آزمون نشت‌یابی

علی مسعودی سلطانی[1]، سید مسعود سید امیرخانی[2]

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ali.masoodi.90@gmail.com

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

چکیده

در این مقاله آزمون غیرمخرب نشت‌یابی به اختصار معرفی شده است. این آزمون برای تشخیص خروج مایعات و یا گازها از اجزای تحت فشار استفاده می‌شود. آزمون‌های نشتی جهت اطمینان از سلامت قطعات الکترونیکی مهروموم، شیرآلات فشاربالا، دستگاه‌های لوله‌کشی و جوش‌های بدون نشتی استفاده می‌شوند. سازوکارهای نشت‌یابی و روش‌های آن، که تاکنون مورد بررسی پژوهشگران و متخصصان بوده، بسیار متنوع‌اند و با توجه به نوع نشتی و سامانه‌هایی که نشتی در آن امکان بروز دارد، به چند دستهٔ مختلف تقسیم می‌شوند. از مزایای نشت‌یاب می‌توان به شناسایی عیوب بسیار ریز و شناسایی و تخمین دقیق نرخ نشتی و از جمله معایب آن می‌توان به زمان‌بر بودن این آزمون و اینکه این آزمون تنها جهت شناسایی عیوبی که به دو طرف ضخامت قطعه راه دارند، اشاره کرد. در این مقاله، به برخی از روش‌های آزمون نشت‌یابی از جمله روش اکوستیک، آزمون حباب (جوشش)، آزمون غوطه‌وری، روش فشاری - اختلافی، نشت‌یابی چشمی و نشت‌یابی هیدرواستاتیک اشاره شده است.

واژگان کلیدی: نشت‌یابی، آزمون غیرمخرب، فشار، خلأ

۱. مقدمه

آزمون‌های غیرمخرب به مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی و تعیین خواص دستگاه‌ها و قطعات ساخته‌شده گفته می‌شود که هیچ‌گونه آسیب یا تغییری در سامانه ایجاد نکنند [۱]. رایج‌ترین روش‌های آزمون غیرمخرب عبارت‌اند از: آزمون پخش آوایی، آزمون چشمی، آزمون پرتونگاری، آزمون ذرات مغناطیسی، آزمون فراصوتی، آزمون مایع نافذ، آزمون الکترومغناطیسی، آزمون دمانگاری (ترموگرافی)، آزمون نشت شار مغناطیسی و نهایتاً آزمون نشت‌یابی. آزمون نشت‌یابی شاخه‌ای از آزمون‌های غیرمخرب است که دربارهٔ خروج مایعات یا گازها از اجزای تحت فشار یا ورود آنها به داخل اجزای تحت خلأ یا سیستم‌هایی که به‌منظور نگهداری این مایعات به‌کار می‌روند، بحث می‌کند. آزمون نشت‌یابی روش‌هایی برای یک یا ترکیبی از موارد زیر را دربر می‌گیرد:

۱. تشخیص و تعیین موقعیت دقیق سوراخ‌های نشت
۲. تعیین نرخ جریان نشت از یک سوراخ یا یک سیستم
۳. نظارت بر سیال نشت

اهمیت آزمون نشت‌یابی روبه رشد است. دلیل آن نیز افزایش قیمت و لزوم تأمین ضمانت محصولات تولیدشده و

افزایش مداوم حساسیت اجزا و سامانه‌ها به آلاینده‌های خارجی است. نگرانی‌های محیطی موجب تأکید بیشتر بر آزمون نشت‌یابی و اجرای آن شده است [۲]. آزمون‌های نشتی جهت اطمینان از سلامت قطعات الکترونیکی مهروموم‌شده، شیرآلات فشاربالا، دستگاه‌های لوله‌کشی و جوش‌های بدون نشتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورت عدم استفاده از آزمون نشت‌یابی نمی‌توان عدم نشتی را تضمین کرد و این روش تضمینی برای سلامت سیستم مورد استفاده از دیدگاه عدم‌نشتی است. همچون روش‌های دیگر آزمون‌های غیرمخرب، آزمون نشت‌یابی نیز تأثیر زیادی بر ایمنی و عملکرد محصول دارد. آزمون نشت‌یابی با کاهش تعداد محصولات تعمیری و تضمین سلامت محصول موجب کاهش قیمت تمام‌شده می‌شود. متداول‌ترین دلائل اجرای آزمون نشت‌یابی عبارت است از:

