

TEKNOLOJİK GELİŞMENİN BAKIM PLANLAMASINA KATKISI: BİLGİSAYAR YARDIMIYLA KESTİRİMCİ BAKIM

R. Kubilay KÖSE
TOPAZ Makina Mühendislik Müşavirlik
Mümessillik ve Ticaret Limited Şirketi
ANKARA

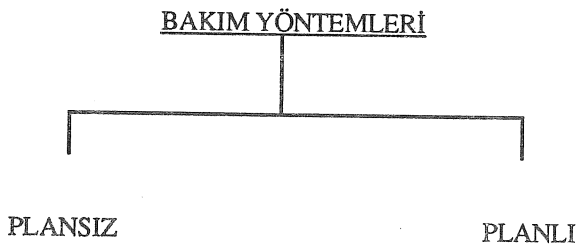
Gelişen teknoloji ve serbest piyasa ekonomisi işletmeleri minimum maliyette maksimum üretimi gerçekleştirmeye zorlamaktadır. Birim ürün maliyetine en çok etkisi görülen bakım onarım masraflarının kontrol altında tutulması ve minimize edilmesi gelişmiş ülkelerin ekonomisine çok büyük katkıları bulunmaktadır. Bu amaç için kullanılan yöntem "Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Planlaması"dır. Bu yazının amacı "Kestirimci Bakım" konusunda açıklayıcı bilgi vermek, dünyadaki gelişmiş bakım yöntemini tanıtmaktır.

GİRİŞ

Yeni kurulan ve mevcut tesislerin üretim kapasitesinin ekonomik gelişmeye yeterince katkıda bulunabilmesi için verimli bir düzeyde çalıştırılmaları gerekmektedir. Kapasitenin düşük düzeyde kullanılmasında en büyük payı arıza nedeni ile makina duruşları almaktadır. Yetersiz bakım onarım, kalite ve verimin düşmesine, bu nedenle maliyetlerin artmasına yol açtığı gibi, aşırı yıpranmalar dolayısı ile makinelerin ömürlerinin kısalmasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak bu harcamalar nedeni ile gerekenden daha fazla makina ve donanım gereksinimi ortaya çıkmakta ve bunun sonucu parasal sıkıntı artmakta, ödemeler dengesi olumsuz yönde etkilenmektedir. İşletmelerde az bir çaba-yatırım ile önemli kazançlar elde edilebilecek sahalarda başında bakım-onarım işlevi gelmektedir.

BAKIM YÖNTEMLERİ

Genel olarak bakım yöntemleri, plansız ve planlı bakım olarak ikiye ayrılmaktadır.

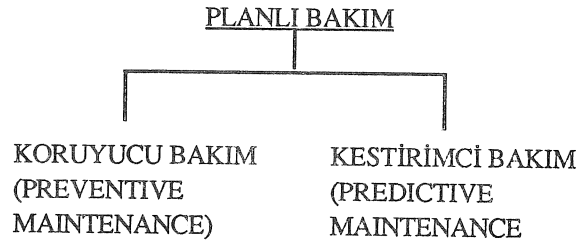


Plansız Bakım

Bu yöntemde arıza oluştuğunda bakım ve onarım uygulanır. Oluruna bırakılan bir makinede çıkacak arıza başka arızalara da neden olmaktadır. Şöyle ki bir balanssızlık zamanında görülemezse rulmanları dağıtabilmekte, ya da makinanın bağlı olduğu şasedeki sehim, makinanın rezonansa girmesine sebep olmakta ve o makinanın parçalanması sonucunu doğurmaktadır. Bu yöntemde arıza teşhisi arıza oluştuğundan sonra, makinanın sökülerek incelenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Günün teknolojik olanakları içinde bu yöntem niteliğini yitirmiştir. Ancak geri kalmış ve dünyadaki gelişmeleri takip etmeyen toplumlarda - üçüncü dünya ülkelerinde uygulanmaktadır.

Planlı Bakım

Bu yöntem kendi içinde ikiye ayrılır:



Koruyucu Bakım

Ana tema belirlenen periodlar dahilinde bakım yapılması, parçaların değiştirilmesidir. Bu sistemin

bir işletmede kurulması minimum 3 yıl sürmektedir. Bu sistemin dezavantajı, sistemde arıza yapmamış, daha uzun süre ihtiyacı karşılayacak parçaların değiştirilmesi ve üretim akışının gereksiz yere durdurulması ya da aksatılmasıdır. Ayrıca parça, üretim hatası, montaj hatası gibi sebeplerden dolayı değiştirilmesi planlanan periyotdan önce arıza çıkarabilir. Bu tür bir durumda koruyucu bakım yöntemi arızanın önüne geçme niteliğini kaybederek arıza çıktıkça bakım özelliğine dönmektedir. Bunu önlemek için bakım ve parça değiştirme periyotları kısa tutulmakta, sonuç olarak daha uzun süre ihtiyacı karşılayabilecek bir parça hurdaya ayrılmaktadır. Bu bir ekonomik kayıptır. Bu durum bakım onarım maliyetlerini artırmakta koruyucu bakım tasarruf etirme espirisini kaybetmektedir.

Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım günümüzde gelişmiş ülkelerin kullandığı yöntemdir. Ana tema makinalardan ölçümler alarak onların sağlığının takip edilmesi, ve gerektiğinde bakımın yapılmasıdır. Kestirimci bakım bugün ve geçmişten aldığı ölçümleri bir bütün içinde eğilim çözümleme yöntemi (Trend Analiz) ile değerlendirerek gelecekte çıkacak olası arızayı belirler. Makinaları çalışmalarını engellemeden takip ederek sağlıklarını yakından izleme olanağı doğuran bu sistem, lüzumsuz durdurmaları ortadan kaldıracak gibi, gereksiz parça değiştirmelerini de önlemektedir. Arıza çıkaracak nokta önceden algılandığından, geleceğe yönelik bir bakım onarım programı oluşturulmasını sağladığı gibi, doğabilecek ani duruşlara neden arızaları da ortadan kaldırmaktadır. Hedef arıza çıkmadan arızanın önüne geçilmesidir ve bu makinalar üzerinden alınacak ölçümler ile gerçekleştirilir. Kestirimci bakım koruyucu bakımdan farklı olarak 3 ay ile 6 ay içinde işletmede tümü ile kurulur ve bu süre içinde yakaladığı arızalar ile kendini geri döndürür. İşletmeler bir yatırıma girerken o yatırımın geri dönüşüne önem verirler. Kısa sürede geri dönüşü sağlayan kestirimci bakım bu sebepten dolayı gelişmiş ülkelerdeki işletmelerde uygulamaya alınmıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde 1989 yılında yapılan bir istatistik sonucunda bu sistemi kullanan işletmelerde ortalama 450.000 \$/Yıl tasarruf gerçekleştiği görülmüştür (5).

TİTREŞİM ÖLÇÜ-ANALİZİN KESTİRİMCİ BAKIM PLANLAMASINDAKİ ÖNEMİ

Ölçemediğimizi bilemeyiz. Kestirimci bakım için makinalardan ölçümler almalıyız. Döner ekip-

manlı makinalarda titreşim ölçümleri bize o makina ile ilgili tüm verileri verebilmektedir. Kestirimci bakım esas olarak titreşim ölçü/analiz yöntemini kullanmaktadır. İşletmenin ve operasyonun durumuna göre, yüzey sıcaklık ölçümü, akım ölçümü, ultrasonik kalınlık ölçümü, gürültü ölçümü, faz/devir ölçümü tek başına ya da alınan titreşim ölçümünü desteklemek amacı ile kullanılmaktadır. Günümüzün teknolojisi tüm bu ölçümleri yapacak kestirimci bakım amaçlı titreşim ölçü/analiz veri toplayıcı cihazlarını kullanıma sunmuştur.

Titreşimi analiz ederek:

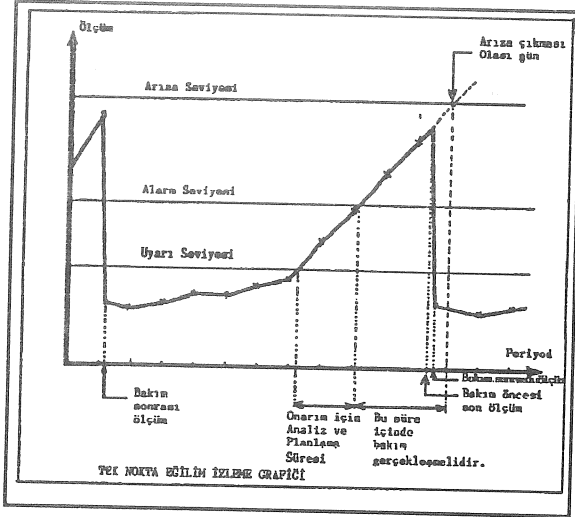
- Balans ayar bozukluğunu,
- Merkez kaçıklığını,
- Kaplin ayarsızlığını,
- Eğri saft problemini,
- Bozuk rulmanı,
- Kaymalı yataklarda yağ film kırıklığını,
- Yataklarda radyal gezinmeleri,
- Elektrik motor arızalarını,
- Mekanik çözülmeyi,
- Kayış arızaları gibi problemleri, arıza çıkmadan görebiliriz.

