



تشخیص عیوب ارتعاشی یاتاقان‌های دمنده معلق و تعیین مدل آزمایشگاهی دستگاه با استفاده از تابع تبدیل موجک

مهدی کریمی - استادیار، گروه مکانیک، دانشگاه بوعلی سینا- همدان E-mail : karimi_mh@yahoo.com

مسلم زارعی - دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه پیام نور - تهران

چکیده: در این مقاله، ابتدا عیب‌های بوجود آمده در حین عملکرد دستگاه مشخص می‌شود، تا راهکارهایی برای نگهداری، تعمیر و جلوگیری از عیوب و خسارت‌های مخرب دستگاه‌های دوار توسط پایش وضعیت ارائه شود. با استفاده از این راهکارها از طریق مشاهده، نظارت و مراقبت بر ارتعاشات عوامل عیوب را شناسایی و سپس رفع می‌نمایند. در این مقاله عیب یاتاقان‌ها در دستگاه دمنده واقعی که در فاصله‌زمانی زیاد توسط اپراتور و یا کارشناسان مربوطه جمع‌آوری و در آزمایشگاه بررسی شده‌اند، تشخیص آنها با استفاده از سیگنال‌های ارتعاشی و تحلیل تابع موجک ارائه می‌شود. نتایج عیب یاتاقان غلطی بر اساس روش آنالیز ارتعاشات و پایش وضعیت در حالت‌های مختلف نظری، واقعی و آزمایشگاهی ارائه و علاوه بر آنالیز ارتعاش فرکانسی، تحلیل در حوزه تبدیل فوریه (FFT) و در حوزه مقیاس با تبدیل موجک هم بررسی گردیده است. نتایج در حوزه مقیاس با وضوح بیشتر و قابلیت تشخیص آسان‌تری نسبت به روش تحلیل فرکانسی است.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی، آرایه فتوولتائی، ریزش آب، توان نامی آرایه، ارتفاع معادل فشار سامانه پمپ.

Identification Bearings Vibrational Faults in Overhang Rotary Fans and the Model of its Experimental Apparatus Using the Wavy Function

M. Karimi, Department of Mech. Eng., Boali University

M. Zarei, the Faculty of Engineering, Tehran Payam-e-Noor University.

Abstract: In this paper first, we identify the faults created by the operation of apparatus and then we search the procedures for maintenance. By these procedure we could able to identify by recognized the vibration of apparatus. Therefore in this paper, we analysis the data obtained by operators through the long time operation by the vibration signals, using the wavy function. The results obtained by this method are compared with Frequency method.

Keywords: Rotary Overhang fans, Vibration, Faults, and wavy function.

۱- مقدمه

با توجه به نیاز روزافزون صنایع به کاهش توقف ها و بهبود بهره‌وری، راههایی برای تشخیص عیوب (Faultes) و جلوگیری از آنها در دستگاههای دوار توسط پایش وضعیت ارتعاش (Vibration (Condition Monitoring) ارائه می شود، تا از خرابیها و وقفه های ناخواسته کاسته شود. به همین دلایل امروزه دانشگاهها و شرکتهای مختلفی نظارت بر ارتعاشات را آموزش و تحلیل می نمایند. ابتدا مروری بر تحقیقات انجام شده صورت می گیرد و سپس روش مورد استفاده در این تحقیق شرح داده می شود:

عموماً تبدیل مستقیم نور به نیروی برق، پدیده فتوولتائیک نامیده می شود و در داخل سلولهای جامد نیمه‌رسانا که خاصیت ایجاد جریان الکتریکی در اثر تابش نور می باشند، صورت می پذیرد. این سلولها از موادی بر پایه سیلیکون، کادمیم و یا مواد مشابه دیگر ساخته می شوند. علت استفاده از سیلیکون، خواص فیزیکی مناسب آن برای این تبدیل می باشد. با قراردادن سلولهای خورشیدی به صورت سری یا موازی در کنار هم یک مدول (Module) یا پانل خورشیدی ایجاد می شود و چندین مدول با هم، یک آرایه (Array) را تشکیل می دهند. از مزایای سامانه های فتوولتائیک نسبت به روش های رایج، می توان به موارد زیر اشاره نمود:

Roylance [۱] توانست مکانیزم شکست را در یاتاقانها با توجه به ردیابی عیوب و روشهای آنالیز آنها بکار ببرد. البته آنالیز ارتعاشات نیازمند دستگاههای تجاری (Vibro Test) گران قیمت است.

