

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**VİDALI KOMPRESÖRLERDE YOL VERME YÖNTEMİYLE  
FARKLI ENERJİ SINIFLARINDAKİ ELEKTRİK MOTORLARIN  
KULLANIMININ VERİMLİLİĞE ETKİSİ VE PERFORMANS  
ANALİZİ**

**Serhat EKER**

**Danışman  
Prof. Dr. Nevzat ONAT**



**MANİSA-2020**

**Serhat  
EKER**

**VIDALI KOMPRESÖRLERDE YOL VERME YÖNTEMİYLE FARKLI ENERJİ  
SINIFLARINDAKİ ELEKTRİK MOTORLARIN KULLANIMININ VERİMLİLİĞE ETKİSİ VE  
PERFORMANS ANALİZİ**

**2020**

## **TAAHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referansı gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Serhat EKER**



## İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>I</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....</b>	<b>III</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>V</b>
<b>TABLO LİSTESİ .....</b>	<b>VI</b>
<b>EKLER LİSTESİ .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Literatür Taraması.....	2
<b>2. KOMPRESÖR TÜRLERİ VE YOL VERME ÇEŞİTLERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1. Kompresörler ve Türleri .....	6
2.1.1. Dinamik Kompresörler .....	7
2.1.1.1. Santrifüj Kompresörler.....	7
2.1.1.2. Eksenel Kompresörler .....	8
2.1.2. Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler .....	9
2.1.2.1. Pistonlu Kompresörler.....	9
2.1.2.2. Dönel Kompresörler .....	10
2.1.2.2.1. Düz Loblu Kompresörler .....	11
2.1.2.2.2. Burgulu Kompresörler .....	11
2.1.2.2.3. Paletli Kompresörler .....	12
2.1.2.2.4. Helisel Loblu (Vidalı) Kompresörler.....	12
<b>3. ELEKTRİK MOTORLARI.....</b>	<b>20</b>
3.1. Elektrik Motorları Çeşitleri .....	21
3.1.1. Doğru Akım Elektrik Motorları .....	22
3.1.2. Alternatif Akım Elektrik Motorları.....	22
3.1.2.1. Senkron Motorlar .....	23
3.1.2.2. Asenkron Motorlar .....	23
3.2. Asenkron Motorlara Yol Verme Yöntemleri.....	25
3.2.1. Doğrudan Yol Verme .....	25
3.2.2. Gerilimi Değiştirerek Yol Verme.....	26
3.2.2.1. Oto Transformatörü ile Yol Verme .....	26
3.2.2.2. Yıldız-Üçgen Bağlayarak Yol Verme .....	27
3.2.2.3. Stator Ön Direnci ile Yol Verme.....	28
3.2.2.4. Bilezik Ön Direnci İle Yol Verme .....	29
3.2.3. Güç Elektroniği Sistemleri ile Yol Verme .....	30
3.2.3.1. Yumuşak Yol Verici (Soft-starter) İle Yol Verme.....	30
3.2.3.2. Frekans Değiştirici (İnverter) ile Yol Verme .....	31
3.3. Enerji Verimliliği.....	32
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....</b>	<b>34</b>
4.1. Debi Ölçümü.....	34
4.1.1. Daldırma Tip Termal Kütle Debimetre.....	35

4.1.2. Debimetre Bağlantısı .....	36
4.2. Analizör ile Güç Ölçümü .....	38
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>40</b>
5.1. Spesifik (özgül) Güç Tüketimi .....	40
5.2. Kayış-Kasnak Tasarım Vidalı Kompresör Veri Analizi.....	41
5.2.1. Kayış-Kasnak Tasarım Vidalı Kompresör Elektrik Bağlantısı.....	42
5.3. Akuple Tasarım Vidalı Kompresör Veri Analizi.....	43
5.3.1. Akuple Tasarım Vidalı Kompresör Elektrik Bağlantısı.....	44
5.4. İnverterli Tasarım Vidalı Kompresör Veri Analizi.....	44
<b>6. TARTIŞMA.....</b>	<b>46</b>
6.1. 75kW Vidalı Kompresörlerin Karşılaştırılması ( KK, KK VSD, A, A VSD) .....	46
6.1.1. 75kW Vidalı Kompresörlerin Enerji Maliyet Analizi (KK, KK VSD, A, A VSD) .....	49
6.2. 250kW Vidalı Kompresörlerin Karşılaştırılması ( A, A VSD) .....	50
6.2.1. 250kW Vidalı Kompresörlerin Enerji Maliyet Analizi (A, A VSD) ....	52
<b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>54</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>57</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>87</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