KESTİRİMCİ BAKIM PLANLAMASININ 3 BASAMAĞI

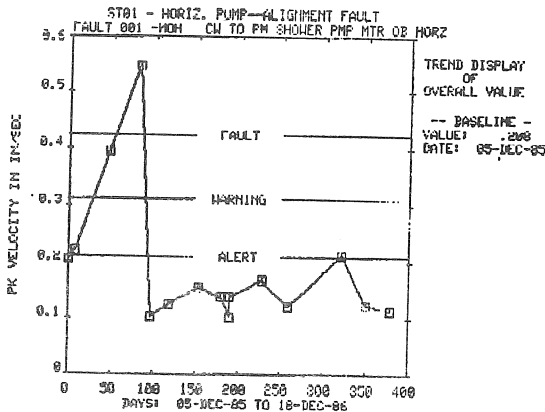
1. Belirleme,
2. Analiz,
3. Onarım

1. Belirleme

Bu bir veri toplayıcı (data collector) cihaz ile yapılır. Kritik makinalardan belirlenen nokta ve pozisyonda bu cihaz ile ölçümler alınır. Manuel uygulamada ölçüm alan kişi ölçtüğü değeri formlara yazarak işler. Bilgisayar destekli uygulamada ölçümler cihaz hafızasında saklanır. Ölçümler daha sonra eğilim izleme formuna geçirilir (Şekil 1, Şekil 2). Bir artış olup olmadığı kontrol edilir. Ölçümlerdeki bir artış, o noktada bir arızanın oluşmakta olduğunu gösterir. Bilgisayarlı uygulamada veri toplayıcı cihaz bilgisayara RS 232 kablo bağlantısı ile bağlanır ve hafızada saklanan bilgiler ölçüm turu sonunda bilgisayara aktarılır. Bilgisayar eğilim izleme grafiklerini kendisi çizer ve istenirse kritiğe giren noktaları çok kısa bir sürede çıktı olarak sunar. Bundan dolayı manuel uygulama yerine bilgisayarlı uygulama önerilmektedir.



Şekil 1. Eğilim İzleme Grafiği



Şekil 2. Eğilim İzleme Grafiği Bilgisayar Çıktısı

2. Analiz

Eğilim izleme grafiğinde herhangi bir artışın sebebi araştırılmalıdır. Bu artış o makina ile ilgili bir arızadan kaynaklanabileceği gibi çevreden de etkilenme olabilir. Titreşim ölçümleri hızlı Fourier çevirimi metodu uygulanarak zaman formundan frekans formuna geçirilmekte ve sonuç olarak ulaşılan frekans izgesi (spektrum) incelenerek, titreşimi artıran arıza kaynağı tesbit edilmektedir. Veri toplayıcı cihaz ölçüm değerlerini hafızasına kaydederken aynı zamanda frekans izgelerini de hafızasına kaydetmekte ve bilgisayara bağlandığında bu grafikleri de bilgisayara aktarmaktadır. Dolayısı ile analiz işi arıza çıkaracak makinanın yanına gitmeden bilgisayar ekranından yapılabilmektedir (Şekil 3, Şekil 4, Şekil

5, Şekil 6). Frekans izgesi analizde kullanılacak tablo Tablo 1'de verilmiştir.

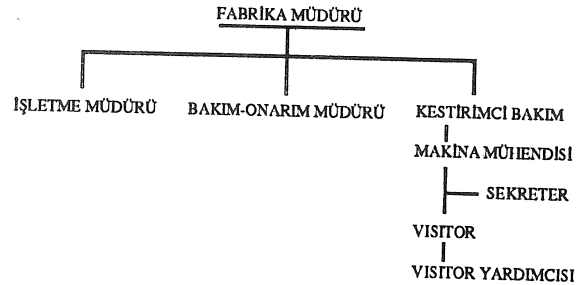
3. Onarım

Analiz basamağında belirlenen arıza, işletme çalışma programına bağlı olarak değerlendirilir ve planlı onarım programı hazırlanır. Gerekli yedek parça ve onarım için kullanılacak alet ve edavat önceden hazırlanır. İşin ustası programlı bir şekilde görevlendirilir. Teşhis olayı arıza çıkmadan önce gerçekleştirildiğinden zaman kaybedilmeden arızalı noktaya ulaşılır ve hazırlanan parça değişimi ve bakım gerçekleştirilir.

