

# تست غیر مخرب با روش رزونانس صوتی

مهندس حامد دژتابادی

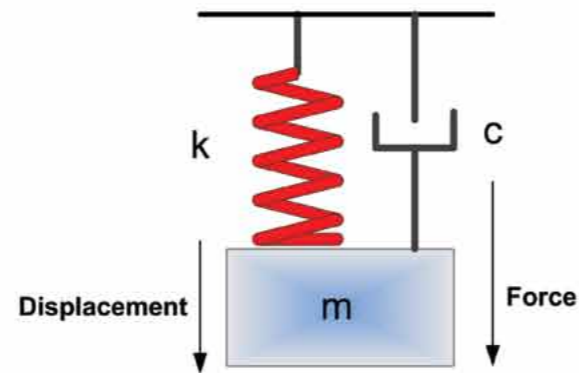
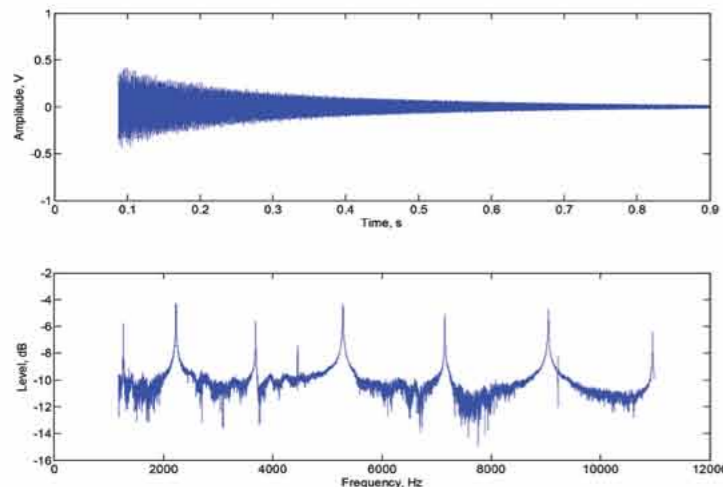
شرکت رادروش شمال  
www.rad-ravesh.com

آزمون‌های غیر مخرب جایگاه ویژه‌ای در تعیین ویژگی‌های کیفی محصولات و قطعات تولیدی دارند و در این میان آزمون‌های کم هزینه‌تر، دقیق‌تر و ساده‌تر کاربرد بهتر و بیشتری خواهند یافت.

آنالیز مَدال‌های صوتی ناشی از اعمال ضربه به قطعات سخت در یک فرآیند تولیدی، روشی بسیار کارا، مؤثر، دقیق و در عین حال ساده، سریع و ارزان می‌باشد که برای کاربرانش، بسیاری از خواص نسبی محصولات شامل: سختی، گرویت، سردجوشی، ترک، ابعاد هندسی قطعه و تنش پسماند را در مقایسه با دیگر قطعات و محصولات مشابه عیان می‌سازد و با بهره‌گیری از بانک اطلاعاتی ارزشمند اولیه که باید به مرور زمان کامل‌تر گردد و بر مبنای تحلیل و آنالیز ریاضی پاسخ فرکانسی قطعه در کل گستره فرکانسی آن، ویژگی‌های ذاتی محصول مورد آزمون را عیان می‌سازد. خوشبختانه این تکنیک و این روش توسط شرکت "رادروش شمال" توسعه یافته و در بسیاری از صنایع کشور به ویژه در صنعت خودرو به کار گرفته شده و نتایج شایسته‌ای به ارمغان آورده است.

در این بخش مقاله‌ای درباره معرفی این روش و کاربردهای آن ارائه شده که امیدواریم مورد توجه علاقمندان قرار گیرد. بدیهی است در نشریه "تجهیزات آزمون و اندازه‌گیری" در راستای رسالت خویش با باور به پتانسیل و توانمندی بالای مهندسیین و صنعت‌گران توانای ایرانی وظیفه خود می‌دانیم اینگونه شرکت‌های دانش بنیان و بومی معرفی شوند تا راه‌های ساده ولی کارآمد کنترل کیفی محصولات، نظیر این تکنیک زیبا، آسان‌تر از پیش در اختیار تولیدکنندگان میهن قرار گیرند.

