KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ TESİSLERİNDEKİ DÖNER EKİPMANLARA UYGULANAN KORUYUCU BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIMIN İNCELENMESİ

CABİR KÜÇÜK

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

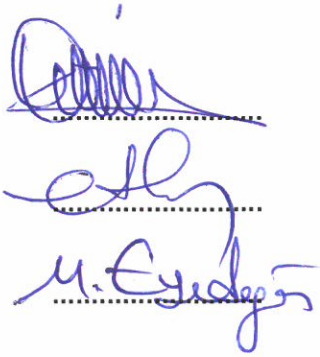
ENERJİ TESİSLERİNDEKİ DÖNER EKİPMANLARA UYGULANAN KORUYUCU BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIMIN İNCELENMESİ

Cabir KÜÇÜK

Prof. Dr. Durmuş KAYA
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muharrem EYİDOĞAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 29.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyada gelişen teknoloji ve artan nüfus yoğunluğundan enerji talepler artmaktadır. Talep edilen bu enerji artışın beraberinde getirdiği ihtiyacı sonucunda yeni Enerji Tesisleri hızla kurulmaya başlanmıştır. Kurulan bu tesislerde doğrudan enerji üretimi yapılmasının yanı sıra enerji üretiminde ihtiyaç duyulan kimyasal maddeler de üretilmektedir. Bu tesislerde kullanılan döner ekipmanların çalışıla bilirliğinin sürekli ve kesintisiz olabilmesini sağlamak amacıyla koruyucu bakımın ve kestirimci bakımın uygulamaları ve bu uygulamalar sonucunda ortaya çıkan avantaj ve dezavantajları açıklayacağım.

Bu konu üzerine çalışmak için bana fırsat veren değerli hocam Prof. Dr. Durmuş KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmamda bana sonsuz destek olan çalışma arkadaşlarım Fatih TAŞÇI, Erdem BİLMEZ, Abdulkadir MENDİ ve tez çalışmamda yardımcı olan Arş. Gör. Müfit YÜCE'ye teşekkür ederim.

Haziran - 2018 Cabir KÜÇÜK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Enerji 3
1.2. Enerji Tesisleri 4
1.2.1. Nükleer enerji tesisi 5
1.2.2. Kombine çevrim enerji tesisi 5
1.2.3. Doğalgaz enerji tesisi 6
1.2.4. Jeotermal enerji tesisi 7
1.2.5. Rüzgar enerjisi tesisi 8
1.2.6. Hidroelektrik enerji tesisi 9
1.2.7. Güneş enerjisi tesisi 10
1.2.8. Termik enerji tesisi 11
1.3. Enerji Tesislerinde Kullanılan Ekipmanlar 12
1.3.1. Pompa 12
1.3.1.1. Pozitif hacim değişmeli pompalar 12
1.3.1.2. Pistonlu pompalar 16
1.3.1.3. Santrifüj pompalar 18
1.3.1.4. Pompaların sistem içerisinde çalışma koşulları 20
1.3.1.5. Sistem karakteristiği 21
1.3.1.6. Pompa karakteristiği 22
1.3.1.7. Debi 24
1.3.1.8. Basma yüksekliği 24
1.3.1.9. Basınç 24
1.3.1.10. Güç tanımları 25
1.3.1.11. Özgül hız 26
1.3.1.12. Pompaların çalışma noktası 26
1.3.1.13. Pompa karakteristiğinde viskozite etkisi 27
1.3.1.14. Pompa ve sistem karakteristiği üzerinde değişimler 27
1.3.2. Buhar türbinleri 29
1.3.2.1. Buhar türbinlerinin çalışma prensibi 30
1.3.2.2. Buhar türbinlerinin kullanıldığı alanlar 31
1.3.2.3. Buhar türbinlerinin çeşitleri 31
1.3.3. Gaz türbini 34
1.3.3.1. Gaz türbinlerinin avantaj ve dezavantajları 34
1.3.3.2. Gaz türbinlerinin sınıflandırılması 35
1.3.3.3. Genel proses akışı 36
1.3.4. Kompresörler 38
1.3.4.1. Kompresör Tipleri 40
1.3.4.2. Dinamik Kompresörler 44
1.3.4.3. Kompresör devrinin karakteristik eğriye etkisi 59
1.3.5. Motorlar 59

1.3.5.1. Dizel motorları 59
1.3.5.2. Elektrik motorları 61
2. BAKIM 65
2.1. Arızi Bakım 65
2.2. Koruyucu Bakım 65
2.3. Kestirimci Bakım 65
2.3.1. Titreşim (vibrasyon) ölçümü 66
2.3.1.1. Titreşim frekansı 67
2.3.1.2. Sinyalin genlik tipi 68
2.3.2. Uzaktan görsel denetim 68
2.3.3. Boya ile muayene 68
2.3.4. Radyografik ile muayene 69
2.3.5. Itrasonik ile muayene 69
2.3.6. Termal (termografi) çekim ile muayene 69
2.3.7. Manyetik parçacık ile muayenesi 70
2.3.8. Sızdırmazlığın kontrolü 70
2.3.9. Bükümlü akım muayenesi 71
2.4. Enerji Tesislerinde Koruyucu Bakım ve Kestirimci Bakım 71
3. YÖNTEM 72
3.1. Koruyucu Bakım ve Kestirimci Bakım 75
3.1.1. Titreşim (vibrasyon) bakımı 77
3.1.2. Yağ analizi ve görsel kontrol 79
3.1.3. Termografi (termal çekim) 90
3.2. Bakımlar Arası Ortalama Süre (BAOS) 90
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 92
4.1. Koruyucu Bakım 92
4.1.1. Pompa basmıyor veya az basıyor 94
4.1.2. Pompa bir süre çalıştıktan sonra duruyor 95
4.1.3. Motor standardından fazla enerji tüketmektedir 95
4.1.4. Pompa yüksek vibrasyonlu çalışmaktadır 96
4.1.5. Çok sık yatak problemi yaşanmaktadır 96
4.1.6. Pompa fazla ısınmaktadır 96
4.1.7. Pompada sıkça yatak, şaft ve motor problemi olmaktadır. 97
4.1.8. Motor ana kesicisi açıyor 97
4.2. Kestirimci Bakım 97
4.2.1. Titreşim (vibrasyon) bakımı 98
4.2.1.1. Balanssızlık tespiti 99
4.2.1.2. Kaplin ayarsızlığı tespiti 101
4.2.1.3. Mekanik çözülmeler 103
4.2.1.4. Dişlilerdeki arıza tespiti 104
4.2.1.5. Rulmanlardaki arıza tespiti 105
4.2.1.6. Kaymalı yataklarda arıza tespiti 107
4.2.1.7. Elektrik motorlarında arıza tespiti 107
4.2.2. Yağ analizi ve görsel kontrol 110
4.2.2.1. Yağ köpükleşmesi 110
4.2.2.2. Yağ renginin bozulması 111
4.2.2.3. Yağ viskozitesinin değişimi ve partikül oluşumu 112
4.2.2.4. Yağ analizi 112
4.2.2.5. Yağ basınç kontrolleri 112
4.2.3. Termografi (Termal çekim) 112
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 114
KAYNAKÇA 118
EKLER 121
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 127

ÖZGEÇMİŞ 128

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Nükleer enerji tesisi 5
Şekil 1.2. Kombine çevrim enerji tesisi 6
Şekil 1.3. Doğalgaz enerji tesisi 7
Şekil 1.4. Jeotermal enerji tesisi 8
Şekil 1.5. Rüzgar enerji tesisi 9
Şekil 1.6. Hidrolik enerji tesisleri 10
Şekil 1.7. Güneş enerji tesisi 11
Şekil 1.8. Termik enerji tesisi 12
Şekil 1.9. Dişli pompa 14
Şekil 1.10. Loblu pompa 14
Şekil 1.11. Tek vidalı pompa 15
Şekil 1.12. Çift vidalı pompa 15
Şekil 1.13. Paletli pompa 16
Şekil 1.14. Pistonlu pompa 17
Şekil 1.15. Dönel pistonlu pompa 18
Şekil 1.16. Santrifüj pompa sınıflandırma şeması 19
Şekil 1.17. Dik pompa alt parçaları 20
Şekil 1.18. Sistem karakteristiği 21
Şekil 1.19. Pompa karakteristiği ile farklı iki sistem karakteristiğinin kesişme noktaları 22
Şekil 1.20. Pompa karakteristik grafiği 23
Şekil 1.21. Pompanın ihtiyaç duyduğu şaft gücünde kayıplar nedeniyle artış 23
Şekil 1.22. Yatay ve dikey karakteristik eğrileri 23
Şekil 1.23. Basınç gösterge şeması 25
Şekil 1.24. Pompaların en verimli çalışma noktası 27
Şekil 1.25. 20 cst'dan yüksek viskozite çıkılması durumunda pompa karakteristik eğrisinde değişim 27
Şekil 1.26. Emiş ve çıkış seviye değişimleri ile pompa çalışma noktasındaki değişim 29
Şekil 1.27. Devir değişimi ile pompa karakteristiğinde değişim 29
Şekil 1.28. Buhar türbini 30
Şekil 1.29. Buhar türbini üst kesit 31
Şekil 1.30. Aksiyon (impuls) türbini 32
Şekil 1.31. De-laval türbini 32
Şekil 1.32. Curtis türbini 33
Şekil 1.33. Reaksiyon türbini 33
Şekil 1.34. Gaz türbini ayrıntılı kesiti 34
Şekil 1.35. Endüstriyel gaz türbin kesiti 36
Şekil 1.36. Aeroderivatif gaz türbin kesiti 36
Şekil 1.37. Rankine çevrim 37
Şekil 1.38. Genel proses akış şeması 38
Şekil 1.39. Kompresör sınıflandırılması 41
Şekil 1.40. Kompresör kapasite ve basınç aralığına göre seçim grafiği 43
Şekil 1.41. Kompresör tiplerinin karakteristik eğrileri 43
Şekil 1.42. Ejektör kompresörün içyapısı santrifüj kompresörler 44
Şekil 1.43. Yatay ayrılabilir çok kademeli santrifüj (radyal) kompresör 45

Şekil 1.44. Santrifüj kompresörde gaz moleküllerinin hareketi 47
Şekil 1.45. Santrifüj kompresörde gaz moleküllerinin hareketi 47
Şekil 1.46. Santrifüj kompresörde gaz moleküllerinin hareketi 47
Şekil 1.47. Aksiyel split çok kademeli santrifüj kompresör 48
Şekil 1.48. Vertical split – dikey düzlemde ayrılabilen kompresör 49
Şekil 1.49. Santrifüj kompresör fan kanadı 49
Şekil 1.50. Santrifüj kompresör diyaframı 50
Şekil 1.51. Santrifüj kompresörde rotor ve diyaframın yerleşimi 51
Şekil 1.52. Eksenel kompresör 52
Şekil 1.53. Aksiyel kompresör ve diskleri 53
Şekil 1.54. Paletli bir kompresörün kesit görüntüsü 54
Şekil 1.55. Sıvı halkalı kompresörün kesit görünüşü ve çalışma prensibi 55
Şekil 1.56. Dişli kompresörün kesit görüntüsü 56
Şekil 1.57. Loblu bir kompresörün kesit görüntüsü 57
Şekil 1.58. Pistonlu bir kompresörün temsili görüntüsü 58
Şekil 1.59. Pistonlu kompresörün iç elemanları 58
Şekil 1.60. Kompresör rotor devrinin çıkış yüksekliği ve güç eğrisine etkisi 59
Şekil 1.61. Dizel motoru 60
Şekil 1.62. Elektrik motoru 61
Şekil 1.63. Doğru akım motoru 62
Şekil 1.64. Alternatif akım motoru 64
Şekil 2.1. Sinyal çevrim akışı 67
Şekil 2.2. Periyodu bir dönüş olan hareket 67
Şekil 2.3. Genlik ölçüm tipleri 68
Şekil 3.1. SAP PM bildirim yazma talep ekranı 72
Şekil 3.2. SAP PM risk değerlendirme tablosu 73
Şekil 3.3. SAP PM iş adımın oluşturulması 74
Şekil 3.4. SAP PM malzeme listesi 74
Şekil 3.5. SAP PM bakım taleplerinin teyit listesi 75
Şekil 3.6. Pompa ve elektrik motorunun titreşim ölçüm parametresi 77
Şekil 3.7. Çoklu spektrum grafikleri 78
Şekil 3.8. Termal çekim görüntüsü 90
Şekil 4.1. Arızanın gelişimi ile ekipman performansındaki değişim 92
Şekil 4.2. Arızanın oluşma kademeleri ve koruyucu bakım analizleri sıralaması 93
Şekil 4.3. Kostik pompa fanında uzun süre çalışma sonrasında oluşan erozyon 94
Şekil 4.4. Mahsul içerisindeki katı partiküllerin pompa gövdesi üzerinde yaptığı erozyon (Mahsul katalist içermektedir) 94
Şekil 4.5. Balanssızlığa örnek spektrum 99
Şekil 4.6. Balanssızlığa örnek dalga formu 100
Şekil 4.7. Bir fanda 1xRPM frekansının tepeciğinde balans ile düşürülme çalışması 100
Şekil 4.8. Yatay ile Dikey ölçüm 101
Şekil 4.9. Kaplin ayarı öncesi ve sonrası makine simülasyonu 102
Şekil 4.10. Spektrumda kaçıklık işareti 102
Şekil 4.11. Dalga formunda kaçıklık işareti 102
Şekil 4.12. İki yataktan aynı yönde alınan eksenel ölçümdeki 1xRPM frekansı işaretinin faz açısı farkına bakılıyor 103
Şekil 4.13. Mekanik çözülmeye örnek bir makinadan alınan spektrum grafiği 103
Şekil 4.14. Dişli sinyali bulunan bir spektrum örneği 104
Şekil 4.15. Dalga formu grafiği 104
Şekil 4.16. Rulman arızasına örnek spektrum 105

Şekil 4.17. Dalga formunda melek balığı deseni....106
Şekil 4.18. Rulman dış bilezik fatik arızası örneği....106
Şekil 4.19. Dış bilezikte nemden kaynaklanan korozyon örneği 107
Şekil 4.20. AC Motorlarındaki kısa devre çubuklarının arıza spektrumları 108
Şekil 4.21. Şekil 4.20'deki spektrumun dalga formu 108
Şekil 4.22. AC motor ölçüm noktaları 108
Şekil 4.23. AC motor dıştan yatay ölçümü....109
Şekil 4.24. AC motor dıştan dikey ölçümü....109
Şekil 4.25. AC motor içten yatay ölçümü....109
Şekil 4.26. AC motor içten yatay ölçümü....110
Şekil 4.27. Gaz kompresörü yağ haznesinde su tespiti 111
Şekil 4.28. Gaz kompresörü yağ haznesinde aşırı ısınma tespiti....111
Şekil 4.29. Elektrik motoru termal çekimi....113

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. SAP PM bildirim türleri 73
Tablo 3.2. TPG koruyucu bakımı 76
Tablo 3.3. Spektrum grafiği ile titreşim analizi yönlendirme tablosu – 1xRPM frekansı 78
Tablo 3.4. Spektrum Grafiği ile titreşim analizi yönlendirme tablosu–diğer frekanslar 79
Tablo 3.5. Döner ekipmanlarda madeni yağ bakım stratejisi 80
Tablo 3.6. Elektrik motorları bakım stratejisi 80
Tablo 3.7. Döner pompa bakım stratejisi 81
Tablo 3.8. Pistonlu kompresör bakım stratejisi 82
Tablo 3.9. Yatay ve dikey pompa bakım stratejisi 83
Tablo 3.10. Döner kompresör bakım stratejisi 84
Tablo 3.11. Santrifüj kompresör bakım stratejisi 85
Tablo 3.12. Buhar türbini bakım stratejisi 86
Tablo 3.13. Gaz türbini bakım stratejisi 87
Tablo 3.14. Motor bakım stratejisi 89
Tablo 3.15. Bakımlar arası ortalama süre 91
Tablo 4.1. Titreşim ölçümü sırasında belirlenen arızi listesi 98
Tablo 4.2. Yağ analizleri sırasında tespit edilen arızi bakım listesi 110
Tablo 5.1. Enerji tesislerinde toplam maliyet ve iş günü ayrıntısı 114
Tablo 5.2. Enerji tesislerinde işçilik, dış hizmet ve malzeme maliyet ayrıntısı 115

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

(η_e) : Pompaj sisteminin toplam verimi içerisinde aşağıda listelenen alt verim
(η_p) : Pompa içerisindeki sürtünme kayıplarından dolayı oluşan pompa verimi
(η_m) : Kaplindeki aktarma elemanlarındaki sürtünme ve ısınma kayıpları nedeniyle
(η_s) : Sürücü verimi, motor veya türbin verimi faktörlerini barındırır:
G : Yerçekimi ivmesini simgelemektedir.
H_g : Tanklar arası serbest sıvı seviyeleri farkı,
H_m : Manometrik basma yüksekliğini,
n : Pompa devrini (devir/dakika),
n_q : Özgül hızı (devir/dakika), oluşan mekanik verim
P : Akışkan basıncını,
P_b : Pompa çıkışındaki tankın sıvı yüzeyi basıncı,
P_e : Pompa emişindeki tankın sıvı yüzeyi basıncı,
Q : Debiyi (m^3/saat)
Σh : Emiş ve çıkış hatlarındaki kayıpların toplamıdır.
V : Akışkanın hızını,
Z : Yükseltiyi,
P : Akışkanın yoğunluğunu,
P : Akışkanın yoğunluğunun

Kısaltmalar

BPFI : Ball Pass Frequency Inner (İç Bilezik Arıza Frekansı)
BPFO : Ball Pass Frequency Outer (Dış Bilezik Arıza Frekansı)
FTF : Fundamental Train Frequency (Kafes Arıza Frekansı)
HF : Hat Frekansı
KF : Kayış Frekansı
N : Bilya / Masura Sayısı
PM : Plant Maintenance (Fabrika/Tesis Bakımı)
SAP : Systems Analysis and Program Development (Sistem Analizi ve Program Geliştirme)

ENERJİ TESİSLERİNDEKİ DÖNER EKİPMANLARA UYGULANAN KORUYUCU BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIMIN İNCELENMESİ

ÖZET

Türkiye genelinde artan enerji ihtiyacı sonucunda kimyasal maddeleri, doğal kaynakları ve alternatif enerji kaynaklarını kullanarak enerji üretimi hızla artmakta ve yayılmaktadır. Bu enerji tesislerinin üretim sürekliğinin sağlanması kazanılan tecrübeler sonucunda yapılmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde yer alan enerji tesislerinin ve bu enerji tesislerinin çalışabilirliğini sağlayan döner ekipmanlarının tanımları, tesislere ait görsel resimleri, ekipmanlara ait görsel resimler, grafikler ve hesaplama formüllerinin genel bilgileri yer almaktadır. Ayrıca bu tesislerde kullanılan döner ekipmanlara yapılan arızi bakım, koruyucu bakım ve kestirimci bakımın tanımları ve bakımlar arasında işçilik maliyetlerinin ve oluşan zaman yönünden maliyet hesaplamaların avantajları ve dezavantajları karşılaştırılarak incelenmiş ve yapmış olduğum çalışmamda bunu sizlere açıklamaktayım.

Enerji tesislerinde yer alan döner ekipmanlara uygulanan koruyucu bakımların ve kestirimci bakımların zamanında yapılmasının önemine dikkat çekilmektir. Böylece Arızi bakımların önüne geçmek, işletmelerin çalışabilirliğini sürekli kılabilmesine olanak sağlamaktadır. Tüm bunların sonucu olarak tesis karının artması ve olası tesis güvensizliğini ortadan kaldırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arızi Bakım, Döner Ekipman, Enerji Tesisleri, Kestirimci Bakım, Koruyucu Bakım.

STUDY OF APPLIED PREDICTIVE MAINTENANCE AND PREVENTIVE MAINTENANCE FOR ROTATING EQUIPMENTS IN ENERGY FACILITIES

ABSTRACT

As a result of increasing energy demand in Turkey by using chemicals, natural resources and alternative energy sources; energy production is rapidly growing and spreading. Achieving the production continuity of these power plants is the result of the experience gained.

This study includes descriptions of power plants located in the world and in our country and the rotating equipment that makes these power plants work, visual images of the facilities, visual images of the equipment, graphics and general information about the calculation formulas. I would also like to explain that the definitions of maintenance types (preventive and predictive maintenance) which is compared between in terms of advantages and disadvantages of labor costs and time cost calculations for the rotating equipment used in these plants.

It is emphasized that the importance of the timely execution of preventive and predictive maintenance applied to the rotating equipments located in the energy facilities. In this way, avoiding accidental/corrective maintenance allows the operators to maintain their operability permanently. As a consequence of all this, the increase of the plant profit and the possible instability of the plant are being removed.

Keywords: Accidental Maintenance, Rotating Equipment, Energy Facilities, Predictive Maintenance, Preventive Maintenance.

GİRİŞ

Ülkemizin birçok bölgesinde gelişen teknoloji ile enerji tesisleri kurulmakta ve talep edilen enerjiyi karşılama gayretindelerdir. Bu tesislerin üretkenliğinin sağlamakta yardımcı olan döner ekipmanlarda büyük önem taşımaktadır. Bu ekipmanlar pompa, türbin, kompresör vb. Oluşturmaktadır. Bu ekipmanlara hareket kabiliyeti sunan dizel motorlar ve elektrikli motorlar yer almaktadır. Bu ekipmanların tanımları, koruyucu bakımlar ile çalışabilirliğinin yüksek performansla sağlanması için nasıl, ne zaman ve hangi durumlarda yapılması enerji tesislerinin verimliliğini ortaya çıkarmasında yardımcı olup, işletmenin karlılığını ve ekonomi açısından ülke gelirine katkı sağlamasına neden olur.

Yapmış olduğumuz çalışmada bu tesislerin güvenli ve sürekli çalışabilirliğinin sağlamak için kullanılan döner ekipmanlarda doğru periyotlar ile koruyucu bakım metotları, süreleri, bu uygulamanın avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektir. Ayrıca bakım yönetim sistemi olarak işletmelerde kullanılan bazı uygulama programları hakkında genel bilgi vermektir.

Dünyada hızla artan teknoloji gelişimi ve nüfus yoğunluğu beraberinde enerji ihtiyacı ortaya çıkarmıştır. İhtiyaç duyulan enerjileri karşılamak için devlet yöneticileri ve özel sektör girişimler yaparak tesisler kurulmasında büyük yatırımlar yapmaktadır. Bu tesislerin kurulmasının amacı, talep edilen enerjiye kesintisiz olarak sağlamak ve ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır. Bu tesislerin sürekliliğinin sağlayabilmek adına üretim aşamasında kullanılan döner ekipmanların çalışabilirliğini en üst seviyede yapabilmek adına düzenli kestirimci bakım ve koruyucu bakım düzenlemesi yapılmaktadır. Daha önce farklı alanlarda ve ekipman irdelemesi yapılarak bir çok çalışma yer almaktadır. Sn. Belek ve Sn. Güvenç, titreşim ölçümlerinin makinelerde düzenli aralıklar ile yapılarak arızi bakımların ortadan kalkarak, performanslarını üst seviye olmasını sağlayabileceklerini belirtmişlerdir. Böylece bakım maliyetlerini ve yedek parça maliyetlerini düşürüp, tesislerde yapılan çalışma sonuçlarına yer vermiştirler [1]. Sn. Altay, çalışmasında titreşim analizi ile kestirim bakım yöntemini uygulayarak makine titreşim frekanslarına göre genliklerinin inceleyerek arızi bakımdan önce müdahale edilmesinin amaçlandığı bir çalışma belirtmiştir [2]. Beklenmedik bir zamanda arıza yapan bir ekipman, işletmede ani duruşa neden olmakla kalmayıp, bakım sürelerinde, malzeme, bakım

ekinin planlaması hazır olmadığından yüksek maliyetlere ve uzun süre bakım onarım işlerinden dolayı üretim kaybından doğan maliyetler ortaya çıkmaktadır [3]. Akademik bir makalede, arızi sonucunda oluşan sorunlarda bakım tarafından giderilmiş olsa bile, günümüzde artık, ekipmanlar da arızalar oluşmadan müdahale etme anlayışı daha önem taşımakta olup, bu durum gitgide işletmeler hızla artmaktadır. Ekipmanlar da arıza meydana gelmeden müdahale etme amacı, yüksek verimlilik ve ekipmanın ömrünü uzatmak, ayrıca arızi bakımlardaki sürelerden dolayı oluşan üretim kayıplarının işletmede minimize etmektir. İşletmelerdeki ekipman ve otomasyon sistemlere yapılan bu çalışmalara koruyucu bakım veya kestirimci bakım olarak tanımlayabiliriz. Bu bakım yöntemleri ile sistemin durdurulmadan çalışmasındaki veriler toplanarak incelemeler yapılmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda sistemdeki olası arızinin ortaya çıkmasının önüne geçip, planlı bakım yapılması için zaman ve ekip planlanarak sisteme bakım onarım işlemi yapılır. Planlı bir bakım olmasından dolayı planlanmış bütçe üretim kayıplarının ve yüksek bakım maliyetleri ile karşılaşılmayacaktır [4]. Bir akademik çalışmada, titreşim analizinin diğer kestirimci bakımın yöntemleri arasında en çok tercih edilen (%50) bir kestirimci bakım yöntemi olduğuna dikkat çekmiştir. Ayrıca çalışmasında, ABC analiz yöntemi ile yağ pompasından alınan yağ numuneleri ve veriler toplanarak analiz yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucunda olası bir arızanın oluşmaması için bakım planlamaları yapıldığını belirtmektedir. Kestirimce bakım yöntemleri yağ analizi ve titreşim ölçümü ile çeşitli arıza teşhisi üzerinde çalışmalar da yapmıştır [5]. Denli, ekipmanların çalıştığı an yaymış olduğu sesi, titreşimin ve ısının yaymış olduğu frekanslardan ölçüm alarak, ekipmanların çalışabilirlik durumlarını incelenmiştir. Ekipmanların incelenmesi sonucunda önceki durumlarıyla karşılaştırılıp planlı bakım için çalışmalar yapılmaktadır. [6] Baykara, Şanzımanda belirli aralıklarla yapmış olduğu titreşim ölçümleri ile olası büyük arızi sorunlarının, kestirimci bakım yönteminden faydalanarak önceden tespit edildiğiyle ilgili bir çalışma yapmıştır. [7]

Kestirimci bakım ve koruyucu bakım çalışmasına benzer birçok çalışmanın üniversiteler ve araştırmacılar tarafından yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise enerji tesislerine yönelik döner ekipmanlar irdelenerek koruyucu bakımların ve kestirimci bakımların, bakım maliyetlerine, tesis enerji verimliliğin artmasında katmış olduğu değerleri ve önemi gösterilerek özgün bir çalışma yapılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

Gelişmekte olan teknolojik dünyamızın vazgeçilemez unsurlarından biridir. Bu gelişen teknoloji ile enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak için yaygın olarak kömür, petrol ve benzeri yer altı kaynakları kullanılmaktadır. Bu kaynakların zamanla tükenmesi ve kaynak tedarik durumun dışa bağlı olmasından artan maliyetlerin, ayrıca kullanımları sırasında çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi olumsuz durumları da yer almaktadır [8]. Tüm olumsuz durumlar göz önüne alındığında güneş, rüzgar vb. doğada yenilenebilir enerji olarak bulunan kaynakları daha bir önem kazanmaktadır. Özellikle ülkemizde yer alan ulusal elektrik şebekelerinden uzak bölgelere ve yerel kesimlere enerji transferi için yenilenebilir enerji tesisleri, kurulum kolaylığı nedeniyle tercih edilmektedir. Fakat ülkemizde yerli imalat sorunu ile karşılaşıldığından maliyetleri oldukça önemli ölçüde ve proje geri dönüşleri uzun zaman almaktadır.

1.1. Enerji

Enerji, bir işi yapmak için ortaya çıkarılan yetenek veya değişikliği meydana getiren kabiliyet olarak tanımlanmaktadır. Enerjiyi kısaca iş yapabilme gücü ve kapasitesidir. Enerji çeşitlerinin başlıklarını şöyle sıralayabiliriz; nükleer, kimyasal, elektrik, ısı, manyetik, mekanik, kinetik ve potansiyel enerjidir. Enerji kaynaklarını yenilenebilir ve yenilenemez enerji olmak üzere iki ana sınıfta toplamak mümkündür. Güneş, su, rüzgar, jeotermal, biyokütle enerjisi, dalga (gelgit) enerjisi, hidrojen ve toryum yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu enerji kaynakları aynı zamanda temiz enerji kaynaklarıdır. Kömür, petrol, doğal gaz vb. Fosil yakıtlar yenilenemeyen enerji kaynakları olarak sınıflandırılır [9]. Yenilenemeyen enerji kaynakları, zamanla tükendiklerinden sonra, yerine yenisinin gelmesi çok uzun yıllar almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklar ise bunun aksine kullanıldıktan sonra kısa zamanda elde edilebilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, sınırsız olarak varsayılan, sürekli tekrar edebilirliğinden dolayı kullanılabilen enerji çeşitleridir. Yenilenebilir enerjilere bir diğer adı akım enerji, yenilenemeyen enerjilere ise stok enerji denilmektedir [10].

1.2. Enerji Tesisleri

Dünyada artan nüfus yoğunluğundan dolayı yaşamı kolaylaştırmak için teknolojide birçok alanda hızla gelişmektedir. Bu gelişimle birlikte enerji ihtiyacında artış olmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için her geçen gün enerji üretimi yapan tesisler kurulmaktadır. Aynı zamanda üretilen bu enerji tesislerinin üretimini dağıtan merkezler bulunmaktadır. Birçok farklı enerji tesisleri vardır. Bu tesisler gelişen teknoloji ile birlikte çeşitliliği artmıştır. Bu tesislerin geçmişten bu yana kurulma amacı enerji ihtiyacını kesintisiz karşılamaktır. İhtiyaç duyulan enerjiyi üretmek için kullanılan hammadde yenilenemeyen enerji sınıfında yer alan kömür ve sıvı yakıtlar olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte çevre dostu olan biyo-enerji tekniği bulunmuştur. Bu teknolojisiyle birlikte dünya üzerinde dikkat çekmiştir. Günümüz dünyasında artık birçok ülke teknolojinin de gelişmesinden faydalanarak pek çok enerji tesis türlerine sahiptirler. Dünyada bulunan enerji tesisleri;

- Nükleer,
- Kombine çevrim,
- Doğalgaz,
- Jeotermal,
- Rüzgar,
- Hidrolik,
- Güneş,
- Termik.

olmak üzere sekiz farklı sınıfta yer almaktadır. Bir ülke kendi imkanları doğrultusunda tüketmiş olduğu enerjisini üretmek, refahı ve ekonomisi için çok önemlidir. Enerjinin dönüşebildiği pek çok enerji türü vardır. Bunlar, potansiyel enerji, kinetik enerji, ısı enerjisi, elektrik enerjisi, ışık enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji ve ses enerjisi türeleridir. Enerjinin iki temel öğesi, kinetik enerji ve potansiyel enerjidir. Potansiyel enerji bir cisimde konum ve duruma bağlıdır. Kinetik enerji, hareket enerjisidir. Isı enerjisi, cisimlerin sahip olduğu sıcaklık enerji çeşididir. Maddeler ısı enerjisi içermektedir. Elektrik enerjisi üstünde elektrik yüküne bağlı olan enerjidir. Bir alanı aydınlatmak istediğimiz zaman, ışık enerjisine başvururuz. Kimyasal enerji, birden fazla maddenin kimyasal reaksiyonlara girmesi sonucu ortaya çıkan enerji türüdür. Nükleer enerjinin oluşumu fisyon ile füzyon sonucunda ortaya çıkar. Ses enerjisi yaymış olduğum titreşim ve madde salınımı ile bir enerji türü olduğu bilinmektedir. Yukarıda belirtilen bu enerji tesislerinden elde edilen

enerji, insan hayatının yaşamını kolaylaştırarak, pek çok alanda fayda sağlamaktadır [10].

1.2.1. Nükleer enerji tesisi

Dünyada avantajları ve dezavantajları bakımından en çok tartışma nedeni olan nükleer enerji tesisidir. Radyoaktif maddeler, nükleer enerji tesislerinin hammaddeleridir. Kullanılan bu hammaddelerden dolayı, olumsuz bir durum ile karışılmamak için çalışma koşullarında emniyet ve güvenlik durumu diğer enerji tesislerine göre nükleer enerji tesislerinde daha çok önem taşımaktadır. Radyoaktif maddelerin kullanılması, nükleer enerji tesislerinde teknolojik sistemlerinde yer almasının gerektirmesinden dolayı gelişmiş dünya ülkelerin sahip olmasıyla beraber, bu santral sayısı çok azdır. Nükleer enerji santralinde zenginleştirilmiş uranyum kullanıldığından, bu maddeye sahip olmak en önemli etkendir. Nükleer enerji tesislerinde fizyon ve fisyon tepkimeleri sonucunda elektrik enerjisi elde edilir. Nükleer enerji tesisleri, birçok sebepten tartışma konusu olmuş olsa da, yüksek teknoloji ve güvenliğe sahip bir nükleer enerji tesisi, ülkenin ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır [10].

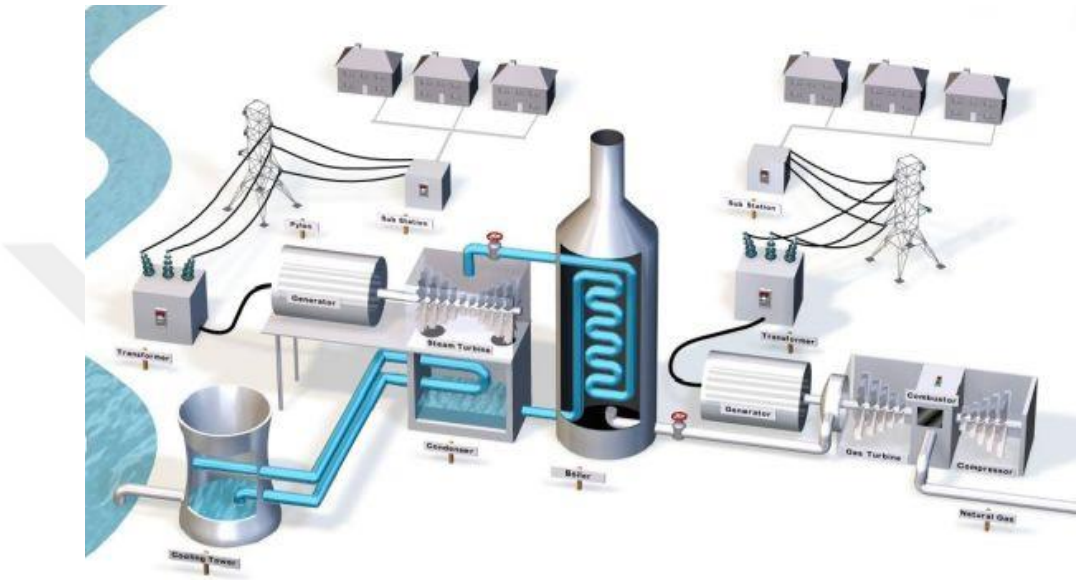


Şekil 1.1. Nükleer enerji tesisi

1.2.2. Kombine çevrim enerji tesisi

Fosil yakıtlar (akaryakıt, doğalgaz ve kömür) kullanılarak elektrik enerjisi üretilen tesislere kombine çevrim enerji tesisleri denir. Kullanılan bu hammaddelerden dolayı, bu enerji tesisleri pek çevre dostu olduğu söylenemez. Aynı zamanda kullanılan bu hammaddeler yenilenebilir enerji kaynakları olmadığından, yenilenebilir enerji tesis özelliğini taşımazlar. Bu enerji tesislerinde iki farklı tip döner ekipman yer

almaktadır. Bunlar, Buhar türbini ve gaz türbinidir. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan en önemli döner ekipmanlardır. Kombine çevrim enerji tesisleri, atık ısı ve gazları düşük basınçlarda olsa bile değerlendirerek elektrik enerjisi üretirler ve verimi arttırırlar. Bu özelliğinden dolayı, bu enerji tesisleri, doğalgaz enerji tesislerinden daha verimlidir. Ülke ekonomisine büyük değerler katarak avantajlı bir tesistir [10].



Şekil 1.2. Kombine çevrim enerji tesisi

1.2.3. Doğalgaz enerji tesisi

Dünyada artan nüfus oraları ve gelişen teknolojik ürünlerinde beraberin ortaya çıkan elektrik enerjisi ihtiyacı için kurulan enerji tesislerinde biride doğalgaz enerji tesisleridir. Bu santrallerin çalışma prensibi, nükleer enerji tesisleri ve termik enerji tesisleri ile benzerdir. Doğalgaz enerji tesislerinde, yer alan döner ekipman ve diğer ekipmanların bazıları, buhar türbini, gaz türbini, buhar kazanları vb. ekipmanlardır. Doğalgaz enerji tesisleri, çevre dostu olmasıyla avantajlıdır. Fakat kullanılan hammaddenin, doğalgaz kaynaklarının tükenmesi veya dışarıdan sağlanması için harcanan maliyetlerin artmasında durumunda, ekonomi ve enerji ihtiyacında zor duruma düşürmesinden dolayı dezavantajlıdır. Çevre dostu olan doğalgaz enerji tesisleri, kullanılan hammadde tedariki ve tükenen doğalgaz rezervlerinden dolayı artan yüksek maliyetler, bu tesislerin kurulmasında tercih edilmeme nedenidir [10].



Şekil 1.3. Doğalgaz enerji tesisi

1.2.4. Jeotermal enerji tesisi

Jeotermal enerji yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal tesisler ise bu jeotermal kaynakları ham madde olarak kullanarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan tesislerdir. Jeotermal enerjinin kullanılabilmesinin en önemli etkeni dünya üzerindeki coğrafi koşullardır. Dünya da her bölgede jeotermal enerji yoktur. Jeotermal kaynaklar yenilenebilir, tükenmeyen enerji kaynaklarıdır. Diğer hammadde kaynaklarına göre bir adım öne çıkmasına neden olur. Jeotermal kaynaklar tükenmez, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Verimliliği yaklaşık %95 oranında olan jeotermal enerji tesisleridir. Enerji üretimi aşamaları; jeotermal kaynaklarda ki hammaddelerin ısıtılması sonucu oluşan buharın, türbinleri çevirmesi ve bu türbinlerdeki ısı enerjisinin elektrik enerjisine çevrilmesi için aşamaları vardır [10].



Şekil 1.4. Jeotermal enerji tesisi

1.2.5. Rüzgar enerjisi tesisi

Yüksek basıncın olduğu yerden alçak basıncın olduğu yere doğru yatay şekilde hareket eden havanın hareketine rüzgâr denir. Rüzgâr enerjisi hareket halinde ki havanın sahip olduğu enerjidir. Rüzgâr enerji tesislerinin basit bir çalışma prensibi vardır. Rüzgâr esintisinin kuvvetli olduğu belirlenen bölgelere kurulan oldukça büyük pervaneler yardımıyla rüzgârın şiddetiyle kendisine bağlı olan şaftı çevirir. Bu şaft sistemine bağlı jeneratör yardımıyla pervanelerin dönmesi sağlanır. Buradan rüzgârın kinetik enerjisinden elektrik enerjisi üretilmiş olur. Rüzgâr türbinleri üç ana bölümden oluşur. Bu bölümler; pervane kanatları, jeneratör ve şafttır. Pervane kanatları rüzgârın şiddetiyle dönmeye başlar. Pervaneler dönmesiyle beraber şaftta da onunla beraber döner ve elektrik enerjisi bu şekilde üretilmiş olur. Rüzgâr enerjisi ayrıca yenilenebilir, sürdürülebilir, doğa dostu bir enerji türüdür [10].



Şekil 1.5. Rüzgar enerji tesisi

1.2.6. Hidroelektrik enerji tesisi

Hidroelektrik enerji tesislerinde hammadde olarak su kullanılır. Bu tür tesisler barajlarda biriken suları elektrik enerjisine çevirir. Bu tesislerde enerji üretiminin temeldeki sıralaması önce suyun sahip olduğu potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşür, daha sonra türbinler yardımıyla elektrik enerjisine dönüşür. Hidroelektrik santrallerinin bölümlerini şu şekilde sıralayabiliriz; suyu tutma bölümü, suyu alma bölümü, iletim kanalı, basınçlı borular, salyangoz, türbin, jeneratör, transformatörler, şaft alanı gibi ana bölümlerin yanı sıra sayamadığımız küçük bölümlerden de oluşur. Hidroelektrik santralleri herhangi bir kimyasal atık bırakmamasına rağmen kurulduğu bölgenin doğal yaşam hayatını tehdit eder [10].



Şekil 1.6. Hidrolik enerji tesisleri

1.2.7. Güneş enerjisi tesisi

Yaşam kaynağımız olan güneşin enerjisinden yararlanma fikri 20. YY'da ortaya atılmıştır. Diğer enerji üreten tesislere bakılınca oldukça çevre dostu, yenilenebilir, sürdürülebilir bir enerji türüdür. Günümüzde de gittikçe kullanım oranı artmaktadır. Diğer tesislerdeki hammaddelerden en büyük farkı hammaddenin dünyanın dışındaki bir yapıdan karşılanmasıdır. Fakat kurulumu oldukça maliyetlidir ve buna rağmen verimi oldukça düşük olduğu için kullanımı çok yaygın değildir. Güneş enerjisi tesislerinin çalışması; güneşten gelen ışınlar devasa güneş pilleri tarafında emilir ve enerjiye çevrilir. Güneş pilleri fotovoltaik olduğundan bu dönüşüm rahatça yapılabilir. Bilim insanlarına göre doğaya çok az zarar verdiğinden dolayı geleceğin enerji kaynağı olarak görülmektedir [10].



Şekil 1.7. Güneş enerji tesisi

1.2.8. Termik enerji tesisi

Enerji üretmek için kurulan en eski tesislerdir. Bu tesisin temelinde kömür, sıvı yakıt gibi kullanılan hammaddelerin suyu ısıtması, ısınan suyun buharlaşmasından oluşan sıvı buharı ile enerji üretilir. Elektrik enerjisinin üretilmesinden başka açığa çıkan buhar ve sıcak suyun uzun mesafelere taşınması enerji kaybına yol açtığından yakın yerleşim yerlerinin, gemi, sanayi tesisleri, ısıtılmasında kullanılır. Sanayi devriminin yaşandığı yıllarda termik santrale sahip olmak bir ülkenin gelişmiş olduğunu teknolojik olarak üstün olduğunu gösteriyordu. O yıllarda çok yaygın olan bu santraller günümüzde o eski popülaritesini yitirmiştir. Fakat hala gerekli gelişmeyi gerçekleştirememiş ülkelerde kullanılmaya devam etmektedir. Bir ülkenin ekonomisi için kendi enerjisini üretmesi çok önemlidir. Bu nedenler elde bulunan tüm kaynaklarla enerji üretilmeye devam edilmelidir [10].



Şekil 1.8. Termik enerji tesisi

1.3. Enerji Tesislerinde Kullanılan Ekipmanlar

1.3.1. Pompa

Pompalar, akışkanlara dönme veya sıkıştırma yöntemiyle enerji vererek hareketlendiren ve akışkanı bir yerden başka bir yere taşıyan mekanik aygıtlardır. Pompalar akışkanı düşük basınç bölgesinden yüksek basınç bölgesine veya alçak seviyelerden yüksek seviyelere taşırlar [11]. Pompalar çalışma prensiplerinin ve mekanik aksamlarının farklılıkları göz önünde tutularak iki ana gruba ayrılırlar:

- pozitif hacim değişmeli (deplasmanlı) pompalar
- santrifüj pompalar

Rafinerilerde en çok kullanılan santrifüj pompalar üzerinde daha detaylı durulacak, diğer tip pompalar hakkında sadece temel bilgiler verilecektir [12].

1.3.1.1. Pozitif hacim değişmeli pompalar

Pozitif hacim değişmeli pompalarda belirli bir hacimdeki akışkan, pompanın hareketli ve sabit parçası arasında hapsedilerek, emiş tarafından çıkış tarafına transfer edilir. Akışkanın emme seviyesinden alınıp basma seviyesine basılma işlemi kesikli olup, emme basma kısmı arasında süreklilik yoktur. Pozitif hacim değişmeli pompalar

akışkanı sabit bir hacme sıkıştırdıkları için, sıkışma sonu basınçları çok büyük değerlere ve hatta tasarım basıncından yüksek değerlere çıkabilir. Bu yüksek basınçtan dolayı herhangi bir olumsuzluğa neden olmamak için pompa çıkışlarında muhakkak “emniyet valfleri” bulunur. Pompa içerisindeki basınç belli tasarım değerleri üzerine çıkar ise, ekipman ve sisteme zarar vermemek için, emniyet valfleri, açarak, akışkanı emişe veya atmosfere boşaltır [11,12].

Pozitif hacim değişmeli pompalar kendi içinde iki ana gruba ayrılır:

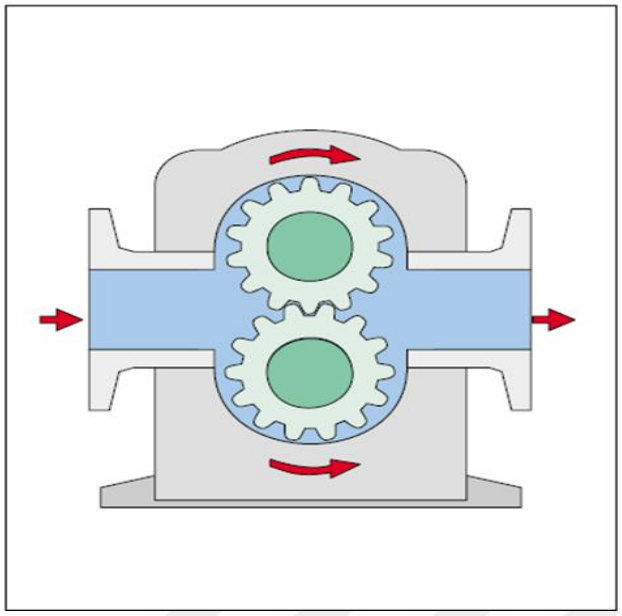
- Döner rotorlu pompalar (dişli, paletli, vidalı, loblu)
- Pistonlu pompalar
- Santrifüj pompalar

Döner rotorlu pompalar; Döner rotorlu pompalarda ana prensip akışkanı hapsetme ve yer değiştirmede dönme hareketinin kullanılmasıdır. Bu pompalar gövde ve ana döner mekanizma parçaları (dişler, kanatlar vb.). Arasına akışkanı alarak çıkış hattına kadar taşır ve buraya transfer eder. Bu tip pompaların deplasmanı, dönen bölümleri ile gövdesi arasındaki hapsedilen sıvının hacmi kadardır [11,12].

Döner rotorlu pompalar dönen ana elemanların tipine göre adlandırılır. Bunlar:

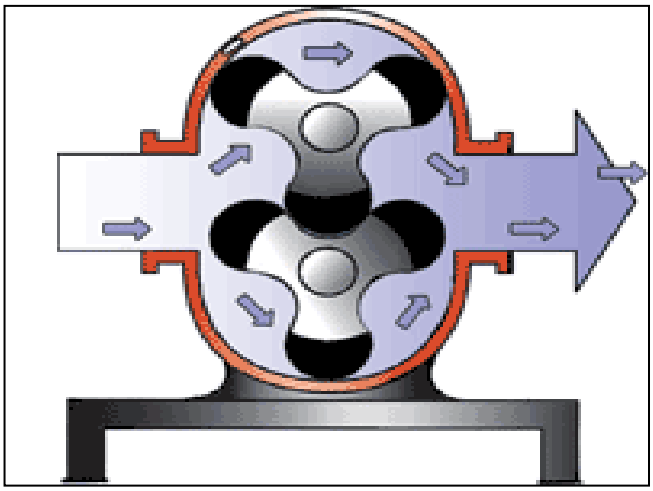
- Dişli pompalar (gear pumps)
- Loblu pompalar (lobe pumps)
- Vidalı pompalar (screw pumps)
- Paletli pompalar (vane pumps)

Dişli pompalar (Gear pumps); Dişli pompalarda, devir yönüne bağlı olarak, akışkan dişliler arasında sıkıştırılarak emişten çıkışa doğru hareket ettirilir, Şekil 1.9’da görülmektedir. Dişli pompalarda bir emme söz konusu değildir ve pompaya hangi akışkan verilirse verilsin, dönüş yönüne bağlı olarak emmeden çıkışa doğru basacaktır. Dişli pompalarda, dişler arası klerensler çok önemlidir. Dişlerin birbirine iyi temas etmemesi vs. Sebeplerden ötürü klerens değerlerinde herhangi bir artış olur ise, pompa içinde çıkıştan emişe doğru oluşacak kaçak ve ters akış sonucunda, pompada az basma veya tamamen basmama sorunları görülebilir. Dişli pompalar genellikle döner ekipmanlar sisteminde yağ sirkülasyonunu sağlayan yağlama yağı pompaları olarak kullanılır [13].