۱. جلوگیری از اتلاف مواد پرهزینه و انرژی
۲. جلوگیری از آلایندگی محیط
۳. تضمین قابلیت اعتماد اجزا و سامانه

۲. اصول نشت‌یابی

یک محل نشت[۱] توسط میزان سیالی که می‌تواند تحت شرایط معین از خود عبور دهد، اندازه‌گیری می‌شود. نرخ نشت اغلب به‌عنوان تولید مقدار فشار و حجم بر واحد زمان بیان می‌شود برای مثال تور لیتر بر ثانیه[۲]، میکرولیتر بر ثانیه و اتمسفر سانتی‌متر مکعب بر ثانیه[۳] یا اتمسفر سی سی بر ثانیه[۴]، که برابر یک سانتی‌متر مکعب گاز در ثانیه در اختلاف فشار استاندارد است، که یک تور نیز برابر یک میلی‌متر جیوه است. گفتنی است واحد تور به‌طور معمول در کاربردهای خلأ استفاده می‌شود.

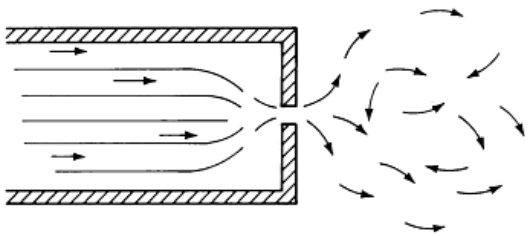
دو واحد از نرخ نشت با سامانه‌های فشاری که بیشترین استفاده را دارند، استاندارد سانتی‌متر مکعب بر ثانیه[۵] و معادل آن، استاندارد اتمسفر سانتی‌متر مکعب بر ثانیه می‌باشند. واحدی که بیشترین استفاده را در آزمون نشت‌یابی خلأ دارد، تور لیتر بر ثانیه است. واحدی که برای نرخ نشت در این مقاله استفاده شده استاندارد اتمسفر سانتی‌متر مکعب بر ثانیه است [۳].

۳. سازوکارهای نشت‌یابی و روش‌های آن

سازوکارهای نشت‌یابی و روش‌های آن، که تاکنون مورد بررسی محققان و متخصصان قرارگرفته، بسیار متنوع بوده و با توجه به نوع نشتی و سامانه‌هایی که نشتی در آن امکان بروز داشته به چند دسته تقسیم می‌شود. در ادامه به اجمال به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۳-۱. روش اکوستیک

گذر جریان متلاطم گاز متراکم از داخل یک نشتی منجر به تولید صدا با فرکانس‌های صوتی و یا فراصوتی می‌شود (شکل ۱). اگر نشتی بزرگ باشد، ممکن است صدا توسط گوش انسان هم تشخیص داده شود. این یک روش اقتصادی و سریع برای یافتن نشتی‌های بزرگ است. صدای حاصل از نشت توسط ابزارهایی چون میکروفون‌ها نیز، که توانایی محدودی در تشخیص موقعیت و تخمین اندازهٔ تقریبی یک نشتی دارند، قابل شناسایی است. تراگذارهای الکترونیکی[۶] حساسیت تشخیص را افزایش می‌دهند.



شکل ۱. تلاطم ایجادشده توسط گذر جریان سیال از یک دهانه [۳]

نشتی‌های کوچکتر توسط پروب‌های فراصوتی[۷]، که در محدودهٔ ۳۵ تا ۴۰ کیلوهرتز عمل می‌کنند، قابل تشخیص هستند، حال آنکه انتشار واقعی از نشتی‌ها محدوده‌ای بیشتر از ۱۰۰ کیلوهرتز را دربر می‌گیرند. آشکارسازهای فراصوتی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به آشکارسازهای صوتی در تشخیص نشتی‌های گازی حساس‌ترند و از فاصله ۱۵ متری (۵۰ فوتی) توانایی تشخیص نشتی هوا را از سوراخی به قطر ۰/۲۵ میلی‌متر در فشار ۳۵ کیلوپاسکال دارند.

