

# Çimento Sektöründe Kestirimci Bakımla Arıza Teşhisi ve Önlenmesi

Güngör Aydın <sup>1</sup>

Cemal Meran <sup>\*2</sup>

## ÖZ

Çimento esas olarak; doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanmaktadır. Hali hazırda faaliyet gösteren ileri teknoloji çimento fabrikalarının temeli olan ilk çimento fabrikası 1848 yılında İngiltere’de, ülkemiz de ise 1912 yılında Darıca’da kurulmuştur. Günümüzün modern endüstri yapısı yüksek verimli makine ve bu makinelerden oluşan tesisleri gerektirmektedir. Çimento Fabrikalarında; sürekli malzeme akış prensibi, yüksek enerji ihtiyacı ve müşteri odaklı üretim planlanması ile beklenmedik arızaların büyük maddi kayıplara yol açacağından dolayı ileri düzey bakım teknikleri uygulanmaktadır. Modern Bakım tekniklerinden biri olan Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance-PdM) “Ekipmanların fiziksel parametrelerinin (titreşim, sıcaklık, amper, basınç vb.) trendlerinin ölçülmesi, belirlenen limitler ile karşılaştırılması, çıkan sonuçların yorumlanması sonucunda tespit edilen sorunların en az maliyet ve bir plan dâhilinde gerçekleştirilmesi şeklindeki çalışmaların tümüdür. Bu çalışmaların başarıya ulaşması için; teknolojik ölçüm ve analiz ekipmanlarının yanı sıra bu konuda eğitim almış tecrübeli bir teknik ekibe ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada; çimento fabrikalarında uygulanan kestirimci bakım yöntemleri, kullanılan cihazlar ve saha uygulama örnekleri sunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kestirimci bakım, çimento, bakım, titreşim, bakım yöntemleri, analiz

## The Predictive Maintenance Applications for Troubleshooting in Cement Industry

### ABSTRACT

“Cement” is basically defined as a glue acting like hydraulic binder which as the one of the commonly used building material. The cement is that being manufactured by combination of natural limestone clay, iron ore and other minor ingredients. Thanks to core characteristic properties and easily accessible, it can be used in many different application to bear heavy loads and environmental affects. The basis of high technology modern cement plant was founded around in 1840 in the World and in 1912 in Turkey. The modern cement plants should be equipped with high technology and efficient machines and their process. The advanced maintenance techniques are widely used in Cement Industry in order to optimize overall plant effectiveness with all other related Key Performance Indicators. The cement industries are that having continuous material flow, intense energy demand and customer-oriented production management therefore unexpected breakdown could give rise to substantial financial and production loss. The predictive maintenance is a part of modern maintenance management system that scheduled monitoring and collecting of physical parameters of the equipment as vibration-temperature-ampere-pressure etc., comparing with standardized limits, based on determining results even schedule maintenance activities just in-time or an as-needed basis and with optimum cost. There should be high qualified technical staffs along with tools to execute predictive maintenance program to accomplish define Key Performance Indicators. The analyses the philosophy of predictive maintenance approach, basic information of usable predictive maintenance techniques, and their on-site applications are presented in this article.

**Keywords:** Predictive, maintenance, cement, vibration, oil analysis, thermography, ultrasonic

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 07.11.2017

Kabul/Accepted : 13.04.2018

<sup>1</sup> OYAK Denizli Çimento, Bakım Planlama Şefi, Denizli, gungor.aydin@denizlicimento.com.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Denizli, cmeran@pau.edu.tr

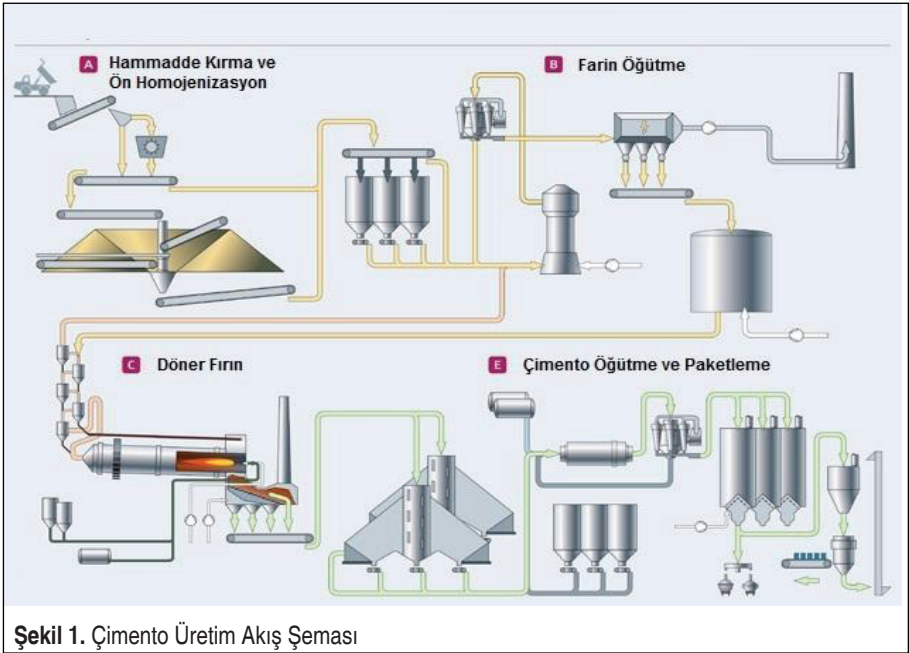


## 1. GİRİŞ

“Çimento” kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince “cementum” sözcüğünden türemiş, sonraları “bağlayıcı” anlamında kullanılmaya başlamıştır [1,2]. Çimento, esas olarak, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı malzeme olarak tanımlanır [3]. Hidrolik bağlayıcı maddeler, su ile reaksiyonu sonucu sert bir kütle oluşturduktan sonra su içerisinde dağılmayan, sertliğini ve mukavemetini muhafaza eden veya artıran bağlayıcı maddelerdir.

Çimento; kalker, kil, demir cevheri, marn gibi hammaddeler belirli oranlarda karıştırılmakta ve kademeli olarak fiziksel ile kimyasal proseslerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilmektedir. Çimento üretim aşamaları Şekil 1’de şematik olarak verilmiştir.