Şekil 1.9. Dişli pompa

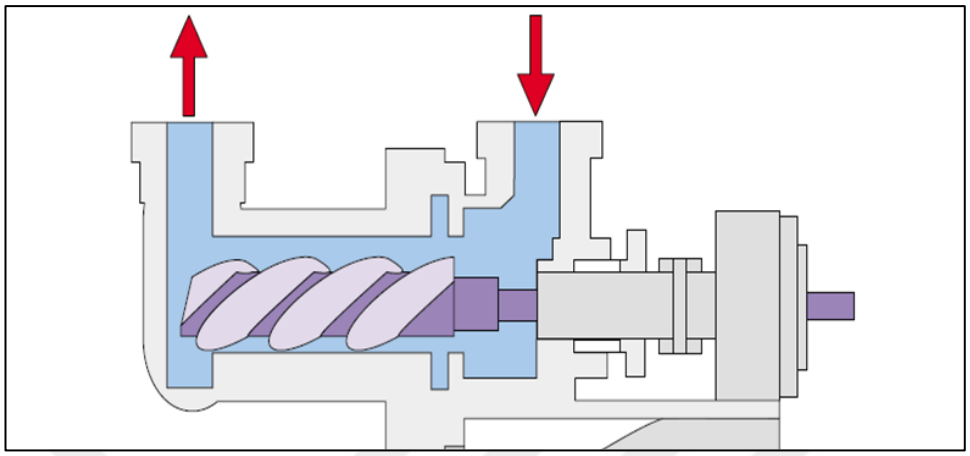
Loblu pompalar (lobe pumps); Bu pompalar dişli pompalara benzemektedir. Dişler yerine akışkana baskı, loblar ile sağlanır. Lob yüzeyleri dişli pompalara göre daha az temas yüzeyi içerdiğinden yağlayıcı özelliği olmayan akışkanlarda da kullanılabilirler. Şekil 1.10'da üç loba sahip pompa gösterilmiştir. Loblar tasarıma göre iki, üç, dört ve daha fazla olabilir [13].



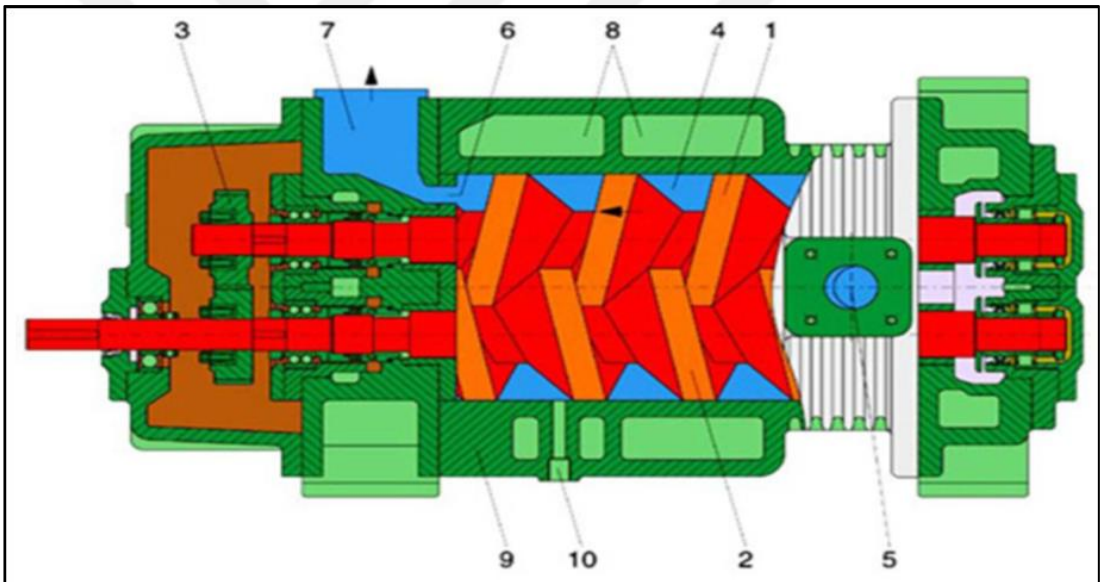
Şekil 1.10. Loblu pompa

Vidalı pompalar; Vidalı pompalar da dişli pompalara benzerler. Bu pompalar dönel sıkıştırma hareketi yaparak girişten çıkışa doğru akışkanı basar. Tek (Şekil 1.11) veya çok vidalı (Şekil 1.12) tipleri mevcuttur. Genellikle yüksek viskozitedeki akışkanları yüksek basınçlarda sevk edilmesi için kullanılırlar. Yüksek basınç

nedeniyle çıkışlarında emniyet valfleri bulundurulmalıdır. Rafinerilerde genellikle asfalt veya fuel-oil pompalamak için kullanılan çift vidalı pompalar mevcuttur.



Şekil 1.11. Tek vidalı pompa

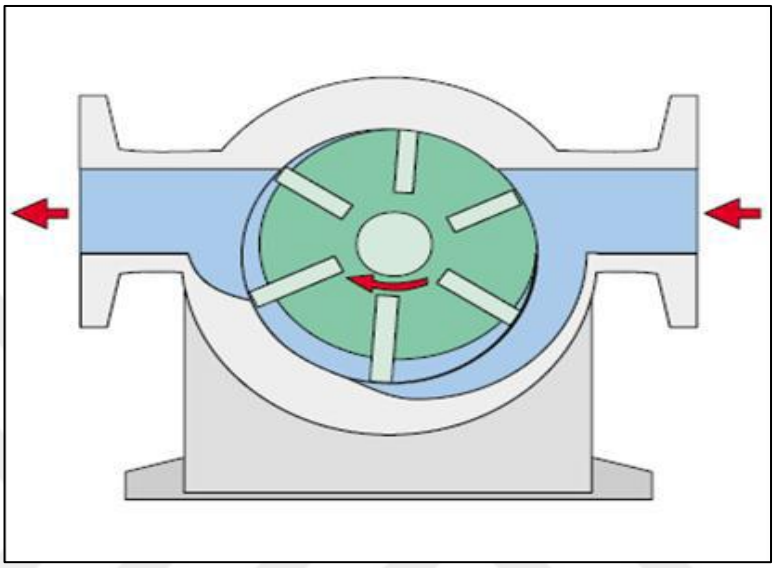


1: Döndürülen avare rotor (Vida), 2: Dönen rotor (Vida), 3: Zamanlama dişlileri, 4: Basılan akışkan, 5: emme portu, 6: sızdırmazlık elemanı 7: Çıkış portu, 8: Soğutma ceketleri, 9- Pompa gövdesi

Şekil 1.12. Çift vidalı pompa

Çift vidalı pompalarda, bir adet döndüren ve bir adet de döndürülen rotor (avare rotor) mevcuttur. Bu rotorlar dönerken birbiri ile asla temas etmemelidir. Temas etmeden belli senkronizasyonda hareket etmeleri için dönen rotor ile döndürülen rotor birbirine zamanlayıcı dişliler ile bağlanmıştır. Vidalı pompaların verimli çalışması için her iki rotor arasındaki klerens değerleri önemlidir ve klerens değerleri arttıkça pompa verimi önemli ölçüde düşer. Zamanla yatak yerlerinin bozulması sonucu rotor ekseni kayar ise, rotorlar birbirine sürterek pompanın dönmemesine neden olur. Bu özellikleri nedeniyle bakımları zor pompalardır [13].

Paletli pompalar; Paletli pompalarda bir kaç kayar palet dönen bir şaft üzerine bağlanmıştır. Paletlerin bağlı olduğu rotor, pompa gövdesine göre eksantrik (eş merkezli değil) bir pozisyondadır. Pompa dönerken santrifüj kuvvet paletleri dışa doğru açarak paletler silindir yüzeyine temas ederler. Yüzeyler arasına sıkışan akışkanda, hacim değişimine bağlı pompalama etkisi meydana gelir [13].

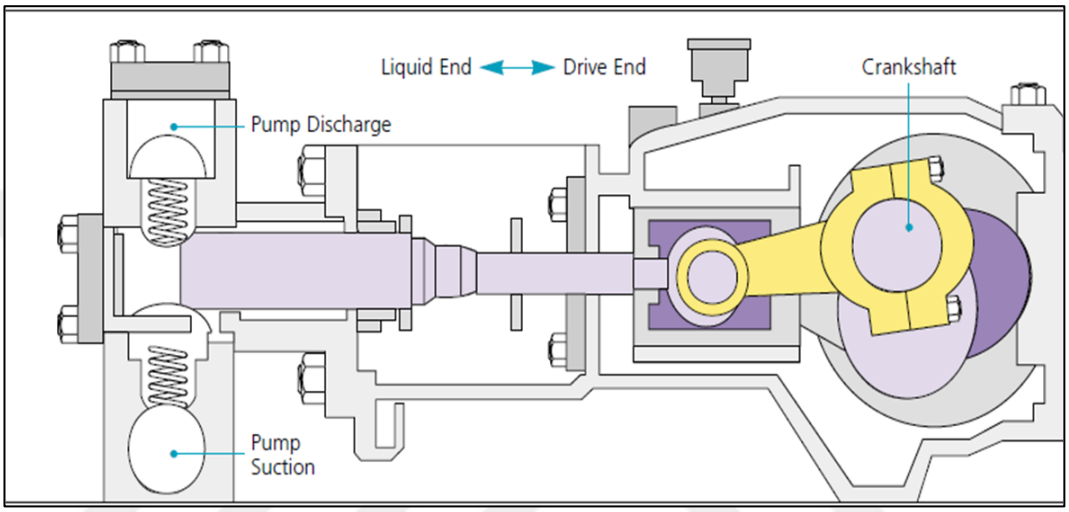


Şekil 1.13. Paletli pompa

1.3.1.2. Pistonlu pompalar

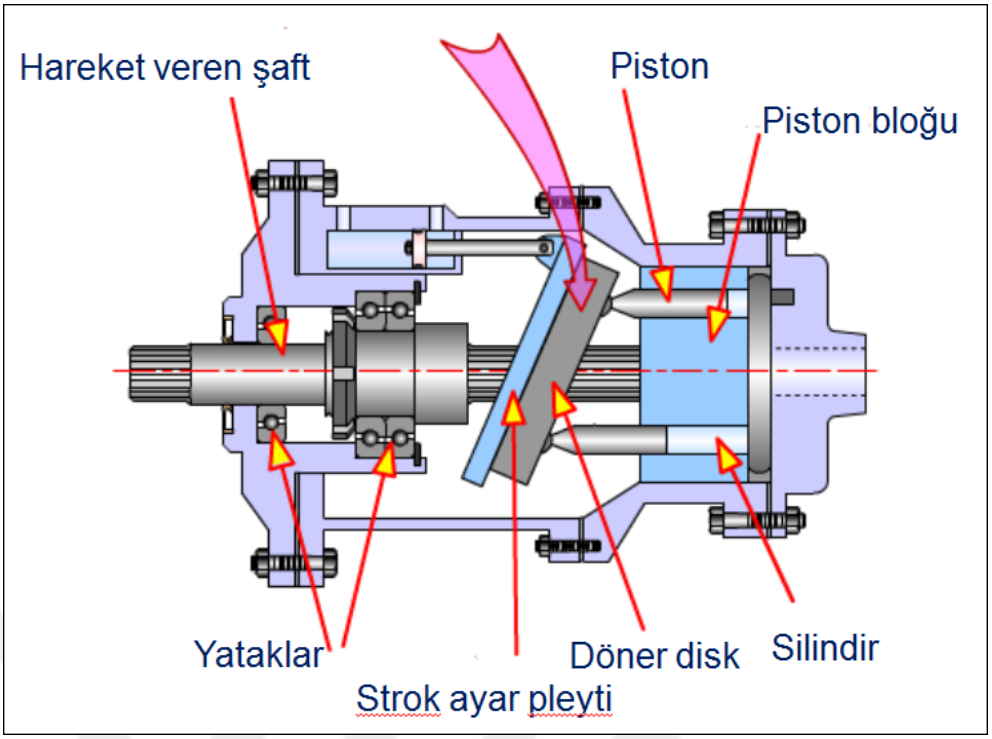
Pistonlu pozitif deplasmanlı pompalar bir plunger veya bir piston vasıtası ile belirli bir miktardaki akışkanı her strokta transfer eden pompalardır. Pistonlu pompalar santrifüj pompaların etkili bir biçimde kullanılamadığı yerlerde, örneğin yüksek viskoziteye sahip akışkanların pompalanmasında veya düşük debi yüksek çıkış basıncı kombinasyonlarında kullanılır. Yüksek basınç nedeniyle pistonlu pompa çıkışlarında emniyet vanası bulunmalıdır. Pistonlu pompalar hidrolik olarak yüksek verime sahiptir ve akış miktarı, çıkış basıncından neredeyse bağımsızdır. Ayrıca sistem içerisinde kalabilen havayı veya gazları tahliye edebilme kabiliyetine de sahiptirler. Pistonlu pompalar iki ana kısımdan oluşur. Birinci kısım akışkan kısmı, diğer kısım ise pistona tahrik hareketinin sağlandığı güç kısmıdır. Akışkan kısmı emme ve basma valfleri, silindir ve pistondan oluşur. Güç kısmında ise krank şaft, biyel kolu ve kroset vardır. Pistonlu pompaların debileri; bazı pompalarda pistonunun gidip gelirken kat ettiği mesafenin (strok boyu) ayarlanması ile bazen de motor devrinin ayarlanması ile değiştirilebilir. Strok boyunun ayarlanması, kroset ekseni ile silindir ekseni arasındaki eksenin ayarlanması anlamındadır. Pistonlu pompalarda akış, piston hareketinin alt ve üst ölü noktalarında kısa süreli duruşları

nedeniyle kesintili veya dalgalıdır (pulsation). Bu dalgalanma, çıkış hattına konulan darbe sönümleyiciler veya akışın birçok silindire bölünerek paralel çalıştırılması ile sönümlen dirilir. Pistonlu pompaların sağlıklı çalışması için valflerin durumu çok önemlidir. Valfler üzerinde oluşabilecek korozyon veya akışkanın kristalleşmesi (yüksek sıcaklık vb. Nedenlerden ötürü) nedeniyle valflerde çalışmama veya sızdırmazlık görevlerini tam olarak gerçekleştirmeme durumları oluşabilir. Bu koşullar altında pompa kısmi az basar veya hiç basamaz.



Şekil 1.14. Pistonlu pompa

Bazı korozif özelliğe sahip akışkanların pistonlu pompalar ile transferlerinde, metal pistonun bir esnek diyaframla akışkandan izole edildiği diyaframlı pompalar kullanılır. Bu pompalarda diyafram ile piston arasındaki dolaylı hareket aradaki hidrolik sıvı ile sağlanır. Piston geri giderken hidrolik sıvıdaki (hidrolik yağ) basınç düşümü nedeniyle diyafram geriye doğru esner. Bu sırada emişten hazneye akışkan alınır. Piston ileriye doğru gidince de diyafram basınçlanarak hazneye alınan akışkanı çıkış valfinden dışarı atar. Diyaframlı pompalarda hidrolik sıvı içerisindeki havanın yeterince atılamaması pompa da az basmaya veya basmamaya neden olabilir. Yağ ile basınçlandırılan diyaframdan farklı olarak, havalı diyaframlı pompalar da mevcuttur. Bu pompalarda ilk döngüde hava basıncı ile diyafram şişirilerek diyafram arkasındaki sıvı transfer edilir. İkinci döngüde de hava vent edilerek diyafram geri gelir ve sıvı hazne içine emilir.



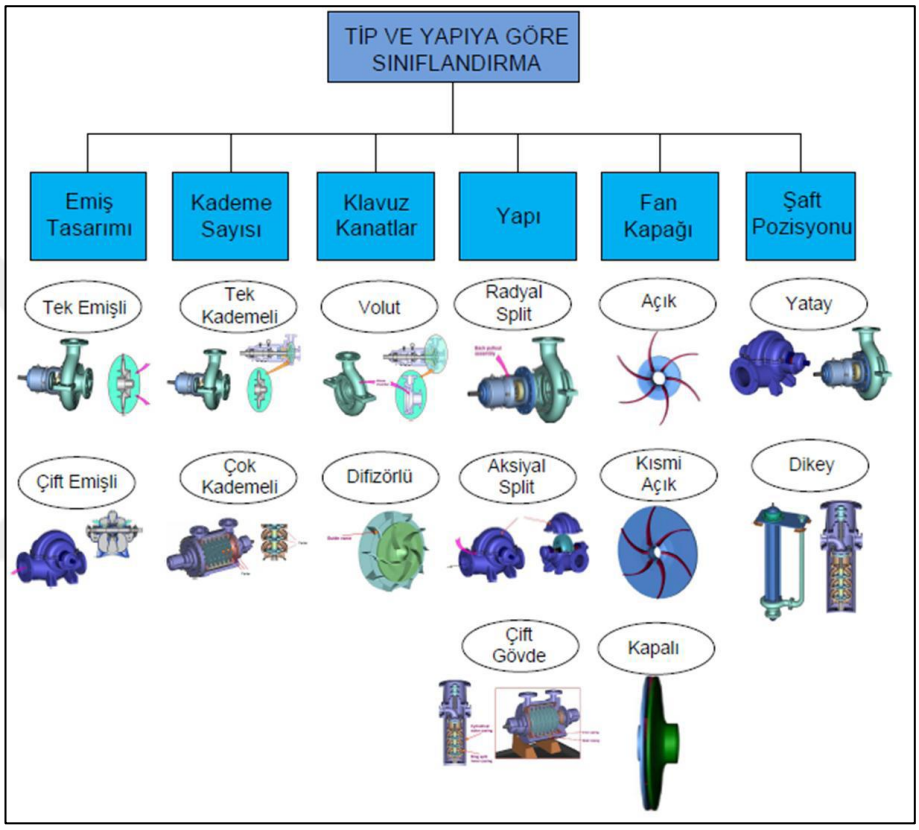
Şekil 1.15. Dönel pistonlu pompa

Bir diğer pistonlu pompa tipi dönel pistonlu pompalardır. Bu pompalarda pompa mili eğik durumda olan bir döner diski tahrik eder. Döner diske pistonlar pabuçlar ile bağlanmıştır. Döner eğik disk dönerken pistonlar ve pistonların içinde hareket ettiği silindir gövdesi de döner. Döner eğik diskin dönüşü, pistonların silindir bloğu içerisinde ileri geri hareket etmesine neden olur. Böylece pistonların dönüş yönüne bağlı olarak, bir kısmının emiş, diğer kısmının da basma işlemi yapmasını sağlar. Döner disk, dik durumda iken pompa sisteme basınçlı mahsul basamaz [13].

1.3.1.3. Santrifüj pompalar

Santrifüj pompalar uygulamalarda esneklik göstermeleri, nispeten düşük maliyetleri, bakım-onarımlarının kolaylığı ve basit tasarımları nedenlerinden ötürü kullanımı en fazla olan pompa tipidir. Rafinerilerde de en çok bulunan pompalar santrifüj pompalardır. Tüpraş rafinerilerinde, tüm pompalar arasında santrifüj pompaların oranı yaklaşık olarak %95'dir. En basit yapıdaki santrifüj pompa, salyangoz bir gövde ve içinde dönen fandan (çark, impeller) ve salmastra grubundan ibarettir. Santrifüj pompalar yapı ve tipleri bakımından çeşitlere ayrılırlar. Bu çeşitler Şekil 1.16'da gösterilmiştir. İlk sınıflandırma fanın emiş tasarımına göredir. Genellikle fanlar tek taraftan emiş yaparlar. Ancak çift taraftan emiş yapan fanlı pompalar da mevcuttur. İkinci sınıflandırma kademe sayısına bağlı olarak yapılmıştır. Rotor

üzerindeki her bir fan sayısı bir kademe demektir. Kademe sayısı fazla olan pompalar yüksek çıkış basıncı gerektiren sistemlerde (örneğin ana şarj ve kazan besleme pompaları) kullanılırlar. Kademe sayısı istenen çıkış basıncının yüksekliğine bağlı olarak değişir. Diğer bir sınıflandırma da pompa gövdesi ile alakalıdır. Rafinerilerde genellikle pompa gövdesi tek salyangozludur (volüt tip gövde) birden çok fan kademesinin içerildiği pompalarda kademeler arası basıncın yükseltilmesi ve fanlar arasındaki akışkan transferi için difüzörlü gövde kullanılır.

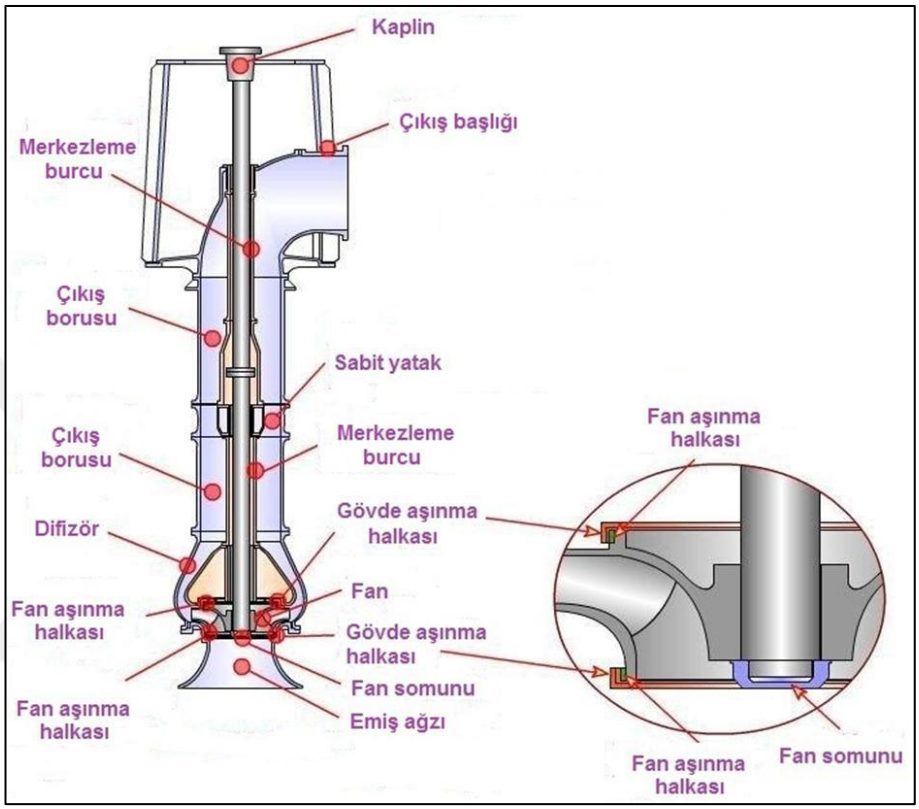


Şekil 1.16. Santrifüj pompa sınıflandırma şeması

Şekil 1.16'da bir santrifüj pompanın temel alt parçaları gösterilmiştir. Pompaların ana elemanları aşağıdaki şekilde listelenir:

- Gövde
- Fan
- Aşınma halkaları (wear ring)
- Sızdırmazlık elemanları (salmastra veya mekanik seal)
- Soğutma ceketi
- Yataklar
- Kaplin

Dik santrifüj pompalar; Genel santrifüj pompa yapıları yataydır. Ancak havuz ve kuyuların boşaltımında dik pompalar kullanılır. Adı üzerinde bu pompalarda konumları itibarı ile şaft ekseni dikeydir. Şekil 1.17'de genel bir dik pompanın resmi gösterilmiştir. Bu şekilde gösterilen dik pompada iki farklı şaft ara bir kaplin ile bağlanmıştır.



Şekil 1.17. Dik pompa alt parçaları

Dik pompaların en önemli sorunu farklı şaftların aynı eksene getirilmesidir. Uzun bir boru içerisinde yatakları tek merkezde işlemek ve pompa şaftlarını aynı eksende toplamak neredeyse imkânsızdır. Bu eksendeki olası kaçıklıklar sonucu şaft üzerinde oluşan gerilmeler yataklara aşırı yük bindirerek pompada aşırı vibrasyona ve de yatakların aşınmasına neden olur. Bu sorunları nedeniyle dik pompalar dalgıç pompalar ile değiştirilmektedir [13].

1.3.1.4. Pompaların sistem içerisinde çalışma koşulları

Pompalar her zaman bir sistem içerisinde çalışır. Bir pompanın çalışma noktası pompa karakteristik eğrisi ile sistem karakteristik eğrisinin kesiştiği noktadır. Pompaların sağlıklı ve verimli çalışması için sistem karakteristiğinin pompa karakteristiğine uygun şekilde tasarlanması çok önemlidir [13].

1.3.1.5. Sistem karakteristiği

Bir sistem karakteristiği, pompanın emiş ve çıkış tanklarındaki sıvı seviyesi yükseklik farkı (hg), tanklar üzerindeki basınç farklarının yükseklik cinsinden değerine ve hatlardaki sürtünmelerden dolayı oluşan toplam kayıplara bağlıdır.

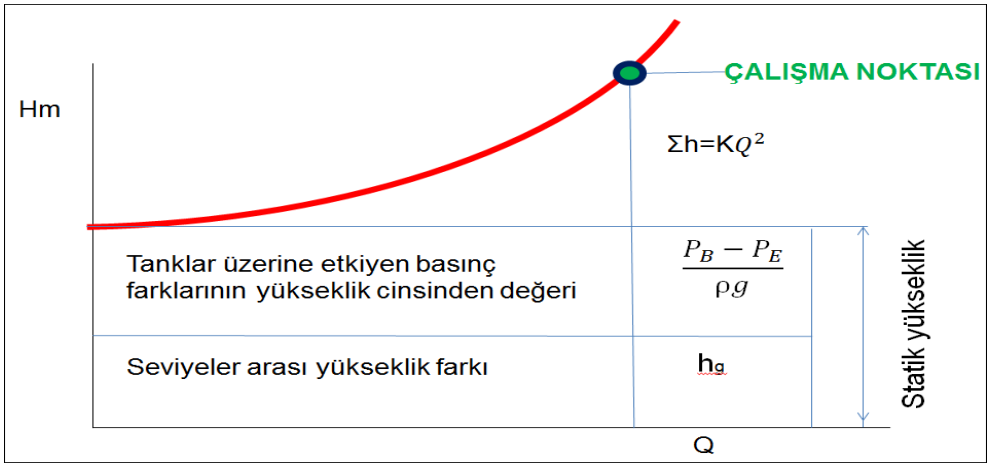
Sistem karakteristiği eğrisinin formülü (H_m), Bernoulli'nin mano metrik basma yüksekliği formülü ile aynıdır. Bernoulli denkleminin daha basitleştirilmiş hali ile gösterilen sistem karakteristiği formülü aşağıda verilmiştir;

$$H_m = H_g + \frac{P_B - P_E}{\rho \cdot g} + \sum h \qquad (1.1)$$

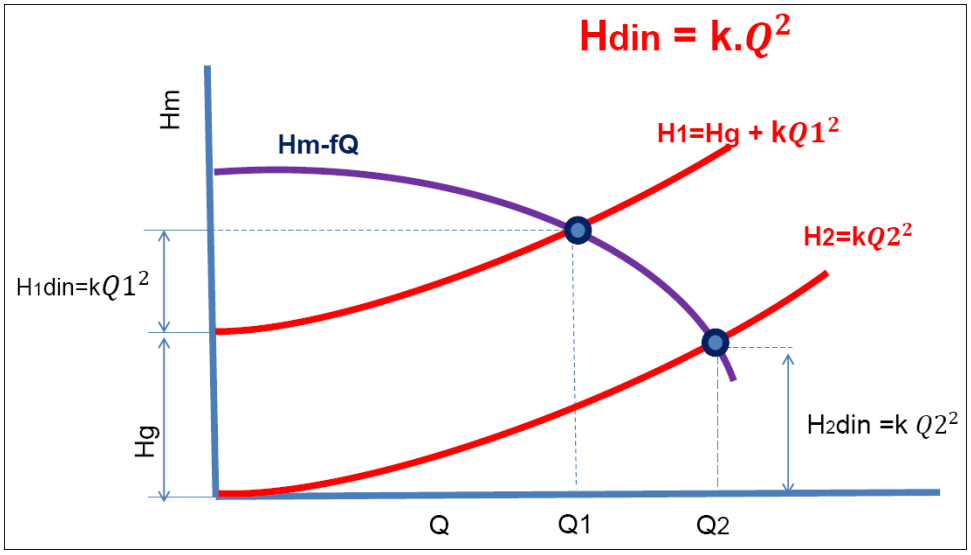
Bu formülde:

- H_g tanklar arası serbest sıvı seviyeleri farkı,
- P_b pompa çıkışındaki tankın sıvı yüzeyi basıncı,
- P_e pompa emişindeki tankın sıvı yüzeyi basıncı,
- Σh ise emiş ve çıkış hatlarındaki kayıpların toplamıdır.

Bir pompa sisteminde sistem hatlarının tasarımı sırasında oluşacak sistem karakteristiği ile pompa karakteristiğinin kesişme noktasının mümkün olduğunca pompanın en verimli çalışma noktasından (best efficiency point) geçmesi sağlanmalıdır. Pompa hatları tasarımı sırasında kavitasyona engel olmak için pompa emişindeki akışkan hızının 2 m/s değerini geçmemesine dikkat edilmelidir. Ayrıca hatlarda hız yükseldikçe kayıpların artacağı dikkate alınmalıdır. Hız düşürmek için hat çapı büyütülebilir ancak bu da maliyet dezavantajı demektir. Hatlardaki akışkanın hızı dışarıya verilen ses ile de direkt ilişkilidir [13].



Şekil 1.18. Sistem karakteristiği [13]



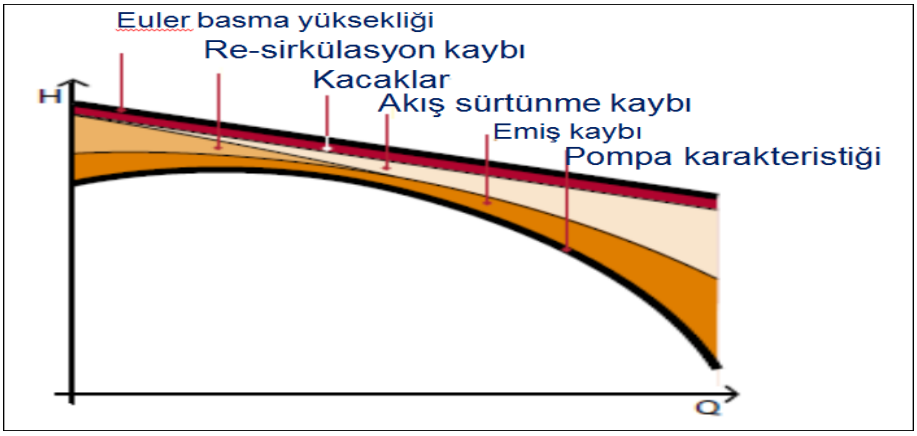
Şekil 1.19. Pompa karakteristiği ile farklı iki sistem karakteristiğinin kesişme noktaları [13]

1.3.1.6. Pompa karakteristiği

Bir pompanın kayıpsız durumda çıkış basma yüksekliği formülü daha önceden hız üçgenleri konusunda da belirtildiği üzere aşağıdaki formül ile hesaplanır. Bu formüle euler formülü denir. Bu formülde çıkış (ç) ile emiş (e) arasındaki fark hesap edilmektedir. Hatırlatmak gerekirse, “u” değeri pompa devrine, cu değeri de debiye bağlıdır.

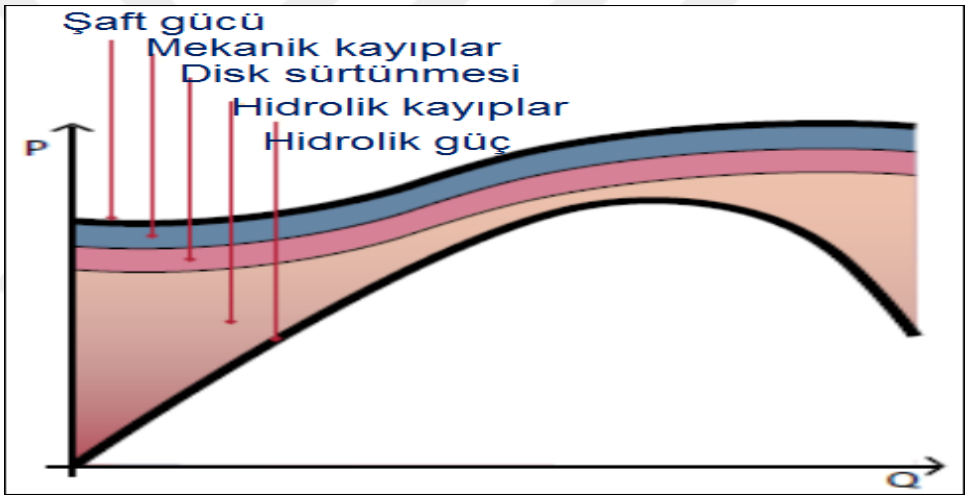
$$H_{Euler}=U_{Ç}Cu_{Ç}-U_{e}Cu_{e1} \quad (1.2)$$

Euler basma yüksekliği formülüne göre normalde pompa basıncı debiye göre doğrusal bir değişim göstermelidir. Ancak pompa içerisinde oluşan kayıplar nedeniyle doğrusal bir değişim gösteren basınç ve debi arasındaki bu ilişki bir eğriye dönüşür (Şekil 1.20). Ayrıca şaft üzerine iletilmesi gereken güç de, pompanın ihtiyaç duyduğu hidrolik güce ilave olarak yine mekanik ve hidrolik kayıplar nedeniyle şekil ’de gösterildiği şekilde artar.

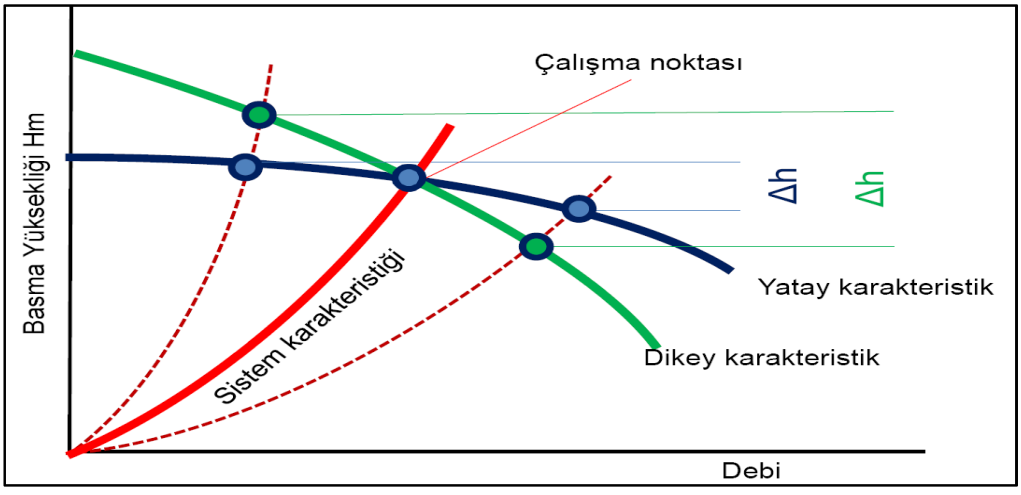


Şekil 1.20. Pompa karakteristik grafiği [13]

Euler formülü ile elde edilen doğrusal basma yüksekliği-debi ilişkisinin kayıplar ile eğriye doğru dönüşümü [13].



Şekil 1.21. Pompanın ihtiyaç duyduğu şaft gücünde kayıplar nedeniyle artış [13]



Şekil 1.22. Yatay ve dikey karakteristik eğrileri [13]

1.3.1.7. Debi

Pompalar akışı sağlarken, pompa içinden birim zamanda geçen akışkan miktarı debi olarak tarif edilir. Debi üç değişik tipte adlandırılabilir:

- Hacim olarak ifade ediliyorsa hacimsel debi (m^3/saat),
- Kütle ile ifade ediliyorsa kütlesel debi (kp/saat)
- Ağırlıkça ifade ediliyorsa ağırlık debisi (kg/saat)

1.3.1.8. Basma yüksekliği

Pompanın bastığı birim ağırlıktaki sıvıya kazandırdığı toplam enerjiye “manometrik basma yüksekliği” denir. Bu yükseklik değeri, akışkan dinamiğinin temel bir formülü olan bernoulli ile aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$H_m = \left(\frac{P_b}{\rho g} + z_b + \frac{V_b^2}{2g}\right) - \left(\frac{P_e}{\rho g} + z_e + \frac{V_e^2}{2g}\right) \quad (1.3)$$

Bu formülde:

- H_m manometrik basma yüksekliğini,
- P akışkan basıncını,
- Z yükseltiyi,
- V akışkanın hızını,
- P akışkanın yoğunluğunu,
- G yerçekimi ivmesini simgelemektedir.

Alt indislerde ise “b” ile ifade edilen terimler pompa çıkışı (basma) kısmını, “e” ile ifade edilenler terimler ise pompa emişini belirtmektedir.

Yukarıdaki formülle hesaplanan manometrik basma yüksekliği, metre cinsinden birim kütle başına akışkana verilen enerjiyi ifade etmektedir [13].

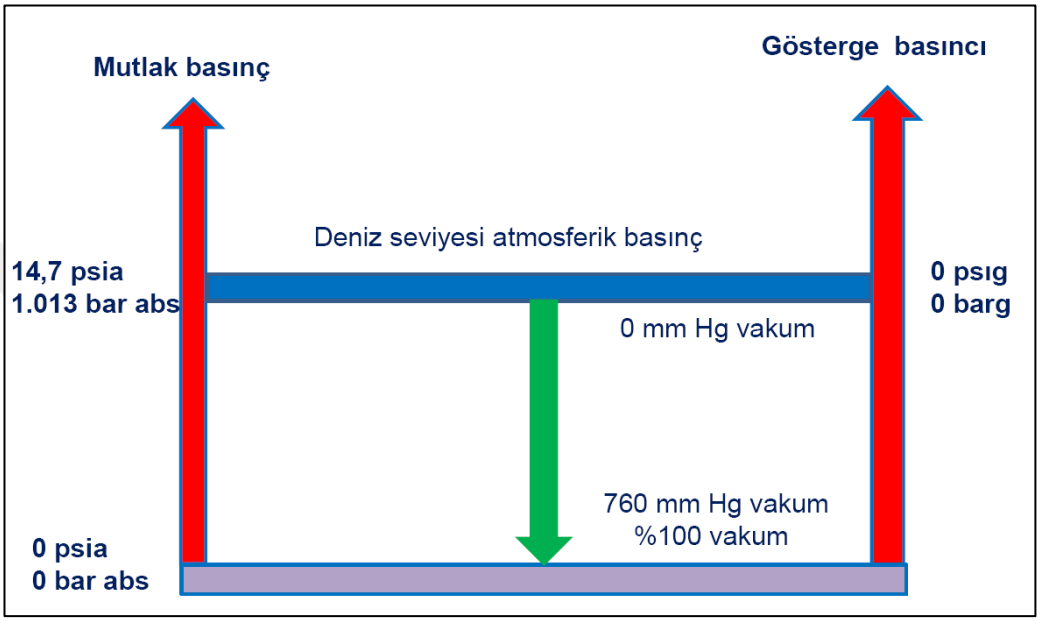
1.3.1.9. Basınç

Manometre basma yüksekliğinin aksine pompa çıkış basıncı akışkan yoğunluğu ile direkt ilişkilidir. Akışkan yoğunluğu arttıkça, pompa çıkış basıncı artar. Pompa basıncı formülü aşağıda gösterildiği gibi yoğunluk, yerçekimi ivmesi ve manometre basma yüksekliğinin çarpımıdır [13].

$$P = \rho * g * H_m \quad (1.4)$$

Birim yüzeye etki eden kuvvete basınç denir ve bir yüzeye etkiyen basınç her yöne eşit olarak etki eder. Basınç, değer olarak dört temel tipte ifade edilir. Bu değerler:

- Atmosferik basınç,
- Gösterge basıncı (gage basıncı),
- Vakum
- Mutlak basınç



Şekil 1.23. Basınç gösterge şeması

1.3.1.10. Güç tanımları

Pompa, içindeki çeşitli enerji kayıplarına bakılmaksızın, belirli bir kottan emilen akışkanı farklı bir kota transfer ederken akışkanın pompadan aldığı güce "teorik güç" denir. Teorik gücün simgesi N_o'dır. Teorik güç aşağıdaki formül ile hesap edilir.

$$N_o=\rho*g*Q*H_m \qquad (1.5)$$

Bu formülde,

- H_m manometrik basma yüksekliğini,
- Q debiyi,
- P akışkanın yoğunluğunun,
- G yerçekimi ivmesini simgelemektedir.

$$\eta_e=\frac{(\rho*g*Q*H_m)}{102*\eta_e} \quad \text{(kw cinsinden)} \qquad (1.6)$$

$$\eta_e = \frac{(\rho * g * Q * H_m)}{75 * \eta_e} \quad \text{(beygir gücü cinsinden)} \qquad (1.7)$$

- (η_e) Pompaj sisteminin toplam verimi içerisinde aşağıda listelenen alt verim faktörlerini barındırır:
- (η_p), pompa içerisindeki sürtünme kayıplarından dolayı oluşan pompa verimi
- (η_m), kaplin ayarsızlığı ve yataklardaki sürtünme vb. Aktarma elemanlarındaki ısınma kayıpları nedeniyle oluşan mekanik verim
- (η_s), Sürücü verimi, motor veya türbin verimi

Toplam verim yukarıdaki tüm alt verim faktörlerinin içerildiği aşağıdaki bağlantı ile hesaplanır.

$$\eta_e = \eta_p * \eta_m * \eta_s \qquad (1.8)$$

1.3.1.11. Özgül hız

Bir pompanın hidrolik performansı fanın şekli ve büyüklüğüne bağlı olarak değişir ve fan tasarımını ise özgül hız değeri belirler. Özgül hız formülü aşağıda gösterilmiştir.

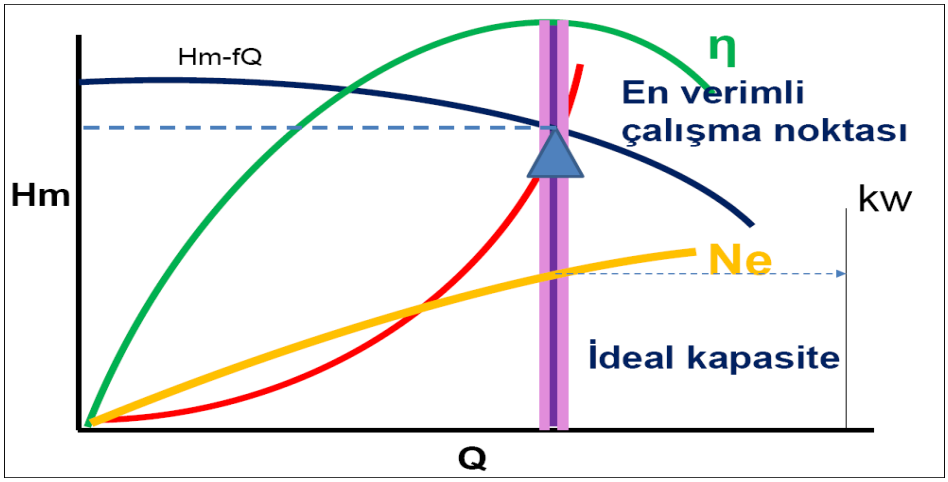
$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[3]{H^4}} \qquad (1.9)$$

Bu formülde:

- N_q - özgül hızı (devir/dakika),
- N - pompa devrini (devir/dakika),
- Q - debiyi (m^3/saat)
- H_m manometrik basma yüksekliğini.

1.3.1.12. Pompaların çalışma noktası

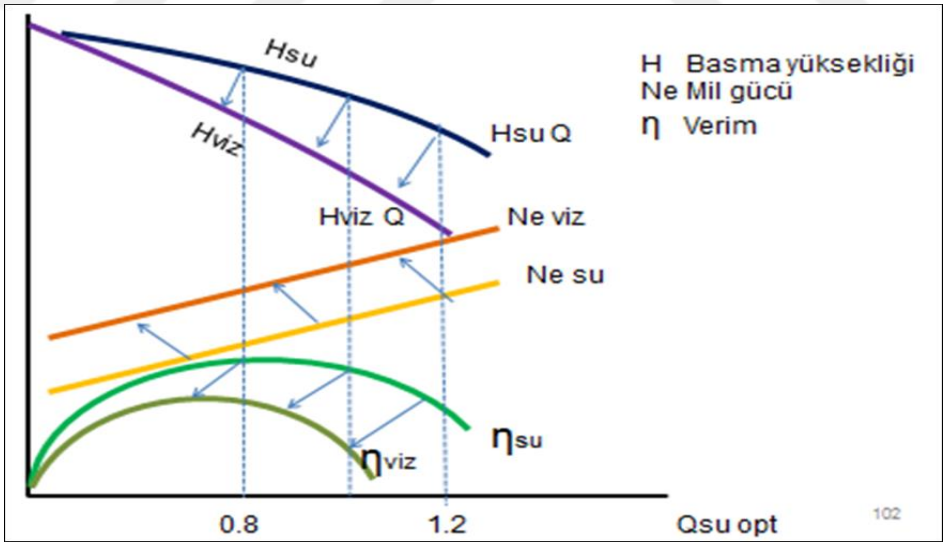
Sistem karakteristiği ile pompa karakteristiği eğrilerinin kesişme noktası pompaların çalışma noktasıdır. Bir pompa, tasarım aşamasında müşteri tarafında talep edilen debi ve basınç değerlerinde maksimum verimliliğe sahip olacak şekilde üretici tarafından tasarlanır [6].



Şekil 1.24. Pompaların en verimli çalışma noktası [13]

1.3.1.13. Pompa karakteristiğinde viskozite etkisi

Viskozite, akışkanın akışa olan direncini gösteren bir ölçüdür ve pompalarda akışkan viskozitesi yükseldikçe pompanın "basma yüksekliği / debi" oranı düşer. Pompanın ihtiyaç duyduğu güçte artış oluşur. Pompalar tasarım aşamasında akışkan su kabul edilerek tasarlanır ve pompaların orijinal karakteristik eğrileri de pompa su basarken elde edilen değerlere göre oluşturulur [13].



Şekil 1.25. 20 cst'dan yüksek viskozite çıkılması durumunda pompa karakteristik eğrisinde değişim [13]

1.3.1.14. Pompa ve sistem karakteristiği üzerinde değişimler

Pompa karakteristik eğrisini etkileyen faktörler pompa devri, fan çapı ve çalışma sıcaklığındaki akışkan viskozitesidir. Karakteristik eğrileri birbirine paralel olan pompalara benzer pompalar denir. Benzer pompaların karşılıklı olarak tüm

geometrik boyutları arasındaki oranları sabittir ve özgül hız değerleri aynıdır. Bir pompanın fanının tornalaması veya devrinin değiştirilmesi ile oluşan yeni pompa, değişimler önceki pompaya benzerdir. Dolayısıyla fan çapının tornalaması veya devrinin değiştirilmesi ile oluşan karakteristikler birbirlerine paraleldir. Pompa karakteristik eğrilerinde devir sayısı veya fan çapı değişimlerinin çıkış basma yüksekliği, debi ve pompa gücü üzerindeki etkisi "benzeşim teorisi" kuralları kullanılarak hesaplanır. Bu kurallar formül olarak aşağıda gösterilmiştir. Bu formüllerde:

- H_{m-} Çıkış basıncını,
- Q Debiyi,
- N_e Pompa gücünü,
- D Fan çapını,
- N Pompa devrini simgelemektedir.

Pompanın benzerlik kuralı aşağıdaki Denklem (1.10), (1.11) ve (1.12) ile açıklanmıştır;

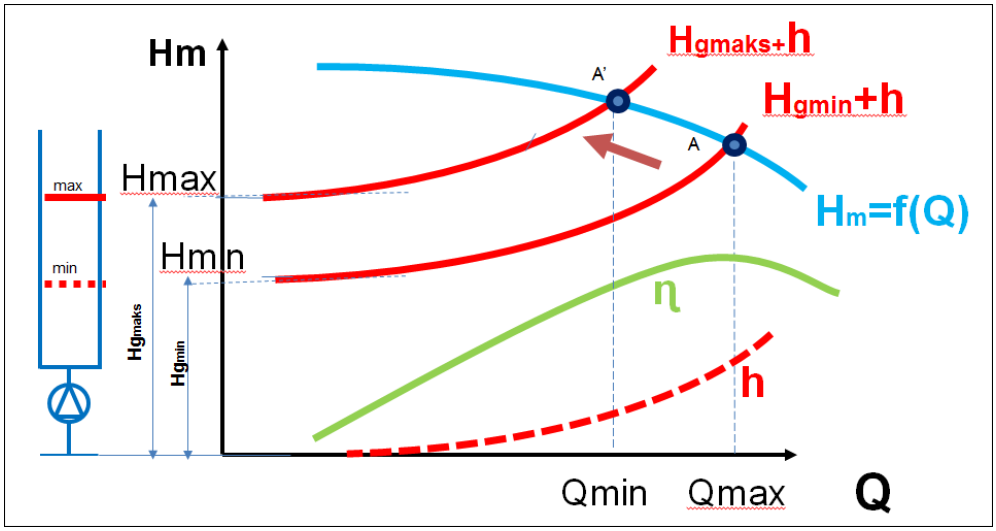
$$\frac{h_{p,1}}{h_{p,2}} = \left(\frac{n_{p,1}}{n_{p,2}}\right)^2 \left(\frac{D_{p,1}}{D_{p,2}}\right)^2 \tag{1.10}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_{p,1}}{n_{p,2}}\right) \left(\frac{D_{p,1}}{D_{p,2}}\right)^3 \tag{1.11}$$

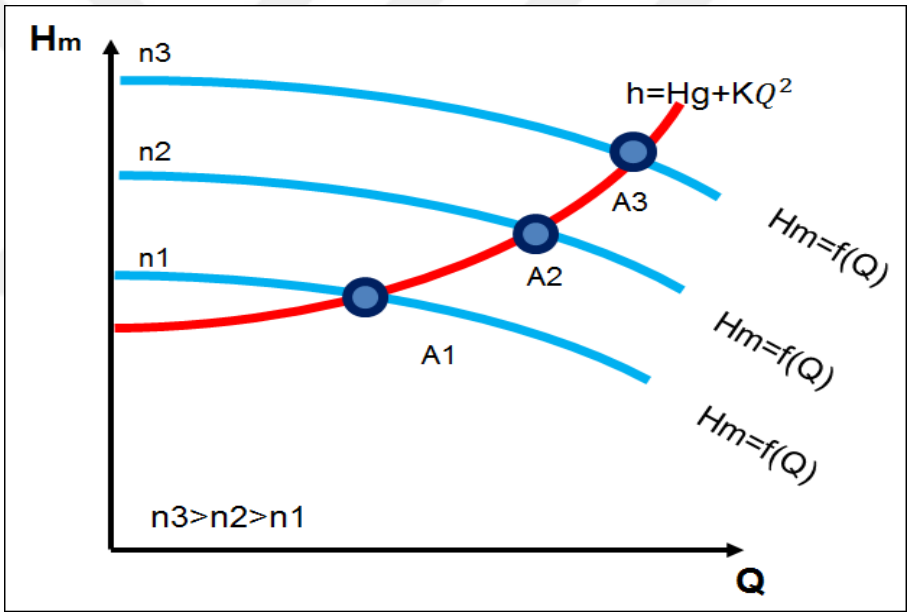
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_{p,1}}{n_{p,2}}\right)^3 \left(\frac{D_{p,1}}{D_{p,2}}\right)^5 \tag{1.12}$$

Bu kurallara göre:

- Pompa basma yüksekliği fan çapının ve devir sayısı değişimlerinin karesi oranında artar.
- Pompa debisi devir sayısı ve fan çapı ile doğru orantılıdır.
- Pompa gücü devir ve fan çapı değişiminin küpü kadar artar.