۳-۲. آزمون حباب (جوشش)[۸]

روشی ساده برای نشت‌یابی مخازن کوچک پرشده از هر گازی، غوطه‌ور کردن آنها در یک مایع و مشاهدهٔ حباب‌هاست. اگر مخازن آزمایش در فشار اتمسفر آب‌بندی شوند، با پمپ‌کردن یک خلأ نسبی یا حرارت‌دادن مایع می‌توان اختلافی از فشار را ایجاد نمود. حساسیت این آزمایش از طریق کاهش فشار بالای

مایع، کاهش مایع، کاهش غلظت، کاهش عمق غوطه‌وری در مایع و کاهش کشش سطحی مایع افزایش می‌یابد. این روش در خطوط تحت‌فشار و مخازن خطرناک (مواد قابل انفجار، مواد سمی یا قابل اشتعال) یکی از روش‌های مناسب است که به تشخیص نشتی در محیطی امن‌تر کمک کرده و مانع ایجاد زیان برای محیط زیست می‌شود. البته به‌طور کلی سامانه‌های تحت فشار باید قبل از انجام آزمون به‌طور کامل از فشار تخلیه شده و سپس به انجام آزمون بر روی آنها پرداخته شود. تلاش برای انجام آزمون قبل از عمل تخلیهٔ فشار ممکن است سبب فوران مادهٔ داخل مخزن و ایجاد خطر برای کاربر شود. آزمون حباب بیشتر آزمونی کیفی محسوب شده تا یک آزمون کمی؛ بدین‌صورت که مثلاً در یک نشتی کوچک تعداد زیادی حباب تشکیل و دیده می‌شود، اما اندازه‌گیری مقدار نشت دشوار است. میزان حساسیت آزمون حباب در حدود ۳ الی ۱۰ تا ۴ الی ۱۰ اتمسفر سی سی بر ثانیه تخمین زده می‌شود [۳].

۳-۳. آزمون غوطه‌وری[۹]

روغن‌ها نسبت به آب معمولی حساسیت بیشتری نسبت به تشخیص نشتی دارند. بنابراین آزمون اجزای الکتریکی در حمام داغی از پرفلوئوروکربن رویهٔ متداولی است. در صورت اجرای آزمایش توسط کاهش فشار بالای مایع، چندین اقدام احتیاطی باید ترتیب داد، مخصوصاً اگر فشار کاهش‌یافته مایع را به نقطهٔ جوشش خود نزدیک کند. اگر مایع شروع به جوشش کند، نشان نشتی به غلط ظاهر می‌شود. مخزن آزمایش بایستی جهت افزایش مرطوب‌سازی سطح، جلوگیری از چسبیدن حباب‌ها به سطح و جلوگیری از آلودگی سیال به‌طور کامل تمیز شود. اگر از آب استفاده شود، باید به‌صورت تقطیرشده یا دی یونیزه شده باشد و باید طوری استفاده شود که کمترین پاشش به اطراف صورت گیرد تا مقدار گاز جذب‌شده کاهش یابد. معمولاً مقدار کمی از ترکننده به آب اضافه می‌شود تا کشش سطحی آن را کاهش دهد. با افزودن ترکنندهٔ مناسب، می‌توان آب را حتی نسبت به روغن‌ها نیز حساس‌تر کرد. این روش می‌تواند با موفقیت برای آشکارسازی نشتی‌هایی به کوچکی 10^{-6} اتمسفر سانتی‌متر مکعب بر ثانیه استفاده شود [۳]. آزمون غوطه‌وری می‌تواند روی هر عضو پرشده از گاز که توسط مایع آزمایش آسیبی نمی‌بیند، اجرا شود. اگرچه این آزمایش همان‌طور که پیشتر نیز اشاره شد نسبتاً حساس است، اما بیشتر به‌عنوان آزمایشی مقدماتی برای آشکارسازی نشتی‌های درشت استفاده می‌شود. این روش ارزان است، در آزمایش‌های با حساسیت پایین به مهارت کمتری نیاز دارد و کاربر را قادر می‌سازد تا مکان نشتی را به‌دقت تشخیص دهد.