Dünya’da ilk çimento fabrikası, İngiltere’de 1848 yılında kurulmuştur [2]. Türkiye’de ise; Şu an OYAK Çimento bünyesindeki Aslan Çimento 1912 yılında faaliyete geçmiştir. İlk üretim teknolojisi olan yaş sistem (wet process) yüksek enerji ihtiyacı, düşük üretim kapasiteleri ve buna bağlı yüksek üretim maliyetlerinden dolayı yıllar içerisinde yerini modern kuru sisteme (dry process) bırakmıştır. Yaşanan kademeli Sanaayi Devrimleri ve en son olarak da Endüstri 4.0 ile birlikte günümüz modern üretim



teknolojisi ile çimento üretimi yapılmaktadır. Enerji yoğun bir proses olan çimento üretiminde, ana yakıt olarak yerli/ithal linyit, yerli taşkömürü, petrokok ve son yıllarda kullanımı artmakta olan alternatif yakıtlar kullanılmaktadır.

Çimento üretim fabrikalarında beklenmedik arızalar çok büyük maddi kayıplara yol açabilmektedir. Bu sebeple özellikle fırın ve değirmenler başta olmak üzere kritik elemanlara kestirimci bakım uygulanmaktadır. Kestirimci bakım yöntemlerinden vibrasyon, ultrasonik, termal, yağ analizlerinden bir veya birkaçı ekipmanın özelliğine göre kullanılabilir [4-7]. Son zamanlarda elektrik motoru akım verilerinin de kestirimci bakımda kullanılmaya başlandığı görülmektedir [8].

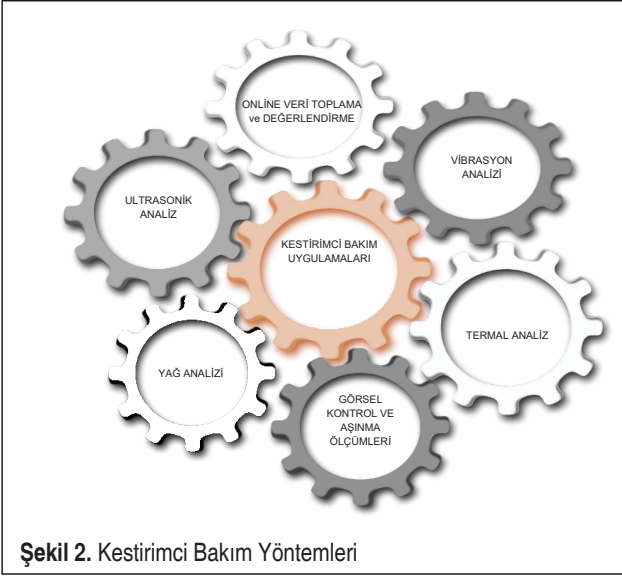
## 2. ÇİMENTO FABRİKALARINDA KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance - PdM) için yapılan birçok farklı tanımlama bulunmaktadır. En genel anlamı ile; işletme’de bulunan ekipmanların mekanik/elektrik kondisyonlarının, operasyonel verimliliklerinin, proses çalışma verilerinin ve diğer bağlı fiziksel parametrelerin düzenli aralıklar ile izlenerek, bakım maliyetlerinin en aza indirmek ve bakımın en uygun zamanda yapılması ile arızalar arası sürenin (MTBF-Mean Time Between Failures) artırılması olarak tanımlanabilir.

Kestirimci bakım uygulamalarının altyapılarının kurulması ve disiplinli bir şekilde uygulanması ile sürekli akış prensibine göre çalışan çimento üretim prosesinde aşağıdaki faydaları sağlamaktadır.

- ✓ Arızaların azaltılması ile ekipmanların üretime her daim hazır halde tutulması,
- ✓ Arızalar arası sürenin artırılması ile ekipmanların güvenilirlik seviyesinin artırılması,
- ✓ Ekipmanların toplam verimliliğinin artırılması,
- ✓ En doğru parça değişim zamanının kestirilmesi ile bakım maliyetlerinin azaltılması ve yedek parça optimizasyonlarının yapılması,
- ✓ Teknolojik cihazlar ile toplanan verilere göre bakım planlaması yapılması ile işgücünün en verimli şekilde kullanılması,
- ✓ Arıza esnasında artan ISG risklerinin ortadan kaldırılması,
- ✓ Üretim ve satış planlarının aksatılmaması ile müşteri memnuniyetinin artırılması,

Fabrikaların kritik ekipmanlarının anlık çalışma koşullarını tespit etmek, değerlendirmek ve bir plan dahilinde bakımlarının yapılmasını sağlayabilmek için vibrasyon analizi, ultrasonik analiz, yağ analizi, termal analiz, online veri toplama ve değer-



**Şekil 2.** Kestirimci Bakım Yöntemleri

lendirme ve görsel kontroller günümüzde yaygın şekilde kullanılan kestirimci bakım yöntemleridir [Şekil 2]

Yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte bu yöntemlerde kullanılan izleme, ölçme ve ekipmanların gelecek senaryolarının yapılabileceği bir çok ekipman/program bir çok yerli/yabancı firma tarafından üretilmekte ve yatırım maliyetlerini çok kısa sürelerde amorti edebilmektedirler.

Kestirimci bakım basit bir bakım yönteminden ziyade bir bakım felsefesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmaların ve değerlendirmelerin bakım planlarına dönüşmesi, uygulamaya konulması ve maliyet geri dönüşlerinin oluşmaya başlaması tüm teknik birimlerin katkı sağlaması gereken bir olgudur. Kestirimci bakım kendi başına uygulanmaktan ziyade başarılı bir bakım yönetiminin elementlerinden bir tanesi olarak görülmesi gerekmektedir.