Spectra Qust [۲] در سال ۱۹۹۸ شبیه ساز عیب یابی را ارائه داد، که طیف وسیعی از عیوب را شبیه سازی و نمایش می

داد. اما بعلا پیچیدگی، زمان بر بودن و وجود پوشهای سیگنالهای ناخواسته نیاز به تخصص زیاد فرد خبره در زمینه آنالیز سیگنال داشت.

Karimi, m [۳] در تحقیقی وسیع بسیاری از عیب های بیرینگها را در حوزه فرکانس تحلیل ارتعاشی انجام دادند.

در این مقاله نویسندگان با بررسی و تحقیق افراد خبره عیب ها را معلوم نمودند و با استفاده از دستگاه آزمایشگاهی، عیوب یاتاقان ها را در دستگاه دمنده شبیه سازی و سیگنال های ارتعاشی را اخذ نمودند. نتایج آن عیوب را با نتایج تحلیل تئوری ارتعاش یاتاقان و نتایج بدست آمده از عیب های واقعی یاتاقان ها در آرشیو کارخانه سیمان ایلام مقایسه نمودند. در نهایت با استفاده از جعبه ابزار تابع موجک در نرم افزار مطلب (Matlab) با تحلیل داده ها در حوزه زمان و فرکانس [۳] به نتایج جالبی رسیدند. مقایسه ارتعاشات یاتاقانهای سالم و معیوب با هم، نتایج مورد نظر را با توجه به تئوریهای تحلیل ارتعاشات دستگاههای دوار را اثبات می نمایند. در این تحقیق، رویکرد اصلی بر اساس روشهای تئوری و واقعی آنالیز ارتعاشی فرکانسی و داده های آزمایشگاهی در تابع موجک است. در برنامه های بعدی با توجه به این نتایج با ایجاد ترک در پره های دمنده و دیگر عیوب و اثر ترکیب آنها پرداخته می شود، تا با استفاده از شبکه های عصبی به تشخیص و طبقه بندی آنها پرداخت.

۲- دستگاه آزمایشی

این دستگاه آزمایشگاهی (Test Rig) شامل a- یاتاقانهای غلطشی، b- پروانه و c- شفت می باشد، که با نمونه برداری از سیگنالهای ارتعاشی قطعات در وضعیت های سالم و معیوب در دور شفت RPM 1000 موجک زمانی متناظر با عیوب مربوطه

Nb : تعداد ساچمه ها

S : سرعت شفت [RPM]

θ : زاویه تماس

BPF_i : فرکانس گذر ساچمه ها از رینگ داخلی [Hz یا

[RPM]

BPF_o : فرکانس گذر ساچمه ها از رینگ خارجی [Hz یا

[RPM]

FTF : فرکانس قفسه [RPM یا Hz]

BSF : فرکانس چرخش ساچمه [RPM یا Hz]

F : فرکانس در حالتی است که هردو رینگ داخلی و خارجی

معیوب باشند. [RPM یا Hz]

$$\theta = 0$$

$$BPF_i = 15600 \text{ RPM} = 260 \text{ Hz}$$

نتایج مقایسه بین فرکانسها تئوری با مقادیر فرکانسها آزمایشگاهی برای بیرینگ SKF در شکل (۲A)، جدول (۱) و نتایج مقایسه بین فرکانسها تئوری با مقادیر فرکانسها واقعی برای دمنده واقعی که با سرعت شفت 750 RPM با اشکال و ایجاد ترک در بیرینگ یاتاقان روبرو شده بود (بعد از باز کردن یاتاقان رینگ دارای ترک بود)، در شکل (۲B) و جدول (۲) نشان داده شده است. (آرشیو کارخانه سیمان ایلام).

