیین خواص کششی، فشاری، برشی و ضربه‌ای داشته‌اند که البته این آزمون‌ها ماهیت تخریبی داشته و در عین حال خواص مکانیکی و کارایی قطعات را به روشنی آشکار نمی‌سازند. به علاوه در ادامه فرآیند تولید تا فاز بهره‌برداری محصول، ممکن است انواع



هوایمائی، صنایع خودروسازی، صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، ادوات تحت فشار و ... شده است.

کاربرد آزمون‌های غیرمخرب جهت تست جوش و تأیید صحت جوشکاری در خطوط لوله انتقال نفت و گاز، مشاهده ترک‌ها در قطعات دوار و پره‌ها، فیلم‌های رادیوگرافی برای تشخیص مشکلات استخوانی یا سیستم‌های سونوگرافی جهت مشاهده وضعیت جنین در رحم مادر، تحلیل استحکام سازه‌ها و سلامت اتصالات در پل‌سازی و سازه‌های آهنی، تشخیص ضایعات سطحی و عمقی در فرآیندهای فورج و ریخته‌گری قطعات خودرو و نمونه‌های بی‌شمار دیگر می‌باشد.

از جمله مزایا و ویژگی‌های چشم‌گیر این آزمون‌ها می‌توان به سرعت بالا در انجام تست و کسب نتیجه آزمون، هزینه‌های ناچیز آزمایش و عدم تخریب قطعات اشاره کرد.

### منشأ و نحوه شکل‌گیری عیوب در مواد و قطعات

عیوب ایجاد شده در قطعات به فرآیند تولید یا شرایط مونتاژ و بکارگیری آنها وابسته است. در تولید قطعات یا ریخته‌گری مواد خام، این عیوب می‌تواند به دلیل وجود ناخالصی‌های سرباره، شوک‌های حرارتی، حفره‌های گازی و انقباضی ایجاد گردد. عیوب ایجادشده در فرآیند ساخت و مونتاژ قطعات مانند فرآیندهای ماشین‌کاری، تنش‌های پسماند جوشکاری، عملیات حرارتی، تنش‌های حاصل از فشار مضاعف و ... نیز شکل می‌گیرد. ضربات ناشی از حمل و نقل قطعات و لجستیک آنها یکی دیگر از دلایل شکل‌گیری عیوب قطعات است. در آخر عیوب ایجاد شده در طول عملکرد و استفاده از قطعات است که اغلب باعث توقف خطوط تولید، بحران‌های انتقال و جریان مواد، خطرات زیست‌محیطی و ایمنی می‌شود. این عیوب به دلیل وجود خستگی، خوردگی، تنش‌ها و ناپایداری حرارتی و... به وجود می‌آیند که در مراحل بازرسی دوره‌ای قابل مشاهده و ارزیابی است.

### مشخصات و ویژگی‌های آزمون‌های غیرمخرب

اولین شاخص تعیین‌کننده سطح کیفی نتایج بازرسی‌ها در آزمون‌های غیر مخرب نقش آزمونگر است. آزمون‌های غیر مخرب بر خلاف ظاهری ساده به دلیل پیچیدگی‌های اجرا، بدون کسب مهارت و دانش فنی قابل انجام نیست. تفسیر و ارزیابی نتایج از مهم‌ترین بخش هر آزمایش است. پذیرش مسئولیت پاسخ‌ها متکی به مهارت‌های فردی در حین انجام آزمون و تسلط به روش‌ها و استانداردهای مربوطه می‌باشد. روش‌های آزمون و تناسب آن با ویژگی فرآیند و محصول دومین مشخصه تعیین‌کننده کیفیت آزمون‌های غیر مخرب می‌باشد. انتخاب روش مناسب از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. روش نادرست چه بسا قطعه سالم را معیوب و قطعه معیوب را سالم نشان می‌دهد. در تولید انبوه قطعات مانند قطعات خودرو که پیوستگی تولید جزء مشخصه‌های اصلی آن است، آموزش و تسلط اپراتور در انجام تست دارای اهمیت مضاعف است. دقت اپراتور در انجام آزمون و تحلیل خرابی‌ها یکی دیگر از مشخصه‌های مهم و تعیین‌کننده در صحت نتایج بازرسی است. بازرسی مداوم توسط یک اپراتور در خطوط تولید و کارخانجات از قطعات مشابه در طول روز سبب ایجاد خستگی و بروز خطای وی می‌گردد. به عنوان مثال در این گونه تولیدات از روش ذرات مغناطیسی (Magnetic Particles Inspection) استفاده می‌گردد. مطالعات کارشناسی و سوابق کیفی آزمون‌ها، وجود درصد بالای خطا در این گونه بازرسی‌ها را در ساعات پایانی کار نشان می‌دهد.







