

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SANTRALLERİNDE TİTREŞİM ANALİZİ İLE KESTİRİMCİ BAKIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel UYSAL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Dr.Öğr.Üyesi Ömer Kadir MORGÜL

Ağustos 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENERJİ SANTRALLERİNDE TİTREŞİM ANALİZİ İLE
KESTİRİMCİ BAKIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel UYSAL

Enstitü Anabilim Dalı

: MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı

: MAKİNE TASARIM VE İMALAT


Bu tez 26/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Recep KOZAN

Jüri Başkanı


**Dr. Öğr. Üyesi Ömer
Kadir MORGÜL**

Üye


**Prof. Dr. Yahya
ALTUNPAK**

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Veysel UYSAL

06.05.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitiminin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ömer Kadir MORGÜL'e ve tecrübelerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DAL hocama da teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii

BÖLÜM 1.

TİTREŞİM ANALİZİ İLE KESTİRİMCİ BAKIM.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Kestirimci Bakım	8
1.2.1. Tespit	8
1.2.2. Analiz ve teşhis	9
1.2.3. Düzeltme	9
1.3. Titreşimin Ölçülmesi ve Analizi	10
1.3.1. Titreşim parametreleri	10
1.3.2. Analiz teknikleri	12

BÖLÜM 2.

ENERJİ SANTRALİ	14
2.1. Giriş	14
2.2. Enerji Santrali Ana Ekipmanları	17
2.2.1. Birincil hava fanı (Primary Air (PA) fan)	17

2.2.2. Cebri çekme fanı (Induced Draft (ID) fan)	19
2.2.3. İkincil hava fanı (Secondary Air (SA) fan)	21
2.2.4. Besleme suyu pompası (Feed Water (FW) pump)	22
2.2.5. Türbin-Jeneratör grubu	24
2.3. Enerji Santrali Ana Ekipmanlarının Arıza Frekanslarının	
Hesaplanması	27
2.3.1. PA Fan arıza frekanslarının belirlenmesi	27
2.3.2. ID Fan arıza frekanslarının belirlenmesi	32
2.3.3. SA Fan arıza frekanslarının belirlenmesi	34
2.3.4. FWP arıza frekanslarının belirlenmesi	36
2.3.5. Türbin-Jeneratör grubu arıza frekanslarının belirlenmesi	66
BÖLÜM 3.	
TİTREŞİM ÖLÇÜM EKİPMANI VE ÖLÇÜMLERİN ALINMASI	40
3.1. PA Fan Titreşim Ölçümleri	43
3.1.1. PA Fan A titreşim ölçümleri	43
3.1.2. PA Fan B titreşim ölçümleri	50
3.2. ID Fan Titreşim Ölçümleri	64
3.2.1. ID Fan A titreşim ölçümleri	64
3.2.2. ID Fan B titreşim ölçümleri	69
3.3. SA Fan Titreşim Ölçümleri	73
3.3.1. SA Fan A titreşim ölçümleri	73
3.3.2. SA Fan B titreşim ölçümleri	78
3.4. FW Pompası Titreşim Ölçümleri	83
3.4.1. FW Pompası A titreşim ölçümleri	83
3.4.2. FW Pompası B titreşim ölçümleri	92
3.5. Türbin-Jeneratör Grubu (TJG) Titreşim Ölçümleri	101
3.5.1. TJG 1 nolu yatak titreşim ölçümleri	101
3.5.2. TJG 2 nolu yatak titreşim ölçümleri	103
3.5.3. TJG 3 nolu yatak titreşim ölçümleri	104
3.5.4. TJG 4 nolu yatak titreşim ölçümleri	105
3.5.5. TJG 5 nolu yatak titreşim ölçümleri	106

BÖLÜM 4.

SONUÇ VE ÖNERİLER 108

KAYNAKLAR 112

ÖZGEÇMİŞ 115



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AYK	: Akışkan yataklı kazan
FD	: Fourier dönüşümü
FWP	: Besleme suyu pompası (Feed Water Pump)
FFT	: Hızlı fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform)
ID Fan	: Cebri çekme fanı (Induced Draft Fan)
PA Fan	: Birincil hava fanı (Primary Air Fan)
SA Fan	: İkincil hava fanı (Secondary Air Fan)
TJG	: Türbin jeneratör grubu
1x	: Mil dönme hızının bir katı
f_n	: Mil dönme frekansı
f_{BPF}	: Kanat geçiş frekansı
f_{BPFO}	: Dış bilezik bilye geçiş frekansı
f_{BPFI}	: İç bilezik bilye geçiş frekansı
f_{BSF}	: Bilye dönme geçiş frekansı
f_{FTFI}	: Kafes geçiş frekansı
f_L	: Hat frekansı
f_p	: Kutup geçiş frekansı
f_{YF}	: Yağ filmi dengesizliği frekansı
f_{KY}	: Kaymalı yatak arıza frekansı
f_{GMF}	: Dişli kavrama frekansı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Harmonik titreşim(a) ve rastgele titreşim(b)	11
Şekil 1.2. Zaman-Frekans dönüşümü	13
Şekil 2.1. Enerji Santralinin şematik gösterimi	15
Şekil 2.2. PA Fanın şematik gösterimi	18
Şekil 2.3. PA Fanın resmi	19
Şekil 2.4. ID Fanın şematik gösterimi	20
Şekil 2.5. SA Fanın şematik gösterimi	22
Şekil 2.6. FW Pompasının şematik gösterimi	24
Şekil 2.7. Türbin-Jeneratör gurubunun şematik gösterimi	26
Şekil 2.8. Rulmanın şematik gösterimi	28
Şekil 2.9. Titreşim analiz programı içindeki SKF 23230 rulman arıza değerleri	30
Şekil 3.1. Commtest VB2000 FFT titreşim analizör cihazı	40
Şekil 3.2. Ekipman yatağından alınan titreşim ölçümünün gösterimi	41
Şekil 3.3. Yatak eksenden alınan titreşim ölçümünün gösterimi	41
Şekil 3.4. Dikey eksenden alınan titreşim ölçümünün gösterimi	42
Şekil 3.5. Eksenel eksenden alınan titreşim ölçümünün gösterimi	42
Şekil 3.6. PA Fan A motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	43
Şekil 3.7. PA Fan A motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	44
Şekil 3.8. PA Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-23.12.2015.....	45
Şekil 3.9. PA Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	45
Şekil 3.10. PA Fan A motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	46

Şekil 3.11. PA Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-19.02.2018	46
Şekil 3.12. PA Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	47
Şekil 3.13. PA Fan A fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği.	47
Şekil 3.14. PA Fan A fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	48
Şekil 3.15. PA Fan A fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	48
Şekil 3.16. PA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-26.03.2019	49
Şekil 3.17. PA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	50
Şekil 3.18. PA Fan B motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	50
Şekil 3.19. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	51
Şekil 3.20. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.03.2016	52
Şekil 3.21. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	52
Şekil 3.22. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-23.07.2016	53
Şekil 3.23. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	54
Şekil 3.24. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-28.12.2016	54
Şekil 3.25. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-28.12.2016	55
Şekil 3.26. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019.....	56
Şekil 3.27. PAFanB motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı(3000Hz) trend grafiği	56

Şekil 3.28. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	57
Şekil 3.29. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.03.2016	58
Şekil 3.30. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	58
Şekil 3.31. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-27.09.2016	59
Şekil 3.32. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği	60
Şekil 3.33. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-27.09.2016	61
Şekil 3.34. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	61
Şekil 3.35. PA Fan B fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	62
Şekil 3.36. PA Fan B fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	63
Şekil 3.37. PA Fan B fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	63
Şekil 3.38. PA Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-26.03.2019	63
Şekil 3.39. PA Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	64
Şekil 3.40. ID Fan A motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği	65
Şekil 3.41. ID Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019	65
Şekil 3.42. ID Fan A motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği	66
Şekil 3.43. ID Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019	66
Şekil 3.44. ID Fan A fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği.	67

Şekil 3.45. ID Fan A fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği- 24.04.2019	67
Şekil 3.46. ID Fan A fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafığı	68
Şekil 3.47. ID Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği- 24.04.2019	68
Şekil 3.48. ID Fan B motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafığı	69
Şekil 3.49. ID Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafığı-24.04.2019	70
Şekil 3.50. ID Fan B motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafığı	70
Şekil 3.51. ID Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği- 24.04.2019	71
Şekil 3.52. ID Fan B fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği.	71
Şekil 3.53. ID Fan B fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği- 24.04.2019	72
Şekil 3.54. ID Fan B fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafığı	72
Şekil 3.55. ID Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği- 24.04.2019	73
Şekil 3.56. SA Fan A motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafığı	74
Şekil 3.57. SA Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafığı-24.04.2019	74
Şekil 3.58. SA Fan A motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafığı	75
Şekil 3.59. SA Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafığı-24.04.2019	75
Şekil 3.60. SA Fan A fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	76
Şekil 3.61. SA Fan A fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği- 24.04.2019	76

Şekil 3.62. SA Fan A fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	77
Şekil 3.63. SA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-05.06.2017.....	77
Şekil 3.64. SA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	78
Şekil 3.65. SA Fan B motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	79
Şekil 3.66. SA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	79
Şekil 3.67. SA Fan B motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	80
Şekil 3.68. SA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	80
Şekil 3.69. SA Fan B fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	81
Şekil 3.70. SA Fan B fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	81
Şekil 3.71. SA Fan B fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	82
Şekil 3.72. SA Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019	82
Şekil 3.73. FWP A Booster pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	83
Şekil 3.74. FWP A Booster pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016	84
Şekil 3.75. FWP A Booster pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	84
Şekil 3.76. FWP A Booster pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016	85
Şekil 3.77. FWP A elektrik motoru arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	86

Şekil 3.78. FWP A elektrik motoru arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016	86
Şekil 3.79. FWP A elektrik motoru ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	87
Şekil 3.80. FWP A elektrik motoru ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016	87
Şekil 3.81. FWP A hidrolik kaplin aksenal eksen titreşim hızı (15000Hz) trend grafiği	88
Şekil 3.82. FWP A hidrolik kaplin aksenal eksen titreşim hız spektrum (15000Hz) grafiği-04.08.2016	89
Şekil 3.83. FWP A pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği	89
Şekil 3.84. FWP A pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-04.08.2016	90
Şekil 3.85. FWP A pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği	90
Şekil 3.86. FWP A pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-06.01.2013	91
Şekil 3.87. FWP A pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-04.08.2016	92
Şekil 3.88. FWP B Booster pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	92
Şekil 3.89. FWP B Booster pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015	93
Şekil 3.90. FWP B Booster pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	93
Şekil 3.91. FWP B Booster pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015	94
Şekil 3.92. FWP B elektrik motoru arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	95
Şekil 3.93. FWP B elektrik motoru arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015	95

Şekil 3.94. FWP B elektrik motoru ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	96
Şekil 3.95. FWP B elektrik motoru ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015	96
Şekil 3.96. FWP B hidrolik kaplin yatay eksen titreşim hızı (15000Hz) trend grafiği	97
Şekil 3.97. FWP B hidrolik kaplin yatay eksen titreşim hız spektrum (15000Hz) grafiği-01.09.2015	98
Şekil 3.98. FWP B pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği	98
Şekil 3.99. FWP B pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-01.09.2015	99
Şekil 3.100. FWP B pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği	99
Şekil 3.101. FWP B pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-31.03.2013	100
Şekil 3.102. FWP B pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-01.09.2015	101
Şekil 3.103. TJG 1 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	102
Şekil 3.104. TJG 1 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017	102
Şekil 3.105. TJG 2 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	103
Şekil 3.106. TJG 2 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017	104
Şekil 3.107. TJG 3 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	104
Şekil 3.108. TJG 3 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017	105
Şekil 3.109. TJG 4 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	105
Şekil 3.110. TJG 4 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017	106
Şekil 3.111. TJG 5 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği	107

Şekil 3.112. TjG 5 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği- 02.05.2017	107
Şekil 4.1. PA Fan elektrik akım kaynaklı yivlenmiş (6232) rulman arızası (electrical fluting)	109
Şekil 4.2. PA Fan elektrik akım kaynaklı yivlenmiş (NU232) rulman arızası (electrical fluting)	110
Şekil 4.3. PA Fan elektrik motor rotorunun mil üzerinden topraklanması	110



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. PA Fanın özellikleri	18
Tablo 2.2. ID Fanın özellikleri	20
Tablo 2.3. SA Fanın özellikleri	21
Tablo 2.4. FW Pompasının özellikleri	23
Tablo 2.5. Türbinin özellikleri	25
Tablo 2.6. Jeneratörün özellikleri	25
Tablo 2.7. PA Fan fan arıza frekansları (Hz)	27
Tablo 2.8. PA Fan SKF 23230 rulman arıza frekansları (Hz)	29
Tablo 2.9. PA Fan motor arıza frekansları (Hz)	31
Tablo 2.10. PA Fan motoru NU232 rulman arıza frekansları (Hz)	31
Tablo 2.11. PA Fan motoru 6232 rulman arıza frekansları (Hz)	32
Tablo 2.12. ID Fan fan arıza frekansları (Hz)	32
Tablo 2.13. ID Fan SKF 22238 rulman arıza frekansları (Hz)	33
Tablo 2.14. ID Fan motor arıza frekansları (Hz)	33
Tablo 2.15. ID Fan motoru NU234 rulman arıza frekansları (Hz)	34
Tablo 2.16. ID Fan motoru 6234 rulman arıza frekansları (Hz)	34
Tablo 2.17. SA Fan fan arıza frekansları (Hz)	34
Tablo 2.18. SA Fan SKF 22226 rulman arıza frekansları (Hz)	35
Tablo 2.19. SA Fan motor arıza frekansları (Hz)	35
Tablo 2.20. SA Fan motoru NU226 rulman arıza frekansları (Hz)	36
Tablo 2.21. SA Fan motoru 6226 rulman arıza frekansları (Hz)	36
Tablo 2.22. FWP Booster pompası arıza frekansları (Hz)	37
Tablo 2.23. FWP Elektrik motoru arıza frekansları (Hz)	37
Tablo 2.24. FWP Hidrolik kaplin süren dişli arıza frekansları (Hz)	38
Tablo 2.25. FWP Hidrolik kaplin sürülen dişli arıza frekansları (Hz)	38
Tablo 2.26. FWP Hidrolik kaplin çıkışı arıza frekansları (Hz)	38

Tablo 2.27. FWP ana pompa arıza frekansları (Hz)	39
Tablo 2.28. Türbin-Jeneratör grubu arıza frekansları (Hz)	39



ÖZET

Anahtar kelimeler: Kestirimci Bakım, Titreşim Analizi, Arıza Teşhisi

Makinelerde aniden oluşan beklenmedik arızalar üretim planını aksattığı gibi büyük maddi kayıplara da neden olmaktadır. Bu sebeple makinelerde kestirimci bakım önemli yer tutmaktadır. Kestirimci bakım yöntemlerinden en önemlisi ve en kapsamlısı titreşim analizi ile kestirimci bakımdır. Bu yöntemde ana prensip, üretim esnasında yapılan ölçmelerle makinelerin performansını izleyerek, ne zaman bakıma gerek olacağına karar verip, kısa bir zaman üretime ara vererek daha önceden tespit edilen arızayı onarmaktır. Bu yöntemde arıza önceden belirlenip kısa bir sürede onarıldığından üretim aksamasına ve finansal kayıplara yol açmaz.

Kestirimci bakım, kesintisiz üretimin önemli olduğu tesislerde önemli yer tutar. Özellikle enerji, çimento, demir-çelik ve kağıt sanayinde kullanılması, tesislerde üretim artmasına ve bunun sonucunda da büyük karlılıklara yol açar.

Bu çalışmada, enerji santrallerinde kullanılan makinelerde titreşim analizi kullanılarak kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla makinelerde periyodik olarak titreşim ölçümleri yapılmış, elde edilen titreşim verileri frekans analizi ile değerlendirilerek arızalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sırasında mekanik gevşeklik, rulman arızaları, fan kanat geçiş frekansı, dişli geçiş frekansı, kaymalı yatak arızaları ve elektriksel rulman arızaları tespit edilmiştir.

PREDICTIVE MAINTENANCE WITH VIBRATION ANALYSIS IN THE POWER PLANTS

SUMMARY

Keywords: Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Fault Diagnosis

The occurrence of sudden and unexpected defects in machinery not only hinders the production plan but also causes important pecuniary losses. For that reason, predictive maintenance takes an important part in machinery. The most important and comprehensive method for this is vibration analysis based on predictive maintenance. The main principle in his method is first to watch the performance of the machines with the measurements taken during the production, then to determine when the maintenance will be needed and to repair the defect determined before by having a short break in production. In this method, as the defect is determined beforehand and repaired in a short period, it doesn't cause any hindrance or financial losses during the production.

Predictive maintenance has an important role in factories where the continuous production is vital. That it is used especially in, power, cement, steel and paper industries provides the increase in production and as a result of this great benefits.

In this study, predictive maintenance is performed by using vibration analysis at machines hat are used in the power plants. For this purpose, periodical vibration measurements have been taken from machinery and these vibration data have been evaluated with the frequency analysis method and the failures have been tried to be determined. During the studies, mechanical looseness, bearing failure, fan blade pass frequency, gear pass frequency, journal bearing failure and electrical bearing fluting have been discovered.

BÖLÜM 1. TİTREŞİM ANALİZİ İLE KESTİRİMCİ BAKIM

1.1. Giriş

Bakım maliyetleri, toplam işletme maliyetlerini oluşturan etkenler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Kontrollü bakım yöntemleriyle, çalışan makine ve ekipman sistemlerinin ekonomik ömürleri uzatılarak üretim devamlılığı uygulanabilir. Günümüz işletmelerinde üretimin sürekliliği ve ürünlerin istenilen kalitede olması istenmektedir. Fakat bazen üretim sırasında ortaya çıkan istenmeyen arıza ve duruşlardan dolayı bu istek yerine getirilemeyebilir. Makinelerde üç türlü bakım yöntemi uygulanmaktadır. Bu bakım yöntemlerinden ilki makine arızalandığında arızalanmış parçanın değiştirilmesi şeklinde olan onarıcı (bozulunca) bakım olarak adlandırılır. İkinci yöntemde, makine elemanlarının çalışma ömürleri dikkate alınarak yapılan parça değişimi yani periyodik bakım yapılması yöntemi olan koruyucu bakımdır. Üçüncü yöntem ise titreşim, gürültü, yağ kalitesi, elektrik akımı gibi parametreleri takip ederek makine elemanlarındaki bozulmanın tahmin edilmesi yoluyla, gerektiğinde parça değiştirilmesi şeklinde olan kestirimci bakım yöntemidir. Günümüzde bu bakım yöntemi bakım, duruş ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi adına ilk iki klasik bakım tekniğinin yerine tercih edilmektedir.

Klasik onarıcı ve koruyucu bakım yöntemlerinde ya arıza çıktıkça bakım onarım yapılmakta ya da bir plan dahilinde üretime ara verilerek planlı bakım gerçekleştirilmektedir. Bu bakım yöntemlerinin dezavantajlarından en önemlileri üretime sık sık ara verilmesi, üretim kaybının fazla olması ve gereksiz yedek parça sarfiyatından dolayı bakım maliyetlerinin artmasıdır. Üretim sürecinde meydana gelebilecek arızaların önceden belirlenebilmesi hayati önem taşımaktadır. Kestirimci

bakımda, işletmelerdeki makineler belirli cihaz ve tekniklerle belirli noktalardan izlemeye alınır. Sistemde oluşabilecek arızalar önceden tespit edilerek eğilimleri incelenir ve gerekirse bakıma karar verilir. Kestirimci bakım yönteminin, bakım planlarının daha kolay ve net yapılabilmesi, makine ve ekipmanlardan en üst verimle faydalanabilmesi, arızalanan parçaların ömürlerinin arttırılabilmesi, yedek malzeme stoğunun azaltılabilmesi, bakım sürelerinin azaltılabilmesi ve yedek parça değişim maliyetlerinin azaltılması gibi avantajları vardır. Kestirimci bakım ile makine ve ekipmanlarda meydana gelebilecek arızalar önceden belirlenerek daha büyük arızaların olması önlenmektedir. Kestirimci bakım tekniklerinden olan titreşim analizi, genellikle dönel makinelerde tercih edilen bir bakım yöntemidir.

Titreşim, genel olarak tarif edilirse bir cismin denge konumu etrafında yaptığı salınım hareketidir. Makinelerin hareketli veya dönen parçaları ve bunlara bağlı olan ekipman yapılarındaki dinamik kuvvetler sonucunda titreşimler meydana gelir. Titreşim genellikle istenilmeyen bir durumdur. Fakat çok iyi tasarlanmış bir makinede bile çok azda olsa titreşim oluşur. Makineler çalışmaları sürecinde aşınır, zamanla aşınan parçalarda azda olsa şekil değişimleri meydana gelir ve dinamik özelliklerde değişimler olur. Makine parçaları arasındaki boşluklar değişir, dengesizlik, mekanik gevşeklik ve eksen ayarsızlıkları oluşur. Bunların sonucunda da titreşimde artış meydana gelir. Titreşimin artması ile makinelerin yapısında bazı rezonansları tetikleyerek parçalar üzerinde aşırı yüke neden olabilir. Böyle karşılıklı etkilemeler sonucunda titreşimler aşırı yüklerle neden olur, aşırı yükler de daha yüksek titreşimlerin oluşmasına neden olur.

Döner makinelerde arızaya sebep olan dengesizlik, aksenal kaçıklık, mekanik gevşeklik, dişli ve yatak hataları, mil eğrilikleri, kaplin ve yataklardaki ayarsızlıklar, montaj hataları, zamanla hassasiyetini kaybetmiş yataklar titreşim oluşturan etkenlerdir. Titreşime sebep olan kuvvetler, makine elemanının dairesel hareketleri esnasında belirli bir frekansta tekrar eder. Hataların kinematiğinden veya geometrik özelliğinden kaynaklanan karakteristik titreşim frekansları olduğundan arızanın kaynağının ve seviyesinin belirlenmesinde titreşim analizi önemli rol oynamaktadır.

Titreşim analiziyle yapılan kestirimci bakım uygulamasında, makine üzerinde belirli noktalardan uygun titreşim ölçüm cihazlarıyla periyodik ölçümler alınmaktadır. Bu ölçümler, analiz yazılımının bulunduğu bilgisayar ortamına alınarak çeşitli analiz teknikleri ile analiz edilir ve arızalar, başlangıç ve gelişim süreçlerinde tespit edilmeye çalışılır. Makine elemanlarının faydalı ömürlerini tam olarak kullanması hedeflenir. Bu süreçte gerektiğinde müdahale edilerek, gelişen arızanın daha ciddi problemlere yol açması önlenmektedir.

Günümüzde artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek için Enerji Santrallerinin sayısı giderek artmaktadır. Fakat bu ihtiyacı karşılayabilmek için Enerji Santrallerinin sayısı kadar mevcut olan santrallerinde en üst seviyede üretim yapması bir o kadar önemlidir. Bu üretimi yapabilmek için Enerji Santrali ana ekipmanlarının çalışması hayati önem taşımaktadır. Enerji Santrali ana ekipmanlarında oluşabilecek beklenmedik bir arıza üretimi azaltabilir veya komple durdurabilir.

Bu çalışmada, gücü 135MW olan bir Enerji Santralinde titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması incelenmiştir. Enerji Santralinin ana ekipmanları olan kazan hava fanları, besleme suyu pompaları, buhar türbini ve jeneratör üzerinden önceden belirlenen noktalardan alınan titreşimler, frekans ve tanım alanlarında araştırılarak titreşim eğilimleri belirlenmiştir. Titreşim eğilimlerinin incelenmesiyle, tespit edilen arızalara başlangıç ve gelişim sürecinde müdahale etmek amaçlanmış, gerekli görüldüğünde ise arızaya müdahale kararı verilmiştir. Eğilim grafiklerinden faydalanılarak, arıza seviyelerinin kabul edilemez seviyelere çıkma zamanları hakkında kestirim yapılmıştır.

Kestirimci bakım yöntemi ile arıza tespit ve analizini birçok araştırmacı ele almıştır.

Belek ve Güvenç çalışmalarında günümüzde kullanılmakta olan kestirimci bakım faaliyetini inceleyerek, bu yöntemi dinamik erken uyarıcı bakım olarak isimlendirmişlerdir. Bu bakım yönteminde, makinenin stratejik noktalarından alınan titreşim ölçümlerinin, arızaları daha oluşma aşamasında haber vererek makine performanslarının hep üst düzeyde tutulabileceğini belirtmişlerdir. Böylece üretim artışı sağlanacağı maliyetlerin düşeceği ve yedek parça yatırımının azalacağını vurgulamışlardır. Çalışmasında ayrıca ölçüm sistemlerine ve parametrelerine değinerek, erken uyarıcı bakım faaliyeti uygulayan tesislerden örnek pratik sonuçlara da yer vermişlerdir [1].

Köse ve Sümen çalışmalarında, bakım yöntemlerinin etkinliğini inceleyerek gelişim sürecindeki bakım anlayışlarını birbirleri ile mukayese etmişlerdir. Onarım anlayışının arıza olup zarar oluştuğundan sonra müdahale etmeyi öngördüğünden günümüzde kabul görmediğini belirtmişlerdir. Periyodik bakımın ise belirli süre aralıklarında ekipmanı kontrol etmek ve bu bulgulara göre bakım yapmak olduğundan daha fazla kaynak ihtiyacını ve her zaman doğru müdahalenin zamanında gerçekleşemediğini ifade etmişlerdir. Ancak son zamanlarda bu bakım anlayışlarının yerine doğru zamanda, doğru müdahale olanağı vermesi nedeniyle 'Kestirimci Bakım' felsefesinin tercih edilmeye başlandığını vurgulamışlardır [2].

McFadden ve Smith çalışmalarında, sabit yük altındaki bir rulmanın iç bileziğinde meydana gelen tekli ve çoklu hasarların oluşturduğu titreşimi belirtmek için bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Deneysel sonuçlar ile hesaplanan sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [3,4].

Altay çalışmasında, önleyici bakım amacıyla titreşim analizini incelemiştir. Titreşim mühendisliğinin, spektral analiz olarak tanımlanan, makine titreşimlerinin frekanslarına göre genliklerinin incelenerek arıza kaynaklarını tanımlama yöntemi ile arızaların başlangıcından itibaren gelişimini inceleyerek doğru zamanda müdahale edilmesini amaçladığını belirtmiştir [5].

Orhan çalışmalarında, dönen makinelerde oluşan mekanik gevşeklik, dengesizlik, eksen ayarsızlığı ve rulman arızalarının özelliklerini incelemiş ve bu arızaların neden oldukları titreşimleri araştırmıştır. Örnek olarak bir tesiste çalışan makinelerin oluşturduğu titreşim davranışlarını incelemiş ve dönen makinelerdeki arızaların titreşim analizi ile tespit edilebileceğini ifade etmiştir. Ayrıca rulman yataklı dönen makinelerin titreşim analiziyle kestirimci bakım uygulamasını yapmıştır [6,7].

Arslan ve Aktürk çalışmalarında, sağlam ve hasarlı durumdaki bilyeli rulmanlardaki bilyelerin titreşimlerini araştırmak için bir şaft rulman modeli geliştirmişlerdir. Şaft ve bilyelerin radyal eksenindeki hareket denklemleri bulunmuş ve bu denklemler bilgisayar programıyla farklı ön yükler için eş zamanlı olarak çözülmüştür. Simülasyon programından elde edilen bu sonuçları frekans ve zaman tanım bölgelerinde incelemişlerdir. Ön yük artışı ile bilyelerin daha fazla zaman yüklü bölgede kalarak daha fazla deformasyona uğradığını ve titreşim genliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Frekans spektrumlarında frekans zirveleri, rulman kafes frekansı ve katları, şaftın radyal yöndeki doğal frekansı ve bilyenin radyal yöndeki titreşim frekansında ortaya çıkmakta olduğunu belirtmişlerdir [8].

Karahan çalışmasında, bir demir çelik fabrikasında çalışan makinelerde titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulamasını yapmıştır [9].

Açıkel çalışmasında, sürekli form baskı makinesinde kestirimci bakım uygulamasını araştırmıştır. Makine üzerinde daha önceden belirlenmiş noktalardan yapılan titreşim ölçümlerini zaman ve frekans tanım bölgelerinde inceleyerek arıza tespiti ve seviyeleri hakkında kestirimde bulunmuştur [10].

Dal ve diğerleri çalışmalarında, titreşim analizi için “Orta Ölçekli Makinaların Titreşim Değerlendirme Standartları ISO-10816” tablosu kullanılarak oluşturulan

eğitim setini, Yapay Sinir Ağını (YSA) eğitmek için kullanmıştır. Eğitimden sonra elde edilen çıkış değerleri gerçek tablo değerleriyle karşılaştırılarak, titreşim analizinde kullanılabilirliği saptanmıştır [11,12].

Arslan ve diğerleri çalışmalarında, sağlam ve hasarlı durumdaki açısal temaslı bilyalı rulmanların titreşimini incelemek üzere bir şaft rulman modeli oluşturulmuştur. Modelde şaft rulman ikilisi kütle yay sistemi olarak modellenmiş ve ilave olarak bilyaların titreşimini incelemek için, bilyalarda kütleli olarak kabul edilmiştir. şaft ve bilyalar için hareket denklemleri elde edilmiş ve bu denklemler geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla radyal ve aksenal yönde çözülmüştür. Simülasyon programından şaft ve bilyalar için bulunan sonuçlar zaman ve frekans tanım bölgesinde incelenmiş ve rulman bilyalarının kütleli olarak kabul edilmesinin şaftın genel titreşimini pek fazla etkilemediği görülmüştür [13].

Kumar ve diğerleri çalışmalarında, dönen makinelerdeki dengesizlik arızasını araştırabilmek için bir rotor dzelenegi hazırlamışlar ve deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada beş farklı devirde rotoru dengesizlik durumunda ve dengesizlik arızası olmadığı durumda ayrı ayrı çalıştırıp titreşim hız ölümleri yapılmıştır. Yüksek titreşim değerlerinin nedenini tespit etmek için spektrum analizi ve faz analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı dengesizlik kuvvetlerinde ve farklı hızlarda gerçekleştirilen bu ölümler birbirleriyle karşılaştırılmıştır [14].

Orhan ve diğerleri çalışmalarında, mevcut olan titreşim analizi metodu ile rulman arızalarının belirlenmesi ele alınmıştır. Rulman titreşimleri, ölümü ve analizi zet olarak verilmiş, silindirik tip yuvarlanma elemanına sahip bir rulmanda oluşan dış bilezik hasarının titreşim analiziyle belirlenmesi [15].

Aktürk ve Gohar çalışmalarında, iki açısal bilyalı rulman ile yataklanmış bir mil rulman sisteminde bilya boyutundaki değişmenin milin aksenal ve radyal

titreşimlerine olan etkisini incelemişlerdir. Bunun için bir bilgisayar programı oluşturulmuş ve sonuçlar zaman ve frekans ortamında sunulmuştur. Ölçü dışı bilyaların kafes hızında ve harmoniklerinde titreşimler oluşturduğu görülmüştür [16].

Aktürk ve diğerleri çalışmalarında, açısız temaslı iki rulman ile yataklanmış mil rulman sisteminde aksel ve radyal titreşimleri incelemek için matematiksel model oluşturmuşlardır [17].

Çağlayan çalışmasında, pompalar üzerinden alınan titreşimlerin analiz edilerek pompa arızalarının tespit edilebileceğine değinmiştir. Pompalar üzerinde yapılan genellikle titreşim ivmesi ölçümü ve FFT yöntemleriyle pompanın titreşim imzasının elde edilerek, arızaların kaynaklarını bulmada büyük kolaylık sağladığını ifade etmiştir. Özellikle balans bozukluğu, kaplin ayarsızlığı, şase gevşekliği, ankraj zayıflığı, rulman arızaları, akış problemleri ve kavitasyon gibi pompalarda karşılaşılabilecek arızaların titreşim analizlerini tartışmıştır [18].

Köse çalışmasında, dönel makinaların sağlığı ile ilgili ayrıntılı bilgi için titreşim analizinin önemine değinmiştir. Titreşim verilerinin tek başına anlam ifade edemeyeceğini, verilerin birbiriyle etkileşimi ve neden sonuç ilişkisi ile analiz edilmesi gerektiğini belirtmiş, her arızanın fiziksel özelliklerine göre farklı frekanslarda kendini göstereceğini vurgulamıştır [19].

Orhan ve Aktürk çalışmalarında, aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesini incelemişler, bir kompresör dişli kutusunda yapılan uygulama çalışmasının sonuçlarını sunmuşlardır. Titreşimlerin dişli kutuları hatalarını belirlemede etkili bir araç olduğunu belirlemişlerdir [20].

1.2. Kestirimci Bakım

Bu bakım yönteminde, makine sağlığı için makinelerden ölçümler alınması ve gerektiğinde bakımın yapılması öncelikli amaçtır. Kestirimci bakımda geçmiş ölçümler ile birlikte son ölçümü bir bütün içinde eğilim çözümlemesi ile değerlendirilerek ileride olacak olası arızayı belirler. Buna “Eğilim Analizi” denir. Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması, makinelerin titreşim arıza frekanslarının hesaplanması, makinelerin titreşimlerinin ölçülmesi ve hesaplanan arıza frekanslarının ölçülen titreşim değerlerinde olup olmadığının tespit edilmesi olup eğer varsa titreşim şiddetinin kabul seviye sınırları içerisinde kalıp kalmadığının analizinden oluşmaktadır. Makineleri durdurmadan çalışırken takip ederek durumlarını izleyen bu yöntem, önlenbilir duruşları engelleyebileceği gibi, daha ömrünü tamamlamamış parça değişimlerini de engellemektedir. Arıza olacak bölgeler önceden belirlenebileceğinden, gelecek için bir bakım onarım programı yapılabileceği gibi, ani duruşlara neden olan arıza durumları da engellenebilmektedir. Kestirimci bakım programı üç adımdan oluşur: Tespit, analiz ve teşhis, düzeltme (bakım-onarım).

1.2.1. Tespit

Bakım programının ilk adımı problemin belirlenmesidir. Bu, makinenin titreşim seviyesini takip etmek ve bir artış olduğunda bu artışın neden kaynaklandığının araştırılması ile olur. Program dâhilindeki bütün makineler bu yöntemle periyodik veya sürekli olarak izlenmelidir. Makineler, kritikliğine göre farklı periyotlarda izlenmeli, çok kritik makineler ise sürekli olarak takip edilmelidir. Titreşim ölçümleri bir veri toplayıcı cihaz ile yapılır. Veri toplama cihazı ile uyumlu çalışan program kullanılarak ölçümü yapılacak makineler için tur oluşturulur. Kritik makinelerden, belirlenen nokta ve pozisyonda cihaz ile ölçümler alınır. Bilgisayar destekli uygulamada ölçümler cihaz hafızasında saklanır. Veri toplayıcı cihaz bilgisayara bağlanır ve hafızada saklanan ölçümler bilgisayara kaydedilir. Bilgisayar eğilim izleme grafiklerini kendisi çizer ve istenirse kritik noktaları çok kısa bir sürede çıktı olarak sunar. Titreşim değerlerindeki bir artış bir arıza başlangıcı

olabilir. Bu yüzden her artışın sebebi araştırılmalıdır. Çok kritik makinelerde (buhar ve gaz türbinleri, yüksek devirli santrifüj pompalar gibi) problemler çok çabuk oluşur ve herhangi bir uyarıya zaman kalmadan makine bozulabilir. Bu tip makinelerde otomatik sistemlerin kullanılması daha doğru bir uygulamadır.

1.2.2. Analiz ve teşhis

Titreşim ölçülüp, problem tespit edildikten sonra neden kaynaklandığını anlamak için analiz yapılır ve problemin asıl sebebi teşhis edilir. Bu da arızanın titreşim karakteristiğini inceleyerek yapılır. Günümüzde kullanılan titreşim ölçüm cihazlarının hemen hepsi zaman tanım bölgesi titreşim sinyallerini frekans tanım bölgesine dönüştürüp hafızada saklama özelliğine sahiptirler. Hem zaman tanım bölgesi, hem de frekans tanım bölgesi titreşim sinyalleri incelenerek arızanın kaynağı belirlenir. Ayrıca titreşim eğilim grafikleri yardımıyla arızanın gelişimi analiz edilerek muhtemel arızaya düzeltme (bakım onarım) kestirimi yapılmaya çalışılır.

1.2.3. Düzeltme

Analiz yapılarak teşhis edilen arıza, işletme çalışma programına göre değerlendirilir ve işletme şartlarına en uygun zaman için bir bakım planı programlanır. Gerekli yedek malzemeler, tamirat için gerekli alet ve teçhizat önceden hazır edilir. Arıza tespiti arıza çıkmadan önce yapıldığından zaman kaybedilmeden arızalı bölgeye ulaşılır ve hazırlanmış olan yedek parça değişimi ve bakımı yapılır. Bir işletmede kestirimci bakım uygulanmasının avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Duruşlar arası sürenin uzaması; bu durum üretimin artmasına ve bakım masraflarının düşmesine sebep olur.
2. Beklenilmeyen arızaların ortadan kalkması; güvenilirliğin ve üretimin artmasına neden olur.
3. Zamanında teşhis edilmeyen bir arızanın başka bir arızaya sebep olması önlenir.
4. Yedek parça stoklarının azalması
5. Onarım süresinin kısılması

6. Teşhis için zaman harcanmaması, teşhisin önceden yapılması
7. Makine ömrünün uzaması
8. Malzemedен tasarruf
9. Gerekli malzeme temininde planlı çalışma

1.3. Titreşimin Ölçülmesi ve Analizi

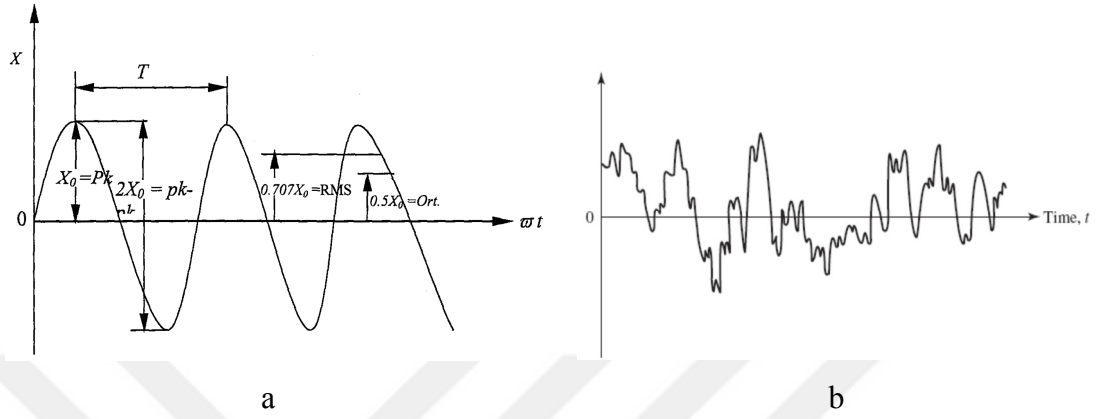
Titreşimlerin ölçülmesi ve analizlerinin yapılabilmesi için günümüzde çok çeşitli cihazlar mevcuttur. Elektronik ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birçok işlevi üzerinde bulunduran yazılımlarla da donatılmış titreşim cihazları mevcuttur. Bu cihazlarla titreşim analizi yapılabilmesi için, titreşim sayısı (frekans), titreşimin genliği ve titreşim genliği ile zorlayıcı kuvvet arasındaki faz farkı ölçülebilmektedir. Titreşim frekansı, bir makinede titreşim probleminin incelenmesinde en önemli bilgilerden biridir. Titreşimin frekansı, makinelerin üzerinden belirli noktalara (yatak, kaplin, rotor, şaft vb.) yerleştirilmiş titreşim ölçüm cihazları ile Hz veya d/d birimlerinde tespit edilir. Makine üzerinde bulunan parçaların her birinin çalışması, karakteristik frekanslarda titreşim oluşturarak sistemi etkiler. Ayrıca sistemde oluşan her mekanik arıza da ayrı bir titreşim frekansı oluşturmaktadır. Yapılan analiz çalışmalarında, her frekans türünün hangi problemde ve nereden kaynaklandığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu işleme spektral analiz de denilmektedir. Spektral analiz, makine titreşimlerinin frekanslarına göre genliklerinin incelenerek, arıza kaynaklarını tanımlama yöntemi ile arızaların başlangıcından itibaren gelişimini inceler ve doğru zamanda müdahale edilmesini amaçlar.

1.3.1. Titreşim parametreleri

Çalışmanın bu bölümünde, titreşim analizinde kullanılan titreşimle ilgili terimler ve titreşim parametreleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Titreşimin en basit türü harmonik titreşimdir. Harmonik titreşimde yer değiştirme ile zaman ilişkisi şu şekilde ifade edilir.

$$X=X_0\sin(\omega t)$$

Burada X_0 yer değiştirme genliğidir. Harmonik titreşim ve parametrelerin gösterimi Şekil 1.1.'de gösterilmiştir. Titreşim hareketini oluşturan ana değişkenler periyot(T), frekans(f), açısal hız(ω), faz açısı(Φ) ve yer değiştirme genliği(X_0) 'dir.



Şekil 1.1. Harmonik titreşim(a) ve rastgele titreşim(b) [22]

Harmonik değişimlerdeki frekans, periyot, faz açısı, genlik gibi kavramlar bilinmektedir. Bunların dışında rastgele titreşimlerin yer değiştirme, hız ve ivme değerlerinin yanısıra mekanik değerlendirme parametreleri olarak kuvvet ve basınç değerlerinin sayısallaştırılıp değerlendirilmesi için RMS (bir sinyalin t1 ile t2 zaman aralıklarında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının karekökü) kullanılır. Harmonik değişimde genliğin yaklaşık olarak $RMS = 0.707 \times$ Tepe değer ifadesi olarak hesaplanır.

Açısal hız veya frekans değerleri olarak ana mil devir sayısının katları (order) ve ivme değerleri olarak yer çekimi ivmesinin (g) katları kullanılır.

Rezonans, her nesnenin veya sistemin doğal frekanslarında uyarılması sonucunda ortaya çıkan durumdur. Her nesnenin doğal frekansları vardır. Eğer nesne doğal frekansında uyarılırsa, bu nesne çok düşük bir uyarı seviyesinde bile çok yüksek titreşim seviyelerine ulaşır. Makinelerin çalışma hızları bu frekanslarla çakıştığında ölçümlerde genliklerin yükseldiği gözlenir. Çalışan parçalar zamanla değişimlere ve bozulmalara uğrarlar bu değişimler öz frekanslarında değişimlere sebebiyet verir ve genlik yükselmesi olarak gözlenir.