Şekil 1.26. Emiş ve çıkış seviye değişimleri ile pompa çalışma noktasındaki değişim [13]



Şekil 1.27. Devir değişimi ile pompa karakteristiğinde değişim [13]

1.3.2. Buhar türbinleri

Dünya gelişen teknoloji ile enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından faydalanarak enerji üretimi içerisindedir. Bazı enerji tesislerinde buhar türbinleri, enerji ihtiyacını karşılaması adına en önemli döner ekipmandır. Bu ekipman, yüksek basınçlı buhardaki termal enerjiyi, mekanik enerji çevirerek enerji üreten bir sistemdir [12, 14].

1.3.2.1. Buhar türbinlerinin çalışma prensibi

Tambur tipinde döner rotor mile sahip olan buhar türbinleri, silindir şeklindeki muhafaza içerisinde yer almaktadır. Bu silindire, kazandan gelen buhar, geçer ve buhar jeti haline dönüştürür. Bu dönüşüm ile rotor üzerindeki bilezikte yer alan kanatlara (stator) çarparak, ortaya çıkan mekanik enerji ile elektrik enerji üretilmesi sağlanmaktadır [12, 14].

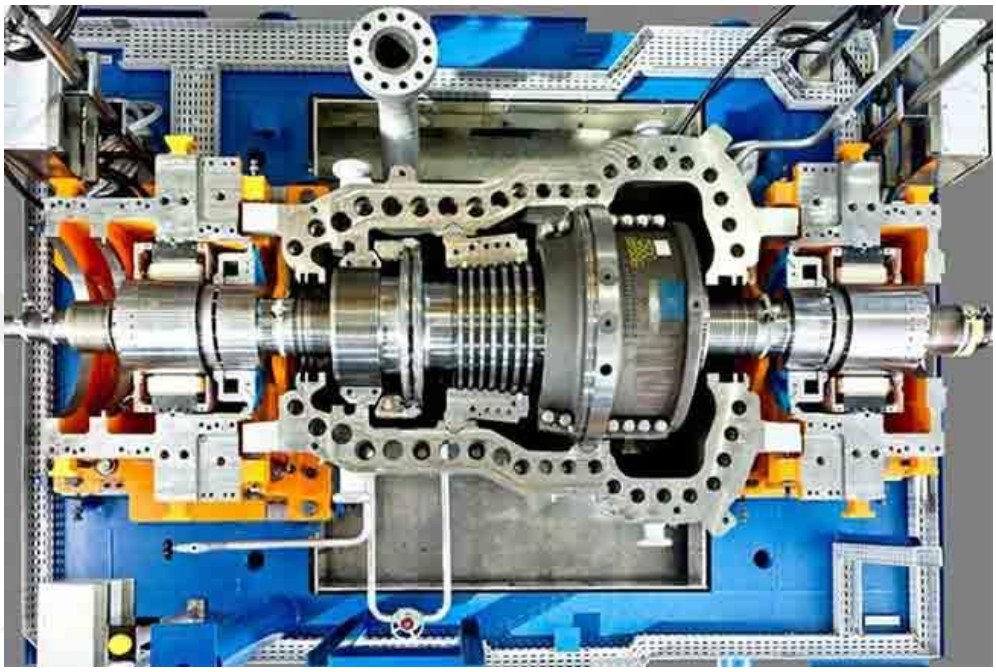


Şekil 1.28. Buhar türbini

Yüksek verimler ele edebilme için meydana çıkan buhar jet hızı, rotor kanatlarındaki dönme hızının iki katı olmalıdır. Buhar kazanından iletilmekte olan buharın atmosfer basıncı, yaklaşık değer 14 bar kadardır. Bu basınç, buhar türbinindeki silindirden 600 m/s olarak püskürme hızı ortaya çıkarmaktadır. Buhar türbin rotorlarında genellikle birden fazla bilezik takılmaktadır. Bu durum, buhar türbinine iletilen basıcın artması durumunda, ortaya çıkan enerjinin kayba uğramaması için diğer kanatlarında dönmesi sağlanır. Kanatların yüksek basınç altında bu hareketi yapmaları, zor olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, buhar basıncı ilk kanat bileziğinden geçerek, silindir üzerinde bulunan diğer başka bir bilezik kanat dizisinden geçmektedir. Bu eylemi kısaca özetleyecek olursak, yüksek basınçta iletilen buhar jetini rotor üzerinde bulunan bileziklere kademeli olarak iletip, basınç oranı düşürülmektedir. Buhar türbinin rotoru içerisinde buhar hacmi artmaktadır [12, 14].

1.3.2.2. Buhar türbinlerinin kullanıldığı alanlar

Özellikle elektrik enerji üretmek için kurulan enerji tesislerinin işledikleri hammadde türüne göre buhar türbinlerini kullanmaktadırlar. Ayrıca eski tarihlerden beri ulaşımda çok sık kullanılan buharlı gemiler pervane hareketini, buhar türbinlerinden sağlanmaktadır [12, 14].



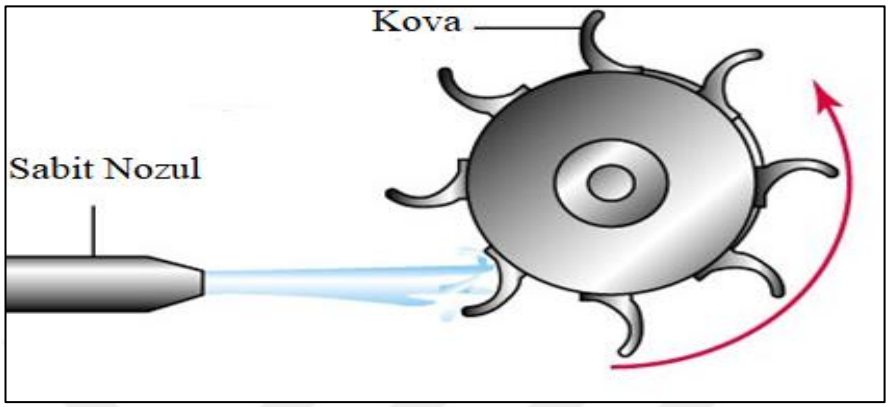
Şekil 1.29. Buhar türbini üst kesit

1.3.2.3. Buhar türbinlerinin çeşitleri

Yapısal olarak farklı türbinler vardır. Buhar türbinleri yapıları itibari ile aksiyon (impuls) türbinleri ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki ayrı yapıda sınıflandırılır. Reaksiyon türbinleri ile aksiyon türbinleri hemen hemen aynı işi yaparlar ancak reaksiyon türbinleri bazı yapısal farklılıklardan dolayı verimleri daha yüksektir. Her buhar türbini, ister aksiyon türbini, isterse reaksiyon türbini olsun en az bir veya daha fazla kademeden oluşabilmektedir. Bir kademe, bir sabit kanat ile bir döner kanadı temsil eder. Adlarından da anlaşılabileceği gibi sabit kanatlar gövdeye, döner kanatlar ise rotora bağlıdır. Her kademe, tasarım esnasında belirlenen ısı düşümü mekanik enerjiye çevireceğini düşünülerek tasarlanmıştır. Rotordaki kanat sıra sayısı türbinin kademe sayısını belirtir [12,13,14].

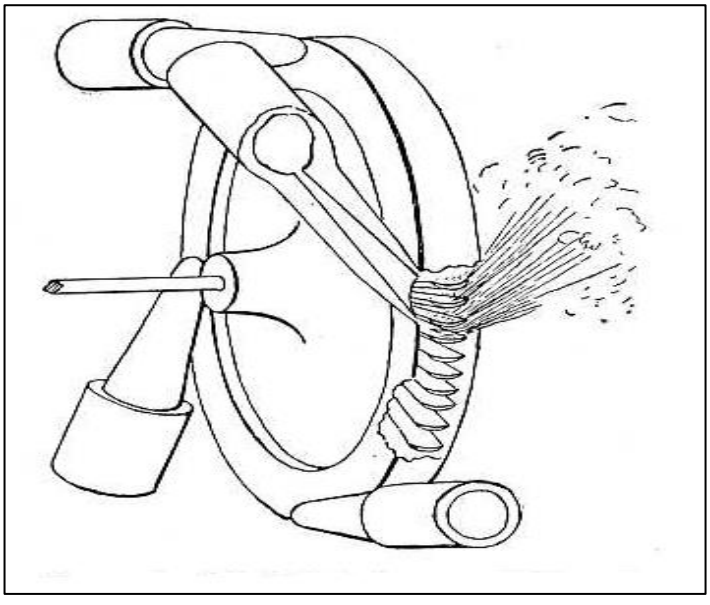
Aksiyon (impuls) türbinleri; Kademe veya kademelerden oluşurlar ve her bir kademe bir döner ve bir sabit kanattan ibarettir. Türbin içerisine giren buhar ilk kademeye

ulaştığında önce birinci kademe sabit kanattan (nozul) geçerek, buharın kinetik enerjisi arttırılır. Kinetik enerjisi artan buhar döner kanada girerek mekanik iş elde edilir. Daha sonra buhar diğer kademelerde de taşıdığı enerji mekanik işe dönüştürüldükten sonra türbin çıkışına gelir [13].



Şekil 1.30. Aksiyon (impuls) türbini

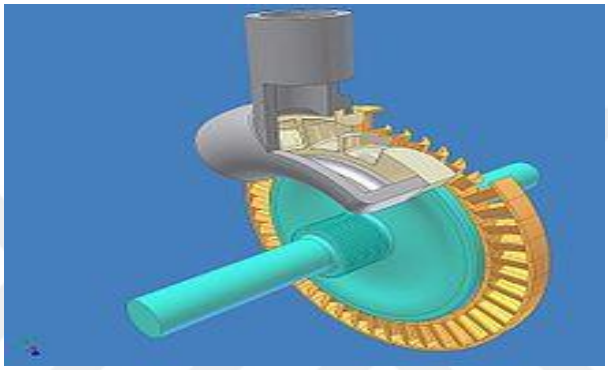
De-laval türbini; De-laval türbinleri, türbin girişinde buharın hızını arttıran ve 1. kademe döner kanada yönlendiren nozullar ile 1kademe döner kanattan oluşurlar döner kanattan çıkan buhar türbin çıkışına gelir. De-laval türbinlerinde basınç düşümü sadece nozullarda işlenmektedir. Bu yüzden de-laval türbinleri aynı zamanda tek kademeli bir curtis türbinidir. Yüksek güçler elde etmek için buhar yükünün arttırılması gereklidir. Ancak basıncın sadece tek kademede işlenmesi sonucu çok yüksek hızlara ulaşılması gerektiğinden rateau (aksiyon) veya reaksiyon türbinleri ile entegre halinde tasarlanmıştır [13].



Şekil 1.31. De-laval türbini

Curtis türbini: Curtis türbinleri de bir çeşit aksiyon türbinidir. 2,3,4 kademeli olabilirler ancak ikinci kademeden sonra verimlerinin çok düşmesi sebebiyle genellikle 2 kademeli olarak tasarlanırlar. Proses sahalarında pompa çeviricisi olarak kullanılan türbinler iki kademeli Curtis tekerleğinden oluşurlar.

Bu türbinlerde basınç düşümü sadece nozulda gerçekleşir döner kanatlarda ve varsa diğer kademelerin sabit kanatlarında basınç düşümü olmaz. Diğer kademelerdeki sabit kanatların görevi sadece buharın döner kanada yönlendirilmesinin sağlanmasıdır [13].



Şekil 1.32. Curtis türbini

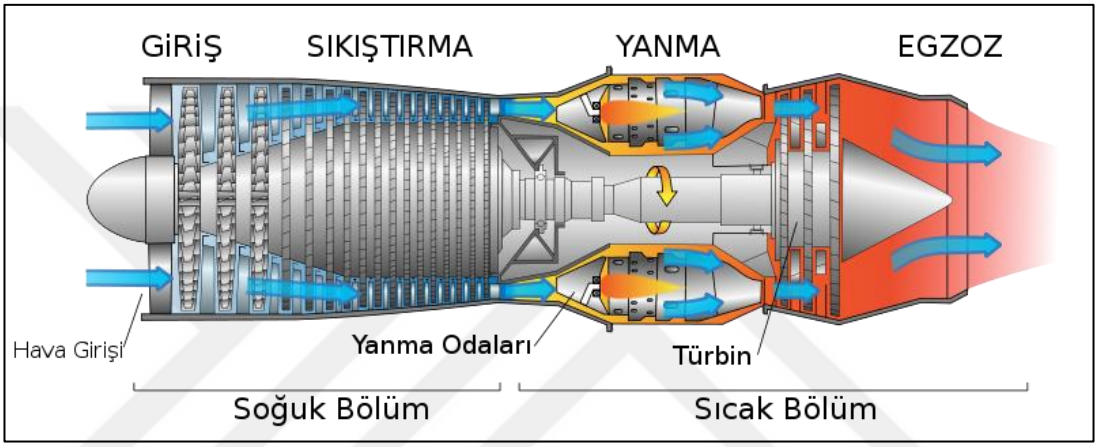
Reaksiyon türbinleri; Reaksiyon türbinlerinde de kademeler arası basınç farkı oluşur ancak aksiyon türbinlerinden farklı olarak hem sabit kanatta hem de döner kanatta basınç farkı vardır. Yani buharın taşıdığı ısı her iki kanatta da işlenir. Reaksiyon türbinlerinin aksiyon türbinlerinden ayıran en önemli özellik budur. Hem sabit kanatların rotor üzerindeki karşılığında hem de döner kanatların gövde üzerindeki karşılığında kaçakları önleyici sızdırmazlık sistemi bulunmaktadır. Isı düşümü sabit ve döner kanatlarda işlenme oranına reaksiyon oranı denilmektedir ve bu oran 0,5 olarak tasarlanır [13].



Şekil 1.33. Reaksiyon türbini

1.3.3. Gaz türbini

Petrol türevi ürünlerinden elde ettiği ısı enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek elektrik enerjisi üretmektedir. Gaz türbini dışarıdan alınan havayı bir kompresörün belirli bir basınca sıkıştırmasından sonra sıkışan havanın içerisine enjekte edilen yakıtın yanmasından sonra oluşan kızgın gazın içindeki enerjiyi türbinde kullanarak net iş üretmek üzere tasarım edilmişlerdir. Gaz türbini temel olarak kompresör ve türbin tarafı olmak üzere iki kısımdan oluşur. Soğuk bölüm hava kompresörü, sıcak bölüm de yanma odası ve türbin kısmından oluşur [15].



Şekil 1.34. Gaz türbini ayrıntılı kesiti

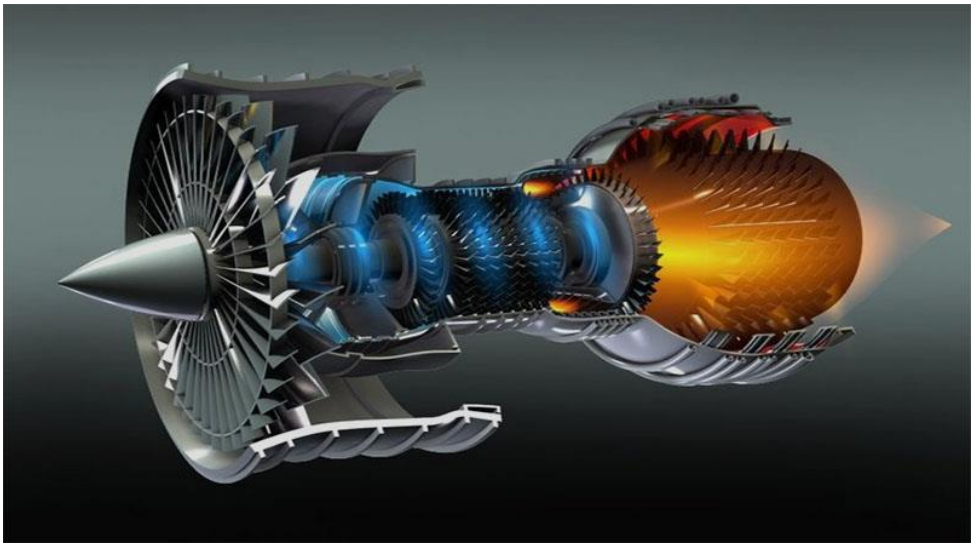
1.3.3.1. Gaz türbinlerinin avantaj ve dezavantajları

Gaz türbinleri diğer içten yanmalı motor türlerine kıyasla Güç/Ağırlık oranı en yüksek olan makinelerdir. Bu nedenle, hafifliğin önemli olduğu havacılık araçlarında en çok gaz türbinleri/jet motorları kullanılır. Gaz türbinin verimi buhar türbini veriminden biraz daha fazladır. Gaz türbinlerinde sıkıştırılarak sıcaklığı artırılmış havanın üzerine yakıt gazı enjekte edip yakılır. Buhar çevrimlerinde ise soğuk akışkandan buhara geçiş vardır, bu ısıtma etkisi verimi etkiler. İkinci olarak, buhar çevriminde kazanda yakıt gazı yakılır. Yanan yakıt gazı tüp demetlerinin arasından geçerek suya iletilir. Sonuç olarak su buharı elde edilir, buhar bütün tüplerin içinden geçerken pek çok yerde sürtünme kayıpları oluşur. Bunu gaz türbinine indirgersek, gaz türbininde sıcak ve basınçlandırılmış hava vardır. Bu hava, sıcak yanma gazı halinde gaz türbininin içine girer, yanma odasında yanma kanalından geçerken oluşan sürtünmeler dışında sürtünmelerden kaynaklı enerji kaybına uğramaz [15].

1.3.3.2. Gaz türbinlerinin sınıflandırılması

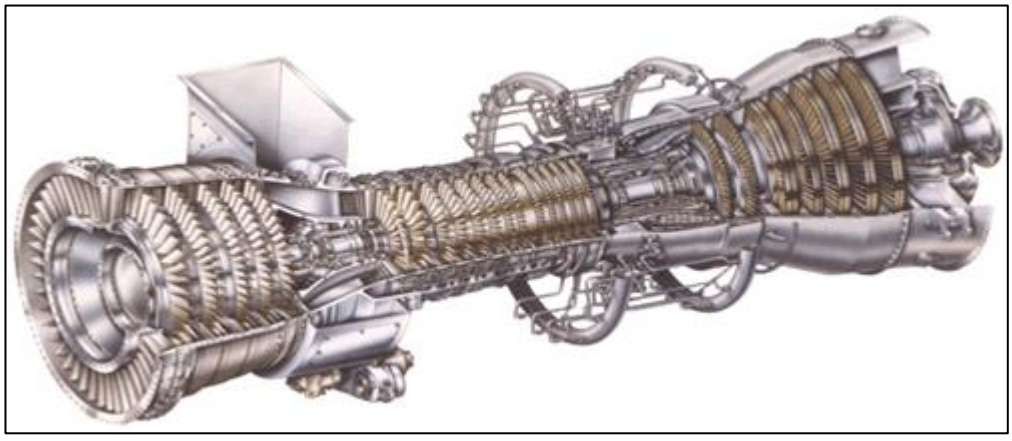
Gaz türbinleri rotorları itibarı ile endüstriyel tip ve aeroderivatif tip türbinler olmak üzere iki ayrı yapıda sınıflandırılırlar. Endüstriyel gaz türbinleri ile aerodervatif türbinlerinin temel tasarım prensipleri benzerdir. Her gaz türbini, ister endüstriyel tip, isterse aeroderivatif tip olsun en az bir kademe veya daha fazla kademeden oluşabilmektedir. Bir kademe, bir sabit kanat ile bir döner kanadı temsil eder. Adlarından da anlaşılabileceği gibi sabit kanatlar gaz türbini dış gövdesine, döner kanatlar ise iç kısımdaki rotora bağlıdır. Her kademe, tasarım esnasında belirlenen entalpi düşümünü mekanik enerjiye çevireceği düşünülerek tasarlanmıştır. Rotordaki kanat sıra sayısı türbinin kademe sayısını belirtir. Rotor üzerinde bulunan döner kanat karşılığında sabit kanat sayısı da aynı olmalıdır. Döner kanat tek başına hiçbir şey ifade etmez. Döner kanatların hemen öncesinde sabit kanat bulunur. Tek başına sabit kanatların olmasıyla da yanma gazının sahip olduğu entalpi mekanik enerjiye çevrilemez. Yüksek hızdaki kinetik enerjiden, dönme momenti oluşturan ve mekanik enerjiyi üreten döner kanattır. Yanma gazının ısısını ise hıza çeviren ve birinci kademe sabit kanat görevini de üstlenen kanada nozul denir [16].

Endüstriyel tip gaz türbini; Endüstriyel gaz türbinleri tek şaftlı türbinlerdir. Verimleri çift şaftlı gaz türbinlerine oranla daha düşüktür. Değişik yük koşullarında çalışmaya çok müsait değildirler. Temelleri atıldıktan sonra devreye alınmaları ve kurulumları kolaydır. Start up'larda düşük çıkış torkuna sahiptirler. Yapısal olarak şaft çapları, ağırlıkları çift şaftlı gaz türbinlerine kıyasla daha büyüktür. Rotorları genellikle tek parça olarak imal edilir. Rotorun yapısı sebebiyle söküm takım işlemleri için üst gövdenin sökülmesi gerekir, bu nedenle bakımları daha uzun sürer. Daha çok yük ihtiyacının sabit seyrettiği uygulamalarda tercih edilirler. Sabit hızda çalışırlar. Çift şaftlı türbinlere göre daha az mekanik aksam taşıdıkları için, güvenilirlikleri daha yüksektir. GE Frame serisi gaz türbinleri tek şaftlı endüstriyel türbinlere örnektir. Belirli bir MW değerinin üstündeki bütün gaz türbinleri endüstriyel gaz türbini olarak adlandırılır ve bu gaz türbinleri tek şaftlı olarak imal edilmişlerdir [16].



Şekil 1.35. Endüstriyel gaz türbin kesiti

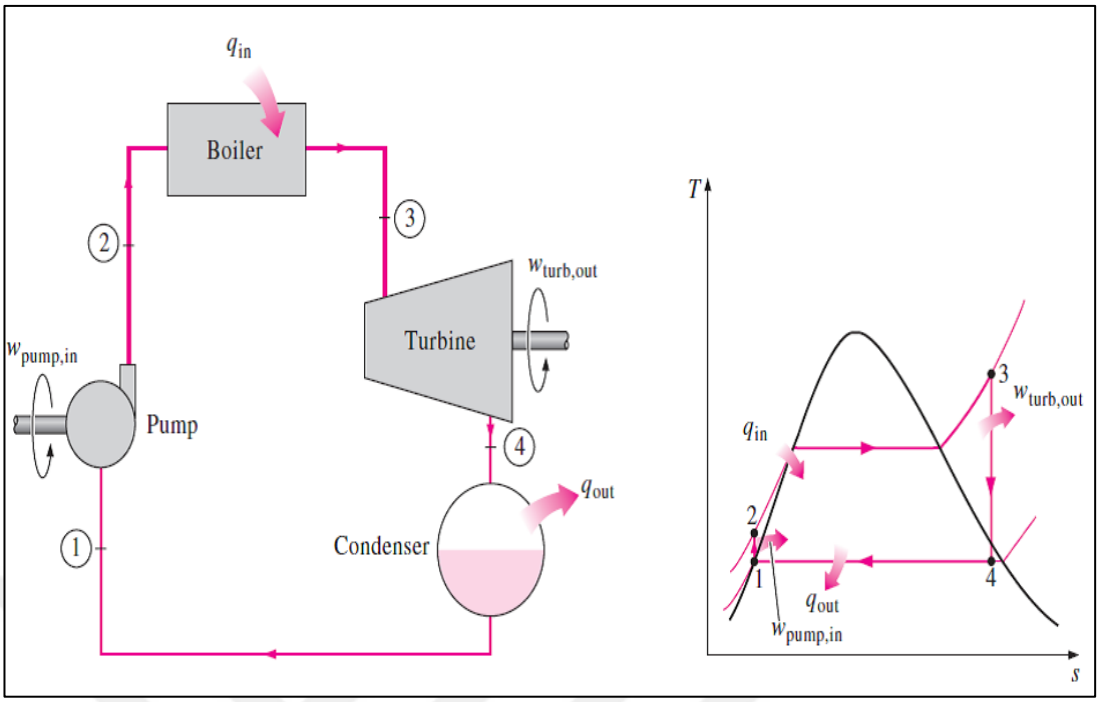
Aeroderivatif gaz türbini; Aeroderivatif gaz türbinleri, uçakların jet motorları temel alınarak geliştirilmiştir. Bu türbinlerde iki adet şaft bulunur. Uzun şaft düşük basınç kompresörü ile düşük basınç türbinini birbirine bağlarken, kısa ve kalın olan şaft yüksek basınç kompresörü ile yüksek basınç türbinini birbirine bağlar. Şaftlardan birisi bir kompresör ve kompresörü çeviren türbinden, ikincisi ise jeneratörü çeviren güç türbininden oluşur. Yanma kısmı olarak tek şaftlı gaz türbinleri ile farkları yoktur [16].



Şekil 1.36. Aeroderivatif gaz türbin kesiti

1.3.3.3. Genel proses akışı

Kombine çevrim enerji tesisleri ve doğalgaz enerji tesislerinde su ile buhar çevriminin, Rankine çevrimine benzetilmektedir.

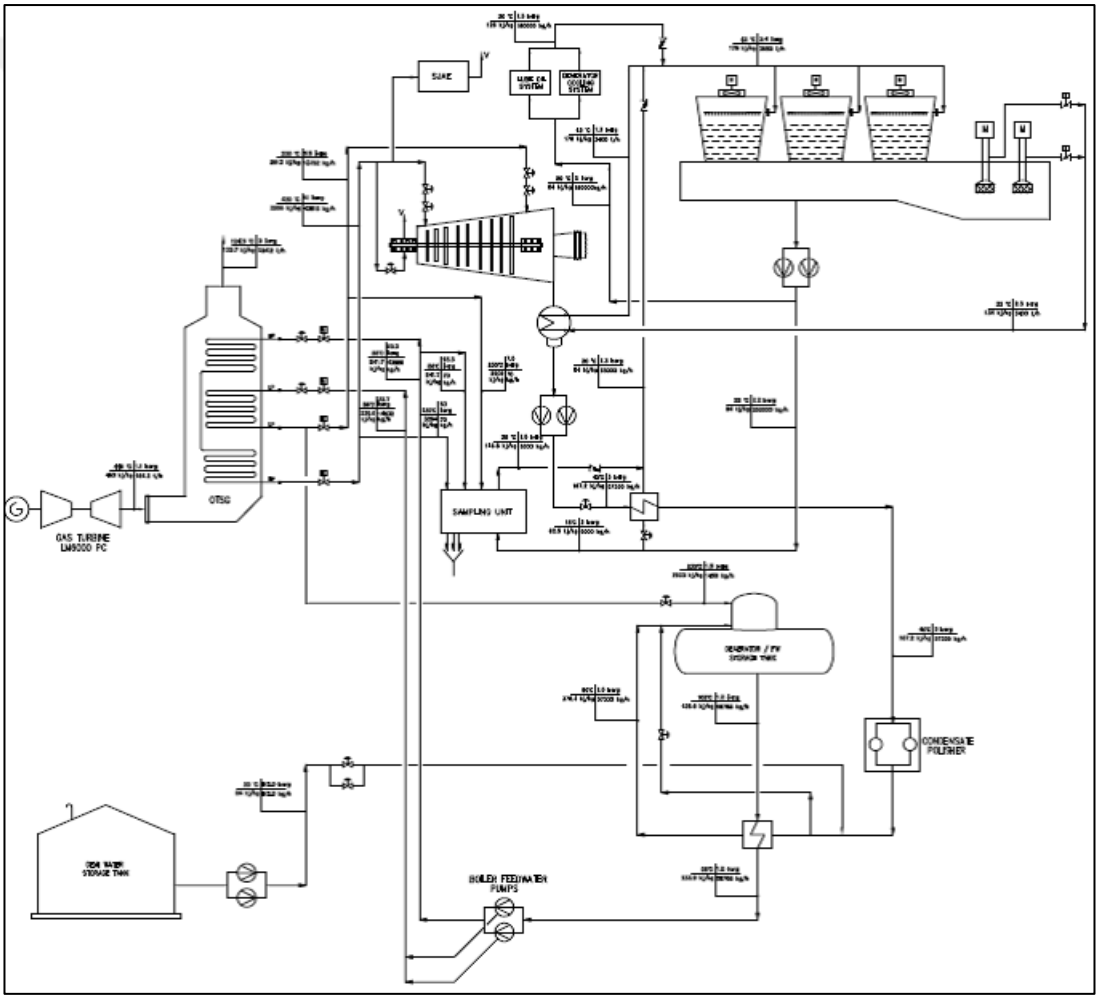


Şekil 1.37. Rankine çevrim [17]

Gaz türbinin prosese montaj edildiğinde, su ile buhar çevriminin kombine çevrim enerji tesislerinde ve doğalgaz enerji tesislerinde bu çevrimi nasıl gerçekleştiği özetlemek istersek;

Gaz türbininin izlediği proses; hava girişi, sıkıştırma, yanma, genişleme ve egzoz adımlarından oluşmaktadır. Bir gaz türbininin bir dizel veya patlamalı motora göre büyük farkı gaz türbininin çevriminin sürekli olmasıdır. Gaz türbinlerinde kesintili olarak yanmadan kaynaklı darbe oluşumu yoktur. Burada proses 2 veya 4 zamanlı motorlar gibi kesintiye uğramaz. Hava emilir, sıkıştırılır, yakılır ve genleştirilir. Yüksek basınç altında yanma ile etkileşim vardır ama vuruntu şeklinde bir darbe yoktur. Kompresör çalıştığı müddetçe hiç kesintisiz yanma vardır, yanma olduğu müddetçe de türbinde genleşme olur. Sıkıştırma, yanma, genişleme ve egzoz işlem adımları dizel motorlarda olduğu gibi piston ileri ve geri stroku sırasında değil, bütün motor gövdesi boyunca gerçekleşir. İçten yanmalı motorlarda sıkıştırma, yanma, genişleme ve egzoz adımlarında düzensiz bir tork iletimi vardır. Buna karşılık gaz türbininde, çıkıştan sabit bir tork alınması imkânı bulunur. Elde edilen işin bir kısmı kompresörü çalıştırmak için kullanılır geri kalan iş ise diğer amaçlar için kullanılmak üzere çıkış şaftına iletilir. Gaz türbinlerinde hava yakıt karışım oranını doğru belirlemeyi ve yanmanın düzenli olmasını amaçlayan oldukça gelişmiş kontrol sistemleri mevcuttur. Kontrol sisteminde gaz türbini rotoru dönüş hızı, kompresör girişi hava sıcaklığı ve basıncı, kompresör çıkışı hava sıcaklık ve basıncı, yanma

sonu gazının sıcaklığı, türbine giriş basıncı, türbin çıkışı yanma gazı sıcaklığı ve basıncı gibi çok çeşitli parametreler göz önüne alınarak gaz türbininin değişik işletme koşullarında sorunsuz şekilde çalışması sağlanır. Olumsuz durumlara karşı gaz türbini alarm ve trip mekanizmalarıyla donatılmıştır. Gaz türbinine havanın girişi, hava kanalında izlediği yol, yakıtın enjeksiyonu görülmektedir. Kesitte açık mavi ile gösterilenler kompresörün döner kanatlarını göstermektedir. Koyu mavi olanlar ise sabit kanat statorları gösterir. Bu kesitte kompresörün kaç kademeli olduğu açık mavi kanatların sayılmasıyla anlaşılabilir. Kesitte iki adet gaz türbini yatağı görülmektedir. 1 no.lu yatak hava girişinde, 2 no.lu yatak da sıcak gaz kanalı bölgesinde yer almaktadır [14,16].



Şekil 1.38. Genel proses akış şeması [17]

1.3.4. Kompresörler

Genelde endüstride sıvıları bir yerden başka bir yere transfer etmek için kullanılan aygıtlar pompalardır. Pompa sadece sıvıyı transfer eder, gazı asla edemezler. Gazı

bir yerden bir yere transfer etmek için kullanılan aygıtlara da kompresör adı verilir. Endüstride gazların taşınması ve basılması için birçok değişik tipte yapılmış kompresörler mevcuttur. Kompresör seçimine etki eden etmenler kapasite, sıkıştırma oranı, proses şartları, gazın tipi, partikül ve korozif bileşen ihtiva edip etmediği ve en önemlisi maliyetidir. Her tip kompresörün kendine özgü özel avantajları ve dezavantajları vardır. Kompresörler belirlenmiş şartlara bağlı olarak imal edilirler. Birçok tip sınıflandırmanın mümkün olmasına rağmen pratik açıdan kompresörler yapılış prensiplerine ve fonksiyonlarına göre sınıflandırılırlar. Gazı sabit bir hacim içinde sıkıştırarak mekanik enerji ile basınç seviyesini artırarak potansiyel enerjiye dönüştürürler. Ani değişim yolu ile mekanik enerji; gazda, yüksek hızlı kinetik enerjiye dönüşür. Bu kinetik enerji de ekipmanın içindeki diffüzör bölgesinde hızın düşmesi sonucu basıncın artması şeklinde potansiyel enerjiye dönüşür. Pozitif deplasmanlı kompresör ailesi Reciprocating (Piston, Plunger veya Diyafram) ve Dönel (Rotary), Paletli (Sliding vane), Sıvı halkalı (Liquid ring), loblu ve vidalı kompresörlerden oluşur. Santrifüj ve eksenel akış kompresörleri olan, dinamik kompresörler; aynı zamanda turbo kompresörler olarak da adlandırılırlar. Kompresör seçimi ilk aşamada kapasite ve basınç oranları temeline göre yapılır. Verim, güvenirlik, ölçüler, ağırlık ve çevirici tipi son karar için daha az önem taşırlar. Kompresör seçiminde rol oynayan özellikler aşağıdaki gibidir.

- Kapasite
- Sıkıştırma oranı
- Basınç, sıcaklık
- Verim
- Ölçüler, ağırlık
- Gazın tipi (M, k)
- Partikül mevcudiyeti
- Mayi mevcudiyeti
- Gazın kimyasal korozyon etkisi
- Çevirici tipi
- Maliyet

Kompresörler de aynı pompalar gibi debiye, çıkış basıncına bağlı olarak, özel olarak imal edilirler. Kompresörler özel olarak imal edildikleri gibi işletmeleri de özel olmalıdır. İşletmeci, ekipmanın butonuna bastığı veya devreye aldığı zaman bu ekipmanın nasıl çalıştığını, hangi etmenlerin o ekipmana negatif tesir yaptığını çok iyi biliyor olması gerekir. Kompresörler daha önceden belirlediğiniz şartlara bağlı

olarak imal edilen ekipmanlardır. Bu şartların dışında, herhangi bir şarta zorlandıklarında yani şartların değiştirilmesi halinde ekipmanlar istenilen performansı vermez [18-20].

Kompresörlerde benzerlik kuralı Denklem (1.13), (1.14), (1.15)'de belirtilmiştir [19];

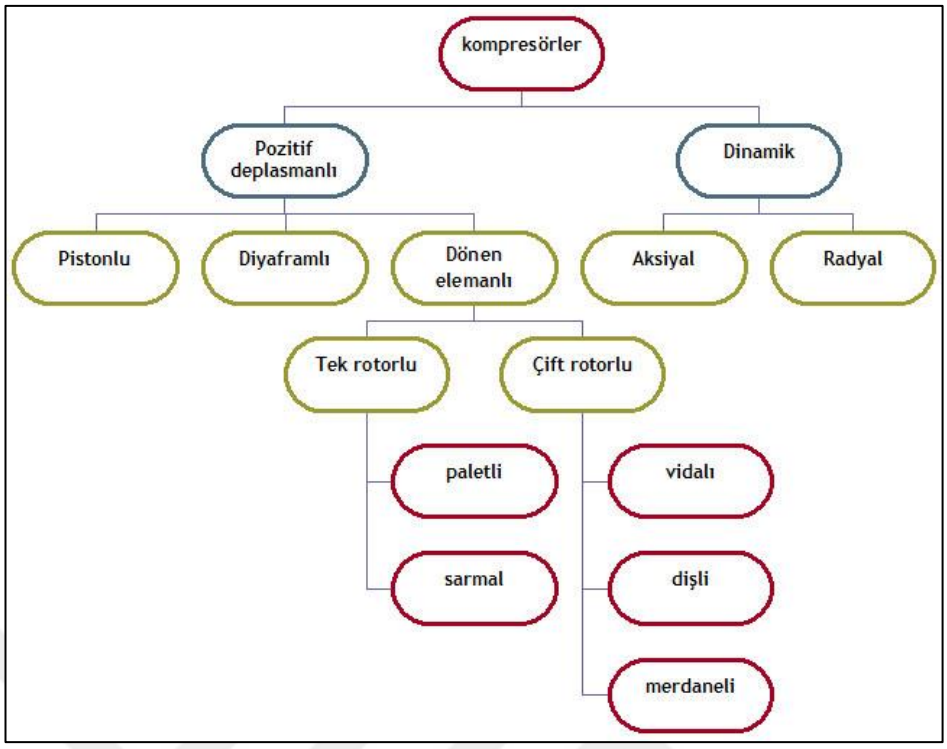
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \tag{1.13}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{1.14}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{1.15}$$

1.3.4.1. Kompresör Tipleri

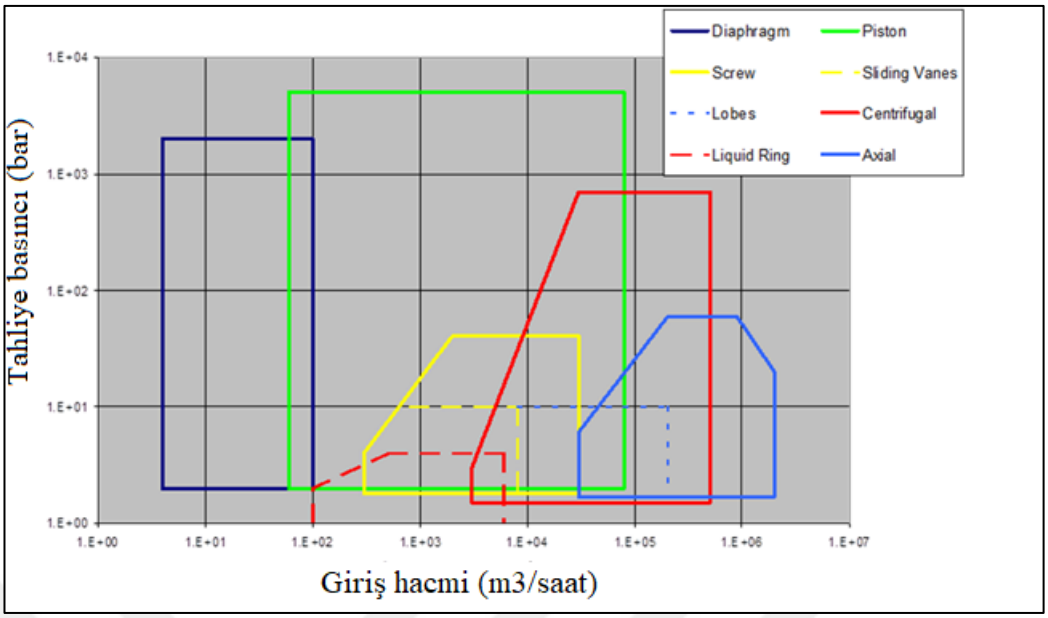
Kompresörler dinamiktir ya da pozitif deplasmanlı olarak iki tipte imal edilirler. Dinamik kompresörlerden bir tanesi ejektördür, rafineri sektöründe çok fazla kullanılmaktadır. Bu kompresörler ya buhar ya da basınçlı hava ile tahrik edilen kompresör tipleridir. Bir diğeri ise radyal kompresördür, rafinerilerde gaz üretimi olan ünitelerde mevcutturlar. Aksiyel kompresör gaz türbinlerinde, yakıcılara ve türbin kanatlarına giden havayı basınçlandıran ekipmanlardır. Aksiyel kompresörde gaz radyal kompresörlerdeki gibi fan içinde 90 derece şekilde yön değiştirmez, şafta paralel olarak akarlar. Pozitif deplasmanlı kompresörler iki kısma ayrılırlar, bunlar biri tek etkili veya çift etkili olan pistonlu kompresörlerdir, diğeri ise, döner rotorlu kompresörler olarak adlandırılan, paletli, sıvı halkalı, vidalı ve loblu kompresörlerdir.



Şekil 1.39. Kompresör sınıflandırılması [18]

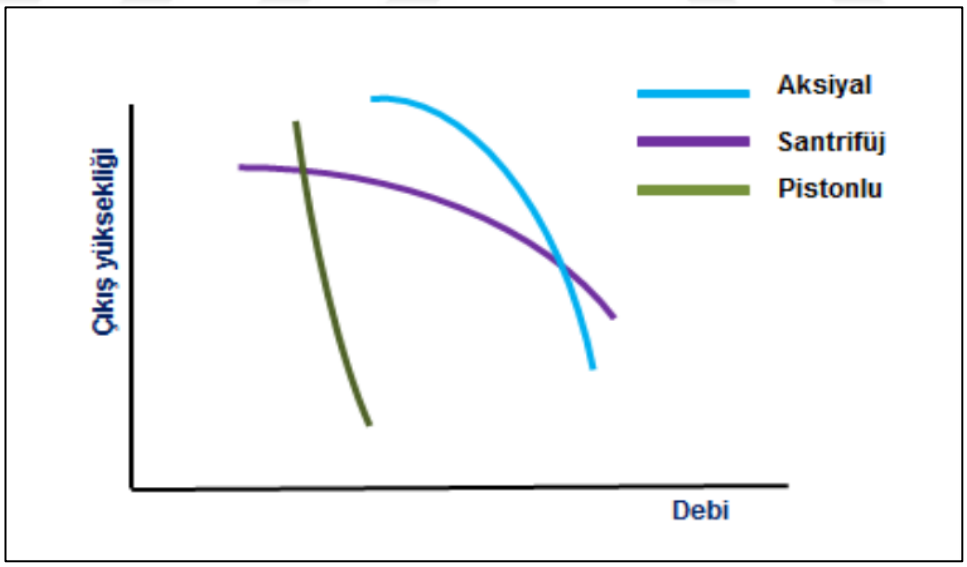
Kompresörler, sabit bir hacimde gazları sıkıştırarak basınçlandırırlar. Bu basınç ise belirli bir yerden bir başka yere gazın akışını sağlar. Bunu yapabilmek için de, akışkanı bir sistem içinde mekanik enerji yardımıyla kinetik enerji sahibi yapar. Gaza kinetik enerji yüklenir ve daha sonra o kinetik enerji, bir şekilde potansiyel enerjiye veya basınç enerjisine dönüştürülür. Eğer herhangi bir akışkanda yüksek hız varsa, o akışkan enerjisi, sonunda yüksek bir basınca transfer olabilir. Akışkan transferinde basınç farkı büyük önem taşır. Bir yerden bir yere bir akışkan transfer edilecekse, akışkana o transferin gereği olan basınç farkının yükleniyor olması gerekmektedir. Örneğin santrifüj kompresörlerde, fan yardımı ile gaza hız kazandırılır ve bu esnada belirli bir miktar basınç fan çıkışında yüklenirken, sistemin diyafram kısmına giren akışkanın hızı düşürülürken, fanın gaza yüklediği hız enerjisi otomatik olarak basınç enerjisine dönüştürülmüş olur. Kompresörler, seçimini yapabilmek için ünitenin kapasitesi ve basınç oranı temelde belirlenmelidir. Bunlar en basit iki parametredir. Ancak bu iki parametreyle de kompresörü tasarlamak mümkün değildir. Emişteki sıcaklık, sıkıştırma oranı, gazın özellikleri tasarımcılar için önem taşımaktadır. Buna ek olarak gazın tipi de önceden kullanıcı tarafından belirlenmelidir. Gazın tipi, molekül ağırlığı ve sıkıştırıla bilirlik katsayısı, sabit basınç ve sabit hacim altındaki ısınma ısılarının oranı, parçacık mevcudiyeti, basınçlandırıldığında oluşması muhtemel olan sıvının miktarı imalatçıya verilmelidir. Gazın içindeki sıvı veya

basınçlandırıldığı zaman oluşacak sıvı miktarı, santrifüj kompresör ve Aksiyel kompresörler için önemli değildir. Ancak sıvılaşma durumu, pistonlu kompresörler için çok hassas bir konudur. Pistonlu kompresörlerde, kompresörün girişine asla sıvı girmemelidir. Kompresörün girişine gaz olarak giren akışkan, piston tarafından basınçlandırıldığında o basınca dayanamayıp kendiliğinden sıvı faza da dönüşebilir. Pistonlu kompresörlerde sıvının silindirin dışına atılabilmesi için sıvının kompresör valflerinden geçiyor olması gereklidir. Sıvı gazla birlikte valflerden geçemeyeceği için, pistonlu kompresörler sıvıya karşı çok hassastırlar. Bu durumu engellemek için de çeşitli önlemler almak gerekebilir. Bunlardan biri de kompresör emişinin soğutulmasıdır, uzun zincirli hidrokarbonları emişten ayırdığımız zaman, geriye kalan kısa zincirli hidrokarbonlar, yüksek basınç altında faz değişimine uğramaz ve sıvılaşmazlar. Kompresörlerde çevirici tipi de büyük önem taşımaktadır. Teknolojik gelişmelerden önce devir sayısını değiştirme durumunda çevirici olarak buhar tribünü kullanma zorunluluğu vardı. Artık bu durum günümüzde elektrik motoru kullanılıp hidrolik bir kaplin yardımıyla ya da VSD uygulamaları ile sağlanabilmektedir. Kompresör seçiminde önemli unsurlardan biri de maliyettir. Maliyet denilince sadece ilk kuruluş maliyeti anlaşılmamalıdır. Bu maliyet fonksiyonel bir yapıya sahiptir, işletme sırasında kullanılan elektrik enerjisi, bakım gibi unsurlar da önem taşımaktadır. Kompresörlerin seçimi esnasında bir diğer önemli parametre ise çıkış basıncı ile debi arasındaki orandır. Kompresör çıkış basıncı çok yüksek ve debi de yüksekse, Aksiyel bir kompresör seçmek daha doğru olacaktır. Fakat Aksiyel kompresörlerde basınç belirli bir oranın üstüne çıkamamaktadır, daha yüksek basınçlara çıkabilmek için santrifüj kompresör kullanılması gerekmektedir. Eğer sistemin debisi çok düşük, basınç da ona bağlı olarak yüksekse, diyaframlı kompresör kullanılması mantıklı olacaktır. Eğer basınç ve debi çok yüksek değilse dişli bir kompresör kullanmak gerekecektir. Günümüzde gelişen teknolojinin de yardımıyla artık kompresörler çok yüksek basınçlara ulaşabilmektedir.