# Non-Destructive Testing

بدون شک نقش تجهیزات آزمون و ادوات وابسته مهم‌ترین مشخصه در افزایش دقت و سرعت آزمون می‌باشد. به هر میزان از تجهیزات مدرن و پیشرفته‌تری استفاده گردد، علاوه بر کارایی و سرعت انجام تست؛ اطمینان از دقت نتایج آزمون نیز افزایش می‌یابد و نقش اپراتور در تشخیص صحت انجام تست کم‌رنگ می‌شود؛ که با توجه به حوزه تخصصی نشریه "تجهیزات آزمون و اندازه‌گیری" سعی بر آن است تا به این مهم بیشتر پرداخته شود.

## روش‌های بازرسی و تکنیک‌های اساسی در آزمون‌های غیرمخرب

اعتبار روش‌های بازرسی غیرمخرب به توانایی آن روش در تشخیص و سنجش هر چه بهتر عیوب قطعات است. روش‌های مختلف منجر به نتایج متفاوت می‌شوند. بنابراین شناخت ویژگی‌های هر یک از روش‌های بازرسی غیرمخرب و تناسب آن با فرآیند ساخت و تولید قطعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهم‌ترین آزمون‌های غیر مخرب که دامنه فراگیر داشته و کاربرد گسترده‌ای دارند به شرح زیر می‌باشد:

- ۱- بازرسی چشمی (VISUAL INSPECTION)
- ۲- آزمون رادیوگرافی (INDUSTRIAL RADIOGRAPHY)
- ۳- آزمون فراصوت (ULTRASONIC TESTING)
- ۴- آزمون مایعات نافذ (PENETRANT TESTING)
- ۵- آزمون ذرات مغناطیسی (MAGNETIC PARTICLES TESTING)
- ۶- آزمون نشتی (LEAKAGE TESTING)
- ۷- آزمون هیدرواستاتیک (HYDROSTATICS TESTING)
- ۸- آزمون جریان گردابی (EDDY CURRENT TESTING)