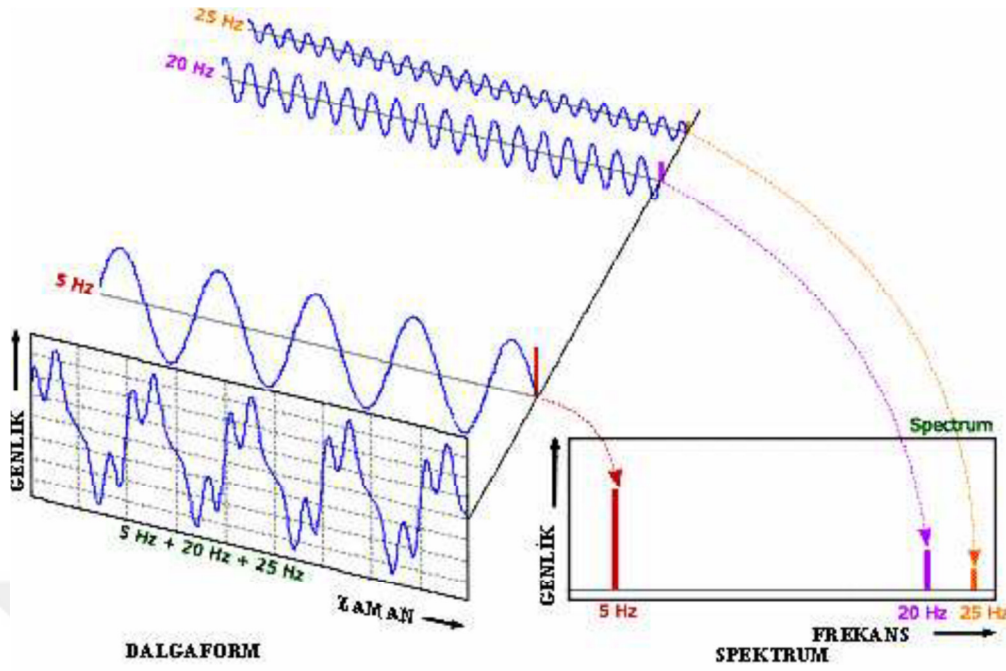
1.3.2. Analiz teknikleri

Hata tespiti için kullanılan sinyal analiz yöntemleri temel olarak üç alanda incelenebilir, bunlar zaman tanım bölgesi analizleri, frekans tanım bölgesi analizleri ve zaman/frekans tanım bölgesi analizleridir.

Bu yöntemlerin sonucunda genellikle tek bir sayısal değer elde edildiğinden bu yöntemlere skaler göstergeler adı verilir. Titreşim genliği, karelerin ortalamasının karekökü, crest faktörü ve kurtosis zaman tanım bölgesi analiz teknikleri bunlardan bazılarıdır.

Hata oluşumuyla birlikte titreşim sinyalinin yapısı ve genlikleri değiştiği için zaman tanım bölgesi teknikleri genellikle çalışma ömrü boyunca sürekli takip edildiğinde anlam kazanır buna trend eğrileri denir. Bir ölçüm süresinde alınan RMS değerleri ölçüm aralıklarında işaretlenerek trend eğrileri oluşturulur.

Frekans tanım bölgesi, titreşim sinyallerinin frekans içeriğini incelemek için kullanılır. Zaman sinyalinin Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) analizi ile frekans bileşenlerine ayrılmasıdır. FFT ile yapılan frekans dönüşümüne frekans spektrumu denir. Şekil 1.2.'de frekans spektrumunun oluşumu görülmektedir [10].



Şekil 1.2. Zaman-Frekans dönüşümü [10]

Bu trend grafiğinde yüksek değerlerin görüldüğü tarihteki ölçümlerin FFT ile muhtemel arıza frekansları ve kaynağı tahmin edilir.

Rastgele titreşimler kaynağında birçok harmonik hareketin toplamı şeklinde oluşur. Bu rastgele titreşimler Fourier dönüşümü ile ayrıştırıldığında her bir harmoniğin frekansı ve genliği hesaplanır. Bu genliklerin yüksek gözüktüğü frekanslar muhtemel arıza frekanslarıdır.

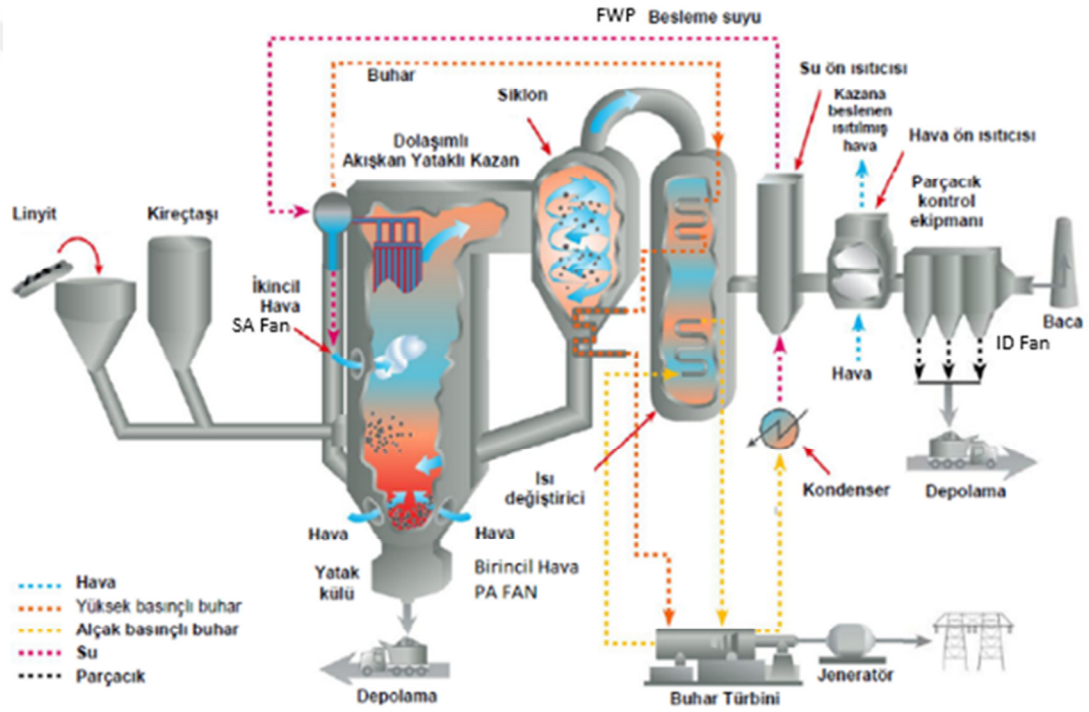
BÖLÜM 2. ENERJİ SANTRALİ

2.1. Giriş

Bu çalışmada, Enerji Santralinde (135 MW) titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması amaçlanmıştır. Enerji Santralinin ana ekipmanları belirlenmiş ve bu ekipmanların titreşim arıza frekansları hesaplanmıştır. Makinelerin üzerinde önceden belirlenen noktalardan alınan titreşimler, zaman ve frekans tanım bölgesinde incelenerek titreşimlere ait eğilimler belirlenmeye çalışılmıştır. Titreşim eğilimlerinin incelenmesiyle, tespit edilen arızalara başlangıç ve gelişim sürecinde müdahale etmek amaçlanmıştır, gerekli görüldüğünde ise arızaya müdahale kararı verilmiştir. Eğilim grafiklerinden faydalanılarak, arıza seviyelerinin kabul edilemez seviyelere çıkma zamanları hakkında kestirim yapılmıştır. Tespit edilen arızalara müdahale edilerek arızalar giderilmeye çalışılmış ve kestirimci bakım uygulanmaya çalışılmıştır.

İncelediğimiz Enerji Santrali 135MW gücünde olup Enerji Üretim Sistemleri içerisinde Katı Yakıtlı Termik Santraller grubunda yer almakta olup yakıt olarak kömür kullanılmaktadır. Elektrik enerjisine dönüştürülecek olan termik enerjiyi üretebilmek için kömür buhar kazanlarında yakılır. Buhar kazanı bir fırın ile etrafında bulunan boru demetlerinden oluşur. Boruların içinden geçen su, burada ısıtılır ve buhar fazına geçer ve buhar kızdırıcılarında sıcaklığı yükseltilecek kızgın buhar olarak türbinlere gönderilir. İlk olarak yüksek basınç türbinine yollanan buhar, türbin kanatlarına çarparak geçerken türbini döndürerek kısmen genişler. Bu ilk aşamadan geçen buhar halen enerjisinin bir bölümünü korumaktadır. Bu buhar, ayrı bir devre aracılığıyla tekrar kazan bölgesine gönderilir ve tekrar ısıtılır. Buradan tekrar kızgın buhar olarak orta basınç türbinine gönderilir. Buhar, orta basınç türbin kanatlarına çarparak geçerken türbini döndürür ve buradan düşük basınç türbinine geçer. Düşük basınç türbininden geçen buhar, enerjisini kaybederek tam olarak

genişler ve yoğuşturucuya (kondensere) dökülür. Yoğuşturucu, buharın tekrardan suya dönüştürüldüğü soğuk bir kaynaktır. Buhar burada, içinden soğutma suyunun geçtiği çok sayıdaki küçük çaplı borulara çarparak yeniden suya dönüşür. Sonra yeniden pompalar ile basılarak çevrime sokulur. Böylece tekrar yeni çevrim başlar. Su yeniden buhar kazanına gider, burada ısınır ve tekrar buharlaştırılır, kızdırıcılarda buhar kızdırılarak yeniden türbinlere doğru yollar. Türbinlerdeki mekanik enerji ise jeneratör sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülür. Elektrik son olarak büyük bir transformatör vasıtasıyla gerilimi yükselttilerek genel iletim hatlarına verilir. Şekil 2.1.'de Enerji Santrali şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Enerji Santralini şematik gösterimi [23]

Enerji Santralini ana bölümleri Kazan ve Türbin bölümleridir. Kazan bölümü, buhar kazanı ve ekipmanlarından oluşmaktadır. Buhar Kazanı tipi Akışkan Yataklı Kazan (AYK) dır. Akışkan Yatak prosesinin tanımı isse, bir kolon içinde yığılı durumda bulunan taneciklerin teşkil ettiği yatak bölgesine alttan düşük bir hızla hava verildiğinde, hava tanecikler üzerinde fazla kuvvet uygulayamaz ve tanecikler arasındaki boşluklardan yukarı hareket eder. Bu durum taneciklerin hareket etmediği sabit yatak durumudur. Hava hızı yükseltildikçe, hava taneciklere daha fazla kuvvet

vererek, taneciklerin arasındaki yerçekiminden kaynaklanan kuvvetleri azaltır. Hız daha da yükseltildiğinde, taneciklerin üzerindeki kaldırma kuvveti ile yer çekimi kuvvetini dengeler böylece yukarı doğru akan havanın içinde taneciklerin asılı kalmasını sağlar. Böylece yatağı oluşturan tanecikler akışkan özelliklerini sergilemeye başlamıştır ve bu durum minimum akışkanlaşma koşulu, bunu sağlayan hava hızı da minimum akışkanlaşma hızıdır [23]. Bunun için Akışkan Yataklı Kazanların en önemli ekipmanları ana hava fanlarıdır. Bu fanlar sayesinde akışkan yatak oluşturulur, yanma kontrol edilir ve dolaşım döngüsü gerçekleştirilir. Bu hava fanları ise Birincil Hava Fanı (Primary Air (PA) Fan), Baca Fanı (Induced Draft (ID) Fan), İkincil Hava Fanı (Secondary Air (SA) Fan), Kömür Dağıtım Hava Fanı (Coal Distribution Air (CDA) Fan) 'dır. Türbin bölümü ise Türbin-Generatör grubu ve ekipmanlarından oluşmaktadır. Türbin, içerisinden geçen buharın basıncına göre Yüksek Basınç Türbini (High Pressure (HP) Turbine) , Orta Basınç Türbini (Intermediate Pressure (IP) Turbine) ve Alçak Basınç Türbini (Low Pressure (LP) Turbine) olmak üzere 3 adet türbinden oluşmaktadır. HP ve IP Türbin aynı rotor üzerinde olup LP Türbin rotoru ile rijit kaplin aracılığıyla birbirine bağlıdır. LP Türbin rotoru ile jeneratör rotoru ise yarı esnek kaplin aracılığıyla birbirine bağlıdır. Bu şekilde Türbin-Jeneratör grubu 3 rotorun birbirine bağlanması ile tek şaft olarak çalışmaktadır. Bu grup toplam 5 adet yatak ile yataklanmıştır. Bir diğer ana ekipman ise Besleme Suyu Pompası (Feed Water (FW) Pump) 'dır. Bu pompalar Kazana besleme suyunu yüksek basınca çıkararak basarlar ve çevrimi gerçekleştirirler.

Enerji Santrali ana ekipmanları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

1. Birincil Hava Fanı (Primary Air (PA) Fan)
2. Cebri Çekme Fanı (Induced Draft (ID) Fan)
3. İkincil Hava Fanı (Secondary Air (SA) Fan)
4. Besleme Suyu Pompası (Feed Water (FW) Pump)
5. Türbin-Generatör Grubu

Bu ekipmanlar Enerji Santrali için hayati önem taşımaktadır. Çünkü bu ekipmanlardan bir tanesinin durması, çalışmaması sistemden %30-35 oranında yük düşümüne veya sistemin komple durmasına neden olacaktır. Bu sebepten dolayı bu

ekipmanlar devamlı hazır, çalışır durumda olmak zorundadır. Bunun için bu ekipmanların titreşim (vibrasyon) ve sıcaklık değerleri canlı olarak 24 saat işletme kumanda bilgisayarlarından takip edilmektedir. Bu titreşim ve sıcaklık değerlerinin koruma limit değerleri belirlenmiştir. Bunlar alarm değeri ve durdurma (trip) değeridir. Alarm değeri, kontrol edilen değer istenilmeyecek seviyeye geldiğini, tehlike yarattığını, acil kontrol edilmesini veya gerekiyorsa kontrollü olarak ekipmanın durdurulmasını gösteren değerdir. Durdurma (trip) değeri ise, kontrol edilen değer kabul edilemez seviyeye çıktığını gösterir ve bu ekipmanı kontrolsüz bir şekilde otomatik olarak durdurur. Bir ekipmanın kontrolsüz olarak durması sistemi komple tehlikeye sokabilir ve sistemin komple durmasıyla sonuçlanabilir. Bunun için bu limit değerlerinin mümkün olduğunca altında çalışmak ve ekipmanları kestirimci bakım uygulamasıyla takip ve kontrol etmek çok önemlidir. Ekipmanların kestirimci bakımını yapabilmek içinde periyodik olarak titreşim ölçümlerinin alınarak titreşim analizlerini yapmak gerekir. Bu ekipmanların titreşim değerleri canlı olarak 24 saat işletme kumanda bilgisayarlarından takip edilmektedir. Ayrıca aylık periyodik olarak ekipmanların titreşim ölçümleri alınarak titreşim spektrum analizleri yapılmaktadır. Ekipmanların arıza frekansları hesaplanmış olup alınan titreşim ölçümleri ile incelenerek arızalar için kestirim yapılmaktadır.

2.2. Enerji Santrali Ana Ekipmanları

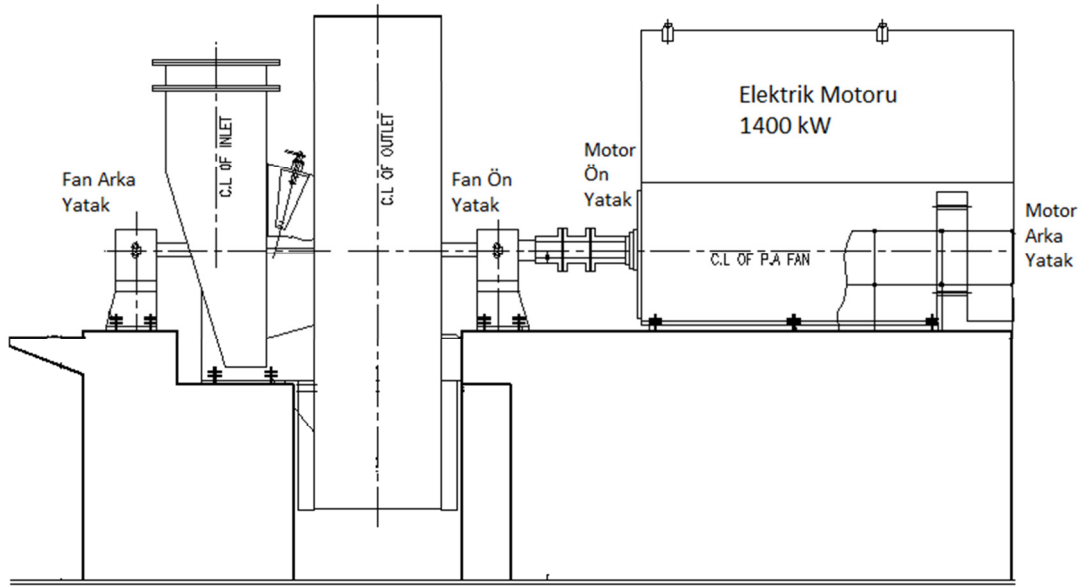
2.2.1. Birincil hava fanı (Primary Air (PA) fan)

Dış ortamdan aldığı havayı kazan tabanından kazan içine basar. Hava önce hava ön ısıtıcılardan geçerek sıcaklığı yaklaşık 250 °C 'ye yükseltilir. Isınan hava daha sonra kazan tabanındaki nozullardan geçerek kazan içine basılır. Böylelikle kazan tabanındaki yatak malzemesini (kum, kül, kömür, kireç) hareketlendirerek akışkan yatak oluşumunu sağlar. Kazan akışkan yatak oluşumu ve kazan yatak basıncı bu fanlarla kontrol edilir. Sistemde 2 adet PA Fan vardır. Bunlar PA Fan A ve PA Fan B olarak adlandırılır. Enerji Santrali devredeyken ikisi de çalışır durumdadır. İki fandan bir tanesi devre dışı kaldığında kazana basılan birincil havanın yetersiz kaldığından dolayı sistemden %30-35 oranında yük düşülür. Enerji Santralinin kapasitesi %30-35

oranında yani 135MW tan 90-95MW 'a düşer. İki fanda devreden çıkar ise sistem komple durur, çalışmaz. Sistemin çalışması için en az bir tane PA Fanın çalışması gerekmektedir. Sistemin tam yükte çalışması içinse iki PA Fanın da çalışması gerekmektedir. PA Fanın özellikleri Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. Şekil 2.2.'de PA Fan şematik olarak, Şekil 2.3.'de de resim olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.1. PA Fanın özellikleri [24]

Özellik	Birim	Açıklama
Elektrik Motor Gücü	kW	1400
Elektrik Motor Devri	d/dk	1496
Elektrik Motor Voltajı	V	6000
Fan Tipi	-	Tek emişli santrifüj fan
Fan Basıncı	kPa	24
Fan Debisi	m ³ /h	150.000
Fan Devri	d/dk	1496
Fan Hava Sıcaklığı	°C	20
Fan Yatak Sıcaklık Limitleri	°C	Alarm değeri:85°C, Durdurma değeri:90°C
Fan Yatak Titreşim Limitleri	mm/s	Alarm değeri:6,3mm/s, Durdurma değeri:7,1mm/s
Yataklama Sistemi	-	Rulmanlı yatak
Fan Rulmanları	-	SKF 23230 – 2 adet
Motor Rulmanları	-	SKF NU232 – 2 adet, 6232 – 1 adet



Şekil 2.2. PA Fanın şematik gösterimi [24]



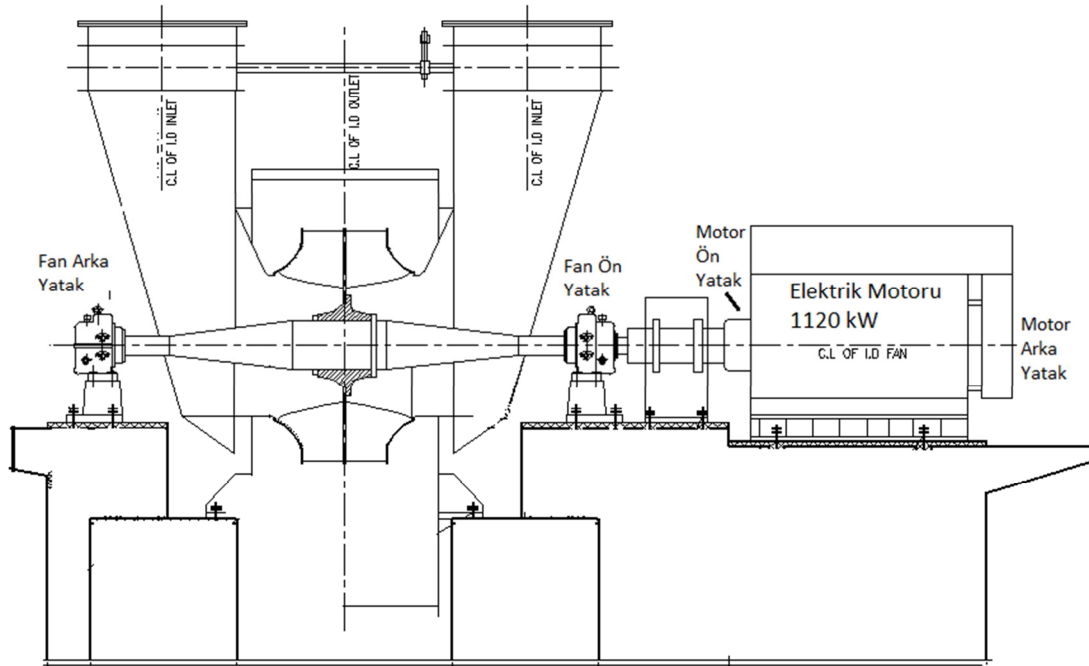
Şekil 2.3. PA Fanın resmi

2.2.2. Cebri çekme fanı (Induced Draft (ID) fan)

Kazanda yanma sonucu oluşan baca gazını kazandan çekerek bacadan atılmasını sağlar. Baca fanı olarak da adlandırılır. Kazan çıkış basıncı bu fanlar ile kontrol edilir. Sistemde 2 adet ID Fan vardır. Bunlar ID Fan A ve ID Fan B olarak adlandırılır. Enerji Santrali devredeyken ikisi de çalışır durumdadır. İki fandan bir tanesi devre dışı kaldığında kazandan çekilmesi gereken baca gazı yeterli seviyede çekilemeyeceğinden dolayı sistemden %30-35 oranında yük düşülür. Enerji Santralinin kapasitesi %30-35 oranında yani 135MW tan 90-95MW 'a düşer. İki fanda devreden çıkar ise sistem komple durur, çalışmaz. Sistemin çalışması için en az bir tane ID Fanın çalışması gerekmektedir. Sistemin tam yükte çalışması içinse iki ID Fanın da çalışması gerekmektedir. ID Fanın özellikleri Tablo 2.2.'de gösterilmiştir. Şekil 2.4.'de ID Fan şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.2. ID Fanın özellikleri [25]

Özellik	Birim	Açıklama
Elektrik Motor Gücü	kW	1120
Elektrik Motor Devri	d/dk	996
Elektrik Motor Voltajı	V	6000
Fan Tipi	-	Çift emişli santrifüj fan
Fan Basıncı	kPa	6
Fan Debisi	m ³ /h	450.000
Fan Devri	d/dk	996
Fan Hava Sıcaklığı	°C	130
Fan Yatak Sıcaklık Limitleri	°C	Alarm değeri:85°C, Durdurma değeri:90°C
Fan Yatak Titreşim Limitleri	mm/s	Alarm değeri:6,3mm/s, Durdurma değeri:7,1mm/s
Yataklama Sistemi	-	Rulmanlı yatak
Fan Rulmanları	-	SKF 22238 – 2 adet
Motor Rulmanları	-	SKF NU234 – 2 adet, 6234 – 1 adet



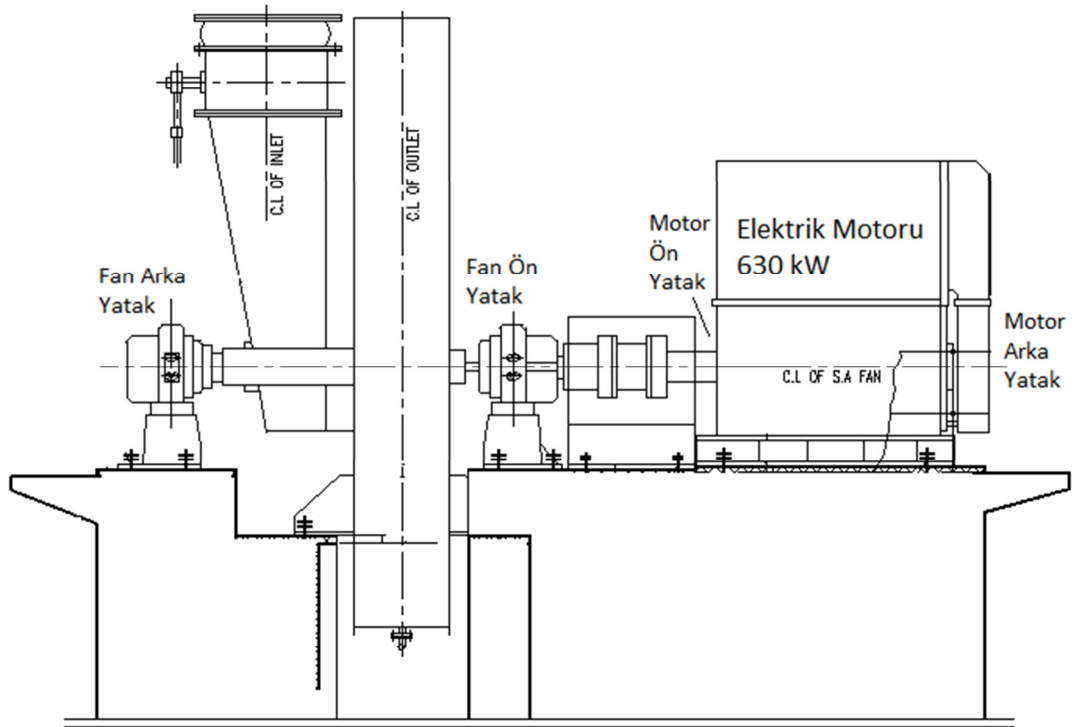
Şekil 2.4. ID Fanın şematik gösterimi[25]

2.2.3. İkincil hava fanı (Secondary Air (SA) Fan)

Dış ortamdan aldığı havayı kazan ocak içi yanma odasına basar. Hava önce hava ön ısıtıcılardan geçerek sıcaklığı yaklaşık 250 °C 'ye yükseltilir. Isınan hava daha sonra 32 adet farklı noktadan kademeli olarak kazan ocak içi yanma odasına yanma havası olarak basılır. Kazandaki yanma ve oksijen oranı bu fanlar sayesinde kontrol edilir. Sistemde 2 adet SA Fan vardır. Bunlar SA Fan A ve SA Fan B olarak adlandırılır. Enerji Santrali devredeyken ikisi de çalışır durumdadır. İki fanda devreden çıkar ise sistem komple durur, çalışmaz. Sistemin çalışması için en az bir tane SA Fanın çalışması gerekmektedir. SA Fanın özellikleri Tablo 2.3.'de gösterilmiştir. Şekil 2.5.'de SA Fan şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.3. SA Fanın özellikleri [26]

Özellik	Birim	Açıklama
Elektrik Motor Gücü	kW	630
Elektrik Motor Devri	d/dk	1496
Elektrik Motor Voltajı	V	6000
Fan Tipi	-	Tek emişli santrifüj fan
Fan Basıncı	kPa	14
Fan Debisi	m ³ /h	90.000
Fan Devri	d/dk	1496
Fan Hava Sıcaklığı	°C	20
Fan Yatak Sıcaklık Limitleri	°C	Alarm değeri:85°C, Durdurma değeri:90°C
Fan Yatak Titreşim Limitleri	mm/s	Alarm değeri:6,3mm/s, Durdurma değeri:7,1mm/s
Yataklama Sistemi	-	Rulmanlı yatak
Fan Rulmanları	-	SKF 22324 – 2 adet
Motor Rulmanları	-	SKF NU226 – 2 adet, 6226 – 1 adet



Şekil 2.5. SA Fanın şematik gösterimi [26]

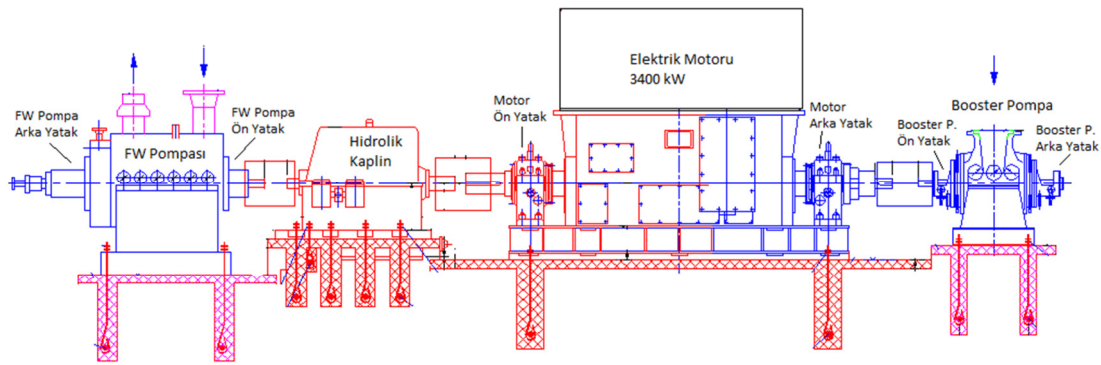
2.2.4. Besleme suyu pompası (Feed Water (FW) pump)

Besleme suyu tankından (dearator) aldığı suyu yüksek basınca çıkararak ısıtıcılardan geçirdikten sonra kazan besleme suyu olarak kazan drum a basarlar. Kazanın ihtiyaç duyulan buharı üretmesi için gereken suyu bu pompalar yüksek basınca çıkararak basarlar ve su buhar çevrimi yüksek basınca çıkararak başlatırlar. Sistemde 2 adet FW Pompası vardır. Bunlar FW Pompası A ve FW Pompası B olarak adlandırılır. Enerji Santrali devredeyken bu pompalardan bir tanesi çalışır durumda ve diğeri yedek durumdadır. İki pompada devreden çıkar ise sistem komple durur, çalışmaz. Sistemin çalışması için en az bir tane FW Pompasının çalışması gerekmektedir. FW pompası dört bölümden oluşur. Bunlar Elektrik motoru, booster pompası, hidrolik kaplin ve ana pompadır. Elektrik motoru bir taraftan booster pompasına direkt bağlı olup diğertaraftan da ana pompaya hidrolik kaplin ile bağlıdır. Elektrik motoru ve booster pompası 1490 d/dk hız ile dönmektedir. Besleme suyunu ilk önce Booster pompası ön basınçlandırma yaparak ana pompaya basar. Ana pompanın dönme hızı ise hidrolik kaplin ile ayarlanır. Kazanın ihtiyaç duyduğu besleme suyuna göre ana

pompanın hızı ayarlanarak istenilen besleme suyu debisi ve basıncı sağlanır. FW Pompasının özellikleri Tablo 2.4.'de gösterilmiştir. Şekil 2.6.'de FW pompası şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 2.4. FW Pompasının özellikleri [27]

Özellik	Birim	Açıklama
Elektrik Motor Gücü	kW	3400
Elektrik Motor Devri	d/dk	1496
Elektrik Motor Voltajı	V	6000
Motor Yataklama Sistemi		Babit kaymalı yatak
Booster Pompa Tipi		Tek kademeli santrifüj pompa
Booster Pompa Devri	d/dk	1496
Booster Pompa Basıncı	MPa	1,3
Booster Pompa Debisi	m ³ /h	494
Booster Pompa Yataklama Sistemi		Babit kaymalı yatak
Hidrolik Kaplin Gücü	kW	3400
Hidrolik Kaplin Giriş Devri	d/dk	1496
Hidrolik Kaplin Çıkış Devri	d/dk	5600
Hidrolik Kaplin Max. Devri	d/dk	5820
Hidrolik Kaplin Hız Ayar Oranı	%	20-97
Hidrolik Kaplin Süren Dişli Diş Sayısı		140
Hidrolik Kaplin Sürülen Dişli Diş Sayısı		36
Hidrolik Kaplin Yataklama Sistemi		Babit kaymalı yatak
FWP Pompa Tipi		5 kademeli santrifüj pompa
FWP Pompa Devir Aralığı	d/dk	1200-5600
FWP Pompa Devri (Tam Yük)	d/dk	5560
FWP Pompa Basıncı	MPa	17,3
FWP Pompa Debisi	m ³ /h	484
FWP Pompa Yataklama Sistemi		Babit kaymalı yatak
Yatak Sıcaklık Limitleri	°C	Alarm değeri:80°C, Durdurma değeri:90°C
Yatak Titreşim Limitleri	mm/s	Alarm değeri:6,3mm/s, Durdurma :7,1mm/s



Şekil 2.6. FW Pompasının şematik gösterimi [27]

2.2.5. Türbin-Jeneratör grubu

Buhar türbini, süper yüksek basınçlı, ara ısıtmalı, tek şaft, çift silindir ve çift çıkışlı, yoğuşmalı tip türbindir. Türbin, içerisinden geçen buharın basıncına göre Yüksek Basınç Türbini (High Pressure (HP) Turbine), Orta Basınç Türbini (Intermediate Pressure (IP) Turbine) ve Alçak Basınç Türbini (Low Pressure (LP) Turbine) olmak üzere 3 adet türbinden oluşmaktadır. Karakteristiği, yüksek ve orta basınç silindirlerinin kombinasyonudur ve akış bölümleri boyunca tersinir dönme düzenindedir. Yeni buhar ve tekrar ısıtılmış buhar girişleri yüksek ve orta basınç silindirlerinin orta kısmında toplanır ve böylece rotor ve silindir ısıl gerilimini ve ön, arka yatakların çalışma sıcaklığını azaltır. Düşük basınç silindiri radyal dağılımlı çift çıkışlı silindiridir. Böylelikle ünite şaft ebadı kısalmış ve aynı zamanda çıkış direnci büyük bir genişliğe azaltılır. Turboset şaft üç noktadan desteklenir. HP, IP rotorları LP ile rijit kaplinler aracılığıyla bağlanır. Bu yapı kararlı yükte işletmede her bir yatak için avantajdır. LP rotoru jeneratörle yarı esnek kaplin aracılığıyla bağlanır. Türbin rotoru, ölü nokta (sabit nokta) olarak bilinen orta şaft kaidesi thrust yatağından ileri ve geri genişler ve büzülür. IP ve HP silindirler, ölü nokta olarak bilinen orta yatak kaidesi dikey ve yatay geçiş noktasından ileri doğru genişler ve büzülür. Ön kaide desteği mutlak genişleme göstergesi ile ayarlanmıştır. Toplam silindir genişleme değeri 20-22mm'dir. LP silindir, ölü nokta olarak LP dış silindir önünden geriye doğru genişler. Türbin toplam uzunluğu 13.5m'dir. Türbinin özellikleri Tablo 2.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Türbinin özellikleri [28]

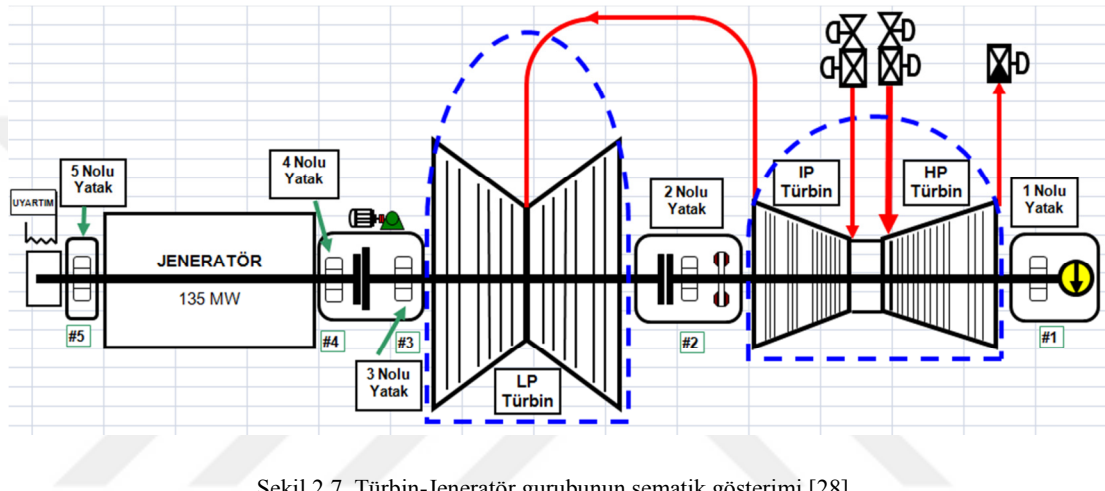
Özellik	Birim	Açıklama
Güç	MW	135
Ana Buhar Kapasitesi	t/h	400
Ana Buhar Basıncı	MPa	13.24
Ana Buhar Sıcaklığı	°C	535
HP Türbin Çıkış Basıncı	MPa	2,53
HP Türbin Çıkış Sıcaklığı	°C	315
HP Türbin Çıkış Kapasitesi	t/h	327
Kızdırılmış Buhar Basıncı	MPa	2,27
Kızdırılmış Buhar Sıcaklığı	°C	535
LP Türbin Çıkış Basıncı	kPa	4,9
Rotor Devri	d/dk	3000
Yataklama Sistemi		Babit kaymalı yatak
Yatak Sıcaklık Limitleri	°C	Alarm değeri:65°C, Durdurma değeri:75°C
Yatak Titreşim Limitleri	µm	Alarm değeri:125µm, Durdurma:250µm

Jeneratör tipi, üç fazlı, AC, çift kutuplu rotor, hava soğutmalı, senkronizasyonlu jeneratördür. Rotor ve stator olarak iki parçadan oluşur. Stator sargılarının, baraların bulunduğu yere sabit olan bölüm olup ağırlığı yaklaşık 132 tondur. Rotor uyartım geriliminin verildiği dönen parça olup ağırlığı yaklaşık 34 tondur. Jeneratörün özellikleri Tablo 2.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Jeneratörün özellikleri [29]

Özellik	Birim	Açıklama
Gücü		135 MW / 158,8 MVA
Gerilimi	kV	13,8
Akımı	MPa	13.24
Frekans	Hz	50
Devri	d/dk	3000
Güç faktörü		0,85
Uyartım tipi		Statik uyartım
Uyartım akımı	A	1408
Uyartım gerilimi	V	233
Soğutma tipi		Hava soğutmalı

Türbin-Jeneratör grubu toplam beş adet yatakla yataklanmıştır. Bu yataklar 1, 2, 3, 4 ve 5 Nolu yatak olarak adlandırılır. 2 Nolu yatak içinde radyal ve eksenel olmak üzere iki yatak vardır. Eksenel yatak yani thrust yatak Türbin-Jeneratör grubunu eksenel yönde sabitleyen ölü nokta olarak bilinen yataktır. Diğer yataklar radyal yataktır. Yataklar babet kaymalı yatak olup bu yataklardan deplasman probu ile shaft titreşiminin deplasman ölçümü yapılır. Bu titreşim limitleri ise alarm değeri $125\mu\text{m}$ olup trip değeri $250\mu\text{m}$ 'dir. Şekil 2.7.'de Türbin-Jeneratör grubu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Türbin-Jeneratör grubunun şematik gösterimi [28]

Türbin, içerisinde geçen buharın basıncına göre Yüksek Basınç Türbini (High Pressure (HP) Turbine), Orta Basınç Türbini (Intermediate Pressure (IP) Turbine) ve Alçak Basınç Türbini (Low Pressure (LP) Turbine) olmak üzere 3 adet türbinden oluşmaktadır. HP ve IP Türbin aynı rotor üzerinde olup LP Türbin rotoru ile rijit kaplin aracılığıyla birbirine bağlıdır. LP Türbin rotoru ile jeneratör rotoru ise yarı esnek kaplin aracılığıyla birbirine bağlıdır. Bu şekilde Türbin-Generatör grubu 3 rotorun birbirine bağlanması ile tek shaft olarak çalışmaktadır. Bu grup toplam 5 adet yatak ile yataklanmıştır.

2.3. Enerji Santrali Ana Ekipmanlarının Arıza Frekanslarının Hesaplanması

2.3.1. PA Fan arıza frekanslarının belirlenmesi

PA Fan arıza frekansları fan arıza frekansları, fan rulman arıza frekansları, motor arıza frekansları ve motor rulman arıza frekansları olarak 4 alt bölüm altında Tablo 2.1.'deki verilere göre hesaplanmıştır.

PA Fan, fan arıza frekansları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Fan mil dönme frekansı (f_n) aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 2.1) hesaplanmıştır.

$$f_n = n/60 \quad (2.1)$$

Bu denklemde (n) fan mil devri olup 1496d/dk (24,93 Hz) dır.

Fan kanat geçiş arıza frekansı (f_{BPF}) mil dönme frekansı ile fan kanat (pervane) sayısının çarpımı (Denklem 2.2) ile bulunur. f_{BPF} frekansının genlikleri izlenir. Harmonikleri ile birlikte titreşim seviyesindeki artış kanat difüzörü yada dengesiz hava boşluğu arızalarının belirtisi olabilir.

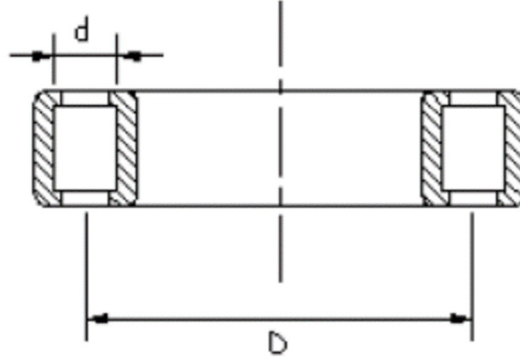
$$f_{BPF} = f_n \times S \quad (2.2)$$

Bu denklemde (s) fan kanat sayısı olup 10 adettir. PAF fan arıza frekansları Tablo 2.7.'de gösterilmiştir. Tablo 2.7.'de $2x_n$, $3x_n$,... gibi ifadeler bundan sonraki tablolarda, şekillerde ve grafiklerde $2x$, $3x$,... olarak kullanılacaktır. Fan kanat geçiş frekansı f_{BPF} ana mil devrinin 10 katına denk geldiği görülmektedir.

Tablo 2.7. PA Fan fan arıza frekansları (Hz)

	$2x_n$	$3x_n$	$4x_n$	$5x_n$	$6x_n$	$7x_n$	$8x_n$	$9x_n$	$10x_n=(f_{BPF})$	
f_{PAF}	24,93	49,87	74,80	99,73	124,67	149,60	174,53	199,47	224,40	249,33

Rulman arıza frekanslarının belirlenmesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır. Şekil 2.8.'de rulman şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Rulmanın şematik gösterimi

Eşitliklerde N: bilye sayısını, d: bilye çapı, D: bölüm dairesi çapı, α : temas açısını ifade etmektedir.