Şekil 1.40. Kompresör kapasite ve basınç aralığına göre seçim grafiği [19]

Aşağıdaki şekilde (Şekil 1.41) Dikey eksende çıkış yüksekliği yatay eksende debi olacak şekilde değişik tipte kompresörlerin karakteristik eğrilerinin farklılıkları görülmektedir. Bir karakteristik eğriye bakarak kompresörün tipi kolaylıkla anlaşılabilir. [18, 20]

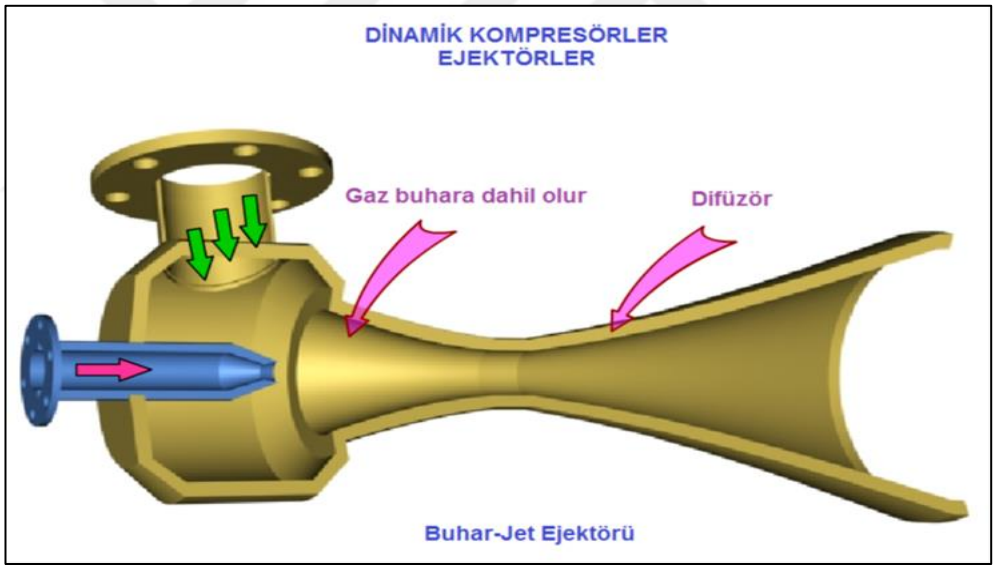


Şekil 1.41. Kompresör tiplerinin karakteristik eğrileri [20]

1.3.4.2. Dinamik Kompresörler

1.1.1.1.1 Ejektör kompresörler

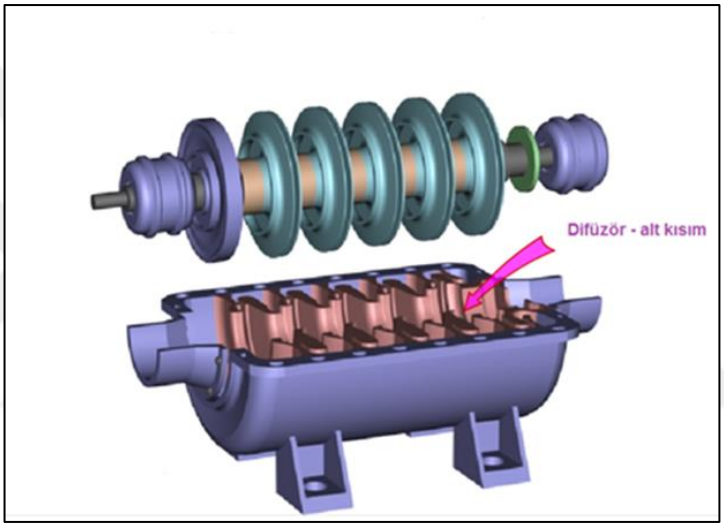
Namik kompresörlerden bir tanesi enjektördür. Rafineride sektöründe enjektörler çok sık kullanılmaktadır. Uygulama alanlarından bir tanesi türbin kondensesindeki erimiş oksijeni, buhar içerisinden dışarıya atmak amaçlı kullanılan enjektörlerdir. Her kondenserli türbininde en az üç tane vardır. Bunlardan bir tanesi start-up ejektörüdür, bir diğeri ise normal devrede olması gereken ejektördür. Ejektörün çalışabilmesi için (Şekil 1.42) ejektör nozuluna, yüksek basınçlı buhar veya yüksek basınçlı hava gönderildiğinde, nozulu geçtiğinde basıncı düşer ve hızı yükselir. Buradaki hızın yükselmesi tüm çevrede bir vakum etkisi oluşturur, oluşan vakum etkisi altında, bir diğer nozuldan bir başka akışkan gelir ve ejektör gövdesinde ejektörü çalıştıran buhar veya hava ile karışarak ejektör çıkışına doğru transfer olur [20].



Şekil 1.42. Ejektör kompresörün içyapısı santrifüj kompresörler

Santrifüj kompresör; Bir başka dinamik kompresör santrifüj kompresördür. Aşağıda (Şekil 1.43) Görünen kompresör yatay düzlemde ayrılabilen bir santrifüj kompresördür. Kompresör, gövdesi içinde rotor ve diyaframları barındırır. Santrifüj kompresörün, emme, sıkıştırma ve egzoz şeklinde üç tane temel adımı vardır. Bütün bunlar aynı anda, emme ayrı bir faz, sıkıştırma ve dışarı atma ayrı bir faz olabilir. Ama bu üç adım, bütün kompresörler için geçerlidir. Kompresörün emişinde bir basınç farkı oluşmak zorundadır. Kompresör gövdesinde basınçlandırılan akışkan, kompresörün çıkışından herhangi bir başka yere transfer olur, bunu yapabilmek için

kompresörün çıkışından gideceği yere kadar bir boru hattı tasarlanmalıdır. Bu hattın maruz kaldığı basınç değeri hat dizaynı yapılırken verilen maksimum basınç değeri referans alınarak belirlenir. Hat dizaynında hattın kalınlığına direkt tesir eden en büyük etmen, hatta kullanılan malzemeyle birlikte basınçtır. Eğer basınç, önceden belirlenen değerin çok üstüne, herhangi bir nedenden dolayı çıkarsa, o hat fiziksel ve mekanik özelliklerinin dışına çıkar ve hasar görebilir. Bu problemin oluşmasını engellemek için kompresörlerin çıkışında mutlaka emniyet valfleri tesis edilir. Emniyet valfleri, basınç yükseldiğinde, otomatik olarak açıp, hattı korur veya ekipmanı koruma adına basıncı dışarıya, başka bir ekipmana veya basıncı düşük bir başka ekipmana gönderir.



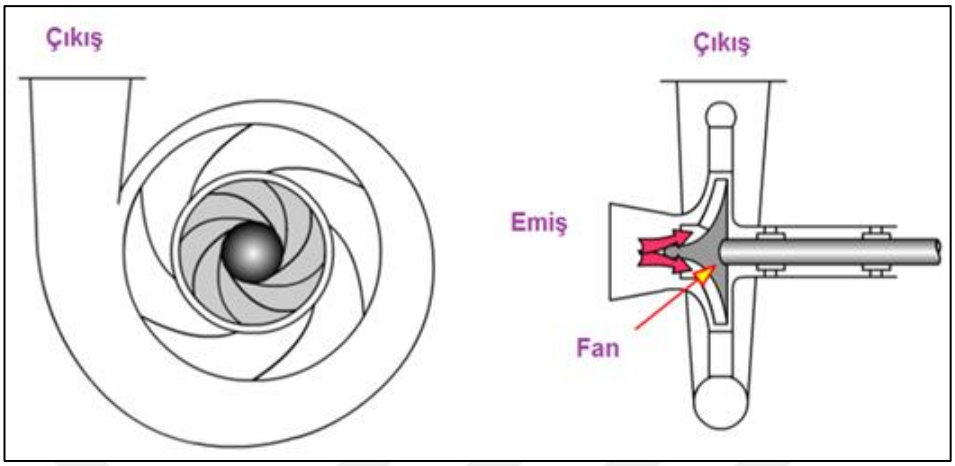
Şekil 1.43. Yatay ayrılabilir çok kademeli santrifüj (radyal) kompresör

Diğer kompresörlere nazaran santrifüj kompresörlerin daha çok tercih edilmesinin nedenleri şunlardır:

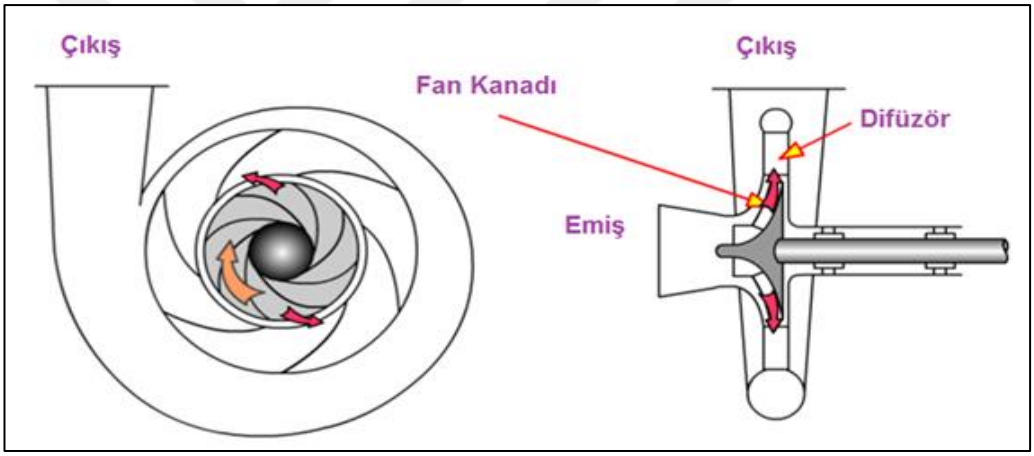
- Endüstrinin artan kapasite ihtiyacı
- Basit olmaları, düşük montaj ve bakım maliyetleri
- Pistonlu kompresörlere nazaran daha çok kullanılabilir ve güvenilir olması
- Gaz ve buhar türbini gibi yüksek hızlı uygun çeviricileri ve geliştirilen dişli kutularının katkıları ve artan kullanılabilirlikleri
- Teknolojik gelişmelere ve ihtiyaçlara bağlı olarak % 70 ve daha az olan orijinal kompresör verimi % 80"lerin üzerine çıkmıştır.
- Basınç oranları, çok kademeli kompresörlerin gelişimine bağlı olarak artmıştır.
- Güç ihtiyacı da bu ekipmanlar için ciddi bir şekilde artmıştır.

Pistonlu kompresörlerin verimleri aynı şartlarda çalışan santrifüj kompresörlerin verimlerinden daha yüksektir. Santrifüj kompresörlerin çıkış sıcaklıkları aynı şartlarda çalışan pistonlu kompresörlerin çıkış sıcaklıklarından daha yüksektir. Bir santrifüj kompresör, gövde içerisinde yüksek hızla dönen fanlara sahip bir rotordan oluşur. Gaz fan üzerinden akarken gazın kinetik enerjisi ve basıncı, fan kanatlarının etkisi ile yapılan enerji transferi sayesinde artar. Fan açık veya kapalı dizayn edilmiş olabilir. Fanları terk eden yüksek hızlı gaz, yüksek kinetik enerjiyi, potansiyel enerjiye dönüştüren diyaframdan geçer. Çok kademeli kompresörde gaz, ''DİFFİZÖR'' denilen dönüş kanalı ile bir sonraki kademeye yönlendirilir. Bir santrifüj kompresörde fanlar üzerinden geçen akışın yönü genelde radyaldir. Bu nedenle bu tip kompresörlere radyal kompresörlerde denir. Santrifüj kompresörler tek kademeli veya çok kademeli olabilir. Kompresörlerde basınç yükselirken gazın sıcaklığı da yükselecektir. Gaz sıcaklığı yükseldikçe kompresör verimi düşecektir. Bu nedenle; birkaç kademeden sonra kompresördeki gazın soğutulması için ara kademe çıkışı yapılır. Soğutulmuş gaz, tekrar kompresörün gövdesinden içeri girebileceği gibi, başka dizayn edilen gövdeye de son sıkıştırma için girebilir. Sıkıştırma işlevi için ayrı şaftlardan oluşan birbirine bağlı iki veya daha fazla gövde dizaynı da olabilir. Kompresör seti tek bir çevirici ile döndürülür. Kademeler arasında sıkıştırma, soğutma ve mayi ayrıştırması da gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda bir veya birkaç kademeden sonra ek bir gaz miktarının ana akışla karıştırılarak, son çıkış basıncına sıkıştırılacağı bir kompresör düzenlemesi de mümkündür. Santrifüj kompresörler; gövdenin bağlantı, birleşim yapısına göre farklılıklar gösterir. Düşük basınçlı makinalarda gövde; şaft eksenine paralel yatay düzlemde ayrıldığından bu kompresörlere yatay parçalı (horizontal split) kompresörler denir. Yüksek basınçta ve düşük molekül ağırlığına sahip olan gazların sızdırmazlık problemleri fazla olur ve %100 sızdırmazlık sağlamak zor hale gelir. Aynı zamanda kompresör gövde bağlantılarını aşırı sıkmak gereklidir. Bu yüksek basınç ve düşük molekül ağırlığına sahip hidrojen uygulamaları için ikincil bir gövde (barrel) imal edilir. Bu gövde (barrel) sonunda sızdırmazlık yüzeyi şaft eksenine dik olan gaz sızdırmaz bir kapakla kapatılır. Bundan dolayı bu tür kompresörlere radyal split veya barrel kompresörler denir. Santrifüj kompresörlerin verimli çalışabilmesi için emişinde damper olmalıdır. Fan, kendi karakteristiği gereği, kanatları arasına aldığı gazın hızını arttırmaktır. Fan çıkışında gazın hızıyla birlikte, basıncı da artacaktır. Bir sonraki kademeye gireceği zaman difüzörden geçeceği için gazın hızı azalır. Hız azalırken fan tarafından gaza yüklenmiş olan kinetik enerji, potansiyel enerjiye dönüşür ve diffüzör bölgesinde biraz daha artar. Gaz, eksenel olarak fanın içerisine

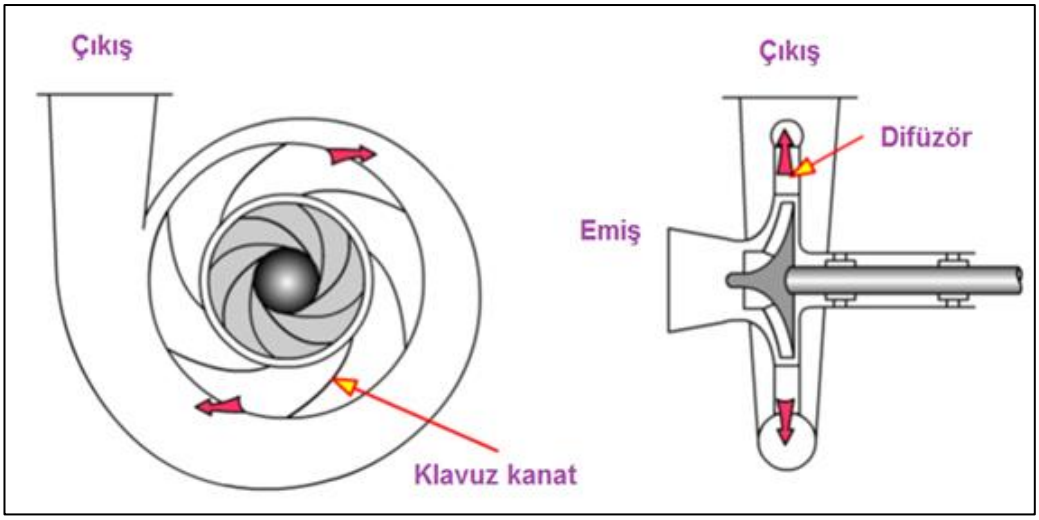
girer ve 90 derece çevrilerek fan çıkışına yönlendirilir. Gazın fanın içerisinde 90 derece çevrilmesi nedeniyle bu tür kompresörlere radyal santrifüj kompresör, denilir.



Şekil 1.44. Santrifüj kompresörde gaz moleküllerinin hareketi

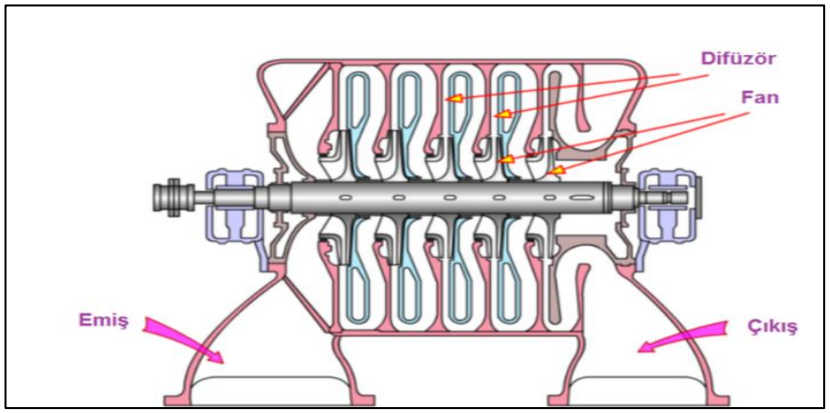


Şekil 1.45. Santrifüj kompresörde gaz moleküllerinin hareketi

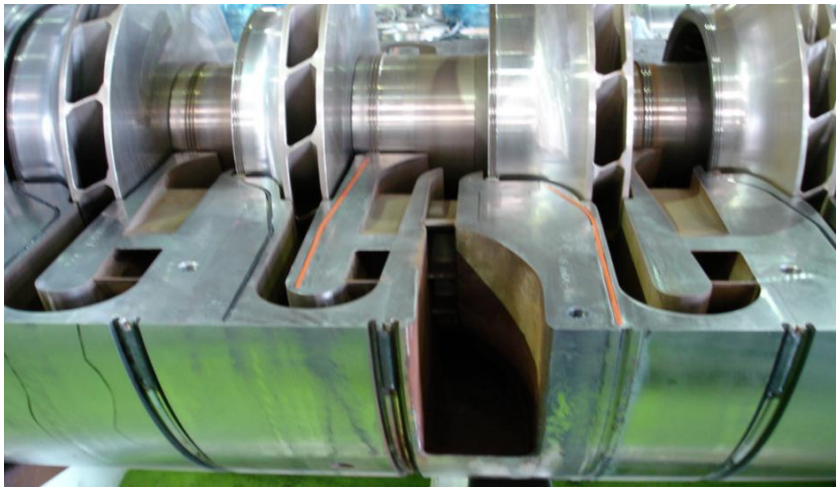


Şekil 1.46. Santrifüj kompresörde gaz moleküllerinin hareketi

Kompresörler, tek kademe olacağı gibi çok kademeli de olabilirler. Kademe sayısının çok olmasının nedeni kompresör çıkış basıncının yüksek olmasından dolayıdır. Çünkü her kademede, gazın moleküler ağırlığı nedeniyle fanın oluşturacağı basınç miktarı çok fazla değildir. 10 bar emiş basıncında 20 bar çıkış basıncına ulaşacak bir kompresörde bu basınç değişimi tek bir fanla yapılamaz. Bu nedenden dolayı basınç diferansiyeline bağlı olarak kademe sayıları da dizayn aşamasında belirlenir. Tek fanlı olan kompresörler, tek kademeli kompresörlerdir. Çok fanlı olan kompresörler de çok kademeli kompresörlerdir. 8 kademeye kadar olan kademeli kompresörler, tek gövde üzerinde imal edilebilirler. Kompresör gövdeleri, yatay düzlemde ayrılabilir veya dikey düzlemde ayrılabilir gövde olarak dizayn edilirler. Yatay düzlemde ayrılabilir gövde, alt ve üst olmak üzere iki yarım parçadan meydana gelmiştir ve üst parça kaldırıldığı zaman iç aksamın tamamına erişilebilmektedir. Santrifüj kompresörlerin düşük basınçlı (50 Bar) olanları genellikle yatay splittir. Yatay düzlemde ayrılabilen alt ve üst gövdeye sahiptirler. Üst gövdenin içerisinde diyaframların üst yarısı bulunur. Üst gövde alındıktan sonra rotor da sökülebilir. Kompresörler 50 barın üzerindeki basınçlarda da yatay split imal edilecek, ancak gövde üzerine bir zarf daha monte edilecektir. Bu zarf gövdeyi içine alır ve gövde zarfın içinden dikey düzlemde açılabilen bir kapakla kapatılır. Herhangi bir nedenden ötürü gövdede oluşacak bir patlama anında, bu patlamadan oluşan yüksek basınçlı gazın atmosfere çıkmasını engellemek amaçlıdır. Yatay düzlemde veya dikey düzlemde açılan kompresörlerde kompresör kapakları arasında sıvı conta haricinde herhangi bir conta kullanılmaz [20].



Şekil 1.47. Aksiyel split çok kademeli santrifüj kompresör



Şekil 1.48. Vertical split – dikey düzlemde ayrılabilen kompresör

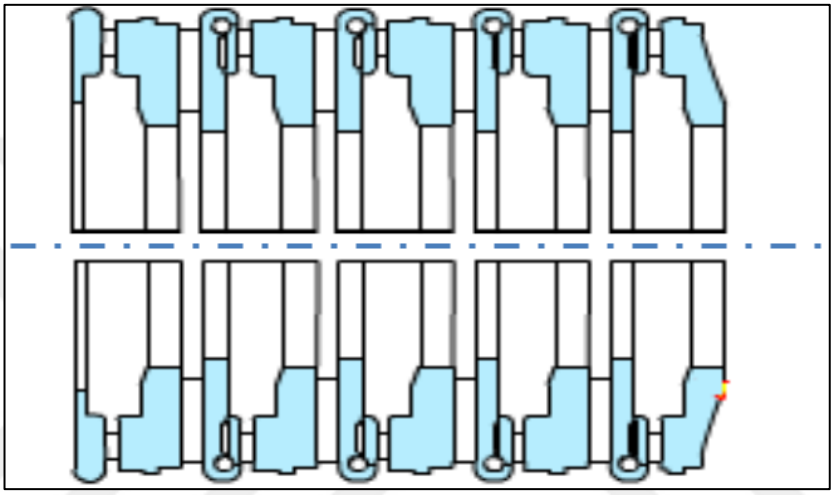
Bu yüksek basınç ve düşük molekül ağırlığı uygulamaları için dövme çelikten yapılmış ikincil bir gövde (barrel) imal edilir. Bu gövde sonunda sızdırmazlık yüzeyi radyal yönde olan gazı sızdırmayan bir kapakla kapatılır. Bundan dolayı bu tür kompresörlere “Radyal Split” veya “Barrel” kompresörler denir.



Şekil 1.49. Santrifüj kompresör fan kanadı

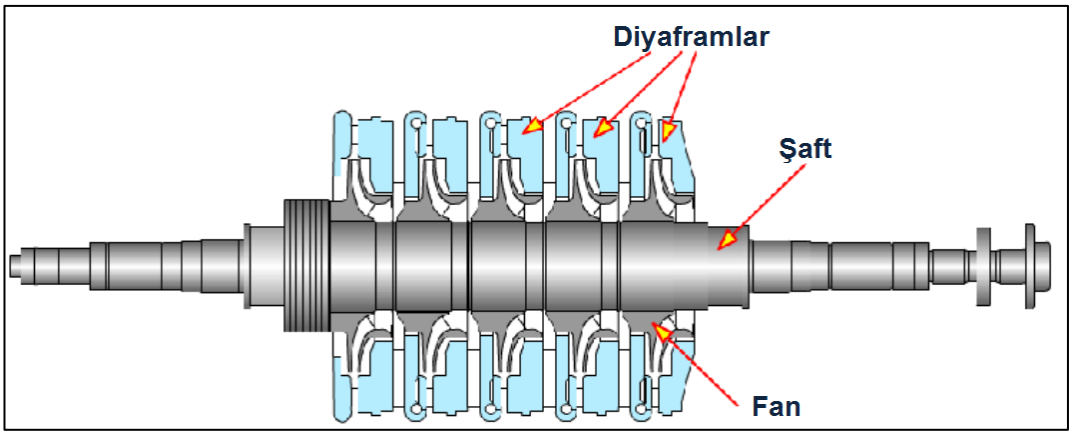
Kompresörde gazın kademe çıkış basıncının %65’i fan tarafından, kalan %35’i de diyafram tarafından oluşturulur. Diyaframlar tek bir altlı üstlü gövde olabileceği gibi parça parça da olabilir. Diyaframlar bir noktada sabit kanat görevi görürler. Diyaframlar, kompresörde en fazla kirlenen kısımlardır. Genellikle dönen kısımlar fazla kirlenmez, çoğunlukla diyaframın kirlenen kısımları sabit olan kısımlarıdır. Diyaframların kirlenmesi surge durumunun en büyük etkenlerinden birisidir. Bu nedenle kompresörler mümkün olduğunca kısa sürede temizlenmelidirler.

Kompresör rotorları veya diyaframları büyük bakımlarda söküldüklerinde muhakkak yüksek basınçlı su veya çok ince kumla kumlanıp, temizlenmelidir. Temizlenen kompresörün yüzey pürüzlülüğü minimize olduğundan dolayı verimi, kurulumdaki verimine denk gelecektir. Fanın yüzey pürüzlülüğü her hangi bir nedenle artarsa, yaklaşık olarak kompresörün verimi %1,5 oranında azalacaktır. Fan gaza belirli bir hız kazandırdığı gibi aynı zamanda belirli bir miktarda da basınç da kazandıracaktır. Fakat kompresörün çıkış basıncının %65'i fan tarafından oluşturulurken kalan %35'i de diyafram tarafından oluşturulur [20].



Şekil 1.50. Santrifüj kompresör diyaframı

Fandan yüksek hızda çıkan gaz, diyaframa gelip, hızını düşürecektir bu esnada kalan %35 basınç artışı meydana gelecektir. Basınç artışının 2/3'ü fanda, 1/3'ü de diyaframda oluşur. Çok kademeli bir kompresör kanat ve diyafram sayısı 1 den fazla olup, bu kompresörlerde yüksek basınç ve hızdan oluşabilecek gürültü söz konusudur. Bu tip kompresörler devreye alındıklarında oluşan ses kulaklıkla bile insanı rahatsız edebilecek düzeydedir. Fan çıkışındaki yüksek hızdan kaynaklı kinetik enerji diyaframda düşürülerek basınç enerjisine çevrilir. Diyaframlar, kinetik enerjiyi, potansiyel enerjiye dönüştürürken aynı zamanda gazı bir sonraki kademe fan emişine yönlendirirler. Bir kompresör kademesindeki basınç yükselmesinin 2/3 üne (% 65) fan çıkışında ulaşılır. Geri kalan basınç yükselmesi diyaframlarda gerçekleşecektir [19].



Şekil 1.51. Santrifüj kompresörde rotor ve diyaframın yerleşimi

1.1.1.1.2 Aksiyel kompresörler

Aksiyel kompresörlerde ekipman içinden geçen akış şaft yönündedir yani eksenseldir. Rotor içi boş veya dolu, üzerine kanatçıkların sıra halinde bağlandığı bir şafttan meydana gelir. Gövdenin içerisinde de stator kanatçıkları sıralı bir biçimde rotor kanatlarının arasına monte edilmiştir. Bu kanatlar sayesinde gazın kinetik enerjisi basınç enerjisine dönüştürülür. Aksiyel kompresörler özellikle yüksek hacimli akışlar için dizayn edilebilirler. Aksiyel kompresörler çok yaygın olarak gaz türbinlerinin yanma hava sağlayıcısı olarak kullanılırlar. Aksiyel kompresörlerin verimleri çok yüksektir (% 90) buna karşın kirliliğe karşı çok duyarlıdırlar [19]. Bu nedenle özellikle gaz türbinlerinde düzenli temizlik gerekliliği olmasına rağmen hava servislerinde geniş kapsamlı ve yüksek verimli bir filtre sistemine ihtiyaç duyarlar

Avantajları:

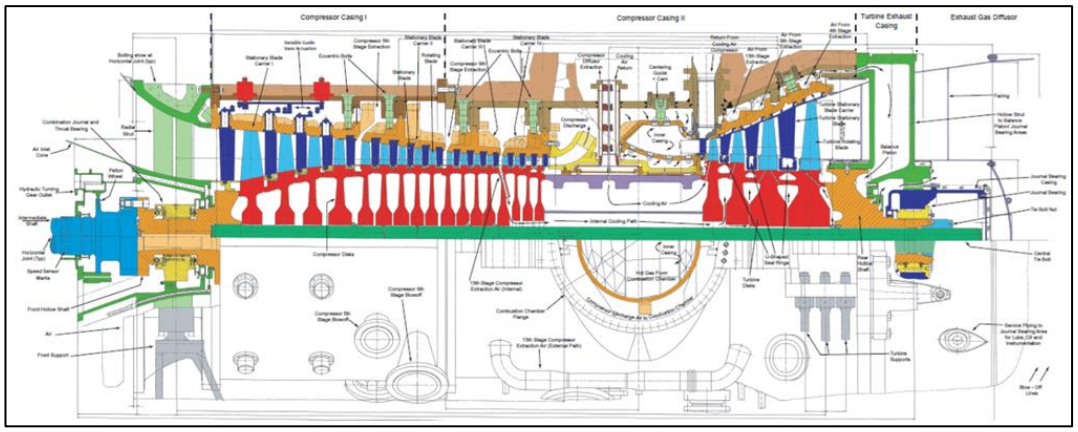
- Dalgalanmayan düzenli bir akış sağlarlar,
- Geniş kapasiteler için dizayn edilebilirler,
- Temas eden parçalarının olmayışından dolayı aşınma çok az veya hiç olmaz,
- Yüksek güvenirliliğinden dolayı makine yedeklenmez,
- Eğer uygun şaft sızdırmazlık sistemi uygulanırsa proses gazının yağdan kirlenmesi söz konusu olmaz.

Dezavantajları:

- Her bir kompresör gövdesi başına sınırlı sıkıştırma oranı,
- Pistonlu kompresörlere nazaran daha düşük verim,
- Kompresör performansı gazın özelliklerine bağlıdır ve gazın kompozisyonunun değişimi ile değişir,

- Düşük molekül ağırlığındaki gazların örneğin hidrojenin Aksiyel kompresörle basılması zordur,
- Her iki santrifüj ve eksiyle kompresör sistemleri aerodinamik olarak düzensizlik ve surge" den dolayı zarar görebileceklerinden anti-surge kontrol sistemine ihtiyaç duyarlar.

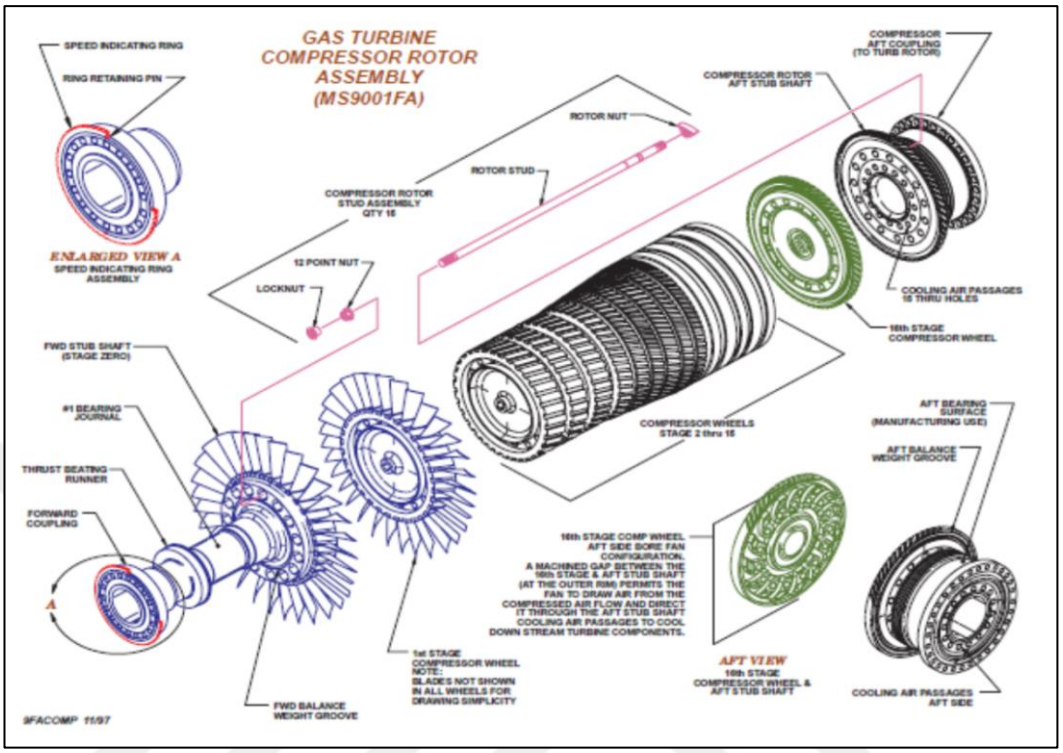
Eksenel kompresörlerin çıkış basınçları çok yüksek olamazken, debileri çok yüksek seviyelere ulaşabilir. Bu nedenden dolayı yüksek güçlü gaz türbinlerinin hava emişinde yanmayı sağlayan havayı sağlayacak kompresör genellikle eksenel kompresörden seçilirler. Bir gaz türbininde eksenel kompresörün ihtiyacı olan güç, o gaz türbinine bağlı jeneratörün gücüne yaklaşık olarak eşittir. Örneğin, 40 megavat üreten bir jeneratörün eksenel kompresörü yaklaşık olarak 35 megavat enerji tüketir. Dolayısıyla gaz türbinin brüt olarak ürettiği enerji toplam 75 megavat olur. Burada debinin çok yüksek olması nedeniyle kompresör, eksenel kompresördür ve debi çok yüksek olduğu için de bu kompresör çok fazla enerji çekmektedir. Eksenel kompresörlerde rotor üzerindeki döner kanatlar, gaza kinetik enerji yüklerler. Sabit kanatlar ise o kinetik enerjinin hızını azaltarak, potansiyel enerjiye çevirir ve sonraki döner kanata da havayı yönlendirir. Gaz türbininin en önemli parçası, birinci kademe emişinde olan IGV kanatlarıdır, bu kanatlar acıları değiştirilebilecek şekilde hareketlidir. Bu açının değişimi ile gaz türbinine veya hava kompresörüne gelen havanın debisi ayarlanabilmektedir.



Şekil 1.52. Eksenel kompresör [12]

Rotor üzerindeki diskler ayrı ayrı imal edildikten sonra rotora monte edilir ve daha sonrasında rotor balans yapılır. Balans yapıldıktan sonra disk üzerine her kanat tartılıp eşit ağırlıkta olduğu görüldükten sonra bağlanır. Daha sonra kanatlar

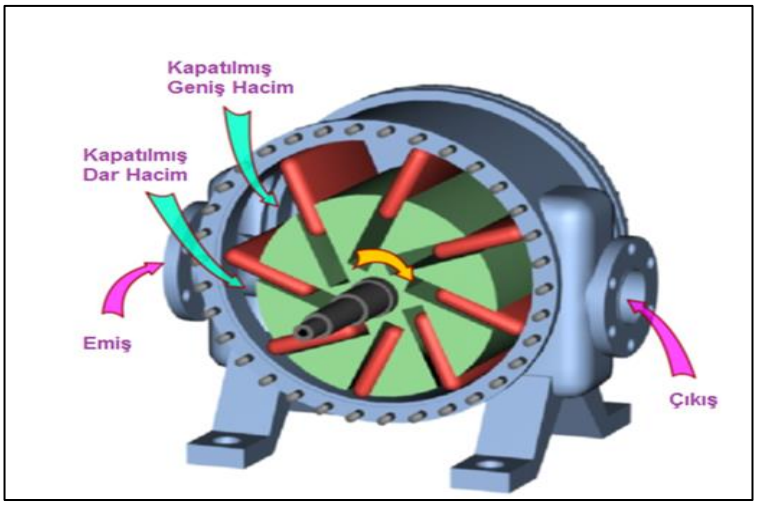
numaralanır, numaralanmış kanatlarda diske takıldıktan sonra kanatlı disk tekrardan balans olur.



Şekil 1.53. Aksiyel kompresör ve diskleri

Kompresörde verim; döner kanatlarla gövde arasındaki klerense bağlıdır. Klerensin minimum olması verimi olumlu yönde artırırken, işletme esnasında kanatların kompresör gövdesine sürtmesi şeklinde “Rubbing” denilen tehlikeli konumlarla karşı karşıya kalınır. Kanatlar üzerinden her an kopmaya hazır mantar şeklinde metal parçaları; koptuğunda diğer kademe kanatlarında giderilmesi çok zor olacak hasara neden olurlar [20].

Kayar kanatlı kompresör; Kayar kanatlı kompresörlerde, kompresör içinde dönen bir rotor vardır ve bu rotor da silindirin içinde dönmektedir. Fakat rotor, silindirin ekseninden kaçık olarak yerleştirilmiştir. Bu rotorun üzerinde radyal açılmış kanallar mevcuttur ve bu kanalların içinde paletler çalışmaktadır. Rotor dönerken, paletler de rotorla birlikte döner, ancak paletlerde oluşan merkezkaç kuvveti, paletin uç kısımlarını daima silindirin iç gövdesi ile temas halindedir.

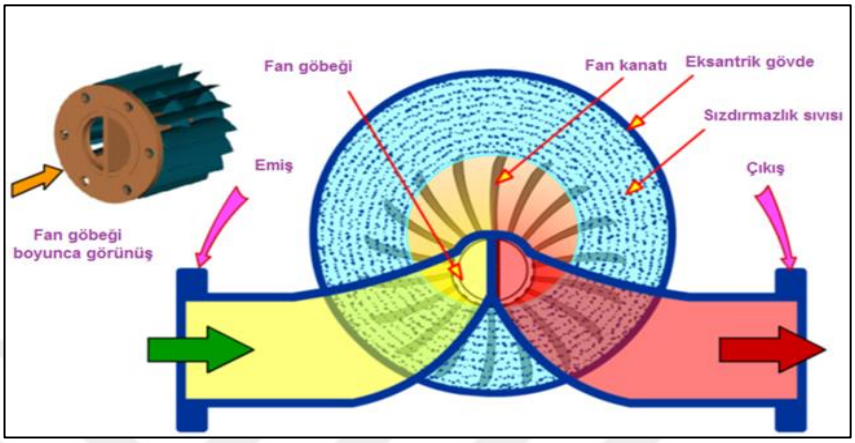


Şekil 1.54. Paletli bir kompresörün kesit görüntüsü

Emme nozulundan gaz kompresör gövdesinin içine girer, rotor dönerken, bu hacim devamlı genişler. Bu genişleyen hacmin içine gaz hücum etmek durumunda kalır. Daha sonra, 90 derece döndükten sonra rotor, artık kompresör, paletler arasında hapsolan hacmi sıkıştırmaya başlar ve hacim gittikçe küçülür. Hacim küçülmesi söz konusu olunca da, gaz basıncı artar ve daha sonrada çıkış nozulundan kompresörü terk eder. Bu tip kompresörlerde, yaklaşık olarak basınç, 6 bara kadar çıkabilir. Bu kompresörlerin en büyük problemi, paletler ile silindir arasındaki sürtünmelerdir. Bu sürtünme kuvvetlerinden ve sürtünme ısısından dolayı zaman zaman silindir ve çoğunlukla da paletler hasar görürler. Bu nedenle bu tip kompresörlerde gazın kirlenmesine neden olan yağlama gereklidir. Bazen hareketli olan paletlerin alın yüzeyleri bozulur ve zaman zaman da rotorun alın yüzeyi bozulur. Eğer kompresör içerisindeki gaz çok temiz değilse, bu tür kompresörlerin uzun ömürlü çalıştırılması mümkün olmaz. Flare sistemlerinde bu tarz kompresörlerin kullanılması bakım maliyetlerini artıracaktır çünkü flare sistemleri kirli gaz içermektedir. Bu tip kompresörlerin havalı aletler için hava temininde ve seyrek olsa da düşük basınçlı hidrokarbon gaz servislerinde bazı uygulamaları vardır [20].

Sıvı halkalı kompresör; Kayar kanatlı kompresörler gibi bu makinenin özelliği gövdede eksantrik bir rotorunun olmasıdır. Fakat burada kanatçıklar rotora sabitlenmiştir. Sıvı halkalı kompresörlerde rotorun üzerinde bulunan kanatlar rotorla birlikte döner ve gövdelerinde aynı zamanda sıvı da (genellikle su) bulunmaktadır. Rotor dönmeye başladığında, çevresindeki sıvı, kanatların ucuyla silindir gövdesi arasında bir sıvı filmi oluşturur. Bu sıvı ring bir sızdırmazlık görevi görür ve rotor kanatları ile birlikte değişken hacimli odacıklar oluşturur. Bu kompresörlerde kanatlar gövdeye sadece tek bir noktadan temas ederler, bu nedenle ne silindirde ne de

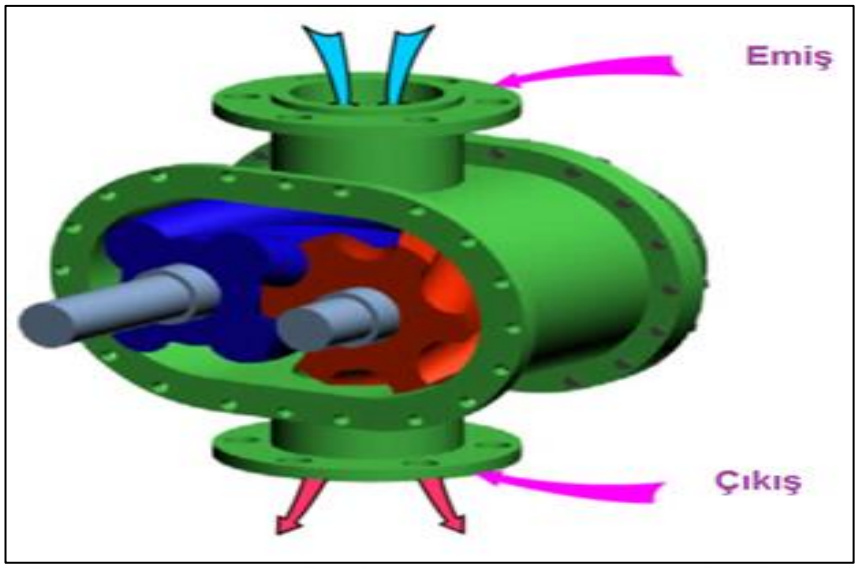
rotorda herhangi bir aşınma görünmez. Rafinerilerimizde bu kompresörler mevcut flare geri kazanım sisteminde kullanılmaktadır. Bu kompresörlerin güvenirliği yüksektir ve oldukça uzun ömürlüdürler, pahalı ancak, bakım işçiliği çok az olan kompresör tipleridir.



Şekil 1.55. Sıvı halkalı kompresörün kesit görünüşü ve çalışma prensibi

Sıvı halkalı kompresörler (Şekil 1.55) Gazı emiş tarafından alıp basarken, gazı kanatlar arasında daralan hacimde basınçlandırır. Bu kompresörler gazı basınçlandırırken bir kısım sıvıyı da birlikte sürüklerler. Ancak sıvı kompresör çıkışındaki bir dramda gaz ve sıvı birbirlerinden ayrılırlar ve ayrı bir enjeksiyon hattı ile emiş dramına gerekli sıvı ringi oluşturmak için geri gönderilir. Bu ekipmanlar genellikle vakum servislerinde buhar ejektörlerinin yerine kullanılırlar. Aynı zamanda düşük basınçlı (6 bar) kirli gaz kompresyonunda kullanılırlar, bazı güç santrallerinde de kondensede erimiş oksijeni dışarıya atmak için ejektörlerin yerinde de kullanılabilirler [12].

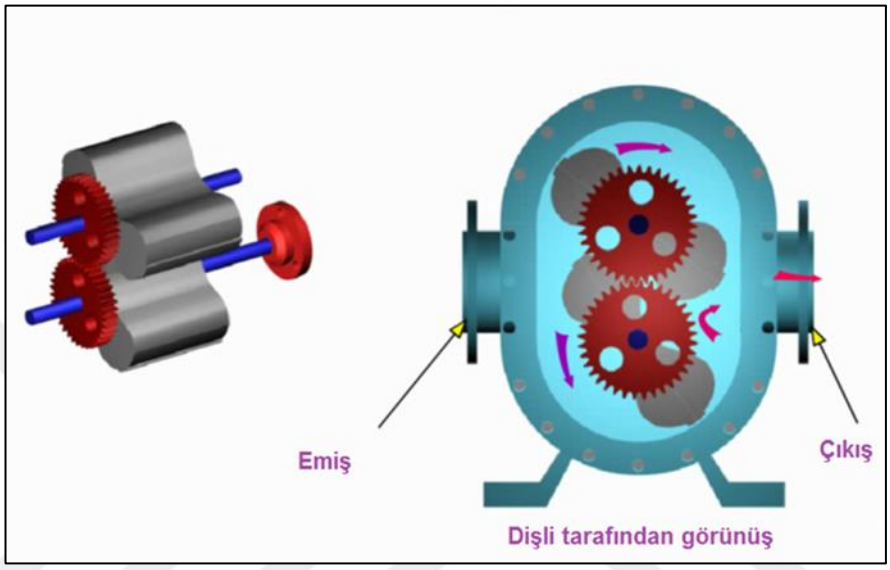
Vidalı (Dişli) kompresörler; Vidalı kompresörler de (Şekil 1.56) İki tane ayrı dişli mevcuttur, bu iki tane dişli birbirlerini tek bir noktada kavrarlar. Bu dişlilerden bir tanesi erkek, diğeri ise dişi dişlidir. Erkek dişli, herhangi bir ekipmanla veya bir elektrik motoruyla döndürülür, diğer dişli de bu dönen ekipmandan aldığı hareketle döner. Bazı durumlarda bu iki dişli bir zamanlama dişlisi yardımıyla dönerler. Bu kompresörlerde iki dişli hiçbir şekilde birbiriyle temas etmezler.



Şekil 1.56. Dişli kompresörün kesit görüntüsü

Rafineride kullanılan enstrüman hava kompresörleri veya servis hava kompresörleri, böyle sistemlere sahiptirler. Dişliler birbirlerinin içlerine girdiğinden dolayı değişken ve yer değiştiren hazneler eksenel yönde yaratılır. Bu hazneler kompresörün bir tarafından gaz ile doldurulur, hacmi sıkıştırılır ve kompresörün diğer tarafından dışarı atılır. Bu dişliler, üzerinde ince bir teflon kaplama, herhangi bir nedenden dolayı zarar görürse, o zaman kompresör size yeterince performans vermez. Dişli yüzeylerindeki teflon kaplama, diş üstü çapı ile silindir arasında ve iki dişlinin kavrama noktasında minimum çalışma klerensini sağlayacak şekilde tasarlanmıştırlar. Eğer dişliler üzerindeki teflon kaplama hasar görürse klerens büyür, büyüyen klerens da sistemin kapasitesi düşer ve yeterli basınç oluşturulamaz. Bazı yedekli çalışan kompresörlerde, yedek kompresör rölantide çalışır ve diğer asil kompresörler sistemi beslerler. Rölantide çalışan kompresörün içinde gaz sirkülasyonu olmaz ve kompresör ısınmaya başlar çünkü buradaki bütün çalışan sistemi soğutan, akışkanın kendisidir. Isındıkça teflon kaplamada hasarlar oluşmaya başlar. Bu nedenle bu tip kompresörlerin 16 bin ve 32 bin saatte bir bakımları vardır ve 40 bin saatte de kademe ömrünün sonuna ulaşılır kademe imalatçı firma tarafından değiştirilir. Rölantide bekleyen kompresörler için bu süre ortalama 8 bin saate kadar düşmektedir bu nedenle yedekli çalışan sistemlerde kompresörler bir sıraya göre rölantide çalışmalıdırlar [18]. Dişli kompresörlerin politropik verimleri aynı akış ve yükseklikte santrifüj kompresörlerinkinden biraz daha fazladır. Buna rağmen pistonlu kompresörlerin verimlerinden düşüktür. Bu yüzden pistonlu kompresörler dişli kompresörlerden daha çok tercih edilmiştir [20].

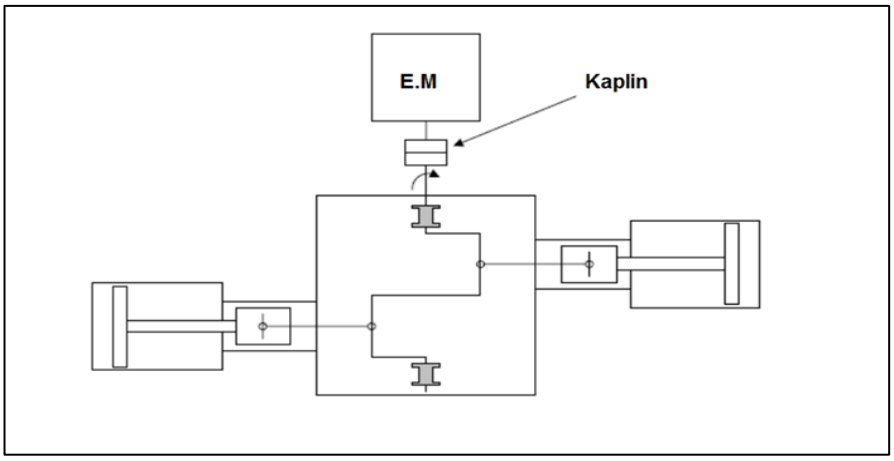
Loblu kompresör; Bu kompresör gövde içerisinde birbirine göre ters yönde dönen paralel iki şafta monte edilmiş lob tipi rotorlardan meydana gelir. Bir rotor ana çevirici tarafından tahrik edilir ve diğer rotor ise zamanlama dişlisi sayesinde döndürülür. Rotorlar birbirlerine temas etmezler fakat rotorlar ve gövde arasında oldukça sıkı toleranslar söz konusudur. Böylece gazın sıkıştırıldığı ve taşındığı bir hacimsel bölge oluşturulur. Lobların üzerlerinde kaplama mevcuttur.