Günümüzde modern bir çimento fabrikasında, düşük/yüksek kapasiteli radyal fanlar, düşük-orta-yüksek gerilim ile çalışan elektrik motorları, çok kademeli redüktörler, basınçlı hava kompresörleri, blower kompresörler pompalar, malzeme transport ekipmanları, öğütme ve pişirme devrelerinde bulunan özel makineler bulunmakta ve bu ekipmanlar yüksek kurulum ve işletme maliyetlerinden dolayı faydalı ömürlerinin sonuna kadar kullanılma zorunluluğu olmaktadır. Bir ekipmanın faydalı ömrünün artırılmasının en iyi yöntemlerinden bir tanesi daha büyük arızalara yol açmadan tespit edilen arıza başlangıçlarının pro-aktif yaklaşım ile giderilmesi ve arızaya yol açan

kök sebeplerin bertaraf edilmesidir. Kullanılan yöntemlerin biri veya çoklu kombinasyonu; çoğu durumda kök sebep analizinde tek başına yeterli olmamakta bu sebep ile proses parametrelerinin de göz önünde bulundurulduğu bir geniş yelpazeli değerlendirmenin daha kesin sonuçlar verdiği bilinmektedir.

### 3. ÇİMENTO FABRİKALARINDA KESTİRİMCİ BAKIMLA TESPİT EDİLEN ARIZA UYGULAMALARI

#### 3.1 Vibrasyon Analizi ile Hasar Tespiti

Döner Fırın-1 Bacağazı Fanı, fabrikanın en kritik ekipmanlardan biri olmasından dolayı vibrasyon ölçümleri ve analizi Mobil ölçüm cihazı ile haftalık periyotlarda yapılmaktadır. Aşağıdaki tablo da görüleceği üzere 02.06.2017 tarihindeki periyodik ölçüm esnasında baca gazı fanı rulman ölçüm trendlerinde değişim olduğu ve fanın motor tarafı yatağındaki spektrum ölçümlerinde rulman dış bilezik arıza frekansında pik ve harmoniklerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Demod grafikleri incelendiğinde; rulman dış bileziğinde hasarlanmanın kesin olarak başladığı net olarak grafikte görülmektedir. Vibrasyon trendleri incelendikten sonra arıza gelişimi yakın takibe alındı.

Bacağazı fanının vibrasyon değerlerinin RMS trendi aşağıdadır.

Ölçüm Tarihi D	Motor Arka			Motor Ön			Fan Tahrik Yatak			Fan Serbest Yatak		
	Y	E	D	Y	E	D	Y	E	D	Y	E	
16.05.2017	0,66	0,69	0,81	1,22	1,04	1,42	1,99	3,23	3,49	1,69	2,55	
02.06.2017	1,23	0,85	1,27	0,94	0,90	3,00	3,74	5,06	6,49	2,41	3,21	
09.06.2017	0,73	0,68	0,89	1,33	0,75	1,20	2,84	2,89	6,15	1,41	1,70	
14.06.2017	0,81	0,73	1,55	1,18	0,72	1,26	2,33	3,15	7,91	1,39	1,77	
20.06.2017	1,06	0,78	1,73	1,19	0,68	2,08	5,29	5,21	8,72	2,71	3,22	
25.06.2017	0,97	0,72	1,71	1,20	0,78	2,39	4,00	3,30	7,01	2,54	2,93	
02.08.2017	0,45	0,56	0,65	0,44	0,63	0,90	1,04	2,00	0,91	1,13	2,09	

D= Dikey Y=Yatay E=Eksenel Vibrasyon değerleri mm/s'dir

Sistem; planlı fırın duruşuna kadar yakın takip altına alınmıştır. Bu kontrollü çalışma boyunca günlük ölçüm alınarak hasarın ilerleme süreci takip edilmiştir. Fırın planlı duruşa alınarak fan bakımına başlanmış ve fanın rulmanı sökülerek değiştirilmiştir.

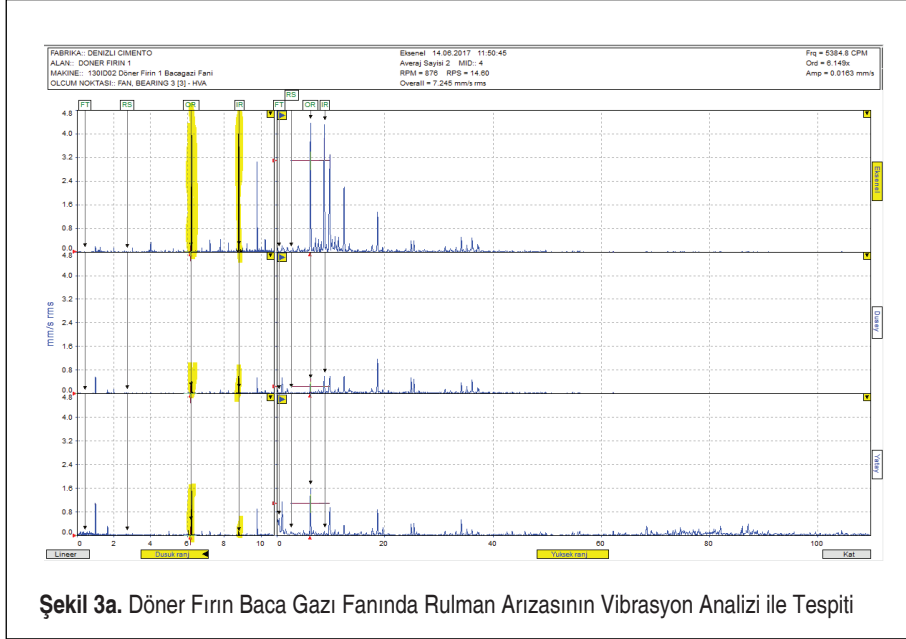
Fan rulmanındaki arızanın kök analizi yapıldığında; rulman yaklaşık 119.000 saat çalıştığı için hasarlanma sebebinin malzeme yorulmasına bağlı rulman iç ve dış bileziğinde pittings oluşması olduğu tespit edilmiştir.