## Visual Inspection

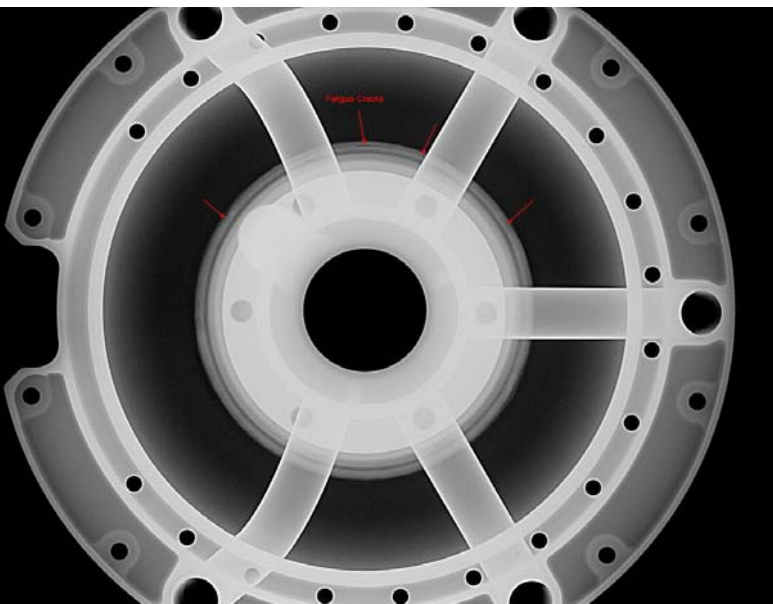


### ۱- بازرسی چشمی (VISUAL INSPECTION)

آزمون چشمی پایه‌ای‌ترین، ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین روش آزمون کنترل کیفیت و پایش قطعات می‌باشد که معمولاً با آزمون‌های دیگری تکمیل می‌گردد. در این روش مسئول کنترل کیفیت باید مواردی را بطور بصری کنترل کند. آزمون چشمی روشی برای شناسایی نواقص و معایب سطحی است و هر برنامه کنترل کیفیتی که شامل بازرسی چشمی باشد، محتوی یک سری آزمایشات متوالی در طول مراحل ساخت خواهد بود. کشف و تعمیر عیوب همزمان با مراحل ساخت، کاهش هزینه قابل توجهی را در بردارد و بسیاری از عیوبی که بعدها با روش‌های آزمون پیشرفته‌تر کشف می‌شوند، طی بازرسی چشمی قبل، حین و بعد از انجام فرایندهایی مانند جوشکاری به راحتی قابل کشف هستند. عیوب ناشی از مونتاژ مخازن و خطوط لوله، ناپیوستگی‌های جوش و همچنین نظارت بر رعایت نقشه‌ها و دستورالعمل‌های بازرسی آزمون (Welding Procedure Specification-WPS) از عمده مواردی است که در بازرسی چشمی مد نظر قرار گیرد.

### ۲- آزمون رادیوگرافی (INDUSTRIAL RADIOGRAPHY)

آزمون رادیوگرافی به استفاده از امواج گاما و ایکس، که قابلیت نفوذ در بسیاری از مواد را داراست، برای بررسی مواد و تشخیص عیوب محصولات، گفته می‌شود. در این روش اشعه ایکس و یا رادیواکتیو به سمت قطعه تابیده شده و پس از عبور بر روی فیلم منعکس می‌گردد. ضخامت و مشخصه‌های داخلی باعث تیره‌تر یا روشن‌تر شدن نقاطی در فیلم می‌شود. با توجه به کاربرد مواد رادیواکتیو در این روش و سرطانزا بودن آن، اخذ تمهیدات خاص در زمان انجام آزمون ضروری است؛ که این مهم از جمله محدودیت‌های آن به شمار می‌رود. معمولاً این تست در زمان‌های تعطیلی واحد تولیدی و یا در محیط‌های مجزا صورت می‌پذیرد. عمده مزیت این آزمون، نمایان شدن نوع و اندازه و محل دقیق عیوب عمقی است. الزام استفاده از این روش در مخازن و خطوط لوله با فشار بالا و سرویس‌های سمی از سوی کدهای معتبر طراحی بین‌المللی، اهمیت آن را دو چندان می‌کند.







### ۳- آزمون فراصوت (ULTRASONIC TESTING)

امواج صوتی با فرکانس بین ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلو هرتز در محدوده شنوایی انسان است؛ اما در این روش امواج فراصوت با بسامد بالا و با دامنه کم در فرکانسی بین ۰/۵ تا ۲۵ مگاهرتز به داخل قطعه فرستاده می‌شوند. این امواج پس از برخورد به هر گسستگی بازتابیده می‌شوند و قسمتی از این امواج به سمت حسگر رفته و حسگر آن را دریافت می‌کند. از روی دامنه و زمان بازگشت این امواج می‌توان به مشخصه‌های این گسستگی پی برد.

روش‌های فراصوتی به طور گسترده‌ای برای آشکارسازی عیوب عمقی به کار می‌روند این آزمون قدرت نفوذ بسیار بالاتری نسبت به رادیوگرافی دارد و گاهی اوقات می‌تواند عیوب را تا عمق ۵ متر در فولادها نمایان سازد. همچنین حساسیت این روش در آشکارسازی عیوب صفحه‌ای و بحرانی نظیر ترک‌ها، ذوب ناقص (Lamination) و بیشتر از (Lack of fusion - LOF) و پوسته شدن سطح (Lamination) بیشتر از رادیوگرافی می‌باشد. به علاوه می‌توان از آنها برای آشکارسازی ترک‌های کوچک سطحی نیز استفاده نمود.