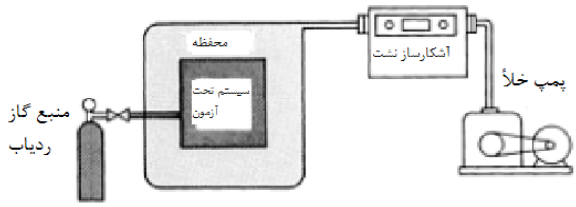
۳-۴. آزمون نشت‌یابی از سامانه‌های فشاری توسط آشکارسازهای گازی مخصوص

بسیاری از انواع نشت‌یاب‌های موجود یا به یک گاز مخصوص یا به گروهی از گازها که دارای برخی از خصوصیات مشترک فیزیکی یا شیمیایی هستند، واکنش نشان می‌دهند. فنون اندازه‌گیری نرخ نشت با استفاده از گازهای ردیاب در دو دسته قرار می‌گیرند: آزمون نشت استاتیکی[۱۰] و آزمون نشت دینامیکی[۱۱]. در آزمون نشت استاتیکی، محفظه‌ای که گاز ردیاب به داخل آن نشت کرده و انباشته می‌شود، آب‌بندی‌شده و در معرض پمپ خلأ، که گازهای انباشته را می‌مکد، قرار ندارد. در آزمون نشت دینامیکی، محفظه‌ای که گاز ردیاب به داخل آن نشت می‌کند به‌طور پیوسته یا متناوب پمپ شده تا گاز ردیاب نشت‌شده را از میان نشت‌یاب به داخل بکشد. فرایند اندازه‌گیری نرخ نشت شامل جادادن گاز ردیاب در داخل یا پیرامون سیستم تحت آزمایش است. یک اختلاف جزئی فشار روی مرز سیستم از طریق پرکردن یک طرف مرز با گاز یا از طریق تخلیه‌کردن طرف دیگر به‌وجود می‌آید. تمرکز گاز ردیاب در سمت کم‌فشار مرز سیستم اندازه گرفته می‌شود تا میزان نرخ نشت تعیین شود [۳].

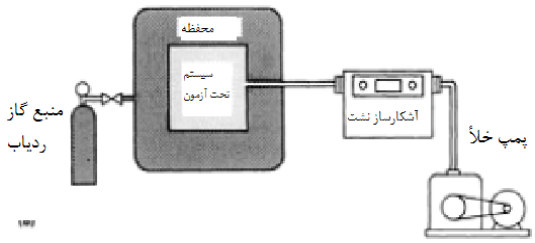
۳-۵. روش فشاری - اختلافی[۱۲]

مقدار هدررفت گاز می‌تواند توسط روش فشاری – اختلافی تعیین شود. این عمل از طریق اتصال دو محفظهٔ مشابه به یکدیگر با یک سنجه فشاری - اختلافی بین آنها، همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، انجام می‌شود. سنجه‌های فشاری - اختلافی به اختلافات فشاری کوچک حساس‌اند؛ لذا اگر دو محفظه در شرایط محیطی یکسانی نگه داشته شوند، نشتی‌هایی به کوچکی 10^{-4} اتمسفر سانتی‌متر مکعب بر ثانیه می‌تواند در سامانه‌هایی که در فشارهای تا ۴۰ مگاپاسکال کار می‌کنند، آشکار شوند. مزایای اولیهٔ این روش این است که آثار

دما به‌طور گسترده‌ای حذف می‌شوند و سیال عامل حقیقی می‌تواند استفاده شود [۳].

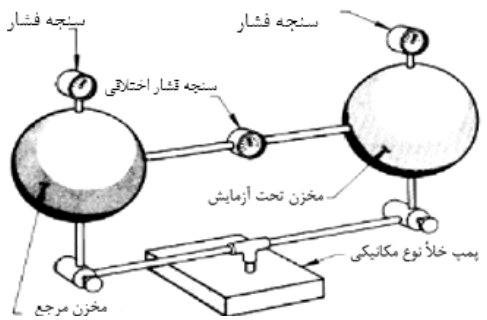


(الف)



(ب)

شکل ۲. حالت‌های اندازه‌گیری نشت سیال، مورداستفاده در فنون آزمون نشت دینامیکی با استفاده از پمپ خلأ؛ الف) حالت سیستم متراکم از گاز برای آزمون نشت اجزای کوچکتر، ب) حالت سیستم بیرونی متراکم از گاز برای آزمون نشت اجزای حجیم‌تر [۳]



شکل ۳. طرح کلی نشان‌دهندهٔ استفاده از یک سنجه فشاری -اختلافی بین یک مخزن مرجع و یک مخزن تحت آزمایش برای آشکارسازی نشتی‌ها در مخزن تحت آزمایش [۳]