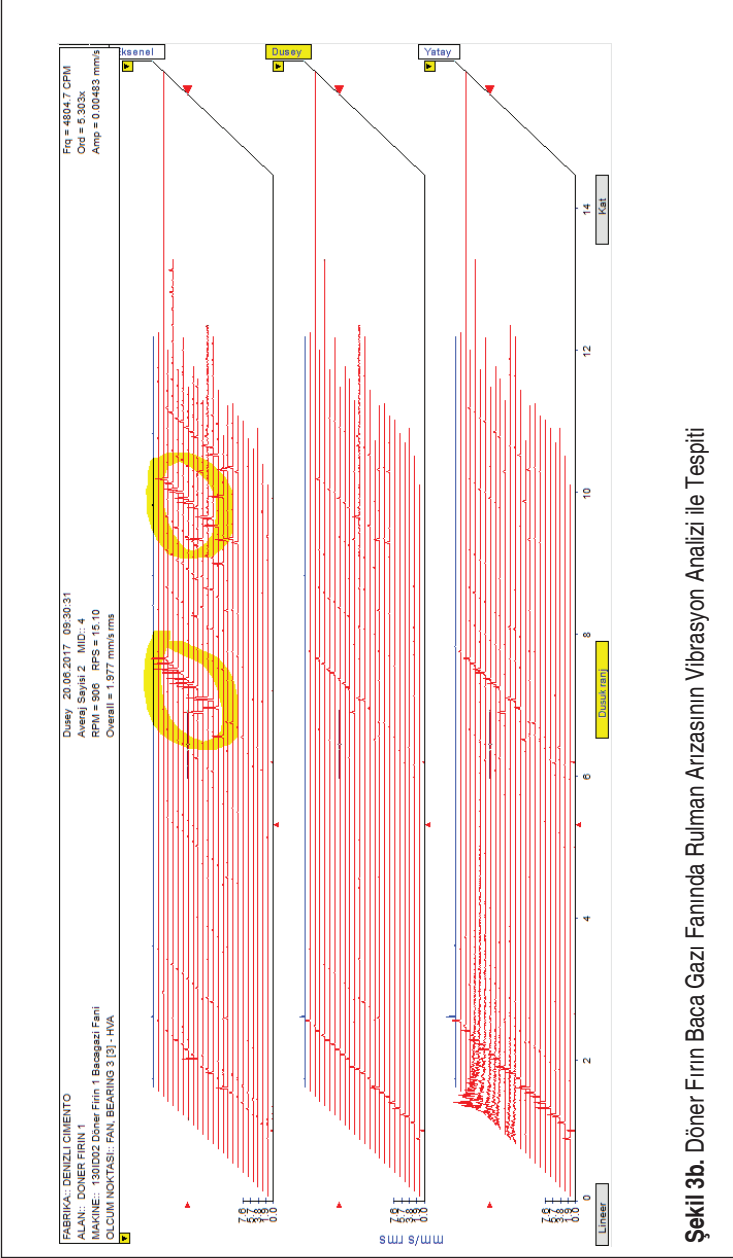


Fan Tipi	: Geriye eğimli kanatlı fan
Fan Gücü	: 2250 kW
Çalışma Devri	: 990 min-1 (frekans konvertörlü)
Fanın rulmanı	: 22334 CC/W33

Fanın rulmanına ait ölçü ve arıza frekans bilgileri ile rulmanın de montajından sonraki arıza durumunu gösterir fotoğraflar Şekil 3'te verilmiştir. Vibrasyon ölçümü ile;

- Rulman arızaları
- Mekanik çözülme ve zemin gevşekliliği
- Dönen ekipmanlarda balans problemleri
- Ekipmanlarda aksel ayarsızlık
- Elektrik motorlarında bazı elektriksel arızalar
- Pompa/fan/kompresörlerde akış dengesizlikleri erken tespit edilebilmekte ve arıza öncesi bakım planlamasına yardımcı olmaktadır.