BPFO: Rulman dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için (Denklem 2.3) ve (Denklem 2.4) eşitlikleri kullanılmıştır.

$$BPFO = \frac{N}{2} \times \left[1 - \left(\frac{d}{D} \times \cos\alpha \right) \right] \quad (2.3)$$

$$f_{BPFO} = f_n \times BPFO \quad (2.4)$$

BPFI: Rulman iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için (Denklem 2.5) ve (Denklem 2.6) eşitlikleri kullanılmıştır.

$$BPFI = \frac{N}{2} \times \left[1 + \left(\frac{d}{D} \times \cos\alpha \right) \right] \quad (2.5)$$

$$f_{BPFI} = f_n \times BPFI \quad (2.6)$$

BSF: Rulman bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için (Denklem 2.7) ve (Denklem 2.8) eşitlikleri kullanılmıştır.

$$BSF = \frac{D}{2d} \times \left[1 - \left(\frac{d}{D} \times \cos\alpha \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

$$f_{BSF} = f_n \times BSF \quad (2.8)$$

FTFI: Rulman kafes geçiş frekansının belirlenmesi için (Denklem 2.9) ve (Denklem 2.10) eşitlikleri kullanılmıştır.

$$FTFI = \frac{1}{2} \times \left[1 - \left(\frac{d}{D} \times \cos\alpha \right) \right] \quad (2.9)$$

$$f_{FTFI} = f_n \times FTFI \quad (2.10)$$

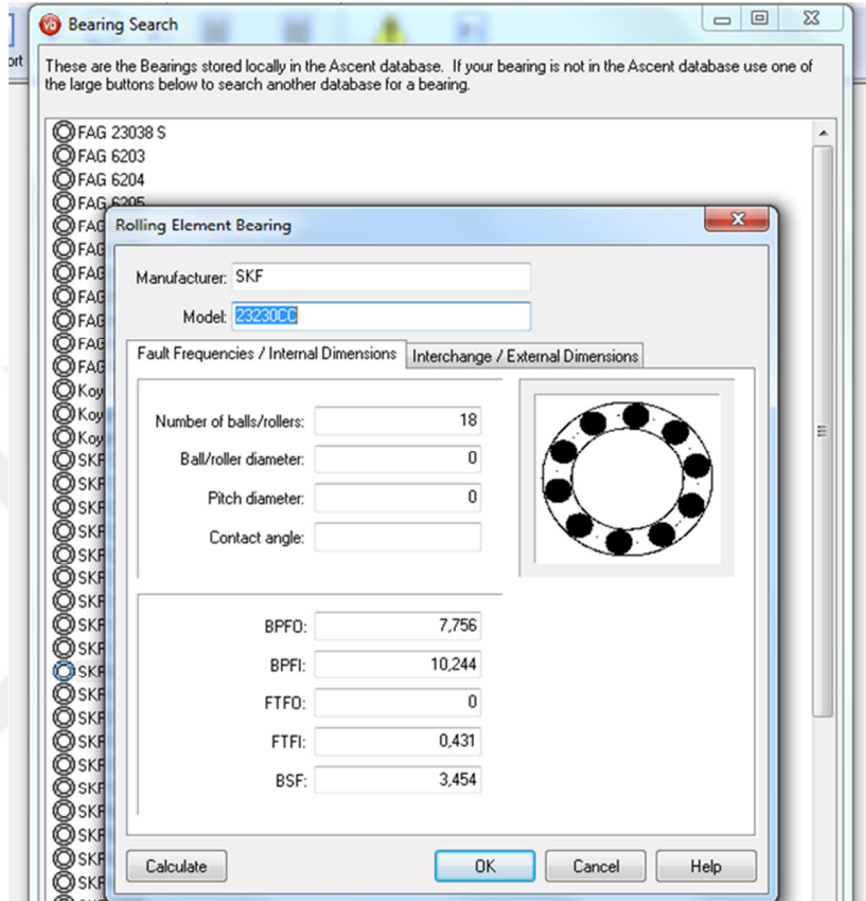
PA Fan, fan rulmanı SKF 23230 olup ön ve arka yatakta birer adet vardır. Bu rulmanın özellikleri ise N:18 adet, d:29 mm, D:210 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir [30]. Rulman f_{BPFO} dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 eşitlikleri, rulman f_{BPFI} iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 eşitlikleri, rulman f_{BSF} bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 eşitlikleri, rulman f_{FTFI} kafes geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 eşitlikleri kullanılarak rulman arıza frekansları hesaplanmış ve Tablo 2.8. de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. PA Fan SKF 23230 rulman arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{BPFO}	193,41	386,82	580,23	773,65	967,06	1160,47	1353,88	1547,29	1740,70	1934,11
f_{BPFI}	255,39	510,78	766,17	1021,55	1276,94	1532,33	1787,72	2043,11	2298,50	2553,89
f_{BSF}	88,55	177,11	265,66	354,22	442,77	531,33	619,88	708,43	796,99	885,54
f_{FTFI}	10,75	21,49	32,24	42,98	53,73	64,47	75,22	85,96	96,71	107,45

Hesaplanan rulman arıza frekansları değerlerinin (Tablo 2.8) titreşim analiz programı içindeki değerler ile kontrolü yapılmıştır. Titreşim analiz programı içinde olmayan rulman (standart rulman olmayanlar) var ise bu hesaplanan değerler programa

girilmiştir. Kullanılan titreşim analiz programındaki SKF 23230 rulman arıza değerleri Şekil 2.9.'de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Titreşim analiz programı içindeki SKF 23230 rulman arıza değerleri

PA Fan elektrik motorunun arıza frekansları Tablo 2.1.'deki verilere göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Mil devri (n) 1496d/dk, kutup sayısı (p) 4 kutupludur. Mil dönme frekansı (f_n) Denklem 2.1 kullanılarak, hat frekansı (f_L) Denklem 2.11 kullanılarak, senkron frekansı (f_{syn}) Denklem 2.12 kullanılarak, sıyrılma frekansı (f_{slip}) Denklem 2.13 kullanılarak, kutup geçiş frekansı (f_p) Denklem 2.14 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2.9.'da gösterilmiştir.

$$2f_L = 2 \times f_L \quad (2.11)$$

$$f_{syn} = \frac{2 \times f_L}{p} \quad (2.12)$$

$$f_{slip} = f_{syn} - f_n \quad (2.13)$$

$$f_p = p \times f_{slip} \quad (2.14)$$

Tablo 2.9. PA Fan motor arıza frekansları (Hz)

	f_p	1x	2x	3x	4x	$2f_L$	5x	6x	7x	8x	
f_{EM}	24,93	0,28	24,93	49,87	74,80	99,73	100	124,67	149,60	174,53	199,47

PA Fan motor rulmanları, ön yatakta NU232 – 1 adet, 6232 – 1 adet ve arka yatakta NU232 – 1 adettir. NU232 rulmanın özellikleri N:19 adet, d:31,7 mm, D:225 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir. 6232 rulmanın özellikleri ise N:11 adet, d:33,5 mm, D:225 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir [30]. Rulman f_{BPFO} dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 eşitlikleri, rulman f_{BPFI} iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 eşitlikleri, rulman f_{BSF} bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 eşitlikleri, rulman f_{FTFI} kafes geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 eşitlikleri kullanılarak rulman arıza frekansları hesaplanmıştır. NU232 rulman arıza frekansları Tablo 2.10.'da ve 6232 rulman arıza frekansları Tablo 2.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.10. PA Fan motoru NU232 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	203,49	406,99	610,48	813,98	1017,47	1220,97	1424,46	1627,96	1831,45	2034,95
f_{BPFI}	270,24	540,48	810,72	1080,95	1351,19	1621,43	1891,67	2161,91	2432,15	2702,39
f_{BSF}	86,73	173,46	260,19	346,92	433,65	520,38	607,11	693,84	780,56	867,29
f_{FTFI}	10,71	21,42	32,13	42,84	53,55	64,26	74,97	85,68	96,39	107,10

Tablo 2.11. PA Fan motoru 6232 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	116,72	233,43	350,15	466,86	583,58	700,29	817,01	933,73	1050,44	1167,16
f_{BPFI}	157,55	315,10	472,65	630,20	787,75	945,31	1102,86	1260,41	1417,96	1575,51
f_{BSF}	81,88	163,75	245,63	327,50	409,38	491,25	573,13	655,00	736,88	818,75
f_{FTFI}	10,61	21,22	31,83	42,44	53,05	63,66	74,27	84,88	95,49	106,11

2.3.2. ID Fan arıza frekanslarının belirlenmesi

ID Fan arıza frekansları fan arıza frekansları, fan rulman arıza frekansları, motor arıza frekansları ve motor rulman arıza frekansları olarak 4 alt bölüm altında Tablo 2.2.'deki verilere göre hesaplanmıştır.

ID Fan, fan arıza frekansları Denklem 2.1 ve Denklem 2.2 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.1' de fan mil devri (n) 996d/dk (16,60 Hz) dir. Denklem 2.2' de fan kanat sayısı (s) 10 adettir. ID Fan, fan arıza frekansları Tablo 2.12.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.12. ID Fan fan arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10xn=(f_{BPF})	
f_{IDF}	16,60	33,20	49,80	66,40	83,00	99,60	116,20	132,80	149,40	166,00

ID Fan, fan rulmanı SKF 22238 olup ön ve arka yatakta birer adet vardır. Bu rulmanın özellikleri ise N:19 adet, d:36 mm, D:265 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir [30]. Rulman f_{BPFO} dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 eşitlikleri, rulman f_{BPFI} iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 eşitlikleri, rulman f_{BSF} bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 eşitlikleri, rulman f_{FTFI} kafes geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 eşitlikleri kullanılarak rulman arıza frekansları hesaplanmış ve Tablo 2.13. de gösterilmiştir.

Tablo 2.13. ID Fan SKF 22238 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	136,28	272,55	408,83	545,11	681,38	817,66	953,94	1090,21	1226,49	1362,77
f_{BPFI}	179,12	358,25	537,37	716,49	895,62	1074,74	1253,86	1432,99	1612,11	1791,23
f_{BSF}	59,97	119,94	179,91	239,88	299,85	359,82	419,79	479,76	539,73	599,70
f_{FTFI}	7,17	14,34	21,52	28,69	35,86	43,03	50,21	57,38	64,55	71,72

ID Fan elektrik motorunun arıza frekansları Tablo 2.2.'deki verilere göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Mil devri (n) 996d/dk, kutup sayısı (p) 6 kutupludur. Mil dönme frekansı (f_n) Denklem 2.1 kullanılarak, hat frekansı (f_L) Denklem 2.11 kullanılarak, senkron frekansı (f_{syn}) Denklem 2.12 kullanılarak, sıyrılma frekansı (f_{slip}) Denklem 2.13 kullanılarak, kutup geçiş frekansı (f_p) Denklem 2.14 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.14. ID Fan motor arıza frekansları (Hz)

	f_p	1x	2x	3x	4x	5x	6x	$2f_L$	7x	8x	
f_{EM}	16,60	0,42	16,60	33,20	49,80	66,40	83,00	99,60	100	116,20	132,80

ID Fan motor rulmanları, ön yatakta NU234 – 1 adet, 6234 – 1 adet ve arka yatakta NU234 – 1 adettir. NU234 rulmanın özellikleri N:18 adet, d:35,5 mm, D:240 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir. 6234 rulmanın özellikleri ise N:12 adet, d:34,9 mm, D:240 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir [30]. Rulman f_{BPFO} dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 eşitlikleri, rulman f_{BPFI} iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 eşitlikleri, rulman f_{BSF} bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 eşitlikleri, rulman f_{FTFI} kafes geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 eşitlikleri kullanılarak rulman arıza frekansları hesaplanmıştır. NU234 rulman arıza frekansları Tablo 2.15.'de ve 6234 rulman arıza frekansları Tablo 2.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.15. ID Fan motoru NU234 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	127,30	254,60	381,90	509,21	636,51	763,81	891,11	1018,41	1145,71	1273,01
f_{BPFI}	171,50	343,00	514,50	686,00	857,49	1028,99	1200,49	1371,99	1543,49	1714,99
f_{BSF}	54,88	109,77	164,65	219,54	274,42	329,31	384,19	439,08	493,96	548,85
f_{FTFI}	7,07	14,14	21,22	28,29	35,36	42,43	49,51	56,58	63,65	70,72

Tablo 2.16. ID Fan motoru 6234 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	85,12	170,23	255,35	340,47	425,58	510,70	595,82	680,93	766,05	851,17
f_{BPFI}	114,08	228,17	342,25	456,33	570,42	684,50	798,58	912,67	1026,75	1140,84
f_{BSF}	55,87	111,74	167,61	223,48	279,35	335,22	391,09	446,96	502,83	558,70
f_{FTFI}	7,09	14,19	21,28	28,37	35,47	42,56	49,65	56,74	63,84	70,93

2.3.3. SA Fan arıza frekanslarının belirlenmesi

SA Fan arıza frekansları fan arıza frekansları, fan rulman arıza frekansları, motor arıza frekansları ve motor rulman arıza frekansları olarak 4 alt bölüm altında Tablo 2.3.'deki verilere göre hesaplanmıştır.

SA Fan, fan arıza frekansları Denklem 2.1 ve Denklem 2.2 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.1' de fan mil devri (n) 1496d/dk (24,93 Hz) dır. Denklem 2.2' de fan kanat sayısı (s) 10 adettir. SA Fan, fan arıza frekansları Tablo 2.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.17. SA Fan fan arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10xn=(f_{BPFI})	
f_{SAF}	24,93	49,87	74,80	99,73	124,67	149,60	174,53	199,47	224,40	249,33

SA Fan, fan rulmanı SKF 22226 olup ön ve arka yatakta birer adet vardır. Bu rulmanın özellikleri ise N:19 adet, d:25 mm, D:180 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir [30]. Rulman f_{BPFO} dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 eşitlikleri, rulman f_{BPFI} iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 eşitlikleri, rulman f_{BSF} bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 eşitlikleri, rulman f_{FTFI} kafes geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 eşitlikleri kullanılarak rulman arıza frekansları hesaplanmış ve Tablo 2.18. de gösterilmiştir.

Tablo 2.18. SA Fan SKF 22226 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	203,97	407,94	611,91	815,87	1019,84	1223,81	1427,78	1631,75	1835,72	2039,69
f_{BPFI}	269,76	539,53	809,29	1079,06	1348,82	1618,59	1888,35	2158,12	2427,88	2697,65
f_{BSF}	88,03	176,06	264,09	352,11	440,14	528,17	616,20	704,23	792,26	880,29
f_{FTFI}	10,74	21,47	32,21	42,94	53,68	64,41	75,15	85,88	96,62	107,35

SA Fan elektrik motorunun arıza frekansları Tablo 2.3.'deki verilere göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Mil devri (n) 1496d/dk, kutup sayısı (p) 4 kutupludur. Mil dönme frekansı (f_n) Denklem 2.1 kullanılarak, hat frekansı (f_L) Denklem 2.11 kullanılarak, senkron frekansı (f_{syn}) Denklem 2.12 kullanılarak, sıyırılma frekansı (f_{slip}) Denklem 2.13 kullanılarak, kutup geçiş frekansı (f_p) Denklem 2.14 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 2.19. SA Fan motor arıza frekansları (Hz)

	f_p	1x	2x	3x	4x	$2f_L$	5x	6x	7x	8x	
f_{EM}	24,93	0,28	24,93	49,87	74,80	99,73	100	124,67	149,60	174,53	199,47

SA Fan motor rulmanları, ön yatakta NU226 – 1 adet, 6226 – 1 adet ve arka yatakta NU226 – 1 adettir. NU226 rulmanın özellikleri N:17 adet, d:27,8 mm, D:180 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir. 6234 rulmanın özellikleri ise N:9 adet, d:31,8 mm, D:180 mm, $\alpha:0^\circ$ 'dir[30].

Rulman f_{BPFO} dış bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 eşitlikleri, rulman f_{BPFI} iç bilezik bilye geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.5 ve Denklem 2.6 eşitlikleri, rulman f_{BSF} bilye dönme geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.7 ve Denklem 2.8 eşitlikleri, rulman f_{FTFI} kafes geçiş frekansının belirlenmesi için Denklem 2.9 ve Denklem 2.10 eşitlikleri kullanılarak rulman arıza frekansları hesaplanmıştır. NU226 rulman arıza frekansları Tablo 2.20.'de ve 6226 rulman arıza frekansları Tablo 2.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.20. SA Fan motoru NU226 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	178,48	356,97	535,45	713,93	892,41	1070,90	1249,38	1427,86	1606,34	1784,83
f_{BPFI}	243,68	487,37	731,05	974,74	1218,42	1462,10	1705,79	1949,47	2193,16	2436,84
f_{BSF}	78,48	156,96	235,43	313,91	392,39	470,87	549,35	627,82	706,30	784,78
f_{FTFI}	10,50	21,00	31,50	42,00	52,49	62,99	73,49	83,99	94,49	104,99

Tablo 2.21. SA Fan motoru 6226 rulman arıza frekansları (Hz)

	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	
f_{BPFO}	92,38	184,76	277,13	369,51	461,89	554,27	646,65	739,02	831,40	923,78
f_{BPFI}	132,02	264,04	396,07	528,09	660,11	792,13	924,15	1056,18	1188,20	1320,22
f_{BSF}	68,36	136,73	205,09	273,45	341,82	410,18	478,55	546,91	615,27	683,64
f_{FTFI}	10,26	20,53	30,79	41,06	51,32	61,59	71,85	82,11	92,38	102,64

2.3.4. FWP arıza frekanslarının belirlenmesi

FWP arıza frekansları booster pompa arıza frekansları, elektrik motoru arıza frekansları, hidrolik kaplin arıza frekansları ve ana pompa arıza frekansları olarak 4 alt bölüm altında Tablo 2.4.'deki verilere göre hesaplanmıştır.

FWP Booster pompa arıza frekansları Denklem 2.1 ve Denklem 2.15 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.1' de mil devri (n) 1494d/dk (24,90 Hz) dir.

Kaymalı yataklarda ortaya çıkan tipik hatalar yağ filmi dengesizliği ve dolanımında iç sürtünmelerin etkisi şeklindedir. Bunlar titreşim spektrumunda kendini değişik şekilde gösterir. Yağ filmi dengesizliğinde, yüksek hızlı makinelerin düşük yük halinde, kendi kendini besleyen tipik titreşimler oluşturur. Genellikle bu titreşimler 0.42x ile 0.47x aralığında en yüksek tepecik oluşturur. Denklem 2.15’de yağ filmi dengesizliği frekansı (f_{YF}) hesaplanmıştır. İç sürtünmelerin etkisine yıpranma problemleri de denebilir. Titreşim spektrumunda mil devri frekansında ve harmoniklerinde pikler verir, kaymalı yatak arıza frekansı (f_{KY}) olarak adlandırılır. FWP booster pompa arıza frekansları Tablo 2.22.’de gösterilmiştir.

$$f_{YF} = f_n \times 0,43 \quad (2.15)$$

Tablo 2.22. FWP Booster pompası arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{KY}	24,90	49,80	74,70	99,60	124,50	149,40	174,30	199,20	224,10	249,00
f_{YF}	10,71	21,41	32,12	42,83	53,54	64,24	74,95	85,66	96,36	107,07

FWP elektrik motorunun arıza frekansları Tablo 2.4.’deki verilere göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Mil devri (n) 1496d/dk, kutup sayısı (p) 4 kutupludur. Mil dönme frekansı (f_n) ve kaymalı yatak arıza frekansı (f_{KY}) Denklem 2.1 kullanılarak, hat frekansı (f_L) Denklem 2.11 kullanılarak, senkron frekansı (f_{syn}) Denklem 2.12 kullanılarak, sıyrılma frekansı (f_{slip}) Denklem 2.13 kullanılarak, kutup geçiş frekansı (f_p) Denklem 2.14 kullanılarak, yağ filmi dengesizliği frekansı (f_{YF}) Denklem 2.15 kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 2.23.’de gösterilmiştir.

Tablo 2.23. FWP Elektrik motoru arıza frekansları (Hz)

		f_p	1x	2x	3x	4x	$2f_L$	5x	6x	7x	8x
f_{EM}	24,90	0,40	24,90	49,80	74,70	99,60	100	124,50	149,40	174,30	199,20
f_{KY}	24,90	-	24,90	49,80	74,70	99,60	-	124,50	149,40	174,30	199,20
f_{YF}	10,71	-	10,71	21,41	32,12	42,83	-	53,54	64,24	74,95	85,66

FWP Hidrolik kaplin arıza frekansları Denklem 2.1, Denklem 2.15 ve Denklem 2.16 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.1’ de mil devri (n) 1494d/dk (24,90 Hz) kaymalı yatak arıza frekansı (f_{KY}), Denklem 2.15’de yağ filmi dengesizliği frekansı (f_{YF}), Denklem 2.16 ile dişli kavrama titreşim frekansları (f_{GMF}) süren dişli ve sürülen dişli için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hidrolik kaplin süren dişlinin diş sayısı 140 olup sürülen dişlinin diş sayısı ise 36’dır. FWP hidrolik kaplin süren dişli arıza frekansları Tablo 2.24.’de, sürülen dişli arıza frekansları Tablo 2.25.’de, kaplin çıkışı yatak arıza frekansları Tablo 2.26.’da gösterilmiştir.

$$f_{GMF} = f_n \times Z \quad (2.16)$$

Tablo 2.24. FWP Hidrolik kaplin süren dişli arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{KY}	24,90	49,80	74,70	99,60	124,50	149,40	174,30	199,20	224,10	249,00
f_{YF}	10,71	21,41	32,12	42,83	53,54	64,24	74,95	85,66	96,36	107,07
f_{GMF}	3486	6972	10458							

Tablo 2.25. FWP Hidrolik kaplin sürülen dişli arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{KY}	96,83	193,67	290,50	387,33	484,17	581,00	677,83	774,67	871,50	968,33
f_{YF}	41,64	83,28	124,92	166,55	208,19	249,83	291,47	333,11	374,75	416,38
f_{GMF}	3486	6972	10458							

Tablo 2.26. FWP Hidrolik kaplin çıkışı arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{KY}	92,67	185,33	278,00	370,67	463,33	556,00	648,67	741,33	834,00	926,67
f_{YF}	39,85	79,69	119,54	159,39	199,23	239,08	278,93	318,77	358,62	398,5

FWP Ana pompa arıza frekansları Denklem 2.1 ve Denklem 2.15 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.1’ de mil devri (n) 5560d/dk (92,66 Hz)

kaymalı yatak arıza frekansı (f_{KY}), Denklem 2.15'de yağ filmi dengesizliği frekansı (f_{YF}) hesaplanmış ve Tablo 2.27.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.27. FWP ana pompa arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{KY}	92,67	185,33	278,00	370,67	463,33	556,00	648,67	741,33	834,00	926,67
f_{YF}	39,85	79,69	119,54	159,39	199,23	239,08	278,93	318,77	358,62	39,85

2.3.5. Türbin-Jeneratör grubu arıza frekanslarının belirlenmesi

Türbin-Jeneratör gurubu arıza frekansları Tablo 2.5.'deki verilere göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 2.1' de mil devri (n) 3000d/dk (50 Hz) kaymalı yatak arıza frekansı (f_{KY}), Denklem 2.11'de hat frekansı (f_L), Denklem 2.15'de yağ filmi dengesizliği frekansı (f_{YF}) hesaplanmış ve Tablo 2.28.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.28. Türbin-Jeneratör grubu arıza frekansları (Hz)

		2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x
f_{KY}	50,0	100,0 ($2f_L$)	150,0	200,0	250,0	300,0	350,0	400,0	450,0	500,0
f_{YF}	21,5	43,0	64,5	86,0	107,5	129,0	150,5	172,0	193,5	215,0

BÖLÜM 3. TİTREŞİM ÖLÇÜM EKİPMANI VE ÖLÇÜMLERİN ALINMASI

Enerji Santrali ana ekipmanlarının periyodik olarak titreşim ölçümleri alınmıştır. Ekipmaların dönme devrine göre belirlenmiş frekans aralıklarında titreşim hızları mm/s RMS olarak ölçülmüştür. Titreşim ölçüm cihazı olarak Commtest VB2000 marka cihaz kullanılmıştır. Titreşim analiz programı olarak ise Ascent 2011 programı kullanılmıştır. Commtest VB2000 FFT titreşim analizör cihazı 2 kanallı, 2 ivmeölçerli-100mV/g, 3200 line FFT, 20 kHz Fmax, tek ve çift düzlem balansalma özelliklerinde olup resmi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir [31,32].



Şekil 3.1. Commtest VB2000 FFT titreşim analizör cihazı

Ekipman yatakları üzerinden daha önceden belirlenmiş noktalardan yatay (horizontal), dikey (vertical) ve eksenel (axial) yön olmak üzere üç eksenle titreşim

ölçümleri alınmıştır. Ekipman yatağından alınan ölçüm örnek olarak Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Ekipman yatağından alınan titreşim ölçümünün gösterimi

Yatay (horizontal) eksenden alınan ölçümlerin gösterimi Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Yatak eksenden alınan titreşim ölçümünün gösterimi

Dikey (vertical) eksenden alınan ölçümlerin gösterimi Şekil 3.4.'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Dikey eksenden alınan titreşim ölçümünün gösterimi

Eksenel (axial) eksenden alınan ölçümlerin gösterimi Şekil 3.5.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Eksenel eksenden alınan titreşim ölçümünün gösterimi

Bu çalışmada ölçüm parametreleri lines:3200, average type:linear, number of averages:8 olarak belirlenerek 4,8 saniye süreli ölçümler alınmış ve genellikle yatay eksenden alınan ölçümler kullanılmıştır. Alınan ölçümlerin hız spektrum trend grafikleri gösterilmiştir. Bu ölçümler bir önceki ölçümler ile karşılaştırılarak değişimler incelenmiştir. Titreşim spektrum analizleri incelenerek arızaların tespitleri

ve seviyesi hakkında kestirimler yapılmıştır. Tespit edilen arızalara müdahale edilerek arızalar giderilmeye çalışılmış ve kestirimci bakım uygulanmıştır. Ana ekipmanlardan alınan ölçümler PA Fan A-B, ID Fan A-B, SA Fan A-B, FWP A-B ve TJG sıralaması ile aşağıda verilmiştir. PA Fan A-B, ID Fan A-B, SA Fan A-B'den alınan titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak ve fan arka yatak olarak yapılmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

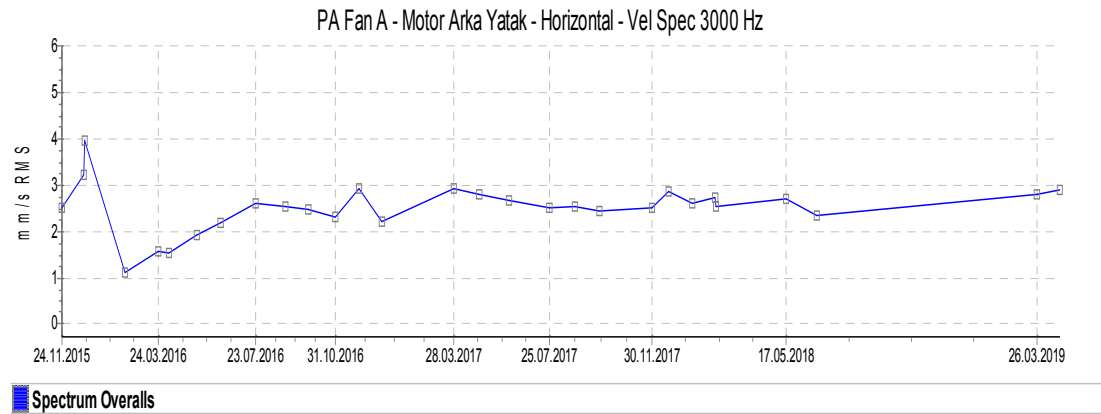
3.1. PA Fan Titreşim Ölçümleri

Sistemde iki adet PA Fan vardır. Bunlar PA Fan A ve PA Fan B dir. PA Fan titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak olarak yapılmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

3.1.1. PA Fan A titreşim ölçümleri

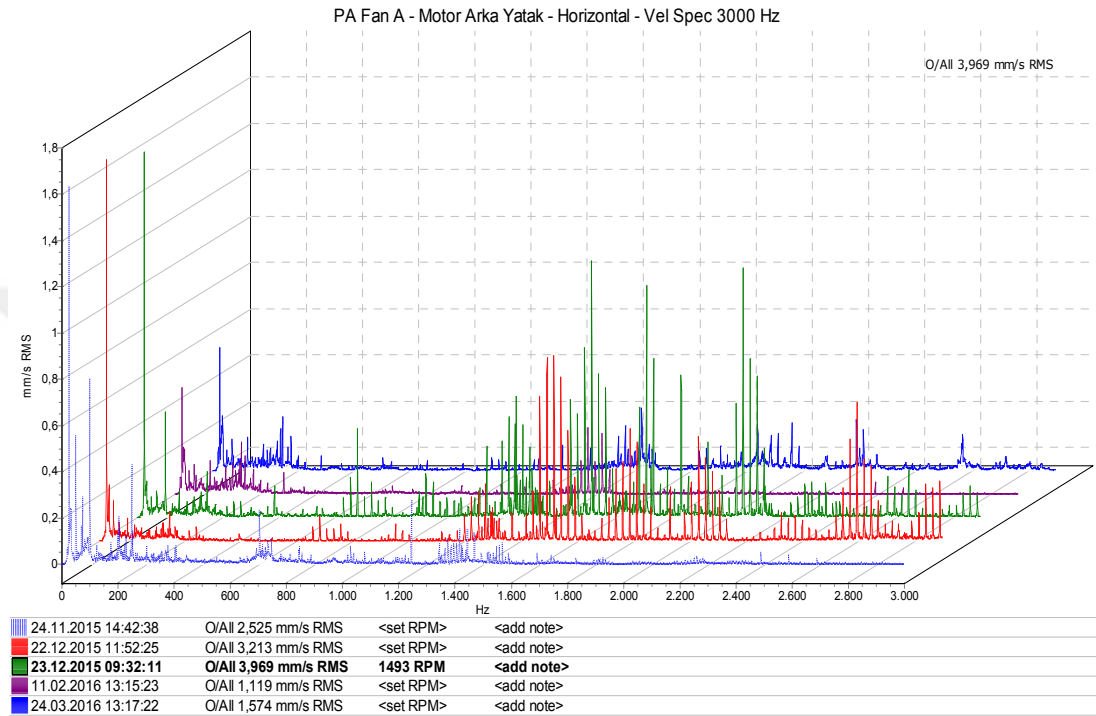
PA Fan A titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmıştır.

PA Fan A motor arka yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.



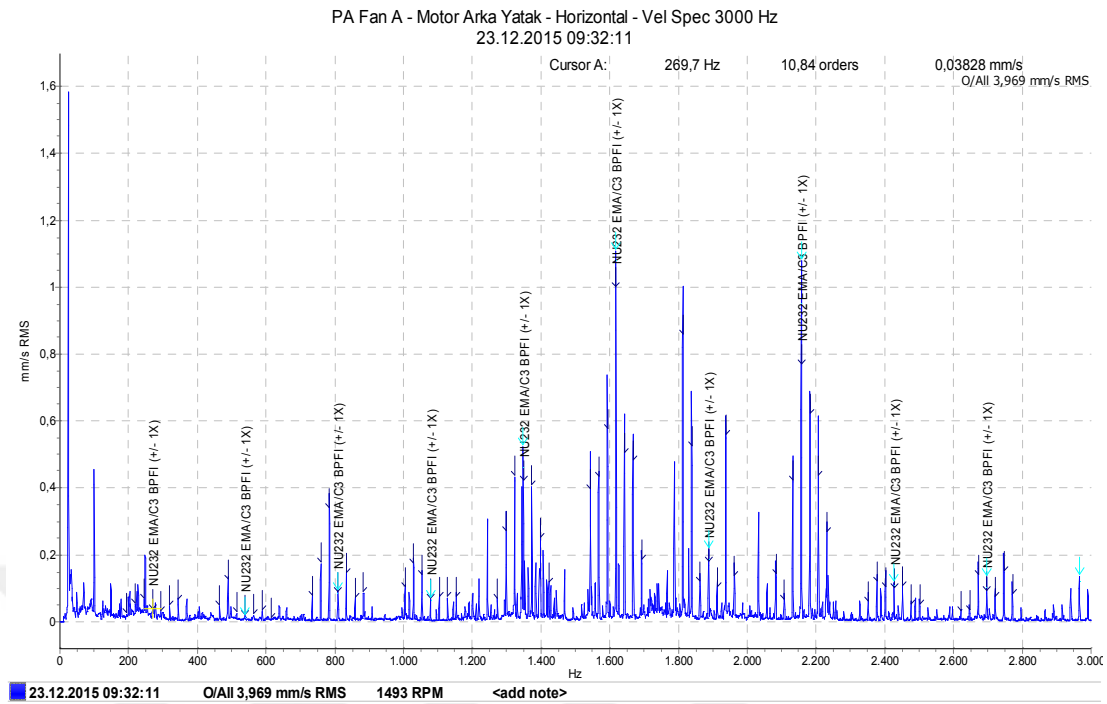
Şekil 3.6. PA Fan A motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Bu alınan ölçümlerde 24.11.2015 tarihinde 2,525 mm/s olan titreşim hızı 22.12.2015 tarihinde 3,213 mm/s değerine, 23.12.2015 tarihinde de 3,969 mm/s değerine çıktığı görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiştir. 1200-3000Hz arasındaki titreşim genliklerinde artış tespit edilmiştir Şekil 3.7.



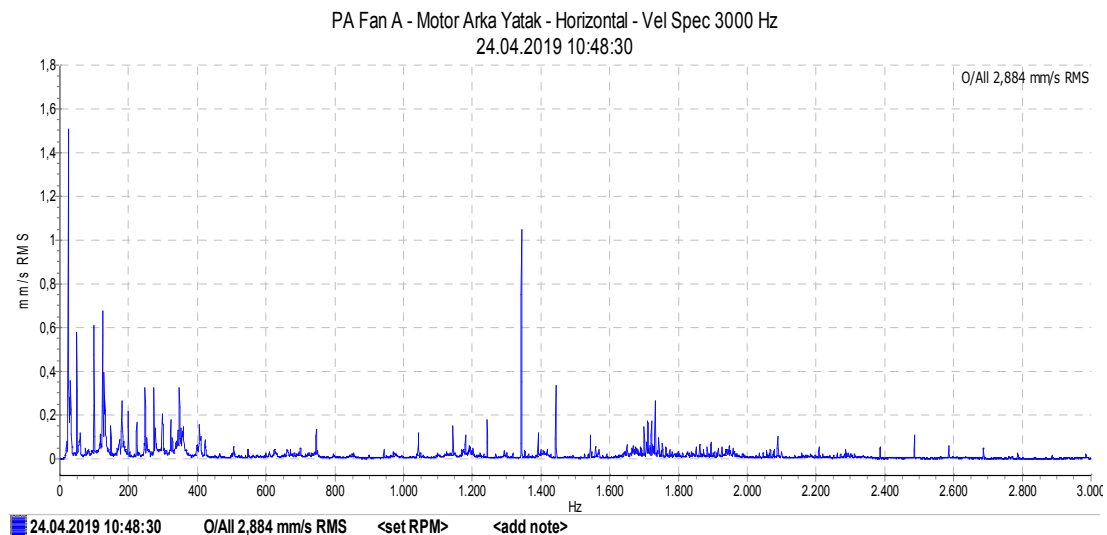
Şekil 3.7. PA Fan A motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

PA Fan A motor arka yatak yatay ekseninden alınan 23.12.2015 tarihli titreşim hız spektrum grafiği incelendiğinde 269,7 Hz frekansı ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.10.'da gösterilen NU232 rulman iç bilezik arıza frekansıdır. 269,7 Hz frekansı, harmonikleri ve 1x yan bantlarındaki yüksek titreşim genlikleri aşağıdaki Şekil 3.8.'de gösterilmiştir. Motor rulman değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda motor rulmanları değiştirilmiştir. Motor rulmanları değiştirildikten sonra alınan 11.02.2016 tarihli ölçümde titreşim hızının 1,119 mm/s'ye düştüğü Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.'de görülmektedir.



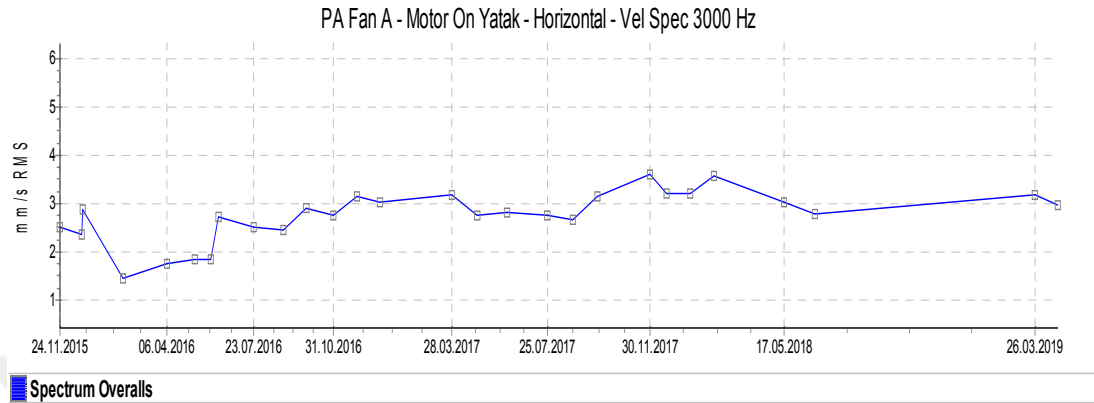
Şekil 3.8. PA Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-23.12.2015

Daha sonraki ölçümlerde titreşim hızının 3 mm/s değerinin altında olduğu Şekil 3.6.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup bu süre zarfında herhangi bir arıza görülmemiştir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,884 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



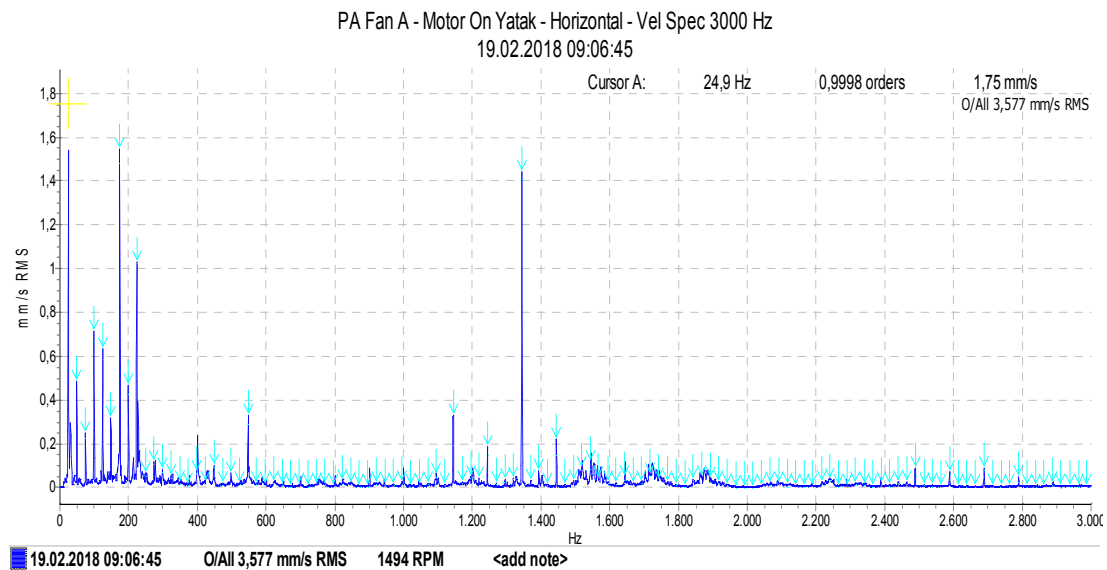
Şekil 3.9. PA Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

PA Fan A motor ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



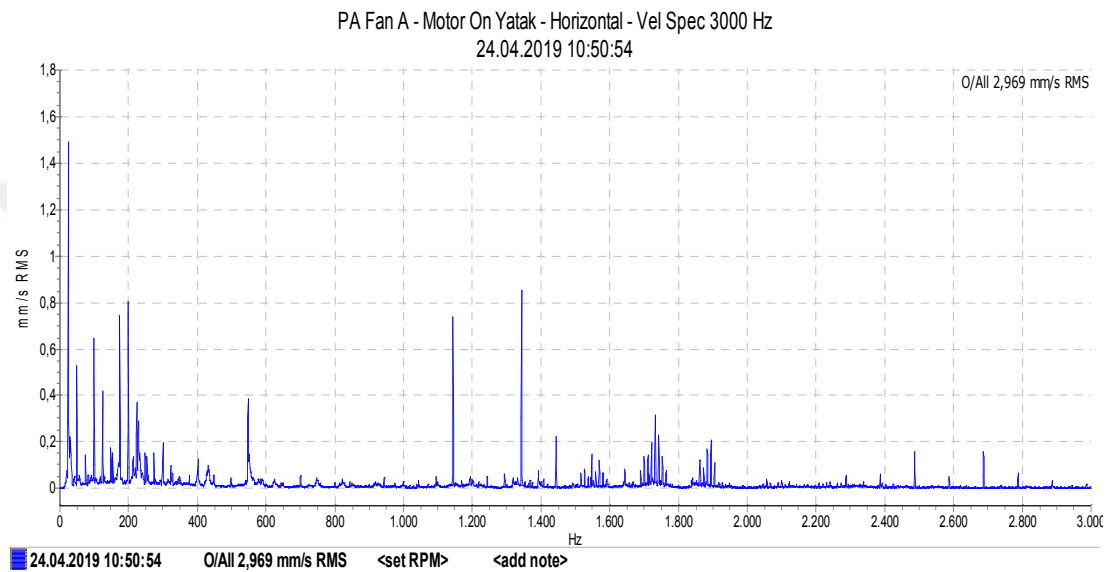
Şekil 3.10. PA Fan A motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

PA Fan A motor arka yatak rulman arızası sebebiyle motor rulmanları değiştirildiği için 23.12.2015 tarihinde yaklaşık 2,9 mm/s değerinde olan titreşim hızı 11.02.2016 tarihinde 1,5 mm/s değerine düşmüştür. Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 3,6 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.10.'da görülmektedir. Bu ölçümlerden titreşim hızı 3,577 mm/s olan 19.02.2018 tarihli ölçüm incelendiğinde, 24,9Hz (1X) frekansında ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekanslar Tablo 2.9.'da gösterilen mekanik boşluk arızası olduğunu göstermektedir Şekil 3.11.



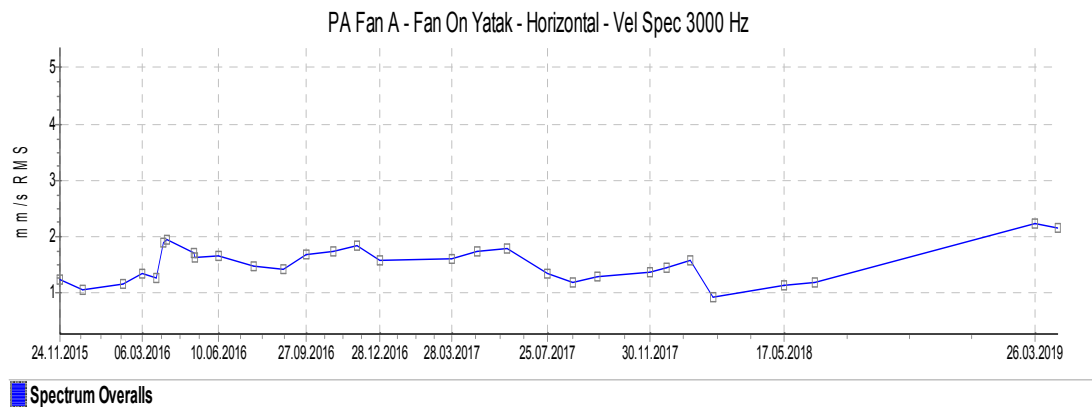
Şekil 3.11. PA Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-19.02.2018

Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,969 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



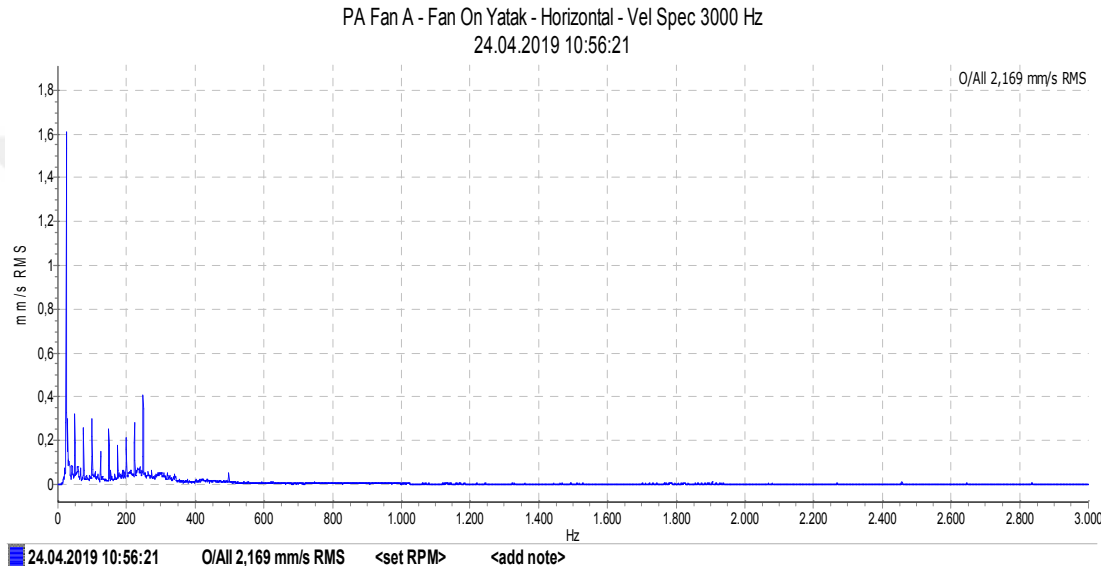
Şekil 3.12. PA Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

PA Fan A fan ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.13.'de gösterilmiştir.