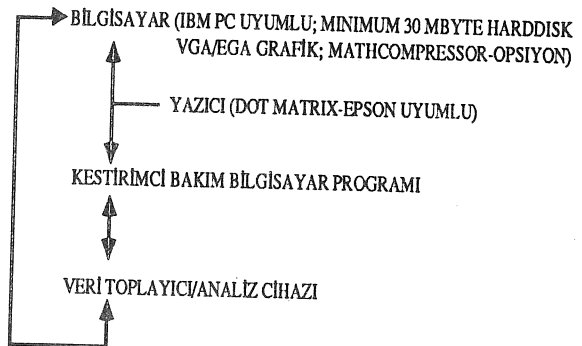
KESTİRİMCİ BAKIM İÇİN GEREKLİ KADRO

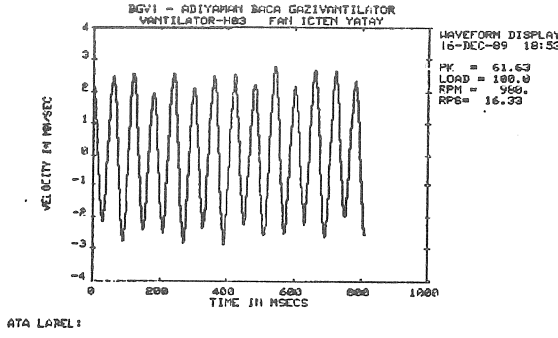
Kestirimci bakım ekibi direk fabrika müdürüne bağlıdır. Ulaştığı sonucu fabrika müdürüne rapor eder. Fabrika müdürü bakım onarım grubuna gerekli emri ulaştırır. Kestirimci bakım grubunda: ölçümleri alacak bir yıl tecrübeli sanat okulu mezunu bir visitor; bilgisayara giriş çıkışları yapacak, raporları takip edecek bir sekreter ve çıkan sonuçları değerlendirip analiz edecek bir makina mühendisi bulunmalıdır. Bu çekirdek kadro bir visitor daha katarak zenginleştirilebilir.

KESTİRİMCİ BAKIM İÇİN GEREKLİ DONANIM

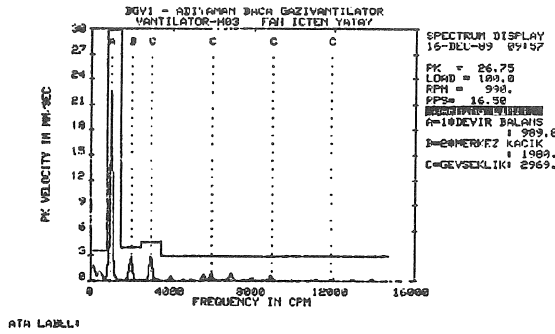


KESTİRİMCİ BAKIM PLANLAMASI

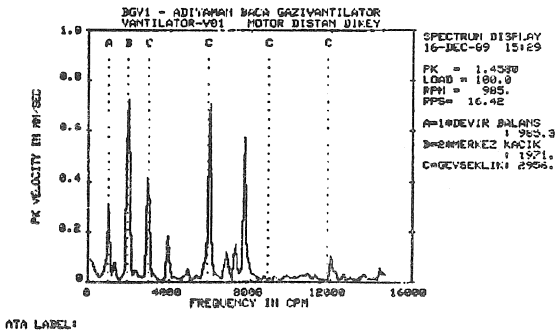




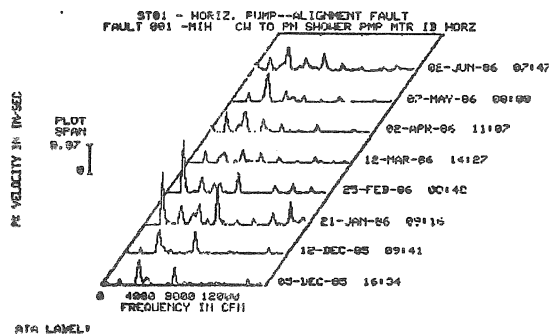
Şekil 3. Eğilim İzleme Grafiği Bilgisayar Çıktısı



Şekil 4. Titreşim Frekans İzgesi (Uyarı limitli)



Şekil 5. Titreşim Frekans (spektrumu) izgesi



Şekil 6. Frekans İzgesi Şelale Görüntülemesi

ORGANİZASYONUNDA İZLENECEK YÖNTEM

1. İşletmede kestirimci bakım dahilinde takip edilecek makinalar listelenir ve kritiklik derecesi verilir.
2. Makinaların işletme yerleşimine göre kro-kileri çizilir.
3. Her makina için ölçüm türü, ölçüm noktası ve ölçüm yönü belirlenir. Ölçüm noktalarına makina üzerinde işaretler konur.
4. Her ölçüm için geçerli alarm ve arıza limitlerinin belirlenmesi.
5. Her makinanın basit bir çiziminin çizilmesi ve makina özelliklerinin belirlenmesi, tutulmuşsa o güne kadar makinanın çıkardığı arızaların gözden geçirilmesi, gerekli notların alınması.
6. Her makinanın temel ölçüm değerlerinin alınması.
7. Ölçümler arası zaman diliminin belirlenmesi.
8. Makinaların isimlendirilmesi ve kodlanması.
9. Ölçüm turlarının organizasyonu.
10. Uygulamayı yapacak elemanların eğitilmesi

Sistem kurulurken ölçümler alınmaya ve değerlendirilmeye başlanabilir.