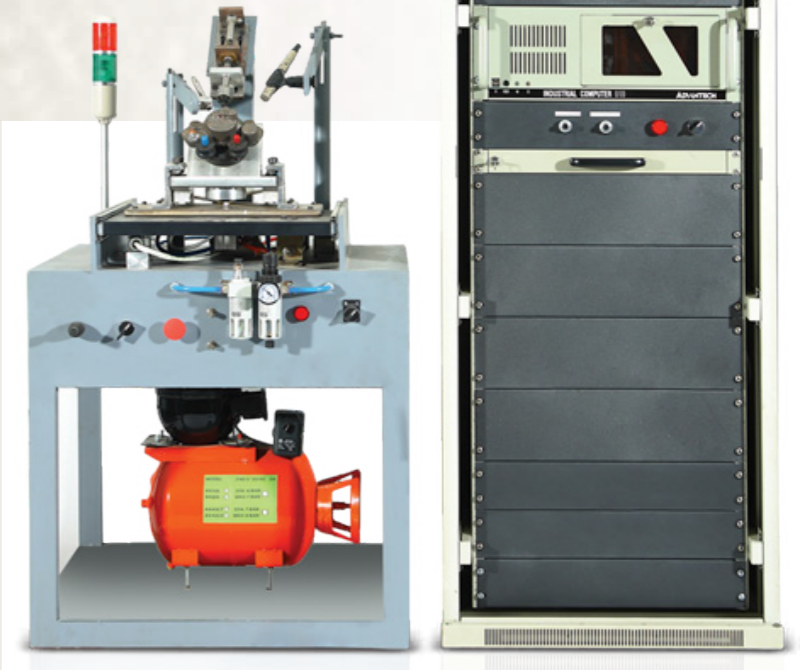
www.testmag.ir



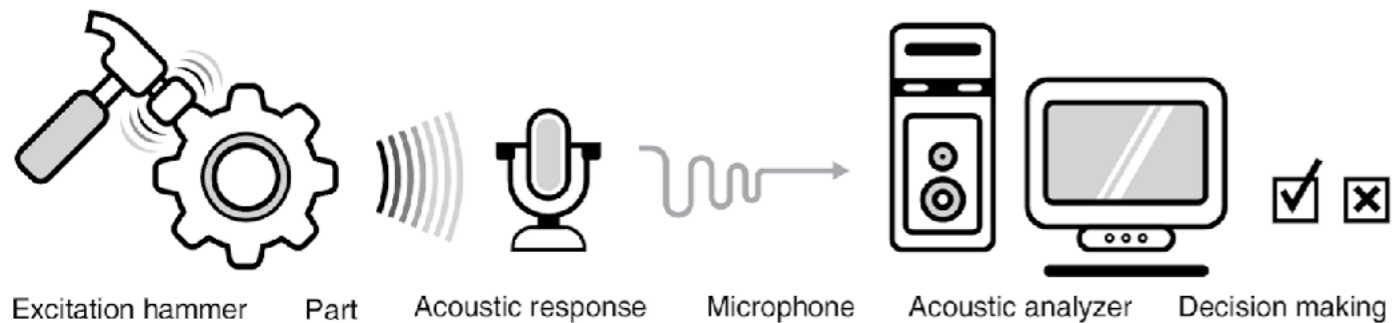
شکل روبرو سیگنال ارتعاش یک قطعه در حوزه زمان، و طیف فرکانسی آن را نشان می‌دهد. قله‌های (Peaks) طیف فرکانس نمایانگر مَدها یا فرکانس‌های طبیعی قطعه می‌باشند.