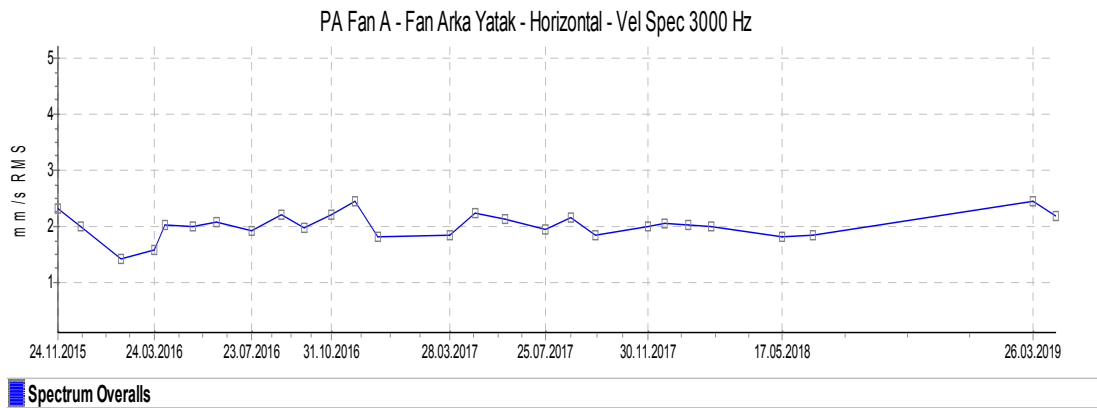
Şekil 3.13. PA Fan A fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,5 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.13.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,169 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



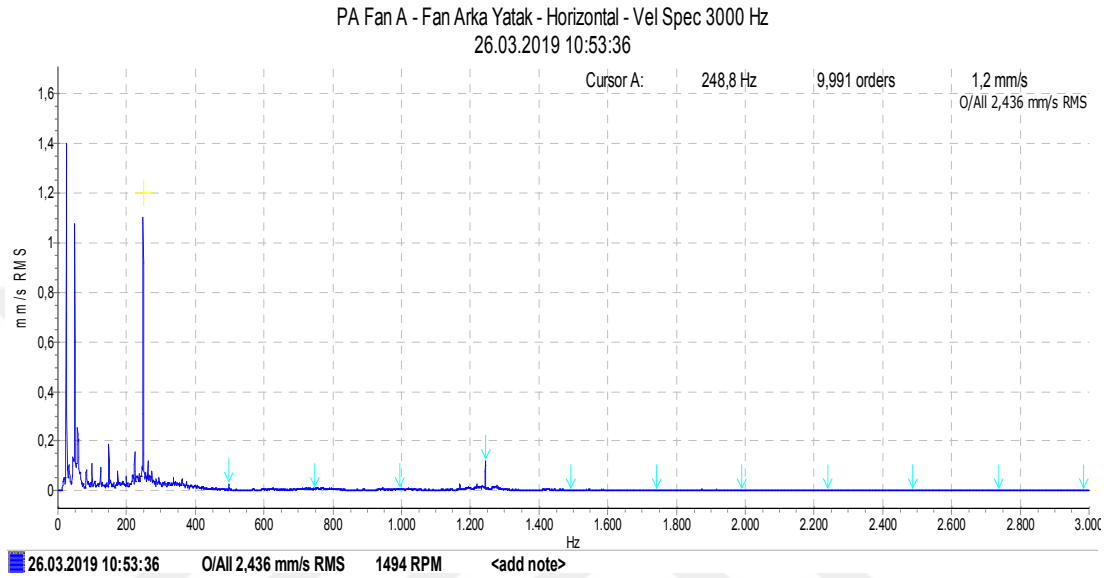
Şekil 3.14. PA Fan A fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

PA Fan A fan arka yatak yatay eksen 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.15.'de gösterilmiştir.



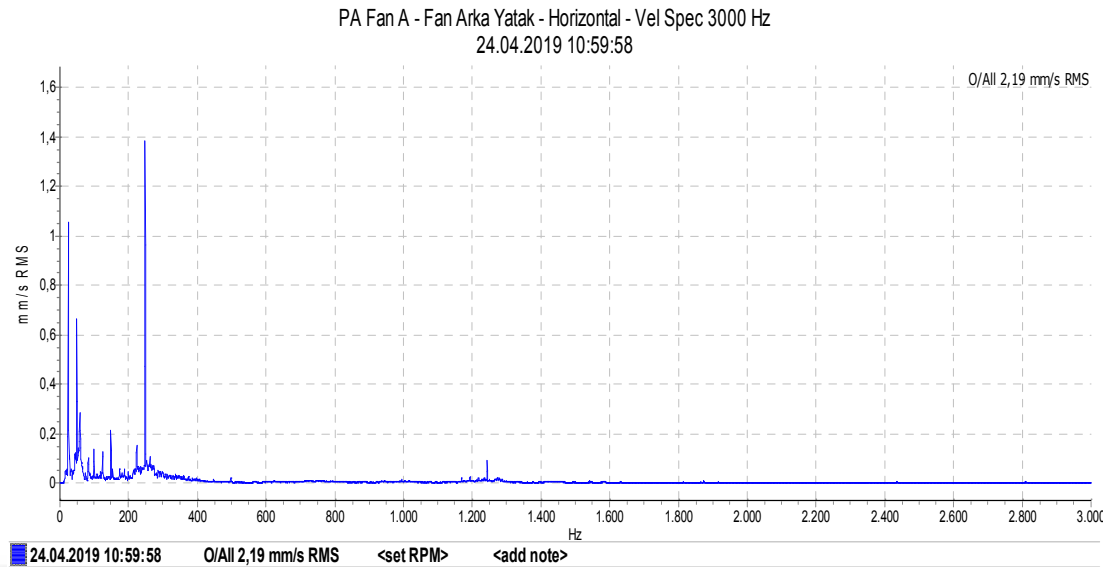
Şekil 3.15. PA Fan A fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Bu ölçümlerden titreşim hızı 2,436 mm/s olan 26.03.2019 tarihli ölçüm incelendiğinde, 248,8 Hz (10X) frekansında 1,2mm/s değerinde titreşim genliği tespit edilmiştir. Bu titreşim genliği fan kanat geçiş frekansı (Tablo 2.6.) olup Şekil 3.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. PA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-26.03.2019

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,6 mm/s değerinin altında olduğu Şekil 3.15.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,19 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.17.'de gösterilmiştir.

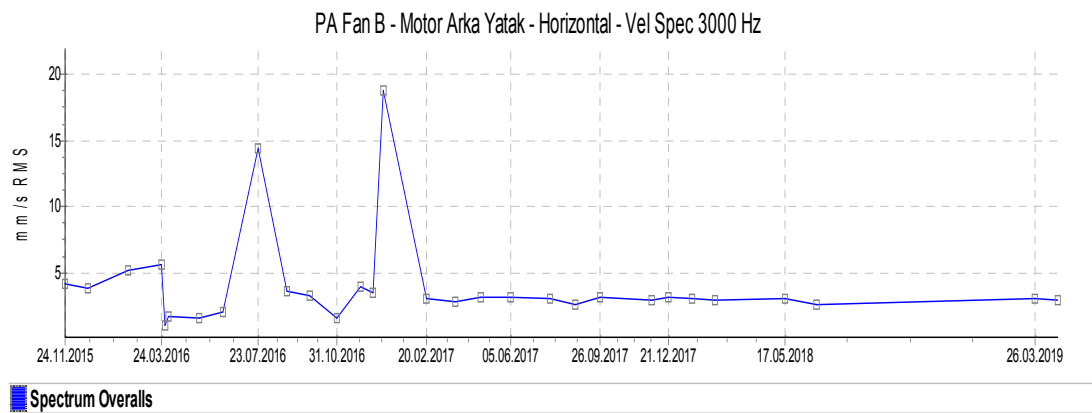


Şekil 3.17. PA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

3.1.2. PA Fan B titreşim ölçümleri

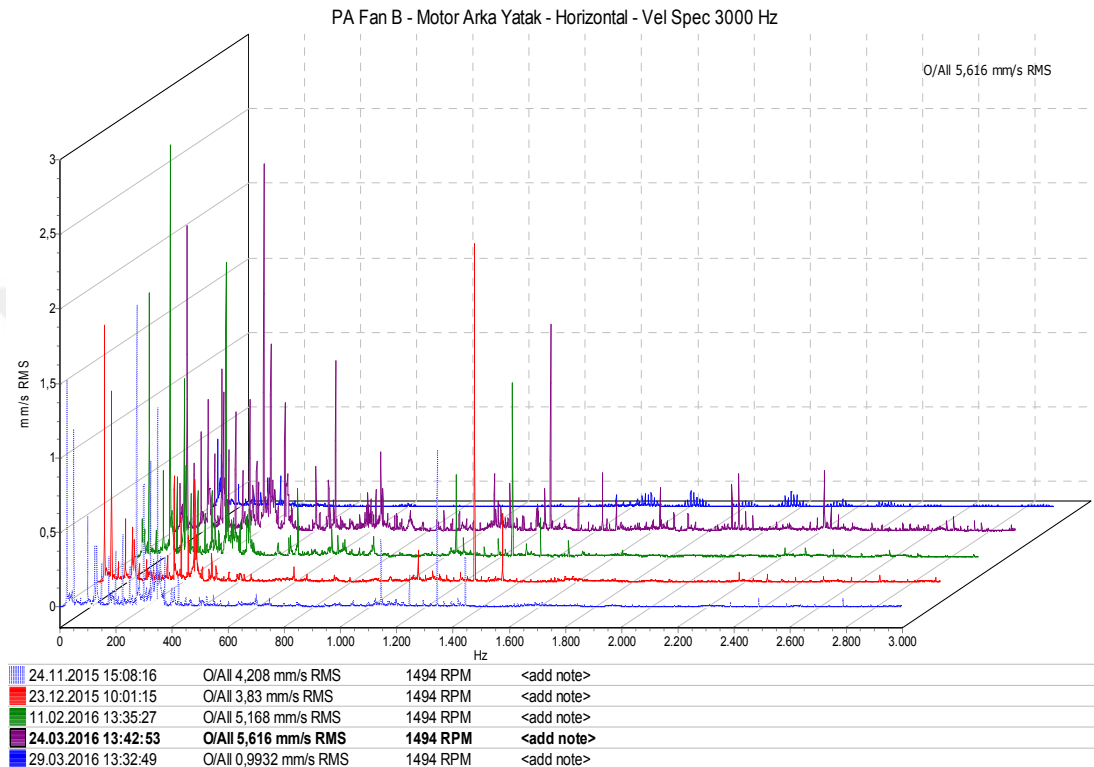
PA Fan B titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

PA Fan B motor arka yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.18.'de gösterilmiştir.



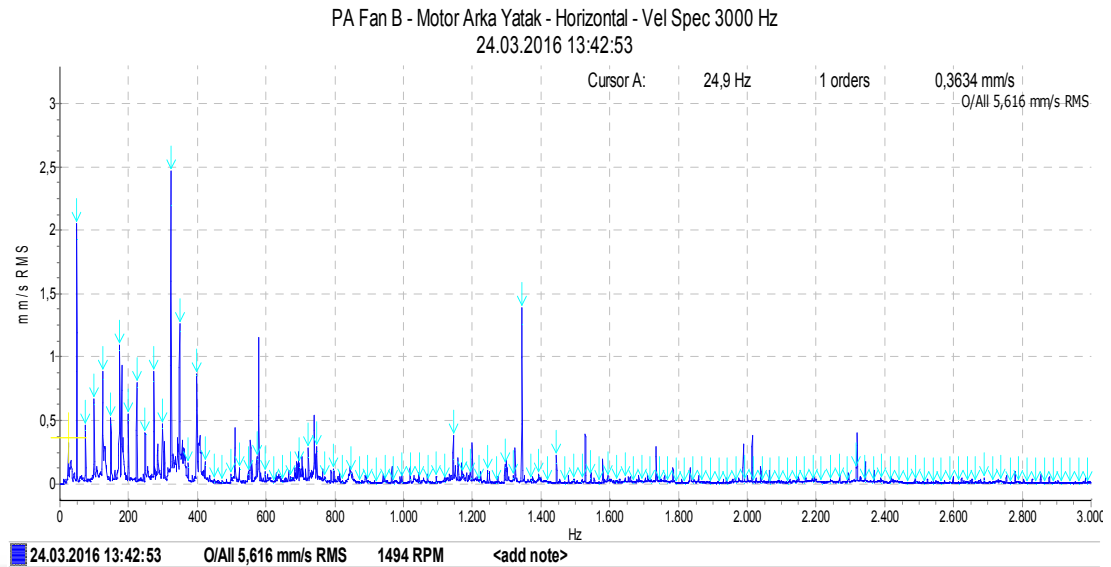
Şekil 3.18. PA Fan B motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Alınan ölçümlerde 24.11.2015 tarihinde 4,208 mm/s olan titreşim hızı 11.02.2016 tarihinde 5,168 mm/s değerine, 24.03.2016 tarihinde de 5,616 mm/s değerine çıktığı görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiş ve Şekil 3.19.'da gösterilmiştir.



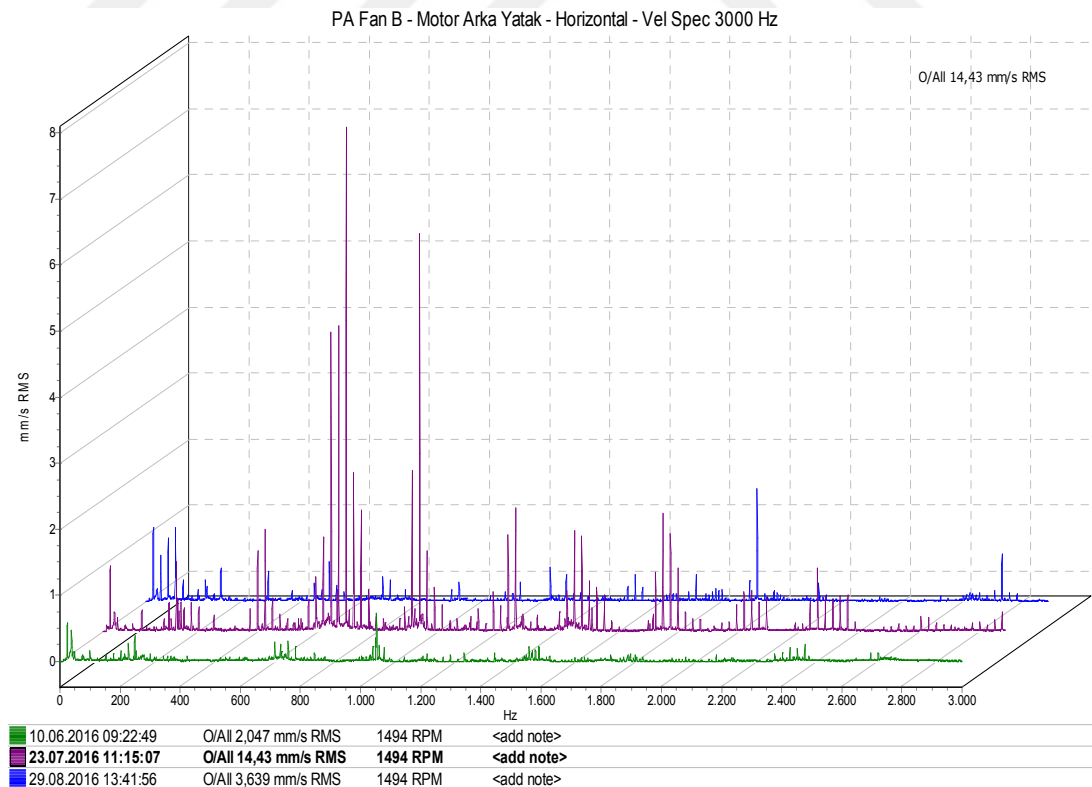
Şekil 3.19. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

24.03.2016 tarihli titreşim hızı 5,616 mm/s olan ölçüm incelendiğinde, 24,9Hz (1X) frekansında ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekanslar Tablo 2.9.'da gösterilen mekanik boşluk arızası olduğunu göstermektedir Şekil 3.20. Yedek elektrik motoru ile değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda bu arızalı elektrik motoru yedek motor ile değiştirilmiştir. Motor değişimi yapıldıktan sonra alınan 29.03.2016 tarihli ölçümde titreşim hızının 0,993 mm/s düştüğü Şekil 3.18 ve Şekil 3.19.'da görülmektedir.



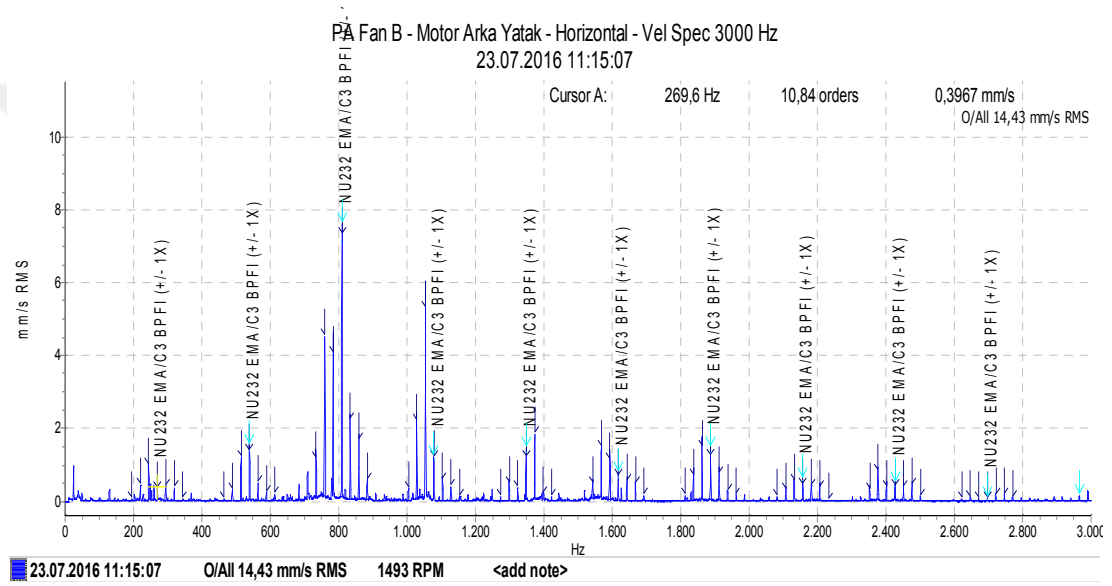
Şekil 3.20. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.03.2016

Diğer bir değişim (Şekil 3.18.) ise 10.06.2016 tarihinde 2,047 mm/s olan titreşim hızı 23.07.2016 tarihinde 14,43 mm/s değerine çıktığı görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiş ve Şekil 3.21.'de gösterilmiştir.



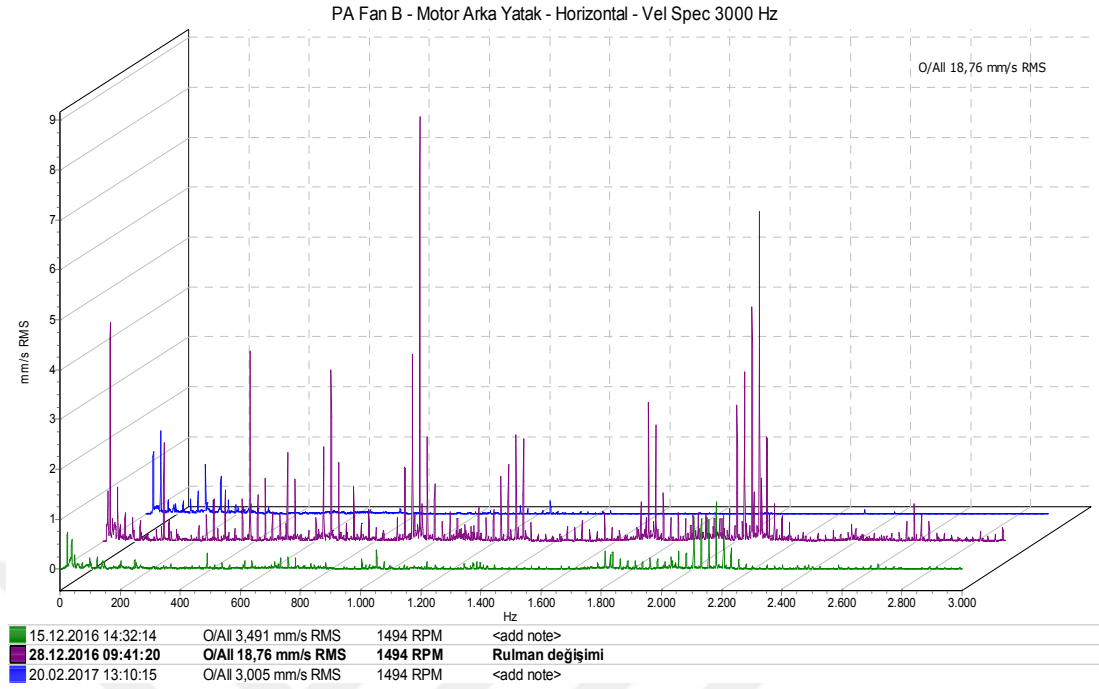
Şekil 3.21. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

23.07.2016 tarihli titreşim hızı 14,43 mm/s olan ölçüm incelendiğinde, 269,6 Hz frekansı ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.10.'da gösterilen NU232 rulman iç bilezik bilye geçiş arıza frekansıdır. 269,6 Hz frekansı, harmonikleri ve 1X yan bantlarındaki yüksek titreşim genlikleri aşağıdaki Şekil 3.22.'de gösterilmiştir. Motor rulman değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda motor rulmanları değiştirilmiştir. Motor rulmanları değiştirildikten sonra alınan 29.08.2016 tarihli ölçümde titreşim hızının 3,63 mm/s düştüğü Şekil 3.18. ve Şekil 3.21.'de görülmektedir.



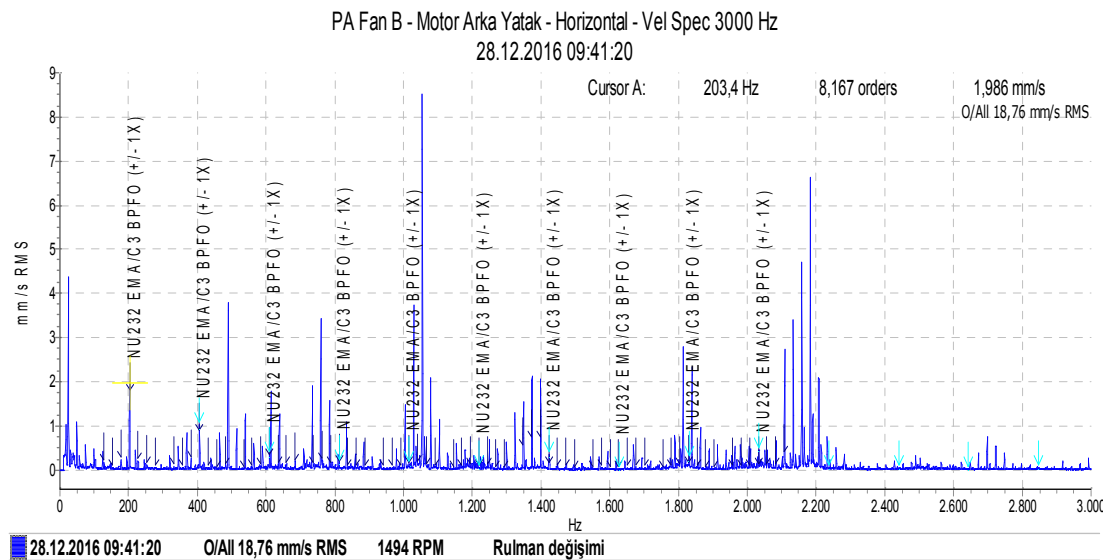
Şekil 3.22. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-23.07.2016

Bir diğer değişim (Şekil 3.18.) ise 15.12.2016 tarihinde 3,49 mm/s olan titreşim hızı 28.12.2016 tarihinde 18,75 mm/s değerine çıktığı görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiş ve Şekil 3.23.'de gösterilmiştir.



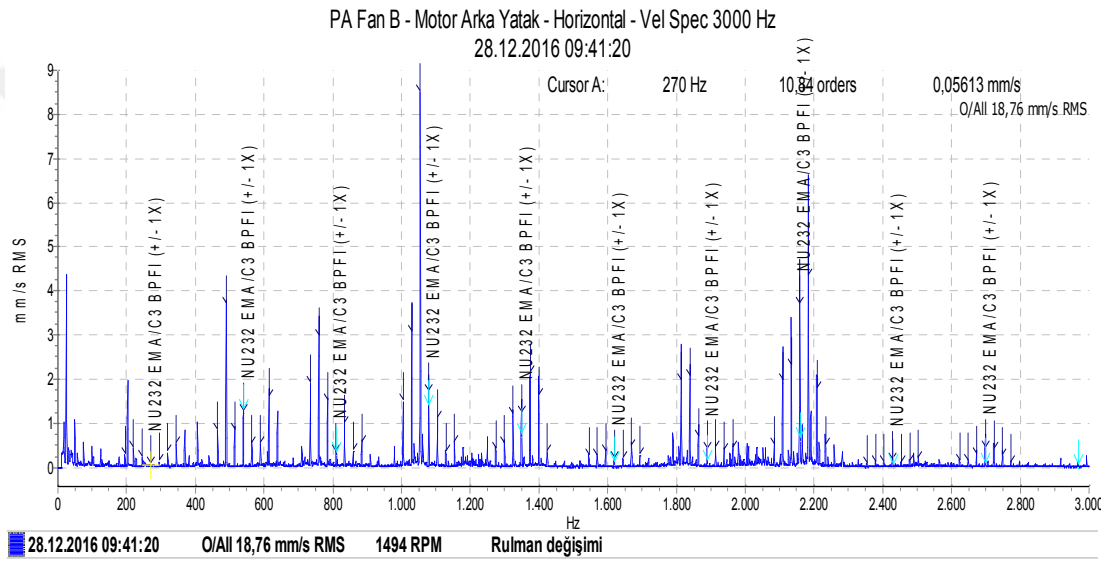
şekil 3.23. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

28.12.2016 tarihli titreşim hızı 18,76 mm/s olan ölçüm incelendiğinde, 203,4 Hz frekansı ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.10.'da gösterilen NU232 rulman dış bilezik bilye geçiş arıza frekansıdır. 203,4 Hz frekansı, harmonikleri ve 1X yan bantlarındaki yüksek titreşim genlikleri aşağdaki şekil 3.24.'de gösterilmiştir.



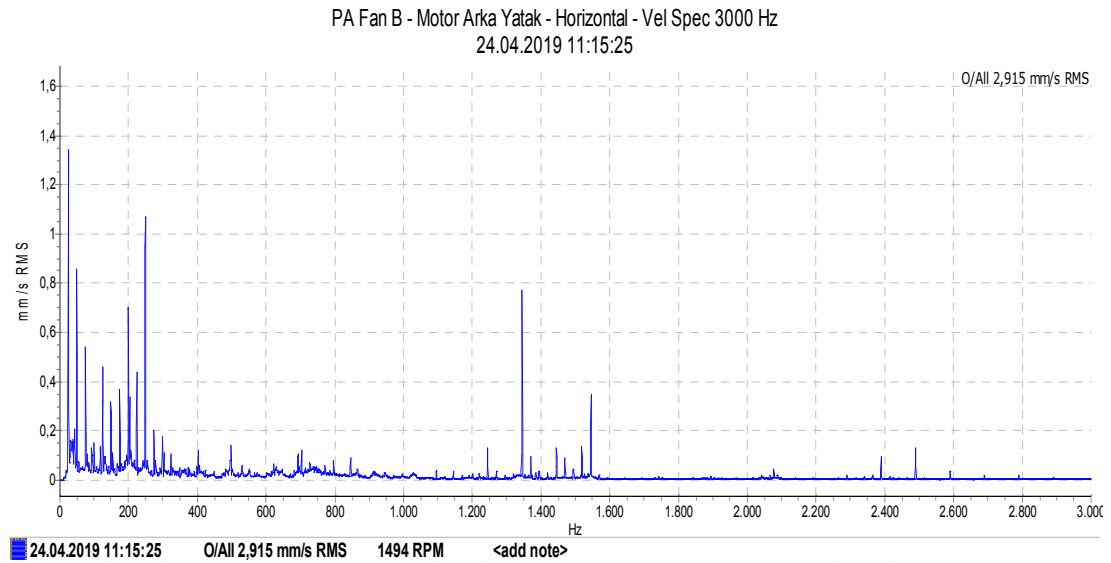
şekil 3.24. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-28.12.2016

Ayrıca 270 Hz frekansı ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.10.'da gösterilen NU232 rulman iç bilezik bilye geçiş arıza frekansıdır. 270 Hz frekansı, harmonikleri ve 1X yan bantlarındaki yüksek titreşim genlikleri aşağıdaki Şekil 3.25.'de gösterilmiştir. Motor rulman değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda motor rulmanları değiştirilmiştir. Motor rulmanları değiştirildikten sonra alınan 20.02.2017 tarihli ölçümde titreşim hızının 3,00 mm/s düştüğü Şekil 3.18. ve Şekil 3.23.'de görülmektedir.



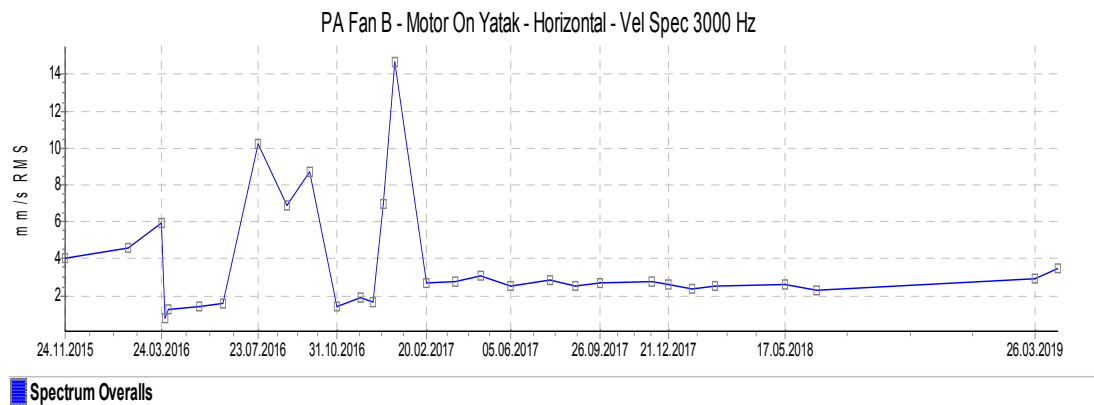
Şekil 3.25. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-28.12.2016

Daha sonraki ölçümlerde titreşim hızının 3,3 mm/s değerinin altında olduğu Şekil 3.18.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup bu süre zarfında herhangi bir arıza görülmemiştir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,915 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.26.'da gösterilmiştir.



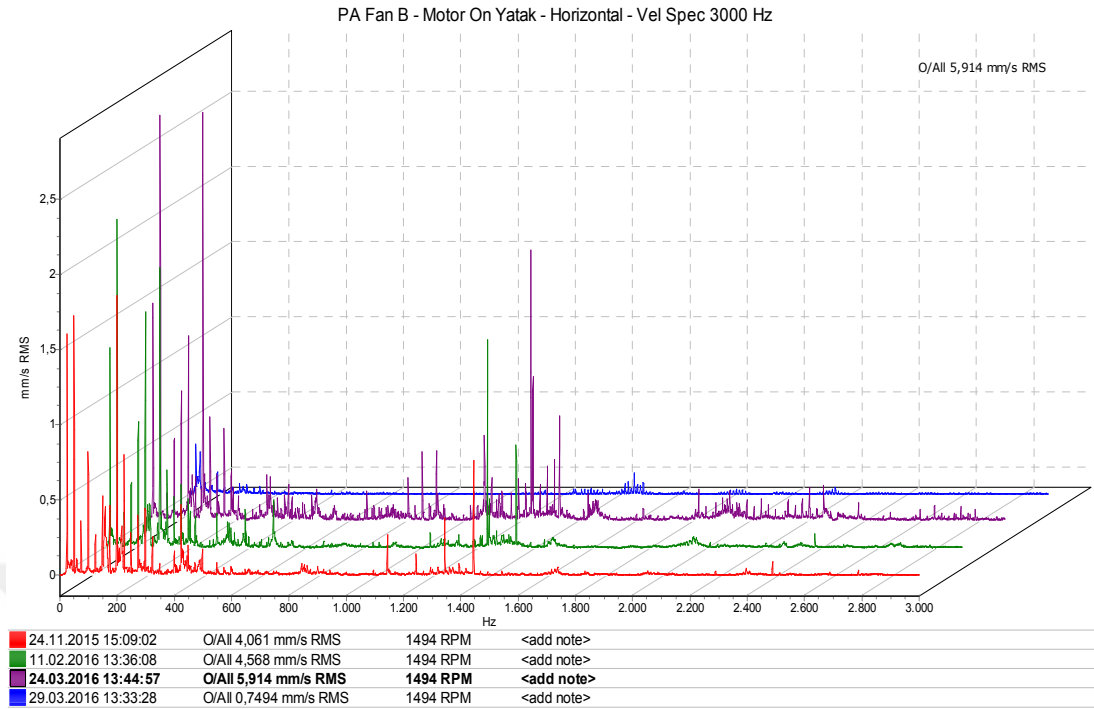
Şekil 3.26. PA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

PA Fan B motor ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.27.'de gösterilmiştir.



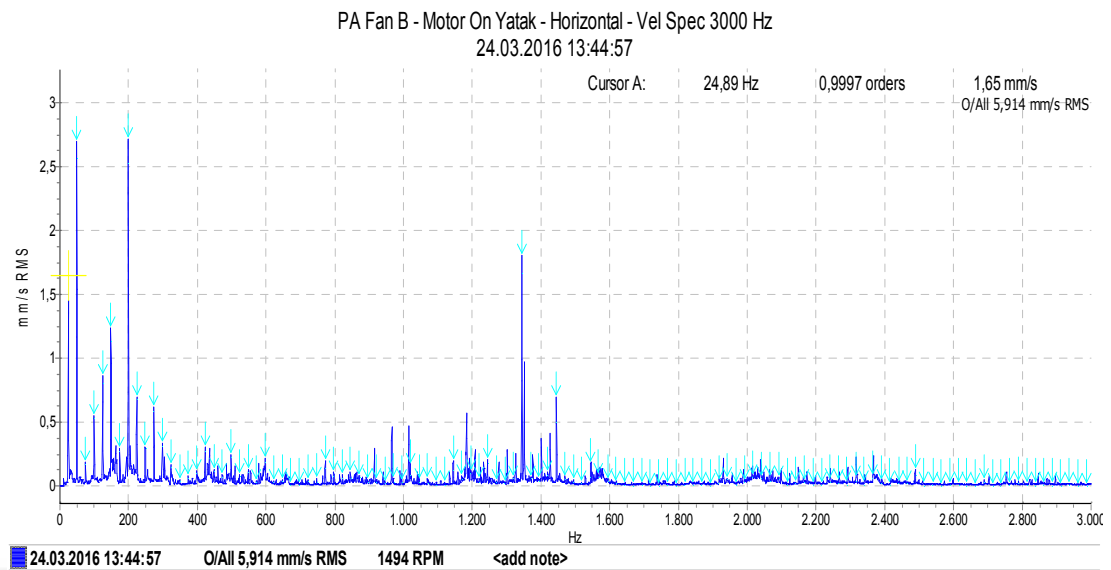
Şekil 3.27. PA Fan B motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Alınan ölçümlerde 24.11.2015 tarihinde 4,061 mm/s olan titreşim hızı 11.02.2016 tarihinde 4,568 mm/s değerine, 24.03.2016 tarihinde de 5,914 mm/s değerine çıktığı görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiş ve Şekil 3.28.'de gösterilmiştir.



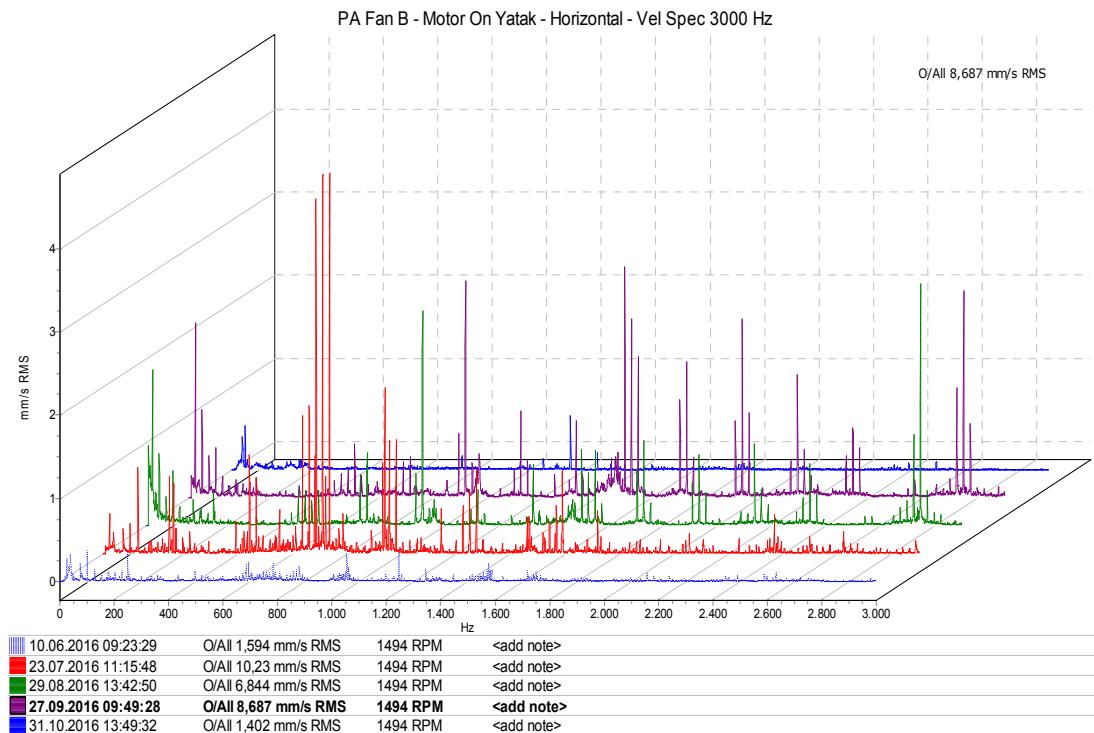
Şekil 3.28. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

24.03.2016 tarihli titreşim hızı 5,914 mm/s olan ölçüm incelendiğinde, 24,89Hz (1X) frekansında ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekanslar Tablo 2.9.'da gösterilen mekanik boşluk arızası olduğunu göstermektedir Şekil 3.29. Yedek elektrik motoru ile değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda bu arızalı elektrik motoru yedek motor ile değiştirilmiştir. Motor değişimi yapıldıktan sonra alınan 29.03.2016 tarihli ölçümde titreşim hızının 0,749 mm/s düştüğü Şekil 3.28.'de görülmektedir.



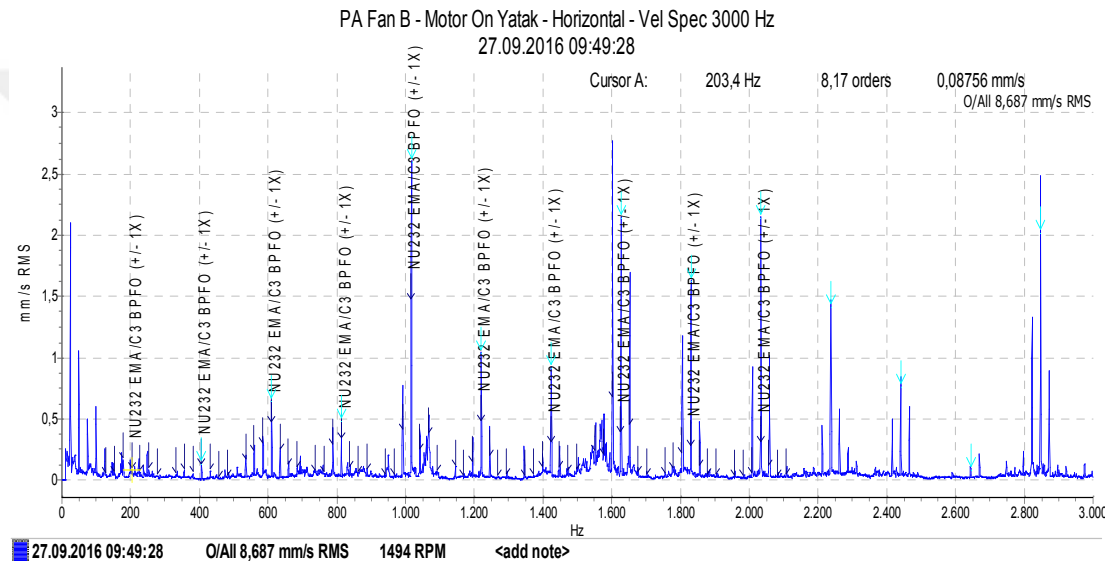
Şekil 3.29. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.03.2016

Diğer bir değişim (Şekil 3.27.) ise 10.06.2016 tarihinde 1,594 mm/s olan titreşim hızı 23.07.2016 tarihinde 10,23 mm/s, 29.08.2016 tarihinde 6,844 mm/s, 27.09.2016 tarihinde 8,687 mm/s değerinde olduğu görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiş ve Şekil 3.30.'da gösterilmiştir.