- $BHH$**  : Basınçlı Hava Hacmi ( $dm^3/s$ )
- $D_{(s)}$**  : Kontrol Organı
- $E_{(t)}$**  : Hata Sinyali
- $F_{1n}$**  : Ana Rotor ile Yardımcı Rotor Arasındaki İlk Kesit Alanı
- $F_{2n}$**  : Ana Rotor İle Yardımcı Rotor Arasındaki İkincil Kesit Alanı
- $G_{(s)}$**  : Sürücü Sistem
- $H_{(s)}$**  : Geri Besleme Sinyali
- $h_r$**  : Yıllık Çalışma Saati
- $L$**  : Yük Faktörü (Tam yük yüzdesi) (%)
- $L_s$**  : Strok Mesafesi
- $M_m$**  : Motor Torku ( $N \cdot m$ )
- $m_{giriş}$**  : Giren Hava Miktarı
- $m_{çıkış}$**  : Çıkan Hava Miktarı
- $\dot{m}$**  : Gerçek Kütleli Debi ( $kg/s$ )
- $\dot{m}_t$**  : Teorik Kütleli Debi ( $kg/s$ )
- $M_s$**  : Vida Bloğu Yük Torku ( $N \cdot m$ )
- $\eta$**  : Motor Verimliliği (%)
- $\eta_a$**  : Adyabatik Verimlilik
- $\eta_i$**  : İzotermal Verimlilik
- $n_1$**  : Motor Sayısı
- $n_m$**  : Motor Devri ( $d/dk$ )
- $\eta_v$**  : Volumetrik Verim (%)
- $n_s$**  : Vida Bloğu Devri ( $d/dk$ )
- $P$**  : Motor Anma Gücü ( $kW$ )
- $P_0$**  : Atmosfer Basıncı (bar)
- $P_1$**  : Kompresör Giriş Basıncı ( $kg/cm^2$  & bar)
- $P_2$**  : Mutlak Basınç ( $kg/cm^2$  & bar)
- $P_F$**  : Fan Motor Gücü ( $kW$ )
- $P_N$**  : Şebeke Basıncı (bar)
- $P_n$**  : Nominal Güç

- $P_{sn}$  : Spesifik Nominal Güç  
 $P_{oil}$  : Yağ Basıncı (*bar*)  
 $P_S$  : Şaft Gücü (*kW*)  
 $P_T$  : Paket Güç (*kW*)  
 $\rho_0$  : Yoğunluk  
 $Q$  : Hava Debisi ( $m^3/dk$ )  
 $Q_s$  : Serbest Hava Debisi ( $m^3/dk$ )  
 $Q_k$  : Kompresör Yer Değiştirmesi ( $m^3/dk$ )  
 $\dot{Q}_N$  : Şebeke Hava Debisi ( $m^3/dk$ )  
 $R$  : Sıkıştırma Oranı  
 $SET$  : Spesifik Güç ( $kW/m^3/dk$ )  
 $SHH$  : Serbest Hava Hacmi ( $dm^3/s$ )  
 $S_{SR}$  : Enerji Tasarrufuyla ilişkili Belirli Hız Düşürme Yüzdesi (%)  
 $T_1$  : Hava Giriş Sıcaklığı (K)  
 $T_2$  : Hava Çıkış Sıcaklığı (K)  
 $t$  : Maksimum Basınca Ulaşılan Kadar Geçen Süre (*dk*)  
 $U_N$  : Besleme Gerilimi (V)  
 $V$  : Tank Hacmi ( $m^3$ )  
 $\dot{V}$  : Hacimsel Debi ( $m^3/dk$ )  
 $V_{(s)}$  : Çıkış Sinyali  
 $V_1$  : Kompresör Giriş Hacmi (L)  
 $V_2$  : Kompresör Çıkış Hacmi (L)  
 $W_a$  : Adyabatik İş  
 $W_n$  : Nominal İş  
 $W_i$  : İzotermal İş  
 $YET$  : Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh)  
 $y_u$  : Motor ve Valf Kontrol Sinyali  
 $y_v$  : Valf Kapak Açısı (%)  
 $z_1$  : Vida Bloğu Rotor Sayısı