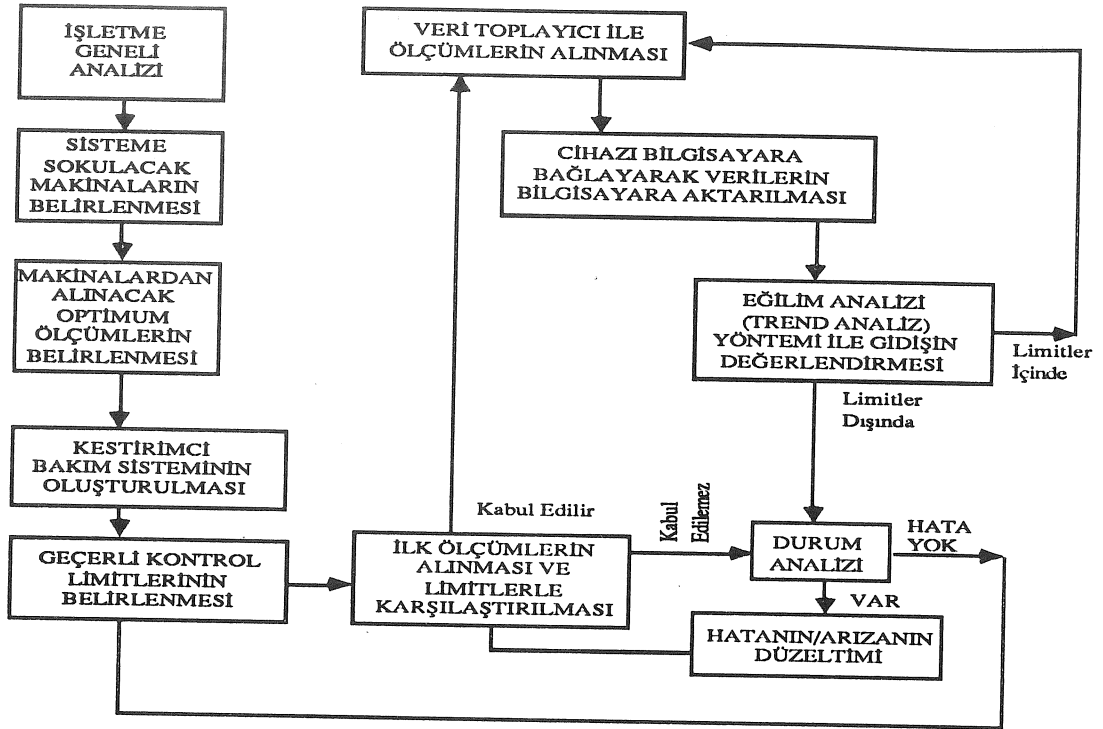
Kestirimci bakımın genel bir akışını gösteren şema Şekil 7'de gösterilmektedir.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ KESTİRİMCİ BAKIM PLANLAMASININ GETİRECEĞİ KAZANÇLAR