با توجه به نتایج جداول (۱) و (۲) مقادیر پیش بینی شده تئوری با داده های فرکانس آزمایشگاهی و داده های فرکانس واقعی تقریبا مشابه اند، و اختلاف ناچیز مقادیر دامنه فرکانس بعلت وجود بار محوری روی یاتاقان در دستگاه واقعی است، و این کاملا قابل پیش بینی است.

بدست می آید. در شکل (۱) این دستگاه آزمایشگاهی و اجزا آن نشان داده شده است.

برای داده برداری ارتعاشی در آزمایشگاه بر روی دستگاه ساخته شده نمونه از شتاب سنج (Accelerometer) پیزوالکتریک (Piezoelectric) مدل ۴۵۱۹ -۰۰۳ شامل کانکتور (Connector) و همچنین کارت A/D استفاده شده و در محیط کارخانه از دستگاه (Easy Viber) برای داده برداری از دمنده واقعی استفاده می شود. در دستگاه آزمایشگاهی از یک بیرینگ SKF با قطر خارجی ۳۲ mm و قطر داخلی ۱۰ mm با تعداد ۱۲ عدد ساچمه که روی شفتی با سرعت ۱۰۰۰ RPM محکم شده اند، استفاده می شود. برای ایجاد عیوب با استفاده از روش برش سیمی (Wire Cutting)، ۱۱ mm از رینگ داخلی بیرینگ برداشته می شود تا بررسی عیوب در یاتاقانها صورت گیرد.

با توجه به معادلات فرکانس در بیرینگ یاتاقانها در مرجع [۴] در حالتی که رینگ بیرونی ثابت و رینگ داخلی با سرعت شفت بچرخد، معادلات فرکانسی به صورت ذیل می باشند:

$$BPF_i = \frac{Nb}{2} \left(1 + \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right) s \quad (۱)$$

$$BPF_o = \frac{Nb}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right) s \quad (۲)$$

$$FTF = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right) s \quad (۳)$$

$$BSF = \frac{Pd}{2Bd} \left[\left(1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \theta\right)^2 \right] s \quad (۴)$$

$$f = s - (BPF_i + BPF_o) / s \quad (۵)$$

که در آن

Bd : قطر ساچمه [mm]

Pd : قطر دایره گام یاتاقان [mm]

۳- تابع تبدیل موجک (Wavelet)

اگر یک موج سینوسی اصلی با دامنه تغییرات محدود به طوری که متوسط تغییرات آن صفر باشد، وجود داشته باشد. آنگاه سیگنال اولیه را به مجموعه ای از سیگنال های سینوسی با فرکانسهای مختلف تبدیل می نمایند، تا خواص سیگنال را در یک دوره زمانی خاص نشان داده شود. با معلوم شدن آنها درک خواص سیگنال واضحتر و قابل فهم تر خواهد شد.

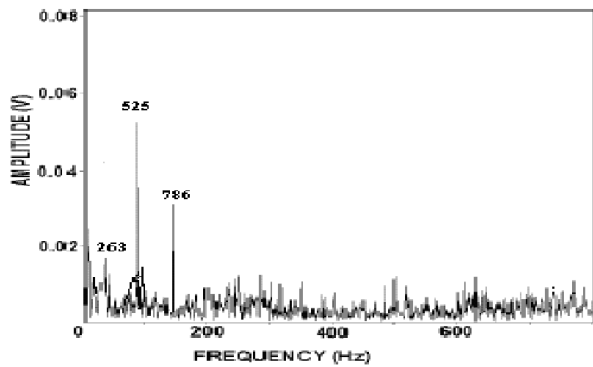
در این مقاله داده های ارتعاشی یاتاقانها در دو حالت سالم و معیوب برداشت می شود و با جعبه ابزار موجک در نرم افزار مطلب به جداسازی و تقسیم زیر موجک ها اقدام می گردد تا خواص مهم و متفاوت آنها جدا شود. خیلی از این خواص در برنامه های آینده با هوش مصنوعی طبقه بندی و پردازش می گردند.