۳-۶. آزمون نشت‌یابی چشمی از سامانه‌های فشاری[۱۳]

ساده‌ترین روش برای بررسی وجود نشتی در یک مخزن پرشده از مایع، مشاهدهٔ چشمی است. همچون گوش‌دادن و بوییدن، این روش نیز روشی سریع و ساده برای تشخیص نشتی‌های بزرگ در مخازن پرشده از مایع است. بینایی وقتی از منظر یک فرد مستقل بررسی شود، یک روش متغیر است؛ اگر هم از منظر چندین نفر بررسی شود، تغییرپذیری بیشتری دارد. این امر به این دلیل است که تفاوت در چشم همچون تفاوت در مغز و سیستم عصبی روی هر دو پارامتر تفکیک نوری و درک رنگ تأثیر می‌گذارد ابزارآلات نوری برای دیدن، نظیر آینه‌ها، عدسی‌ها، میکروسکوپ‌ها، بورسکوپ‌ها، فیبرهای نوری و ذره‌بین‌ها برخی از محدودیت‌های چشم انسان را با بزرگ‌کردن ناپیوستگی‌های ریز جبران می‌کنند. برای مثال بورسکوپ‌ها بازرسی چشمی مستقیم از داخل لوله‌های توخالی، محفظه‌ها و سطوح داخلی دیگر را ممکن می‌سازند. نشت‌یابی هیدرواستاتیکی نیازمند این است که عضو به‌طور کامل از یک مایع نظیر آب پر شود. حساسیت معمول برای بازرسی چشمی با استفاده از آب دی یونیزه شده به‌عنوان سیال آزمون 10^{-2} اتمسفر سانتی‌متر بر ثانیه است. بنابراین تنها ناپیوستگی‌های بزرگ با این روش می‌توانند آشکار شوند [۳]. با افزودن یکی از موارد زیر حساسیت آزمون را می‌توان افزایش داد:

۱.آشکارساز آبی اعمال‌شده به سطح بیرونی که وقتی با یک نشتی کوچک تماس می‌یابد، موجب تغییر رنگ می‌شود. این روش جایگزین روش قدیمی شستشوی آهک شده است که نیاز به مقدار زیادی نفوذ آب برای دیده شدن داشت

۲.یک غلیظ‌کننده که کشش سطحی آب را کاهش می‌دهد و یک ردیاب قابل رؤیت یا فلورسنت ایجاد می‌کند

آزمون هیدرواستاتیک در صورتی که به‌درستی انجام شود می‌تواند همان حساسیت یک آزمون نشتی نفوذ مایع روی نمونه‌های بزرگ را به‌دست دهد. آزمون نفوذ روی حجم‌های اجزای الکترونیکی نمونه، دو برابر حساس‌تر است. یک شاخهٔ جدید از آزمون هیدرواستاتیک، آزمون لوله ایستاده است که برای آشکارسازی نشتی‌ها در مخازن زیرزمینی استفاده می‌شود. در این آزمون مخزن به‌طور کامل پرشده و سطح مایع توسط رجوع به یک ستون مایع یا لوله آزمایش در بالای زمین پایش می‌شود. این روش خیلی مؤثر نیست و حساسیتی بین 10^{-1} و 10^{-2} اتمسفر سانتی‌متر مکعب بر ثانیه دارد [۳].

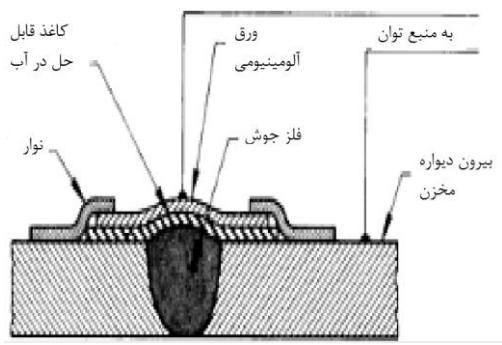
۳-۷. آشکارسازی از طریق کاغذ قابل‌حل در آب با ورق آلومینیومی[۱۴]

یکی از روش‌های آشکارسازی نشتی آب بدین‌صورت است که نواری از ورق آلومینیوم روی یک نوار پهن‌تر از کاغذ حلال در

آب خوابانده می‌شود. سپس نوارها روی خطوط جوش شده یک مخزن پرشده از آب خوابانده می‌شوند. اگر نشتی وجود داشته باشد، نوار قابل‌حل در آب حل خواهد شد که منجر به مشخص‌شدن مکان نشتی شده و نوار ورق آلومینیومی با مخزن تماس الکتریکی برقرار می‌کند. یک تغییر متناظر در مقاومت مشخص می‌کند که نشتی وجود دارد [۳].