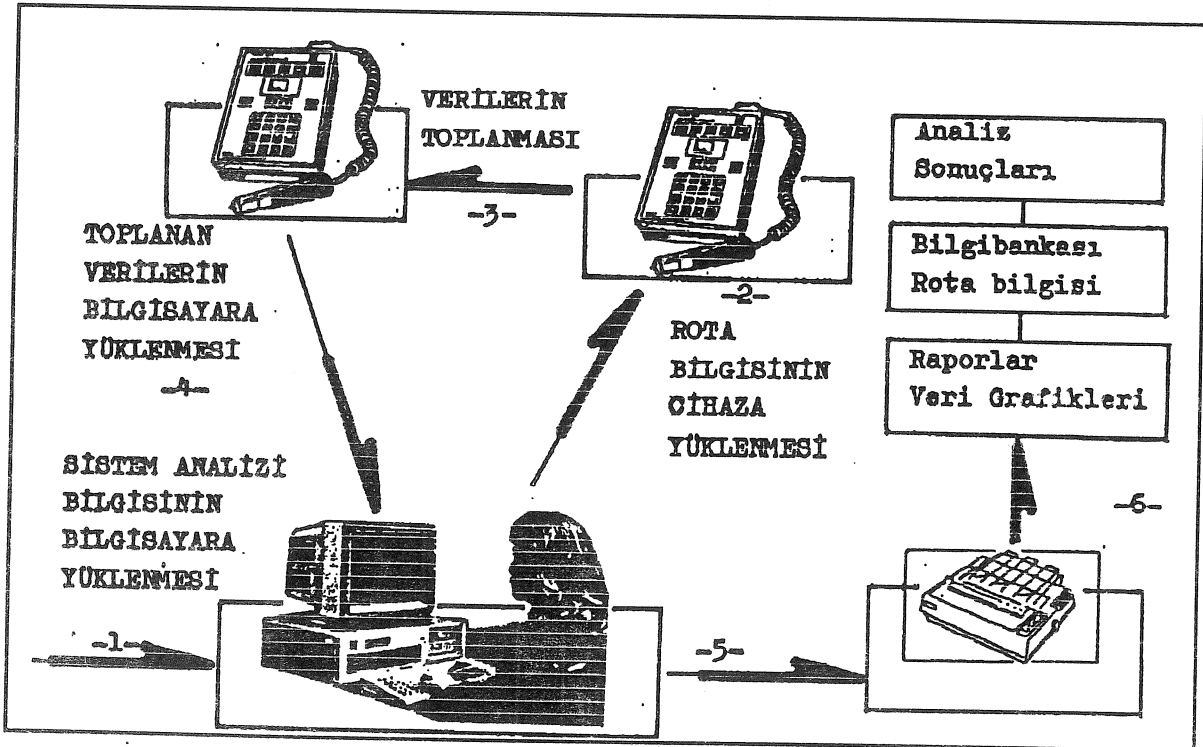
Şekil 8'de Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Yöntemi Çalışma Akışı gösterilmektedir. Bilgisayar Destekli Bakım planlamasının getireceği kazançlar şu şekilde özetlenebilir.

- * Duruşlar arası sürenin uzaması
 - Üretimin artması
 - Bakım masraflarının düşmesi
- * Beklenilmeyen arızaların ortadan kalkması
 - Güvenirliliğin artması
 - Üretimin artması

KESTİRİMCİ BAKIM AKIŞ ŞEMASI



Şekil 7. Kestirimci Bakım Akış Şeması



Şekil 8. Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Yönteminin Çalışma Akışı

Tablo 1. Titreşim İrdeleme Tablosu

SEBEP:	FREKANS:	YÖN:	FAZ İLİŞKİSİ:	GENLİK:
1*BALANSSIZLIK/DENGESİZLİK				
1a- KÜTLE DENGESİZLİĞİ	1nci HARMONİK	RADYAL	AYNINOKTADA YATAY DİKEY ARASINDA 90~	SABİT
1b- EĞİK ŞAFT	1nci HARMONİK	EKSENEL	YATAKLAR ARASI 180~ FARK	SABİT
1c- EKZANTRİK MOTOR ROTORU	1nci HARMONİK 3000 CPM - 50 Hz 6000 CPM -100 Hz	RADYAL	-----	HAREKETLİ
STATİK	1nci HARMONİK	RADYAL	RADYALDE İKİ YATAKTA AYNI	
DİNAMİK	1nci HARMONİK	RADYAL	EKSENELDE VE RADYALDE 180~	
2*MERKEZ KAÇIKLIĞI (MISALIGNMENT)				
2a- PARALEL	1 ve 2	RADYAL	RADYALDE 180~	SABİT
2b- AÇISAL	1 ve 2	EKSENEL	EKSENELDE 180~	SABİT
2c- HERİKİSİ	1 ve 2	RADYAL VE/VEYA EKSENEL	180~ 180~	SABİT
KAYMALI YATAKLAR	1 ve 2	RADYAL VE/VEYA EKSENEL	EKSENELDE 180~	
BİLYALI YATAKLAR	1, 2, 3 ve #BİLYA*RPM	EKSENEL	EKSENELDE 180~	
3*GEVŞEKLIK				
3a- RULMAN YATAKLARI GİBİ DÖNMEYEN PARÇALAR	1, 2, 3 PREDOMİNANT BELKİ 10*RPM DÜŞÜK GENLİK	RADYAL	-----	SABİT
3b- IMPELLER GİBİ DÖNEN PARÇALAR	1*PREDOMİNANT 10*RPM KADAR HARMONİKLERDE DÜŞÜK GENLİKTE	RADYAL	----- (HER ÇALIŞTIRIŞTA FARKLI GENLİK OKUNUR.)	SABİT

4*DİŞLİLER

(GMF = GERMESH FREQUENCY=DİŞ DOKUNMA FREKANSI=# DİŞ*DEVİR/DAK.