سیستم تست رزونانس صوتی (Acoustic Resonant Inspection) (ARI) با روش ضربه‌زدن به قطعات و پردازش علائم صوتی حاصل از ارتعاشات مکانیکی آنها، فرکانس‌های مَدال (طبیعی یا تشدید) قطعات را محاسبه می‌نماید. آنگاه نتایج را با داده‌های مرجع (اطلاعاتی که از نمونه قطعات شاهد در Database ذخیره نموده است)، مقایسه و وجود انواع نقص را در آنها شناسایی و اعلام می‌کند.

این فرکانس‌ها ( $F_r$ ) بیانگر خواص ساختاری و ابعادی قطعه بوده که وجود یک عیب در آن باعث شیفت این فرکانس‌ها یا تغییر میرایی آنها می‌شوند. رزونانس یک قطعه را می‌توان با یک مدل ساده فیزیکی توسط یک جرم و فنر در رابطه معروف  $F_r = \sqrt{k/m}$  بیان کرد، بطوری که  $k$  معادل سفتی (Stiffness) فنر و  $m$  معادل جرم وزنه می‌باشد. در واقع  $k$  برگرفته از خواص ماده و  $m$  برگرفته از ابعاد و چگالی قطعه تحت ارتعاش می‌باشد. یک قطعه تعداد بیشماری فرکانس رزونانس (مَد ارتعاشی) دارد که هر یک توسط ترکیبی از خواص ماده و ابعاد آن تعیین می‌شود.



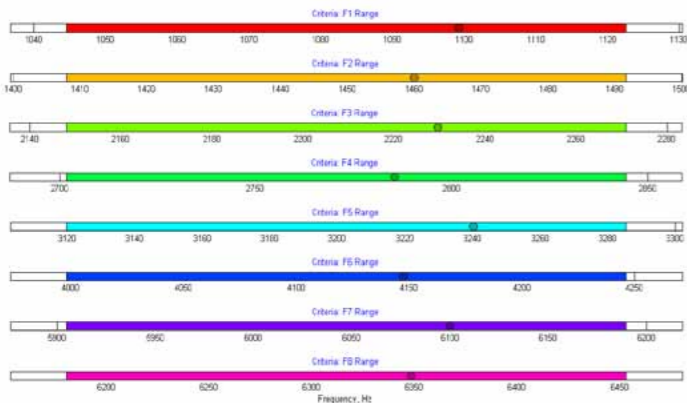
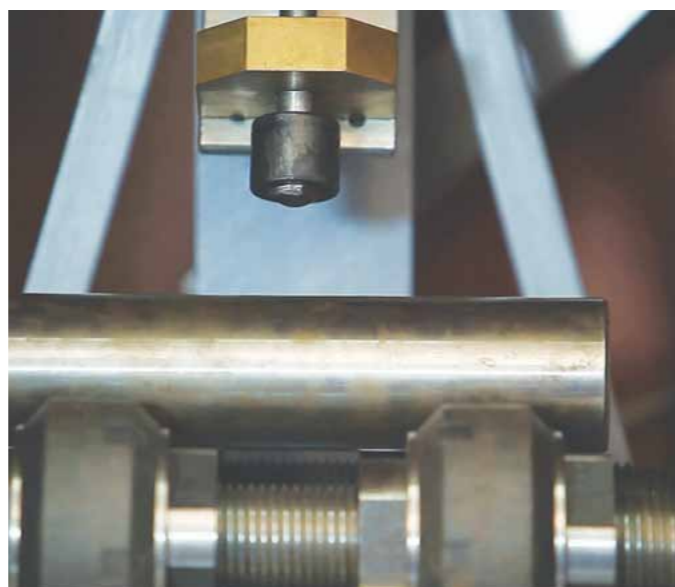