Şekil 1.57. Loblu bir kompresörün kesit görüntüsü

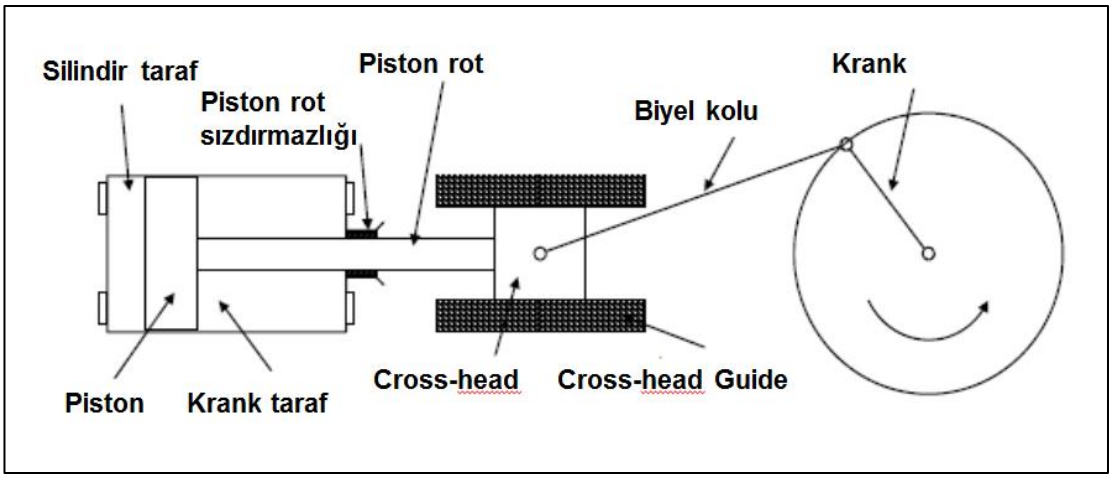
Esasen düşük basınçlı hava ve azot uygulamaları için kullanılan bu kompresörlerde maksimum diferansiyel basınç 1 bardır (Şekil 1.57) Emiş ve çıkış portu kompresör dönüş yönüne bağlıdır [20].

Pistonlu kompresörler; Silindire giriş ve çıkış valfleri sayesinde gaz emiş hattından çıkış hattına doğru kesintili olarak sıkıştırılır ve transfer edilir. Emiş ve çıkış valfleri yüksek verimli, geri dönüşü olmayan valflerdir. Bu sıkıştırma işleminin pistonun her iki tarafında yapılması halinde kompresöre çift etkili kompresör denir. Çok yüksek basınçlı kompresörlerde (3000 bar) tek etkili plunger'lar kullanılır. Pistonlu kompresörlerin kesintili sıkıştırma işleminden dolayı doğal olarak silindirin hem emiş hem de çıkış tarafında basınç dalgalanmaları (Pulsation) oluşur. Bu dalgalanmalar, hem işletme açısından bir problem olabilir, hem de kompresör hatlarında istenmeyen yüksek vibrasyonlara ve mekanik streslere neden olur. Bu dalgalanmayı kabul edilebilir seviyelere indirmek için kompresörün emiş ve çıkışlarına darbe sönümleyiciler (pulsation dampener) monte edilir.



Şekil 1.58. Pistonlu bir kompresörün temsili görüntüsü

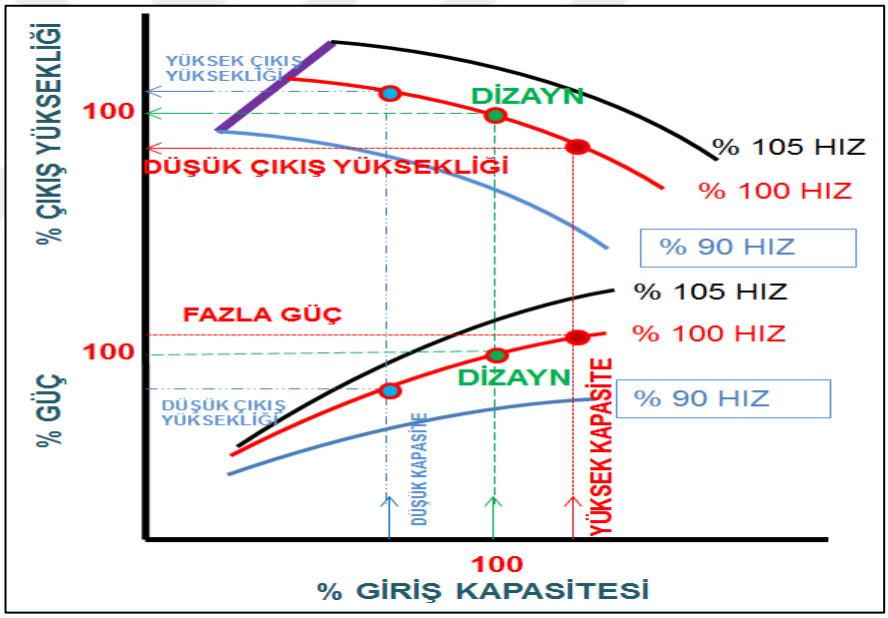
Pistonlu bir kompresörün yapısını incelersek en önemli parçalardan bir tanesi krank şafttır. Krank şaft ana yataklar üzerinde konumlanmıştır. Krank şaftın muylusuna biyel kolu büyük baş yatağı ile bağlıdır. Biyel kolu küçükbaş yatağı ile gaydı içindeki cross-head'e bağlıdır. Cross-head'in altında ve üstünde pabuçların gaydı içinde çalışmasını sağlar. Cross-head'i biyel kolunun küçükbaşına bağlayan pimdir. Bunun pratikte gacın pin (gudgeon pin) diye adlandırılır. Cross-head piston rota bağlı, piston rot da pistona bağlıdır. Tüm bu hareketli parçalar kompresörün ana hatlarını oluştururken kompresör kısmının en önemli parçaları Piston ve Silindirdir. Diğer parçalar ise piston ve silindiri harekete geçirmek amacıyla kullanılan tahrik elemanlarıdır [20].



Şekil 1.59. Pistonlu kompresörün iç elemanları

1.3.4.3. Kompresör devrinin karakteristik eğriye etkisi

Kompresör tasarlandıktan sonra imalatçı firma tarafından üretilir ve imal edildikten sonra karakteristik eğrisi çizdirilir. Bu eğriye göre kompresörün belirli bir devir sayısında belirli bir basma noktasına göre debi ve basınç değerleri belirlenmiş olur. Ancak standartlara göre kompresör kapasitesinin %105'ine de çıkabilmek zorundadırlar. Bu değerlere çıkabilmesi için de kompresörün devrinin yükseltilmesi gerekmektedir. Devri yükseltilen kompresörün karakteristik eğrisi aşağıdaki resimde görülmektedir. Kompresörün tasarlanan kapasitelerinin altında çalıştırılabilmesi için de devrinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu değerle oynanması kompresördeki enerji verimliliğimizi artıracaktır. Enerji eğrisi de devirle beraber değişmektedir. Belirli devir sayısında ve debide eğriyle kesişen noktada kompresörün çıkış basıncı ve bu konumda ihtiyaç olan güçü eğriden görülebilmektedir. Bu esnekliği sağlayabilmek için kompresörler genelde türbin ile kontrol edilmektedir [20].



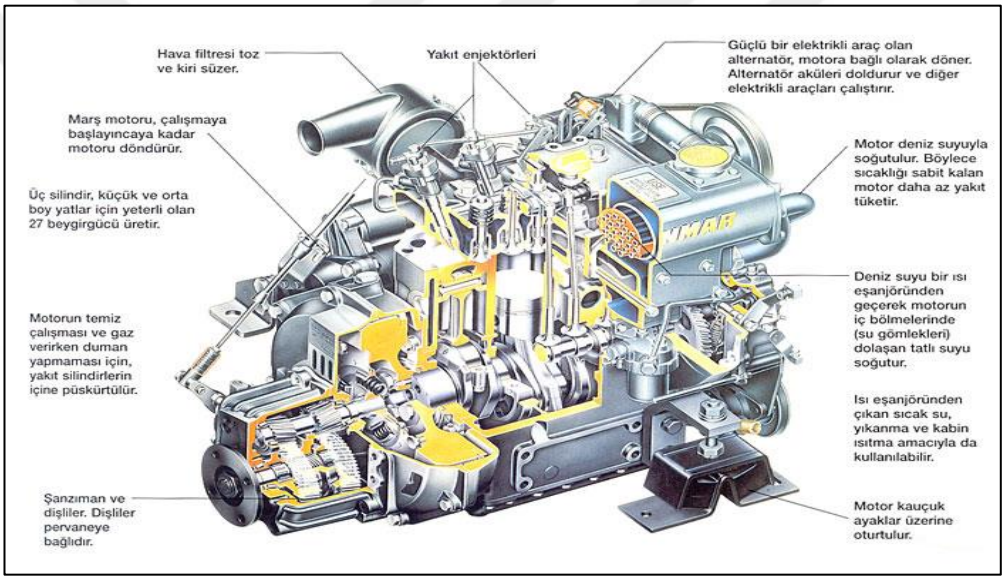
Şekil 1.60. Kompresör rotor devrinin çıkış yüksekliği ve güç eğrisine etkisi [20]

1.3.5. Motorlar

1.3.5.1. Dizel motorları

Dizel motor, Alman asıllı mühendis Rudolf Diesel tarafından, 1892 yılında bulunmuştur [21]. Dizel motorlar içten yanmalı bir motor türüdür. Dizel çevrimi sıkıştırma ve ateşlemeli pistonlu motorların ideal çevrimidir. Dizel motorlarda pistonlar termodinamik çevrimi, silindir içinde dört strok çevrimi gerçekleştirmektedir.

Bu nedenle dizel motorlara 4 zamanlı içten yanmalı motorlar da denir. Dizel motorlarda piston içerisinde sadece hava sıkıştırılır. Piston bloklarında sıkışan hava yeterli miktarda basınca ve sıcaklığa ulaştığında, yüksek basınçla enjektör tarafından yakıt püskürtülerek sıkışan sıcak havanın içerisinde yakıtın patlaması oluşur, böylece piston aşağı yukarı doğru harekete başlar. Yanma odasında ateşlemenin kuvvetli olmasından dolayı dizel motorlarında aşırı tork meydana gelmektedir. Bu aşırı tork ilk hızlanma ve ara hızlanmalarda olumlu bir avantaj olarak görülürken, dizel motor devirleri düşük olduğundan, benzinli motor gibi yüksek devirlere ulaşamadığından bu olayda dezavantaj olarak görülmektedir. Dizel motorlarının yüksek devir yapamamalarındaki neden, dizel motorları kuvvetli motor bloğundan, dayanıklı piston ve silindirden oluşmasıdır [22].



Şekil 1.61. Dizel motoru

1.1.1.1.3 Dizel motor ekipmanları

Dizel motor içerisinde yer alan parçaları sabit ve hareketli motor parçaları olarak iki alt başlıkta sınıflandırabiliriz [23].

Sabit motor parçası:

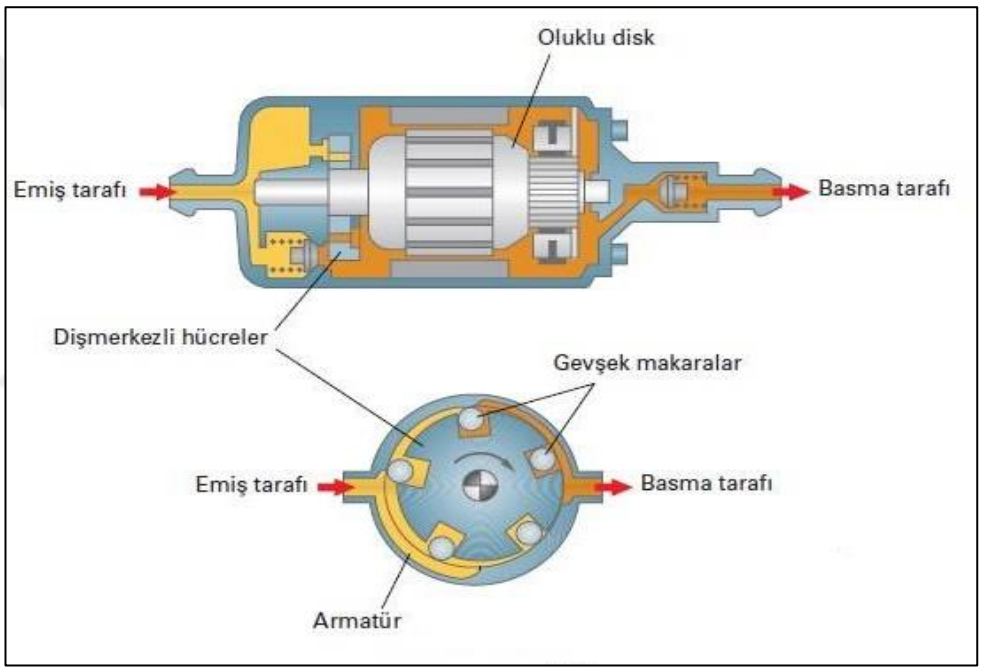
- Motor bloğu,
- Silindir kapağı,
- Üst kapak,
- Emme ve egzoz manifoldu,
- Karter,

Hareketli motor parçası:

- Piston,
- Krank mili,
- Eksantrik (kam) mili,
- Supaplar.

1.3.5.2. Elektrik motorları

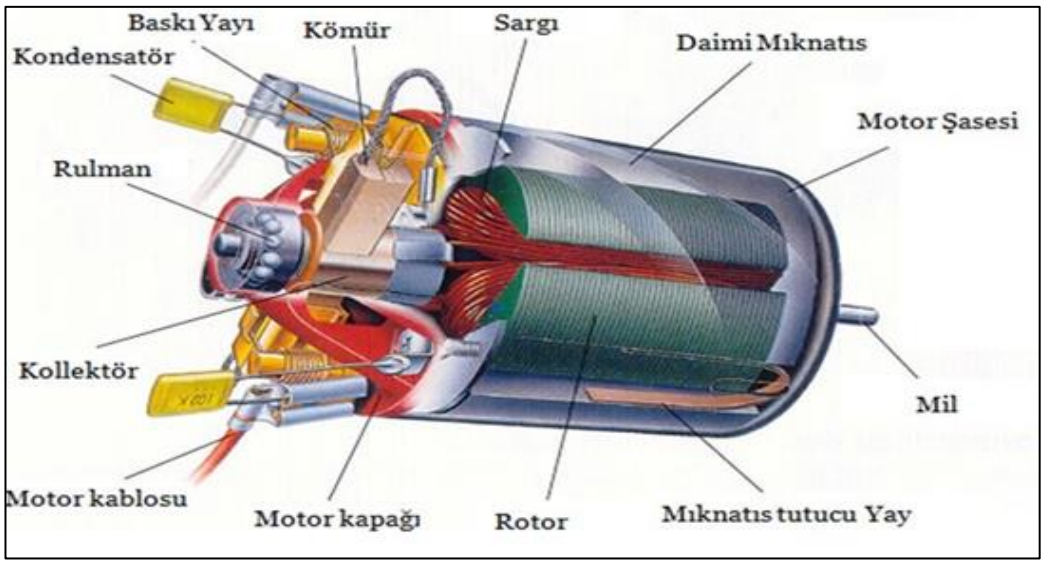
Almış olduğu elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistemdir. Elektrik motorunun içerdiği düzenek, çekirdek aralığıyla ayrılmış olan sabit (stator), hareketli rotor silindiri ve eş eksenli iki ferromagnetic armatürden oluşur.



Şekil 1.62. Elektrik motoru

Yaygın olarak elektrik motoru, eski sistem bobin (sargı) yerine, toprak metallerini içeren değerli samaryum kobalt sabit mıknatısından faydalanarak, hassas, hızlı tekrar eden işlemlerde kullanılır. Bu özelliklerinden dolayı elektrik motorlarında titreşim görülmemesinden dolayı genellikle döner ekipmanlarda tercih edilmektedir. Elektrik motorları mikro işlemciler ile donatılarak, kullanıcılar için daha kullanışlı hale getirilmiştir. Elektrik motorları, doğru akım ve alternatif akım motorları olarak iki ayrı grupta sınıflandırılabilmektedir. Bu motorlar, farklı uygulama alanlarına göre tercih edilmektedir [24].

Doğru akım motorları; Hareketleri sabit ve kuvvetlidir. Hızlarını değiştirmesi kolaydır, çalışırken alevli çalışır. Eğer bir motorun kısa aralıklarla durup çalışması, yüksek hızda seyredebilmesi ve yük taşırken frenle ani şekilde durabilmesi isteniyorsa bu seçimi yapmak güçtür. Bu istenenler yüksek verimli, hassas uygulamalar için aranmaktadır. Doğru akım motorları bunun gibi yüksek güç isteyen uygulamalarda kullanılır. Böyle motorların önemli eksikliği, kolektörden akımı geçirebilmek için fırçaların kullanılması gerektiğidir; kolektörün içinde bulunan fırçalar bu işi sürtünerek gerçekleştirir, bunun sonucu olaraktan kolektörü aşındırılarak ve kıvılcım üretmesini sağlar. Doğru akım motorları kapalı bir çevrimin içinde yer alır, çevrime nem, toz girmesine izin verilmez. Patlama riski olan yerlerde akaryakıt depoları gibi kullanılmaz. Doğru akım motorlarının çok geniş çalışma alanı vardır. Aynı güçteki asenkron motorun çalışma aralığı 3 kat daha fazladır. Doğru akım motorlarının bağıl hızı 1 ila 300 arasındadır. Doğru akım motorları, hız değişimi komutlarına ve ani yüklere kusursuz cevap verir. Doğru akım motorlarının kullanıldığı bazı yerler: düz malzemelerin yüksek bir duyarlılıkla sarılması veya düz malzemelerin yüksek bir duyarlılıkla açılması gereken her yerde kullanılır. Düzenli hareket tekrarının olduğu, konum kesimliliğinin olduğu alanlarda doğru akım motorlardan yararlanılır. Açılır-kapanır köprülerde, otomobil sanayinde gelişmiş deneme tezgâhlarında, teleferiklerde elektrik motoru kullanılmaktadır. Metalürji sanayiinde gelişmiş işlemlerde, örneğin metal ambalaj yapımında kullanılan saçların üretimi gibi hassas işlemlerde tereddütsüz doğru akım motorları kullanılır [25, 26].



Şekil 1.63. Doğru akım motoru

Alternatif akım motorları; Alternatif akım motorları iki ana gruba ayrılır: asenkron motorlar (indüksiyon motorları) ve senkron motorlar olarak ayrılır. Motorların asenkron tipleri standart bir tür olmuştur. Senkron tiplerinin kullanıldığı yerler ise, büyük güç gerektiren alanlarda kullanılabilir. Döner elektromanyetik bir alana, metalden yapılmış bir kütlenin sürüklenmesi bu motorların temel çalışma ilkesidir. Bu motorlarda eksenli iki adet armütür bulunur: bunlardan ilkine stator adı verilir ve sabittir, ikincisine rotor adı verilir ve hareketlidir. Senkron ve asenkron motorlarının statoru şekil, yapı açısından da aynıdır; birbirine vernikle yapışmış manyetik saçlardan oluşan bir bilezik şekline benzer şekilleri. Bir senkron motorunda rotorun sargısını besleyen bağımsız bir doğru akım yaratır buda manyetik alana neden olur. Bu tip motorların en önemli sorunu, rotorun kendi başına hareket edememesidir. “Öz senkron” adı verilen motorlarda, rotorun sargısının akım yaratmasını beklemek yerine aynı iş sabit mıknatıslardan beklenir. Rotorun sargısı çok fazla ise ve rotora sadece statordan gelen tek alan akım giriyorsa buna asenkron motor denir. Rotor hiçbir enerji kaynağına bağlı olmadan çalışır. Dönme hızı ilk çalışmada dahil değeri ne olursa olsun, mekanik bir kuvvet çifti tarafından sağlanır; tertipli bir çalışma sırasında bu hız senkron hızından farklı olur; bu hız farkının sebebi de motorun üzerindeki yükten kaynaklanır. Yapraklı bir rotorun yivlerine yerleştirilmiş bakır ya da alüminyum çubuklardan oluşan motorlara sincap kafesli motor denir; bu yapı oldukça basit olup, yeterince sağlam ve ucuzdur. Bunun gibi motorlar; imalat sektöründe, pompaların çalışmasında veya ambalajlama sektöründe yaygın olarak kullanılan standart yapılardır. Günümüzde bu aygıtlar, mikro işlemciyle denetlenen frekans dönüştürücüsüne bağlı olarak doğru akım motoruyla yarışabilir hale geldi. Doğru akım motorunun gücü 10 megawatta kadar çıkabilir bu güçte ona üstünlük sağlar. Çünkü hassas ayarları yapabilecek güçtedir. Dezavantajı kolektörün üzerindeki fırçaların sürtünmeden kaynaklı, aşınma yapması ve kıvılcım çıkartmasıdır. Sincap kafesli asenkron motor, sağlam, basit ve ucuz olmasından dolayı sanayide fazla şekilde kullanılır. Dönme hızının değeri ne olursa olsun bir kuvvet çifti, rotoru üretir. Dönme hızımı statik bir frekans dönüştürücüyle istediğimiz gibi ayarlanabiliriz. Nominal hızı dakikada 58,5 devir olan 12 MW’lik senkron motor, Belçika’da bulunan Sidmar çelik fabrikasında sıcak hadde yapan makineyi çalıştıran ve tirostorlar yardımıyla alternatif akımla beslenen iki dev motordan biridir. Hadde yapılmak üzere 23 cm kalınlığında 23t’lik çelik levhalar içine girer. Bu hadde işleminden, yüksek kaliteye sahip ince saç bobinler üretilmektedir [25]. Çok veya az ne kadar güce sahip olursa olsun elektrik motorlarından çok çeşitli alanlarda yararlanılabilmektedir. Buna bir örnek olarak aşağıda fotoğrafı yaklaşık 60 kere

büyütülmüş, sabit mıknatıslı, pille çalışan şu minik kol saati motoru gösterilebilir. Sürtünme olmaksızın çalışması, düşük tüketimi olması sonucunda bu motor neredeyse sınırsız bir ömre sahiptir [26].



Şekil 1.64. Alternatif akım motoru

2. BAKIM

Faaliyet gösteren işletmenin, mevcut olan mekanik sisteminin veya otomasyon sisteminin çalışabilirliğini düzenli olarak aralıksız sürdürebilmesi sağlayan yöntemdir. Bakım yöntemleri, plansız (arızi) bakım, koruyucu bakım, kestirimci bakım vb. bakım yöntemleri olarak sınıflandırılır.

2.1. Arızi Bakım

İşletmede çalışan bir ekipmanda veya otomasyon sisteminde, bilinmeye herhangi bir nedenden dolayı ortaya çıkan arızanın giderilmesi için yapılan bakım yöntemidir. Bu arızalar çalışan işletmenin çalışmasına engel olduğu için üretim kayıp maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır. Büyük işletmelerin genellikle tercih etmediği bir bakım yöntemidir [27].

2.2. Koruyucu Bakım

Koruyucu bakım yöntemi, işletmede var olan ekipman veya otomasyon sistemlerinin özelliklerine göre belirlenen periyotlar ve bakım metodu ile düzenli olarak yapılan bakım yöntemidir. Uygulanan bakım yönteminde, ekipmanlarda ve otomasyon siteminde arızanın oluşması beklenmez. Bu bakım yöntemin en büyük avantajı atanmış periyotlar aralığında bakım metotları uygulandığı için arızi sorunların ortaya çıkması engellenebilmektedir. Büyük işletmeler, çalışabilirliği sürekli kılmak için koyucu bakım yöntemi ile avantaj sağlamaktadır. Koruyucu bakımın uygulandığı peryotlar, ekipmanın veya otomasyon sisteminin üretici firma tarafında belirlenen periyot (günlük, haftalık, aylık ve yıllık) aralıklarında uygulanmaktadır. Ayrıca bu periyotlar gerek görülmesi durumunda bakım mühendisleri tarafından da belirlenebilmektedir [27].

2.3. Kestirimci Bakım

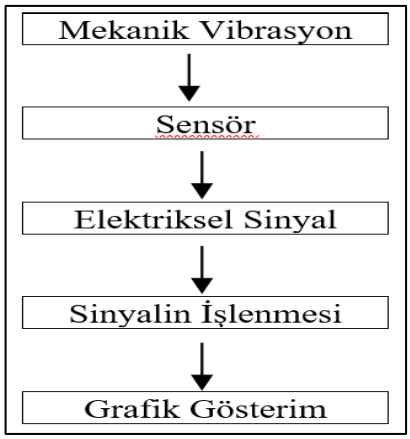
Her işletmenin kurulum amacı, kayıpsız üretim yaparak ekonomik olarak büyük kazançlar elde etmektir. Çünkü kurulum aşamasında kapasitelerine göre maddi olarak yatırımlar yapılmaktadır. Yapılan bu yatırımlar sonucunda, işletmeler daima kurulan sistemin çalışır olmasını ve olası arızi bir durumda ortaya çıkan üretim kayıpları ile yüksek bakım maliyetlerinin ortaya çıkmamasına kestirimci bakım

yöntemini uygulayarak avantaj sağlamak isterler. Kestirimci bakım yöntemi, işletmelerde kurulan ekipmanların belirli periyotlar aralığında ve uygulamalı yöntemler ile izlemeye alınır. Elde edilen sonuçlar teknik personel tarafından değerlendirilerek raporlanır ve gerek görülmesi durumunda koruyucu bakım uygulanması için hazırlıklar yapılır. Özellikle elektrik enerjisi üreten tesislerde yer alan ekipmanların, olası arızalar ile üretimi durdurmak istemezler. Bu arızalar kestirimci bakım yöntemi ile önlenebilir. Düzenli ve koşullu kestirimci bakım, arızi durumuna ulaşmadan kolaylıkla değerlendirilebileceği düşük maliyetle, ekipmalara (yağ seviyesi kontrolü, planlanan yedek parça değişimi, titreşim ölçümü vb.) müdahale etmek içindir. Bununla birlikte, mikro kırılmalar, eğirme parçalarının sıcaklık artışı ve hatalı yalıtım gibi bir arızadan kaynaklanan bazı bozulmaların tespit edilmesi oldukça karmaşıktır. Başarılı bir uygulamanın 8 anahtarı vardır. Koruyucu bakım, önemli ekipman bozulma parametrelerinin analizi ve değerlendirilmesinden elde edilen sonuca ulaştıran tahminlere göre gerçekleştirilir. Bakım ekipleri aşağıdakileri içeren NDT (Non Destructive Testing - Tahribatsız Muayene) adlı çeşitli analiz tekniklerinden yararlanabilirler [27-30]:

- Görsel denetim
- Boya ile muayene
- Radyografik testler
- Ultrasonik muayene
- Termografi
- Manyetik parçacık muayenesi
- Sızdırmazlık kontrolü
- Bükümlü akım testi

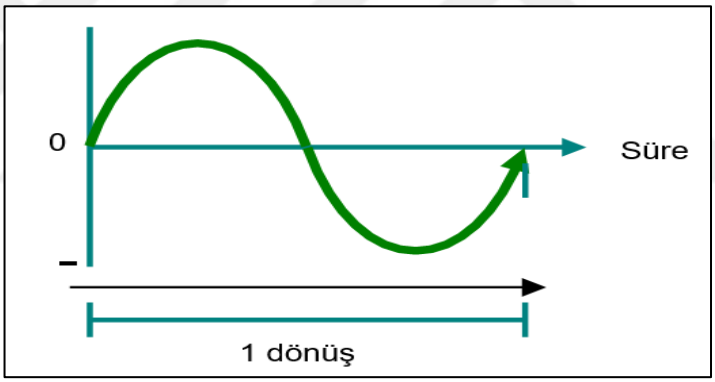
2.3.1. Titreşim (vibrasyon) ölçümü

Titreşimi ölçümü yapılırken, sensör ile elektriksel sinyale çevirerek, algılanan sinyaller ile FFT (Fast Fourier Trans) özelliği bulunan ölçme cihazında analiz yapılmaktadır.



Şekil 2.1. Sinyal çevrim akışı

Grafik analizlerine girmeden önce, grafiklerde kullanılan birimlerin çok iyi anlaşılması gereklidir. Titreşim analizlerinde en büyük hatalar, birimlere dikkat edilmediğinden kaynaklanmaktadır [29]. Birimlerin fiziksel karşılığı tam olarak anlaşılmadan titreşim analizi yapılamaz.



Şekil 2.2. Periyodu bir dönüş olan hareket [30]

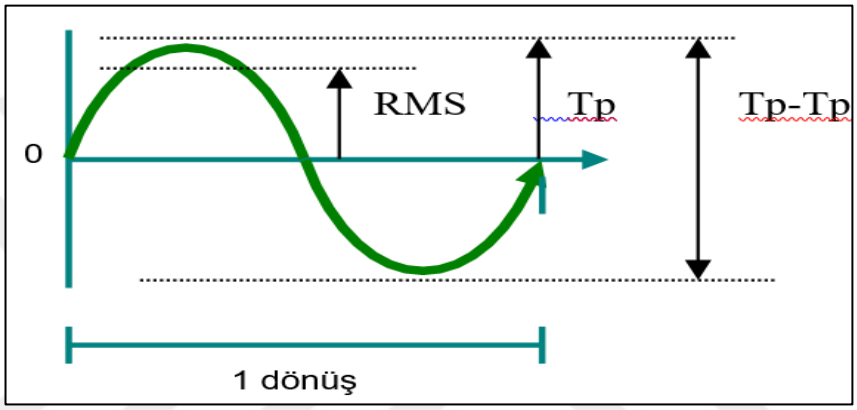
2.3.1.1. Titreşim frekansı

Hareketin ne kadar bir sürede içerisinde tamamladığını gösteren periyottur. (T) Frekans; Belirli bir zaman diliminde içinde hareketin tekrarlama sayı frekanstır. (f) Frekans; f=1/T formülü ile hareket sayısı belirlenmektedir. Frekans birimi; Hz=1/s, fakat döner ekipmanlarda, devir hızı RPM=devir/dakika olarak kullanıldığından arızlarında analiz birimi; CPM=1/dakika olarak kullanılır [30]. Bu birimin kullanılması arıza nedeninin birim benzerliğinden dolayı daha hızlı analiz edilmesinde avantaj sağlamasıdır. Her dönüşte, milin merkezkaç kuvveti ile ritmik olarak tetiklenen arızanın nedeni, ekipman devir frekansının çarpanlarında görülmektedir. Titreşim analizi ile elde edilen fiziksel bilgi, ekipmanlarda oluşacak arızilerin belirlenmesinde temel unsur olmaktadır [30-33].

2.3.1.2. Sinyalin genlik tipi

Sinyalin genliği ifade eden sinüs eğrisinin dikey ekseni aynı zamanda harmonik sinyali oluşturur [30]. Bu genlik hareketi, matematiksel olarak ifade edilmek istendiğinde, kullanılacak tip seçilmelidir:

- Tepe değeri : 0 - Tp
- Tepeden Tepeye değeri : -Tp + Tp
- RMS değeri Efektif : Tp
- (RMS=kareköklerinin ortalaması) dB : Değeri desibel



Şekil 2.3. Genlik ölçüm tipleri [30]

2.3.2. Uzaktan görsel denetim

Görsel denetim, yıkıcı olmayan ilk testtir. Maliyet açısından verimli ilk değerlendirmeyi sağlar. Parçanın dış görünüşünden, örneğin; katlar, kopmalar, çatlaklar ve korozyon gibi önemli bilgiler ve varsayılanlar çıkarılabilir. Uzaktan gözle muayene, yeterli aydınlatma ile iyi koşullarda yapılmalıdır. Kontrol edilecek parçanın parçası doğrudan erişilebilir olmadığında, aynalar ve endoskop denilen merceklerden yapılmış bir alet kullanılır. Dış düzensizliklerle birlikte gizli kusurlar, içinde daha ciddi bir kusur olduğunu gösterebilir [34].

2.3.3. Boya ile muayene

Boya ile muayene, metal parçalarda oluşan çatlakları, yarıkları belirleme de kullanılır. Elimizde olanları halletmek için görünür veya floresan yapılı sıvıya uygulanarak geliştirici kullanılır. Bu yöntemi uygulayarak, kalıplı veya dövme parçalarında, öğütme ve ısıl işleme uğrayan parçalarda, kaynak öncesi ve sonrası parçalarda, sıcak haddelenmiş ve gerilmiş parçalara uygulanarak denetleme yapılmaktadır [34].

2.3.4. Radyografik ile muayene

Bir nesnenin malzeme yoğunluğunu x ışınları veya gama ışınları yardımıyla tespit etmeyi amaçlayan tahribatsız bir test yöntemine radyografik test denir. Bu test uygulandıktan sonra kontrol edilen nesneyi 2 boyutlu olarak görselleştirilir. Radyografik kontrol, bir parçanın dahili bütünlüğünü kontrol etmek ve parçanın içindeki boşlukları veya kapsayıcı maddeleri saptamak için endüstriyel bağlamda kullanılır. Aynı zamanda kaynakların incelenmesi, döküm hatalarının tespiti ve kompozit yapısal bütünlüğün izlenmesi için yaygın olarak kullanılır. Radyografik incelemenin başlıca avantajı, parçanın malzeme homojenliğinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Kontrastlı belirtiler kolayca tespit edilebilir ve farklı belirti tiplerini de ayırmak mümkündür. Her türlü malzeme (alüminyum, çelik, bakır alaşımları, titanyum, kompozit malzeme, vb.) İçin geçerlidir. Bununla birlikte, bu yöntem pahalı uygulamalar ve sarf malzemeleri ile birlikte katı kurallar ve düzenlemeleri de beraberinde gerektirir, çünkü iyonlaştırıcı radyasyonlar sağlık için bir tehdittir [34].

2.3.5. Ultrasonik ile muayene

Kontrol edilen parça boyunca iletilen ultrasonik dalgaların iletimi, yansıması ve emilimine dayanan muayeneye ultrasonik muayene denir. Yayılan dalgalar kusurları yansıtıyor, sonra güç çeviriciye geri dönüyorlar. Genellikle hem verici hem alıcı olarak görev yapıyorlar. Sinyallerin yorumlanması, kusurun konumunun ve de boyutunun belirlenmesini sağlar. Bu yöntem sayesinde yüksek bir çözünürlük sunduğundan dolayı; hacim kusurlarını, yüzey kusurlarını daha net tespit etmeyi sağlar [34]. Hacim kusuru araştırmasında da kullanılan radyografik testlerle karşılaştırıldığında, başlıca avantajı ultrasonik incelemenin yalnızca bir erişim noktası gerektirmesidir. Ayrıca, radyoaktif kaynak ve iyonlaştırıcı radyasyonlar zararlı değildir ve daha büyük parçalarda daha kesin sonuçlara ulaşmak kolaydır. Sonuç, boya ile muayene incelemesinin aksine, genellikle birkaç saat sonra elde edilen sonuçlara doğrudan erişilebilir. En büyük dezavantajları; bazı metal malzemelerle (daha büyük tane boyutu olan malzemeler) çalışmanın daha zor olması ve bu kontrollerin daha ince tabakalar için daha fazla zaman almasıdır.

2.3.6. Termal (termografi) çekim ile muayene

Termal kamera yardımıyla kızılötesi menzilinde gözlemlenen termal görüntünün fotoğraflarını elde edilmesi işlemine termografi denir. Kamera teknolojisi ile birlikte

çalışan programlar sayesinde, radyasyonun yeniden oluşturulmuş görüntü üzerinde görünür olmasını sağlanır. Isı transkripsiyon işleminden sonra bir termogram elde edilir [34]. Termal test sayesinde termal yüzey etkileri gözlemlenebilir. Böyle bir test tahribatsız, hızlı, kolay gerçekleştirilebilir ve hedeflenen nesneyle temas içine girmez (rahatsızlık vermez). Bu tür kontrol çoğunlukla enerji tesislerindeki elektrik motor şalter kutularının kontrolünde kullanılır.

2.3.7. Manyetik parçacık ile muayenesi

Bir ferromanyetik malzemenin yüzeyinde yoğun şekilde manyetik akı yaratmayı amaçlayan zararsız bir test işlemine manyetik parçacık muayenesi denir. Süreksizlik oluştuğunda, manyetik alan çizgileri, "manyetik akı kaçağı" olarak da adlandırılan bir "manyetik alan kaçağı" oluşturan bir bozulmaya uğrar. Bir ürünün incelenecek yüzeyinde, eşzamanlı olarak ya da sonrasındaki mıknatıslanma sırasında uygulanır. Siyah ve / veya flüoresan olabilir ve belirtileri ortaya çıkarmak için doğrudan manyetik kuvvetler tarafından kusurlara çekilir. Belirtiler, kullanılan ürüne bağlı olarak yapay beyaz ışıkta ya da gün ışığında ya da uv radyasyon (uv-a) ya da mavi aktinik ışık altında belirli koşullarda gözlemlenmelidir [34]. Manyetik parçacık denetimi, boya muamelesinden daha "kısıtlayıcı" olmasına rağmen, diğer şeylerin yanı sıra daha hızlı olduğu için daha popüler hale gelir.

2.3.8. Sızdırmazlığın kontrolü

Sızdırmazlık kontrolü, sızıntıları tespit etmeyi, akış açısından önemini anlamayı amaçlayan tahribatı olmayan bir testtir. Sızıntıya sebep olan malzemelerin sorununa "sızdırmazlık kusuru" denir. Sızdırmazlık kusuru farklı basınçlara maruz kaldığında "sızıntı" meydana gelir. Akışkanın türüne (sıvı veya gaz) bağlı olarak sızıntı "akış" veya "akı" olarak karakterize edilir. Birkaç kaçak sızdırmazlık kontrol testi vardır: en yaygın olanı basınçlı parçayı bir algılama sıvısı kabına daldırmayı (global kontrol) veya yüzeye aktif bir solüsyon (yerel kontrol) püskürtmeyi amaçlayan "kabarcık testi"dir [34]. Herhangi bir kusurdan kaynaklanan kabarcıklar veya köpük sızıntı olarak yorumlanacaktır. Bu yöntemin en büyük avantajı; µm aralığında minimal kusurları vurgulaması, ancak ana dezavantajı; sonuçların çevreye ve parçanın hazırlığına bağlı olmasıdır. Ayrıca, kimyasallara ve sıkıştırılmış gaza ihtiyaç duyar.

2.3.9. Bükümlü akım muayenesi

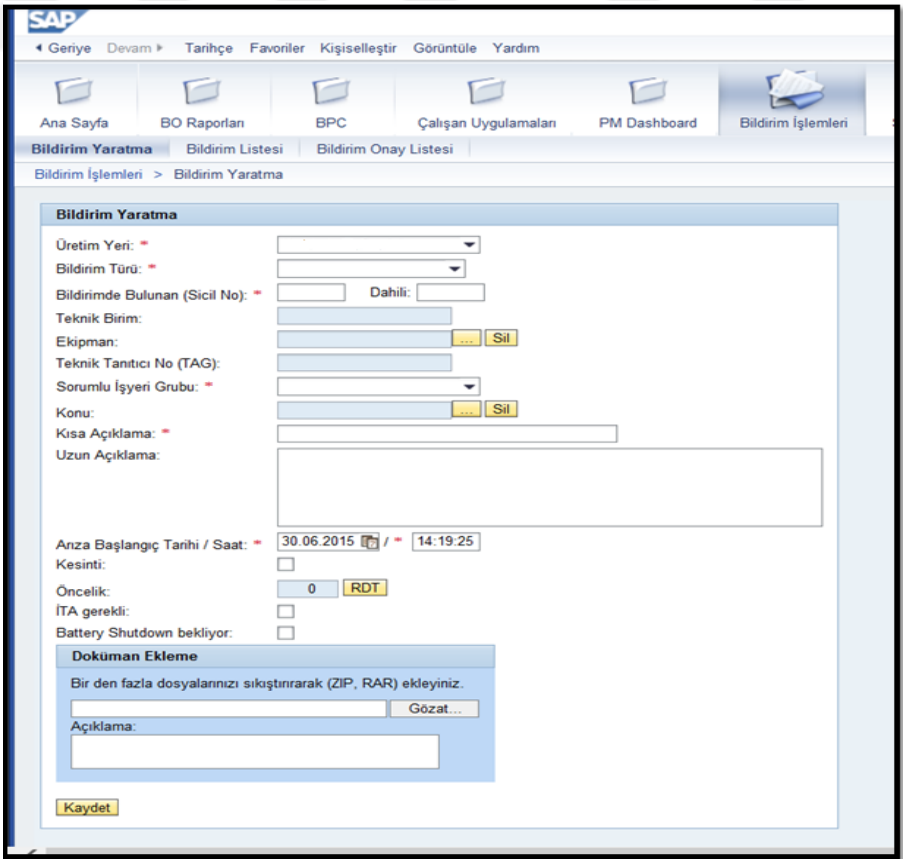
Bu metot, sensor yardımıyla elektrik ileten malzemelerdeki değişen elektrik alanlarıyla indüklenen elektrik akımı yaratmak için yapılır. Girdap akımları yada diğer bir deyişle foucault akımları denen bu akımlar, malzemenin içinde yerel olarak akarlar. Akımların dağılımı, manyetik alanına, geometrisine, elektriksel iletkenlik özelliklerine ve parçanın manyetik geçirgenliği gibi özelliklerine bağlıdır. Kontrollü parça anormal olursa, hareketleri bozulur buna bağlı olarak anormallik özelliklerinin sonucuna ve hacim boyutlarına bağlı olarak sensorun görünür empedans değişimlerine uğramasına neden olur. Empedans değişim analizi, testi gerçekleştirmek için faydalı göstergeler sağlar. Toplanan sinyaller, kontrol edilen malzemeden gelen sinyalleri, araştırılan fenomeni taklit eden yapay kusurları içeren bir test bloğundan gelen sinyalleri karşılaştırarak yorumlanır [34]. Bükümlü akım muayenesi, algılama hassasiyeti sayesinde farklı olanaklar sunması nedeniyle çok popülerdir. Otomatikleştirmek de çok kolaydır. Döner akım muayenesinin ana avantajları, mil ile kontrol edilecek parça arasındaki temas eksikliği, yüksek hızlı süreç ve üretim hattına kolay entegrasyon işlemidir. Sonuç olarak, NDT sektörü şu an evrim geçiriyor ve aletlerle çalışmaya daha da yaklaşıyor. Günümüzde kusurları tespit etmek artık yeterli değil, onları karakterize etmek ve boyutlandırmak da gerekiyor. Metal mikroyapı değişiklikleri, yüzeyin dokusu veya pürüzlülüğü değişimleri, elektromanyetik özellik değişimleri, vb. Gibi mülkiyet düzensizliklerini tespit etmek için yeni ndt teknikleri ve prosedürleri geliştirilmelidir. Yüksek maliyetler içeren bu muayeneler, genellikle, üretim maliyetleri yüksek imalat sektörleri tarafından kullanılmaktadır.

2.4. Enerji Tesislerinde Koruyucu Bakım ve Kestirimci Bakım

Ülkemizdeki enerji taleplerini karşılamak amaçlı kurulan tesislerin çalışabilirliğinin sağlamak amacı ile kullanılan döner ekipmanlarda koruyucu bakımın ve kestirimcin bakımın önemini yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda göstermektir. Yapmış olduğumuz çalışma bir enerji tesisinde bulunan aynı tip pompa, türbin ve kompresör için bakım analiz çalışmasıdır. Aynı zamanda bu çalışmada bu ekipmanlara hareket kabiliyeti veren dizel motor ve elektrikli motorların incelemesi yapılmış olup, bakım analiz çalışmasına katılmıştır.

3. YÖNTEM

Bu araştırma çalışmasında her enerji tesislerinde yer alan bir birleri ile benzer aynı tip pompa, türbin, kompresör ve bu ekipmanlara hareket kabiliyeti veren dizel motor ile elektrik motor incelemesi yapılmıştır. Karşılaştırmalar ekipmanlar üzerinde ayrı ayrı olarak her bir ekipmana bakım yönetim sisteminde tanımlanmış olan koruyucu ve kestirimci bakım planlaması yapılmıştır. Ayrıca arızi bakım oluştuğunda bakım talebi yapılan ekipmanda yer almaktadır. Bu analizde zaman yönetimi (bakım işçiliği, tesisin üretkenlik süresi), maliyet yönetimi (bakım işçilik maliyeti, malzeme maliyeti, kayıp olan üretim zamanından doğan maliyet) hesaplaması yapılmıştır. Bakım maliyeti analizimizi her bir ekipmana uygulanan arızi bakım, koruyucu bakım ve kestirimci bakım türünde karşılaştırma yaparak göstermekteyim. Bu çalışmada bakım yönetim sistemi olarak kullandığımız SAP PM modülünden genel destek aldım. Bakım talepleri yapan ilgili birimler Şekil 3.1'de belirtilen alanları eksiksiz doldurarak iletirler.



Şekil 3.1. SAP PM bildirim yazma talep ekranı [35]

Birimler bakım taleplerini arızi, işletme destek, planlı duruş, ara duruş vb. taleplerini yapmaları gerektiğinde yapıyorlar. Koruyucu bakım ve kestirimci bakım talepleri ilgili bakım şeflerinin kararı sonucunda SAP PM sistemine tanıtılarak, otomatik olarak iş talepleri üretilir.

Tablo 3.1. SAP PM bildirim türleri [35]

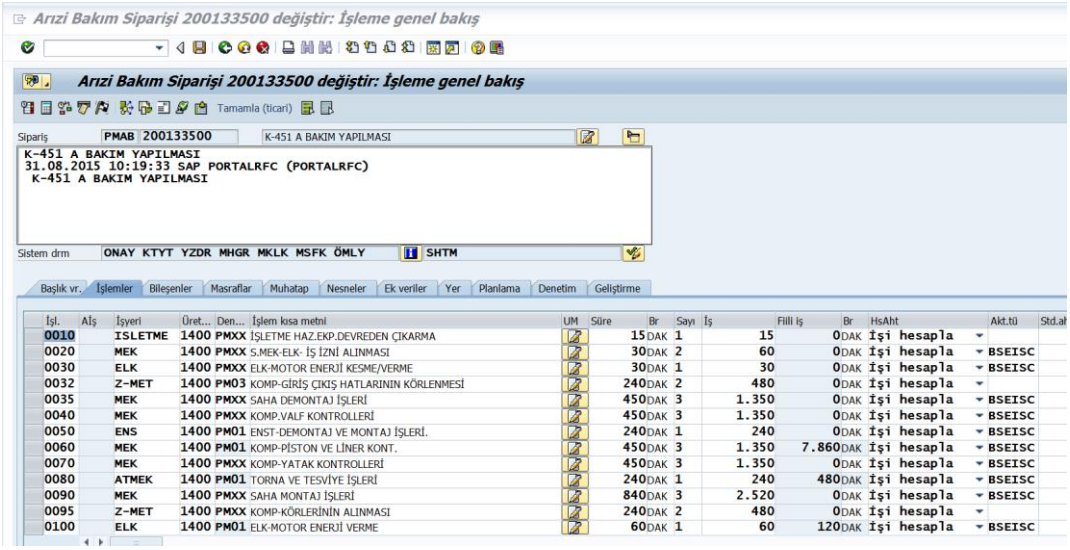
Sipariş Türü	Tanım
PMAB	Arızi Bakım Siparişi
PMAD	Ara Duruş
PMID	İşletme Destek İşleri
PMKB	Koruyucu/Kestirimci Bakım
PMPD	Planlı Duruş
PMPY	Proje/Yatırım İşleri
PMSG	Sigorta Kapsamında Yapılacak İşler

Talebi yaparken Risk Değerlendirme Tablosunda (RDT) oluşturduğu gerekli kriterleri seçerek öncelik durumu oluşur. Örnek RDT aşağıda yer almaktadır [35,36**].**



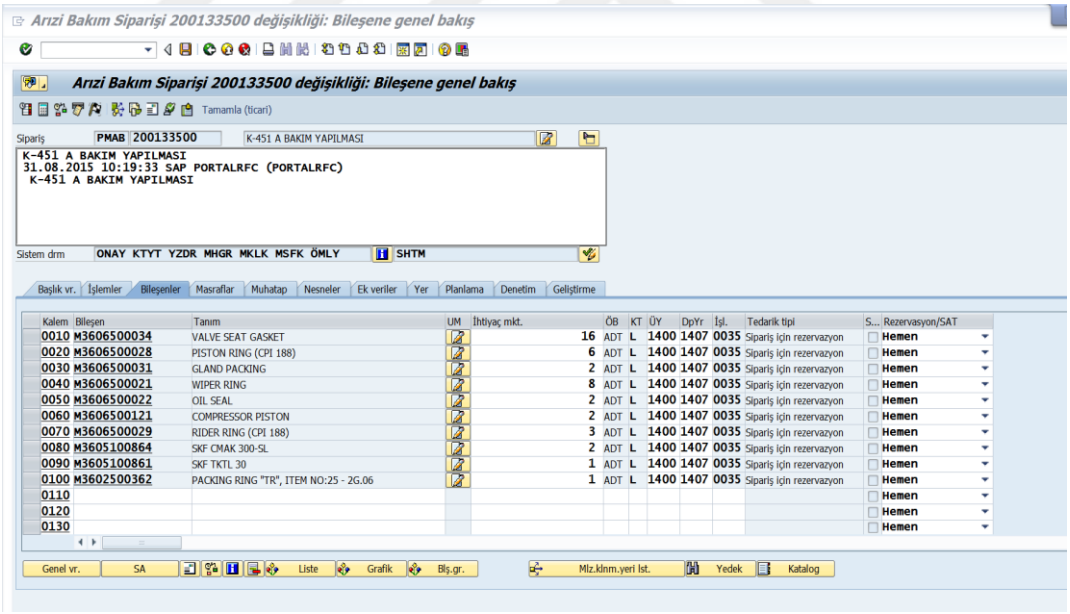
Şekil 3.2. SAP PM risk değerlendirme tablosu [35]

Arızı bakım talebi iletildikten sonra yerinde ekipman incelenerek SAP PM üzerinde işin yapılma tarifi ve gerekli organizasyon adımları planlamacı tarafından belirlenir. Koruyucu bakım ve kestirimci bakım taleplerinde bu süreç devam etmektedir.