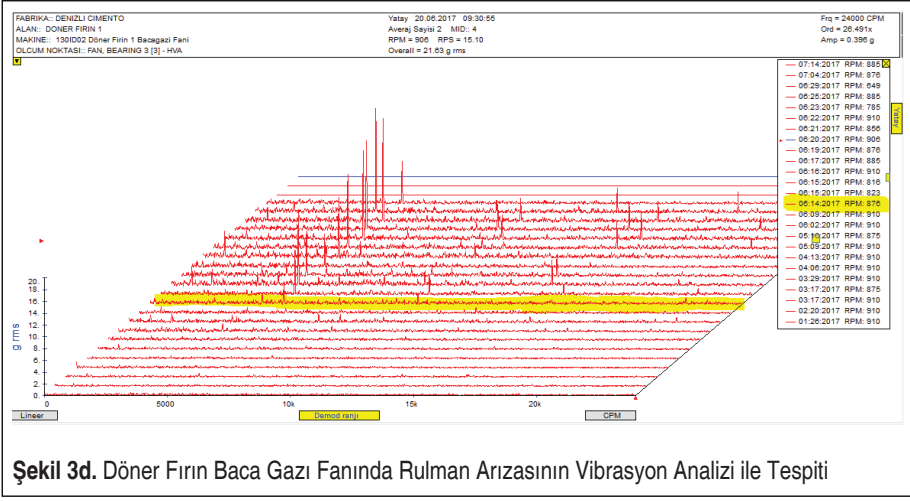




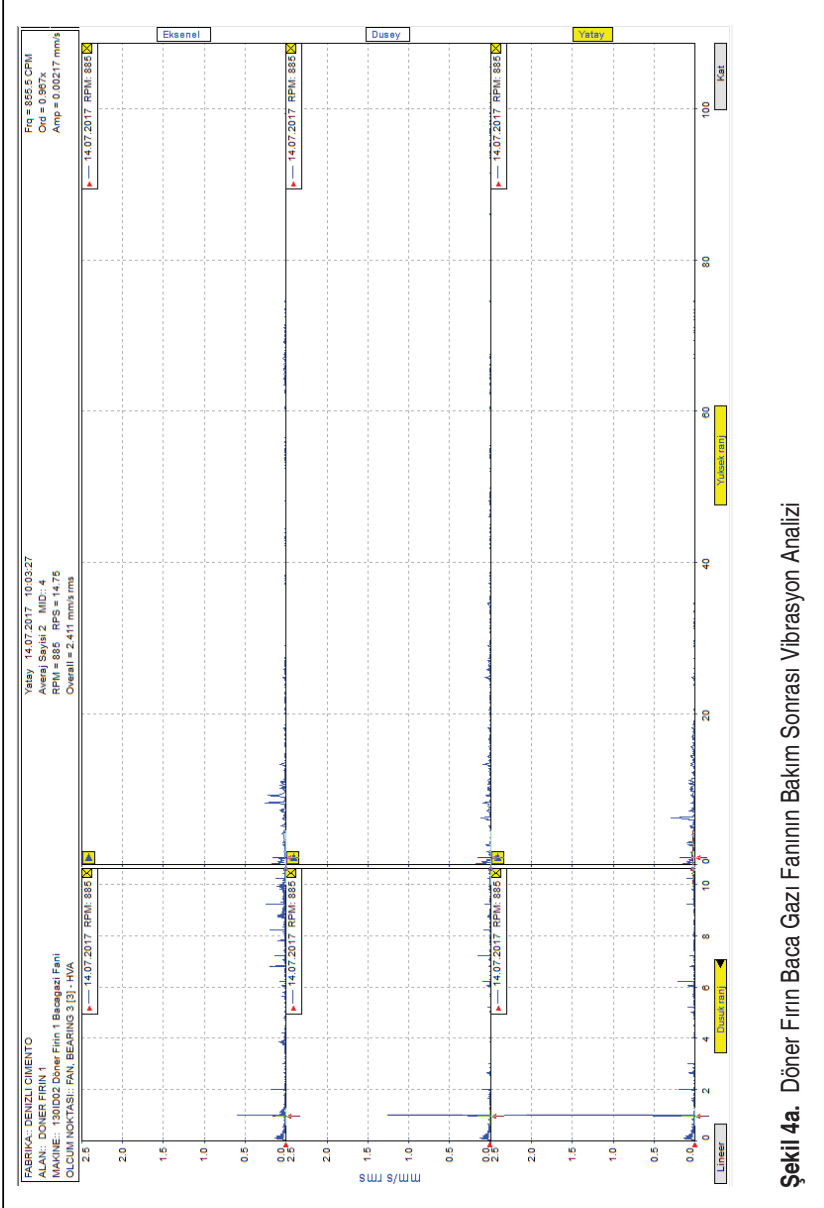
Şekil 3b. Döner Fırın Baca Gazı Fanında Rulman Arızasının Vibrasyon Analizi ile Tespiti





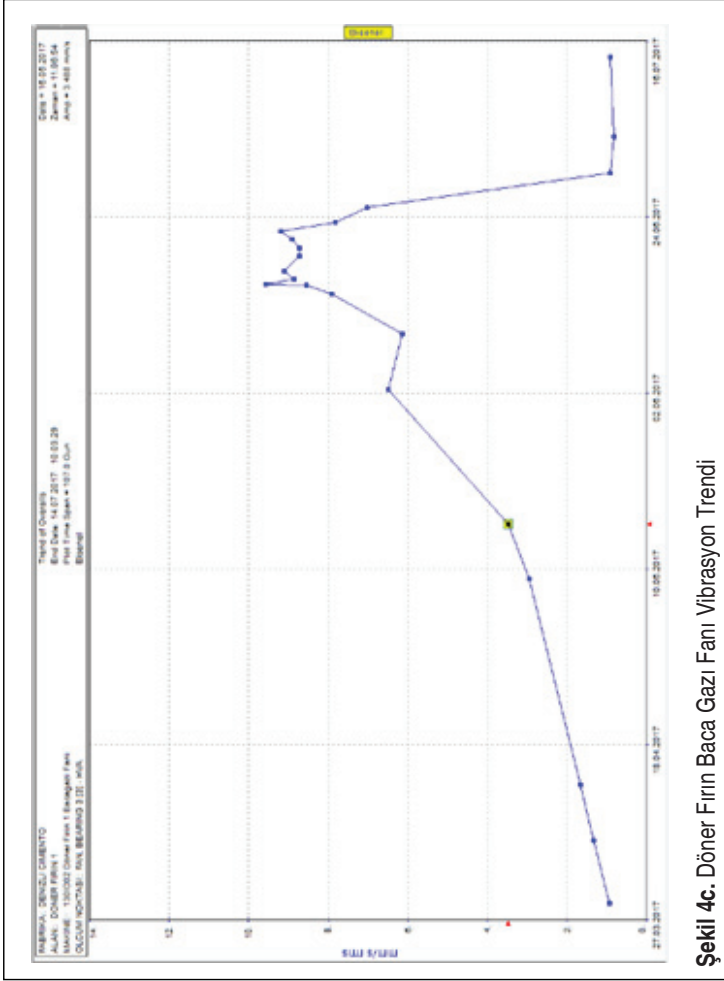


Rulmanın sökülmesinden sonraki arızalı rulman iç ve dış bileziklerinin fotoğrafları yukarıdadır. Fotoğraftan da anlaşılacağı üzere fanın iç ve dış bileşiğindeki pittingler çok net olarak gözükmemektedir.