این روش بازرسی قطعات تولیدی در فرایندهای ریخته‌گری، نورد، فورج، اکستروژن، ورق‌های نازک، انواع جوش‌های نفوذی و اندازه‌گیری میزان کاهش ضخامت لوله‌ها و مخازن کاربرد دارد.

با رعایت ضوابطی می‌توان این آزمون را جایگزین روش رادیوگرافی نمود که این مورد در ویرایش اخیر برخی از کدهای معتبر طراحی تصریح شده است.

توصیه اکید برای اطمینان از صحت عملکرد اپراتور این آزمون، الزام به انجام تست بر روی یک نمونه با عیب‌های معین و ارزیابی نتایج اعلام شده پیش از شروع تست نمونه اصلی می‌باشد.

### ۴- آزمون مایعات نافذ (PENETRANT TESTING)

در این روش سطح قطعه با مایعی رنگی قابل مشاهده پوشیده می‌شود. پس از مدتی این مایع در درون شکاف‌ها و حفره‌های سطحی قطعه نفوذ می‌کند. پس از آن مایع از سطح جسم زوده شده و ماده ظاهر کننده به روی سطح پاشیده می‌شود. اختلاف روشنایی مایع نافذ و ماده ظاهر کننده باعث مشاهده عیوب سطحی می‌شود. آزمون مایع نافذ را به دو طریق، با استفاده از رنگ مرئی و فلورسنت می‌توان انجام داد.

در مخازن و خطوط لوله این تست برای آشکار کردن ترک‌های سطحی و عیوبی که به سطح راه داشته باشند و منافذی که با چشم عادی قابل رویت نیستند به کار می‌رود و بر روی اکثر مواد مانند فولادهای آستنیتیک و فلزات غیر آهنی که از روش ذرات مغناطیسی نمی‌توان آنها را تست نمود قابل انجام است.

### ۵- آزمون ذرات مغناطیسی

#### (MAGNETIC PARTICLES TESTING)

در این روش ذرات آهن بر روی ماده‌ای با خاصیت آهنربایی ریخته شده و میدان مغناطیسی در آن القا می‌شود. در صورت وجود خراش یا ترک بر روی سطح، در







محل عیب قطب‌های مغناطیسی تشکیل شده و میدان مغناطیسی در آن ناحیه دچار اعوجاج می‌گردد. این قطب‌های مغناطیسی جاذب ذرات آهن هستند که در نتیجه وجود عیب را می‌توان از تجمع ذرات آهن تشخیص داد. با توجه به مبنای فنی این روش، ماده مورد آزمایش باید قابلیت مغناطیس شدن داشته باشد. این روش اغلب در ترک‌بایی مخازن و خطوط لوله کربن استیل کاربرد دارند. در مواقعی که امکان استفاده از آزمون رادیوگرافی وجود نداشته باشد مانند جوش نازل‌ها در مخازن تحت فشار، استفاده از آن در کنار تست‌های دیگری معمول است.

### ۶- آزمون نشتی (LEAKAGE TESTING)

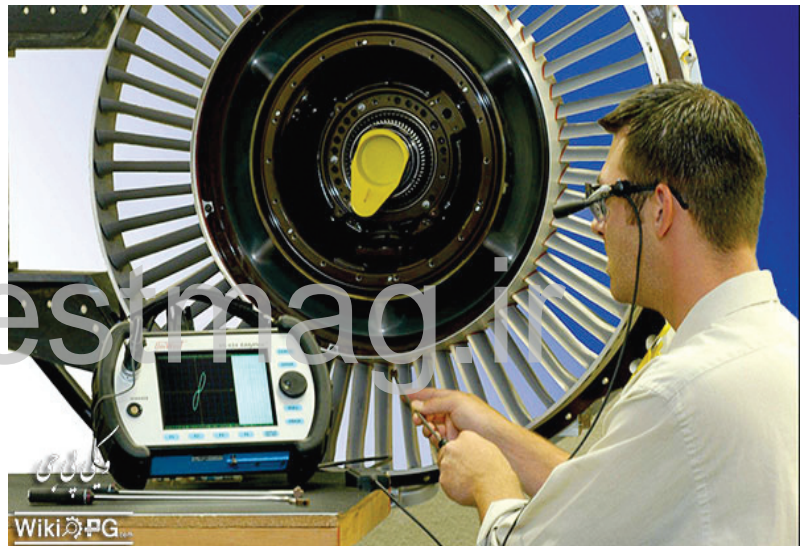
در مخازن تحت فشار و لوله‌های انتقال سیال آزمون نشتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برخی از روش‌های متداول تشخیص نشتی در این خصوص عبارتند از: روش اندازه‌گیری افت فشار با استفاده از گیج‌های فشار، گاز یا مایع نافذ و آزمون حباب صابون. به عنوان نمونه آزمون نشتی اتصالات جوش لوله در میدل‌های لوله پوسته‌ای (Shell and Tube Heat Exchangers) با به کارگیری گاز هلیوم و ظاهر سز این گاز انجام می‌شود.