4a-	AKTARMA HATASI	GMF+HARMONİKLERİ	DÜZ DİŞLİ>RADYALDE HELİX DİŞLİ>EKSENELDE
4b-	HATALI DİŞ	GMF+YAN BANDLAR	DÜZ DİŞLİ>RADYALDE HELİX DİŞLİ>EKSENELDE
4c-	MERKEZ KAÇIKLIĞI	1* ve/veya 2* devir/dak.	DÜZ DİŞLİ>RADYALDE HELİX DİŞLİ>EKSENELDE
4d-	BALANSSIZLIK	1* devir/dak.	DÜZ DİŞLİ>RADYALDE HELİX DİŞLİ>EKSENELDE

5*HATALI RULMAN

5a-	BİLYALI RULMAN	-ERKEN UYARI 30,000-60,000 DEVİR/DAK. -GEÇ UYARI 1*DEVİR/DAK VE HARMONİKLERDE	RADYAL (KONİK RULMANDA EKSENEL)	-----	GİTTİKÇE ARTAR
		-İÇ BİLEZİK ARIZASI -DİŞ BİLEZİK ARIZASI 1-8*BPFO -BİLYA ARIZASI		1-8*BPFI 1-N*BSF	
		BSF : BALL SPIN FREKANSI BPFI : İÇ BİLEZİK FREKANSI BPFO: DİŞ BİLEZİK FREKANSI			
5b-	KAYMALI YATAK	-ERKEN UYARI ALT HARMONİKLER -GEÇ UYARI MEKANİK GEVŞEKLIK GIBI GÖRÜLEBİLİR	RADYAL	-----	GİTTİKÇE ARTAR
	-OIL WHIRL	YAKLAŞIK 0.43*DEVİR/DAK.	RADYAL	-----	GİTTİKÇE ARTAR

6*OPERASYONA BAĞLI

6a-	KANAT GEÇİŞİ	#KANAT*DEVİR/DAK	RADYAL		HAREKETLİ
6b-	KAVİTASYON	DÜZENSİZDİR POMPA GÖVDESİNDEN ÖLÇÜM ALINARAK DOĞRULANIR	RADYAL		HAREKETLİ

7*INSTABILITY

7a-	OIL WHIRL	%40-46*DEVİR/DAK.	RADYAL	-----	SABİT
7b-	ROTORDA AŞINMA YA DA SIKI	%50*DEVİR/DAK. VE YARI HARMONİKLERDE KENDİNİ TEKRARLAR	RADYAL	-----	SABİT

8*KAYIŞ PROBLEMLERİ

8a-	UYUMSUZ, AŞINMIŞ YA DA SIKI	GENELDE 2*KAYIŞ FREKANSINDA BELİRGİN HARMONİKLERDE DE GÖRÜLEBİLİR	RADYAL	-----	DEĞİŞKEN
8b-	EKZANTRİK VE/VEYA KASNAK BALANSSIZLIĞI	1*DEVİR/DAK.	RADYAL	AYNI FAZDA	SABİT
8c-	TAHRİK KAYIŞI YA DA KASNAK ALIN KAÇIKLIĞI	1*TAHRİK DEVRİ	EKSENELDE	AYNI FAZDA	SABİT

$$\text{KAYIŞ FREKANSI} = \frac{3.14 * \text{DEVİR/DAK.} * \text{PITCH ÇAPI}}{\text{KAYIŞ UZUNLUĞU}}$$

9*ELEKTRİK KAYNAKLI ARIZA BELİRTİLERİ

9a-	EKZANTRİK ROTOR	2*KAYMA FREKANSI 1*DEVİR/DAK. 1 VE/VEYA 2*HAT FREKANSI (3000, 6000 DEVİR/DAK.) YAN BANDLARINDA	RADYAL	-----	SABİT
9b-	STATOR LAMİNATTÖRLE- RİNDE GEVŞEKLIK	2*HAT FREKANSI +RADYALDE YÜKSEK FREKANSLARDA 2*HAT FREKANSI YAN BANDLARINDA		-----	YÜKSEK VE SABİT
9c-	KIRIK ROTOR ÇUBUĞU	1*DEVİR/DAK. VE 2*KAYMA FREKANSI YAN BANDLARINDA BİRLİKTE GÖRÜLÜR	RADYALDE	-----	SABİT
9d-	FAZ RESİSTANSI YA DA BOBİN BALANSSIZLIĞI	2*HAT FREKANSI	RADYAL	-----	DÜŞÜK VE SABİT

9e-	STATOR (KISA DEVRE YA DA ISINMA)	2*HAT FREKANSI	RADYAL (EKSENELDE DE BAKILMALI)	-----	SABİT (MOTOR ISINDIKÇA TİTREŞİM ARTAR)
9f-	LOOSE IRON	2*HAT FREKANSI	RADYAL	-----	YÜKSEK SABİT

10*REZONANS

REZONANS TAKİBİNDE BODE GRAFİKLERİ KULLANILIR.
(GENLİK * FREKANS - FAZ AÇISI * FREKANS)

ANALİZ OLAYI; MAKİNAYI ÇALIŞTIRIRKEN, YA DA DURDURURKEN ALINACAK TİTREŞİM VE FAZ ÖLÇÜMÜ İLE GERÇEKLEŞTİRİLİR. PRATİK SİSTEM REZONANS FREKANSI/KRİTİK HIZ TESBİTİNDE KULLANILIR. DİKKAT EDİLECEK NOKTA: REZONANS FREKANSINDA ÇALIŞAN SİSTEMLERİN BALANSI YERİNDE YAPILAMAZ.