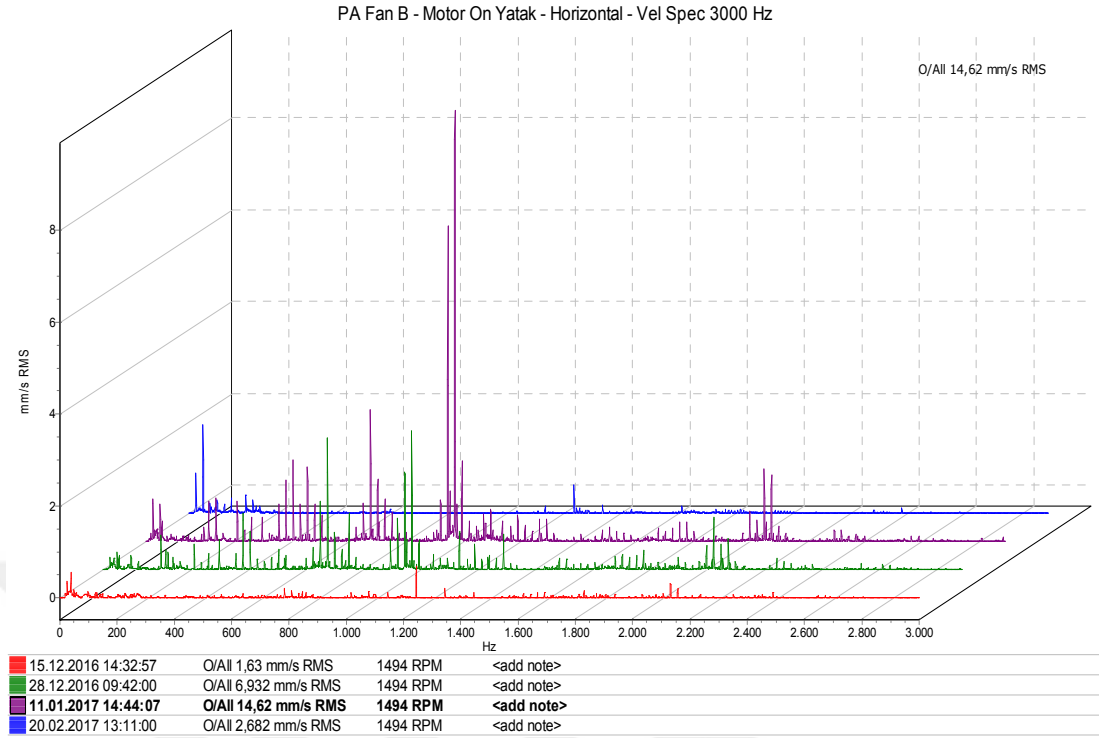
Şekil 3.30. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

27.09.2016 tarihli titreşim hızı 8,687 mm/s olan ölçüm incelendiğinde, 203,4 Hz frekansı ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.10.'da gösterilen NU232 rulman dış bilezik bilye geçiş arıza frekansıdır. 203,4 Hz frekansı, harmonikleri ve 1X yan bantlarındaki yüksek titreşim genlikleri aşağıdaki Şekil 3.31.'de gösterilmiştir. Motor rulman değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda motor rulmanları değiştirilmiştir. Motor rulmanları değiştirildikten sonra alınan 31.10.2016 tarihli ölçümde titreşim hızının 1,402 mm/s düştüğü Şekil 3.27. ve Şekil 3.30.'de görülmektedir.



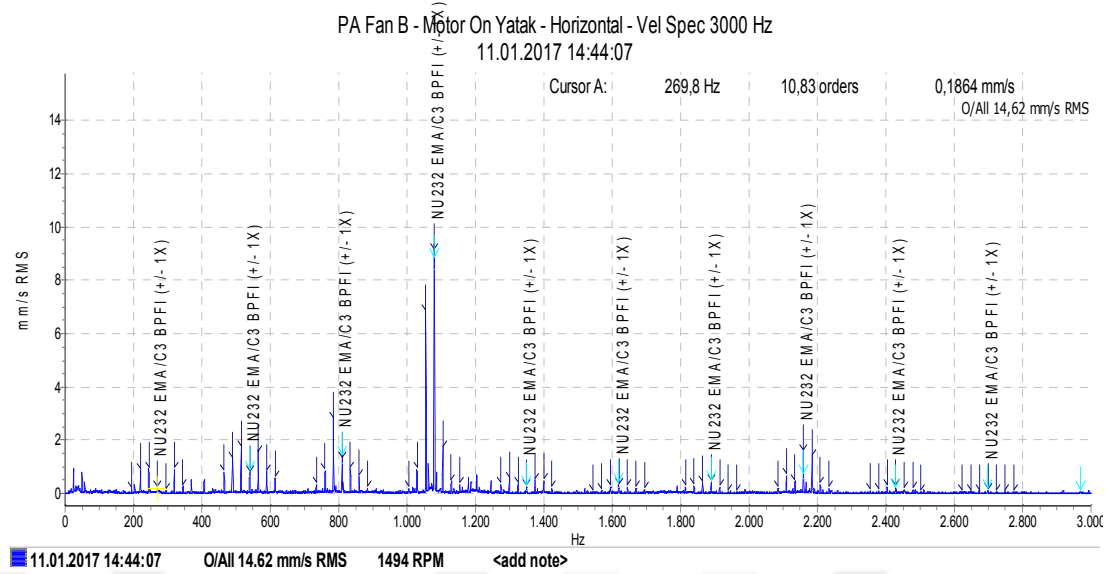
Şekil 3.31. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-27.09.2016

Bir diğer değişim (Şekil 3.27.) ise 15.12.2016 tarihinde 1,63 mm/s olan titreşim hızı 28.12.2016 tarihinde 6,931 mm/s, 11.01.2017 tarihinde 14,62 mm/s değerinde olduğu görülmüştür. Bu değişimden dolayı titreşim hız spektrum grafikleri incelenmiş ve Şekil 3.32.'de gösterilmiştir.



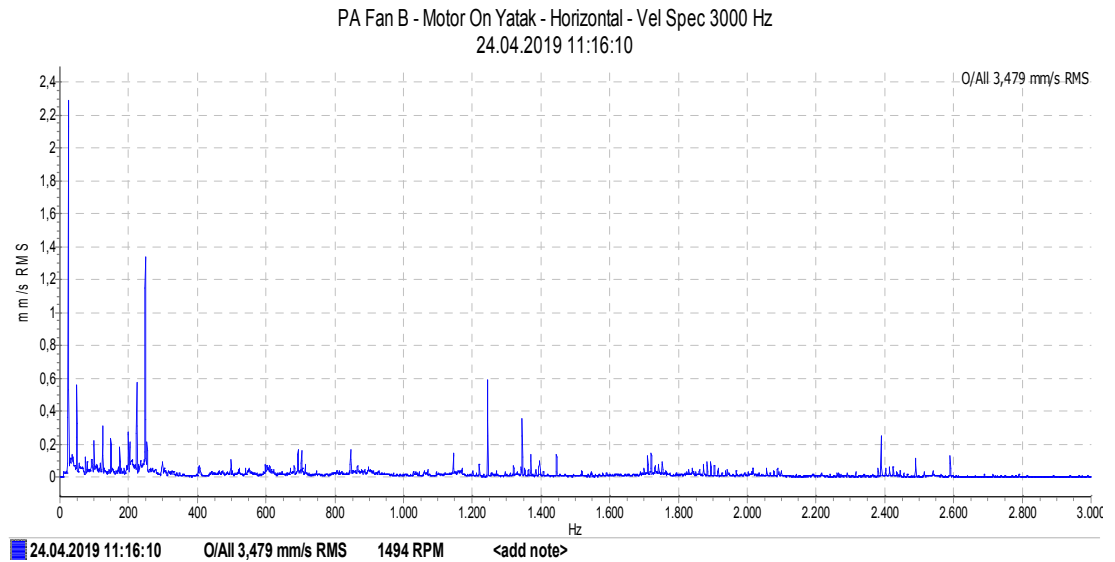
Şekil 3.32. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim çoklu spektrum (3000Hz) grafiği

11.01.2017 tarihli titreşim hızı 14,62 mm/s olan ölçüm incelendiğinde, 269,8Hz frekansı ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.10.'da gösterilen NU232 rulman iç bilezik bilye geçiş arıza frekansıdır. 269,8 Hz frekansı, harmonikleri ve 1X yan bantlarındaki yüksek titreşim genlikleri aşağıdaki Şekil 3.33.'de gösterilmiştir. Motor rulman değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda motor rulmanları değiştirilmiştir. Motor rulmanları değiştirildikten sonra alınan 20.02.2017 tarihli ölçümde titreşim hızının 2,682 mm/s düştüğü Şekil 3.27. ve Şekil 3.32.'de görülmektedir.



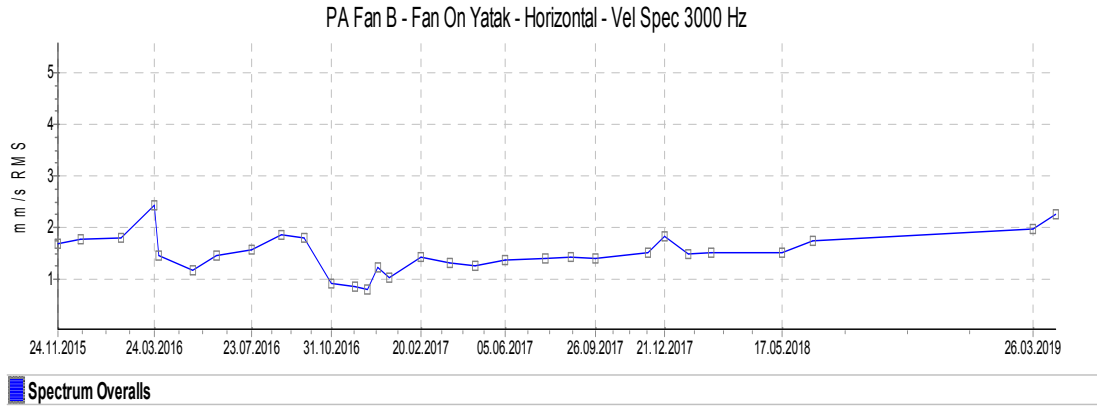
Şekil 3.33. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-27.09.2016

Daha sonraki ölçümlerde titreşim hızının 3,6 mm/s değerinin altında olduğu Şekil 3.27.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup bu süre zarfında herhangi bir arıza görülmemiştir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 3,479 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.34.'de gösterilmiştir.



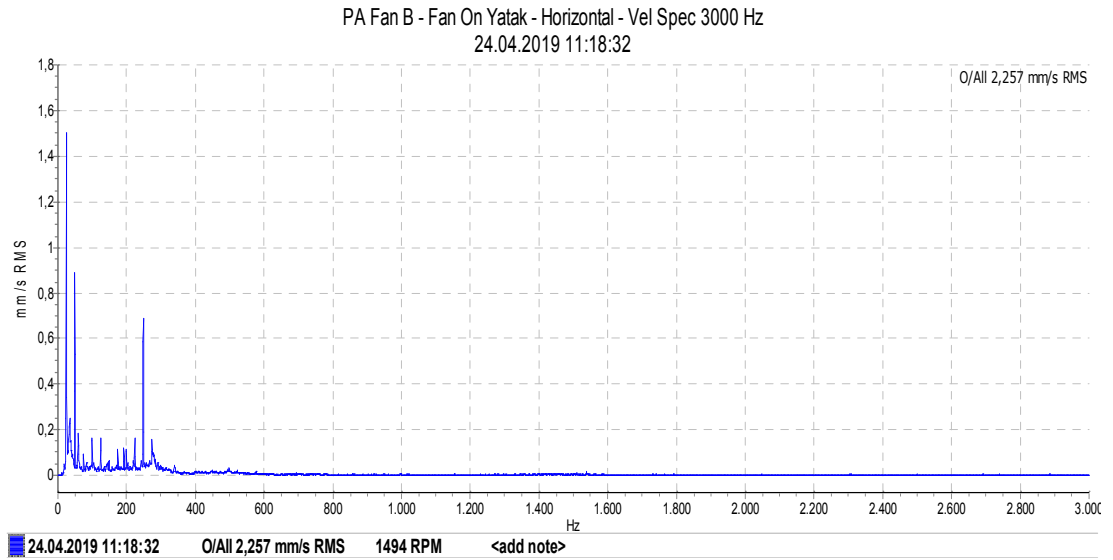
Şekil 3.34. PA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

PA Fan B fan ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.35.'de gösterilmiştir.



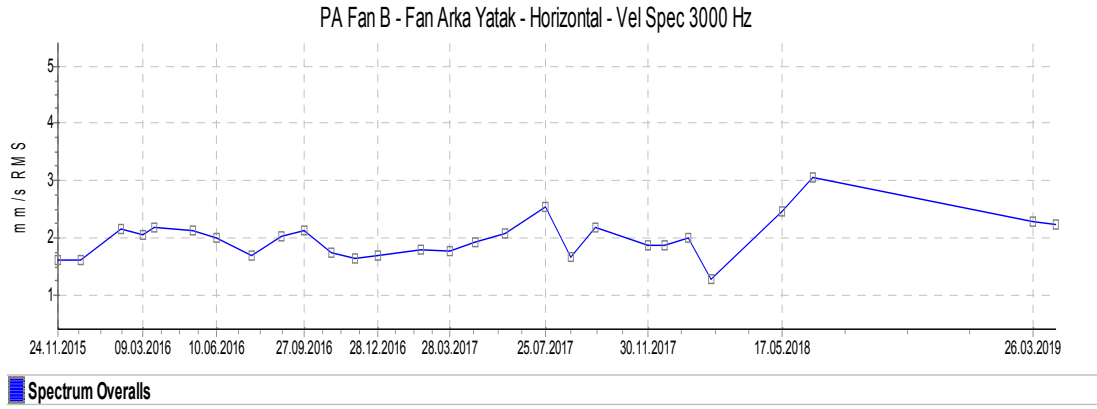
Şekil 3.35. PA Fan B fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,6 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.35.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,257 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.36.'da gösterilmiştir.



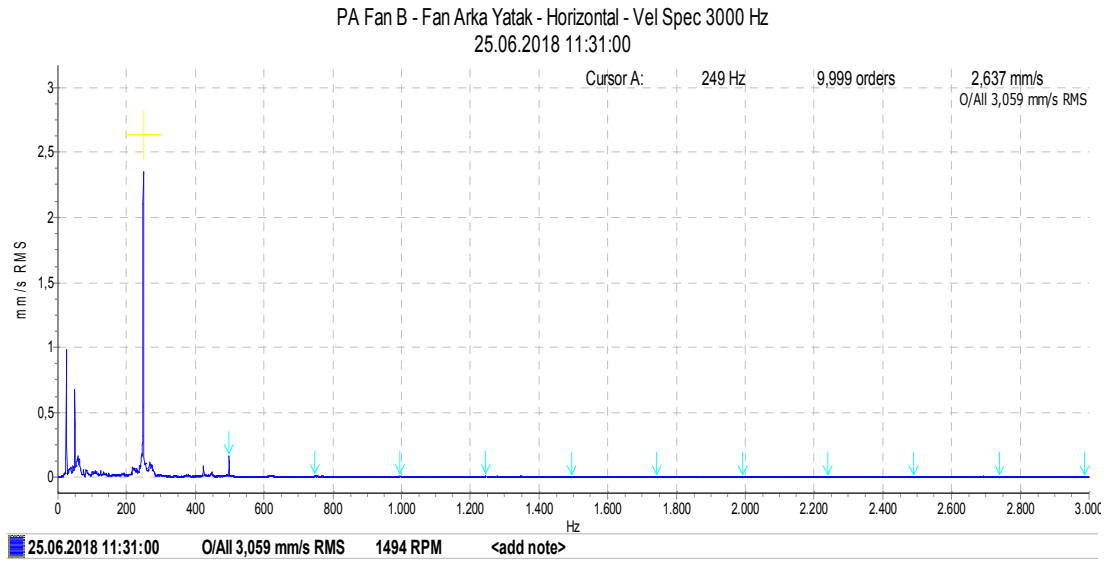
Şekil 3.36. PA Fan B fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

PA Fan B fan arka yatak yatay eksen 3000Hz frekansa kadar (24.11.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.37.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.37. PA Fan B fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

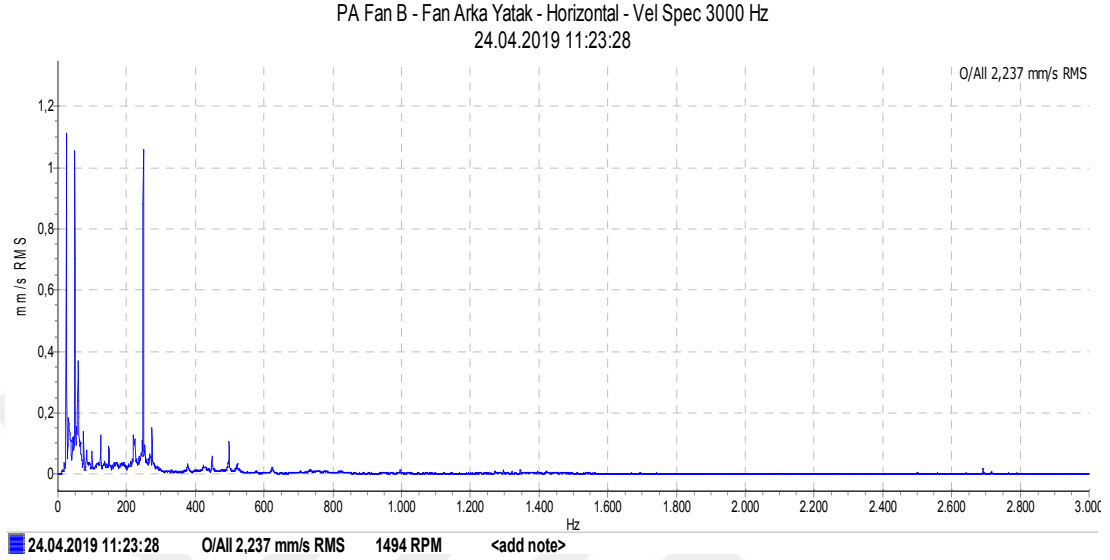
Bu ölçümlerden titreşim hızı 3,059 mm/s olan 25.06.2018 tarihli ölçüm incelendiğinde, 249 Hz (10X) frekansında 2,63mm/s değerinde titreşim genliği tespit edilmiştir. Bu frekans Tablo 2.7.'de gösterilen fan kanat geçiş frekansı olup aşağıdaki Şekil 3.38.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38. PA Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-26.03.2019

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 3,2 mm/s değerinin altında olduğu Şekil 3.37.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin

olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,237 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.39.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.39. PA Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

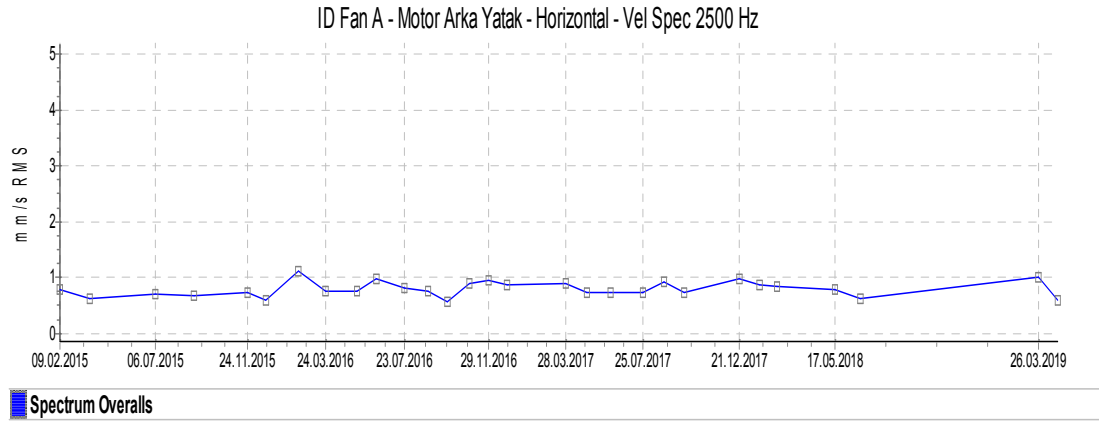
3.2. ID Fan Titreşim Ölçümleri

Sistemde iki adet ID Fan vardır. Bunlar ID Fan A ve ID Fan B dir. ID Fan titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak olarak yapılmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

3.2.1. ID Fan A titreşim ölçümleri

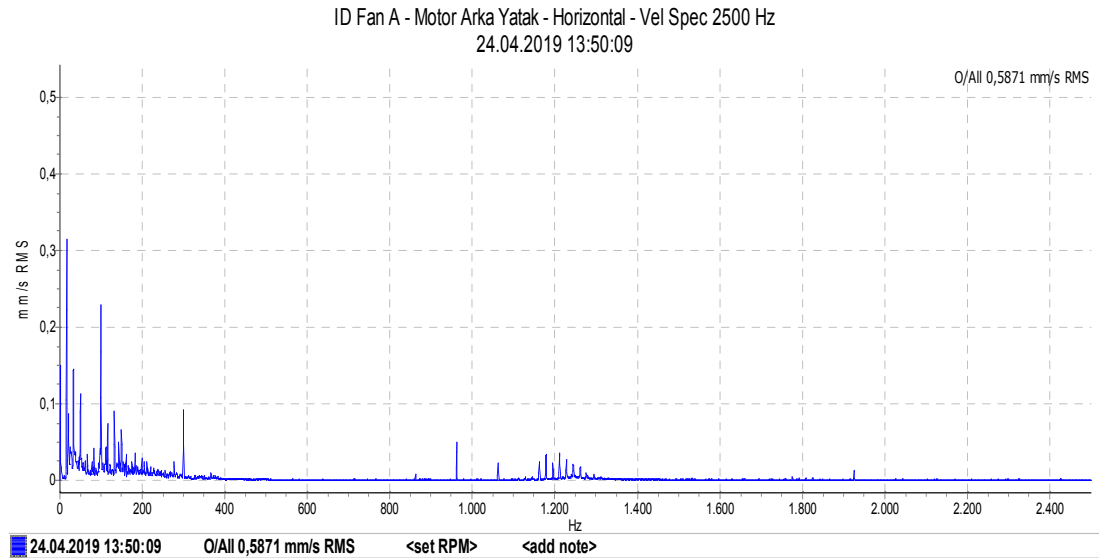
ID Fan A titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

ID Fan A motor arka yatak yatay eksenden 2500Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.40.'da gösterilmiştir.



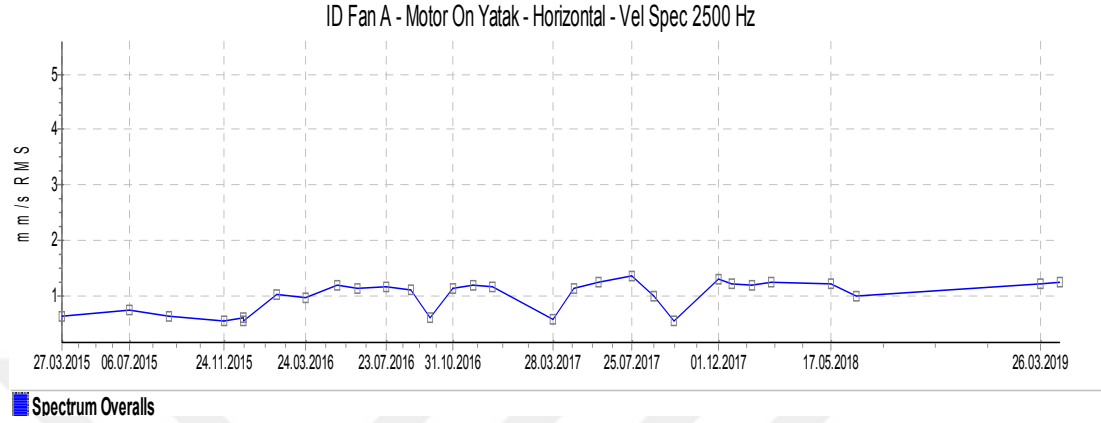
Şekil 3.40. ID Fan A motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,3 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.40.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,587 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.41.'de gösterilmiştir.



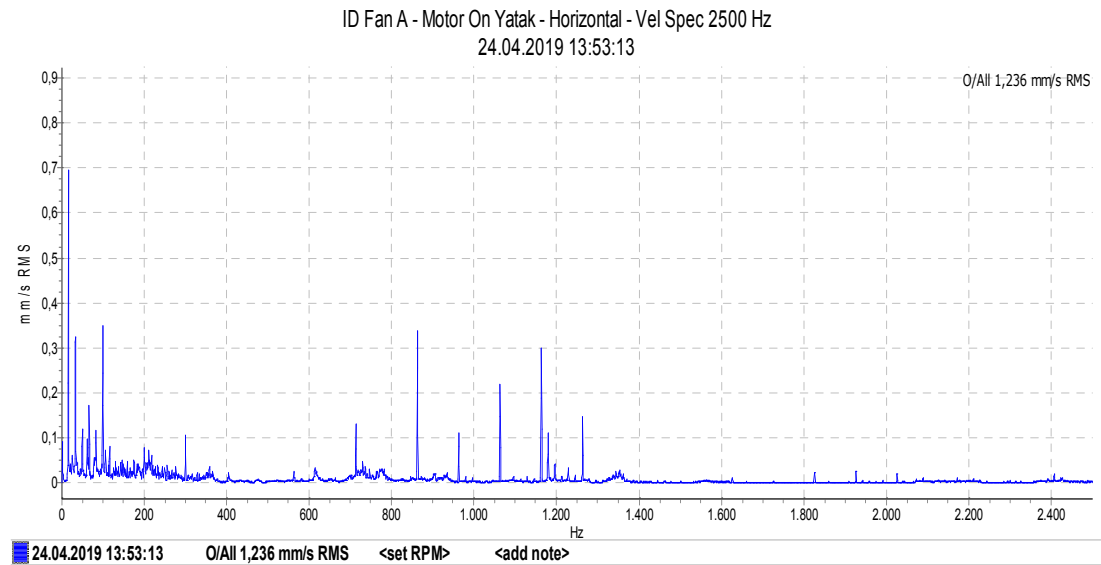
Şekil 3.41. ID Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

ID Fan A motor ön yatak yatay eksenden 2500Hz frekansa kadar (27.03.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.42.'de gösterilmiştir.



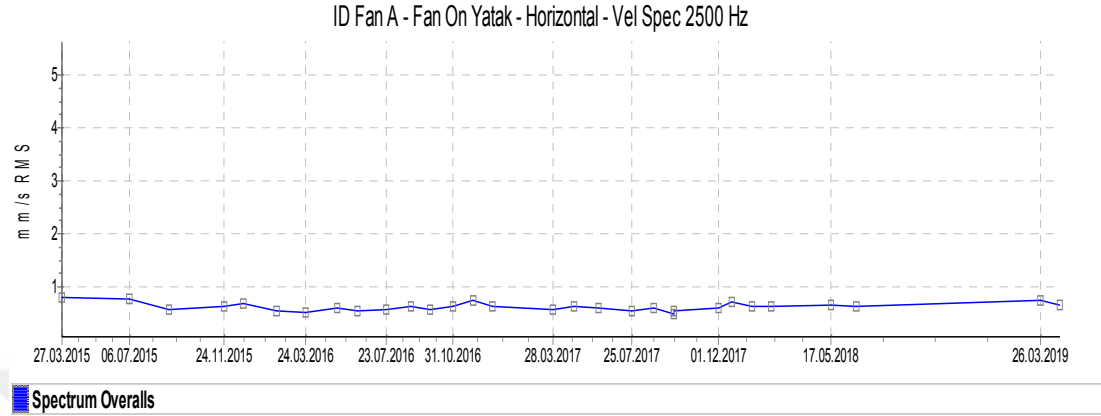
Şekil 3.42. ID Fan A motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,5 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.42.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,236 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.43.'de gösterilmiştir.



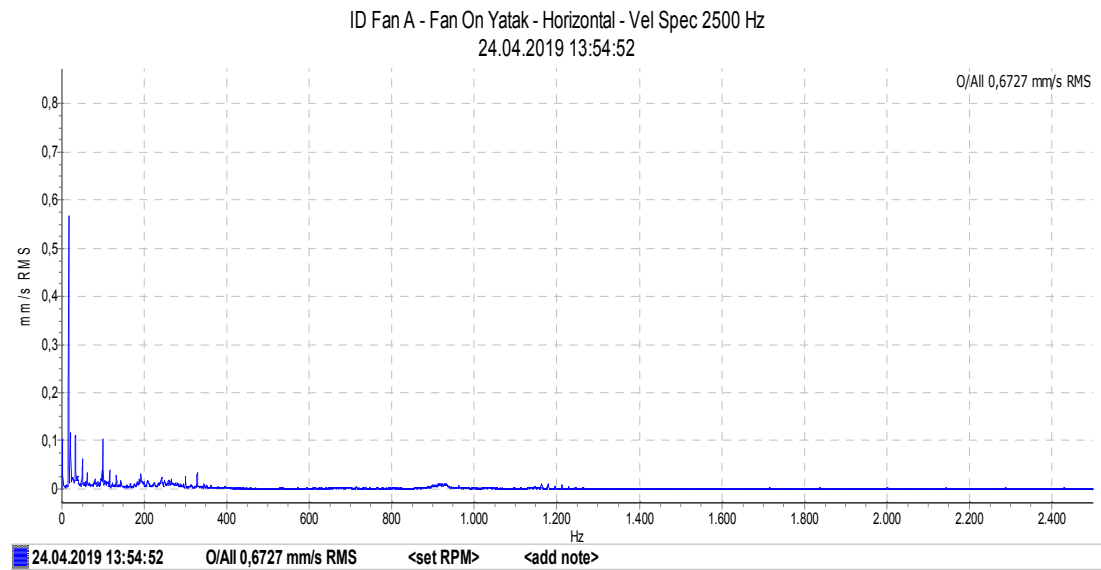
Şekil 3.43. ID Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

ID Fan A fan ön yatak yatay eksenden 2500Hz frekansa kadar (27.03.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.44.'de gösterilmiştir.



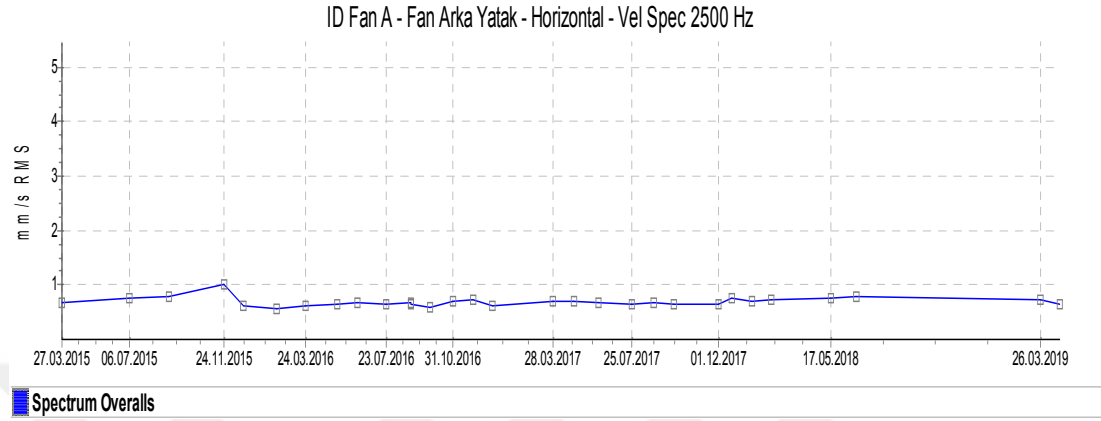
Şekil 3.44. ID Fan A fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.44.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,672 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.45.'de gösterilmiştir.



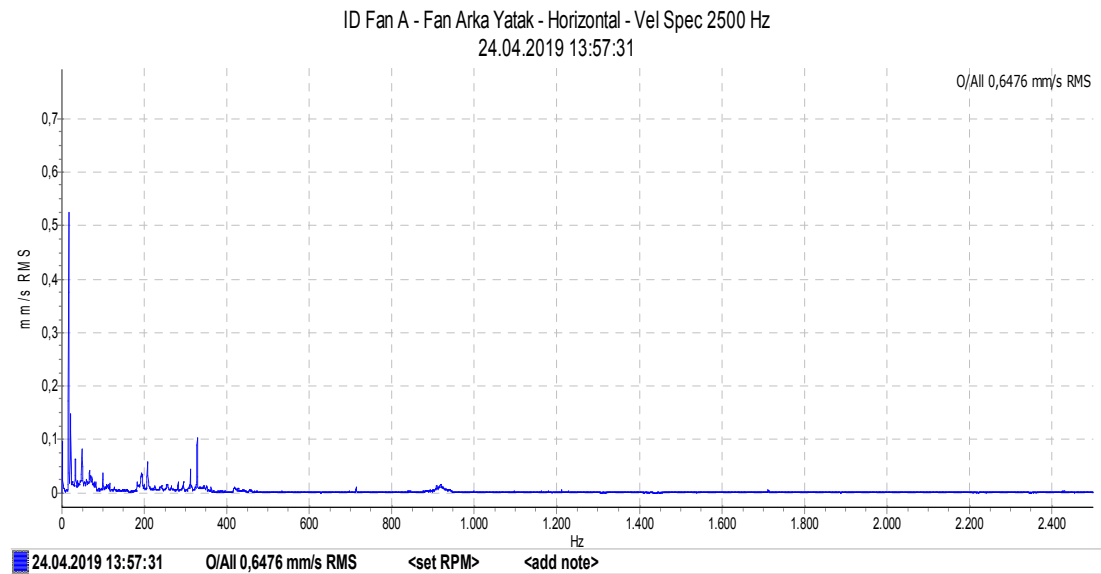
Şekil 3.45. ID Fan A fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

ID Fan A fan arka yatak yatay ekseninden 2500Hz frekansa kadar (27.03.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.46.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.46. ID Fan A fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,2 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.46.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,647 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.47.'de gösterilmiştir.

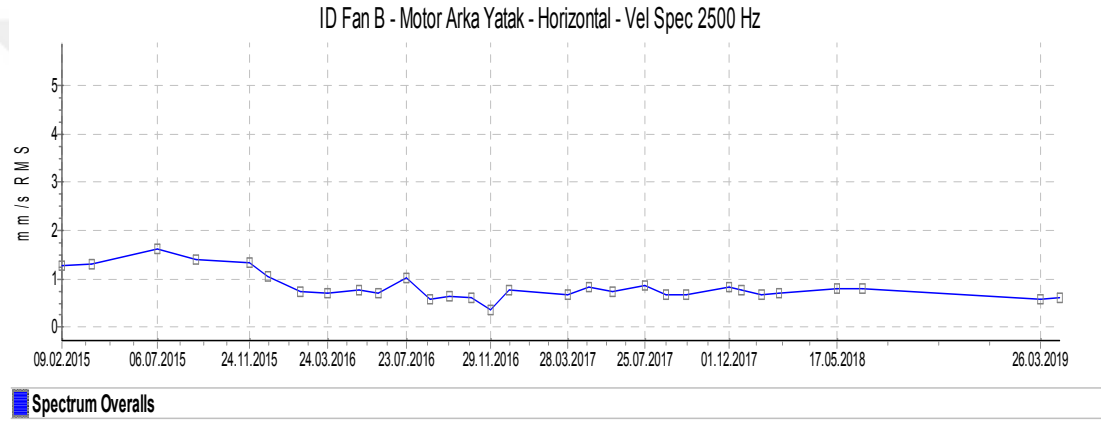


Şekil 3.47. ID Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

3.2.2. ID Fan B titreşim ölçümleri

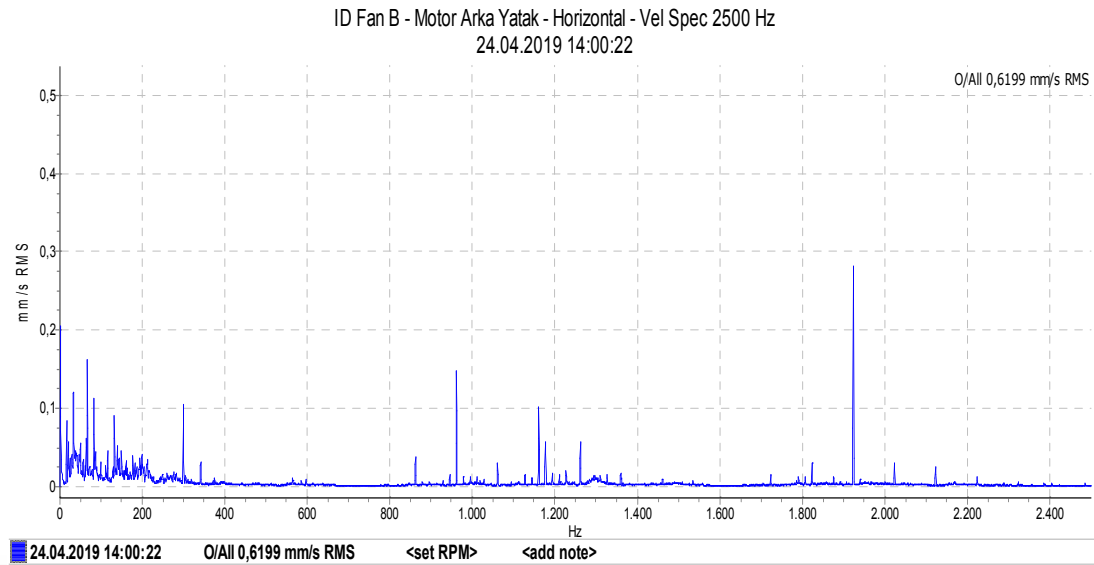
ID Fan B titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

ID Fan B motor arka yatak yatay eksenden 2500Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.48.'de gösterilmiştir.



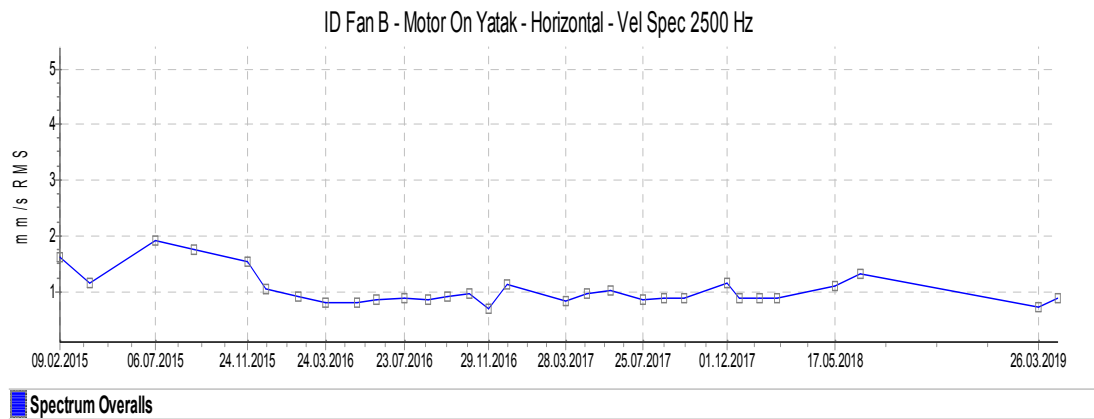
Şekil 3.48. ID Fan B motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,8 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.48.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,619 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.49.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.49. ID Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

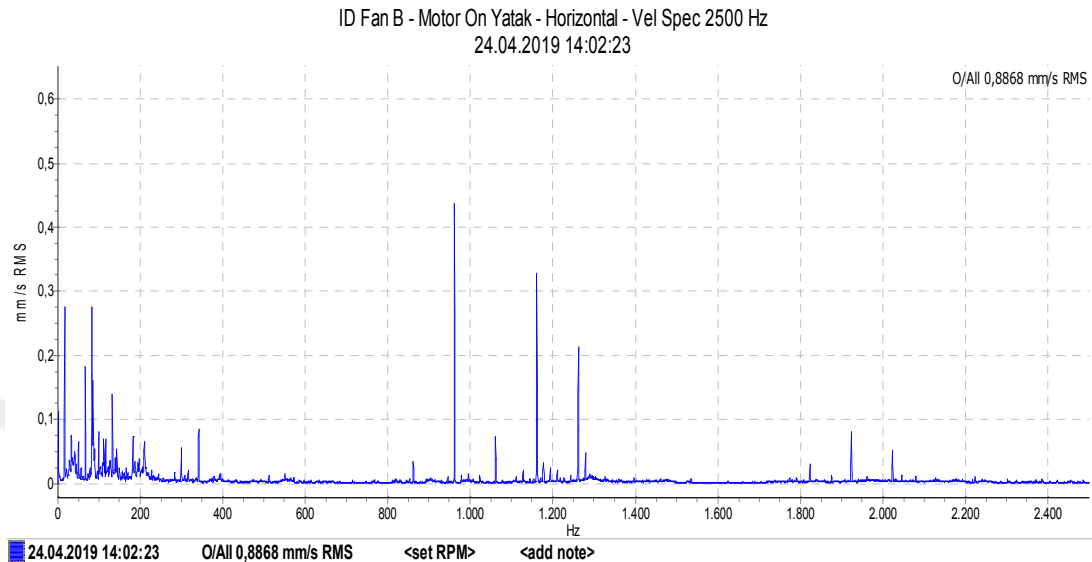
ID Fan B motor ön yatak yatay eksen 2500Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.50.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.50. ID Fan B motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

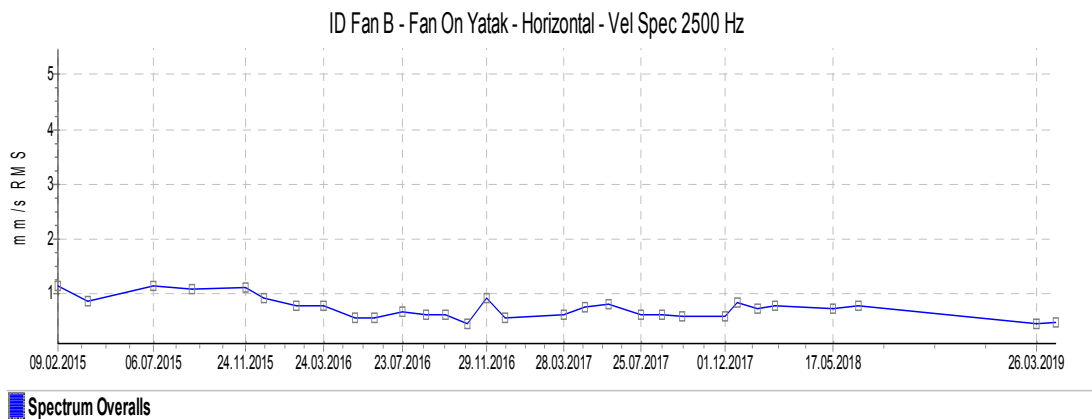
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,1 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.50.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin

olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,886 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.51.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.51. ID Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

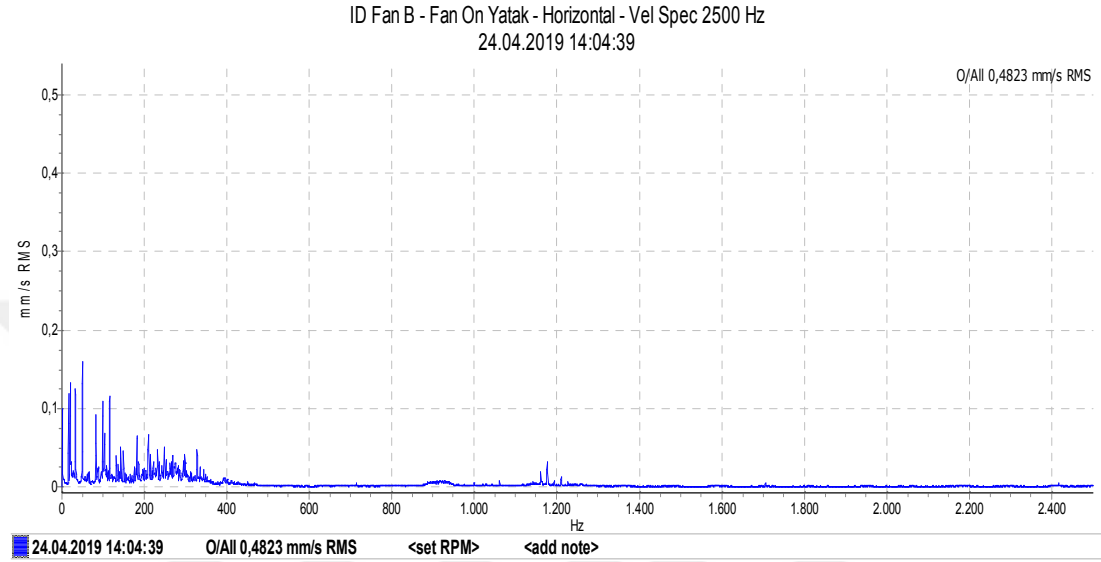
ID Fan B fan ön yatak yatay eksen 2500Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.52.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.52. ID Fan B fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