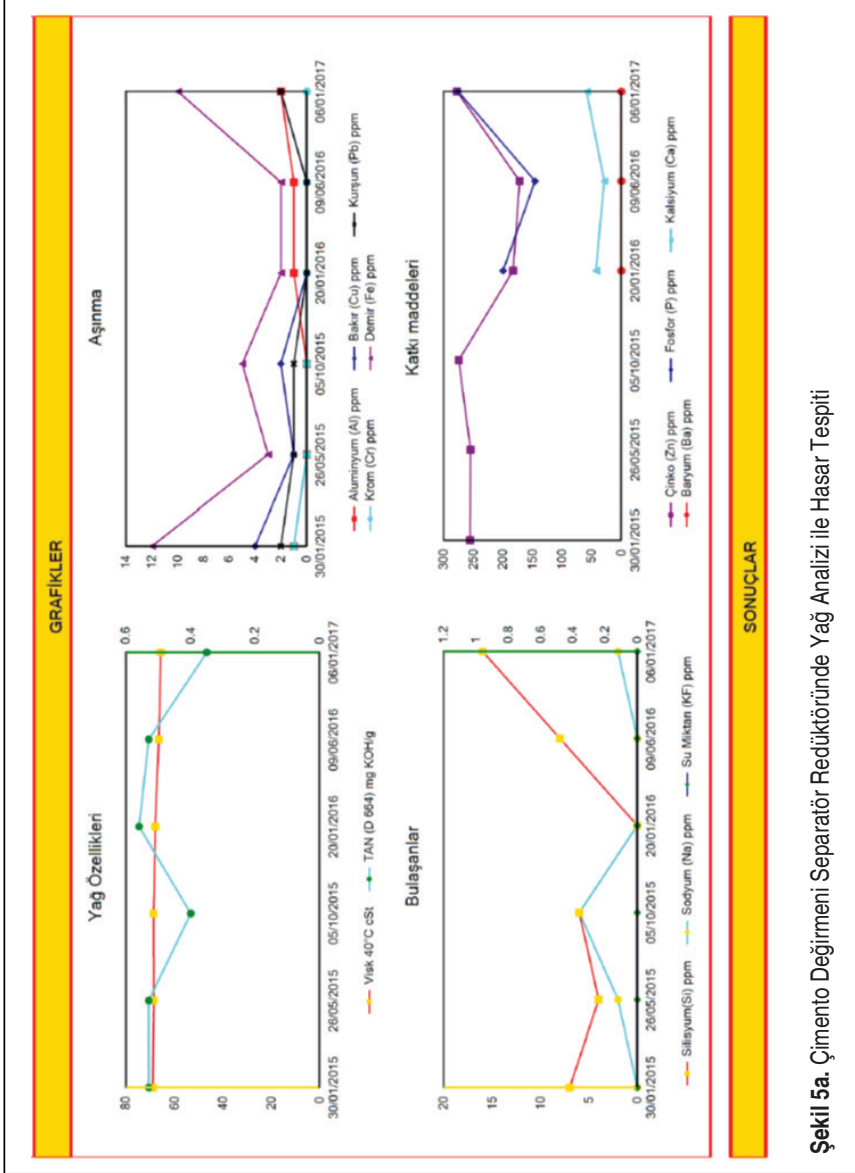
Şekil 4a. Döner Fırın Baca Gazı Fırının Bakım Sonrası Vibrasyon Analizi





### 3.2 Yağ Analizi ile Hasar Tespiti

Çimento değirmeni ünitesindeki bulunan separatör redüktöründen alınan düzenli yağ numunelerinin analiz grafikleri ve sonuçları Şekil 5’te görülmektedir. Yağ analizleri sonucuna göre Silisyum, demir ve kalsiyum değerlerinde ciddi derecede artış, viskozite değerlerinde düşüş olduğu için son analiz sonucuna göre yağ değişimi kararı alınmıştır. Yağın içerisindeki silisyum, demir ve kalsiyum elementlerinin kaynağı araştırıldığında çimento katkı maddelerinden kaynaklandığı ve redüktörün sızdırmazlık elemanlarındaki aşınma neticesinde yağa karıştığı, bu kirlenme sonucunda rulmanlarda aşınmaya sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda redüktör bakıma alınmış ve sızdırmazlık elemanlarının ve rulmanların gerekli bakımları yapılmıştır.



**Şekil 5a.** Çimento Değirmeni Separatör Redüktöründe Yağ Analizi ile Hasar Tespiti



Numune Numarası	359818297	359813726	359817562	359927231	359935853	359713110
Numune Durumu	Aksiyon	Aksiyon	Aksiyon	Aksiyon	Aksiyon	Aksiyon
Numune Tarihi	30/01/2015	26/05/2015	05/10/2015	20/01/2016	09/06/2016	06/01/2017
Ekipman Ömrü	-	-	-	-	-	-
Yağlayıcı Ömrü	-	-	-	-	-	-
Yağlama Hacmi	-	-	-	-	-	-
Yağ Boşaltma	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
<b>Görünüm (Özel)</b>						
Görünüm	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak	Berrak
<b>Görünüm + Renk</b>						
Renk (D 1500)	-	-	-	-	-	-
<b>Viskozite 40°</b>						
Visk 40°C cSt	69.0	68.6	68.7	68.0	66.5	65.7
<b>TAN (D 664)</b>						
TAN (D 664) mg KOH/g	0.53	0.53	0.40	0.56	0.53	0.35
<b>Su İçeriği (KF)</b>						
Su Miktarı (KF) ppm	0	0	0	0	0	0
<b>Metaller/CP (Yağ)</b>						
Demir (Fe) ppm	12	3	5	2	2	10
Krom (Cr) ppm	1	0	0	0	0	0
Nikel (Ni) ppm	0	1	0	0	0	1
Alüminyum (Al) ppm	1	0	0	1	1	2
Bakır (Cu) ppm	4	1	2	0	0	2
Kurşun (Pb) ppm	2	1	1	0	0	2
Kalay (Sn) ppm	0	0	0	0	0	0
Gümüş (Ag) ppm	-	-	-	0	1	0
Titanyum (Ti) ppm	-	-	-	0	0	0
Vanadyum (V) ppm	-	-	-	0	0	0
Silyum(Si) ppm	7	4	6	0	8	16
Sodyum (Na) ppm	0	2	6	0	0	2
Potasyum (K) ppm	-	-	-	-	-	-
Molibden (Mo) ppm	-	-	-	0	0	0
Mangan (Mn) ppm	-	-	-	0	0	0
Lityum (Li) ppm	-	-	-	2	0	0
Boron (B) ppm	-	-	-	0	2	2
Magnezyum (Mg) ppm	-	-	-	9	8	18
Kalsiyum (Ca) ppm	-	-	-	43	29	59
Baryum (Ba) ppm	-	-	-	0	0	0
Fosfor (P) ppm	-	-	-	200	146	276
Çinko (Zn) ppm	256	255	275	183	172	278
<b>Particle Count (SAE AS4059)</b>						
ISO 4406 (1999)	22/21/19	25/24/21	24/22/17	24/22/16	23/21/17	21/19/12
SAE AS4059 Code	-	-	-	-	-	-
SAE AS4059 > 4µm Code	12	12	12	12	12	12
SAE AS4059 > 6µm Code	12	12	12	12	12	10
SAE AS4059 > 14µm Code	12	12	12	10	11	6
SAE AS4059 > 21µm Code	12	12	11	7	11	0
SAE AS4059 > 38µm Code	10	12	11	0	10	0
SAE AS4059 > 70µm Code	0	0	0	0	0	0
<b>Millipor Tortu (0.8µ)</b>						
Millipor Tortu (0.8µ) mg/100ml	-	-	-	-	-	-
<b>MÜŞTERİ İŞLEMLERİ</b>						