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Basınçlı hava sistemlerinin bir yıllık giderleri.....	2
Şekil 2.1. Kompresörlerin sınıflandırılması .....	6
Şekil 2.2. Santrifüj kompresörler .....	8
Şekil 2.3. Eksenel kompresörler .....	9
Şekil 2.4. Pistonlu kompresör basınç - Hacim grafiği .....	10
Şekil 2.5. Düz loblu kompresör rotorları .....	11
Şekil 2.6. Burgulu kompresör .....	11
Şekil 2.7. Paletli kompresör kesiti .....	12
Şekil 2.8. En çok kullanılan kompresör vidası profili .....	13
Şekil 2.9. Vidalı kompresörlerde sıkıştırma çevrimi .....	13
Şekil 2.10. Yağsız vidalı kompresör sistemi .....	16
Şekil 2.11. Yağlı çalışan vidalı kompresör sistemi .....	17
Şekil 2.12. Vidalı kompresör sistemine ait blok diyagramı .....	17
Şekil 2.13. Yağlı ve yağsız tip arasındaki boyut ve eleman farkı .....	18
Şekil 3.1. PID kontrolörünün şematik kapalı döngüsü .....	21
Şekil 3.2. Elektrik Motorları Türleri .....	21
Şekil 3.3. Bir sabit mıknatıslı DC motorun çalışması .....	22
Şekil 3.4. (a) Sincap kafesli rotor (b) Sincap kafesi ve (c) Bilezik rotorlu motor.....	25
Şekil 3.5. Doğrudan yol verme, kumanda, güç ve uygulama şemaları .....	26
Şekil 3.6. Oto transformatörü ile yol verme güç devresi .....	27
Şekil 3.7. Yıldız üçgen yol verme güç devresi .....	28
Şekil 3.8. Stator ön direnci ile yol verme.....	29
Şekil 3.9. Bilezik ön direnci ekleyerek yol verme güç devresi .....	30
Şekil 3.10. Yumuşak yol verme (soft-starter) bağlantı şeması .....	31
Şekil 4.1. Debimetre türleri.....	35
Şekil 4.2. VPFlowScope debimetre .....	36
Şekil 4.3. Basınçlı hava sistemi debimetre bağlantı şeması.....	36
Şekil 4.4. Debimetre montaj şeması.....	37
Şekil 4.5. Debimetre-kompresör çıkış bağlantısı.....	38
Şekil 4.6. Pano tipi test analizör.....	39
Şekil 5.1. POLY - V kasnak ve kayış .....	41
Şekil 5.2. Akuple sistemi .....	43
Şekil 5.3. Kaplin .....	43
Şekil 5.4. Frekans inverteri .....	45
Şekil 6.1. 75kW 10 bar vidalı kompresör hava debisi ölçümleri sütun grafiği.....	47
Şekil 6.2. 75kW 10 bar vidalı kompresörler için analizör ile güç ölçümleri sütun grafiği ....	47
Şekil 6.3. 75kW 10 bar vidalı kompresörler için spesifik güç sütun grafiği.....	48
Şekil 6.4. 250kW 7 bar vidalı kompresörler için hava debisi ölçümleri sütun grafiği.....	51
Şekil 6.5. 250kW 7 bar vidalı kompresörler için analizör ile güç ölçümleri sütun grafiği ....	51
Şekil 6.6. 250kW 7 bar vidalı kompresörler için spesifik güç sütun grafiği.....	52



## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Atmosfer basıncı ile sıkıştırma oranı ilişkisi .....	5
Tablo 5.1. Vidalı kompresörlerde kullanılan fan motoru güçleri.....	41
Tablo 5.2. KK vidalı kompresör uygun kablo kesitleri ve ana şalter akım değerleri.....	42
Tablo 5.3. Akuple vidalı kompresör uygun kablo kesitleri ve ana şalter akım değerleri.....	44
Tablo 6.1. 75kW 7 bar vidalı kompresör maliyetleri .....	50
Tablo 6.2. 250kW 7 bar vidalı kompresör maliyetleri .....	53



## EKLER LİSTESİ

Tablo Ek 1.1. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör teknik detayları .....	63
Tablo Ek 1.2. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri .....	64
Tablo Ek 1.3. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri .....	64
Tablo Ek 1.4. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri .....	65
Tablo Ek 1.5. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri .....	65
Tablo Ek 1.6. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör hava debisi ölçüm sonuçları .....	66
Tablo Ek 1.7. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları .....	66
Tablo Ek 2.1. 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör teknik detayları .....	67
Tablo Ek 2.2. 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri .....	68
Tablo Ek 2.3. 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri .....	68
Tablo Ek 2.4. 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri .....	69
Tablo Ek 2.5. 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri .....	69
Tablo Ek 2.6. 75kW KK VSD 10 bar ölçüm sonuçları.....	70
Tablo Ek 2.7. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları.....	70
Tablo Ek 3.1. 75kW A 10 bar vidalı kompresör teknik detayları .....	71
Tablo Ek 3.2. 75kW A 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri .....	72
Tablo Ek 3.3. 75kW A 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri .....	72
Tablo Ek 3.4. 75kW A 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri .....	73
Tablo Ek 3.5. 75kW A 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri .....	73
Tablo Ek 3.6. 250kW A 7 bar vidalı kompresör teknik detayları .....	74
Tablo Ek 3.7. 250kW A 7 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri .....	75
Tablo Ek 3.8. 250kW A 7 bar vidalı kompresör ana motor grubu bilgileri.....	75
Tablo Ek 3.9. 250kW A 7 bar vidalı kompresör yağ özellikleri .....	76
Tablo Ek 3.10. 250kW A 7 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri .....	76
Tablo Ek 3.11. 75kW A 10 bar hava debisi ölçüm sonuçları .....	77
Tablo Ek 3.12. 250kW A 7 bar vidalı kompresör hava debisi ölçüm sonuçları .....	77
Tablo Ek 3.13. 75kW A 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları..	78
Tablo Ek 3.14. 250kW A 7 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları..	78
Tablo Ek 4.1. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör teknik detayları .....	79
Tablo Ek 4.2. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri .....	80
Tablo Ek 4.3. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri .....	80
Tablo Ek 4.4. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri .....	81
Tablo Ek 4.5. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri .....	81
Tablo Ek 4.6. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör teknik detayları .....	82
Tablo Ek 4.7. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri .....	83
Tablo Ek 4.8. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri .....	83
Tablo Ek 4.9. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör yağ özellikleri .....	84
Tablo Ek 4.10. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri .....	84
Tablo Ek 4.11. 75kW A VSD 10 bar ve debi ölçüm sonuçları.....	85
Tablo Ek 4.12. 250kW A VSD 7 bar debi ölçüm sonuçları.....	85
Tablo Ek 4.13. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları.....	86
Tablo Ek 4.14. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları.....	86

## ÖNSÖZ

Dünya'yı ve ülkemizi etkisi altına alan salgın döneminde çalışmamın her aşamasında desteğiyle ve sabrıyla yoluma ışık tutan, kendisini tanımaktan her zaman onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nevzat ONAT'a, yüksek lisans eğitimimi tamamlayarak hayalini gerçekleştirdiğim annem Suzan EKER'e ve dostum, ağabeyim Burak EKER'e yürekten teşekkür ederim.