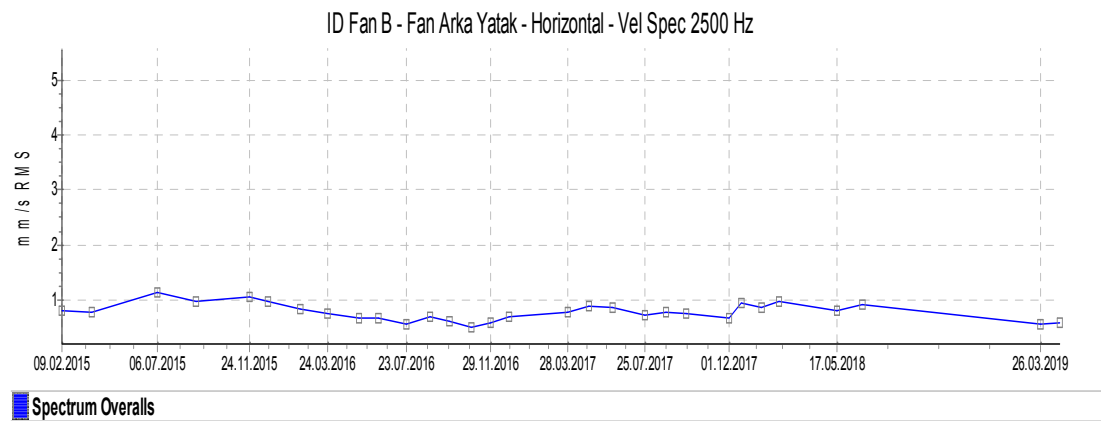
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,3 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.52.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında

herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,482 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.53.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.53. ID Fan B fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

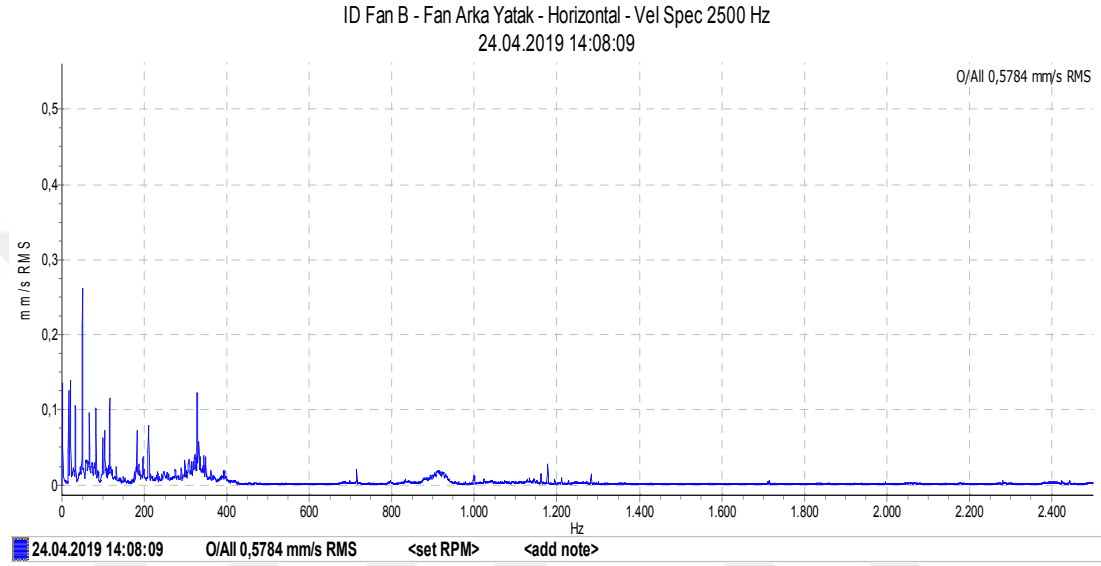
ID Fan B fan arka yatak yatay eksen 2500Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.54.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.54. ID Fan B fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (2500Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,3 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.54.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir

müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,578 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.55.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.55. ID Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (2500Hz) grafiği-24.04.2019

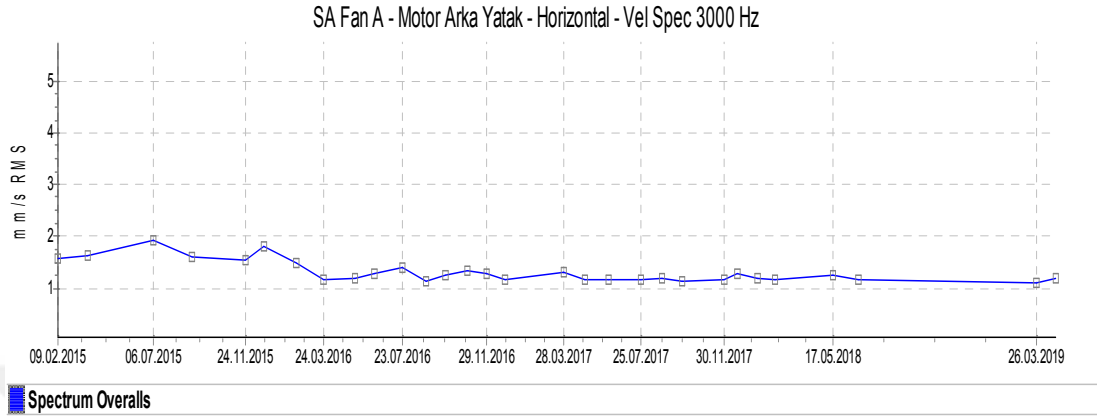
3.3. SA Fan Titreşim Ölçümleri

Sistemde iki adet SA Fan vardır. Bunlar SA Fan A ve SA Fan B dir. SA Fan titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak olarak yapılmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

3.3.1. SA Fan A titreşim ölçümleri

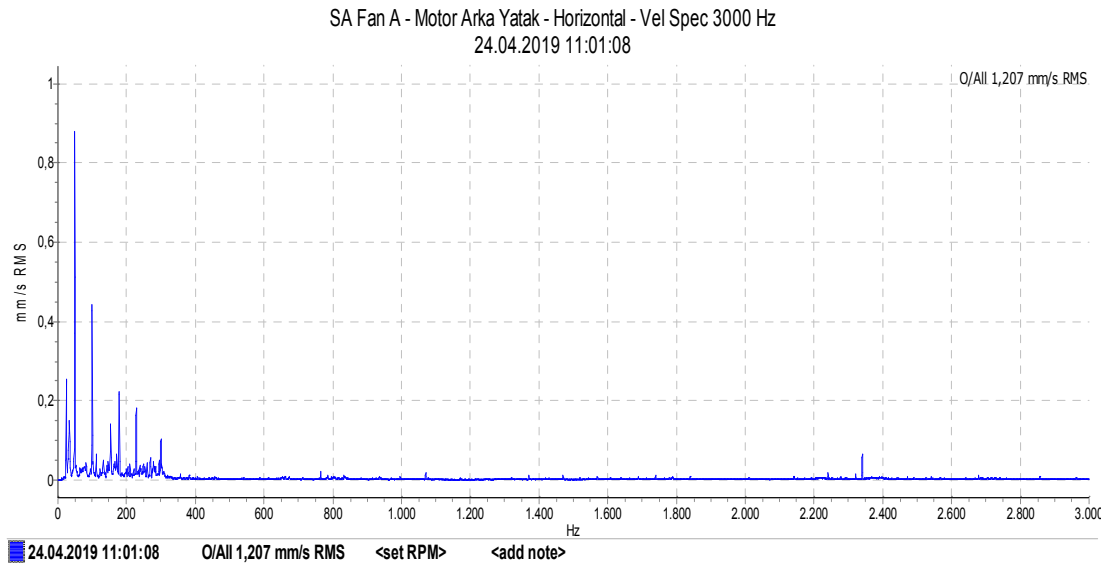
SA Fan A titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

SA Fan A motor arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.56.'da gösterilmiştir.



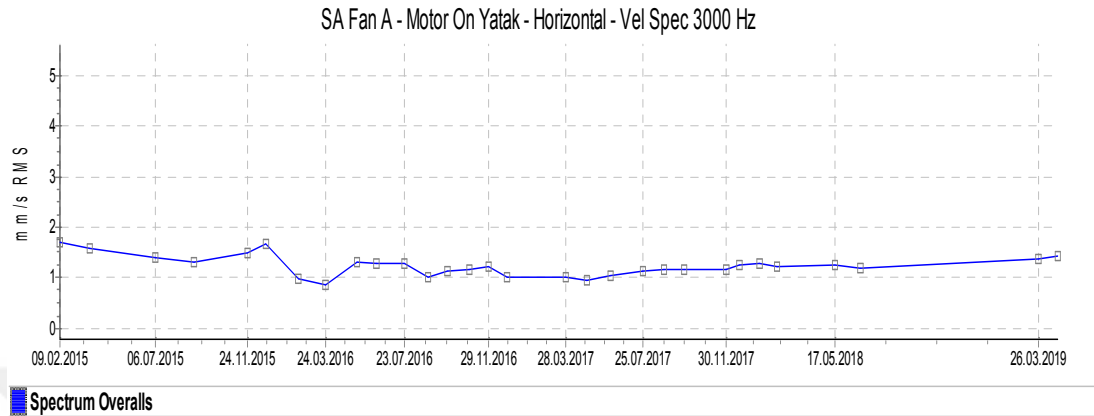
Şekil 3.56. SA Fan A motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,1 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.56.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,207 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.57.'de gösterilmiştir.



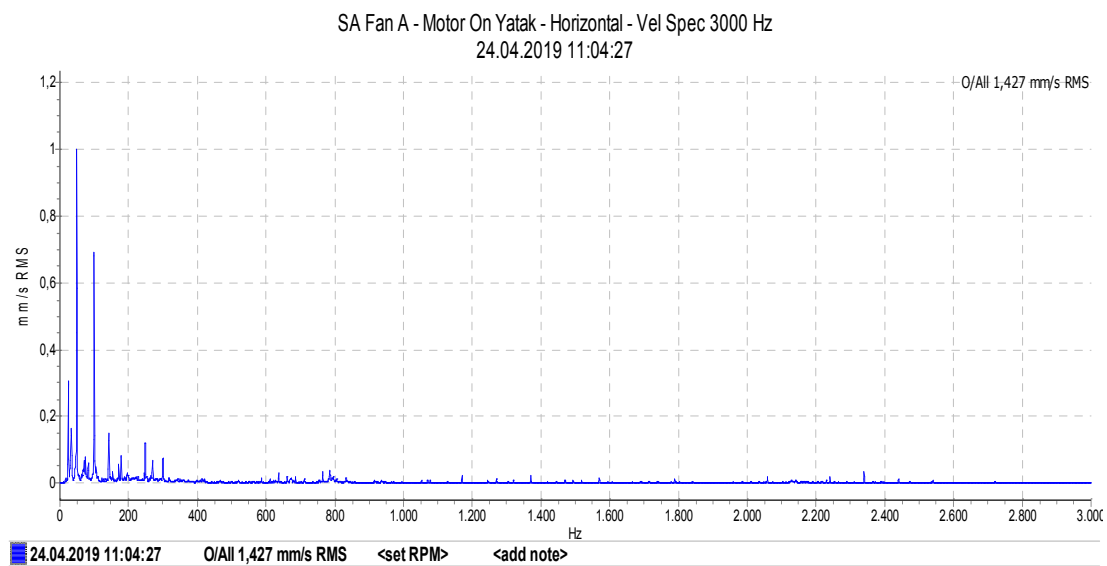
Şekil 3.57. SA Fan A motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

SA Fan A motor ön yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.58.'de gösterilmiştir.



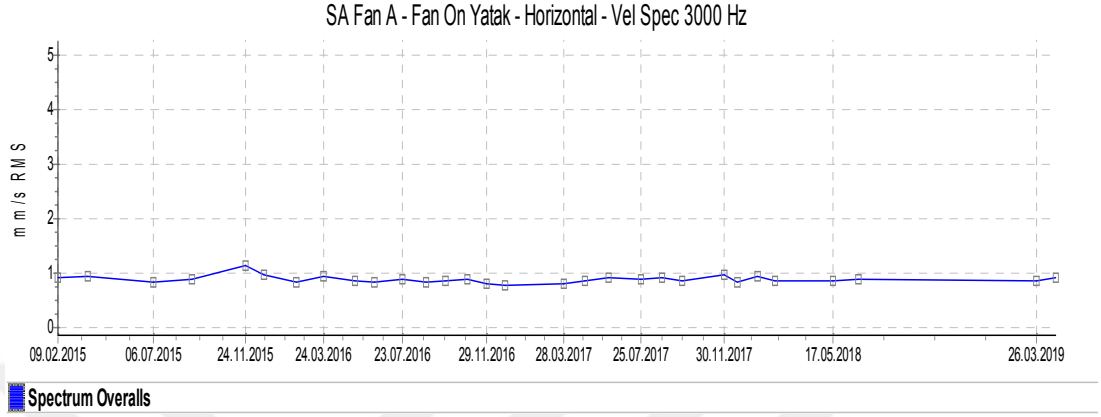
Şekil 3.58. SA Fan A motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.58.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,427 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.59.'da gösterilmiştir.



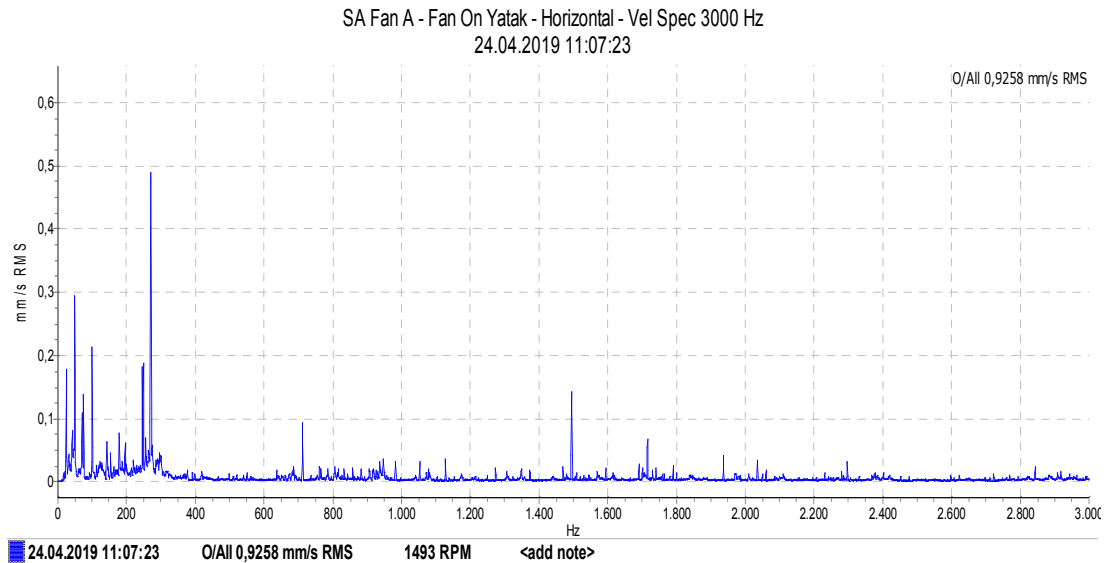
Şekil 3.59. SA Fan A motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

SA Fan A fan ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.60.'da gösterilmiştir.



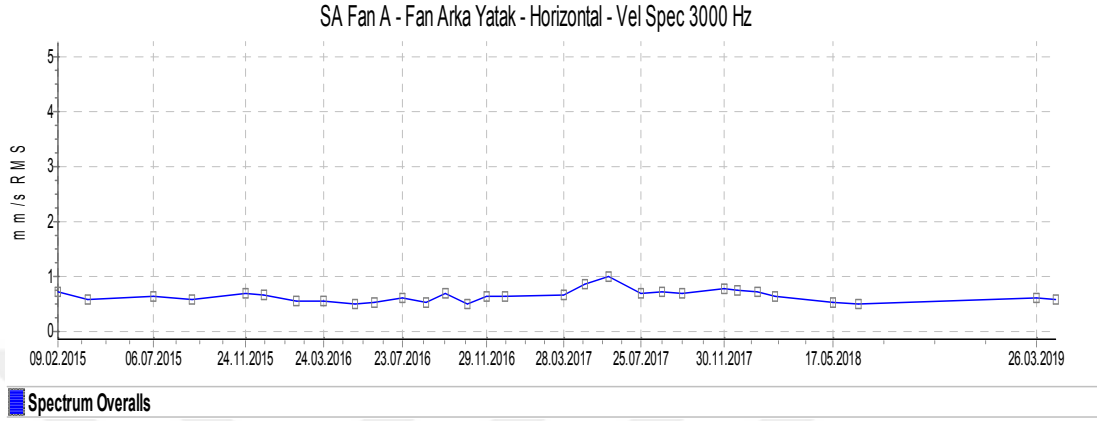
Şekil 3.60. SA Fan A fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,3 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.60.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,925 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.61.'de gösterilmiştir.



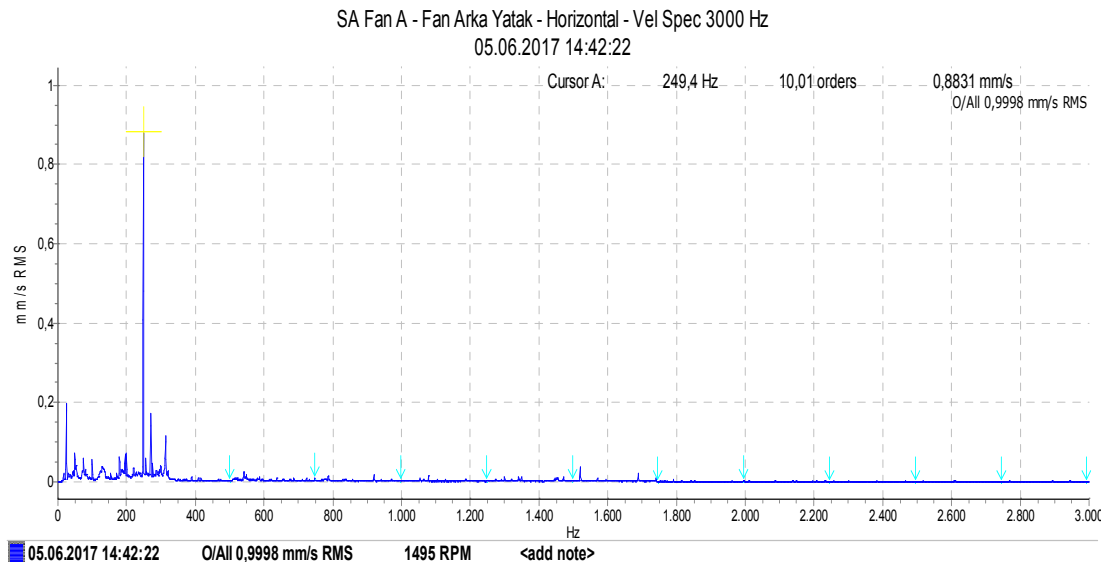
Şekil 3.61. SA Fan A fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

SA Fan A fan arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.62.'de gösterilmiştir.



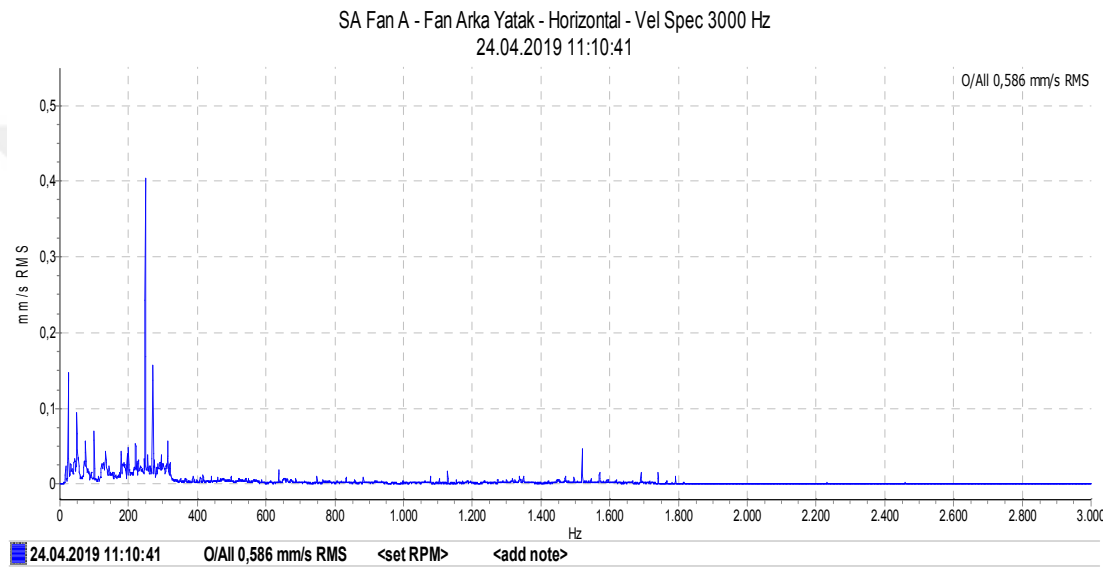
Şekil 3.62. SA Fan A fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Bu ölçümlerden titreşim hızı 0,99 mm/s olan 05.06.2017 tarihli ölçüm incelendiğinde, 249,4 Hz (10X) frekansında 0,88mm/s değerinde titreşim genliği tespit edilmiştir. Bu titreşim genliği (Tablo 2.17.) fan kanat geçiş frekansı olup aşağıdaki Şekil 3.63.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.63. SA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-05.06.2017

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,1 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.62.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,925 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.64.'de gösterilmiştir.

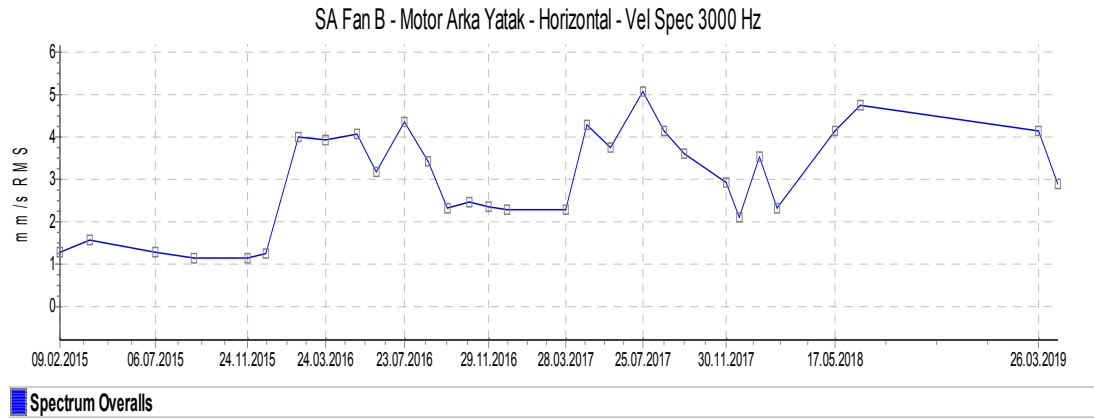


Şekil 3.64. SA Fan A fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

3.3.2. SA Fan B titreşim ölçümleri

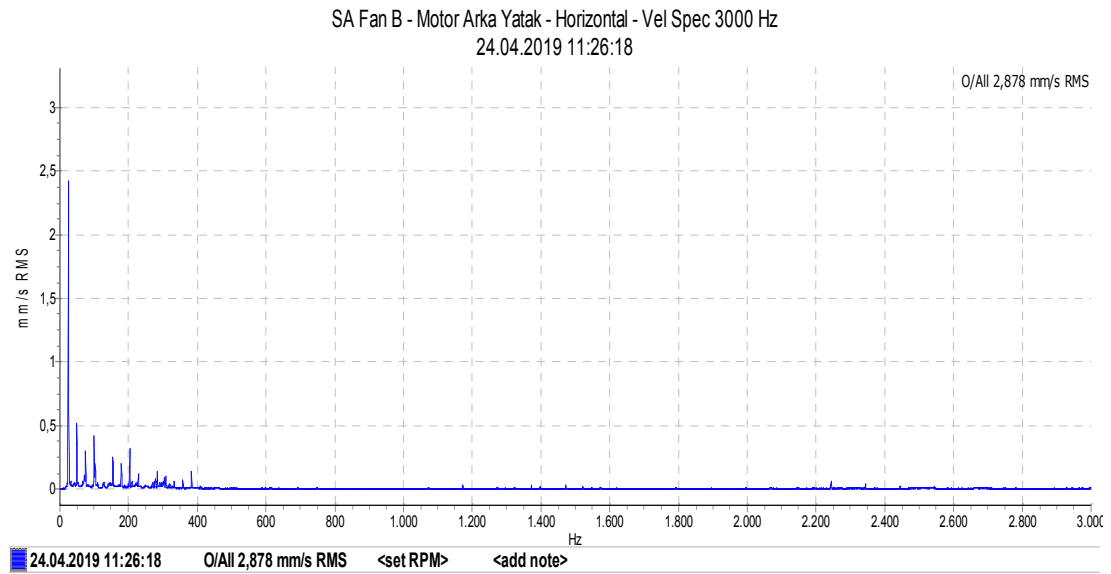
SA Fan B titreşim ölçümleri motor arka yatak, motor ön yatak, fan ön yatak, fan arka yatak üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

SA Fan B motor arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.65.'de gösterilmiştir.



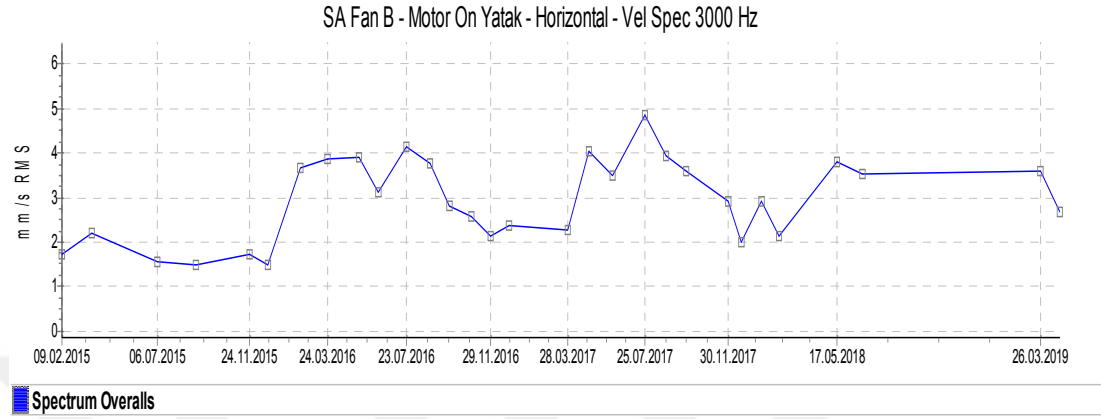
Şekil 3.65. SA Fan B motor arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 5,1 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.65.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,878 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.66.'de gösterilmiştir.



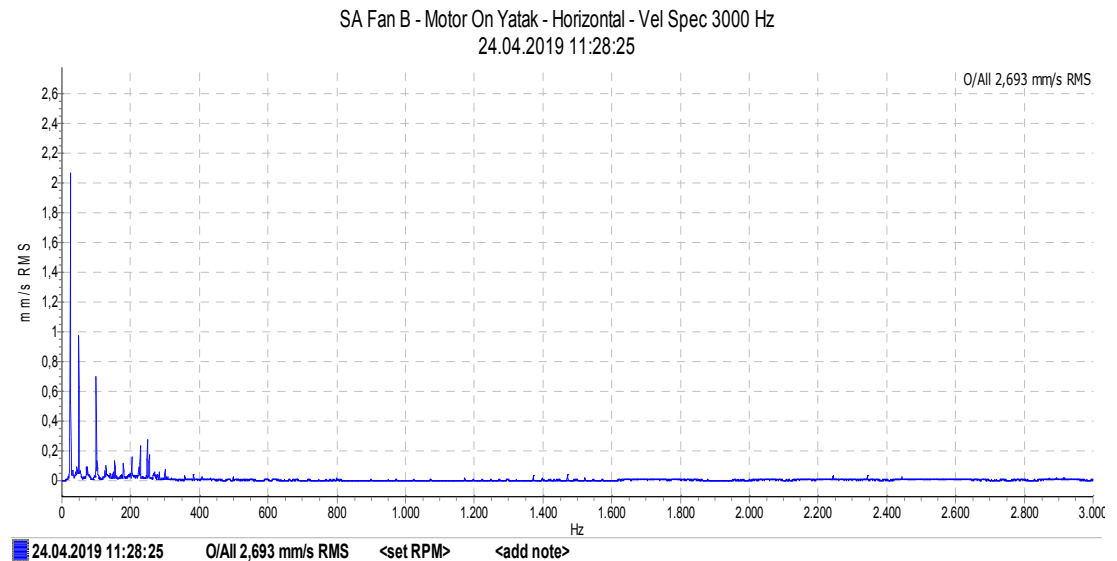
Şekil 3.66. SA Fan B motor arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

SA Fan B motor ön yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.67.'de gösterilmiştir.



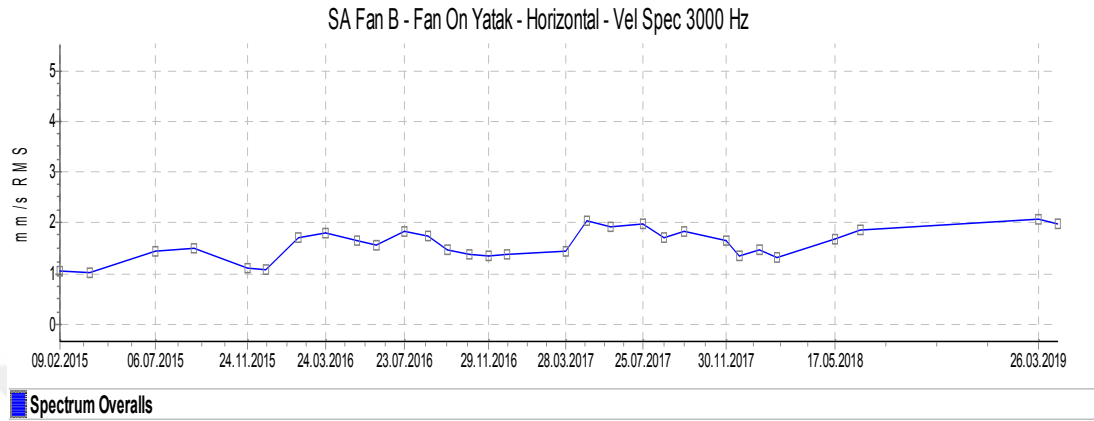
Şekil 3.67. SA Fan B motor ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 5,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.67.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,693 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.68.'de gösterilmiştir.



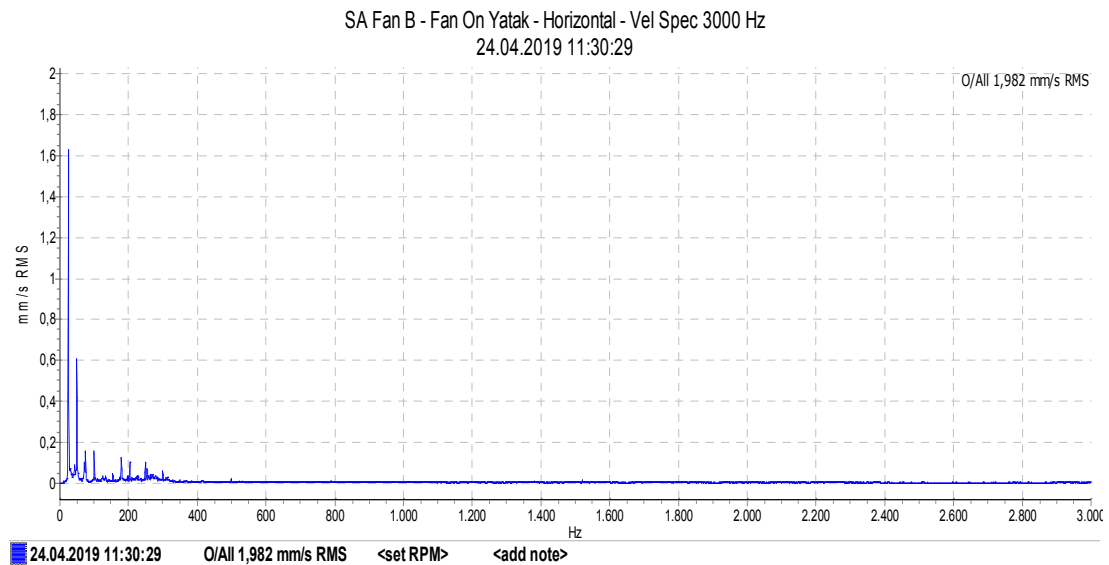
Şekil 3.68. SA Fan B motor ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

SA Fan B fan ön yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.69.'da gösterilmiştir.



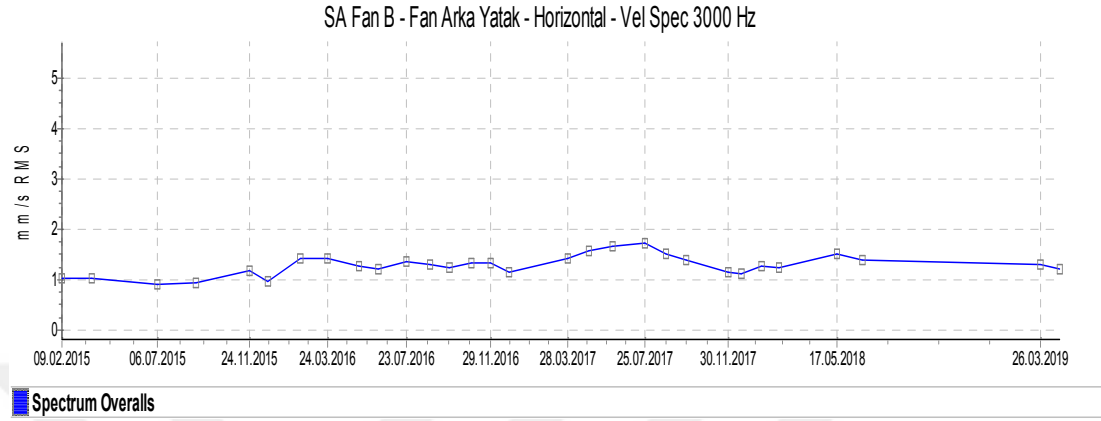
Şekil 3.69. SA Fan B fan ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,2 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.69.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,982 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.70.'de gösterilmiştir.



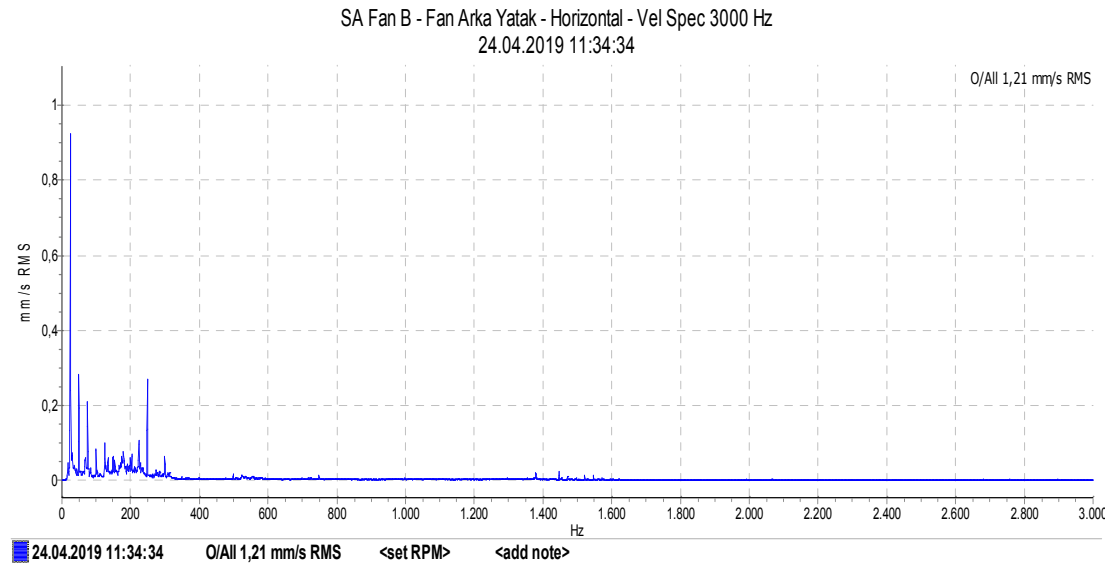
Şekil 3.70. SA Fan B fan ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

SA Fan B fan arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (09.02.2015-24.04.2019) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.71.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.71. SA Fan B fan arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.71.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Fanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 24.04.2019 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,21 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.72.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.72. SA Fan B fan arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-24.04.2019

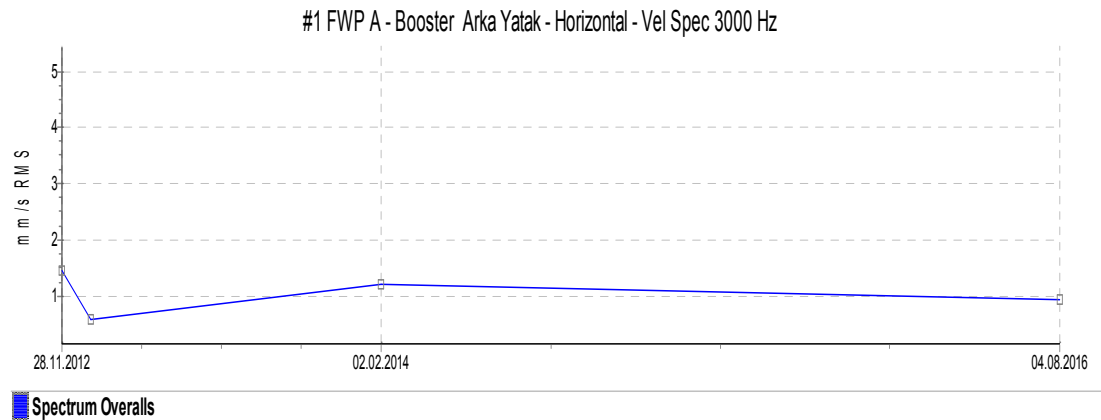
3.4. FW Pompası Titreşim Ölçümleri

Sistemde iki adet FW Pompası (FWP) vardır. Bunlar FW Pompası A ve FW Pompası B dir. Bu pompalardan biri çalışırken diğeri çalışmaz yedektir. Bundan dolayı çalışan pompadan ölçüm alınırken yedek pompadan ölçüm alınamamıştır. FW Pompası titreşim ölçümleri, kendi iç ekipmanları olan booster pompası yatakları, elektrik motoru yatakları, hidrolik kaplin yatakları ve ana pompa yatakları olarak yapılmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

3.4.1. FW Pompası A titreşim ölçümleri

FW Pompası A titreşim ölçümleri, kendi iç ekipmanları olan booster pompası yatakları, elektrik motoru yatakları, hidrolik kaplin yatakları ve ana pompa yatakları üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

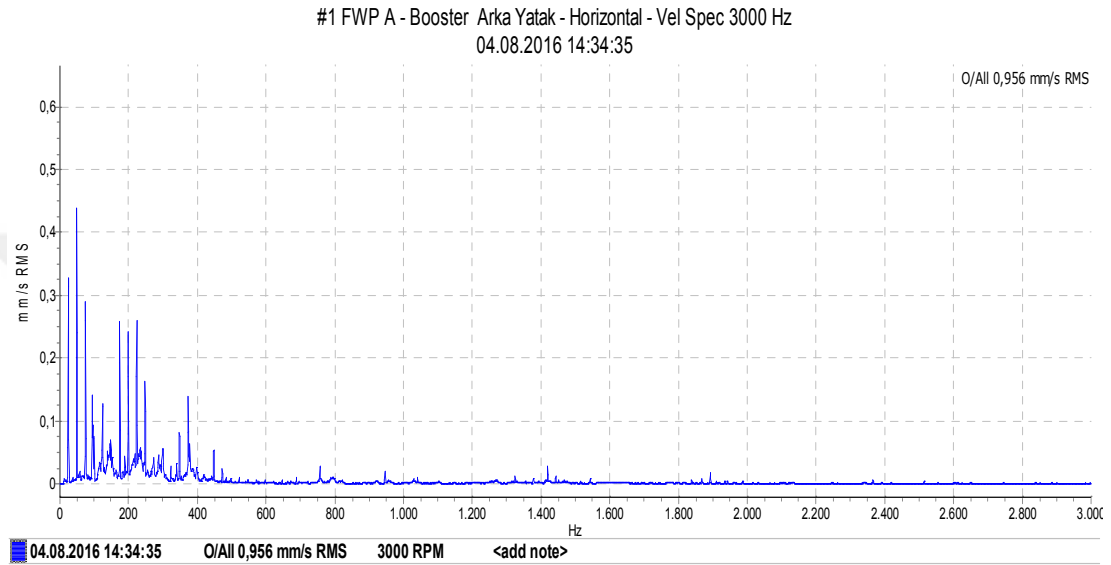
FW Pompası A booster pompa titreşim ölçümleri arka yatak yatay eksen ve ön yatak yatay eksen olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır. FW Pompası A booster pompa arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.73.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.73. FWP A Booster pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

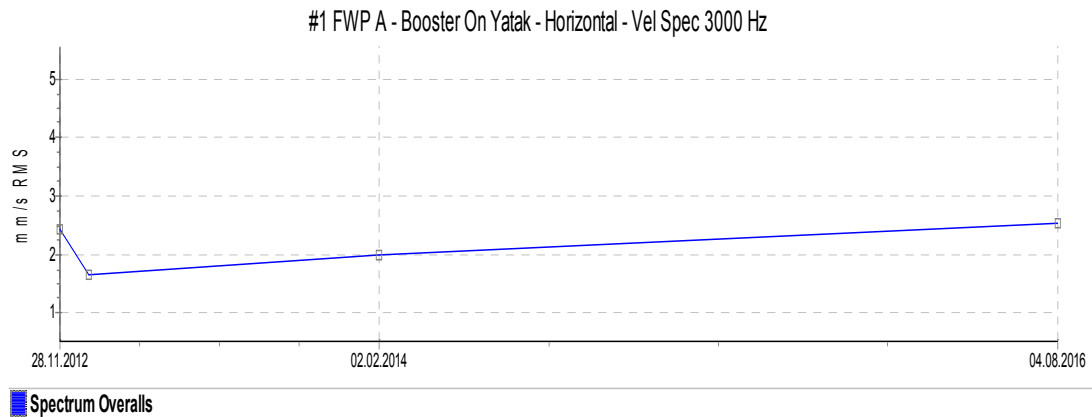
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,6 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.73.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir

müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,956 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.74.'de gösterilmiştir.