در شکل (۳) طیف یاتاقان سالم را در حوزه زمان و فرکانس پس از برداشت، قسمت بالای آن سیگنال اصلی در محدوده زمان است و قسمت پایین اسپکتروم FFT می باشد که کاملاً تحلیل شده اند. شکل (۴) با استفاده از تابع موجک، طیف یاتاقان سالم در حوزه زمان و مقیاس (Scale) را نشان می دهد. و مشخصه بارز آن نظم و یکنواختی در طیف می باشد (به صورت فلش زرد رنگ)، و نشان دهنده عدم عیب در یاتاقان است. در شکل (۵) طیف یاتاقان معیوب در دستگاه آزمایشگاهی در حوزه زمان و فرکانس را به صورت کامل تحلیل می نماید. که علاوه بر تحلیل، طیف اصلی به ده نمودار زیر شاخه ای و فرعی در محدوده فرکانس پیش بینی شده، تجزیه می شود (البته دلیل عدم تجزیه طیف سالم نیاز نبودن به تحلیل است). که هر کدام از طیف های a_4 تا a_6 و d_3 ، d_5 و d_6 بیشترین مشخصه عیب را دارند و در تشخیص با هوش مصنوعی کاربرد دارند. در قسمت cfs

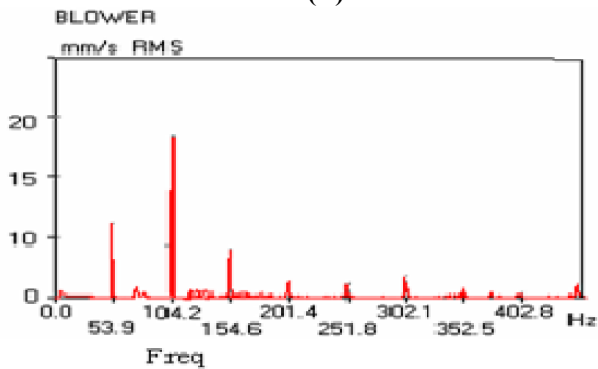
طیف در حوزه زمان و مقیاس نمایش داده می شود. در قسمت بیضی شکل های (۴) و (۵) اختلاف بین طیف بسیار واضح است که از وجود عیب حکایت دارد. در شکل (۶) با استفاده از موجک طیف یاتاقان معیوب در حوزه زمان و مقیاس بیان می گردد، و تغییرات به صورت نامنظم و نقاط و محدوده غیر یکنواخت و آشفته وجود دارد که هیستوگرام به صورت کامل با هم تداخل دارد. مشخص است که بعلاوه ایجاد یک عیب در رینگ بیرینگ نمودار ارتعاشی به صورت متناوب تکرار می شود، و همچنین طیف زمان - مقیاس دارای اختلاف با طیف سالم در شکل (۴) است.

۴- نتیجه گیری

نتایج آزمایشها در دهها تست انجام گرفته و نمونه های بالا نشان دهنده وجود تحلیل راحت، سریعتر، واضح و قابل فهم تر بودن تحلیل تابع موجک نسبت به تبدیل فوریه (Fast Fourier Transform) می باشد. زیرا نمودارها علاوه بر حوزه فرکانس در حوزه مقیاس هم قابل دسترسی است. ممکن است تعدادی از عیوب در نمودار فرکانس خود را نشان ندهند، ولی در تابع موجک هر دوی نمودارها وجود دارند. و تجزیه زیر شاخه های نمودار اصلی کار را برای تحلیل آسان تر می کند. زیرا تعداد پارامترهای تشخیصی دارای عیب غالب محدود و نمایان تر می شوند و تداخلهای صورت گرفته باعث می شوند تا صرفاً "نشانه های عیوب به صورت کلاسیک مشخص نشوند، پس با تجزیه موجک ها نشانه ها جداسازی و تشخیص از روش کلاسیک FFT بهتر می گردد. مخصوصاً اگر این عیوب بخاطر ایجاد ترک، اشکالات آیرودینامیکی، چند عیبی با هم وجود داشته باشد بررسی FFT سخت تر و با اشکال مواجه می شود. در شکل (۷) رینگ بیرینگ دستگاه دمنده واقعی نشان داده شده است. بیرینگ دارای ترک در رینگ خود شده که علایم آن به خوبی در طیف های موجک شکل (۶) نمایان است.