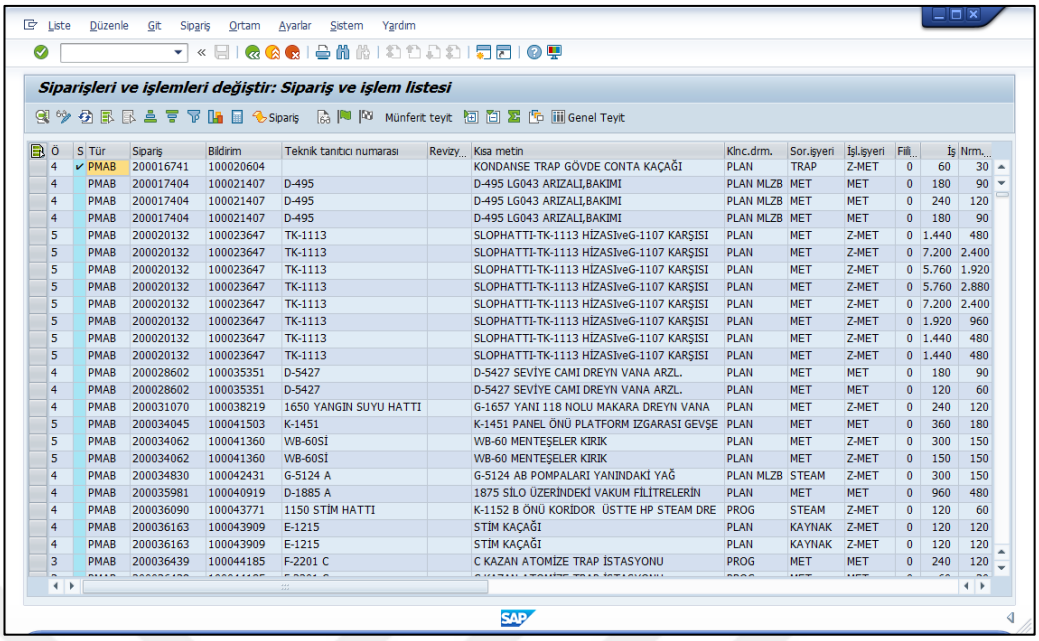


Şekil 3.3. SAP PM iş adımın oluşturulması [35]

Oluşan iş adımları verilen süre kapsamında, gerekli malzemeler kullanılarak yapıldığında her bir işyeri sorumlusu tarafından teyitler verilerek fiili süreler, kullanılan malzeme miktarı ve amortisman kaybının maliyetleri belirlenir.



Şekil 3.4. SAP PM malzeme listesi [35,36]



Şekil 3.5. SAP PM bakım taleplerinin teyit listesi [35]

SAP PM sisteminin kurulum aşamasında ana veriye tanıtılan işçilik maliyeti, malzeme maliyeti ve ekipman değeri üzerinden amortisman maliyeti belirlenmektedir. Tüm bakım taleplerinde bu maliyetler hesaplanabilmektedir [35,36].

3.1. Koruyucu Bakım ve Kestirimci Bakım

Koruyucu bakım ve kestirimci bakımlar SAP sisteminde belirli periyotlarda tanımlanarak gelen iş kâğıtlarıdır. Bu iş kâğıtlarının oluşturma periyodu her bir ekipmana atanan bakım terminine göre sabit (yılda bir kez, 6 ayda bir kez gibi, 3 ayda bir kez ve ayda bir kez olarak) olmasına önem gösterilir. Aksi takdirde bakımlar arasındaki süre esnemekte ve koruyucu bakımın ve kestirimci bakımın mantığı bozulmaktadır. Bu nedenle koruyucu bakım oluştuktan sonra koruyucu bakımın ve kestirimci bakımın tamamlanma süresi Temel Performans Göstergesi tarafından (TPG) takip edilmektedir. Yani koruyucu bakımında ve kestirimci bakımında bir maliyeti bulunmaktadır. SAP PM modülünde tanıtılan koyucu bakım ve kestirimci bakım periyotları bazı standartlara göre yapılabilmektedir. Bu standart uluslararası bir enerji şirketi tarafında hazırlanmış olup yayınlanmıştır. Bazı döner ekipmanlar için bakım standart tabloları aşağıda yer almaktadır. Fakat her enerji tesisi bu standarttı çalışma koşullarından ve üretim kapasitesinden veya ürettiği enerji türünden dolayı uygulayamamaktadır. Bu durumda ilgili bakım yöneticileri tarafından belirtilen bakım türleri ve bakım periyotları SAP PM modülünde tanımlanır. Her bakım sonucunda oluşan bakım maliyeti ve kayıp üretim zaman maliyetinin

koruyucu bakım ve kestirimci bakımlarda sunmuş olduğu avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırdım. Maliyet analizinin dışında enerji tesisinde döner ekipmanların arızi bakımlar arası ortalama süresi SAP PM sisteminde hesaplanarak takip altına alınarak raporlanır. Bu yöntem aşamasında aşağıdaki adımlar ve tanım yer almaktadır.

Tablo 3.2. TPG koruyucu bakımı [36]

Başlık	Koruyucu Bakıma Uyum Oranı
TPG Sınıfı	Günlük Planlı Bakım Yönetimi
Amaç	SAP içeresine dahil edilmiş bulunan KB iş emirlerinin arzu edilen zaman aralığında tamamlanıp tamamlanmadığını gösterir. (KB'ler 3 öncelikli yani tamamlama süresi 2 haftadır.)
Tanım	Durum esaslı ve/veya periyodik KB iş emirleri her hangi bir tesisin güvenilirliğinin arttırılmasında çok etkilidir. Söz konusu KB gereksinimlerinin tanımlanması amacıyla önemli çabalar harcanmakta (GMB, RTK, SIFpro vb. üzerinden) ve bunların beklentilere uyumluluğu kritiklik arz etmekte olup, gözlemlenmeleri önemlidir. Söz konusu KB'ların tamamlanması önceliği diğer tüm işlerin üzerindedir. (Acil işler hariç.)
Hedef	%100
Yetkili	Bakım Müdürü/Mühendislik Müdürü
Sorumlu	Bakım Saha Başmühendisleri
Hesaplama	Kor./Kest. Bakıma Uyum Yüzdesi = Termini gelip kapatılmış işlerin İnsan/saati / Termini gelmiş tüm Kor./Kest. Bakımların İnsan/saati
Veri Kaynağı	SAP (TPG-5)
Hesaplayan	Bakım Planlama Başmühendisi/Şefi
Açıklama	Mekanik/Elektrik/Enstrüman/Vibrasyon/Yağ/Buhar Kapanı/Termal sorumlu işyeri gruplarına ait veriler göz önüne alınır. Terminlemesi gerçekleştirilen tüm koruyucu bakımların planlanan bitiş tarihinden en geç 7 gün içerisinde tamamlanması sorgulanır.

Koruyucu bakımında ve kestirimci bakımında bir maliyeti bulunmaktadır. SAP PM modülünde tanıtılan koyucu bakım ve kestirimci bakım Bu çalışmamda her bakım sonucunda oluşan bakım maliyeti ve kayıp üretim zamanının maliyetinin koruyucu bakım ve kestirimci bakımlarda sunmuş olduğu avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırdım. Maliyet analizinin dışında enerji tesisinde döner ekipmanların arızi bakımlar arası ortalama süresi SAP PM sisteminde hesaplanarak takip altına alınarak raporlanır. Bu yöntem aşamasında aşağıdaki adımlar ve tanım yer almaktadır.

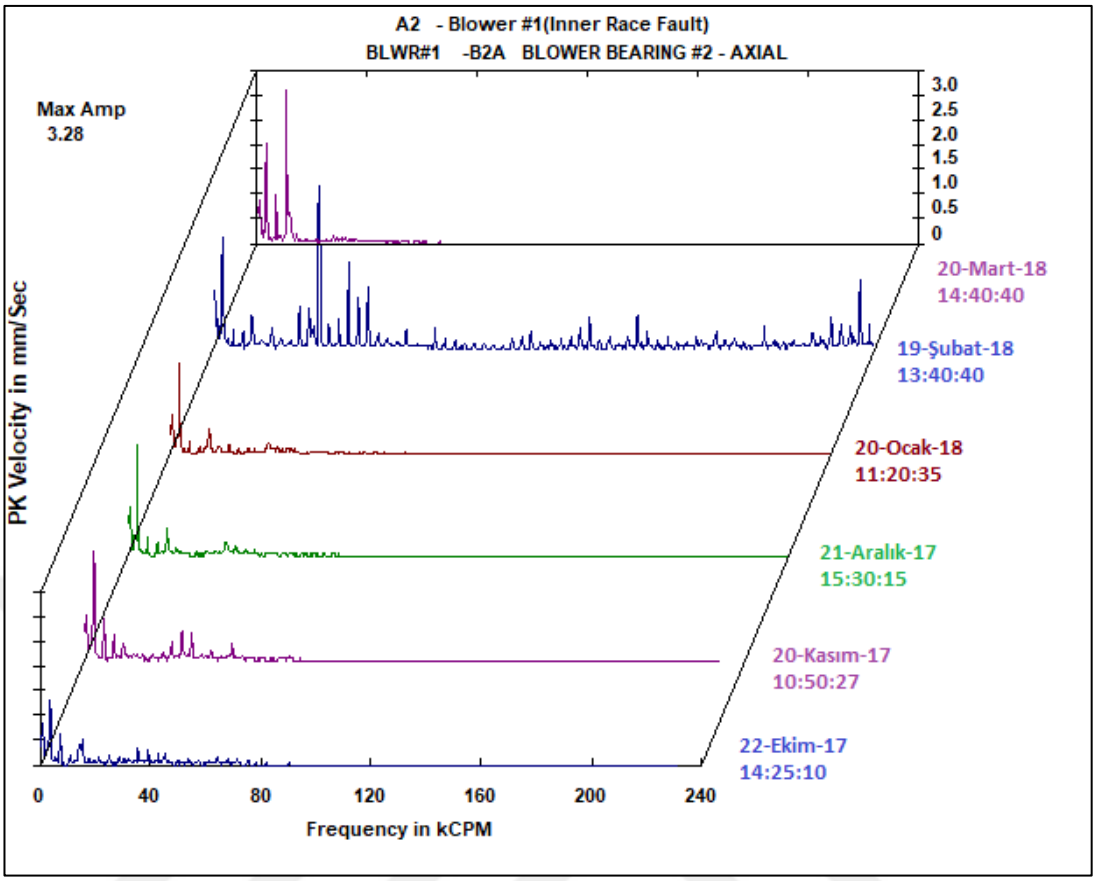
3.1.1. Titreşim (vibrasyon) bakımı

Enerji tesislerindeki pompa, kompresör ve türbinler ile motorlarda (elektrik motoru ve dizel motor) çalışma esnasında belirli periyodlar ile titreşim ölçümü 4 noktadan yapılır. Bu noktalar, içten yatay, içten dikey, dıştan yatay ve dıştan dikey olarak yapılmaktadır. Şekil 3.6'da titreşim ölçümü parametresinin dalga boyları gösterilmiştir. Bu parametre ölçüleri periyodik olarak döner ekipmanlardan ve motorlardan elde edilen parametre verileri ile analiz edilmiştir. Şekil 3.7'de belirli periyotlar ile yapılan ölçüm verilerinin grafik ekranında karşılaştırılması gösterilmiştir. Titreşim ölçümleri kestirimci bakım spektrum grafiği ile titreşim ölçüm analizleri Tablo 3.3'de ve Tablo 3.4'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Bu yöntem kullanılarak döner ekipmanlarda titreşim ölçümleri yapılmıştır. EK A'da detay Excel çalışması yer almaktadır [37,38].

Parameter-Based Exception Report

	Analiz Parametreleri	Trend Değeri	Alarm Kodu	% Arıza	% Öncekine Göre Değişim
01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-1/A					
MDD	Gün = 20.03.2018				
	21-40xRPM	2.873 mm/san	C	70.7	**838.3**
	DALGABOYU	6.928 G's	D	107.2	11.0
	21-40xRPM	2.873 mm/san	C	70.7	**838.3**
MIY	Gün = 22.02.2018				
	1-20. kHz	1.643 G's	C	54.8	77.6
	DALGABOYU	5.504 G's	C	85.1	5.5
	1-20. kHz	1.643 G's	C	54.8	77.6
MIE	Gün = 22.02.2018				
	DALGABOYU	6.682 G's	D	103.4	-34.8
	DALGABOYU	6.682 G's	D	103.4	-34.8
PID	Gün = 21.01.2018				
	CREST FAKTOR	4.095	C	63.3	11.6
	CREST FAKTOR	4.095	C	63.3	11.6
PDD	Gün = 21.01.2018				
	DALGABOYU	7.857 G's	D	**121.5**	-44.8
	CREST FAKTOR	4.319	C	66.8	22.7
	DALGABOYU	7.857 G's	D	**121.5**	-44.8
PDY	Gün = 20.12.2017				
	DALGABOYU	5.338 G's	C	82.6	7.3
	DALGABOYU	5.338 G's	C	82.6	7.3
PDP					
	MP DALGAFORM	3.113 G's	C	51.9	49.0
	MP DALGAFORM	3.113 G's	C	51.9	49.0

Şekil 3.6. Pompa ve elektrik motorunun titreşim ölçüm parametresi [38]



Şekil 3.7. Çoklu spektrum grafikleri [31]

Tablo 3.3. Spektrum grafiği ile titreşim analizi yönlendirme tablosu –1xRPM frekansı [32]

Eğer Baskın Titreşim Genliği, Radyal Düzlemde (Yatay ve Dikey alınan ölçümlerde) 1xRPM Frekansında	
Olası Problem	Uyarı – Not
Eksantrik Kasnak, Balanssızlık Kasnak	Kasnak gövdesi şafta göre işlenirken, merkezde ofset ya da açısal kaçıklık olabilir. İşlemin yapıldığı tezgâhtaki toleranslar bunu etkiler. Kasnak dökümünde, malzeme yığılmaları ya da hava boşlukları olabilir. Tezgâhta işlemler çok hassas yapılsa da belirtilen nedenden dolayı balanssızlık sorunu doğabilir.
Statik Balanssızlık Eş kuvvet çiftli balanssızlık Dinamik Balanssızlık	Şaft üzerinde her iki yatakta {1xRPM} frekansındaki tepecik değeri 3mm/san pk'ten büyükse ve yatay ile düşey arasındaki ölçüm oranı 0,25'den büyük ya da 4'ten düşük ise balanssızlık mevcuttur. Her iki yatakta; Yatayla yatay, düşeyle düşey arasındaki faz açısı farkı 0 dereceye yakın ise statik balanssızlık vardır. Yatayla yatay, düşeyle düşey arasındaki faz açısı farkı 180 derece civarında ise eş kuvvet çiftli balanssızlık vardır. Yatayla yatay, düşeyle düşey arasındaki faz açısı farkı başka bir açıda ise dinamik balanssızlık mevcuttur.
Düz Dişlide Balanssızlık	{1xRPM} frekansında tepecik ve GMF Dişli Kavrama frekansında {1xRPM} yan bantlarının olması [GMF=Diş Sayısı x RPM, frekansı]
Düz Dişlide Eksenel Kaçıklık	Yüksek GMF ve GMF harmonikleri
İleri aşamada Bilyalı-Masuralı Rulman Arızası	1xRPM frekansında, oluşan boşluk nedeni ile eksantrik hareketten kaynaklanan, baskın tepecik görünür. Rulman arıza frekanslarında tepecikler olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Tablo 3.3. (Devam) Spektrum grafiği ile titreşim analizi yönlendirme tablosu – 1xRPM frekansı [32]

Mekanik Gevşeklik / Çözülme	Eğer {0,5xRPM katlarında} tepecikler var ise, rulmanda /dönen hareketli parçalarda gevşeklik, {1xRPM} frekansındaki tepecik 2,5 mm/san pk'den büyük ise ve dönüş devri katlarında harmonik tepecik ailesi mevcut ise mekanik çözülme, Bir pompada, her çalıştırmada faz açıları değişiyor ise kanatlarda çözülme
Kırık Rotor Çubuğu	{1xRPM} ve {1xhat frekansı}, {5xhat frekansı}, {7xhat frekansı}ndaki olası tepeciklerin etrafında, {kutup sayısı x kayma frekansı}nda yan bant oluşmuş ise, [Hat Frekansı = Elektrik Besleme Frekenası (Genelde 50 Hz=3.000 CPM)] [Kayma Frekansı = Verilen elektrik frekansı – Çalışma devri frekansı] Motor boşta iken yan bantlar oluşmaz.
Eksantrik Rotor	{1xRPM}, {1x hat frekansı}, {2 x hat frekansı}, {7 x hat frekansı}ndaki olası tepeciklerin etrafında,{kutup sayısı x kayma frekansı}nda yan band oluşmuş ise, Motor boşta iken yan bandlar oluşur.
Dikey Rezonans	Eğer {1xRPM} frekansındaki tepecik değeri 3,8 mm/san pk'den büyük ise ve yatay ile düşey arasındaki oran 0,25'den küçük ise dikeyde rezonans mevcuttur.
Yatay Rezonans	Eğer {1xRPM} frekansındaki tepecik değeri 3,8 mm/san pk'den büyük ise ve yatay ile düşey arasındaki oran 4'den büyük ise rezonans mevcuttur. Montaj nedeni yatak yuvası ile rulman bileziği tam oturmuyordur. Bu nedenle dokunmayan yüzeyler çınlamaya girer.

Tablo 3.4. Spektrum Grafiği ile titreşim analizi yönlendirme tablosu–diğer frekanslar [32]

Radyal Düzlemde diğer baskın frekansların olası nedenleri	
1xRPM ve 2xRPM	Olası Neden: Açısal ve ofset kaçıklık, kaplin ayarsızlığı Uyarı: Kapline komşu yataklarda {2xRPM} frekansındaki tepecik, {1xRPM} frekansındaki teğeciğin 0,25'i kadar ise ve eksenelde aynı yatakta {1xRPM} frekansındaki tepecik 2,5 mm/san pk'den büyük ise.
2xRPM	Olası Neden: Kaymalı yatakta boşluğun artması Uyarı: Dönüş devri harmoniklerinde tepecikler olması beklenir.
0.5xRPM	Olası Neden: Rotorda, yatağın bastığı bölgede şaft üzerinde ezilme
Dönüş devrinin alt harmonikleri	Olası Neden: Kaymalı yatakta yağ filmi kırılması / yağ sirkülasyonunda problem Uyarı: Dönüş devri x 0;3 ile 0,49 frekansı bölgesinde görülür.

3.1.2. Yağ analizi ve görsel kontrol

Bu yöntemimizle döner ekipmanlarda kullanılan yağlar, organik yağlar, sentetik yağlar ve hybrid yağlardır. Kullanılan bu yağların ekipmanlardaki seviyelerinin kontrolleri, yağ haznelerinden numune alıp kontrolleri, yağ haznelerinde görsel kontroller ile sızdırmazlık kontrolleri yapılmaktadır. Bu periyotların belirlenmesi aşağıda yer alan döner ekipman türüne göre yapılmış olan tablolarda yer almaktadır. Bu tablolarda yapılması gereken saha kontrol periyotları, yağ kontrol ve tamamlama, koruyucu bakım periyotları yer almaktadır. Bu periyotlar hafta, ay ve yıl gibi süreler için belirlenmektedir. Gaz türbinleri ve buhar türbinleri yapmış oldukları saat üzerinden koruyucu bakımları belirlenmektedir. Ben çalışmamda yağ kontrolü

(yağ rengini, viskozitesini kontrolü), görsel kontrol ve sızdırmaz (conta, keçe vb.) elemanlarının kontrolü yapılacaktır.

Tablo 3.5. Döner ekipmanlarda madeni yağ bakım stratejisi [36]

Döner Ekipmanlarda Madeni Yağ Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti: Anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, kaçaklar, yağ seviyesi kontrolü ve doldurma işlemlerini izlemek için kullanılan operatör Cihazların normal aralıkta olduğunu doğrulayın	Tümü	1 Saat	Operetör Tarafından Sahadaki Döner Ekipmanların Kontrol Yapılmalı	Saha Kontrolü Her Vardiya Değişiminde Yapılmalı
	Görsel Kontrol				
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Yağ Seviyesi ve Yağ Kaçak/Sızıntısı Görsel Kontrolü	Tümü	1 Ay 3 Ay 6 Ay	Servis Tarafından Yapılacak Bakımlar	
	Dizel Motolar için Akü Kontorlü	Tümü	3 Ay		
	Direnç Kontrolü	Tümü	Planlı Duruşda		
Koyucu Bakım	Yağ Değişimi ve Kontrolü	Tümü	1 Yıl	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Yağ Kazanı Sızdırmazlık Elemanlarının Kontrolü	Tümü	1 Yıl	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
Arızi Bakım	Yok	Yok			

Tablo 3.6. Elektrik motorları bakım stratejisi [36]

Yüksek Gerilim Motorları Bakım Stratejisi PML201.01					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal çalışma koşullarının tespiti	Tümü	1 Ay	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Operatör tarafından anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, korozyon ve rapor kusurlarını izlenmesi.
Sözleşme Kampsamındaki Bakım	Titreşim İzleme	Tümü	3 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Sadece büyük ya da kritik makinelerde uzman satıcı tarafından analiz ve veri analizi yapılacaktır.
	HV motorun müdahaleci olmayan muayenesi		1 Yıl		
	HV motorunun müdahaleci muayenesi		2 Yıl		
	Güncel İmza Analizi		4 Yıl		Bu çalışma normalde, toplanan verileri toplamak ve analiz etmek için kendi özel ekipmanını kullanan özel bir Satıcı tarafından gerçekleştirilir.
	Kısmi Deşarj Analizi		4 Yıl		Bu çalışma normalde, toplanan verileri toplamak ve analiz etmek için kendi özel ekipmanını kullanan özel bir Satıcı tarafından gerçekleştirilir.
	Motor Korumanın spesifikasyon dahilinde olup olmadığını kontrol etmek için fonksiyonel test		4 Yıl		

Tablo 3.6. (Devam) Elektrik motorları bakım stratejisi [36]

Koyucu Bakım	Bekleme / Yedek motor servisini döndürme	Tümü	3 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Motor milleri dönecek. Motor yataklarının yamulmasını ya da Brinelling'i engellemek için. Mil 90 derece döndürülebilir.
	Büyük revizyon / rulman değişimi	Tümü	6 Yıl		
Arızi Bakım	Rulman değiştirme	Tümü			Yedek rulmanlar gerekli. Uzman tarafından olası revizyon.
	Büyük revizyon (Temizleme / yeniden kurma / geri sarma).	Tümü			Yetkili servis tarafından yapılacak revizyon.

Tablo 3.7. Döner pompa bakım stratejisi [36]

Döner Pompa Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti. Anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, kaçaklar, yağ seviyesi kontrolü ve doldurma için izleme operatörü Normal aralıkta ve log sonuçlarında enstrümanların olduğunu doğrulayın. Titreşimin izin verilen boru titreşim sınırlarının altında kalmasını sağlamak için boruları, boruyu ve bağlantı parçalarını yüksek titreşim açısından inceleyin. Sızdırmazlık sistemi ve sızıntı, uygun basınç, sıcaklık ve seviye kontrolü yapın.	Tümü	1 Gün	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Operatör tarafından anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, korozyon ve rapor kusurlarını izlenmesi.
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Durumu kontrol etmek için çevrimdışı titreşim izleme.	Vidalı pompa	1Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Sadece büyük ya da kritik makinelerde uzman satıcı tarafından analiz ve veri analizi yapılacaktır.
	Rulman Yağlama Rutin	Vidalı pompa	3 Ay		
	Üretilen hidrokarbon sızıntılarını kontrol edin.	Üretilen Hidrokarbonlar ACE Pompaları	1Ay		
	Üretilmeyen hidrokarbon sızıntılarını kontrol edin.	Üretilmeyen Hidrokarbonlar ACE Pompaları	1 Ay		
	Conta koruma sisteminin alarm verip test etmediğini test edin.	Tümü	1 Yıl		Bu çalışma normalde, toplanan verileri toplamak ve analiz etmek için kendi özel ekipmanını kullanan özel bir Satıcı tarafından gerçekleştirilir.
Koyucu Bakım	Döner pompa bakımı	Tümü	6 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Motor milleri dönecek. Motor yataklarının yamulmasını ya da Brinelling'i engellemek için. Mil 90 derece döndürülebilir.
	Döner pompa Yağ değişimi.	Tümü	1 Yıl		
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		
Arızi Bakım	Yok	Yok			Yedek rulmanlar gerekli. Uzman tarafından olası revizyon.

Tablo 3.8. Pistonlu kompresör bakım stratejisi [36]

Pistonlu Kompresör Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Normal durumu kontrol edin	Tümü	1 Saat	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Bölüm 5'te açıklanan görev
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Pistonlu Kompresör Görevleri	Tümü	1Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Pistonlu Kompresör Yağlama Yağı Örneklemesi		3 Ay		
	Dokun ve Temel Gözlemeyi Hissedin		1Ay		
	Durum Tabanlı Veri Toplama		1 Ay		
	Üretilen hidrokarbonların sızıntısını kontrol edin	Üretilen Hidrokarbonlar	1 Yıl		Performans Standardı Frekans bulgulara ve kritikliğe dayanarak rahatlatılabilir
	Üretilmeyen hidrokarbonların sızıntılarını kontrol edin	Üretilmeyen Hidrokarbonlar SCE			Performans standardı
	Titreşim izleme gezisi operasyonun olup olmadığını kontrol etmek için kontrol	Döner kompresler sor SCE			Performans Standardı Sadece “on line” titreşim izleme kurulmuşsa uygulanabilir
	Tehlikeli bir bölgede kaynak tutuşması riskini en aza indirmek için kontrol	SCE Tehlikeli bölge kayış tahrikli kompresörler			Performans Standardı Çok Yaygın Değil
Koyucu Bakım	Pistonlu Kompresör Minör Revizyon	Tümü	6 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Pistonlu Kompresör Binbaşı Revizyonu	Tümü	1 Yıl		
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		İşlem birimi geri dönüşü sırasında
Arızi Bakım	Yok	Yok			Yok

Tablo 3.9. Yatay ve dikey pompa bakım stratejisi [36]

Yatay ve Dikey Pompa Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti. Anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, kaçaklar, yağ seviyesi kontrolü ve doldurma için izleme operatörü Normal aralıkta ve log sonuçlarında enstrümanların olduğunu doğrulayın. Titreşimin izin verilen boru titreşim sınırlarının altında kalmasını sağlamak için boruları, boruyu ve bağlantı parçalarını yüksek titreşim açısından inceleyin. Sızıntı ve uygun basınç, sıcaklık ve seviye için conta sistemini kontrol edin	Tümü	1 Yıl	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Titreşim İzleme	Tümü	1 Gün	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Frekans kritikliğe bağlıdır Tüm SCE Pompaları izlenmelidir
	Yatağın yağlanması / yağlanması	Gres yağlamalı yatak	1 Ay		
	Yağ örnek analizi	Tümü	3 Ay		
	Üretilen hidrokarbonların sızıntısını kontrol edin	SCE Üretilen Hidrokarbonlar	3 Ay		Standart Performans
	Üretilmeyen hidrokarbonların sızıntılarını kontrol edin	SCE Üretilmeyen Hidrokarbonlar	1 Ay		
	Firewater deşarj basıncını ve debisini sağlamak için şartname dahilinde		1 Ay		
	Yangın Pompasının talep üzerine başlatılmasını sağlamak		1 Yıl		
	Yangın Pompasının görünür alarmı çalmasını sağlamak	SCE Yangın Pompaları	1 Ay		Yangın Pompası Başlatma Testi Sırasında Performans Standardı
	HVAC Sisteminin çalışabilmesini sağlamak		1 Ay		Standart Performans
	Yangın pompası yardımcılarının tatmin edici olmasını sağlamak		1 Ay		Yangın Pompası Başlatma Testi Sırasında Performans Standardı
	Conta koruma sistemi fonksiyonlarının testi	Tümü	1 Yıl		Performans Standardı Sadece bunu içeren çok kademeli pompalara uygulanabilir
Koyucu Bakım	Santrifüj Pompa Bakım	Tümü	6 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Santrifüj Pompa Yağının Değiştirilmesi		1 Yıl		
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		işlem birimi boyunca dönün
Arızi Bakım	Yok	Yok			Yedek rulmanlar gerekli. Uzman tarafından olası revizyon.

Tablo 3.10. Döner kompresör bakım stratejisi [36]

Döner Kompresör Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti. Anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, kaçaklar, olağandışı titreşim, yağ seviyesi ve yağ basıncı ve yağ filtresi diferansiyel basınç kontrolü ve doldurma, kayış gürültüsü, kayma kayışını izlemek için operatör çalışma koşullarının normal aralıkta olduğunu ve anormal sonuçların kaydedildiğini doğrulayın. Yağın temiz ve susuz olup olmadığını kontrol edin. Olağandışı yüksek titreşim için boruları, boruyu ve bağlantı elemanlarını inceleyin. Conta destek sistemini kontrol edin. Deşarj yağı koaleseri diferansiyel basıncını (sadece ıslak vidalı kompresör) kontrol edin. Sıvı halkası seviyesini ve su kalitesini kontrol edin (sadece sıvı halka kompresörü) Aşama aşamasındaki sıvı kontrolü (sadece Hava servisi)	Vidalı kompresör	1 Saat	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Vardiya başına bir kez
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Vidalı Kompresörün Görsel İncelenmesi	Vidalı kompresör	1 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Vidalı Kompresörler Durum İzleme		3 Ay		
	Üretilen hidrokarbonların sızıntısını kontrol edin	Üretilen Hidrokarbonlar SCE	1 Ay		Performans standardı
	Üretilmeyen hidrokarbonların sızıntılarını kontrol edin	Üretilmeyen Hidrokarbonlar SCE	1 Yıl		
	Conta koruma sistemi alarmlarını sağlamak ve işletmek için Fonksiyonel Test	SCE	1 Yıl		
	Titreşim izleme gezisi operasyonun olup olmadığını kontrol etmek için kontrol	SCE	1 Yıl		
Koyucu Bakım	Vidalı Kompresör Servisi	Vidalı kompresör	1 Yıl	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		İşlem birimi geri dönüşü sırasında
Arızi Bakım	Yok	Yok			Yok

Tablo 3.11. Santrifüj kompresör bakım stratejisi [36]

Santrifüj Kompresör Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti. Anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman, sızıntı, olağandışı titreşim, yağ seviyesi ve basınç ve yağ filtresi farkı basıncı kontrolü ve doldurulması için operatör. Çalışma koşullarının normal aralıkta olduğunu doğrulayın ve anormal sonuçları kaydedin. Yağın temiz ve susuz olup olmadığını kontrol edin. Olağandışı yüksek titreşim için boruları, boruyu ve bağlantı elemanlarını inceleyin. Conta destek sistemlerini kontrol edin. (örn. Conta yağı, conta gazı (conta gazı filtresi / koaleser basınç farkı dahil), tampon gazı, ayırma gazı, birincil havalandırma, ikincil havalandırma)	Tümü	1 Saat	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Vardiya başına bir kez
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Denge hattının online testi	Tümü	1 Yıl	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Üretilen hidrokarbonların sızıntısını kontrol edin	Üretilen Hidrokarbonlar SCE	1 Ay		Performans standardı
	Üretilmeyen hidrokarbonların sızıntılarını kontrol edin	Üretilmeyen Hidrokarbonlar SCE	1 Yıl		
	Conta koruma sistemi alarmlarını sağlamak ve işletmek için Fonksiyonel Test	Tümü SCE	1 Yıl		Performans Standardı Hizala ile çevrilir
	Titreşim izleme gezisi operasyonun olup olmadığını kontrol etmek için kontrol		1 Yıl		Performans Standardı Sadece “on line” titreşim izleme kurulmuşsa uygulanabilir
Koyucu Bakım	Santrifüj Kompresör Hizmeti	Tümü	3 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	PM görevi optimize edilmedi.
	Saha Revizyonu Varil Kompresörü	Varil Kompresörü	6 Yıl		Kritiklik, boyut, hizmete bağlıdır ve zamanlamayı değiştirir
	Mağaza Revizyon Varil Kompresör				
	Alan Revizyon Yatay split Kompresör	Yatay Bölmeli Kompresör			
	Mağaza Revizyon Yatay bölünmüş Kompresör				
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		İşlem sırasında arızayı düzeltin
Arızi Bakım	Yok	Yok			Yok

Tablo 3.12. Buhar türbini bakım stratejisi [36]

Buhar Türbini Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti. Operatör anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman ve bağlantıları, sızıntıları, yağ seviyesini kontrol etmek ve yağdaki suyu kontrol etmek için kontrol eder. Aletlerin normal aralıkta ve log sonuçlarında olduğunu doğrulayın. Titreşimin izin verilen boru titreşim sınırlarının altında kalmasını sağlamak için boruları, boruyu ve bağlantı parçalarını yüksek titreşim açısından kontrol edin, buhar bezi eğitim sisteminde vakum kontrolü yapın. Ana kondansatörde vakum ve seviye kontrolü yapın. buhar kapanlarını kontrol edin.	Tümü	1 Saat	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Vardiya başına bir kez
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Görsel Bütünlük Denetimi (Üretilmeyen Hidrokarbonlar)	SCE	1 Yıl	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Performans standardı
	Fonksiyon Testi Aşırı Hız Koruması		1 Yıl		Her bir dönüşte Performans Standardı Sınıf 1 için hazır değil
	Titreşim İzleme Gezisi Koruması		1 Yıl		Performans Standardı Sadece “on line” titreşim izleme kurulmuşsa uygulanabilir Planla ilgili sırayla hizala Önleyici
Koyucu Bakım	Egzersiz açma valfi	Sınıf 1 Buhar Türbinleri	1 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Trip Valfı Alıştırması
	Koruyucu Bakım Buhar Türbini	Sınıf 2 Buhar Türbinleri	1 Yıl		
			5 Yıl		
		Sınıf 1 Buhar Türbinleri	1 Ay		Zamanlanmış süreç birimi dönüşümü sırasında
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		İşlem birimi sırasında etrafında dön
	Çevrimdışı titreşim izleme	Online titreşim izlemesi olmayan türbinler	1 Ay		
Arızi Bakım	Yok	Yok			

Tablo 3.13. Gaz türbini bakım stratejisi [36]

Gaz Türbini Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti.	Tümü	1 Gün	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	Saha Operatörü Tarafından Yapılır.
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Görsel Bütünlük Denetimi (Üretilmeyen Hidrokarbonlar)	Tümü	1 Ay	Risk Temelli Koruma Analizi (RBI)	Performans standardı
	Fonksiyon Testi Aşırı Hız Açma Koruması		1 Yıl		Performans standardı Yerel düzenlemelere ve güvenlik standartlarına uygun olarak gerçekleştirilecek faaliyet sıklığı
	Titreşim İzleme Gezisi Koruması		1 Yıl		Performans standardı Sadece “on line” titreşim izleme kuruluysa uygulanabilir
	Üretilen hidrokarbonların sızıntısını kontrol edin		1 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
Koyucu Bakım	Gaz Türbini Denetimi	GE LM1600	8000 Saat	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	
	Saha Revizyon Gaz Türbini	GE LM1600	30000 saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Mağaza Revizyonu Gaz Türbini	GE LM1600	60000 saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Gaz Türbini Denetimi	GE LM2500	8000 Saat		
	Gaz Türbini Denetimi	GE LM6000	8000 Saat		
	Saha Revizyon Gaz Türbini	GE LM2500 / LM6000	30000 saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	işçilik Revizyonu Gaz Türbini	GE LM2500 / LM6000	60000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Gaz Türbini Denetimi	RB211	8000 Saat		
	Saha Revizyon Gaz Türbini	RB211	30000 saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	İşçilik Revizyonu Gaz Türbini	RB211	60000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Gaz Türbini Denetimi	Ruston TB5000	6 Ay		
	Gaz Türbini Denetimi	Ruston TB5000	1 Yıl		

Tablo 3.13. (Devam) Gaz türbini bakım stratejisi [36]

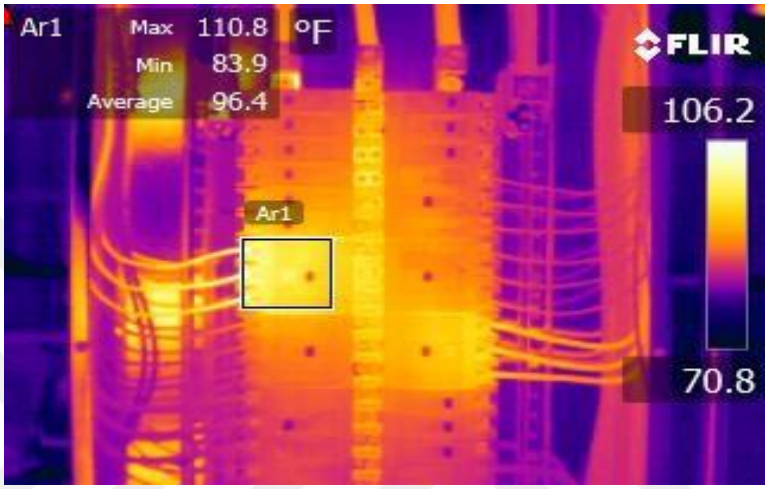
Koyucu Bakım	Saha Revizyon Gaz Türbini	Ruston TB5000	30000 saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	İşçilik Revizyonu Gaz Türbini	Ruston TB5000	60000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Saha Revizyon Gaz Türbini	Tornado/ Typhoon	8000 Saat		
	Saha Revizyon Gaz Türbini	Tornado	30000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	İşçilik Revizyonu Gaz Türbini	Tornado	60000 Saat		
	Saha Revizyon Gaz Türbini	Typhoon	30000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	İşçilik Revizyonu Gaz Türbini	Typhoon	60000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Revizyon Gazı Türbini	Centaur 50	500 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Revizyon Gazı Türbini	Centaur 50	2000 Saat		Frekans, Doğal gaz yakıt taban yükü işletim profili için, diğer profiller, özel saha konfigürasyonlarında ayarlanmalıdır.
	Revizyon Gazı Türbini	Centaur 50	4000 Saat		
	Revizyon Gazı Türbini	Centaur 50	8000 Saat		
	Gaz Türbini Denetimi	Centaur 50	2 Yıl		
	Gaz Türbini Denetimi	Mars 90100 1B-DS	32000 Saat		
	Gaz Türbini Denetimi	Mars 90100 1B-DS	1 Ay		
	Gaz Türbini Denetimi	Mars 90100 1B-DS	6 Ay		
	Gaz Türbini Denetimi	Mars 90100 2B-WS / Titan 130	1 Yıl		
	Gaz Türbini Denetimi	Mars 90100 2B-WS / Titan 130	1 Ay		
	Titreşim izlemeyi kalibre etme	Titreşim izleme	1 Ay		İşlem birimi geri dönüşü sırasında
Arızi Bakım	Yok	Yok			

Tablo 3.14. Motor bakım stratejisi [36]

Motor Bakım Stratejisi					
Tipi	Amaç	Kapsam	Periyot	Yöntem	Öneri
Operatör Kontrolü	Anormal durumun tespiti. Operatör anormal gürültü, sıcaklık, gevşek ekipman ve bağlantıları, sızıntıları, yağ seviyesini kontrol etmek ve yağdaki suyu kontrol etmek için kontrol eder. Aletlerin normal aralıkta ve log sonuçlarında olduğunu doğrulayın. Titreşimin izin verilen boru titreşim sınırlarının altında kalmasını sağlamak için boruları, boruyu ve bağlantı parçalarını Anormal durumun tespiti. Anormal gürültü, korozyon, sıcaklık, gevşek ekipman, kaçaklar, olağandışı titreşim, soğutma sıvısı seviyesi ve karter yağ seviyesi kontrolü ve doldurma, kayış gürültüsü, kayma kayışını izlemek için kullanılan operatör. Aletlerin normal aralıkta ve log sonuçlarında olduğunu doğrulayın. Hataları bildirin. ksek titreşim açısından kontrol edin, buhar bezi eğitim sisteminde vakum kontrolü yapın. Ana kondansatörde vakum ve seviye kontrolü yapın. buhar kapanlarını kontrol edin.	Sürekli çalışan tüm motorlar	1 Gün	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	
	Operasyonel güveni sağlamak için dayanıklılık testi mevcut ve gerektiğinde motor tasarlanmış yedek olarak çalışacak	Tümü	6 Ay	Operetör Tarafından Sahada yapılan kontroldür.	
Sözleşme Kapsamındaki Bakım	Üretilmeyen hidrokarbonların sızıntılarını kontrol edin	Üretilmeyen hidrokarbonlar SCE	1 Ay	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Performans standardı
	Taşınabilir ekipmanla titreşimi kontrol edin	Tümü	1 Ay		
	Yağ örnek analizi	Tümü	3 Ay		Yağ değişimi başına 3 ayda bir kere veya hangisi önce gelirse
	Fonksiyon Testi Aşırı Hız Koruması	SCE	1 Yıl		OST Politikasına göre Performans Standardı Sınıf 3 ekipmanı
Koyucu Bakım	Muayene motoru	Tümü	1000 Saat	Güvenirlik Merkezli Bakım (RCM)	Her 1000 çalışma saati
	2000 saat çalıştıktan sonra motorun servisi		2000 Saat		Her 2000 çalışma saatleri
	8000 çalışma saatinden sonra motorun servisi		8000 Saat		Her 8000 çalışma saatleri
	En son revizyon		16000 ile 24000 Saat		Yüksek Hızlı Motorlar: 16K Orta Hız Motorları: 24K
	Büyük revizyon		32000 ile 48000 Saat		Yüksek Hızlı Motorlar: 32K Orta Hız motorları: 48K Düzeltici
Arızi Bakım	Yok	Yok			

3.1.3. Termografi (termal çekim)

Enerji tesislerinde döner ekipmanlara hareket kabiliyeti veren elektrik motorlarına ve uygun görülen kritik ekipmanlara uygulanan kestirmci bakım yöntemidir. Şekil 3.8'de termal çekim örneği görülmektedir. Bu yöntemi yapmamızdaki amaç elektrik motorunun arızi bakım ve tehlikeli bir durum oluşmasının önüne geçmek için enerji tesislerinde uyguladığımız bir yöntemdir.



Şekil 3.8. Termal çekim görüntüsü [39]

3.2. Bakımlar Arası Ortalama Süre (BAOS)

Bakımlar arası ortalama süre hesabı, ekipmanın yıllık bakımlarının ortalama olarak kaç ayda bir gerçekleştiğini ifade eder. Arıza sıklığıyla ilgili önemli bir bilgi sağlar ve aylık olarak raporlanarak takip edilir. İyi bir bakım stratejisi ile arızalar arasındaki sürenin artırılması sağlanır. Arızi bakımların azaltılması ve bakım kalitesinin artırılması ile ekipmanın emre amadeliği artar. Bu da üretim verimliliğini artırıp işletmeye katkı sağlayan bir metot olduğundan çalışmamda bu yönteminde uygulanmasına yer verilmiştir. BAOS hesaplandığı başlıca ekipmanlar ve yöntem hakkında bilgileri aşağıda maddeler halinde ve Tablo 3.15'de yer almaktadır [36].

- Pompalar
- Kompresörler
- Türbin

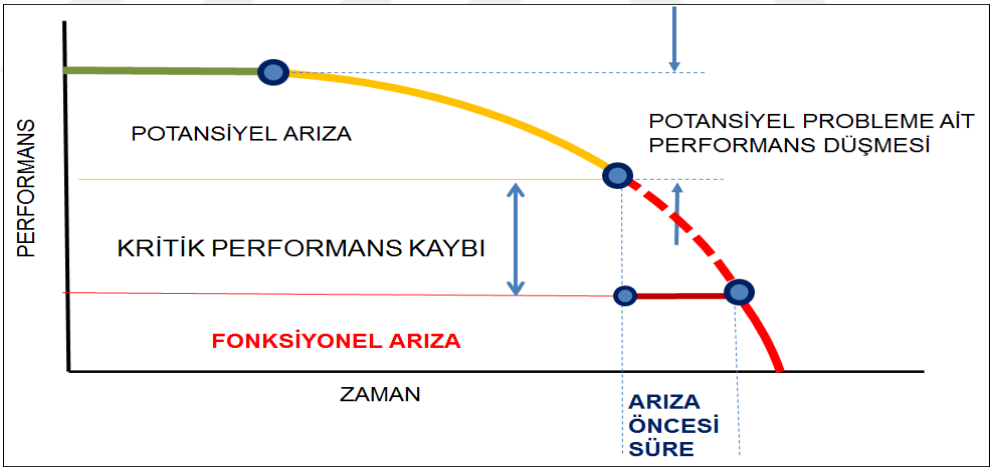
Tablo 3.15. Bakımlar arası ortalama süre [36]

Başlık	Döner Ekipman (pompa, kompresör, türbin) Bakımlar Arası Ortalama Süresi
Sınıfı	Ekipman Güvenirliği
Amaç	Ekipmanların güvenilir hale gelip gelmediğinin anlaşılması, bakım stratejilerinin etkililiğinin gözlemlenmesi.
Tanım	BAOS, Ekipmanların güvenirliğindeki eğilimlerin gözlemlenmesi için kullanılacaktır. Örneğin, pompalar gittikçe daha fazla mı yoksa daha az mı güvenirliğe sahip olmaktadırlar? Bakım stratejisi etkili midir, yoksa değerlendirilmeli midir? Her hangi bir rafineri veya üretim ünitesi, bir diğerine kıyasla ne durumdadır? Bu gösterge aynı zamanda, işletme kabiliyetini, tasarım teknolojisinin seviyesini, etkili sistem entegrasyonu & işletimini, koruyucu bakım stratejilerini & bunların etkinliğini de içermektedir.
Hedef	Şirketin faaliyet hedeflerine göre tespit edilir.
Yetkili	Bakım Müdürü/Mühendislik Müdürü
Sorumlu	Enerji Ünite Sorumlusu, Döner Ekipman ve Mekanik Bakım Başmühendis/Şefleri
Hesaplama	BAOS=12 x Toplam Döner Ekipman (pompa, kompresör, türbin) Sayısı / Son 1 Yıldaki Döner Ekipman (pompa, kompresör, türbin) Bakımı Sayısı
Ölçme Sıklığı	Aylık
Veri Kaynağı	SAP PM TPG ZBAOS Raporu
Hesaplayan	Bakım Planlama Başmühendisi/Şefi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

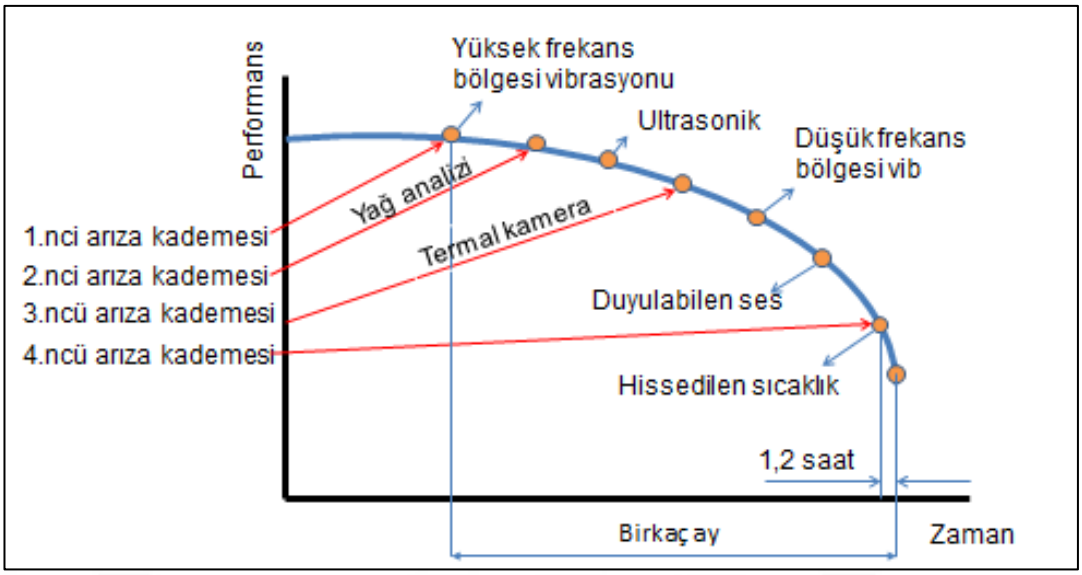
4.1. Koruyucu Bakım

Koruyucu bakım uyguladığımız döner ekipmanlar ile motorlarda ve SAP PM bakım sisteminde kayıtlı olan arızi bakım iş taleplerini bakım esnasında tüketilen insan/saat gücünü, malzeme sarfiyat miktarını, bakıma harcanan malzeme, işçilik maliyetleri ve bakımdan dolayı doğan üretim kayıp maliyetlerini inceledik. Bir döner ekipmanda belli bir fonksiyonel arıza başlayana kadar ekipman performansındaki değişimin eğrisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Arızi gelişim grafiğinde de gösterildiği üzere fonksiyonel arızalar genellikle aniden ortaya çıkmaz ve belli bir zaman içerisinde etkilerini kademeli olarak arttırır. Koruyucu bakım uyguladığımız döner ekipmanlara belirli analiz ve gözlem işlemleriyle, olası arızaların uzun süreli duruşlara ve pahalı bakım faaliyetlerine neden olmadan öngörülmesi ve arızaların giderilmesi için gerekli malzeme ve zaman planlamasının önceden yapmış olmamızdır.



Şekil 4.1. Arızanın gelişimi ile ekipman performansındaki değişim [40]

Bir döner ekipmandaki arızanın gelişimi dört kademeden oluşmaktadır. Şekil 4.2'de görülmekte olan arıza kademlerinin tespitini koruyucu bakım yöntemi ve kestirimci bakım yöntemi uygulanarak tespit edilen yöntemdir. Birinci kademesinde ekipman üzerinde yapılan vibrasyon analizlerinde çok yüksek frekanslarda yüksek vibrasyon değerleri tespit edilir. Bu nokta arızanın başlangıç yaptığı noktadır. İkinci kademesi detaylı yağ analizi yapmaktır. Üçüncü kademesi termal kamera çekimleri ile kontroller. Dördüncü kademesi duyulabilen seslerdir. Örnek pompa fan sürtmesi ile pompa gövdesinde ve fanında sürtmeden kaynaklı aşınmadan oluşan seslerdir.