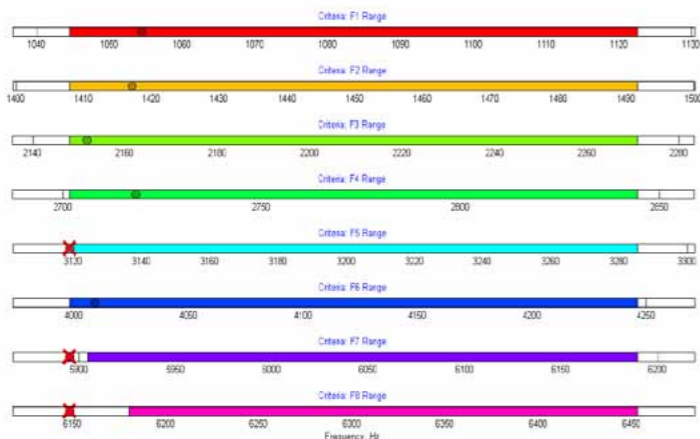
واحد تصمیم‌گیری، شاخص‌های (Criteria) مختلفی را برای جداسازی قطعات کنترل می‌نماید. این شاخص‌ها بازه قابل قبول پارامترهای زیر را چک می‌کنند.

- فرکانس‌های طبیعی ( $F_x$ )
- نسبت یا تفاضل بین دو فرکانس ( $F_x/F_y$  or  $F_x - F_y$ )
- رابطه چند بعدی بین فرکانس‌ها با روش تخمین یک فرکانس
- گروه‌بندی قطعات سالم و معیوب (Classification)
- تجزیه فرکانسی (Frequency Split) برای تشخیص ترک
- خوشه‌بندی قطعات سالم برای جبران‌سازی تغییرات پروسه تولید (Clustering)

قطعات سالم و انواع قطعات معیوب را به دستگاه معرفی می‌نماییم. معمولاً تعداد ۱۰۰ الی ۵۰۰ قطعه سالم از شیفت‌های مختلف تولید برای تهیه بانک داده‌ها کافی می‌باشد. در صورت تمایل قطعات معیوب را نیز می‌توان بصورت جداگانه به سیستم معرفی کرد. نرم‌افزار ARI شامل یک واحد تصمیم‌گیری (Decision Module) بر مبنای روش‌های چند متغیره آماری و گروه‌بندی جهت تفکیک قطعات معیوب می‌باشد. قطعات سالم الگوی فرکانسی مشابهی دارند که با الگوی نمونه‌های شاهد هم‌خوانی دارند؛ اما رفتار فرکانسی قطعات معیوب متفاوت می‌باشد. بعنوان مثال، کاهش میزان کرویت (Nodularity) در قطعه باعث کاهش فرکانس‌های طبیعی قطعه شده یا وجود یک ترک علاوه بر شیفت برخی از فرکانس‌ها و افزایش میرایی آنها، باعث تجزیه یک فرکانس به دو فرکانس مجاور هم می‌شود (Frequency Split) و یا چنانچه سختی قطعه تغییر کند؛ فرکانس‌های طبیعی جابجا می‌شوند.



الگوی رفتار فرکانسی یک قطعه سالم در مقایسه با نمونه‌های شاهد.



الگوی رفتار فرکانسی یک قطعه با درصد کرویت پایین در مقایسه با نمونه‌های شاهد.

می‌دهد.