(A)



(B)

شکل (۲): (A) طیف فرکانس یاتاقان معیوب در آزمایشگاه در RPM 1000 و (B) طیف فرکانس یاتاقان معیوب واقعی در RPM 750

جدول (۱): اندازه و مقایسه مقادیر نظری و آزمایشگاهی فرکانس‌ها

در RPM 1000

فرکانس نظری	فرکانس آزمایشگاهی	BPFI
۲۶۰	۲۶۳	۱
۵۰۰	۵۲۸	۲
۷۸۰	۷۸۶	۳

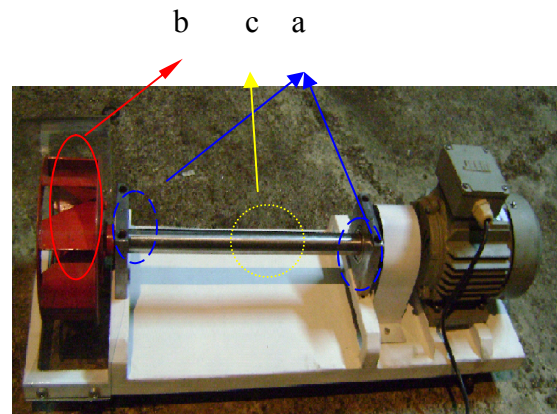
جدول (۲): اندازه و مقایسه مقادیر نظری و آزمایشگاهی فرکانس

ها در RPM 750

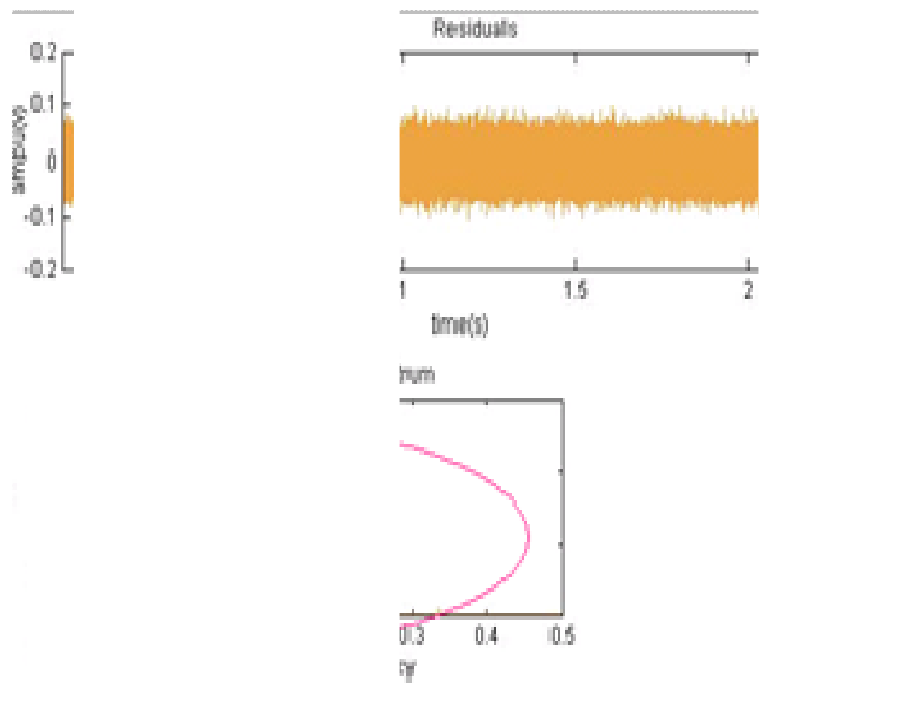
فرکانس نظری	فرکانس آزمایشگاهی	BPFI
۵۱	۵۲.۹	۱
۱۰۲	۱۰۴.۲	۲
۱۵۳	۱۵۴.۶	۳