### ۷- آزمون هیدرواستاتیک (HYDROSTATICS TESTING)

آزمونی برای بررسی سلامت و استحکام جوش و بدنه قطعه، خطوط لوله و اتصالات است که در فشاری بالاتر از فشار طراحی و پایین‌تر از نقطه تسلیم با در نظر گرفتن دمای طراحی و بسته به کد طراحی انجام می‌شود. طی آن مخزن یا لوله تحت آزمون از مایع غیر خورنده‌ای مانند آب با مشخصات تعیین شده در دستورالعمل پر می‌شود. در مواردی بر اساس کد طراحی، این سیال می‌تواند با هوا جایگزین شود.

فشار در آزمون هیدرواستاتیک ضریبی از بالاترین فشار مجاز عملکرد (یا فشار طراحی) و همچنین نسبت تنش مجاز ماده در دمای آزمون به تنش مجاز ماده در دمای عملکرد می‌باشد. این ضریب طبق الزامات کدهای انجمن مهندسان مکانیک آمریکا، در مخازن تحت فشار  $1/3$  و در خطوط لوله  $1/5$  می‌باشد.

آزمون هیدرواستاتیک به عنوان مهر تاییدی است بر فرایندهای تولید از محاسبات مهندسی تا صحت مواد و جوشکاری در مراحل نهایی ساخت مخازن و خطوط لوله. از مزایای جانبی آن می‌توان به آزادسازی تنش‌های پسماند در قطعات اشاره نمود.



### ۸- آزمون جریان گردابی (EDDY CURRENT TESTING)

از این آزمون جهت بازرسی و کنترل کیفیت قطعات رسانا استفاده می‌گردد. با این روش عیوب و ناهمگنی‌های سطحی و عمقی آشکار می‌شود. از ویژگی‌های بارز این آزمون آن است که عوامل متعدد آلودگی مانند چربی‌ها و لایه‌های رنگ اختلال چندانی در انجام آزمون ایجاد نمی‌کند. بنابراین یک روش موثر و کارآمد در بازرسی تولید انبوه مانند خطوط تولید لوله‌های انتقال سیال با فشارهای بالا است.

اساس انجام آزمون‌های الکترومغناطیسی بر اثر القای جریان گردابی از طریق یک سیم پیچ حامل جریان متناوب در مجاورت یک رسانا و ایجاد جریان گردابی یا ثانویه در آن ماده است. بر اثر این جریان القایی، یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که در جهت مخالف میدان مغناطیسی اولیه اطراف سیم پیچ است. تقابل میدان‌های ایجاد شده سبب ایجاد نیروی ضد محرکه الکتریکی در سیم پیچ شده و مقاومت ظاهری سیم پیچ را تغییر می‌دهد. مقاومت ظاهری سیم پیچ در قطعات سالم و بدون عیوب سطح یا عمقی همواره یکسان است. از این ویژگی استفاده می‌گردد تا در مواردی که مقاومت ظاهری سیم پیچ تغییر می‌کند و باعث کاهش شدت میدان مغناطیسی می‌شود ناپیوستگی ماده در آن ناحیه آشکار گردد.

با توجه به گستردگی مطالب، سعی بر آن است تا در شماره‌های آتی به بخش‌های مختلفی از مشخصات و ویژگی‌های کاربردی آزمون‌ها پرداخته شود.