Şekil 4.2. Arızanın oluşma kademeleri ve koruyucu bakım analizleri sıralaması [40]

Arızaların oluşmaması için koruyucu bakım ve kestirimci bakım uygulanarak tespit edildi. Bu arızalar tespit edilemediği veya edildiği durumlarda ekipmanın kritikliğinden kaynaklı olarak işletme tarafından bakıma verilemediği durumlarda yaşanan arızi durumlarda tespit edilmiştir. Döner ekipmanların koruyucu bakım ve oluşan arızi bakımlarda tespit edilen arızalar ve olası nedenleri şöyle sıraladık;

- Yatak %20-40
- Kaplin %30-45
- Mekanik Seal %25-40
- Balansızlık %15-20
- Wear-Ring %10-15
- Diğer %10-15

Bir Pompada görülen problem yukarıda belirtilen mekanik sebepler haricinde zorlu akışkan karakteristiğine bağlı olarak da oluşan Şekil 4.3'de bir kostik pompasının fanında mahsulün asidik yapısı nedeniyle oluşan erozyon gösterilmiştir. Şekil 4.4'de ise yüksek miktarda katı parçacık içeren mahsulün pompa gövdesinde yaptığı erozyon gösterilmiştir. [40-45]



Şekil 4.3. Kostik pompa fanında uzun süre çalışma sonrasında oluşan erozyon



Şekil 4.4. Mahsul içerisindeki katı partiküllerin pompa gövdesi üzerinde yaptığı erozyon (Mahsul katalist içermektedir)

4.1.1. Pompa basmıyor veya az basıyor

- Tesisatın sürtünme kayıpları (direnci) proje aşamasında hesaplanan değerin üstünde olabilir.
- Emme yüksekliği fazla olabilir.
- Fan, salyangoz, basma hattı tıkanmış olabilir.
- Dönüş yönü ters olabilir.
- Emme borusunda hava kalmış olabilir.
- Emme boru bağlantılarından içeriye hava sızıyor olabilir.
- Tesisatın toplam statik yüksekliği, pompanın basma yüksekliğinden fazla olabilir.
- Devir sayısı yetersiz olabilir.
- Emiş hattı vakum altında olan pompalarda sızdırmazlık seallerinden içeriye hava sızıyor olabilir.
- Pompa çalışmaya başlamadan önce emme hattı mahsul ile doldurulmamış olabilir.

- Filtre ve dip klapesi (havuzdan emiş yapan pompalarda) tıkanmış olabilir.
- Paralel çalışması istenen pompalar paralel çalışmaya standardına uygun olmayabilir.
- Emmiş hattının çapı fazla küçük ve yetersiz olabilir.
- Sıvının viskozitesinde artmış olabilir.
- Fan aşınmış veya tıkanmış olabilir.
- Pompa içinde wear ring aşınmaları nedeniyle aşırı by-passlar olabilir.
- Basma hattı tıkalı olabilir.

4.1.2. Pompa bir süre çalıştıktan sonra duruyor

- Pompa çalışmaya başlamadan önce emme hattı vanası kapalı, kısık kalmış veya hat mahsul ile doldurulmamış olabilir.
- Emme hattında hava kalmış olabilir.
- Emme hattına hava sızıyor olabilir.
- Pompayı basmaya başladığımızda, emme tarafında ki mahsul seviyesi düşerken, sıvı ile birlikte hava emiyor olabilir.

4.1.3. Motor standardından fazla enerji tüketmektedir

- Motor devir sayısı normalden fazla olabilir.
- Dönüş yönü ters olabilir.
- Sistemin toplam manometrik yüksekliği, pompanın nominal manometrik yüksekliğinden eksik veya fazla olabilir. Yanlış manometrik yükseklik en büyük etkendir.
- Sıvının viskozitesi ve özgül ağırlığı yükselmiş olabilir.
- Fan tıkanmış olabilir.
- Pompanın eğilmiş mil tarafında veya dönen kısımlardaki sabit kısımları arasında sürtünmeler olabilir.
- Wear-ring klerensi fazla veya artmış olabilir.
- Salmastra fazla sıkılmış olabilir.
- Kaplin ayarı doğru olmayabilir.
- Yataklarda problem olabilir.

4.1.4. Pompa yüksek vibrasyonlu çalışmaktadır

- Pompa ve emme hatlarında hava cepleri kalmış olabilir veya emme hatları hatalı olabilir.
- Emme yüksekliği fazla geldiğinde emme tarafı sıvının buharlaşma basıncının altına inilirse kavitasyon oluşur.
- Filtresi yetersiz veya kısmen tıkanmış olan Dip klapesi, emme hattında fazla yük kaybına neden olabilir.
- Emme borusunun girişi olması gereken kadar mahsul ile dolmamış olabilir.
- Pompa nominal debisinin çok altında veya üstünde çalışıyor olabilir.
- Fan tıkanmış olabilir.
- Pompa / Motor kaplin ayarı bozuk veya pompa mili eğilmiş olabilir.
- Yatak problemleri artmış, iyi yağlanmamakta veya fazla ısınmış olabilir.
- Rotor balansı bozuk olabilir.
- Döner kısımlar ile sabit olan kısımlar arasında sürtünme olabilir.
- Pompanın temel oluşumu yeterli derecede sağlam olamayabilir.
- Emme ve basma heder bağlantılarında stres olabilir veya supportlar yetersiz olabilir.

4.1.5. Çok sık yatak problemi yaşanmaktadır

- Kaplin ayarı bozuk veya pompa mili eğilmiş olabilir.
- Yatakların montajında kaçıklık olabilir..
- Rotor balansı bozuk olabilir.
- Yataklarda yağlama düzgün olmayabilir veya pompa yağsız çalışıyor olabilir.
- Fan üzerinde olması gereken balans delikleri delinmediği ve yetersiz olması nedeniyle eksenel kuvvetler dengelenemiyor olabilir.
- Rulman tipleri çalışma koşullarına uygun olmayabilir.
- Pompa temeli yeterince sağlam olmayabilir.

4.1.6. Pompa fazla ısınmaktadır

- Pompanın bastığı debi normal debinin çok altında olabilir.
- İki paralel bağlı pompa, birlikte paralel çalışmaya uygun olmayabilir.
- Döner kısımlar ile sabit olan kısımlar arasında sürtünmeler olabilir.
- Yatak problemi artmış veya mil eğilmiş olabilir..
- Eksenel kuvvetler dengelenemiyor olabilir.

- Salmastralar aşırı sıkılmış olabilir.
- Pompa titreşimli çalışıyor olabilir.
- Pompa kapalı veya çok kısık vanada çalışıyor olabilir.

4.1.7. Pompada sıkça yatak, şaft ve motor problemi olmaktadır.

- Emme yüksekliği fazla, emme tesisatı hatalı veya emiş yeterince beslenemiyor olabilir.
- Kaplin ayarı bozuk olabilir.
- Sistemin manometrik yüksekliği yanlış hesap edilmiş olabilir. Pompa dizayn değerlerinde çalışmıyor olabilir.
- Pompa karakteristik eğrisinin çok sağında ve verimsiz bölgede çalışıyor olabilir.
- Check valf ve vanada oluşan kaçaklardan ötürü pompa durunca geri akıştan ötürü ters dönüyor ve mil somunu bu sebeple çözülüyor olabilir
- Pompanın yatak montajı hatalı veya mili eğri olabilir.
- Pompanın mil çapı uygun olmayabilir.
- Wear-ring kleransı çok artmış olabilir.
- Hatalı rulman seçilmiş olabilir.
- Yataklar yeterince yağlanamıyor olabilir.
- Fan balans delikleri delinmemiş veya fanın balans kanatçıkları doğru dizayn edilmemiş olabilir.
- Motorun fanının kanatları arasına büyük katı parçalar girmiş olabilir.
- Pompa sık sık devreye girip devreden çıkıyor olabilir.
- Motor hatalı seçilmiş (gücü uygun değil) olabilir.

4.1.8. Motor ana kesicisi açıyor

- Şalter gerekli akım için küçük seçilmiş olabilir.
- Motor pompaya uygun seçilmemiş olabilir.
- Motor arızalı olabilir.
- Şebeke geriliminde anormal dalgalanmalar olabilir.
- Pompa sıkışmış veya kazıklamış olabilir.

4.2. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakımları bakım sisteminde kayıtlı olan periyot aralıklarında yaparak bakım öncesi olası yaşanacak arızilerin önüne geçilmiştir. Döner ekipmanlara ve

motorlara uygulanan kestirimci bakımlar ve bazı tespit edilen ekipman bazlı durumları arızi olarak yaşanması durumunda yaşanan harcanan insan/saat gücünü, malzeme sarfiyat miktarını, bakıma harcanan malzeme, işçilik maliyetleri ve bakımdan dolayı doğan üretim kayıp maliyetlerini karşılaştırdık.

4.2.1. Titreşim (vibrasyon) bakımı

Bakım sistemi SAP PM'de döner ekipmanlar ve motorlar için kayıtlı olan periyotlarda titreşim ölçümleri yapılarak tespit edilen arızi durumları bulunmaktadır. Örnek olarak ekipman çalışma devri 3000 dev/dak ise, 100.000 veya 150.000 cpm'de vibrasyon değeri bir peak (yüksek değer) yapar. Bu noktada arıza yüksek gürültü veya bir ısınma şeklinde kendini göstermez ve fark edilmesi sadece vibrasyon analizi ile muhtemeldir. Bu durumlar tespit edildikten sonra koruyucu bakım teknisyeni tarafından arızi durumunu belirten bir koruyucu bakım iş talebi yapılarak olası büyük arızanın önüne geçilmiş olup enerji tesisinin sürekliliği sağlanmış ve mali kayıp yaşanmamasında büyük katkısı olmuştur. Döner ekipmanlarda ve motorlarda tespit edilen arızi durumlara yazılan bakım iş taleplerini Tablo 4.1'de bazıları yer almaktadır [35-40].

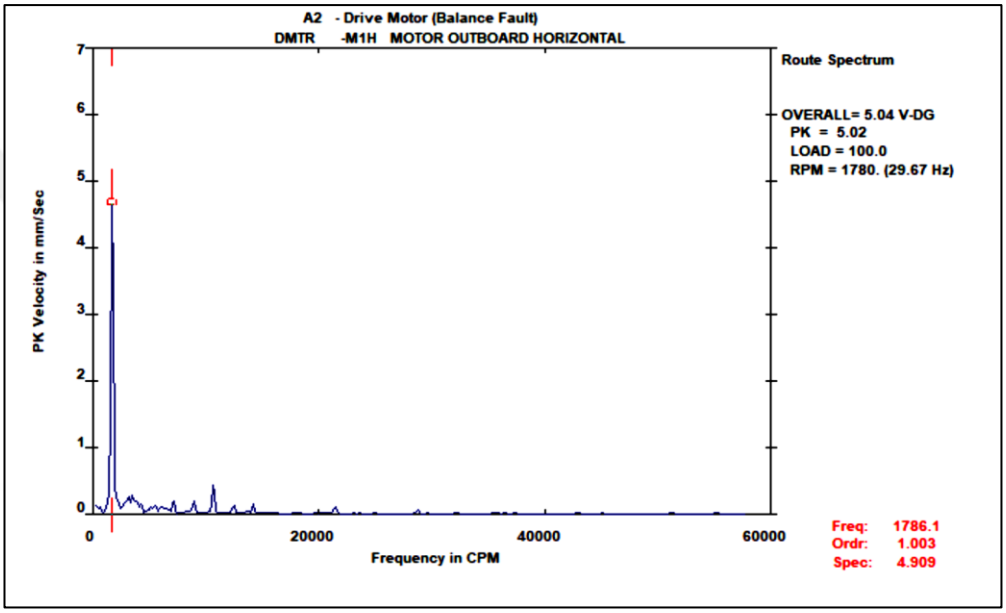
Tablo 4.1. Titreşim ölçümü sırasında belirlenen arızi listesi

NO	TARİH	Vibrasyon ölçümü sonucu problem görülen ve bakıma alınan pompa tag no	VİBRASYON OVERALL DEĞERLER (MM/S)					Tahmin edilen problem	Bakımda tespit edilen problem	İş kağıdı varsa bildirim numarası
			P.İ.D.	P.İ.Y.	P.D.D.	P.D.Y.	EKSENEL			
1	06.01.2017	9GM-1/A	21,37 mm/sn	8,17 mm/sn	9,45 mm/sn	5,78 mm/sn	23,78 mm/sn	ELEKTRİK MOTORU BAKIMI		140177039
2	24.01.2017	33G-21/B		12,9 mm/sn		9,29 mm/sn		POMPA GENEL LBAKIMI		140178714
3	24.01.2017	147GM-013/A			2,94 mm/sn	5,55 mm/sn		ELEKTRİK MOTORU YATAK BAKIMI		140178715
4	07.02.2017	21GM-311/A	5,21 mm/sn	6,21 mm/sn	6,92 mm/sn	2,10 mm/sn	3,30 mm/sn	ELEKTRİK MOTORU FAN MUHAFAZASI BAKIMI	MUHAFAZA CİVATA EKSİKLİĞİ	140180237
5	07.02.2017	7G-13/B	14,53 mm/sn	15,06 mm/sn	11,66 mm/sn	10,49 mm/sn	7,51 mm/sn	POMPA GENEL LBAKIMI	POMPA YATAKLARINA SU GİTMESİNDEN DOLAYI RULMAN ARIZASI TESPİT EDİLMİŞTİR	140180238
6	09.02.2017	9GM-129/A	14,72 mm/sn	10,73 mm/sn	25,51 mm/sn	18,62 mm/sn	7,45 mm/sn	KOMPRESÖR GENEL BAKIMI	MEKANİK GEVŞEKLİK TESPİT EDİLMİŞTİR	140180398
7	09.02.2017	47G-202/B	7,02 mm/sn	18,17 mm/sn	2,75 mm/sn	7,55 mm/sn	5,08 mm/sn	EKSENEL KAÇIKLIK	LAYN KONTROLÜ	140180386
8	15.02.2017	7GM-104/B	10,35 mm/sn	6,22 mm/sn	1,34 mm/sn	4,40 mm/sn	8,96 mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI	ELEKTRİKSEL ARIZA	140181217
9	21.02.2017	25K-9	2,71 mm/sn	2,54 mm/sn	7,23 mm/sn	6,87 mm/sn	2,09 mm/sn	FAN YATAK BAKIMI	RULMAN ARIZASI	140182025
10	23.02.2017	21K-316/G	13,42 mm/sn	13,46 mm/sn	20,84 mm/sn	19,20 mm/sn	4,67 mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI	RULMAN ARIZASI	140182125

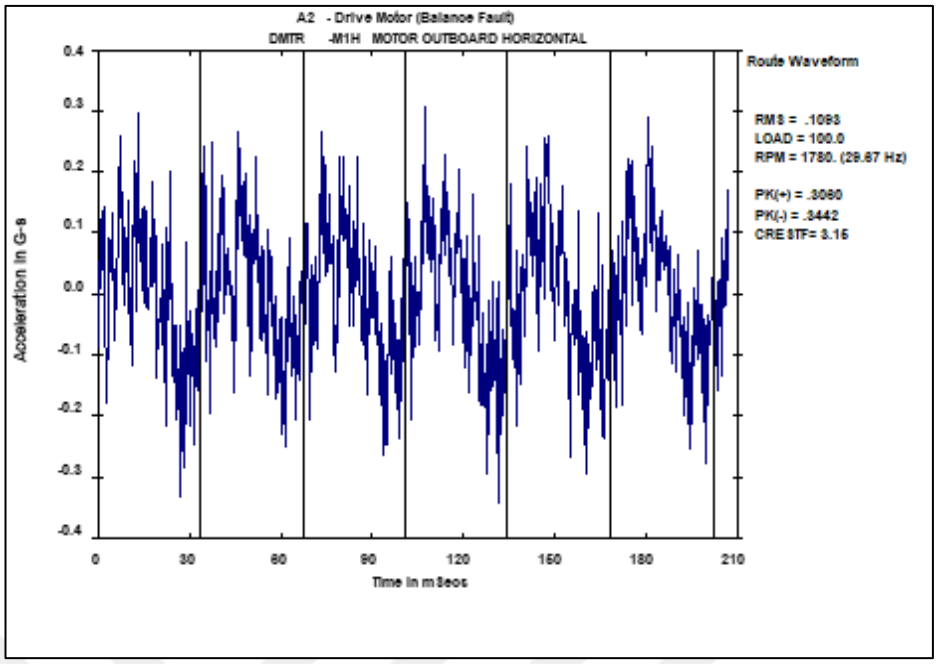
4.2.1.1. Balanssızlık tespiti

Spektrumu açıklamak istersek; radyal olarak alınan ölçümlerde, 1xRPM frekansında baskın olan, sabit, değişmeyen, kökünde şişme olmayan tepecik olarak açıklayabiliriz.

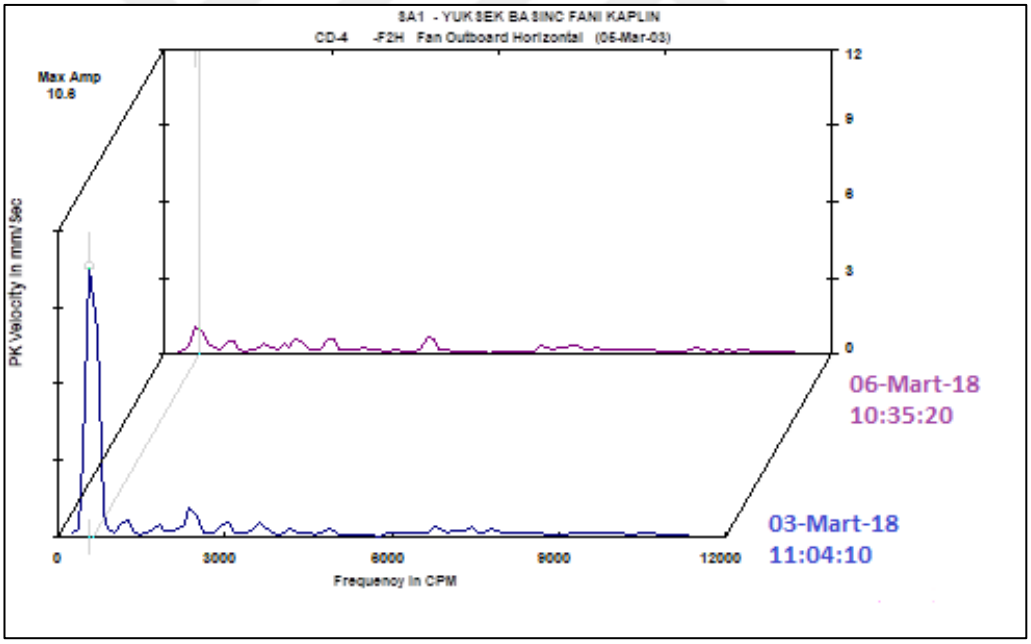
Dalga formunda: 1xRPM periyodunda sinüzoidal desen genel olarak başka arızaların türevi olarak ortaya çıkar. Eğer sorun gerçek balanssızlık ise yerinde balans müdahalesi ile giderilir.



Şekil 4.5. Balanssızlığa örnek spektrum

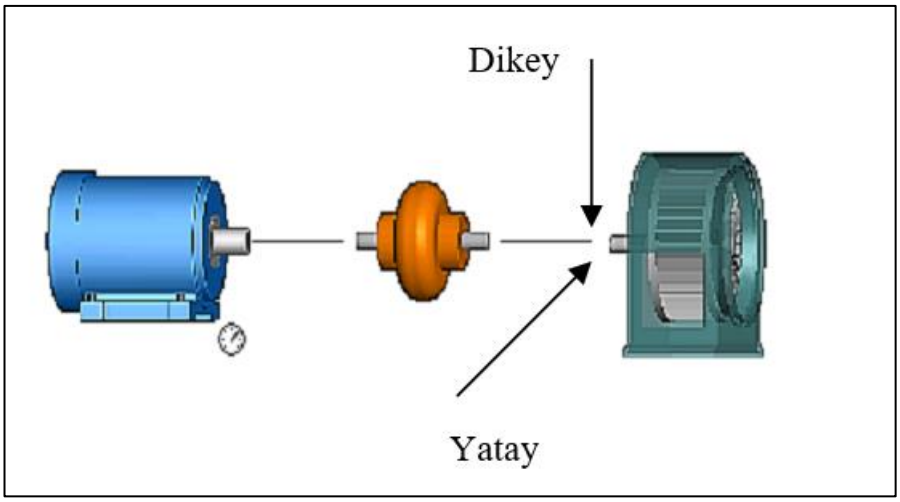


Şekil 4.6. Balanssızlığa örnek dalga formu



Şekil 4.7. Bir fanda 1xRPM frekansının tepeciğinde balans ile düşürülme çalışması

Tablo 4.1.1.2'de gösterildiği gibi, radyal ölçümler sonunda 1xRPM frekansında görünen baskın tepecik, rezonanstan kaynaklanabilir. Radyal olarak yatayda ve dikeyde yapılan ölçümlerde 1xRPM frekansı tepeciklerinin faz açıları 90 derece (+/- 30) bulunur; eğer farklı ise, 1xRPM frekansındaki tepeciğin oluşmasının nedeni balanssızlık olur. 90 derece farkın ortaya çıkması, yatay ile dikey ölçüm arasında 90 derece olmasından kaynaklanmaktadır. [46]



Şekil 4.8. Yatay ile Dikey ölçüm

Eğer bu açı 0 ya da 180 civarında ise 1xRPM frekansındaki tepecik nedeni rezonanstır.

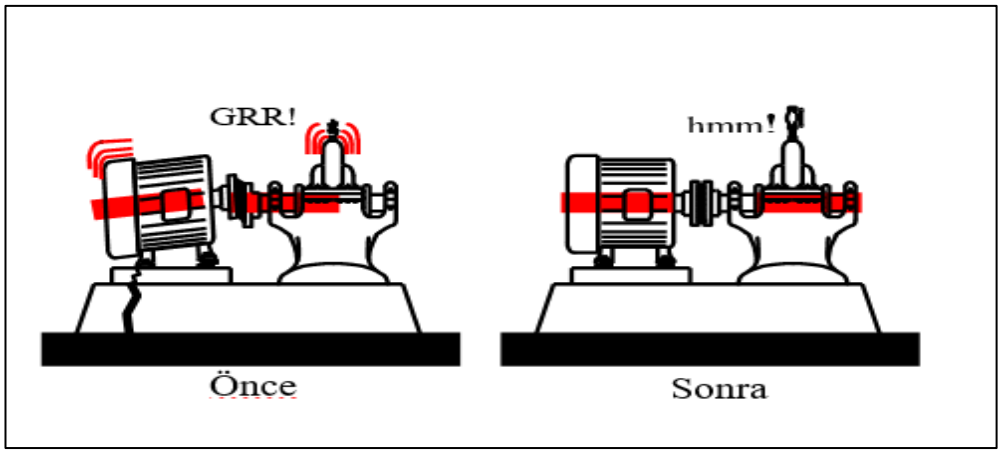
4.2.1.2. Kaplin ayarsızlığı tespiti

Pompa milindeki dişliye motor tarafından aktarılan yerdeki ayarsızlık, diğer bir adı eksen kaçıklığı olarak bilinmektedir.

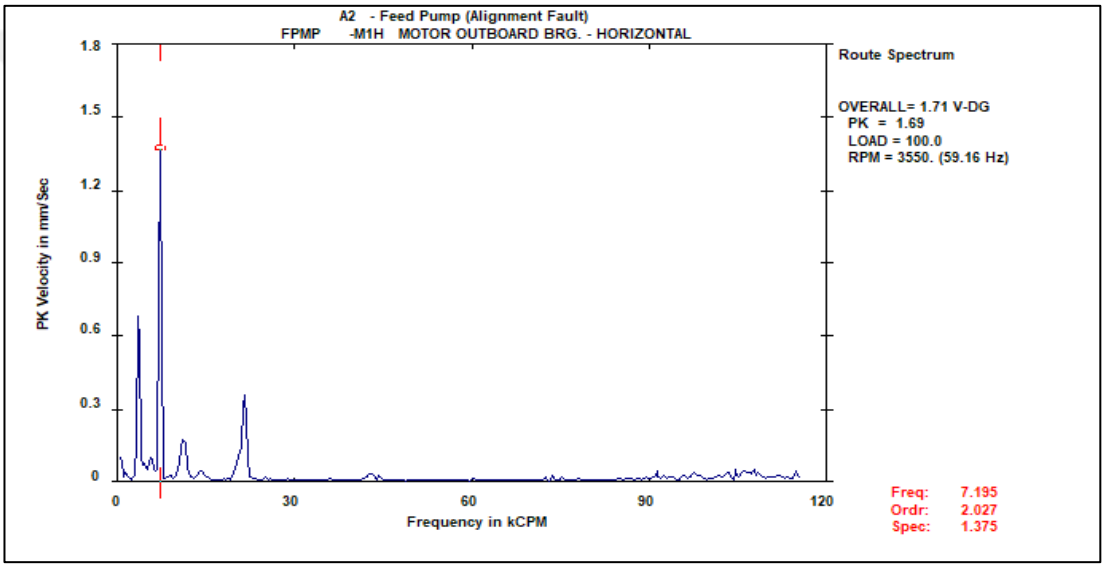
Spektrumda: Alınan radyal ölçümlerin, 1x 2x 3x RPM frekansında tepecikler, 2x veya 3x RPM frekansında tepecikler, 1xRPM frekansındaki tepeciğin yarısını geçmelidir.

Dalga formunda: 1xRPM periyodu inişli ve çıkışlı şekle sahip olmalıdır.

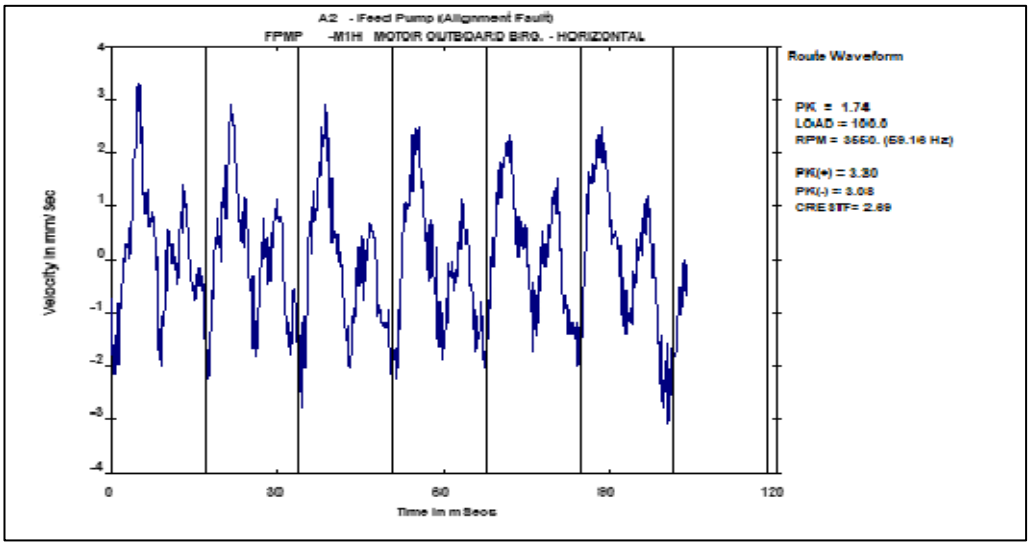
Kaplindeki eksenel kaçıklık, ayarsızlığın olduğunu belirten bir arızadır. Tespiti kaplinin her iki tarafında bulunan milleri lazerli ayar tespit cihazı tutularak belirlenir. Genellikle arızalar, yanlış rulman montajı, eğilmiş şaft, doğru montaj yapılmaması, mil yüzeyinde pürüzlükler veya çatlak, ekipman üzerinde gerilmeler, zemin yamukluğu vb. problemler işaretleri verir.



Şekil 4.9. Kaplin ayarı öncesi ve sonrası makine simülasyonu

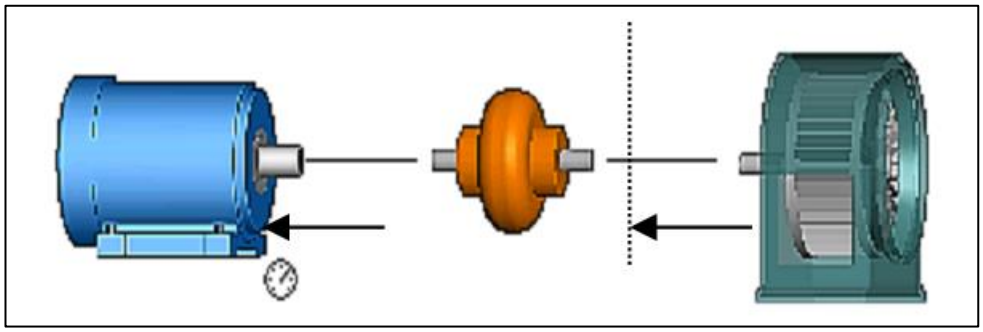


Şekil 4.10. Spektrumda kaçıklık işareti



Şekil 4.11. Dalga formunda kaçıklık işareti

Kaplin etrafındaki yataklardan aynı yönde yapılan eksenel ölçümlerde 1xRPM frekansındaki faz açısı farkının 180 derece olması durumunda kaplin ayarsızlığı olması beklenir [41].



Şekil 4.12. İki yataktan aynı yönde alınan eksenel ölçümdeki 1xRPM frekansı işaretinin faz açısı farkına bakılıyor

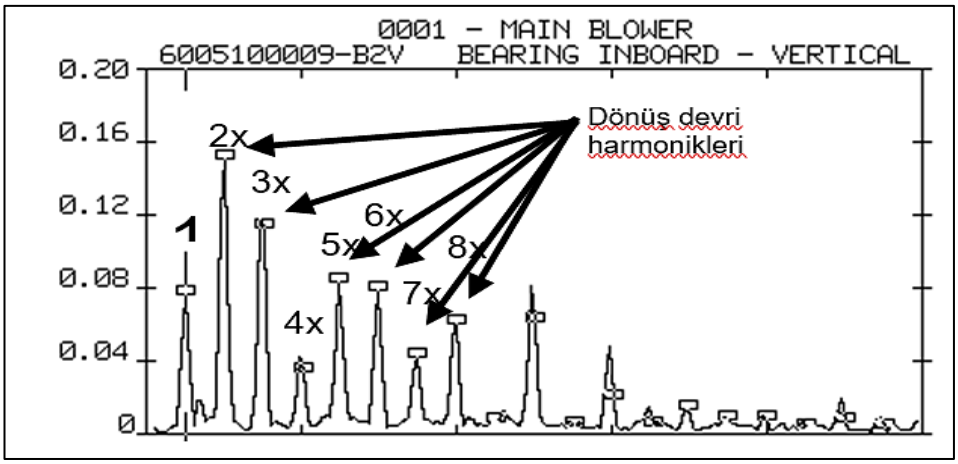
4.2.1.3. Mekanik çözülmeler

Spektrumma göre:

Yapı bağlantılarında yaşanan çözülmeler yada gevşemeler; dönüş devri katlarında oluşan 8xRPM frekansın devrine kadar harmonikler yardımıyla üretilir.

Dönen kısımlardaki çözülmeler; 0,5xRPM frekanslı harmoniklere bakılarak göreceli olarak düşük tepecikler oluşturur. Rulmanlarda ki iç bilezik dönmesi buna örnek olarak verilebilir. Kendini 0,5xRPM frekansında gösterir. Her dur da ve kaldır yapılınca farklı genlik alınır.

Dalga formuna göre: Düzensiz, ritmik olarak tekrar etmeyen desen üretir.



Şekil 4.13. Mekanik çözülmeye örnek bir makinadan alınan spektrum grafiği [46]

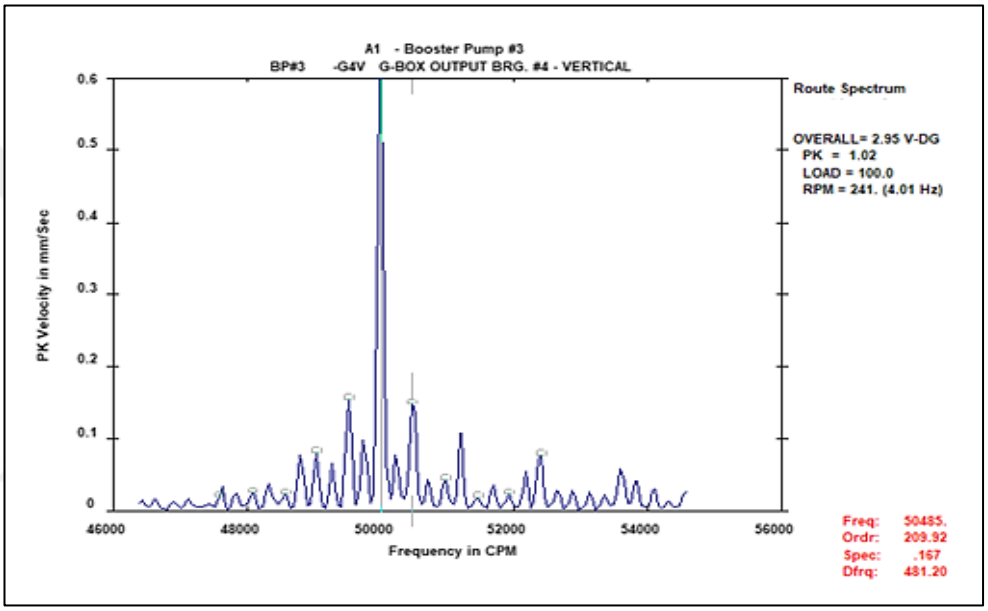
4.2.1.4. Dişlilerdeki arıza tespiti

Spektruma göre:

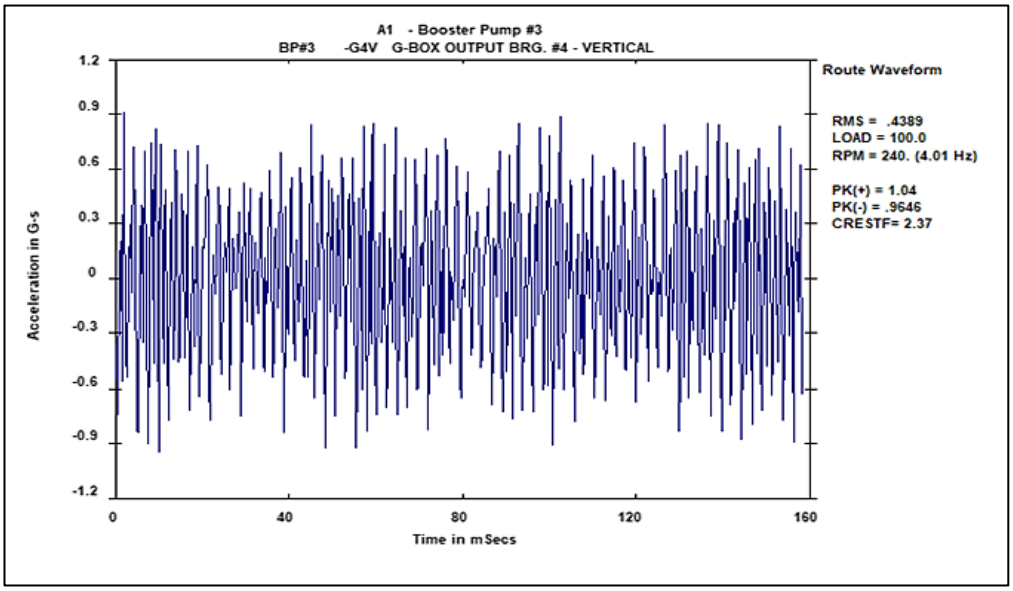
GMF= Diş Sayısı x RPM = Dişli Kavrama frekansında görülen tepecikler.

GMF Harmoniklerinin olması hatalı bir dişli ayarı olduğunu, GMF etrafında yan bantların olması kırık dişten kaynaklanan sorunları gösterir.

Dalga formunda: Genlik modülasyonu görülür.



Şekil 4.14. Dişli sinyali bulunan bir spektrum örneği



Şekil 4.15. Dalga formu grafiği

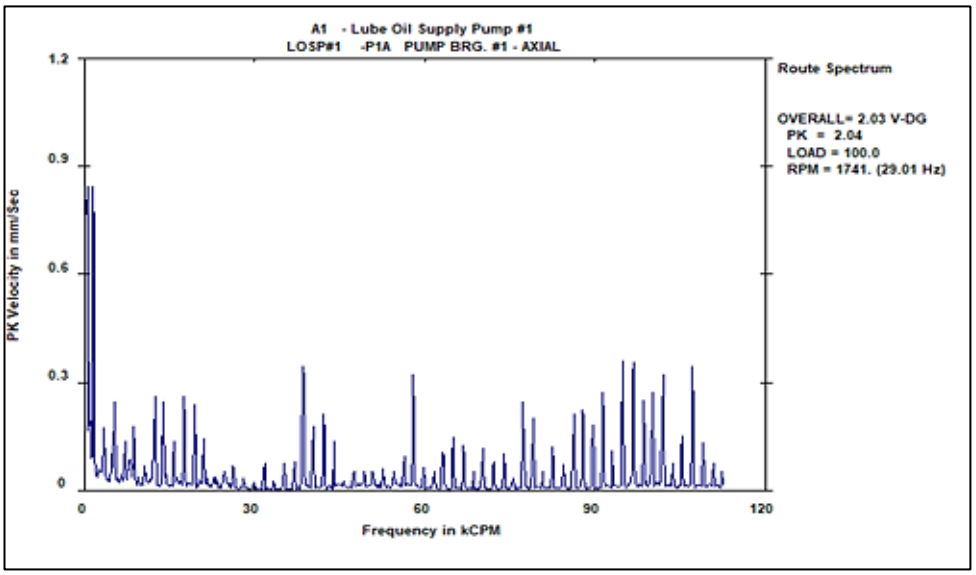
Dişli gruplarında bulunan çarklardan hangisi üzerinde kırık var ise, o çarkın dönüş devri frekansı, GMF frekansının etrafında yanında bant olarak görünür.

4.2.1.5. Rulmanlardaki arıza tespiti

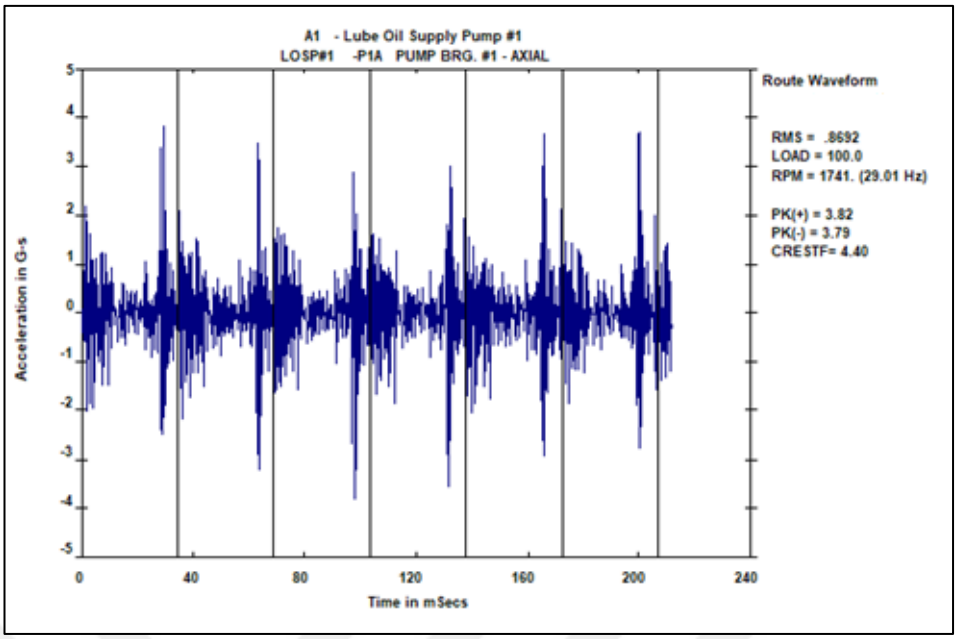
Spektruma göre: Kendi içinde harmonik bir oluşumu bulunan, fakat dönüş devrine göre oluşmayan tepecikler, spektrum zemininde kabarma şeklinde görülür. Erken oluşan sinyaller yüksek frekanslarda oluşur. Bu duruma önlem alınmaz ise dağılmadan önce balanssızlık görülebilir. Dönüş devri, kendi frekansının 70 katına kadar frekans aralığı spektrumda yer almalıdır. Stress dalgası oluşumu spektrum analizi ile detaylandırılarak anlatılmalıdır [46].

Dalga formu için Mekanik çözülme gibi düzensiz yığınlar ve çalışma düzensizliği oluşur. İvme, birimli dalga formunda genliğin 2 g's sınırını aşması sorun olur. Melek Balığı deseni görülünce, rulman bileziklerinde çatlak olduğunu anlaşılır. Rulmanlar çok elemanlı olduğu için birden fazla arıza frekansı içerirler. Bilgi bulunmayan dış bileziği olan ve sabit iç bilezik ile dönen rulmanlarla ilgili aşağıdaki formüller arıza frekansları ile ilgili yaklaşık olarak bilgi verecektir:

- FTF : Kafes arıza frekansı = 0,4 x RPM
- BPFO : Dış bilezik arıza frekansı = 0,4 x N x RPM
- BPFI : İç bilezik arıza frekansı = 0,6 x N x RPM
- N : Bilya / Masura sayısı



Şekil 4.16. Rulman arızasına örnek spektrum



Şekil 4.17. Dalga formunda melek balığı deseni



Şekil 4.18. Rulman dış bilezik fatik arızası örneği



Şekil 4.19. Dış bilezikte nemden kaynaklanan korozyon örneği

4.2.1.6. Kaymalı yataklarda arıza tespiti

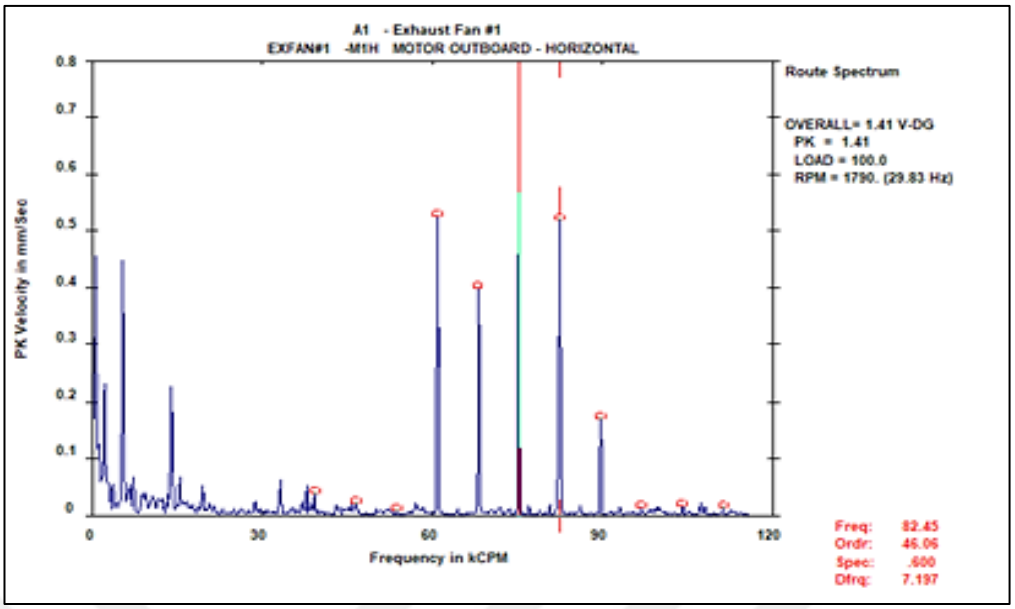
Spektruma göre; Gidip gelen 0,42xRPM 0,46xRPM frekansında oluşan tepeciklerde, yağ filmi ile ilgili bir sorunun olduğunu gösterir.

4.2.1.7. Elektrik motorlarında arıza tespiti

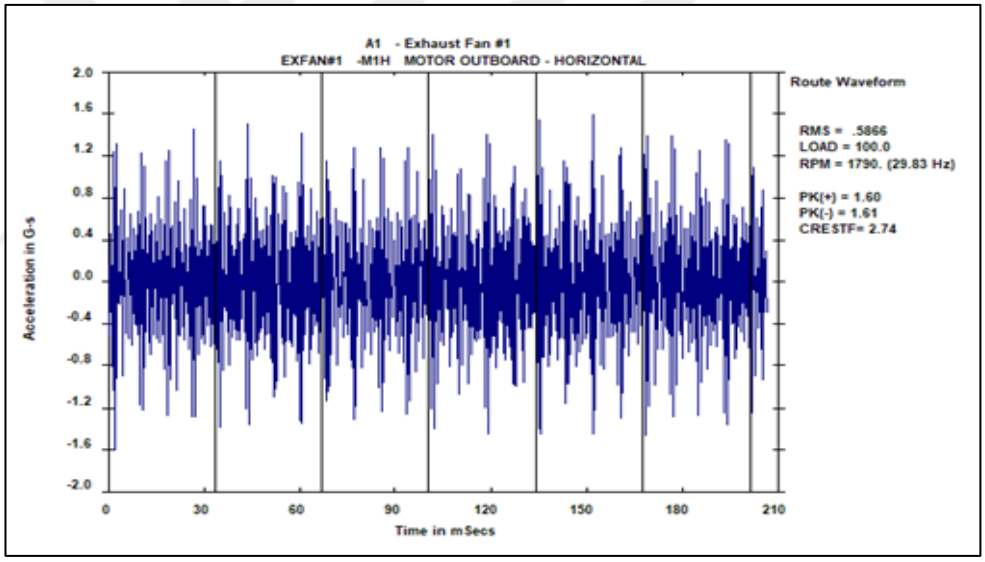
Spektrumu açıklayalım: Mekaniksel nedenlerle oluşan tepeciklere ek olarak, 2xHat Frekansında keskin tepecikler oluşur. Canlı izlerken, ölçüm anında elektrikler kesilince tepecikler birden yok olur. Mekanik sinyaller yavaş yavaş makinanın duruşuna bağlı olarak azalır. Kısa devre çubuklarında oluşabilecek sorunlar;

{Kısa devre Çubuk Sayısı x RPM frekansında} 2xHF yan bandı ile görülür.