۴- مراجع

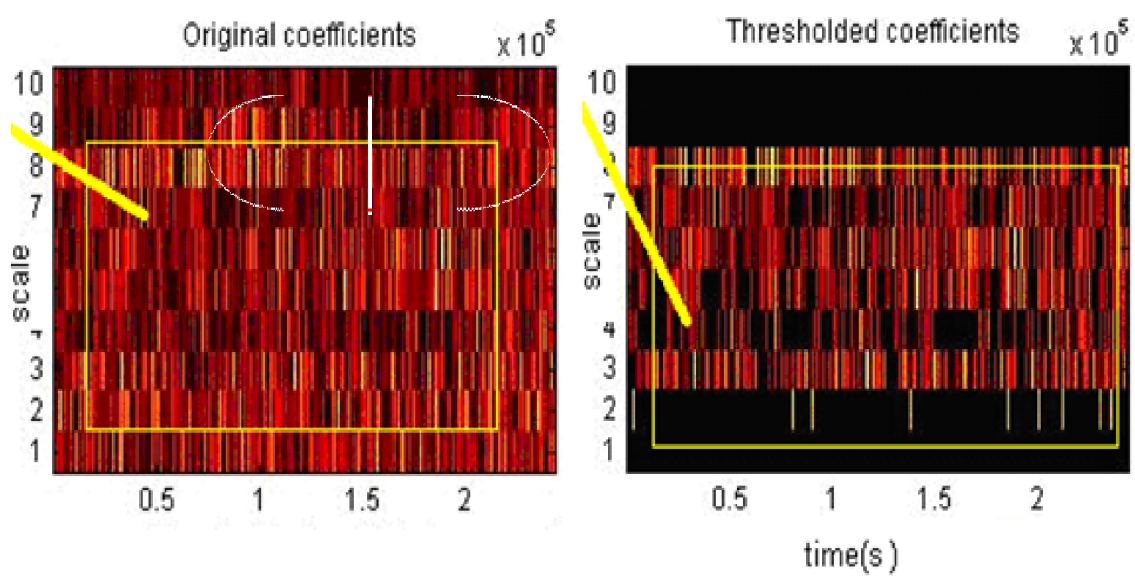
- [۱] S زارعی، مسلم، پایش وضعیت ارتعاشات دمنده سانتریفیوژ با شبکه های عصبی و مقایسه نتایج با تبدیل موجک، کارشناسی ارشد، آزاد اسلامی، تاکستان، ۱۹۴، ۱۳۸۸.
- [2] Roylance, B.j., "Laboratories at work: Tribology and Condition Monitoring ", University of Wales, Swansea, Tribotest 1,2 Dec pp 171-186,(1994).
- [3] Spectra Quest Incop, "Spectra Quest Machinery Fault simulator", Virginia, USA, (1998).
- [4] Krimi, M, "Rolling Element Bearing Fault Diagnostics Using the Blid Deconvolution Teechnique", Queensland University, Australia, (2006).
- [5] Clarence W. de Silva, "Vibration : fundamentals and practice" , CRC Press LLC Florida, USA,(2000).
- [6] Matlab: "Wavelet Toolbox User's Guide, The Math Works", Inc., Michel Misiti, (2000).