Şekil 5b. Çimento Değirmeni Separatör Redüktöründe Yağ Analizi ile Hasar Tespiti

### 3.3 Ultrasonik Analiz ile Hasar Tespiti

Döner fırın mantosunda yıllık periyotlarda alınan kalınlık ölçümleri esnasında fırının çıkış ringine yakın manto üzerinde laminasyona uğramış bir bölge tespit edilmiştir. [Şekil 6]. Bu laminasyona uğrayan bölgenin net olarak belirlenmesi için ultrasonik test cihazı ile detaylı tarama yapılmış ve Şekil 6'da görülen laminasyonlu alan tespit edilmiştir. Gerekli ön çalışma ve imalatlardan sonra laminasyona uğrayan bölge yeni manto parçası ile değiştirilmiştir. Laminasyonlu bölge tespit edilmesinden sonra fırın çalışması esnasında silinmeyecek bir boya ile işaretlenmiş ve manto değişim zamanına kadar uygun duruşlarda kontrol edilmiştir.



**Şekil 6.** Döner Fırın Mantosunda Ultrasonik Analizi ile Hasar Tespiti

Bu kontrollerde laminasyonlu bölgenin ilerleme kaydettiği ultrasonik ölçümler sonucunda tespit edilmiştir. Bu çalışma ile olası bir ileri derece manto çatlağının önüne geçilmiş ve fırın uzun süreli bir duruş yaşanması önlenmiştir.

Ultrasonik analiz yöntemi ile;

- ✓ Değirmen muylularında,
- ✓ Fırın ring ve galelerinde,
- ✓ Fırın ve değirmen mantolarında,
- ✓ Elevatör zincirlerinde,
- ✓ Değirmen valslerinde penetrasyon yöntemi ile tespit edilemeyen iç çatlakların tespiti yapılabilmekte ve daha erken müdahale ile büyük arızaların önüne geçilmektedir.



### 3.4 Termal Analiz ile Hasar Tespiti

Çimento fabrikalarının en önemli ünitelerinden biri olan döner fırın mantosundan termal kamera ile görüntü alınmıştır [Şekil 7]. Burada amaç fırın içerisindeki ısı dağılımının dengeli olup olmadığını tespit edebilmek ve de fırın manto iç cidarındaki refrakter tuğlalarındaki aşınmaları tespit etmektir. Bu analizler hem mobil termal kamera ile hem de online termal tarayıcılar ile sürekli izlenmektedir. Yapılan analizler sonucunda refrakter malzemenin ömrü tespit edilebilmekte ve Döner Fırın için duruş planlamaları yapılabilmektedir.



Şekil 7. Döner Fırın Mantosunda Termal Analizi ile Hasar Tespiti

Ayrıca termal analiz yöntemi ile;

- ✓ Elektrik pano ve bağlantılarındaki anormallikler,
- ✓ Elektrik motorlarında arıza tespiti,
- ✓ Döner fırın ve siklonlarda refrakter takibi,
- ✓ Hidrolik/buhar vb. devrelerde kaçak tespiti ve bunlara benzer birçok noktada arıza tespitleri yapılabilmektedir.

### 3.5 Görsel Analiz ve Aşınma Kontrolleri ile Hasar Tespiti

Görsel kontrol; bakım kavramının ortaya çıktığı zamandan günümüze Kestirimci bakımın temel fonksiyonlarından biri olmuştur. Ekipmanların belli periyotlarda teknisyenler tarafından gerekli kontrollerinin yapılması ve üretici firma verileri ile kıyaslanarak parçaların kondisyonu, ömrü ve verimliliği ile ilgili tespitlerin yapılmasıdır. Bu çalışmalar neticesinde; parça ömür hesabı yapılarak bakım planlaması yapılabilmektedir [Şekil 8].





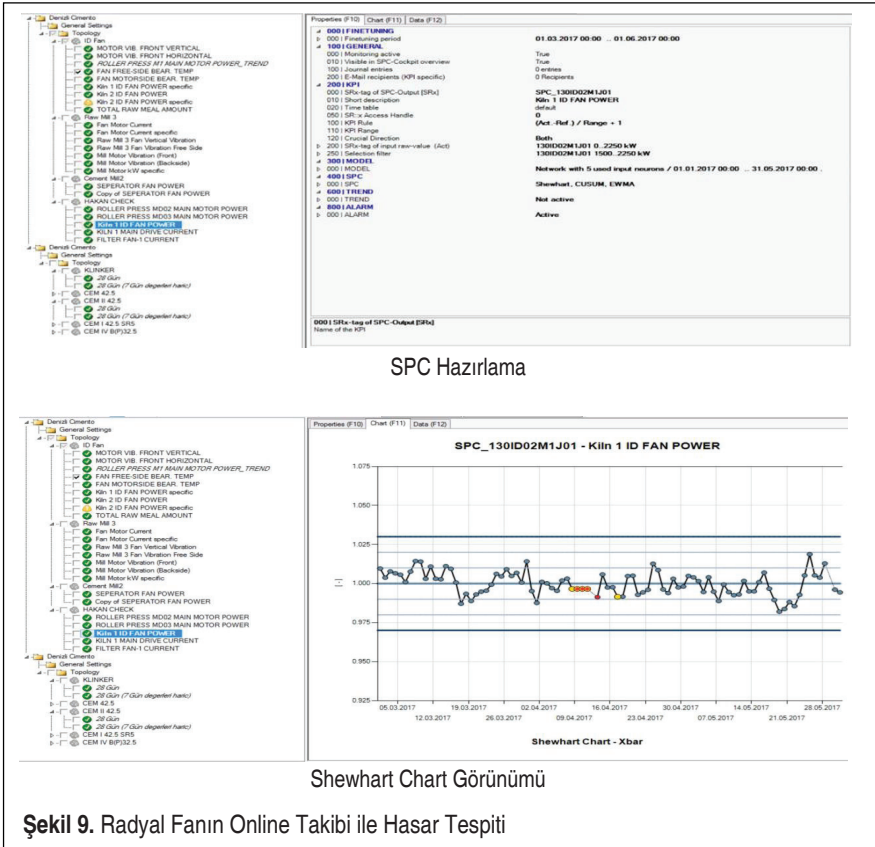


Görsel ve Aşınma kontrolleri ile;

- ✓ Transport ekipmanlarında zincir ve bileşenlerinin aşınma takibi,
- ✓ Farin/Kömür/Çimento değirmenlerinde aşınma zırhlarının takibi,
- ✓ Hammadde kırıcılarında çekiç aşınma takibi,
- ✓ Diğer kritik ekipmanlarda performans/verimlilik takibi yapılabilmekte ve yedek parça stok optimizasyonu, bakım maliyet azaltılması, arıza duruşların azaltılması ve genel ekipman verimliliğinin artırılması sağlanmaktadır.