Serhat EKER  
Manisa, 2020



# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## VİDALI KOMPRESÖRLERDE YOL VERME YÖNTEMİYLE FARKLI ENERJİ SINIFLARINDAKİ ELEKTRİK MOTORLARIN KULLANIMININ VERİMLİLİĞE ETKİSİ VE PERFORMANS ANALİZİ

Serhat EKER

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ONAT

Kompresörler, endüstride otomasyon sistemlerinin artmasıyla beraber imalat yapan fabrikalar için önemli bir parça haline gelmiştir. Tekstilden madencilığe, otomotivden ilaç sanayisine kadar hemen hemen her türlü imalat sektöründe kullanılmaktadır. Dolayısıyla günümüzde çeşitli avantajları sebebiyle kompresör bulunmayan fabrika sayısı oldukça azdır.

Basınçlı hava sistemlerinde sistemin ana maddesi havadır. Bununla birlikte, kompresörler endüstriyel faaliyetlerde elektrik enerjisinden sonra kullanılan en büyük enerji kaynağıdır. Bu sebeple tüketilen bu enerjinin verimli kullanılmasının enerji tasarrufuna ve rekabet gücüne katkısı büyük olacaktır.

Endüstride en yaygın kullanılan kompresör tipi vidalı kompresörlerdir. Vidalı kompresörler yağlı ve yağsız tipte olabilir. Yağlı tip kompresörler birbirini tahrik eden iki vida (dişi ve erkek rotor) arasındaki hacmin her kademedede daralması ile basıncın artması prensibine göre çalışmaktadır. Bunun sonucunda oluşan ısıyı kontrol etmek yağsız tip kompresörlerde daha zordur.

Akuple model aktarma şekli günümüzde kullanılan en modern aktarma şeklidir. Bu aktarma şeklinde vida bloğu ile elektrik motoru direkt bağlıdır. Günümüzde aktarma için kullanılan diğer bir tür de kayış-kasnak tip vidalı kompresörlerdir. Ancak aktarımda sürtünmeden kaynaklı kayıplar oluşmaktadır.

Yol verme çeşitleri açısından vidalı kompresörler yıldız-üçgen, frekans kontrollü (inverterli) veya sanayi dilinde sürücülü veya değişken devirli olarak adlandırılan hava kompresörleridir. Bazı uygulamalarda da soft-starter kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda IE2, IE3 ve IE4 enerji sınıfı elektrik motorları kullanılmaktadır.

Birçok işletmede, enerji sarfiyatının büyük bir bölümünü oluşturan kompresörlerin alımı plansız ve bilinçsiz olarak yapılmaktadır.

Ülkemizdeki enerji maliyetlerinin yükselmesiyle beraber firmaların yaptıkları ilk yatırımlarda kompresör konusu da ele alınmaya başlanmıştır. Bu süreçte enerji verimliliği yüksek elektrik motorları ve inverterli kompresörlere ilgi artmıştır.

İnverterli kompresörler ile ilgili literatürde işletmenin ne kadar hava ihtiyacı var ise o kadar elektrik tüketilerek hava ihtiyacını karşılayacağı belirtilmektedir. İnverterli vidalı kompresör durma-başlama yapmadan sürücü (inverter) sayesinde çalışma gücü ve devri otomatik olarak kontrol edecektir. Böylece sistemin istenilen basınçta tutularak enerji ihtiyacı kadar enerji tüketeceği ve enerji maliyetlerinde büyük avantaj sağlayacağı fikri öne sürülmektedir.

Bu tezde aktarma şekillerinin ve yol verme yöntemlerinin kompresörlerde enerji verimliliğine etkisi incelenerek vidalı kompresörlerde verimliliği arttırmaya yönelik neler yapılması gerektiğine dair fikirler oluşturulması amaçlanmıştır. Bu hedefe yönelik olarak farklı güçteki kompresörler saha testlerinden geçirilerek alınan ölçümler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

75kW ve 250kW vidalı kompresör modellerinden alınan hava debisi, paket güç ölçüm verileri ve spesifik güç hesaplamaları ışığında yol verme yöntemlerinin, elektrik motorlarının verimlilik sınıfının ve aktarma şekillerinin vidalı kompresör verimliliğine etkilerine dair değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde elde edilen değerlere sebep olan etmenler yorumlanmıştır. Ayrıca bu tez çalışmasının geliştirilmesiyle literatüre ve endüstriye dair öneriler getirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler: Vidalı Kompresör, Basınçlı Hava Sistemleri, İnverter, Hava Debisi, Enerji Verimliliği**

**2020, 83 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THE EFFECT OF USING ELECTRIC MOTORS OF THE DIFFERENT ENERGY CLASSES BY START-UP PROCESS IN SCREW COMPRESSORS ON EFFICIENCY AND PERFORMANCE ANALYSIS**

**Serhat EKER**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department Of Electrical Electronics Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ONAT**

Compressors have become an important part for manufacturing factories with the increase of automation systems in industries. It is used in almost all kinds of manufacturing sectors, from textile to mining, from automotive to pharmaceutical industry. Therefore, due to its various advantages, today the number of factories that do not have compressors is very low.