SERBEST TİTREŞİMLERDE BASİT OLARAK : $W = V \cdot K / M$

W = SİSTEMİN DOĞAL FREKANSI

K = SİSTEMİN DİRENGENLİĞİ

M = TİTREŞEN KÜTLE AĞIRLIĞI

BİR SİSTEMİN STATİK SEHİMİ İLE DOĞAL FREKANSI ARASINDAKİ BAĞLANTI:

$$W = \sqrt{g / \delta}$$

g = YER ÇEKİMİ İVMESİ (9.81 MM/SAN)

δ = STATİK SEHİM

- * Arızadan kaynaklanan diğer arızaların ortadan kalkması
- * Hurdaya ayrılan malzemenin azalması
- * Yedek parça stoklarının azalması
- * Onarım süresinin kısaltması
- * Teşhis için zaman harcanmaması - teşhisin önceden yapılması
- * İş duruşlarında azalma
- Üretimin artması
- * Makina ömrünün uzaması
- * Ürün kalitesinin artması
- * İşletme güvenliliğinin artması
- * Gürültü seviyelerinde düşüş
- * Malzemedен tasarruf
- * Gerekli malzeme temininde planlı çalışma

SONUÇ

Endüstrileşmiş ülkeler, bakımın ihmal edilmesinin ekonomik kayıplara neden olduğunu günümüzde fark etmeye başlamışlardır. Bu gerçek gelişmekte olan ülkeler için değerli bir ders olarak alınmalıdır. Amerika'yı yeniden keşfetmeye gerek yoktur. En geliştirilmiş ölçüme dayalı bilgisayar destekli kestirimci bakımı -Computer Based Predictive Maintenance- Türk sanayisini yaygın olarak kullanması gelişme için şarttır. Bu metodu uygulayarak ileri ülkelerde milyarlarca dolar tasarruf edilmektedir. Tasarrufa çok ihtiyacı olan ülkemizde de en kısa zamanda yaygın kullanıma geçilmelidir.

Duruş zamanının önemli bir bölümü o arızanın tanınmasına gitmektedir. Bilgisayar destekli kestirimci bakım uygulandığında bu teşhis zamanından tasarruf edildiğinden, kısa süreli bir duruş ile sorun çözümlenmekte ve üretim kaybı en düşük düzeyde tutulmaktadır. Masraftan tasarruf yapılmakta, işletme verimliliği artmaktadır. Amaç uygulamaya yönelik çalışmalarla Türk ekonomisine katkıda bulunmak, Türk sanayisinin gelişimine yardımcı olmaktır.

EFFECTS OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS ON MAINTENANCE PLANNING : COMPUTER AIDED PREDICTIVE MAINTENANCE

The purpose of this article is to introduce "Computer Based Predictive Maintenance" which is also new in the world. First the maintenance methods - Breakdown Maintenance / Preventive Maintenance / Predictive Maintenance - are explained. Then the importance of computer based predictive maintenance is imposed. Also the guidelines of implementing of predictive maintenance are discussed and compared with other techniques and methods.

KAYNAKÇA

- 1 Köse, R. Kubilay, Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Planlaması, 3. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı, 243-252, ODTÜ 1988.
- 2 Köse, R. Kubilay, Endüstriyel Tesislerin Bakım Planlamasında Yeni Bir Yöntem Kestirimci Bakım Planlaması, Mühendis ve Makina Dergisi, 24-30 Mart 1989, Sayı 350.
- 3 Predictive Maintenance Outlook, Computational Systems INC-CSI, Nov. 89; Au. 89; March 89; Sept. 89.
- 4 Trendsetter, CSI Computational Systems Inc., Jan. 1990.
- 5 Petersen, D, "Using Computer Based Instrumentation to Automate and Simplify Machinery Vibration Analysis" CSI Application Paper, 1989.
- 6 Peterson, D, "Vibration Alarm Methods in PDM Programs" CSI Application Paper, 1989.
- 7 CSI "Advance Machinery Vibration Seminar Folder".
- 8 Rockland "Machinery Vibration Diagnostic Guide".