۴. نتیجه‌گیری

سه پارامتر مهمی که انتخاب روش آزمون نشت‌یابی را تعیین می‌کنند، عبارت‌اند از: ویژگی‌های فیزیکی سیستم و سیال ردیاب، اندازهٔ نشتی پیش‌بینی‌شده و دلیل انجام آزمون. ویژگی‌های فیزیکی سیستم نقش مهمی در انتخاب روش‌های نشت‌یابی ایفا می‌کند. سیال ردیاب، چه گاز باشد و چه مایع، باید با عضو تحت آزمون یا اجزای سیستم واکنش‌ناپذیر باشد. این امر هرگونه خطایی را که ممکن بود با تبدیل نشت سیال ردیاب به نشت سیال عامل رخ دهد، از بین می‌برد. همچنین ممکن است نشت سیال ردیاب رخ دهد، در حالی‌که سیال عامل نشت نکند و بالعکس. اگر قرار باشد گاز ردیاب استفاده شود، باید به ویژگی‌های گاز توجه شود. در اکثر موارد گازهایی با نرخ نفوذ بالا و اندازهٔ مولکولی کوچک، نظیر هیدروژن و هلیم مطلوب هستند. از طرف دیگر، به‌هنگام بررسی سطح یک محفظهٔ پرشده از گاز ردیاب ممکن است مطلوب باشد که از یک گاز پایدار یا گازی با نرخ نفوذ پایین استفاده شود. گاز پایدار مدت بیشتری در ناحیهٔ نشتی خواهد ماند و ممکن است به‌خاطر افزایش در غلظت گاز ردیاب، آشکارسازی و مکان‌یابی نشتی را تسهیل کند [۳]. در این مقاله یکی از روش‌های آزمون غیرمخرب به نام آزمون نشت‌یابی بررسی شد. آزمون نشت‌یابی در زمینهٔ یافتن مکان نشت، نرخ نشت ایجادشده در سامانه و نظارت و کنترل بر سیال نشت صورت می‌گیرد. این آزمون را می‌توان به زیرمجموعه‌هایی شامل آزمون حباب، آزمون غوطه‌وری، آزمون نشت‌یابی چشمی از سامانه‌های فشاری، روش فشاری اختلافی دسته‌بندی کرد. به‌منظور انتخاب روش مناسب برای نوع آزمون نشت‌یابی، برای هر سامانه باید به پارامترهایی همچون ویژگی‌های فیزیکی سیستم و سیال ردیاب، اندازهٔ نشتی پیش‌بینی‌شده، دلیل انجام آزمون (که می‌تواند مکان‌یابی یا آشکارسازی نشت یا اندازه‌گیری نرخ نشت باشد) توجه شود.



شکل ۴. سطح مقطع یک خط اتصال جوش‌شده در یک مخزن پرشده از آب که نشان‌دهندهٔ نوارهای کاغذ حلال در آب و ورق آلومینیومی استفاده‌شده برای آشکارسازی نشتی‌ها در خط اتصال است [۳]

۵. مآخذ

[1] Barry, H., J. Vernon. *Non-destructive testing*, Macmillan Education LTD, 1988.

[2] *Introduction to Nondestructive Testing*, 2nd ed., A Training Guide, John Wiley & Sons Inc., 2005, pp. 179-182.

[3] *ASM Metals Handbook*, 9th ed., ASM Handbook Committee, Gerald L. Anderson, 1989, pp. 104–135.

پی‌نوشت

1. leak

2. torr·L/s

3. atm cm^3/s
4. atm cc/s
5. std cm^3/s
6. electronic transducers
7. ultrasonic probes
8. bubble testing
9. immersion testing
10. static leak testing
11. dynamic leak testing
12. differential-pressure method
13. visual leak testing of pressure systems
14. detection by eater-soluble paper with Aluminum foil