In compressed air systems, the main substance of the system is air. At the same time, compressors are the largest energy source used in industrial activities after electrical energy. For this reason, the efficiency of compressors will contribute to energy savings and competitiveness.

In the industry, the most used compressor type is screw compressors. Screw compressors consist of two types, oily and oil free. Oily type compressors work according to the principle of increasing the pressure with the narrowing of the volume between two screws (female and male rotors) that drive each other. It is more difficult to control the resulting heat in oil-free compressors.

The coupled model transfer method is the most modern transmission type used today. In these models, the screw block is directly connected to the electric motor. Today, there are also belt-pulley type screw compressors used for transmission. However, there will be losses in transmission due to friction.

In terms of starting types, screw compressors are star-delta and frequency controlled (inverter) air compressors, which are called driver or variable speed in industry language. Soft starter is also used in some applications. In these applications, IE2, IE3 and IE4 energy class electric motors are used.

In many factories, the purchase of compressors, which constitute a large part of the energy consumption, is carried out unplanned and unconsciously.

With the increase in energy costs in our country, the issue of compressors started to be addressed in the first investments made by companies. In this process, interest in electric motors and inverter compressors with high energy efficiency has increased.

In the literature on inverter compressors, how much air the business needs, the more electricity will be consumed to meet the air requirement. Screw compressor with inverter will automatically control power and speed without stopping and starting. Screw compressor with inverter will automatically control the operating power and speed thanks to the inverter without stopping and starting. Thus, it is suggested that the system will be kept at the desired pressure and will consume as much energy as the energy requirement and will provide a great advantage in energy costs.

In this thesis study, it was aimed to create ideas about the effect of transfer modes and starting methods on energy efficiency in a specific system such as compressor and what should be done to increase efficiency in screw compressors

In this thesis, it is aimed to create ideas about what should be done to increase efficiency in screw compressors by examining the effect of transmission and starting methods on energy efficiency in compressors. For this purpose, compressors of different power have been tested in the field and the measurements taken have been analyzed comparatively.

In the light of air flow, package power measurement data and specific power calculations obtained from 75kW and 250kW screw compressor models, evaluations were made on the effects of starting methods, efficiency class of electric motors and transmission types on screw compressor efficiency. The factors causing the values obtained in the measurements made were interpreted. In addition, with the development of this thesis, suggestions were made regarding the literature and the industry.