### کاربردهای این دستگاه عبارتند از:

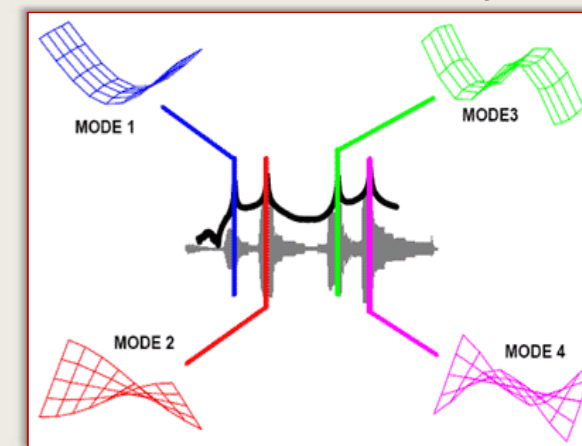
- تست سختی و غیر یکنواختی سختی
- تشخیص میزان کرویت (Nodularity) و اندازه کره‌ها (Nodule Size)
- تست خواص مکانیکی
- تشخیص سرد جوشی
- ترک یابی (در صورتیکه استحکام مکانیکی قطعه کاهش یابد)
- تست ابعاد هندسی
- تنش پسماند

### شرح مختصری از کارکرد سیستم

اصول کار ARI بر مبنای تجزیه و تحلیل فرکانس‌های طبیعی قطعات می‌باشد. هر قطعه فرکانس‌های رزونانس منحصر به فردی همچون اثر انگشت دارد و هرگونه انحراف از الگوی پیش‌بینی شده نشانگر وجود یک عیب می‌باشد. جهت تحریک و به ارتعاش درآوردن قطعه از یک چکش الکترومکانیکی، پنوماتیکی، یا پیزوالکتریکی استفاده می‌شود. سپس ارتعاشات قطعه توسط دو میکروفون صنعتی یا شتاب‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. با بکارگیری روش‌های پیشرفته پردازش سیگنال، فرکانس‌های طبیعی با دقت  $0.2$  Hz و نیز میزان میرایی هر فرکانس محاسبه می‌شوند.

روش تفکیک قطعات در سیستم ARI بصورت نسبی یا مقایسه‌ای می‌باشد که به یک بانک داده‌ها (Database) یا یک سری نمونه‌های شاهد با مشخصات شناخته شده احتیاج دارد. تست رزونانس صوتی یک تست نسبی یا مقایسه‌ای است. فرکانس‌های طبیعی یک قطعه با نمونه‌های شاهد مقایسه می‌شوند. نمونه‌های شاهد (Reference Parts) قطعاتی هستند که از نتایج تست آنها مطلع هستیم. این قطعات برای آموزش به سیستم معرفی می‌شوند. صحت عملکرد سیستم وابسته به ارزیابی دقیق نمونه‌های شاهد می‌باشد. بنابراین ابتدا در مرحله کالیبراسیون یا آموزش دستگاه، نمونه‌های شاهد شامل

مُد‌ها (Modes) از ویژگی‌های ذاتی یک ساختار هستند. مواد تشکیل دهنده یک جسم (که جرم، سختی، چگالی و سایر خصوصیات فیزیکی آن جسم را بوجود می‌آورند) و هندسه یا شرایط مرزی آن، تعداد و اندازه مُد‌ها را تعیین می‌نمایند. هر مُد با یک فرکانس مُدال، یک میرایی مُدال و یک شکل مُد تعریف می‌شود. شکل زیر چهار مد ارتعاشی یک ورق مستطیلی شکل را نشان می‌دهد. شکل مُد یک فرکانس به تنهایی ملموس و قابل مشاهده نیست و در واقع یک مفهوم انتزاعی ریاضی است. نکته مهم این است که جابجایی فیزیکی نقاط در یک ساختار، همواره ترکیبی (Superposition) از همه شکل مُد‌های آن ساختار است.



وجود عیوب ساختاری باعث برهم زدن خواص مکانیکی ماده یا ابعاد آن قطعه شده که این عوامل باعث شیفت فرکانس‌های طبیعی، تغییر میزان میرایی یا اثرات غیر خطی مثل بوجود آمدن فرکانس‌های جدید می‌شود. سیستم ARI با اندازه‌گیری دقیق پارامترهای فوق و تجزیه و تحلیل چند متغیره روابط بین فرکانس‌های طبیعی، بسیاری از عیوب ساختاری یک قطعه را تشخیص