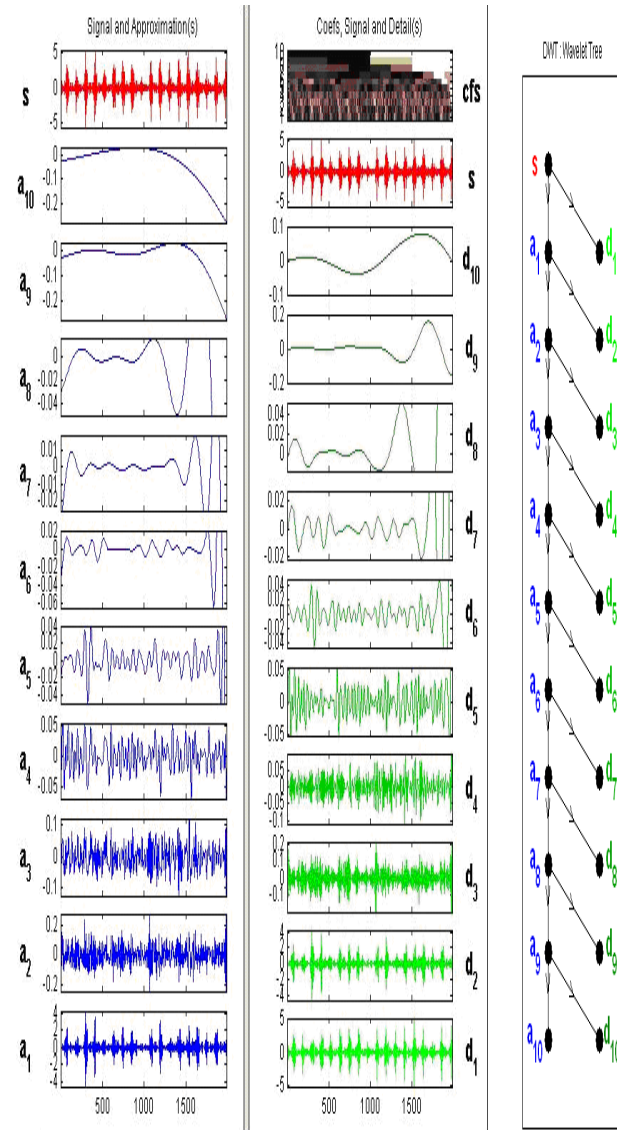
شکل (۱): نمایشی از دستگاه آزمایشگاهی



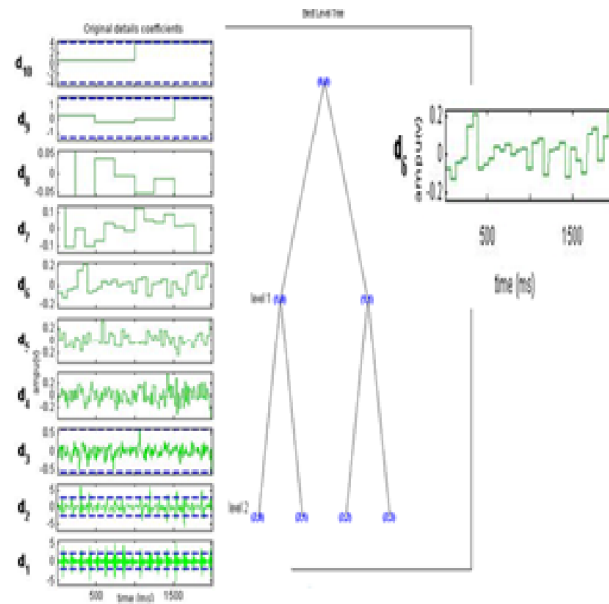
شکل (۳): طیف یاتاقان سالم را در حوزه زمان و فرکانس



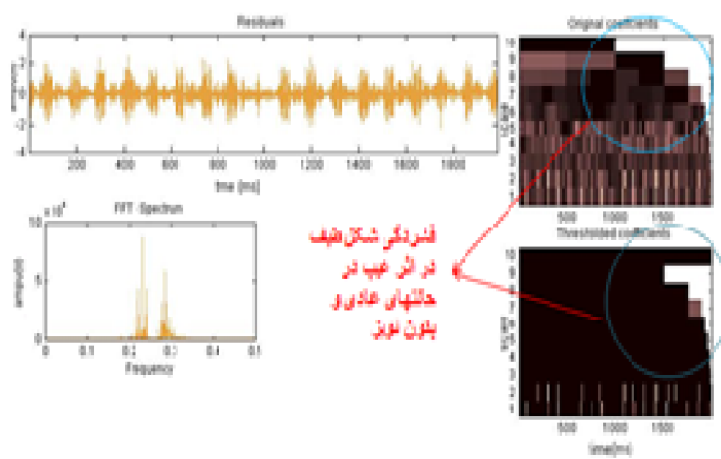
شکل (۴): طیف یاتاقان سالم را در حوزه زمان و مقیاس



شکل (۵) طیف یاتاقان معیوب در دستگاہ آزمایشگاهی را در حوزه زمان - مقیاس



شکل (۶) طیف یاتاقان معیوب در دستگاه آزمایشگاهی را در حوزه زمان - مقیاس



شکل (۷) تحلیل موجک طیف یاتاقان معیوب را در حوزه زمان و مقیاس



شکل (۸) ایجاد ترک در رینگ بیرینگ دمنده واقع