### 3.6 Online Veri Toplama ve Değerlendirme

Çimento fabrikasındaki üretim prosesi merkezi PLC ve Scada sistemleri üzerinden çalıştırılmakta ve operasyonel olarak yönetilmektedir. Bu sistem sayesinde ekipmanların çalışma parametreleri (sıcaklık, debi, basınç, gaz konsantrasyonu, amper, voltaj vb.) sürekli olarak izlenmekte ve sisteme yapılan limit tanımlamaları sayesinde ekipman çalışma koşullarında oluşabilecek değişiklikler erken dönemde tespit edi-



Şekil 9. Radyal Fanın Online Takibi ile Hasar Tespiti

lebilmektedir. Sistem; prosesin çeşitli noktalarından toplanan verilerin depolanması, değerlendirilmesi ve alt/üst/uyarı limit bilgileri referans alınarak “matematiksel modelleme” yöntemi ile raporlanması ve nihayetinde uyarı sistemleri ilgili kişilere iletilmesi şeklinde çalışmaktadır.

Bu sayede örneğin bir radyal fan’ın akım, vibrasyon, yatak sıcaklık değerlerinde normal çalışma koşullarının dışında olduğu bilgisi anlık olarak ilgili teknik ekibe mail/ mesaj yöntemi ile iletilmekte bu sayede arıza limitlerine ulaşılmadan ekipmandaki problemin tespiti ve giderilmesi mümkün kılınmaktadır [Şekil 9].

Bu uygulama sayesinde üretimin devamlılığı ve kullanılan ekipman verimliliğinin sürekli olarak istenilen noktalarda olması sağlanmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma ile birlikte modern çimento fabrikalarında Kestirimci Bakım (Predictive ve Maintenance-PdM) tekniklerinin kullanılması ve faydaları konusunda çalışmalar anlatılmıştır. Kullanılan yaygın teknikler ile birlikte proses verilerinin online toplanması, kullanılabilir veriler haline getirilmesi, istatistiksel yaklaşımların bulut teknolojileri ile entegrasyonun sağlanması ve yöneticiler tarafından sürekli ulaşılabilir olması, önümüzdeki dönemde bakım yönetiminin etkinliğinin artmasında önemli bir dönüm noktası olacaktır.

Bu tekniklerden herhangi birinin tek başına kullanımından ziyade çoklu kullanım kombinasyonları ile arıza teşhislerinde daha doğru ve yerinde tespitler yapmak mümkün olabilmektedir. Bu bağlamda sadece cihaz varlığının İşletmelerde marjinal fayda getirmekten çok cihaz çöplüğü yaratacağı aşikardır. Bu cihazların belirlenmiş periyotlarda iyi eğitim almış teknik elemanlar tarafından kullanılması ile yöntemin başarıya ulaşması mümkün olacaktır.

Son yıllarda yapılan araştırmalarda; kestirimci bakım baz alınarak yapılan bakım yönetimi sayesinde arıza ve koruyucu bakım uygulamalarına nazaran avantajlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- ✓ %25-%30 oranında bakım maliyetlerinde azalma,
- ✓ Arıza sayılarında ve arıza sürelerinde %70’e varan azalma,
- ✓ Ekipman verimliliğinin artırılması ve üretim devamlılığın sağlanması,
- ✓ Yedek parça stok optimizasyonu ile kestirimci bakım metodolojilerinin belirlenmesi, disiplinli bir sistem dahilinde uygulanması, çıkan sonuçların mühendislik temelinde değerlendirilmesi, arızaların önüne geçilmesi ve bakım maliyetlerinin azaltılması ile toplam ekipman verimlilik artırılarak rekabetçi piyasa şartlarında kaliteli üretimin devamlılığı sağlanabilmektedir.



## KAYNAKÇA

1. <http://test.galen.com.tr/urunler.aspx?katid=1>, son erişim tarihi: 06.11.2017.
2. <https://www.slideshare.net/irfanmeric/yap-malzemeleri-imento-ve-agregalar>, son erişim tarihi: 06.11.2017.
3. [http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr\\_626\\_KN2F58CG\\_cimento-Sektor-Raporu-2015.pdf](http://www.dogaka.gov.tr/Icerik/Dosya/www.dogaka.gov.tr_626_KN2F58CG_cimento-Sektor-Raporu-2015.pdf), son erişim tarihi: 06.11.2017.
4. **Erol, S. S.** 2015. “Dinamik Sistemlerin Kestirimci Bakımına Etki Eden Faktörlerin Durum Bazlı İncelenmesi,” Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
5. **Tandon, N., Choudhury, A.** 1999. “A Review of Vibration and Acoustic Measurement Methods for the Detection of Defects in Rolling Element Bearings,” *Tribology International*, vol. 32, p. 469-480.
6. **Adams, M.** 2001. “Rotating Machinery Vibration,” New York, Marcel Dekker Inc.
7. **Engür A. İ.** 2007. “Kestirimci Bakımda Titreşim Analizi,” *Mühendis ve Makina*, cilt 48, sayı 570, s. 27-31.
8. **Erol, S. S., Meran, C.** 2014. “Tribological Approach on Vibration and Electrical Current Response of Experimental Misalignment and Unbalance Failure Modes,” *Journal of the Balkan Tribological Association*, vol. 20, no 4, p. 559–575, WOS:000348254500005.