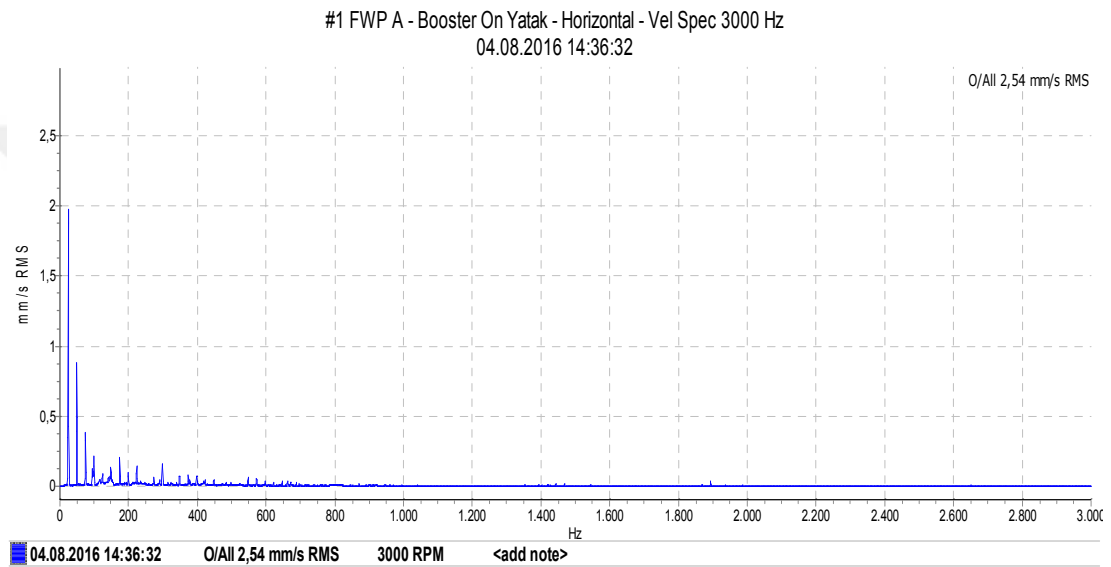
Şekil 3.74. FWP A Booster pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016

FW Pompası A booster pompa ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.75.'de gösterilmiştir.



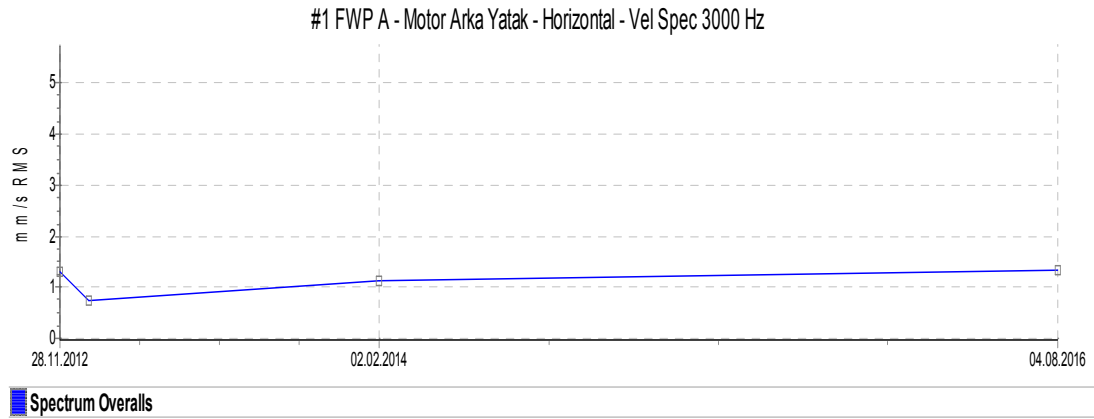
Şekil 3.75. FWP A Booster pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,7 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.75.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,54 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.76.'da gösterilmiştir.



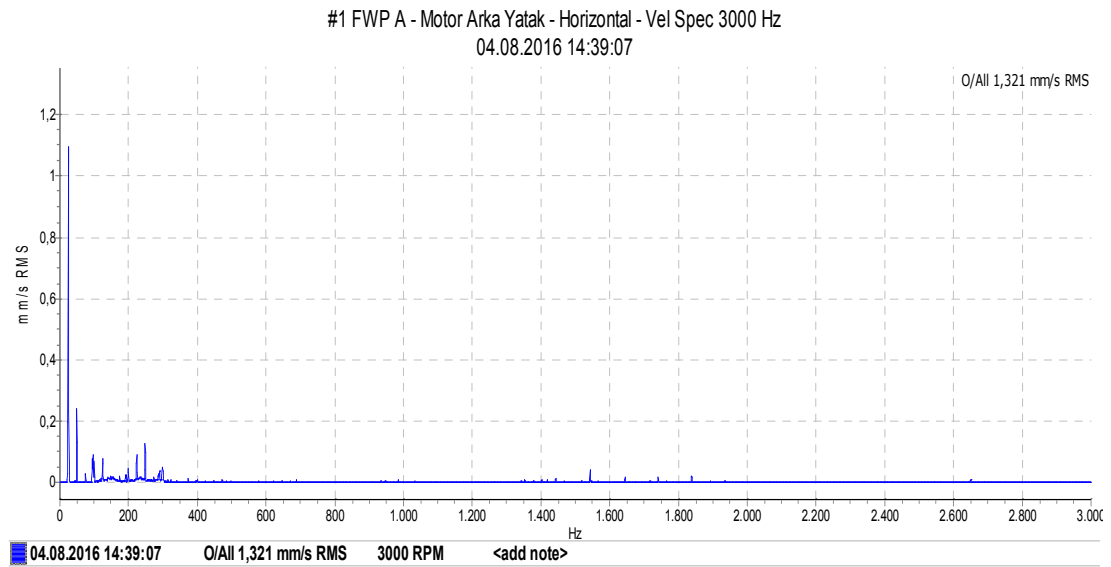
Şekil 3.76. FWP A Booster pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016

FW Pompası A elektrik motoru titreşim ölçümleri arka yatak yatay eksen ve ön yatak yatay eksen olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır. FW Pompası A elektrik motoru arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.77.'de gösterilmiştir.



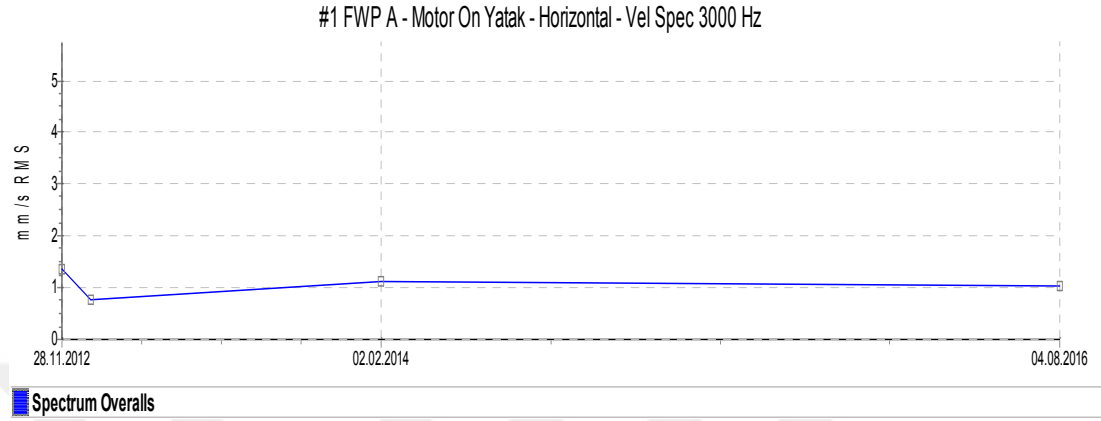
Şekil 3.77. FWP A elektrik motoru arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,5 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.77.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,321 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.78.'de gösterilmiştir.



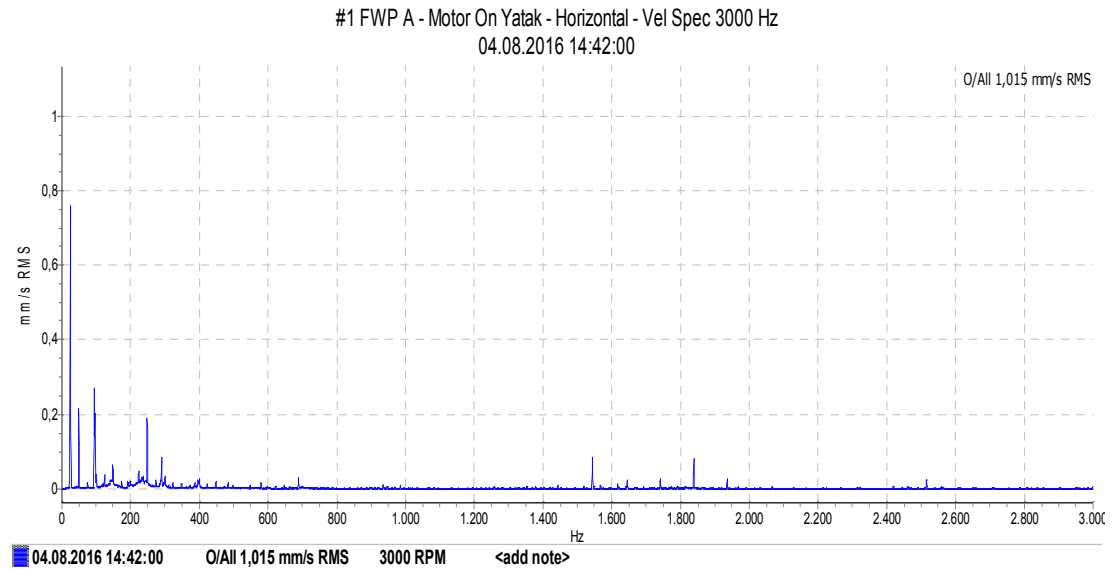
Şekil 3.78. FWP A elektrik motoru arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016

FW Pompası A elektrik motoru ön yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.79.'da gösterilmiştir.



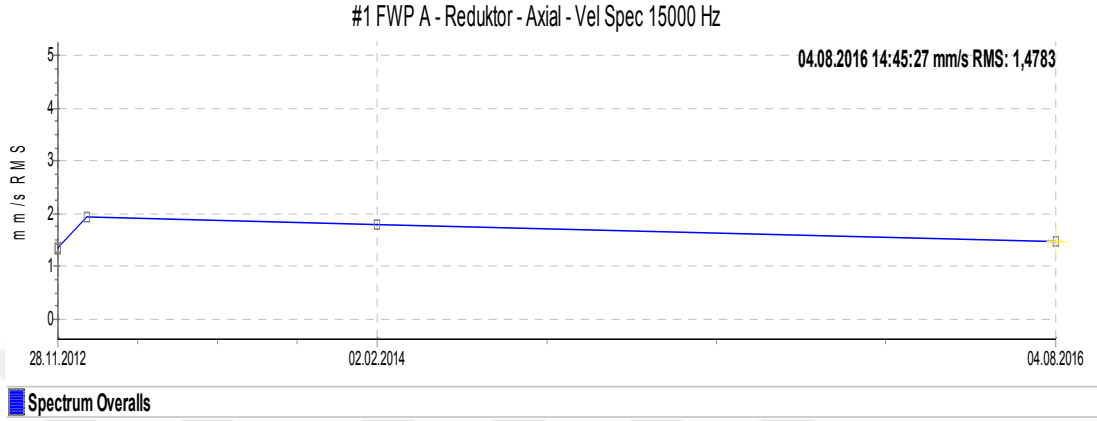
Şekil 3.79. FWP A elektrik motoru ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,5 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.79.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,015 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.80.'de gösterilmiştir.



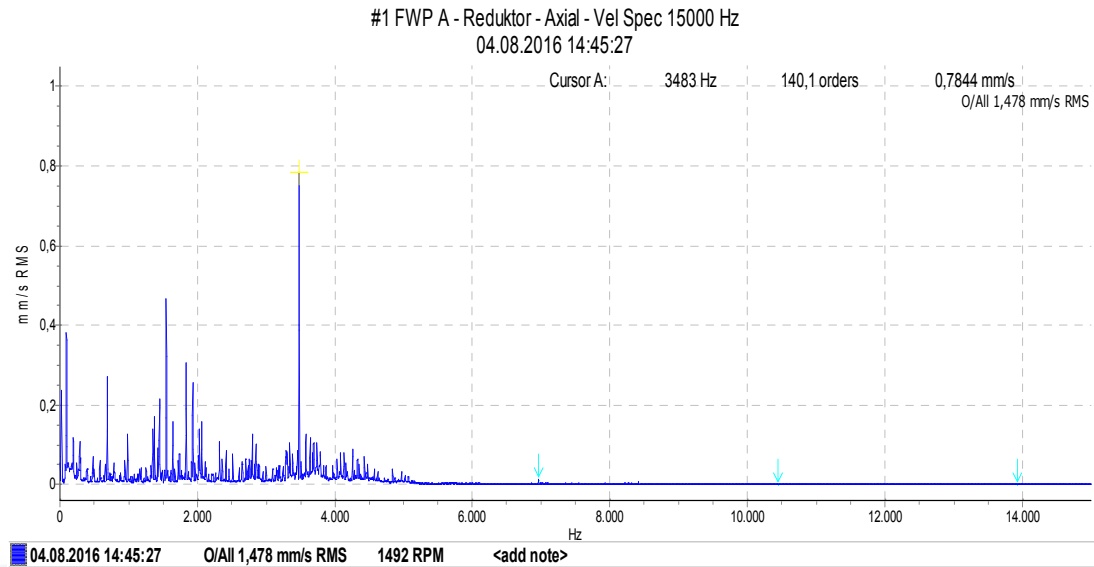
Şekil 3.80. FWP A elektrik motoru ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-04.08.2016

FW Pompası A hidrolik kaplin eksenel eksen 15000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.81.'de gösterilmiştir.



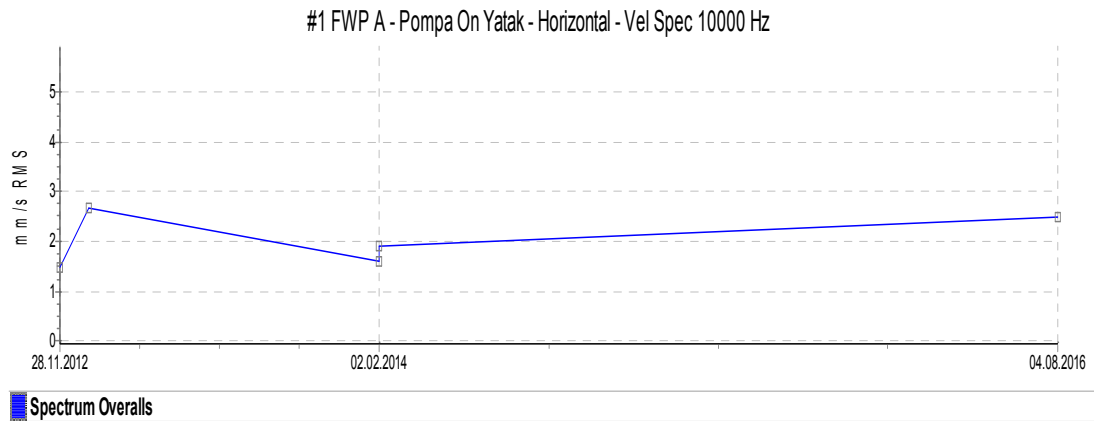
Şekil 3.81. FWP A hidrolik kaplin eksenel eksen titreşim hızı (15000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.81.'de görülmektedir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,478 mm/s olup dişli geçiş frekansı olan (Tablo 2.24.) 3483 Hz frekansındaki (140X) titreşim genliği Şekil 3.82.'de titreşim hız spektrum grafiğinde gösterilmiştir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir.



Şekil 3.82. FWP A hidrolik kaplin eksenel eksen titreşim hız spektrum (15000Hz) grafiği-04.08.2016

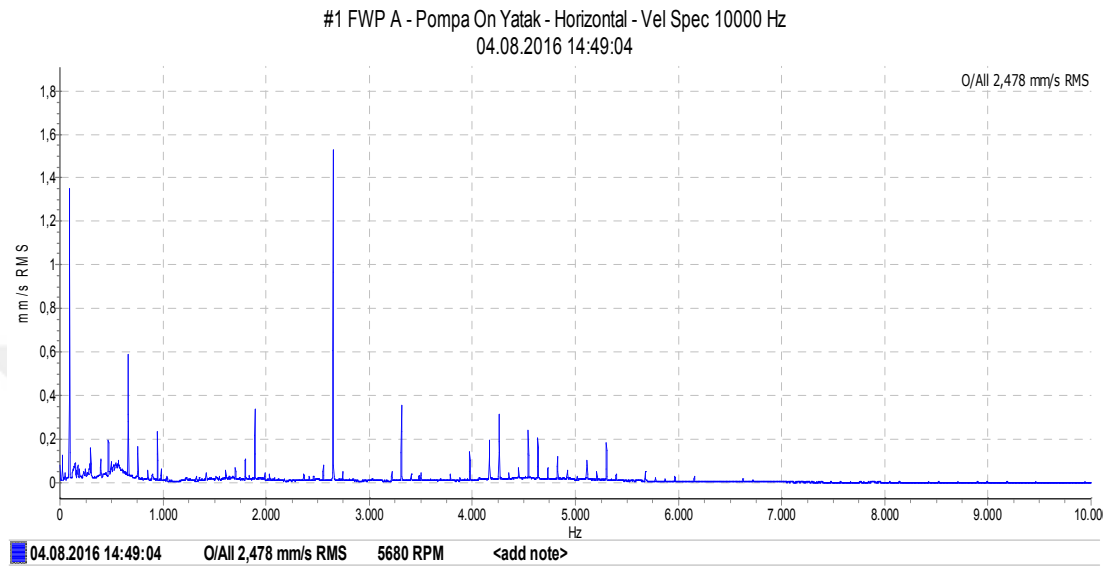
FW Pompası A ana pompa titreşim ölçümleri ön yatak yatay eksen ve arka yatak yatay eksen olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır. FW Pompası A ana pompa ön yatak yatay eksen 10000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.83.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.83. FWP A pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği

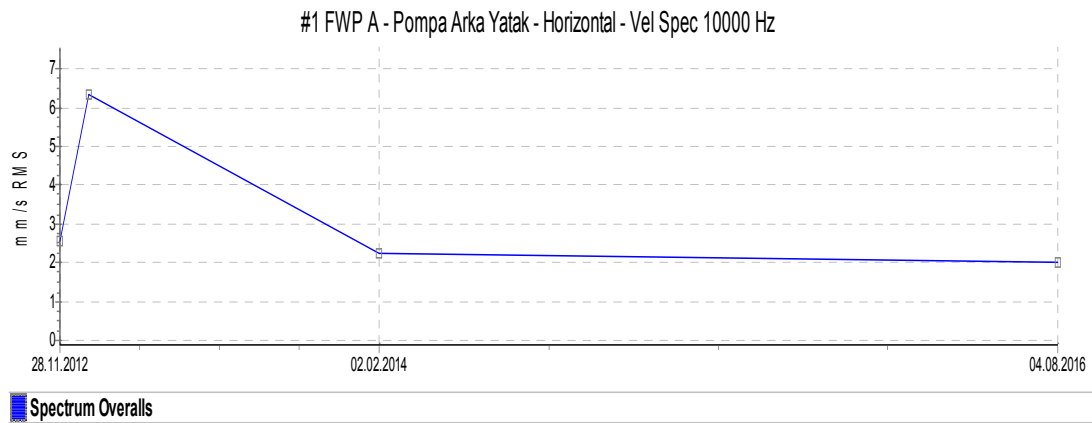
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,8 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.83.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde

farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,478 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.84.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.84. FWP A pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-04.08.2016

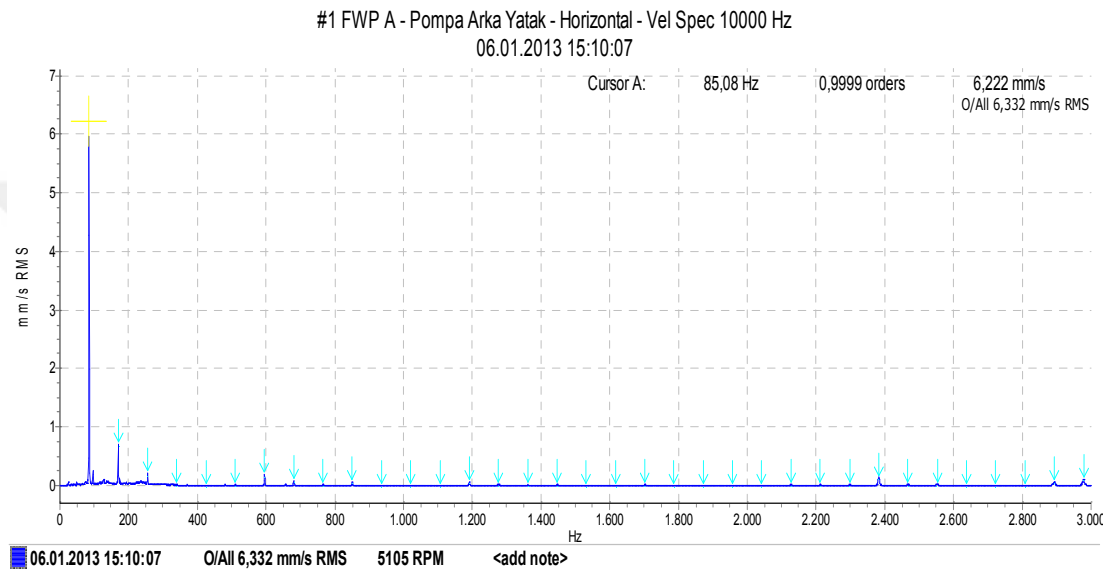
FW Pompası A ana pompa arka yatak yatay eksen 10000Hz frekansa kadar (28.11.2012-04.08.2016) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.85.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.85. FWP A pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği

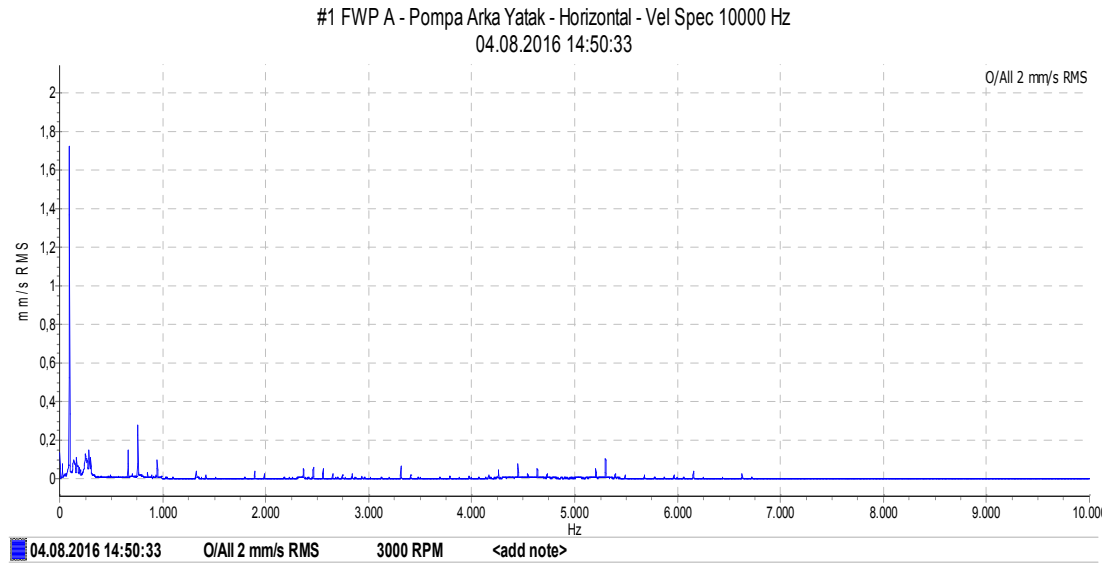
Bu ölçümlerden titreşim hızı 6,332 mm/s olan 06.01.2013 tarihli ölçüm incelendiğinde, 85,08 Hz (Pompanın o anlık devri olan 1X) frekansında 6,222 mm/s değerinde yüksek titreşim genliği tespit edilmiş ve Şekil 3.86.'da gösterilmiştir.

85,08Hz (1X) frekansında ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri (Tablo 2.27.) kaymalı yatak mekanik boşluk arızası olduğunu göstermektedir. Pompa arka yatak kaymalı yatak değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda kaymalı yatak değiştirilmiş ve yatak eksen ayarları yapılmıştır. Kaymalı yatak değişiminden sonra alınan 02.02.2014 tarihli ölçümde titreşim hızının 2,3 mm/s düştüğü Şekil 3.85.'de görülmektedir.



Şekil 3.86. FWP A pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-06.01.2013

Daha sonraki ölçümlerde titreşim hızının 2,5 mm/s değerinin altında olduğu Şekil 3.85.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 04.08.2016 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 2,0 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.87.'de gösterilmiştir.

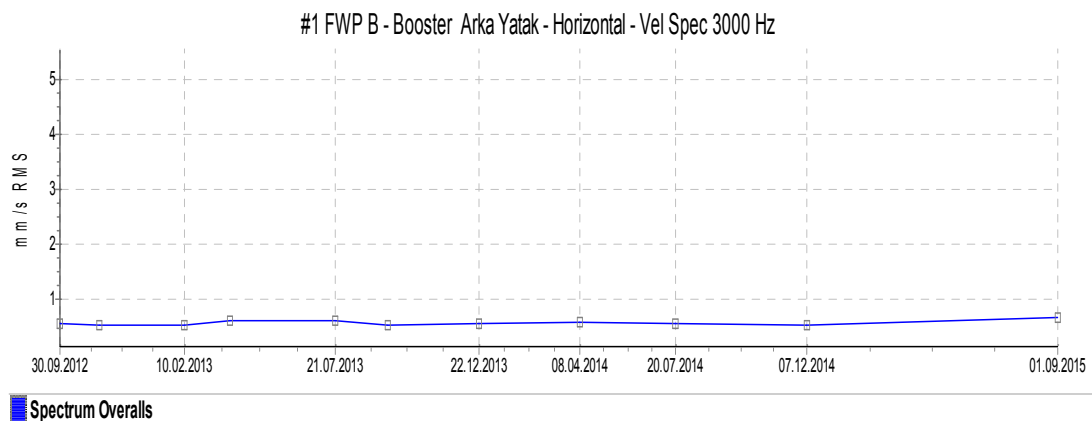


Şekil 3.87. FWP A pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-04.08.2016

3.4.2. FW Pompası B titreşim ölçümleri

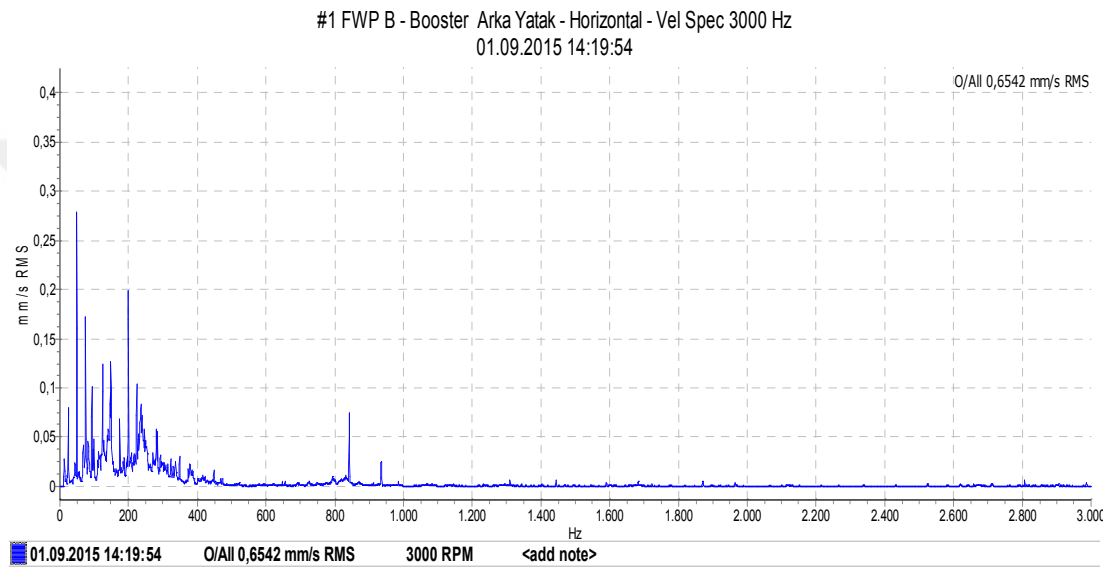
FW Pompası B titreşim ölçümleri, kendi iç ekipmanları olan booster pompası yatakları, elektrik motoru yatakları, hidrolik kaplin yatakları ve ana pompa yatakları üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

FW Pompası B booster pompa titreşim ölçümleri arka yatak yatay eksen ve ön yatak yatay eksen olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır. FW Pompası A booster pompa arka yatak yatay eksen 3000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.88.'de gösterilmiştir.



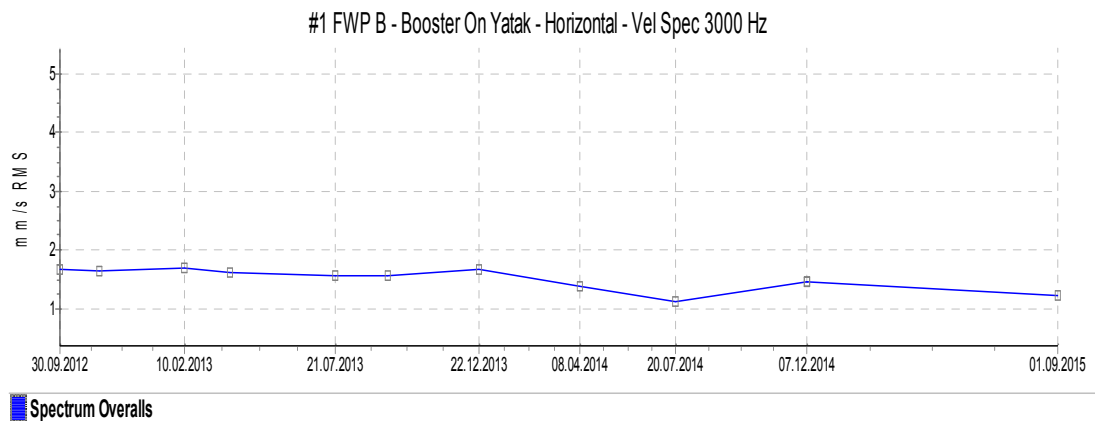
Şekil 3.88. FWP B Booster pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.88.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 01.09.2015 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,654 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.89.'da gösterilmiştir.



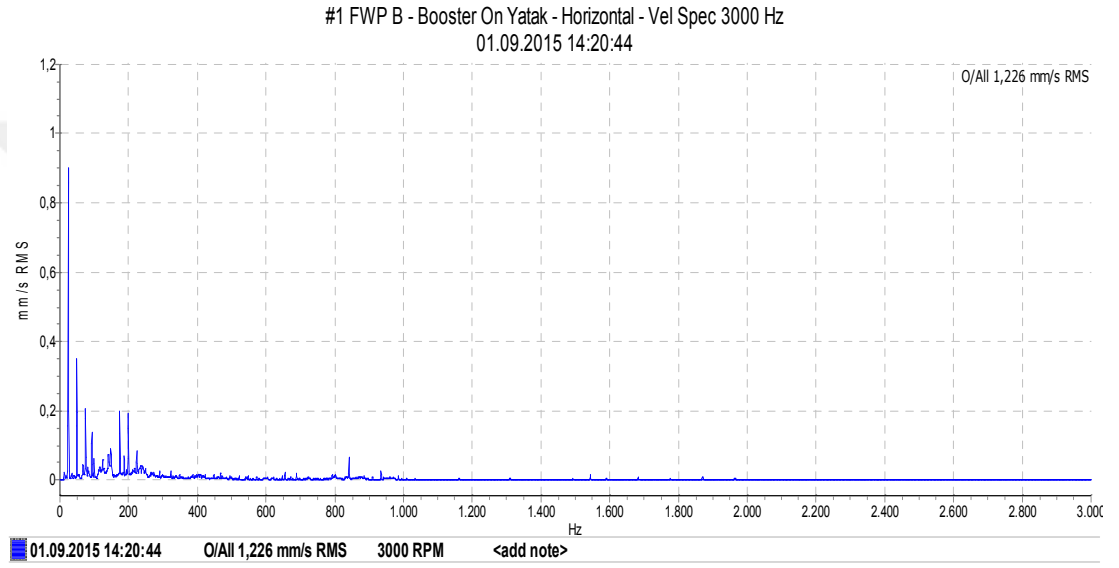
Şekil 3.89. FWP B Booster pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015

FW Pompası B booster pompa ön yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.90.'da gösterilmiştir.



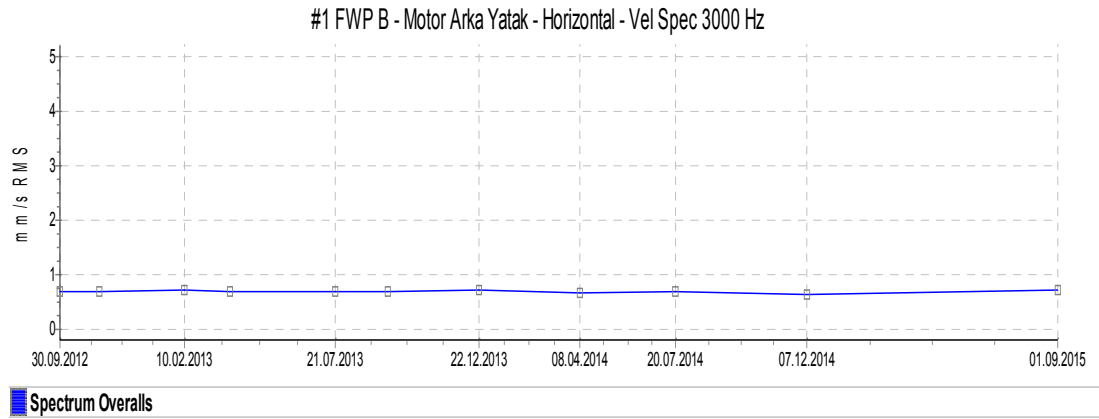
Şekil 3.90. FWP B Booster pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.90.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 01.09.2015 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,226 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.91.'de gösterilmiştir.



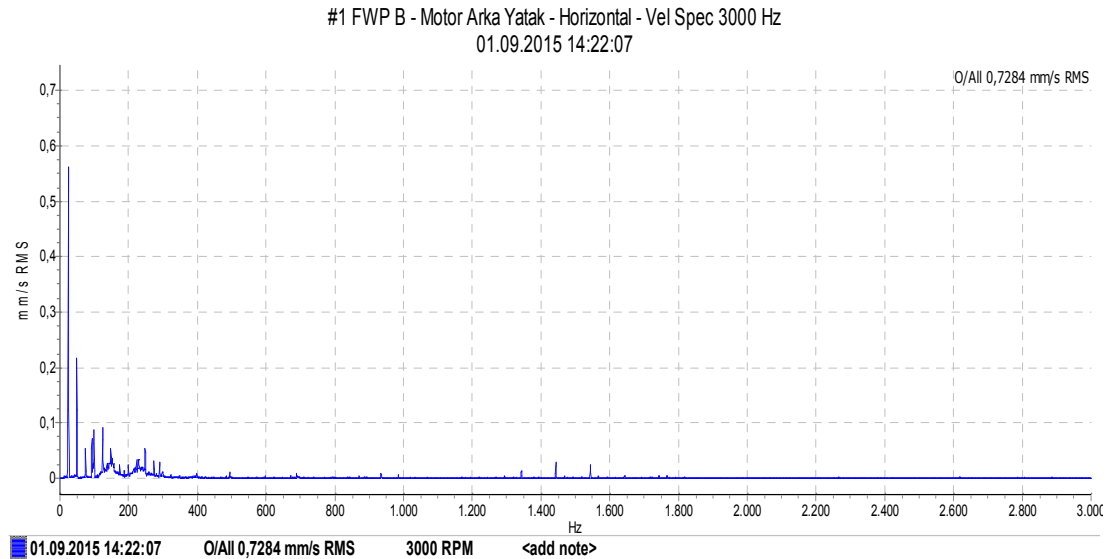
Şekil 3.91. FWP B Booster pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015

FW Pompası A elektrik motoru titreşim ölçümleri arka yatak yatay eksen ve ön yatak yatay eksen olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır. FW Pompası A elektrik motoru arka yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.92.'de gösterilmiştir.



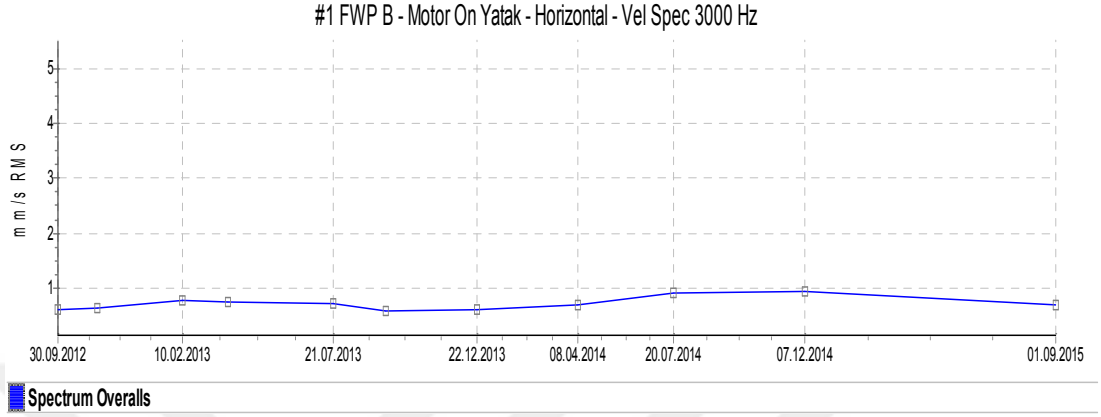
Şekil 3.92. FWP B elektrik motoru arka yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.92.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 01.09.2015 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,782 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.93.'de gösterilmiştir.



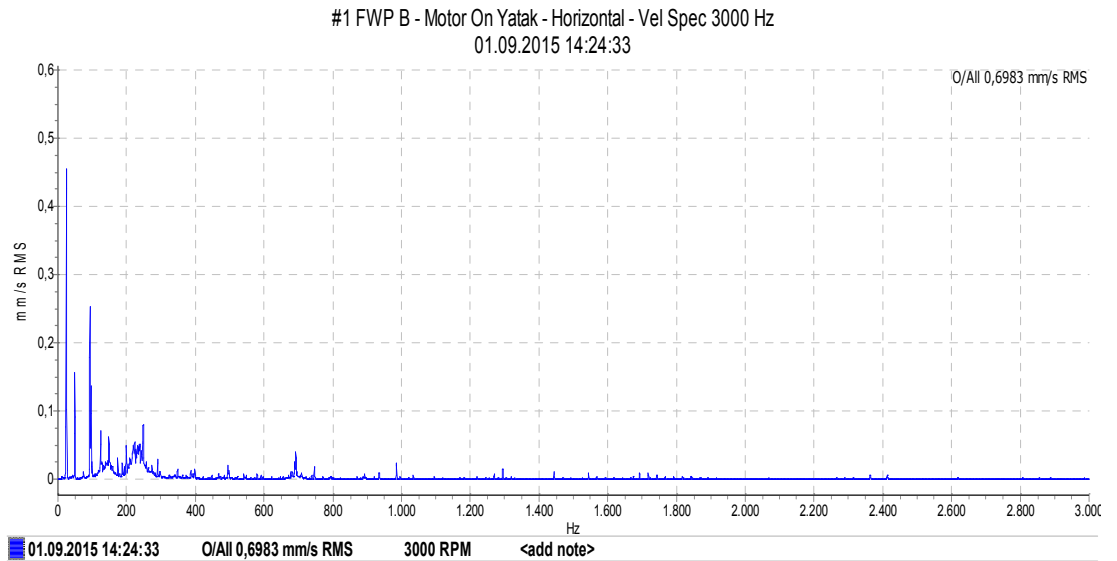
Şekil 3.93. FWP B elektrik motoru arka yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015

FW Pompası A elektrik motoru ön yatak yatay eksen 3000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.94.'de gösterilmiştir.



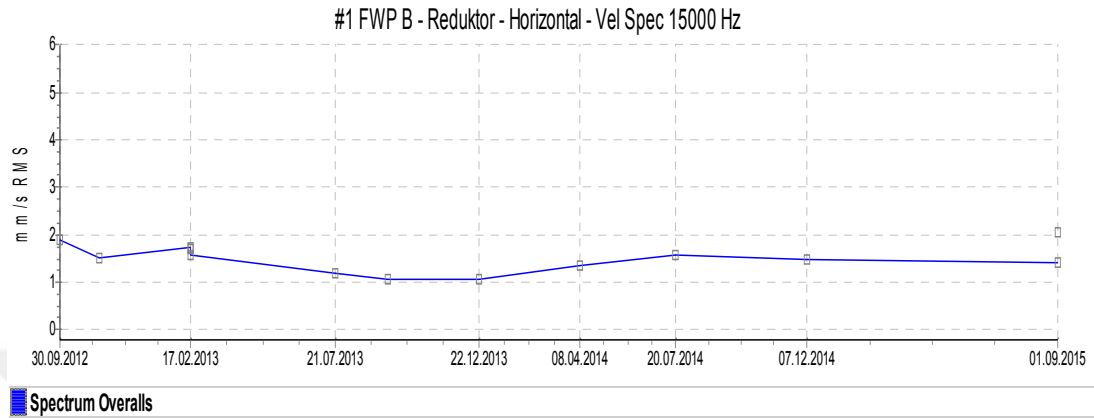
Şekil 3.94. FWP B elektrik motoru ön yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,1 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.94.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. . 01.09.2015 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,698 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.95.'de gösterilmiştir.



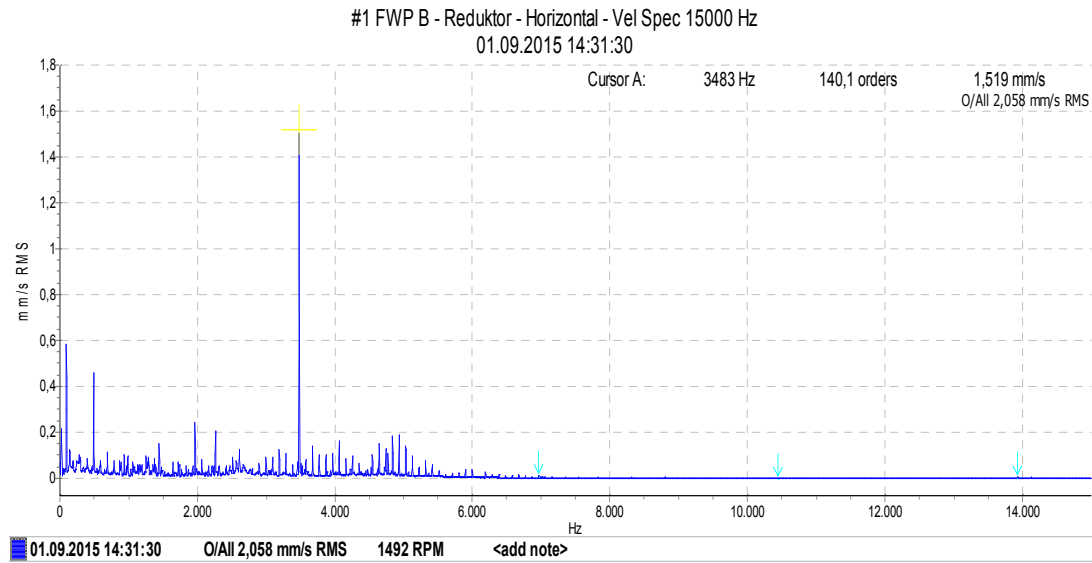
Şekil 3.95. FWP B elektrik motoru ön yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-01.09.2015

FW Pompası B hidrolik kaplin yatay eksenden 15000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.96.'da gösterilmiştir.