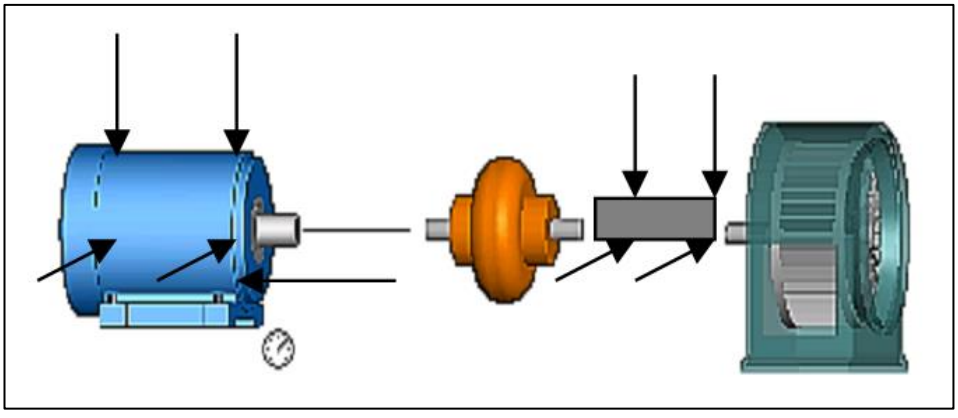
HF: Hat frekansı (Normalde 50 Hz = 3,000 CPM)



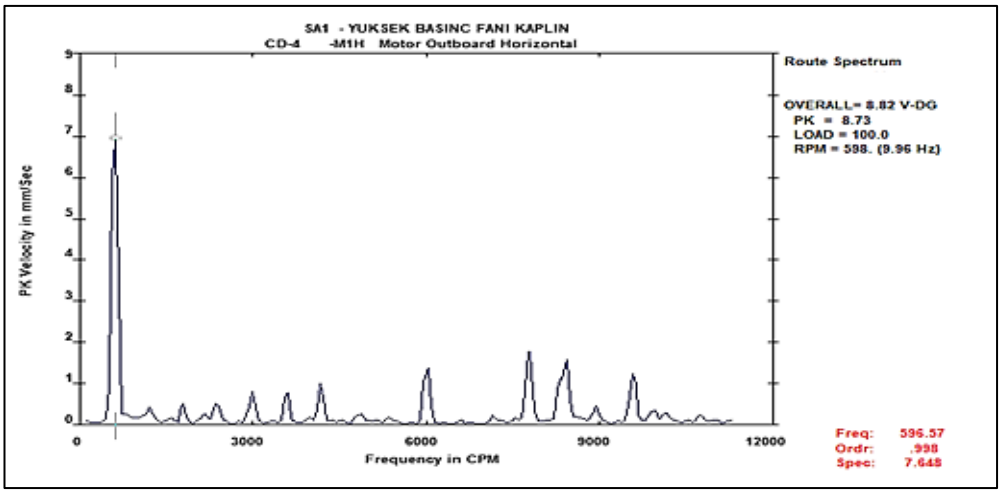
Şekil 4.20. AC Motorlarındaki kısa devre çubuklarının arıza spektrumları



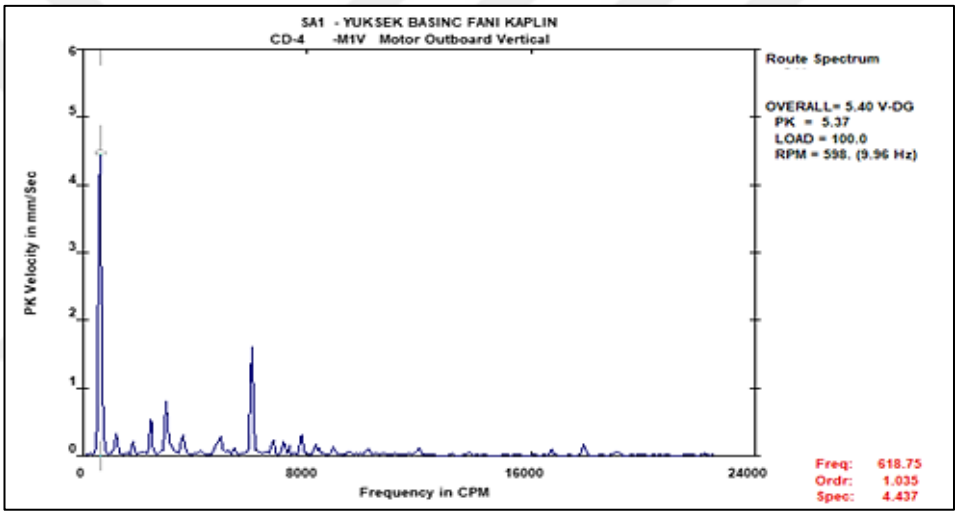
Şekil 4.21. Şekil 4.20'deki spektrumun dalga formu



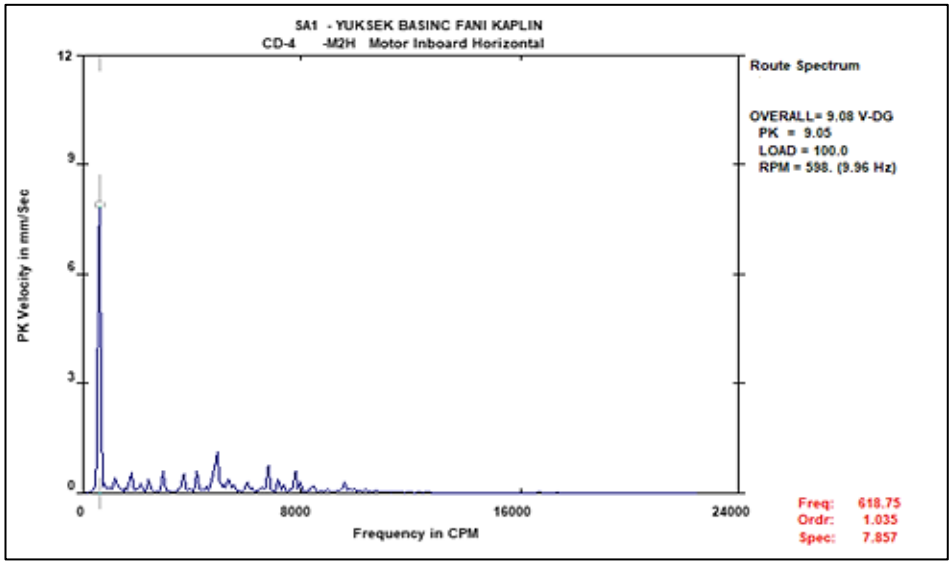
Şekil 4.22. AC motor ölçüm noktaları



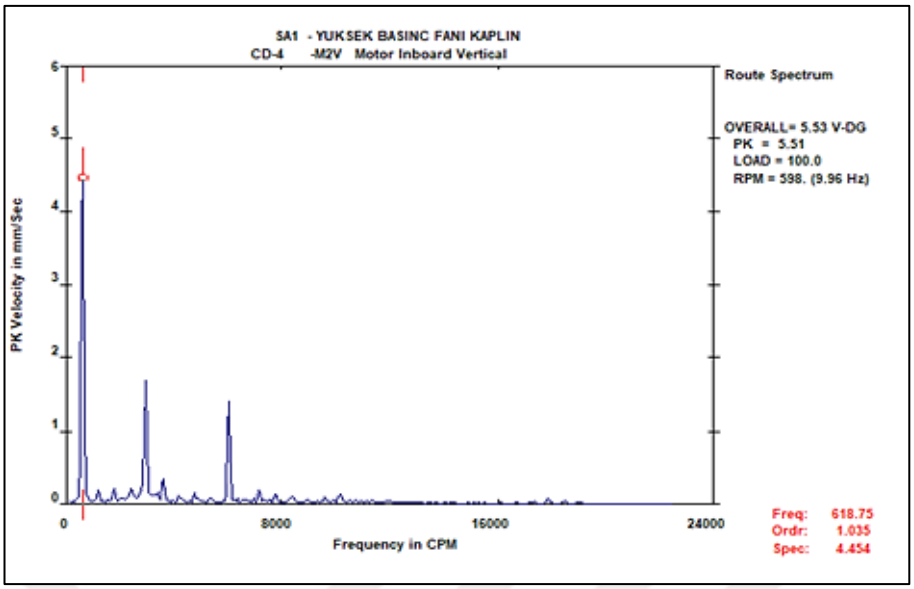
Şekil 4.23. AC motor dıştan yatay ölçümü



Şekil 4.24. AC motor dıştan dikey ölçümü



Şekil 4.25. AC motor içten yatay ölçümü



Şekil 4.26. AC motor içten yatay ölçümü

4.2.2. Yağ analizi ve görsel kontrol

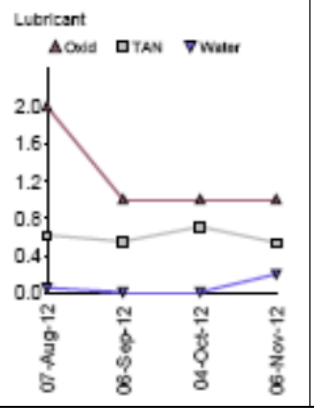
Döner ekipmanlarda yapılan yağ analizleri ve görsel kontrolde tespit edilen arızi durumlar bulunmuştur. Bu analizlerde tespit edilen yağın içerisindeki su, metal parçacık vb. gibi yabancı maddelerin muhteviyatı, sızdırmazlık kontrolleri yapıldı. Koruyucu bakım teknisyeni tarafından tespit edilen arızalar için bakım iş talebi yazılarak ekipmanın çalışmasının sürekliğinde daha büyük sorunlar ile karşılaşmamak için önlem alınmıştır. Yazılan bakım iş taleplerinin bazı örnekleri Tablo 4.2'de yer almaktadır.

Tablo 4.2. Yağ analizleri sırasında tespit edilen arızi bakım listesi

NO	Ünite	Ekipman	Tarih	Açıklama	Bir önceki filtre değişim tarihi
1	PLT-47	47K-17/A	02/02/2018	FİLTRE DEĞİŞTİRİLDİ (1 adet)	20/12/2017
2	PLT-21	21K-344	05/02/2018	FİLTRE DEĞİŞTİRİLDİ(4 adet)	26/04/2017
3	PLT-36	36K-101/A	13/02/2018	ANA YAĞLAMA FİLTRESİ (1adet)	30/12/2017
4	PLT-147	147K-2/A	13/02/2018	K-14/B YAĞLAMA FİLTRESİ (1 adet)	30/12/2017
5	PLT-63	63K-101/A	15/02/2018	HYDROCROM FİLTRESİ (3 adet)	13/02/2017
6	PLT-63	63K-101/A	16/02/2018	ANA YAĞLAMA FİLTRESİ (1 adet)	24/03/2014
7	PLT-63	63K-1/B	01/02/2018	HYDROCROM FİLTRESİ (3 adet)	03/09/2016

4.2.2.1. Yağ köpükleşmesi

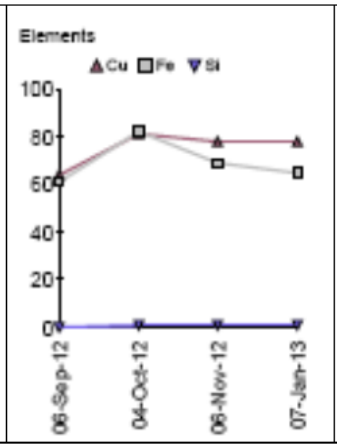
Yağ haznelerinin kontrollerinde genellikle rastlanılan bir durumdur. Bu arızi durum görsel kontrol ile tespit edilip su karışması ve yağ haznesi içinde oluşan nemden dolayı meydana geldiği tespit edilmiştir. Şekil 4.27'de görülmektedir.

NO	EKİPMAN	TANIM	PROBLEM		
10	36K-110/A	NET GAZ KOMPRESÖR	Aşırı Su		

Şekil 4.27. Gaz kompresörü yağ haznesinde su tespiti

4.2.2.2. Yağ renginin bozulması

Döner ekipmanlarda kullanılan yağ özelliklerine çalışma sıcaklık aralıkları vardır. Bu değer üzerinde çalışması durumunda meydana yağ rengi bozulması meydana gelmektedir. Neden olarak ekipmanın yüksek devir ve aşırı sürtünmeden meydana geldiği tespit edilmiştir. Yağ rengi bozulması organik yağlarda daha çabuk rastlanır, organik yağlar uzun süre dayanıklı fakat düşün sıcaklık özelliği vardır. Bu nedenle yüksek devirli ekipmanlarda sentetik yağ kullanılması önerilir. Hybrid yağ, organik ve sentetik yağın karışımı ile meydana gelir fakat bu durum bu yağ türünde de sık sık meydana gelmiştir.

NO	EKİPMAN	TANIM	PROBLEM		
4	36K-1/A	RECYCLE + MAKE UP GAZ KOMPRESÖR	Aşırı aşınma Metali (Cu-Fe)		

Şekil 4.28. Gaz kompresörü yağ haznesinde aşırı ısınma tespiti

4.2.2.3. Yağ viskozitesinin değişimi ve partikül oluşumu

Görsel olarak tespit edilen bir arızi türüdür. Yağ haznesine ekipmanın çalışması esnasında viskozitesi daha düşük mahsul karışması ve bu karışımdan dolayı oluşan partiküllerin (mikron ölçüsünde) oluşumu tespit edilmiştir.

4.2.2.4. Yağ analizi

Gaz ortamında çalışan ekipmanlarda (pompa, kompresör, türbin) kritikliğine göre belirlenen periyot aralığında (1, 3 ve 6 aylık) yağ haznelerinden numune alınarak laboratuvar ortamında analiz yapılmak üzere ilgili yağ firmasına gönderildi (Ek C). Tespit edilen yağ viskozite bozukluğunda yağ filtre kontrolü ve değişim periyodlarının yanlış termin planı yapılması tespit edilmiştir.

4.2.2.5. Yağ basınç kontrolleri

Döner ekipmanlarda yağ basınç göstergeleri görsel kontrol yöntemi ile manometrede (bar/psi veya kg/cm^2) tespit edilen basınç düşüklüğü ve yüksekliği görüldü ve bu durumda yağ soğutucusu arızası, vana arızası ve bakı teknisyeni tarafından bir önceki bakımda yanlış viskozite özellikli yağ kullanıldığı tespit edilmiştir.

4.2.3. Termografi (Termal çekim)

Döner ekipmanlarda özellikle pompa çevrim hareketlerini aldığımız alçak gerilimli elektrik motorlarına uyguladığımız termal çekim işlemini tesiste bulunan üç adet pompanın şalter kutularındaki bağlantı noktaları kontrol ettik. Bu noktalarda tespit edilen gevşeme ısı farkının oluşmasına neden oldu, böylece bu motorların şalter kutularına koruyucu bakım yapılması için aksiyon alındı. Bu tespiti sonucunda hazırlanan raporu Ek D'de gösterilmektedir. Ayrıca motorlardan alına termal çekim görüntüsü Şekil 4.29'da görülmektedir.



Şekil 4.29. Elektrik motoru termal çekimi

Termal çekim yöntemini uyguladığımız döner ekipmanlarda pompa fanı, pompa gövdesi, türbin kanatları, vb. alanları gözlemledik.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Koruyucu bakım ile arızi bakım arasındaki uygulanan bakım gün sayısı, çalışan personel sayısı ve toplam maliyetlerinin Tablo 5.1'de görülmektedir. Bu rakamlar enerji tesisinde bulunan sadece döner ekipmanlar için belirtilmiştir.

Tablo 5.1. Enerji tesislerinde toplam maliyet ve iş günü ayrıntısı

Enerji Tesisinde Arızi Bakım ve Koruyucu Bakım Toplam Maliyet ve İşçilik Ayrıntısı						
	PM Arızi Bakım			PM Kor.Bakım		
Satır Etiketleri	Masraf/fiili	Süre (Gün)	Personel (Kişi)	Masraf/fiili	Süre (Gün)	Personel (Kişi)
Proses						
M_DONR_KON	₺840,21	4	2			
M_DONR_PKO	₺160.466,33	181	16	₺420.374,84	63	12
M_DONR_PUM	₺624.682,94	686	92	₺41.463,23	52	10
M_DONR_SKO	₺2.209,50	18	4			
M_DONR_TUR	₺23.639,90	45	12			
Yartes						
M_DONR_PUM	₺185.233,50	604	100	₺56.404,14	91	12
M_DONR_SKO	₺817,49	2	2			
M_DONR_TUR	₺46.119,75	63	4			
M_DONR_VKO	₺64.343,25	28	4	₺18.164,46	28	8
Genel Toplam	₺1.108.352,87	1631	236	₺536.406,67	234	42

Bu rakamlara ek olarak arızi bakım kaynaklı işletme kısmi veya tam duruş yaşamasında yaşanan üretim kayıplarından dolayı zararlarda gün yüzüne çıkmaktadır. Bu rakamları kendi çalışmış olduğum enerji tesisinde gizlilik ilkesinden dolayı kesin rakamları paylaşamıyorum. O yüzden yardımcı tesisler sahasında (Yartes) elektrik üretimi yapan bir işletmede arıza yapan gaz türbininden dolayı elektrik üretim kapasitesi yaklaşık %50 üretim kaybına neden olmuştur. Bu işletme üretmiş olduğunu elektrikle diğer proses işletmelerinin iş akışına destek olmasından büyük önem taşıyordu. Yaşanan elektrik üretim işletmesindeki kayıpların, proses işletmelerine yansıtılmaması için normal şebekeden enerji sağlanmıştır. Bu durum beraberinde riski ve ekstra maliyetleri ortaya çıkarmıştır. Ayrıca bu arızi duruş plansız olduğundan malzeme tedarik ve firma süpervizörünün danışmanlık için beklenmesinden dolayı kayıplarda oluşmuştur. Tablo 5.2'de bu durumu özetlercesine gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Enerji tesislerinde işçilik, dış hizmet ve malzeme maliyet ayrıntısı

Enerji Tesisinde Arızi Bakım ve Koruyucu Bakım Maliyet Ayrıntısı						
	PM Arızi Bakım			PM Kor.Bakım		
Satır Etiketleri	İşçilik	Dış Hizmet	Malzeme	İşçilik	Dış Hizmet	Malzeme
Proses						
M_DONR_KON	₺840,21	₺0,00	₺0,00			
M_DONR_PKO	₺59.479,09	₺0,00	₺99.427,68	₺145.328,59	₺1.156,65	₺269.376,93
M_DONR_PUM	₺145.874,69	₺32.396,25	₺432.349,41	₺21.231,37	₺450,00	₺16.262,58
M_DONR_SKO	₺1.885,45	₺0,00	₺8,71			
M_DONR_TUR	₺21.018,42	₺0,00	₺1.844,82			
Yartes						
M_DONR_PUM	₺91.351,25	₺34.077,94	₺50.982,70	₺36.869,25	₺450,00	₺16.982,53
M_DONR_SKO	₺716,53	₺0,00	₺83,10			
M_DONR_TUR	₺31.213,43	₺4.250,00	₺8.675,39			
M_DONR_VKO	₺20.563,26	₺2.033,77	₺41.279,53	₺3.780,56	₺4.851,75	₺9.430,39
Genel Toplam	₺372.942,33	₺72.757,96	₺634.651,34	₺207.209,77	₺6.908,40	₺312.052,43

Plansız yapılan bakımları, koruyucu bakımlar ile karşılaştırıldığımda, işçilik maliyetleri başta olmak üzere, dış hizmet, malzeme ve kayıp üretimden dolayı doğan maliyetler çok yüksektir. Koruyucu bakımın en başından beri belirtmek istediğim enerji tesislerindeki amacına hitap etmektedir. Tesislerin çalışabilirliğinde üretken sürekliliği, düşük maliyetler ve yüksek kazançlar sağlamak kuruluşundaki en temel esastır. Bu esasta koruyucu bakımın ne kadar önemli olduğunu rakamlarla ve yaşanan tecrübeleri şekiller ile göstermeye çalıştım.

Bir diğer önemli esas katkıda kestirimci bakım tarafından katılmaktadır. Kestirimci bakım, enerji tesislerinde kârın artmasını sağlayan teknolojik bir sistemdir. Kestirimci bakımın uygulanmaması halinde, ileride çok büyük kayıplara neden olabileceğini üç ayrı metotla göstermeye çalıştım. Bu nedenle geleceği olan her enerji tesisinde kesinlikle uygulanması gereklidir. Kestirimci bakım metotları, döner ekipmanlar, çalışırken ekipmanlardan elde edilen ölçüm parametrelerinin, değişimini takip eden ve çeşitli parametre ölçümleri ile bu farklılıkları sorgulayarak uyguladığımız bir metottur. Titreşim analizi, kestirimci bakımın kullandığı temel araçtır. Fakat endüstriyel uygulamalarda, mühendislik derslerine henüz uygulama yönünü gösteremediğimiz için ülkemizde yeterince değer görememiştir. Hâlbuki kurulan her enerji tesisinin proje üzerinde sadece kurulumu planlanmaktadır. Fakat bu aşamada tüm döner ekipmanların ve statik ekipmanlarında kurulum sonrası çalışabilirliğinin sürekliliği için bakım stratejilerinin önceden proje kapsamında belirlenmesi çok daha doğru olacaktır. Kestirimci bakım metotlarının her bir uygulaması için kullanılan gerekli olmasa da bazı metotlarda cihazlardan (titreşim ölçme, termal çekim cihazları) destek alınmaktadır. Tedarik maliyetleri yüksek olduğundan her işletme ve üniversitelerde uygulama eğitimler için sahip olanağı yoktur. Bu nedenle enerji tesislerinde kritiklik olmasından dolayı ayrı bir önem verilmektedir.

Titreşim ölçüm analizlerini, ölçümlere ait dalga formu ve FFT Spektrum grafiklerinin birlikte değerlendirilmesi ile yaptım. Gerek görülmesi durumunda bazı döner ekipmanlarda ve motorlarda detay analizler için, standart FFT Spektrum Grafiklerine ek HP filtre uygulanmış grafiklerin incelenmesi de gerçekleştirdim. Sorun tespit edilen ekipmanlar için koruyucu bakım teknisyenleri tarafından organize edilerek iş talepleri ilgili bakım birimlerine iletildi, alınan aksiyon sonucunda ekipmana yapılan bakım esnasında, olası büyük arızi bakımın önüne geçildiği tespit edilmiştir.

Diğer kestirimci bakım metodu, yağ köpükleşmesinin neden olduğu su ve nemden kaynaklı oluşan suyu yağ haznesinden su ayıklama separatör yardımı ile yağ haznesi sudan arındırıldı. Yağ haznesinde oluşan partiküller (mikron ölçüsünde) yağ filtreden geçirilerek temizlenmiştir. Belli periyotlarda veya durumu belirlenemeyen durumlarda laboratuvara gönderilen yağ numunelerinin inceleme sonucunda kritik ekipmanların yağ filtresi ve yağ değişim periyotlarında değişiklik yapılmıştır. Yağ basınç göstergelerindeki olumsuz değişikliklerin düşük veya yüksek olmasındaki tespit sonucunda yağ soğutucusu ve vana arızası için arızi bakım iş talepleri yazılmıştır. Bu iş talepleri sonucunda değişimler meydana gelmiştir. Yanlış viskozite özelliğinde yağ kullanılması tespit edilen ekipmanlar da yağ haznesi tamamen uygun viskozite özellikli yağ ile değişim yapılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda ekipmanların daha büyük arızi durumlardan arındırılarak bakımlar arası ortalama süresi yüksek tutularak enerji tesisinin çalışıla bilirliği sağlanmıştır. Bu avantajın sağlanmasında harcanan insan/saat gücü, malzeme ve maliyet bilgisi arızi bir durumda yaşanan döner ekipman maliyeti ile Tablo 5.2'de karşılaştırılmıştır. Termal çekim işlemi uyguladığımız elektrik motor şalterleri ve kapalı döner ekipman gövdelerinde tespit edilen sorunlar için önceden koruyucu bakım planları yapılarak gerekli süpervizör ve malzeme tedarikleri koruyucu bakım esnasında hazır edildi, ayrıca olası büyük arızi ve risk durumları ortadan kaldırılmıştır.

Termal çekimi yapılan şalterde kablo bağlantı gevşekliği tespit edilmemesi durumunda elektrik motorunda patlamaya yol açmasına neden olur, diğer bir olasılıkta döner ekipmanlarda sürtmeden kaynaklı pompa gövdesinde sıkışma sonucu sistemin devre dışı kalması ve enerji tesisinde ani duruşun ortaya çıkmasına neden olabilir. Hatta burumlar tesiste olası kazaları beraberinde getirir.

Yapmış olduğum bu çalışmamda, kurulan enerji tesislerinin kurulum amaçları doğrultusunda kesintisiz bir süreklilik ve risk oluşturmadan üretim yapmalarında koruyucu bakımın ve kestirimci bakımın döner ekipmanlara uygulanmasındaki

öneme dikkate çekmektir. Dünyada birçok enerji tesisi bunun önemine sahip olması yaşanan acı tecrübeler sonuncunda olduğunu görülmektedir. Aynı durum aslında ülkemizde, enerji tesislerinin çok az sayıda olduğu dönemde bile görüldü. Artık ülkemizde gelişen teknoloji ile enerji tesislerinde artış hızla görülmektedir. Özellikle alternatif enerji ve yenilenebilir enerji özel sektör haline gelmiştir. Bu tesisler yüksek yatırımlar yaparak elde ettiği üretim gücünü sürekli kılabildiklerinde kazanç elde edebildiklerinden, tesislerinde kullandığı döner ekipmanlara koruyucu bakım ve kestirimci bakım uygulayarak büyük önem katacaklardır.

KAYNAKÇA

[1] Belek T. H., Güvenç S., Endüstriyel Tesislerin Bakımında Modern Yaklaşım: Dinamik Erken Uyarıcı Bakım Yöntemleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 1988, **29**(339), 29-36.

[2] Açıkel S., Sürekli Form Baskı Makinasının Titreşim Sinyali Yardımıyla Kestirimci Bakımının Yapılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 212921.

[3] Kalyoncu M., Titreşim Analizi ile Makina Elemanları Arızalarının Belirlenmesi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2006, **47**(552), 28-35.

[4] Yaman G., Karadayı H. M., Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tespiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma, *Tesisat Mühendisliği*, 2014, **140**, 36-51.

[5] http://www.lindsayengineering.com/services/vibration-analysisand-testing-services / (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2018).

[6] Denli H. B., Kestirimci Bakım ve Uygulamalarının İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 2007, 215897.

[7] Baykara V. İ., Titreşim Analizi ile Şanzımanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2009, 237807.

[8] Gülderen A. E., PİGM Türkiye Petrol Faaliyetleri, *16. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Semineri*, İstanbul, 29-30 Haziran 2006.

[9] Akkaya A. V., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Açıdan Değerlendirilmesi, *IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu,* İstanbul, 16-18 Ekim 2002.

[10] https://www.ogrenmen.com/sayisal-bilimler/enerji-santralleri-nelerdir.html (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2018).

[11] https://www.itu.edu.tr/kusoglu/POMPALAR (Ziyaret tarihi: 14 Nisan 2018).

[12] https://www.muhendisbeyinler.net/hidroelektrik-santrallerde-kullanilan-turbin-tipleri/ (Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2018).

[13] Venedikoğlu H., *Tüpraş Rafinerisi Pompa Tipleri ile Ekipmanların İşletme ve Bakım Rehberi*, Tüpraş, Kocaeli, 2012.

[14] https://teknolojiprojeleri.com/mekanik/buhar-turbini-nedir-nasil-calisir (Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2018).

[15] Rahim M. A., Gaz Türbinli Kombine Çevrim Santral Performansının Yükseltilmesi, *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2011, **4**(3), 188-198.

[16] http://www.enerjimag.com/dogal-gaz-kombine-cevrim-enerji-santralleri/ (Ziyaret tarihi: 21 Nisan 2018).

[17] http://www.enerjimag.com/dogal-gaz-kombine-cevrim-enerji-santralleri/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[18] http://kompresorlerhakkinda.blogspot.com/2017/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[19] https://teknikkompresor.com/kompresor-nedir-kompresor-cesitleri/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[20] Venedikoğlu H., *Tüpraş Rafinerisi Kompresör Tipleri ve Ekipmanların İşletme ve Bakım Rehberi*, Tüpraş, Kocaeli, 2012.

[21] Sawyer J. W., *Sawyer's Turbomachinery Maintenance Handbook*, 1st ed., Turbomachinery International Publications, New York, 1970.

[22] http://www.bilgiustam.com/dizel-motoru-nedir-nasil-calisir/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[23] https://www.muhendisbeyinler.net/benzinli-motorlar-ve-dizel-motorlar/ (Ziyaret tarihi: 05 Mayıs 2018).

[24] http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/benzinli-ve-dizel-motorlarin-karsilastirilmasi/17442#ad-image-0 (Ziyaret tarihi: 05 Mayıs 2018).

[25] http://www.bilgiustam.com/elektrik-motoru-nedir-nasil-calisir/ (Ziyaret tarihi: 05 Mayıs 2018).

[26] http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/elektrik-motorlari-cesitleri-435/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[27] Bahadır Ç., Demirelli Ü., Donat A., *Tüpraş Rafinerisi Günlük Bakım Planlama ve Koruyucu Bakım Rehberi*, Tüpraş, Kocaeli, 2012.

[28] http://www.maintenancenews.org/kestirimci-bakimda-bilmeniz-gereken-8-ipucu (Ziyaret tarihi: 05 Mayıs 2018).

[29] Görener A., Bakım Stratejilerinin Bulanık Karar Ortamında Seçimi İçin WSA ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **31**, 159-177.

[30] http://www.maintenancenews.org/kestirimci-bakim-nedir (Ziyaret tarihi: 06 Mayıs 2018).

[31] Crawford A. R., *The Simplified Handbook of Vibration Analysis*, 2nd ed., Computational Systems Inc., USA, 1992

[32] Wowk V., *Machinery Vibration: Measurement and Analysis*, 1st ed., McGraw Hill, New York, 1991.

[33] http://www.emerson.com/en-us/catalog/ams-a2140 (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[34] http://www.pcb.com/PdMProcess (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[35] http://unluteknik.com/urundetay/kestirimci-bakim-urunleri (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[36] https://www.sap-press.com/plant-maintenance-with-sap-business-user-guide_4310/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[37] http://www.teknotherm.com.tr/flir-termal-kameralar (Ziyaret tarihi: 06 Mayıs 2018).

[38] https://www.sciencedirect.com/science/book/9781851664429 (Ziyaret tarihi: 06 Mayıs 2018).

[39] Ayder E., Kalmanoğlu U., *Türbosan Pompa El Kitabı*, 1. Baskı, TürboSan, Kocaeli, 2011,

[40] Baysal K., *Tam Santrifüj Pompalar: Hesap Çizim ve Konstrüksiyon Özellikleri*, 1. Baskı, İTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınevi, İstanbul, 1975.

[41] https://tr.grundfos.com/about-us/news-and-press/news/grundfos-akademi-de-dersler-ba-l-yor.html (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[42] http://www.mekatek.com.tr/ (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[43] https://www.johncrane.com (Ziyaret tarihi: 30 Mayıs 2018).

[44] https://www.eagleburgmann.com/en/products/mechanical-seals/mechanical-seals-for-pumps (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2018).

[45] Mete K., Titreşim Analizi ile Makina Elemanları Arızalarının Belirlenmesi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2006, **47**(552), 21-33.

EKLER

Ek-A

Tablo A.1. Enerji tesisinde döner ekipmanlara ve motorlara yapmış olduğumuz titreşim ölçümlerinin tam çalışması

Titreşim Ölçüm Veri Raporu	
1	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-1/A
2	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-1/B
3	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-2/B
4	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-3
5	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-4
6	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-5/B
6	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-6/A
7	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-7/A
7	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-7/B
8	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-8/A
9	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-8/B
9	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-9/A
10	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-9/B
11	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-10/A
12	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-10/B
12	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-11/A
14	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-11/B
15	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-12
16	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-13/A
17	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-13/B
18	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-17
19	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-27/A
20	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-27/B
20	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-28
20	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-29
21	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-30
23	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-30/A
24	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-33/A
24	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-33/B
25	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GT-34/B
26	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-35
26	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-37/A
26	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2GM-37/B
26	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 21GM-311/A
27	01 PLT 2.rbm - PLT2 - 2KM-1

Ek B

Mobil Serv
Lubricant Analysis

Normal

Unit ID: 36K-110/A Asset ID: 31087295

Description: 36K-110/A Gas Comp / Net Gas

Account Information	Sample Information	Equipment Information
ID: 208818	Sample ID: 18127316107	Asset Class: Circulating System
Name: Tupras Izmit	Service Level: Enhanced	Manufacturer: -
Address: PK 211 Körfez, Kocaeli, 41002 TR	Bottle ID: b014717356	Model: -
	Tested Lubricant: MOBILGEAR 600 XP 220	Lubricant: MOBILGEAR 600 XP 220

Recommendation/Comments

YAĞ VEYA EKİPMAN ÜZERİNDE HERHANGİ BİR EYLEM GEREKLİ DEĞİL. Sonuçlar tüm seviyelerin kabul edilebilir aralıklarda olduğunu gösteriyor. değişiklikleri her aşamada inceleyin ve eğilimleri değiştiren sonuçları izleyin. Programlanan bir sonraki zamanda numune alın. İlave yardım gerekliyse ExxonMobil temsilcinizle iletişim kurun.

Şekil B.1. Laboratuvardan alınan yağ anali raporu



Ek-2 Yağ Analiz Raporu.pdf

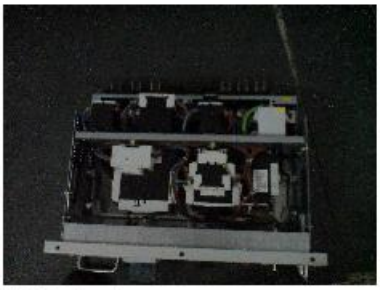
Ek C

Tüpraş

İnceleme Raporu

Rapor Tarihi	09.08.2011	
Şirket		Müşteri
Adres		Site Adresi
Termograf	TÜPRAŞ KORUYUCU BAKIM	İletişim Kurulacak Kişi





Resim ve Nesne Parametreleri | Metin Açıklamaları

Kamera Modeli	FLIR GF309
Resim Tarihi	09.08.2011 09:08:55
Resim Adı	21G 303 A IR_1258.jpg
Emisyon	0,83
Yansıtılan sıcaklık	20,0 °C
Nesne Uzaklığı	0,5 m

Açıklama

1 (3)

Şekil C.1. Elektrik motorlarının şalter kutusuna çekilen termal çekim sonuncunda hazırlanan rapor

Ek D

Kestirimci bakım metotlarının uygulanması sonucu tespit edilen iş taleplerinin listesi

NO	TARİH	Vibrasyon ölçümü sonucu problem	VİBRASYON OVERALL DEĞERLER (MM/S)					Tahmin edilen problem	Bakımda tespit edilen problem	İş kağıdı varsa bildirim numarası
			P.İ.D.	P.İ.Y.	P.D.D.	P.D.Y.	EKSENEL			
1	6.01.2017	9GM-1/A	21.37mm/sn	8.17mm/sn	9.45mm/sn	5.78mm/sn	23.78mm/sn	ELEKTRİK MOTORU BAKIMI		140177039
2	24.01.2017	33G-21/B		12,9 mm/sn		9,29 mm/sn		POMPA GENEL LBAKIMI		140178714
3	24.01.2017	147GM-013/A			2,94 mm/sn	5,55 mm/sn		ELEKTRİK MOTORU YATAK BAKIMI		140178715
4	7.02.2017	21GM-311/A	5.21mm/sn	6.21mm/sn	6.92mm/sn	2.10mm/sn	3.30mm/sn	ELEKTRİK MOTORU FAN MUHAFAZASI BAKIMI	MUHAFAZA CİVATA EKSİKLİĞİ	140180237
5	7.02.2017	7G-13/B	14.53mm/sn	15.06mm/sn	11.66mm/sn	10.49mm/sn	7.51mm/sn	POMPA GENEL LBAKIMI	POMPA YATAKLARINA SU GİTMESİNDEN DOLAYI RULMAN ARIZASI TESPİT EDİLMİŞTİR	140180238
6	9.02.2017	9GM-129/A	14.72mm/sn	10.73mm/sn	25.51mm/sn	18.62mm/sn	7.45mm/sn	KOMPRESÖR GENEL BAKIMI	MEKANİK GEVŞEKLİK TESPİT EDİLMİŞTİR	140180398
7	9.02.2017	47G-202/B	7.02mm/sn	18.17mm/sn	2.75mm/sn	7.55mm/sn	5.08mm/sn	EKSENEL KAÇIKLIK	LAYN KONTROLÜ	140180386
8	15.02.2017	7GM-104/B	10.35mm/sn	6.22mm/sn	1.34mm/sn	4.40mm/sn	8.96mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI	ELEKTRİKSEL ARIZA	140181217
9	21.02.2017	25K-9	2.71mm/sn	2.54mm/sn	7.23mm/sn	6.87mm/sn	2.09mm/sn	FAN YATAK BAKIMI	RULMAN ARIZASI	140182025
10	23.02.2017	21K-316/G	13.42mm/sn	13.46mm/sn	20.84mm/sn	19.20mm/sn	4.67mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI	RULMAN ARIZASI	140182125
11	24.02.2017	5G-7/A	13.11mm/sn	31.20mm/sn	7.90mm/sn	18.46mm/sn	4.97mm/sn	LAYN KONTROLÜ	FİLTRE TEMİZLİĞİ SONRASI LAYN BOZULMUŞTUR	140182604
12	27.02.2017	7GM-102/A	5.06mm/sn	5.61mm/sn	3.50mm/sn	4,39mm/sn	3.93mm/sn	ELEKTRİK MOTORU YATAK BAKIMI	YATAK ARIZASI	140182664
13	1.03.2017	109GM-254	4.54mm/sn	2.08mm/sn	5.34mm/sn	3.13mm/sn	2.21mm/sn	ELEKTRİK MOTORU YATAK BAKIMI	SOĞUTUCU FAN VE YATAK ARIZASI	140182906
14	6.03.2017	9G-4/B	5.12mm/sn	22.49mm/sn	13.89mm/sn	9.51mm/sn	7.72mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI	GENEL BAKIM	140183334
15	6.03.2017	7G-109	7.17mm/sn	3.72mm/sn	5.93mm/sn	3.78mm/sn	5.55mm/sn	LAYN KONTROLÜ	HATLARDAN KAYNAKLI LAYN KONTROLÜ	140183333
16	10.03.2017	109GM-902/A	1.20mm/sn	3.50mm/sn	1.43mm/sn	1.52mm/sn	4.14mm/sn	ELEKTRİK MOTORU ELEKTRİKSEL ARIZA VE YATAK BAKIMI	ELEKTRİKSEL ARIZA	140183544
17	20.03.2017	7 G-4/B	8.34mm/sn	8.32mm/sn	7.84mm/sn	5.00mm/sn	5.84mm/sn	POMPA BAKIMI VE FAN BAKIMI		140184961
18	21.03.2017	33GM-208/B	3.23mm/sn	2.20mm/sn	2.13mm/sn	1.86mm/sn	2.09mm/sn	ELEKTRİK MOTORU YATAK BAKIMI	RULMAN ARIZASI	140184997
19	27.03.2017	26 G-101/B	4.61mm/sn	5.89mm/sn	8.06mm/sn	6.04mm/sn	4.53mm/sn	LAYN KONTROLÜ		140185858
20	27.03.2017	25K-10	3.34mm/sn	2.97mm/sn	8.23mm/sn	5.78mm/sn	3.97mm/sn	FAN YATAK BAKIMI	RULMAN ARIZASI	140185871
21	29.03.2017	47G-302/A	5,09mm/sn	48mm/sn	4,75mm/sn	33,98mm/sn	7,22mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI		140186316
22	6.04.2017	10K-22/C	15.17mm/sn	5.33mm/sn	6.34mm/sn	4.57mm/sn	6.04mm/sn	MİKSER BAKIMI	ELEKTRİK MOTORU VE MİKSER BAKIMI	140187376
23	10.04.2017	10K-22/C	15.17mm/sn	5.33mm/sn	6.34mm/sn	4.57mm/sn	6.04mm/sn	ELEKTRİK MOTOR BAKIMI		140188021
24	10.04.2017	2GM-3	13.54mm/sn	3.68mm/sn	8.81mm/sn	3.17mm/sn	12.58mm/sn	ELEKTRİK MOTOR BAKIMI	ELEKTRİKSEL ARIZA VE YATAK BAKIMI	140188013
25	10.04.2017	3G-501/A	1.06mm/sn	1.34mm/sn	8.72mm/sn	7.66mm/sn	5.82mm/sn	POMPA TRANS YATAK BAKIM	TRANS YATAK BAKIMI	140188020
26	10.04.2017	26G-101/B	5.12mm/sn	9.86mm/sn	8.19mm/sn	8.68mm/sn	5.66mm/sn	POPMPA GENEL BAKIMI		140188012
27	24.04.2017	5 K-4	2.01mm/sn	2.64mm/sn	16.27mm/sn	13.52mm/sn	2.59mm/sn	FAN GENEL BAKIMI		140189495
28	25.04.2017	47 G-104/A	8.79mm/sn	66.06mm/sn	12.73mm/sn	31.34mm/sn	27.01mm/sn	ARA KAPLİN VE LAYN KONTROLÜ		140189982
29	26.04.2017	109 K-257/B	2.20mm/sn	2.85mm/sn	1.14mm/sn	1.60mm/sn	5.05mm/sn	KAYIŞ KASNAK BAKIMI		140190043
30	5.05.2017	7 G-601/A						POMPA KAZIKLADIĞI İÇİN ÖLÇÜM ALINAMDI		140191323
31	5.05.2017	7 GM-601/A	1.84mm/sn	1.27mm/sn	1.26mm/sn	1.47mm/sn	0.76mm/sn	ELEKTRİK MOTORU YATAK BAKIMI		140191335
32	8.05.2017	47G-104/A	12.41mm/sn	33.21mm/sn	13.59mm/sn	2449mm/sn	24.10mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI		140191395
33	29.05.2017	36G-201/A	2.97mm/sn	3.49mm/sn	9.55mm/sn	6.09mm/sn	9.46mm/sn	TRANS YATAK BAKIMI		140193918
34	8.06.2016	9GT-202/B	21.20mm/sn	23.69mm/sn	9.28mm/sn	8.23mm/sn	4.37mm/sn	ARA KAPLİN VE LAYN KONTROLÜ		140195058
35	13.06.2017	62 G-782	12.17mm/sn	11.15mm/sn	10.24mm/sn	7.53mm/sn	6.46mm/sn	POMPA GENEL LBAKIMI		140196262
36	13.06.2017	62GM-782	11.21mm/sn	12.88mm/sn	3.49mm/sn	22.38mm/sn	6.61mm/sn	ELEKTRİK MOTORU BAKIMI		140196263
37	14.06.2017	48 G-4/A	14.52mm/sn	6.94mm/sn	20.90mm/sn	13.48mm/sn	1.55mm/sn	POMPA GENEL LBAKIMI		140196377
38	14.06.2017	48 G-4/B	10.04mm/sn	75.84mm/sn	16.47mm/sn	87.44mm/sn	2.75mm/sn	POMPA GENEL LBAKIMI		140196408
39	3.07.2017	21 G 384	7,44mm/sn	8,27mm/sn	8.40mm/sn	11.27mm/sn	17.11mm/sn	POMPA GENEL LBAKIMI		140198249
40	4.07.2017	7 GM-6/B	1.78mm/sn	9.18mm/sn	2,92mm/sn	8.88mm/sn	7,26mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI		140198410
41	17,07,2017	2K-1			4,3mm/sn	7,27mm/sn	4,62mm/sn	FAN VE SALYANGOZ'UN İÇ TEMİZLİĞİNİN YAPILMASI		140200944
42	17,07,2017	130G-403/A	13,38 mm/sn	9,64 mm/sn	6,73 mm/sn			POMPA İÇ YATAK BAKIMI		140200945
43	18.07.2017	3G-105/A	50,22mm/sn	26,43mm/sn	15,39mm/sn	30,92mm/sn	19,55mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI VE ŞASE BAKIMI		140201053
44	18.07.2017	33GM-206/B	3,97mm/sn	6,29mm/sn	3,79mm/sn	2,9mm/sn	3,2mm/sn	E.M. YATAK BAKIMI		140201052
45	20.07.2017	47G-106/A	2,06mm/sn	8,5mm/sn	2,37mm/sn	13,31mm/sn	1,81mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI VE ROTOR BALANSI		140201369
46	25.07.2017	68G-2/B	11,49 mm/sn	12,69 mm/sn	13,80 mm/sn	15,34 mm/sn	2,74 mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI		140201874
47	26.07.2017	9G-129/B						POMPA GENEL BAKIMI		140202163
48	10.08.2017	7GM-302/A	2,56 mm/sn	1,78 mm/sn	2,00 mm/sn	1,52 mm/sn	2,25 mm/sn	E.M. YATAK BAKIMI		140204146
49	15.08.2017	21G-330	13,58 mm/sn	7,55 mm/sn	3,21 mm/sn	4,52 mm/sn	11,47 mm/sn	ARA KAPLİN BAKIMI VE LAYN AYARI		140205117
50	18.08.2017	7GM-11/A	2,16 mm/sn	11,42 mm/sn	1,25 mm/sn	8,60 mm/sn	2,41 mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI		140205412
51	24.08.2017	3G-504/B	1,39 mm/sn	0,98 mm/sn	2,41 mm/sn	1,45 mm/sn	4,03 mm/sn	POMPA DIŞ YATAK BAKIMI		140206558
52	25.08.2017	9GM-1/A	18,11 mm/sn	2,47 mm/sn	7,06 mm/sn	2,48 mm/sn	14,47 mm/sn	ELEKTRİK MOTORU BAKIMI		140206570
53	31.08.2017	13G-208/A	4.14/mm/sn	2.76mm/sn	2.59mm/sn	3.58mm/sn	2.46mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI		140207075
54	4.09.2017	5K-4	1,83 mm/sn	2,47 mm/sn	10,35 mm/sn	8,78 mm/sn	5,28 mm/sn	BLOWER GENEL BAKIMI		140207140
55	7.09.2017	7G-13/A	4,60 mm/sn	4,79 mm/sn	4,72 mm/sn	3,56 mm/sn	4,23 mm/sn	POMPA YATAK BAKIMININ YAPILMASI		140207728
56	7.09.2017	2G-3	3,20 mm/sn	11,48 mm/sn	4,93 mm/sn	11,91 mm/sn	2,33 mm/sn	POMPA MEKANİK BAKIMI		140207729
57	20.09.2017	109KM-273/B	3,36mm/sn	12,85mm/sn	17,82mm/sn	51,69mm/sn	28,74mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI		140209032
58	10.10.2017	33G-201/B	3,35mm/sn	2,27mm/sn	3,27mm/sn	2,61mm/sn	1,88mm/sn	POMPA KPLİN TARAFI YATAK BAKIMI	VİBRASYON DEĞERLERİ DÜŞÜK YAĞ NUMUNESİNDE METAL TOZLARININ ARTMASI	140212408
59	10.10.2017	62G-902 küçük ünite	4,48mm/sn	10.11mm/sn	2,29mm/sn	1,.97mm/sn	3,22mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI	MOTOR ARKA YATAK VİBRASYONUNUN ARTMASI	140212409
60	11.10.2017	33G-21/B	4,39mm/sn	5,70 mm/sn	2,44mm/sn	4,21 mm/sn	1,17mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI(RED EDİLDİ FURKAN BEY DAHİLİNDE	YATAK ARIZASI TESPİT EDİLDİ	140212625
61	11.10.2017	25GM-15/A	2,35mm/sn	2,51mm/sn	3,02mm/sn	2,61mm/sn	1,36mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI	SOĞUTUCU FAN AŞIRI MEKANİK SES VAR 15/B PERİYODİK BAKIMI OLDUĞU İÇİN ÖNCELİK 18/A VERİLDİ	140212626
62	16.10.2017	6GT-201/B	1,02mm/sn	1,74mm/sn	5,46mm/sn	1,99mm/sn	4,69mm/sn	GOVERNÖR VE GEREKİRSE TRAST YATAK BAKIMI	GOVERNÖR TARAFINDA VİBRASYON LASTİK KAPLİNDEN ŞÜPHELENİLİYOR	1402013297
54	24.10.2017	7GT-16/A	1,36mm/sn	8,17mm/sn	4,05mm/sn	9,46mm/sn	3,21mm/sn	TÜRBİN YATAK KONTROLÜ		140214056
64	27.10.2017	62G-513	8,12mm/sn	8,20mm/sn	10,69mm/sn	4,64mm/sn	4,69mm/sn	ARA KAPLİN VE YATAK BAKIMI		140214732
65	30.10.2017	36G-1/A	4,88mm/sn	4,38mm/sn	20,47mm/sn	15,71mm/sn	15,10mm/sn	TRAST YATAK ARIZASI VE RADYAL YATAK SİRAYET ETMESİ		140214837
66	7.11.2017	25G-6/B	6,72mm/sn	25,45mm/sn	7,13mm/sn	12,70mm/sn	3,20mm/sn	POMPA GENEL BAKIMI		140215972
67	7.11.2017	5K-2	5,42mm/sn	6,74mm/sn	11,91mm/sn	12,84mm/sn	13,33mm/sn	FAN KOMPLE GENEL BAKIMI		140216051
68	15.11.2017	9GM-202/A	8,32mm/sn	8,99mm/sn	2,93mm/sn	8,74mm/sn	5,24mm/sn	ELEKTRİK MOTORU GENEL BAKIMI		140216711

Ek-E

Tablo E.1. Döner ekipmanlar bakım iş taleplerinin listesi

Öncelik	Sipariş	Bildirim	Sorumlu işyeri	Planlanan başlangıç termini	Planlanan bitiş termini	Kısa metin	Saha
4	240217554	140219563	MEK-P	12.12.2017	20.01.2018	63K-101/A KOMPRESÖR 6000 SAAT PM BAKIMI	Proses
2	200223557	100268703	MEK-P	16.03.2018	23.03.2018	74G-3/B TRANS YATAK BAKIMI	Proses
4	200219626	100263690	MEK-P	25.01.2018	3.02.2018	36K-1/A KOMPRESÖR VALF BAKIMI	Proses
2	200221755	100266581	MEK-P	20.02.2018	27.02.2018	47G-4/C POMPA BAKIMI	Proses
6	240215145	140217651	MEK-P	23.11.2017	15.02.2018	33K-101/B RECYCLE KOMRESÖRÜ P/M BAKIMI	Proses
2	200222545	100267561	MEK-Y	2.03.2018	9.03.2018	9K-306/A kompresör ara kademe bakımı	Yartes
4	200216528	100260466	MEK-P	19.12.2017	30.01.2018	33G-201/B ÇİFT TARAFI M/S BAKIMI	Proses
3	240220251	140223092	MEK-P	29.12.2017	12.01.2018	6K-201 KOMP 8000 SAAT P/M BAK YAPILMASI	Proses
3	200221437	100266130	MEK-P	15.02.2018	1.03.2018	48G-2 /B DİK POMPA BAKIMI (KÜKÜRT POMPA)	Proses
3	200217924	100261481	MEK-Y	28.12.2017	11.01.2018	9KT-301/B TÜRBİN GÖVDE KAÇAK BAKIMI	Yartes
4	240225219	140227904	MEK-Y	2.02.2018	16.03.2018	62G-903 POMPA GENEL BAKIMI	Yartes
4	240226325	140228877	MEK-P	14.02.2018	28.03.2018	7G-1/A POMPA GENEL BAKIMININ YAPILMASI	Proses
2	200223142	100268271	MEK-P	11.03.2018	18.03.2018	48G-4/B POMPASI KİLİTLENDİ	Proses
3	200221299	100265990	MEK-Y	13.02.2018	27.02.2018	62G-253 MEKANİK SEAL DAĞITMIŞ.	Yartes
4	200216672	100259490	MEK-P	20.12.2017	31.01.2018	47G-11/B POMPA BAKIMI	Proses

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Ercan E., **Küçük C.**, Kaya D., Electricity Generation With Organic Rankine Cycle from Waste Gases, *3rd International Iron & Steel During*, Karabük, 3-5 April 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Cabir Küçük, 1983 yılında Kocaali'de doğdu. Lise öğrenimini Körfez Endüstri Meslek Lisesi, Metal Bölümü'nde tamamladı. 2002 yılında girdiği Kocaeli Kullar Meslek Yüksek Okulu, Makine Bölümü'nden 2005 yılında, 2007 yılında Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında mezun oldu. 2015 yılında TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi Bakım Planlama Mühendisi olarak göreve başladı. Halen TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi Bakım Planlama Şefi olarak görev almakta ve Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.