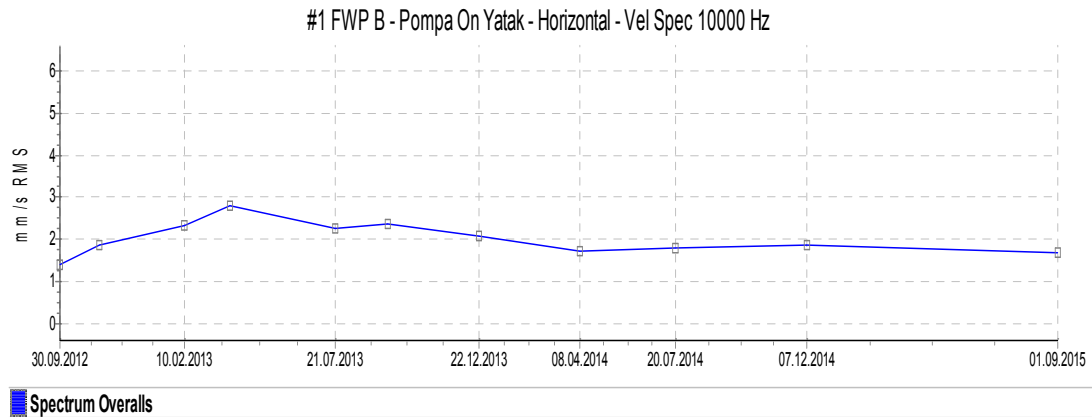
Şekil 3.96. FWP B hidrolik kaplin yatay eksen titreşim hızı (15000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,2 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.96.'da görülmektedir. 01.09.2015 tarihinde alınan en son ölçümün titreşim hızı 2,058 mm/s olup dişli geçiş frekansı olan 3483 Hz frekansındaki (140X) titreşim genliği 1,519 mm/s Şekil 3.97.'de titreşim hız spektrum grafiğinde gösterilmiştir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın ve motorun yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir.



Şekil 3.97. FWP B hidrolik kaplin yatay eksen titreşim hız spektrum (15000Hz) grafiği-01.09.2015

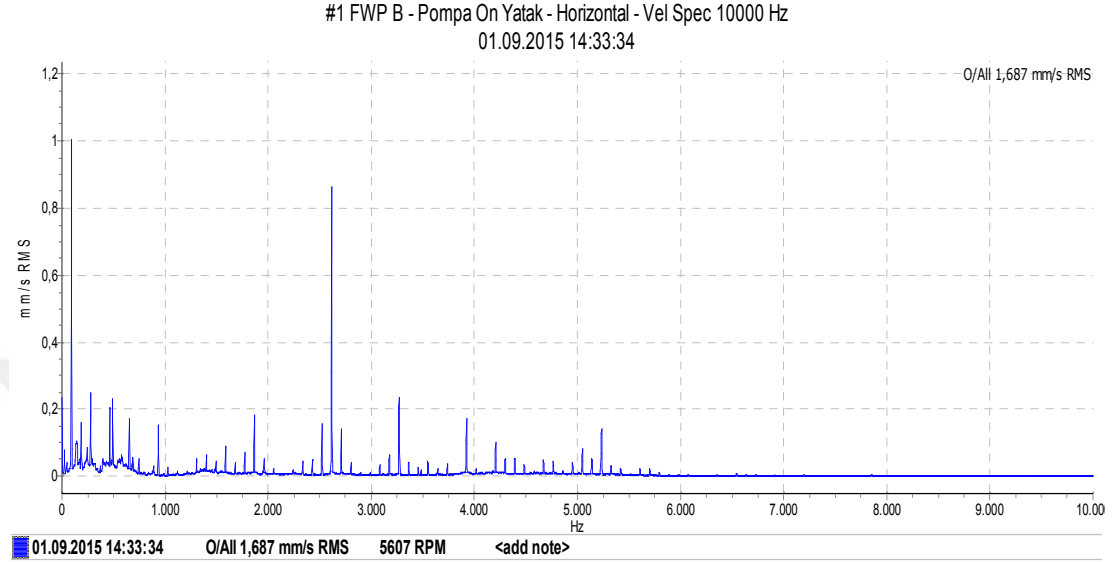
FW Pompası B ana pompa titreşim ölçümleri ön yatak yatay eksen ve arka yatak yatay eksen olmak üzere ayrı ayrı alınmıştır. FW Pompası B ana pompa ön yatak yatay eksen 10000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.98.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.98. FWP B pompa ön yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği

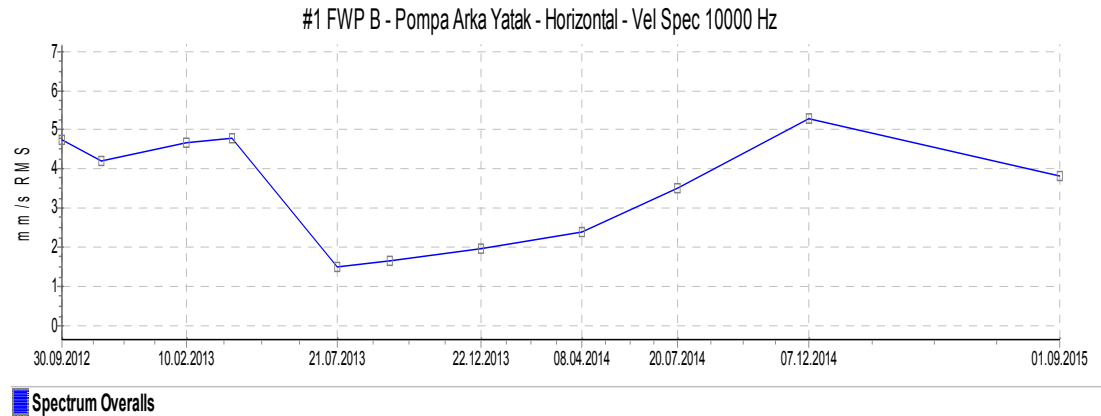
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 3,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.98.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Pompanın yük durumu yapılan ölçümlerde

farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 01.09.2015 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,687 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.99.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.99. FWP B pompa ön yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-01.09.2015

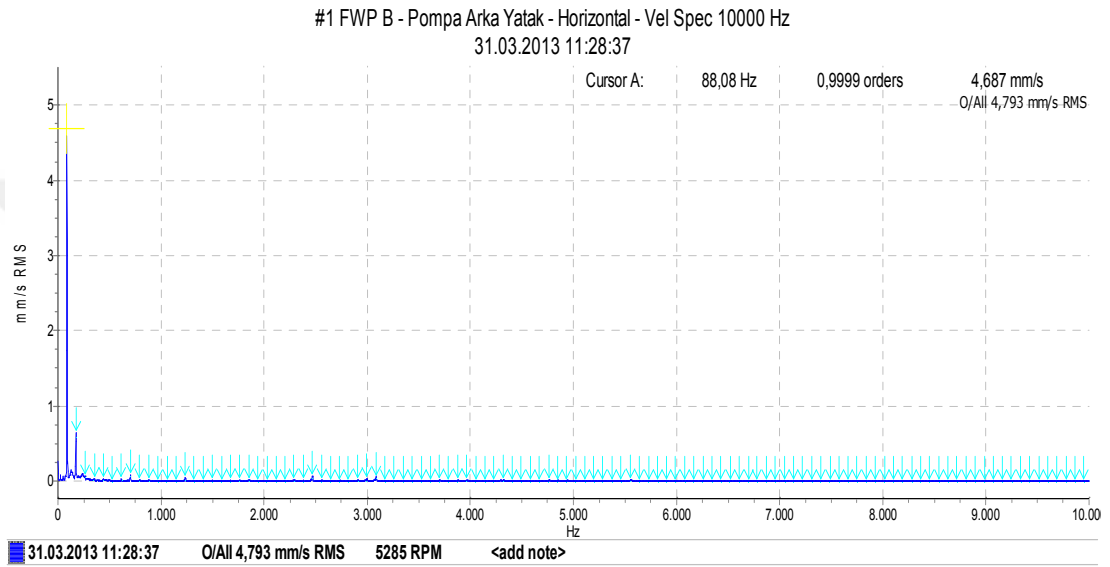
FW Pompası B ana pompa arka yatak yatay ekseninden 10000Hz frekansa kadar (30.09.2012-01.09.2015) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.100.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.100. FWP B pompa arka yatak yatay eksen titreşim hızı (10000Hz) trend grafiği

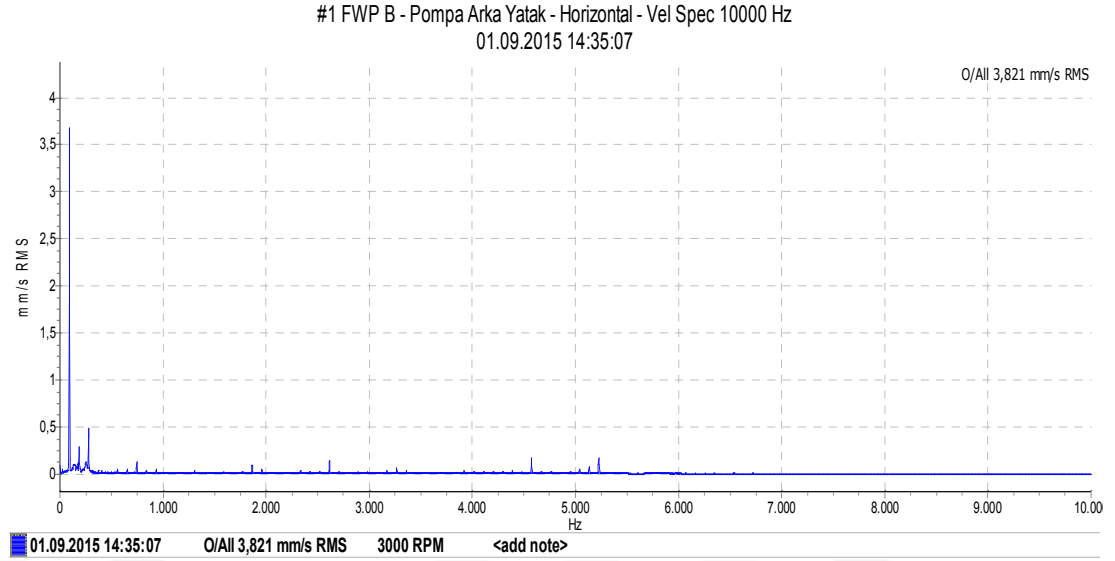
Bu ölçümlerden titreşim hızı 4,793 mm/s olan 31.03.2013 tarihli ölçüm incelendiğinde, 88,08 Hz (Pompanın o anlık devri olan 1X) frekansında 4,687 mm/s değerinde yüksek titreşim genliği tespit edilmiş ve Şekil 3.101.'de gösterilmiştir.

88,08Hz (1X) frekansında ve harmoniklerinde yüksek titreşim genlikleri (Tablo 2.27.) kaymalı yatak mekanik boşluk arızası olduğunu göstermektedir. Pompa arka yatağın kaymalı yatak değişimi için program yapılmış olup Enerji Santrali için uygun bir zamanda kaymalı yatak değiştirilmiş ve yatak eksen ayarları yapılmıştır. Kaymalı yatak değişiminden sonra alınan 21.07.2013 tarihli ölçümde titreşim hızının 1,6 mm/s düştüğü Şekil 3.100.'de görülmektedir.



Şekil 3.101. FWP B pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-31.03.2013

Daha sonraki ölçümler takip edilmiş olup 01.09.2015 tarihinde alınan en son ölçümün titreşim hızı 3,821 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.102.'de gösterilmiştir.



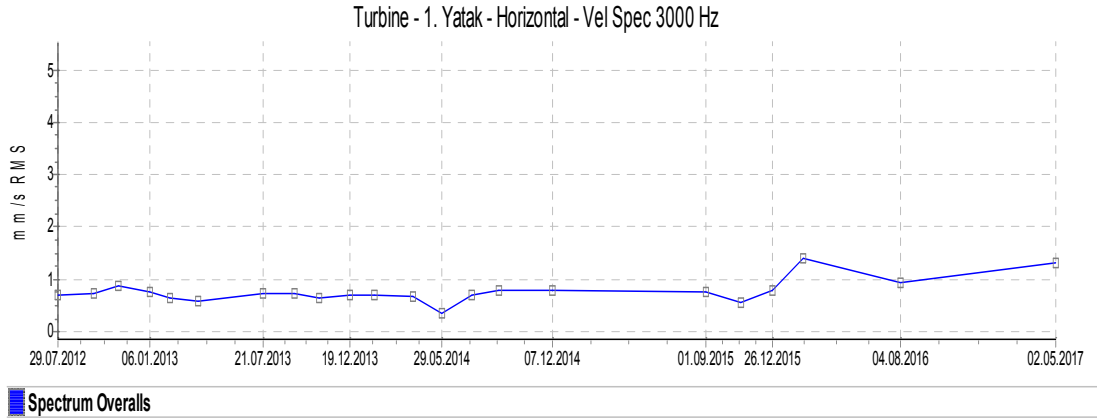
Şekil 3.102. FWP B pompa arka yatak yatay titreşim hız spektrum (10000Hz) grafiği-01.09.2015

3.5. Türbin-Jeneratör Grubu (TJG) Titreşim Ölçümleri

Türbin-Jeneratör Grubunda (TJG) toplam 5 adet kaymalı yatak mevcuttur. Bu yataklar 1 nolu yatak, 2 nolu yatak, 3 nolu yatak, 4 nolu yatak ve 5 nolu yatak olarak adlandırılmıştır. Bu yataklar üzerinden daha önceden belirlenen noktalardan ölçümler alınmış olup bu şekilde sıralanmıştır.

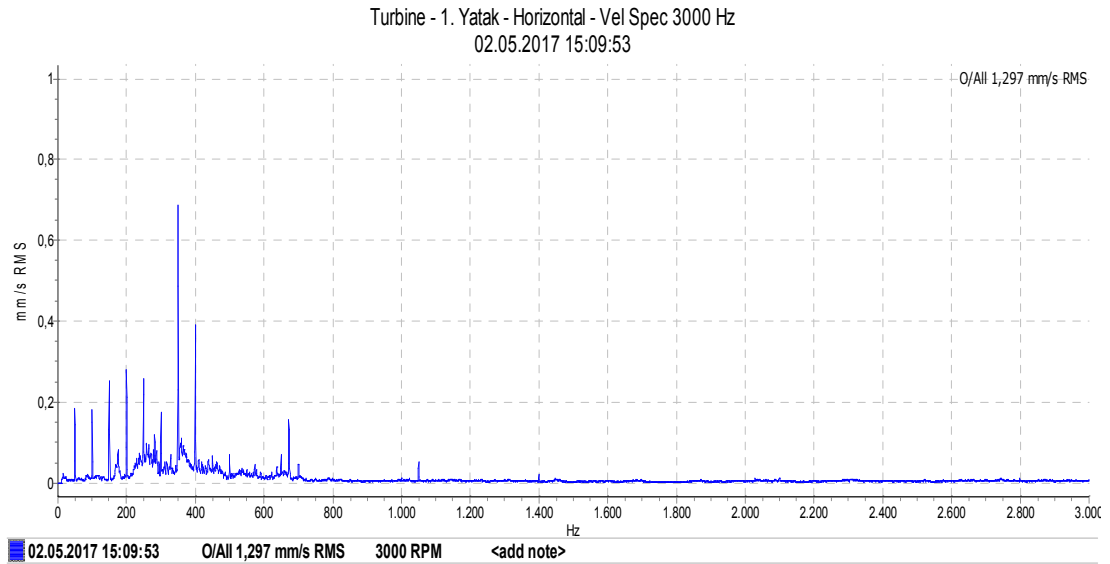
3.5.1. TJG 1 nolu yatak titreşim ölçümleri

TJG 1 nolu yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (29.07.2012-02.05.2017) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.103.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.103. Tjg 1 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

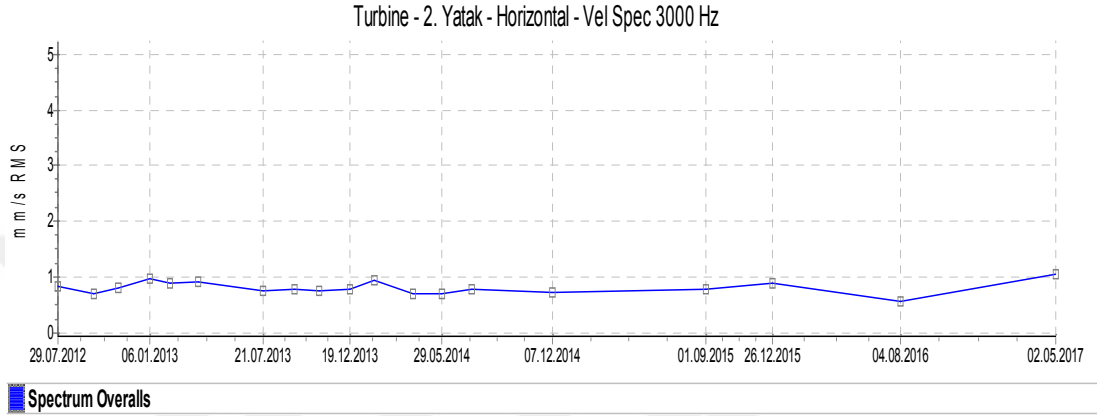
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,5 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.103.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Türbinin yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 02.05.2017 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,297 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.104.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.104. Tjg 1 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017

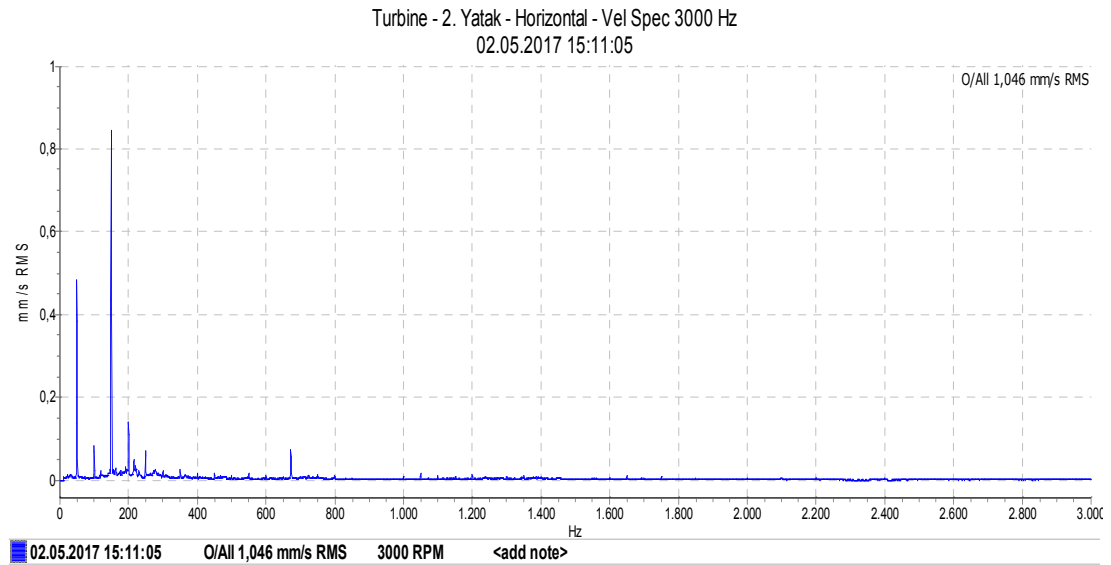
3.5.2. TJG 2 nolu yatak titreşim ölçümleri

TJG 2 nolu yatak yatay eksenden 3000Hz frekansa kadar (29.07.2012-02.05.2017) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.105.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.105. TJG 2 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

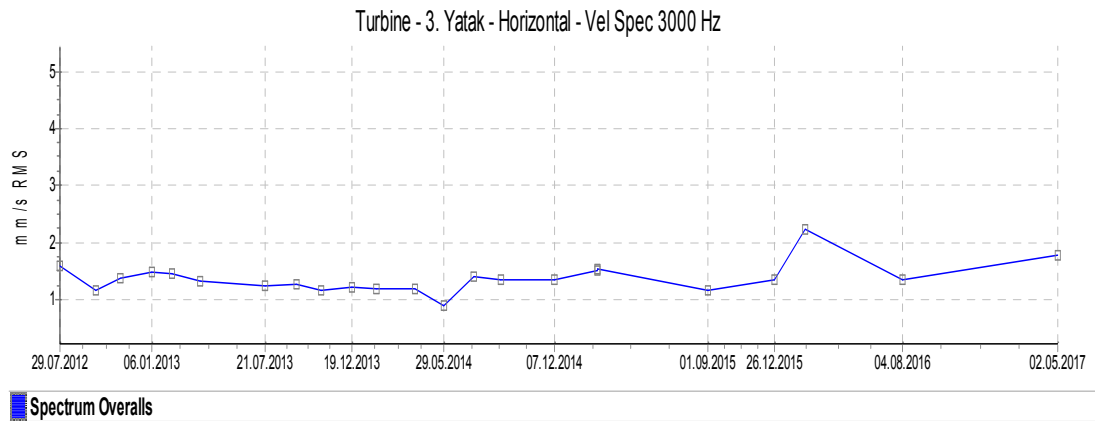
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,1 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.105.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Türbinin yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 02.05.2017 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,046 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.106.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.106. TJG 2 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017

3.5.3. TJG 3 nolu yatak titreşim ölçümleri

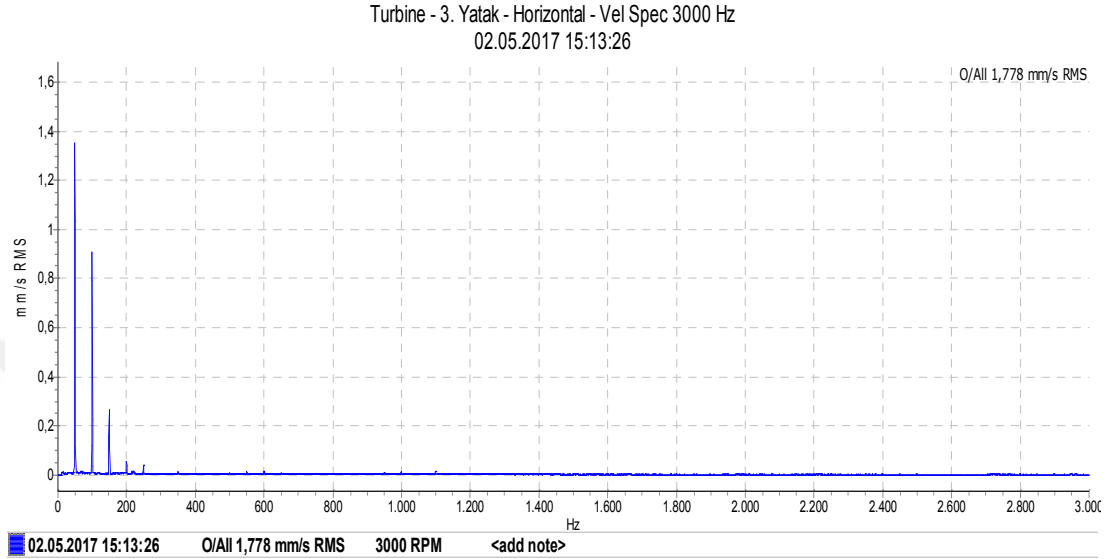
TJG 3 nolu yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (29.07.2012-02.05.2017) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.107.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.107. TJG 3 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,4 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.107.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Türbinin yük durumu yapılan ölçümlerde

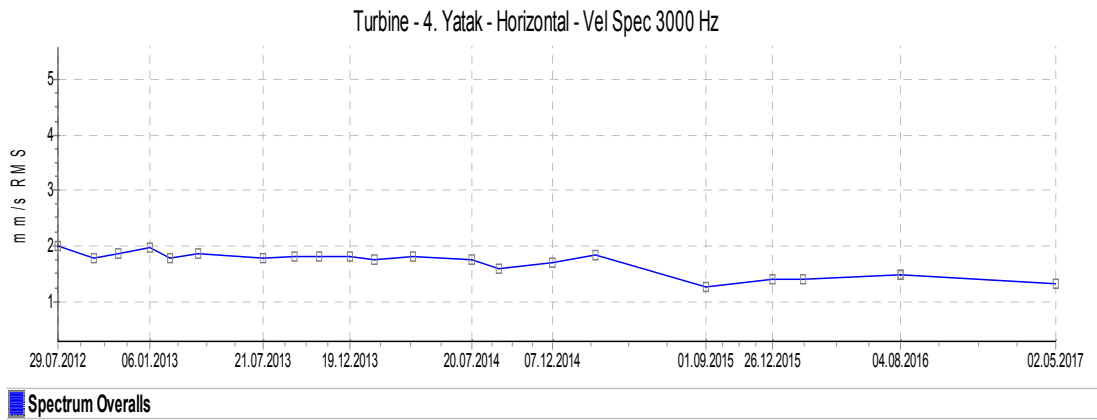
farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 02.05.2017 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,778 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.108.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.108. TJG 3 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017

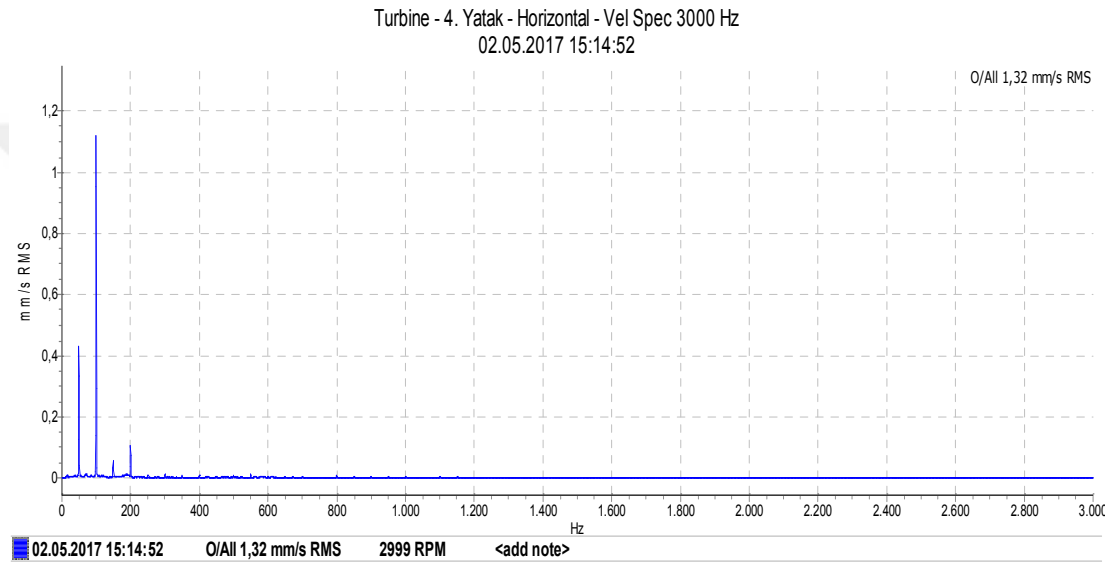
3.5.4. TJG 4 nolu yatak titreşim ölçümleri

TJG 4 nolu yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (29.07.2012-02.05.2017) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.109.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.109. TJG 4 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

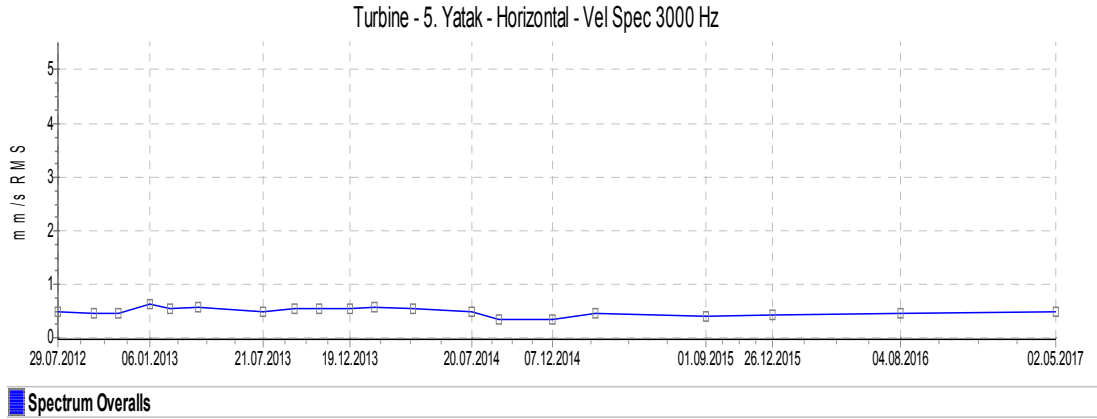
Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 2,2 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.109.'da görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Türbinin yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 02.05.2017 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 1,32 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.110.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.110. TJG 4 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017

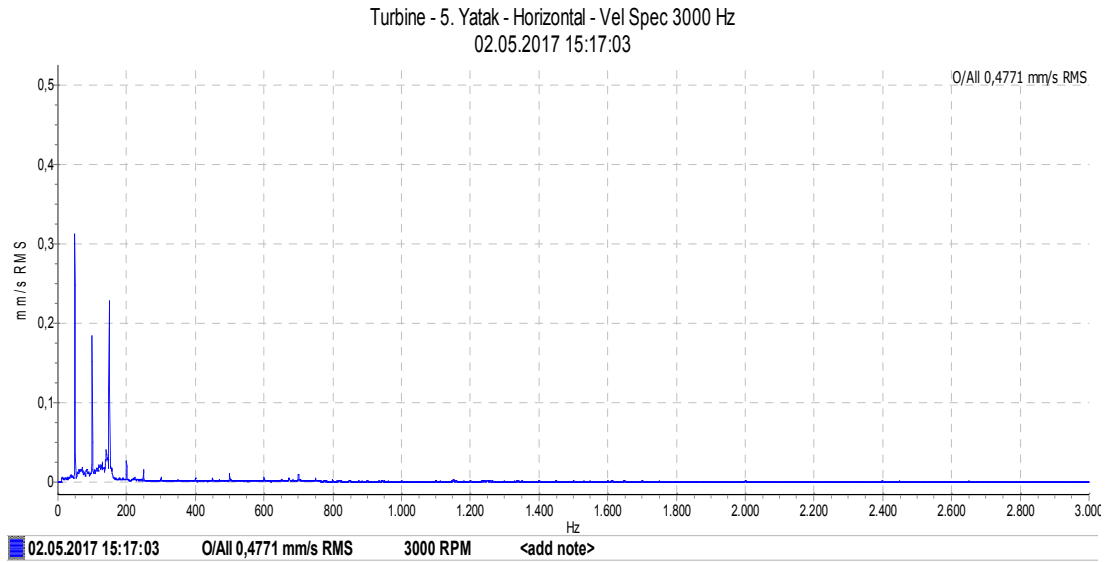
3.5.5. TJG 5 nolu yatak titreşim ölçümleri

TJG 5 nolu yatak yatay ekseninden 3000Hz frekansa kadar (29.07.2012-02.05.2017) tarihleri arasında alınan ölçümlerin titreşim hızı (mm/s RMS) trend grafiği Şekil 3.111.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.111. Tjg 5 nolu yatak yatay eksen titreşim hızı (3000Hz) trend grafiği

Tüm ölçümler incelendiğinde titreşim hızı değerinin 1,0 mm/s değerinin altında olup Şekil 3.111.'de görülmektedir. Bu değerler çalışma değerleri içinde olup herhangi bir müdahale yapılmamıştır. Ölçümlere ve takibe devam edilmiş olup bu süre zarfında herhangi bir ani değişim görülmemiştir. Türbinin yük durumu yapılan ölçümlerde farklı olabileceği için ölçülen titreşim değerlerinde küçük değişikliklerin olması normaldir. 02.05.2017 tarihinde alınan son ölçümün titreşim hızı 0,477 mm/s olup titreşim hız spektrum grafiği Şekil 3.112.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.112. Tjg 5 nolu yatak yatay titreşim hız spektrum (3000Hz) grafiği-02.05.2017

BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji Santralının ana ekipmanları belirlenmiş ve bu ekipmanların titreşim arıza frekansları hesaplanmıştır. Bu ekipmanların periyodik olarak titreşim hız ölçümleri alınmıştır. Alınan ölçümler sonucu titreşim değerlerindeki değişim eğilimleri takip edilmiştir. Alınan ölçümlerin titreşim hız spektrum grafikleri incelenerek arızaların nedeni ve seviyesi hakkında kestirim yapılmıştır. Bu kestirimler sonucu rulman arızaları, mekanik boşluk arızaları, fan kanat geçiş arızaları, kaymalı yatak arızaları, dişli arızaları, elektrik hat arıza frekansı, elektrik akım kaynaklı rulman arızaları tespit edilmiştir. Toplam tespit edilen arıza sayısı 15 adettir. 5 adet rulman arızası tespit edilmiş olup Enerji Santrali için uygun bir zamana program yapılmış ve rulman değişimleri yapılmıştır. Elektrik motorlarında 2 adet mekanik boşluk arızası tespit edilmiş olup Enerji Santrali için uygun bir zamana program yapılmış ve yedek motor ile değişimleri yapılmıştır. 3 adet fan kanat geçiş arızası tespit edilmiş olup seviyeleri çalışma değerleri içinde olduğundan müdahale edilmemiş ve ekipmanların izlenmesine devam edilmiştir. 2 adet kaymalı yatak arızası tespit edilmiş olup planlanan ilk duruşta pompaların yatak değişimleri yapılmıştır. 2 adet dişli geçiş arızası tespit edilmiş olup seviyeleri çalışma değerleri içinde olduğundan müdahale edilmemiş ve ekipmanların izlenmesine devam edilmiştir. Arızaların titreşim değerlerine göre seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu arıza seviyelerine göre kestirimci bakım uygulanmıştır. Arıza seviyesi değişimine göre ya ekipmanı durdurularak arızaya müdahale edilmiş yada ekipmanın daha sıkı takip altında çalıştırılmasına devam edilmiştir. Bu takip altında çalıştırılan ekipmanları da titreşim seviyesinde yükselme olduğunda durdurularak arızaya müdahale edilmiş, titreşim seviyesinde yükselme olmadığında ise çalıştırılmaya devam edilmiş ve planlı duruşlarda müdahale edilmiştir.

Tespit edilen arızalardan en farklı olanı PA Fan motor rulman arızalarıdır. Bu motor rulman arızası defalarca tekrarlanmıştır. Ekipman durdurulup motor bakıma

alınmakta ve rulmanları değiştirilmektedir. Motor rulmanlarının değişimi yapıldıktan bir süre sonra tekrar aynı arıza gerçekleşmektedir. Alınan bu ölçümlerde rulman iç bilezik ve dış bilezik arızaları tespit edilmektedir. Rulman iç bilezik ve dış bilezik arıza frekansları ve 1x yan bandları tespit edilmektedir, fakat nedeni bulunamaktaydı. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda arızanın nedeni elektrik akım kaynaklı (electrical fluting) rulman arızası olduğu tespit edilmiştir. Rotor üzerindeki elektrik akımı rulman üzerinden geçerek motor kasasından topraklanmaktadır. Geçen bu elektrik akımı rulman iç ve dış bileziğe zarar vermekte olup yivlenme yapmaktadır. 6232 Rulman iç bilezik arızası (yivlenmesi) Şekil 4.1.'de ve NU232 rulman iç bilezik arızası (yivlenmesi) Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. PA Fan elektrik akım kaynaklı yivlenmiş (6232) rulman arızası (electrical fluting)



Şekil 4.2. PA Fan elektrik akım kaynaklı yivlenmiş (NU232) rulman arızası (electrical fluting)

Bu rulman arızasının çözümü için elektrik motorunda, rulman iç bileziği elektrik izoleli rulman kullanılmış olup ayrıca rotor mil üzerinden ayrı olarak topraklanmıştır (Şekil 4.3.). Bu sayede rulman üzerinden elektrik akımı geçmesi engellenmiş ve bu rulman arıza problemi çözülmüştür.



Şekil 4.3. PA Fan elektrik motor rotorunun mil üzerinden topraklanması

Bir diğerk arıza ise TJG jeneratör stator üzerindeki yüksek titreşim seviyesidir. Alınan ölçümlerdeki titreşim hız spektrum grafikleri incelendiğinde 100Hz de çok yüksek titreşim genlikleri tespit edilmiştir. Bu frekans ($2f_L$) elektrik hat arıza frekansıdır. Statorun doğal frekansı ile bu ($2f_L$) elektrik hat arıza frekansı çakışmaktadır. Statorların doğal frekanslarının 95Hz ile 110Hz arasında olması istenmez. Bu statorun doğal frekansı bu değerlere yakın olduğu için birbiriyle çakışmaktadır. Bu konu da ayrıca araştırılmalıdır.

Bu çalışmada Enerji Santrali ana ekipmanlarının titreşim arıza frekansları belirlenmiş ve titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulaması yapılmıştır. Bu sayede ekipmanların durumu titreşim ölçümleri ile devamlı gözetim altında tutulmuştur. Oluşan arızaların nedenleri çözüm için araştırılmıştır. Aynı arızaların tekrarlanmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulamasıyla yedek malzeme kullanımı ve plansız duruş süreleri azaltılmaya çalışılmıştır. Bu kestirimci bakım uygulaması ile Enerji Santralinde ekipman arızasından dolayı oluşan beklenmedik ani duruşların olmaması, arızalardan dolayı üretimin azaltılmaması, ekipmanların verimli çalıştırılması, fanlardaki hava akışlarının düzgün olması, ekipman gürültü seviyesinin düşürülmesi, oluşacak arızaların başka daha büyük arızalara sebep vermemesi, arıza sebebinin daha önceden tespit edildiğinden dolayı bakım planlarının daha iyi yapılması, yedek parça safiyatlarının azaltılması, işçilik maliyetlerinin azaltılması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma bir tesis için uygulamacıya detaylı yol haritası göstermektedir. Bu konuda çalışma ve uygulama yapmak isteyenler için bir eğitim içeriği ve örnek teşkil etmektedir. Kendi çalıştığı tesis için bu çalışmayı örnek alıp çalıştığı tesisin ana ekipmanlarını ve bu ana ekipmanların arıza frekanslarını belirleyebilir. Bu ekipmanlardan periyodik olarak alacağı titreşim ölçümleri ile titreşim değerlerindeki değişim eğilimini takip edebilir ve arızanın seviyesi hakkında yorum yapabilir. Titreşim spektrum analizleri ile arızanın sebebini ve seviyesini yorumlayarak kestirimci bakım uygulamasını kendi çalıştığı tesiste uygulayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Belek, T., Güvenç, S., Endüstriyel tesislerin bakımında modern yaklaşım: dinamik erken uyarıcı bakım yöntemleri, Mühendis ve Makina, 29: 29-36 (1988).
- [2] Köse, K., Sümen, H., Kestirimci bakım yöntemini uygulamak, Otomasyon, 115, (2001).
- [3] Mcfadden, P. D., Smith, J. D., Model for the vibration produced by a single point defect in a rolling element bearing, Journal of Sound and Vibration, 96(1a), 69-82, 1984.
- [4] Mcfadden, P. D., Smith, J. D., The vibration produced by a multiple point defect in a rolling element bearing, Journal of Sound and Vibration, 98(2), 263-273, 1985.
- [5] Altay, O., Önleyici bakım amacıyla makine titreşimlerinin izlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 70 (1986).
- [6] Orhan, S., Dönen makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi, Teknoloji, Yıl 6, Sayı 3-4, 41-48, (2003).
- [7] Orhan, S., Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analiziyle kestirimci bakımı, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, Haziran 2002.
- [8] Arslan, H., Aktürk, N., Açısal temaslı bilyalı rulmanlarda bilya titreşimlerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (3): 305-312 (2004).
- [9] Karahan, M. F., Titreşim analiziyle makinalarda arıza teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa 2005.
- [10] Açıkel, S., Sürekliiform baskı makinasının titreşim sinyali yardımıyla kestirimci bakımının yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Ankara, Şubat 2008.

- [11] Dal, H., Morgül, Ö. K., Şahin, İ., Yapay sinir ağı (YSA) kullanarak titreşim tabanlı makina durum izlemesi ve hata teşhisi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 10. Cilt, 2. Sayı, s.45-50, 2006.
- [12] Dal, H., Morgül, Ö. K., Vibration-Based machinery health monitoring by fuzzy logic, 12th Conference for Computer Aided Engineering and System Modeling with BDM Exhibition WOW Kremlin Palace, Antalya, November, 12-14, 2007.
- [13] Arslan, H., Orhan, S., ve Aktürk, N., Bilyalı rulman hasarlarının neden olduğu titreşimlerin modellenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 4, 123-146, 2003.
- [14] Kumar, K. B., Diwakar, G., Satynaryana, M. R. S., Determination of unbalance in rotating machine using vibration signature analysis, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) Vol.2, Issue.5, pp-3415-3421, Sep-Oct. 2012.
- [15] Orhan, S., Arslan, H. ve Aktürk, N., Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 18, No 2, 39-48, 2003.
- [16] Aktürk, N. and Gohar, R., The effect of ball size variation on vibrations associated with ball-bearings, Proc. I.Mech.E., 212 Part J, 101-109, 1998.
- [17] Aktürk, N., Uneeb, M. and Gohar, R., The effects of number of balls and preload on vibrations associated with ball bearings, Journal of Tribology, 119, 747-753, October 1997.
- [18] Çağlayan. H. İ., Değişik tip pompalarda titreşim ölçüm ve analizi ile arıza tanımı, VibraTek Teknik Bülten 25, Ankara, 2-8 (2003).
- [19] Köse, R. K., Makina arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi, Otomasyon, 130: 88-90 (2003).
- [20] Orhan, S., Aktürk, N., Aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesi, Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak.Der, 18 (3): 97-106 (2003).
- [21] Aktürk, N., Application of vibration monitoring to rotating machinery, Journal of the Institute of Science and Technology, 10 (3): 419-432 (1997).
- [22] R, Keith Mobley., Vibration fundamentals, Newnes Yayınevi, USA, 372 (1999).
- [23] Oymak, O., Batu, A., Akışkan yataklı kazanlar, MIMAG-SAMKO Enerji Teknolojileri A.Ş.

- [24] Primary air fan (centrifugal type RJ30-SW2450F) operation and maintenance manuel, Jiangsu JTL Fans Co. Ltd.
- [25] Induced draft fan (centrifugal type, RJ48-DW2400F) operation and maintenance manuel, Jiangsu JTL Fans Co. Ltd.
- [26] Secondary air fan (centrifugal type RJ30-SW1950F) operation and maintenance manuel, Jiangsu JTL Fans Co. Ltd.
- [27] Feed water pump unit (type 135TSBII-J) operation and maintenance manuel, Zhenzhou Electric Divice Works.
- [28] Steam turbine (model N135-13.24/535/535) operation and maintenance manuel, Shanghai Turbine Company Ltd.
- [29] Generator (model WX21Z-073LLT) operation and maintenance manuel, Shandong Jinan Generator Works.
- [30] SKF General catalogue 6000 EN, November 2005.
- [31] Commtest vb series instrument reference guide, revision 25/01/06.
- [32] Commtest ascent software reference guide, revision 25/01/06.

ÖZGEÇMİŞ

Veysel Uysal, 15.05.1979'da Çanakkale'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Biga'da tamamladı. 1999 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2003 yılında bitirdi. Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2008 yılında girmiş olduğu Enerji Santralinde Makine Mühendisi olarak görev yapmaktadır.