**Keywords: Screw Compressor, Compressed Air Systems, Inverter, Air Flow, Energy Efficiency**

**2020, 83 pages**

## 1. GİRİŞ

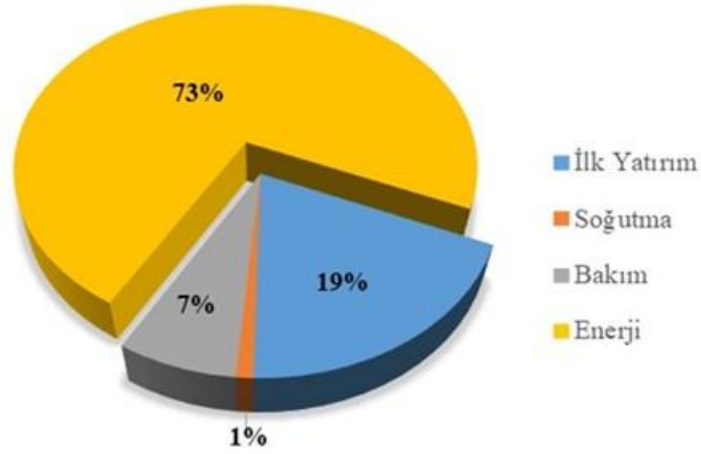
Tez çalışmasının birinci bölümünde, basınçlı hava ve sistemlerinin endüstride enerji verimliliği açısından önemi ve tez konusuyla ilgili literatür çalışmaları incelenmiştir. İkinci bölümde, kompresör çeşitleri, elektrik motorları, yol verme yöntemleri ve enerji verimliliği konuları incelenmiştir. Üçüncü bölümde, yapılacak olan ölçümler ve ölçümlerde kullanılan materyaller incelenmiştir. Dördüncü bölümde, ölçümleri yapılan 75kW ve 250kW vidalı kompresör modellerinin hava debisi, paket güç ve spesifik güç verileri grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu verilere dayanarak yol verme yöntemlerinin, elektrik motorlarının verimlilik sınıfının ve aktarma şekillerinin vidalı kompresör verimliliğine ne derecede etkileri olduğu belirlenmiştir. Beşinci bölümde, vidalı kompresörlerden elde edilen verilerin analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Basınçlı hava, elektrik, doğalgaz ve sudan sonra üretim faaliyetlerinin kolaylaştırılmasında dördüncü hizmet olarak kabul edilmektedir. Üretim tesislerinde basınçlı hava, çalıştırma, temizleme, soğutma, parçaların kurutulması ve metal talaşlarının çıkarılması gibi işlemler için yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

Basınçlı hava sistemleri endüstriyel elektrik tüketiminde dikkate değer bir paya sahiptir. Aynı zamanda, basınçlı hava üretiminin enerji verimliliğini artırmak önemli bir potansiyel kabul edilmiştir [2].

Günümüzde, yükselen ham petrol fiyatları ile enerji sorunları giderek daha belirgin hale gelmektedir. Basınçlı hava sisteminde düşük verimlilik ve ciddi enerji israfı da dahil olmak üzere birçok sorun, ele alınması gereken konulardır ve basınçlı hava sisteminin enerji tasarrufu dünya çapında önemle ele alınan konulardan biridir [3].





**Şekil 1.1.** Basınçlı hava sistemlerinin bir yıllık giderleri [4].

Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi basınçlı hava sistemlerinde maliyetlerin önemli bir kısmını enerji tüketimi oluşturur. Bu nedenle, işletmenin basınçlı hava sistemine gerçekten ihtiyacı olduğundan emin olunmalı ve gerekli hesaplamalar ve ekonomik analizler yapıldıktan sonra sistemin kurulup kurulmamasına karar verilmelidir [4].

### 1.1. Literatür Taraması

Tez konusuyla ilgili bilgiler derlenerek aşağıda özetlenmiştir.

S. Mousavi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, değişken hızlı sürücülü kompresörler ve sabit hızlı kompresörlerin enerji verimliliği karşılaştırılmaktadır. Sidney'de bulunan bir ilaç tesisine basınçlı hava sistemi kurulmuştur. Bu sistemde iki adet değişken hızlı kompresör ve bir adet sabit hızlı sürücü bulunmaktadır. Bunlara ek olarak iki adet kurutucu sistemi vardır. Çalışmada iki deney üzerinde durulurken, birinci uygulamada amaç kompresör önceliğinin basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği üzerinde etkisini ölçmektir. İkincil olarak ise bu kombinasyonlara bağlı olarak kompresörlerin maksimum kapasitelerinin değiştirilmesiyle enerji verimliliği iyileştirmelerini amaçlayan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analiz modelleri ile basınçlı hava sistemindeki kompresörlerin en iyi kapasitelerine ulaşma konusunda bilgiler sağlandığı öne sürülmüştür [5].

R. Saidur ve arkadaşları basınçlı hava enerjisinin kullanımı, tasarruf ve enerji tasarruf stratejilerinin geri ödeme süreleri hakkında kitaplar, raporlar, web materyalleri, konferans bildirimleri, yüksek lisans ve doktora tezleri, basınçlı hava enerji kullanımı, verimlilik, enerji tasarrufu stratejileri hakkında el kitaplarının bulunduğu kapsamlı bir literatür incelemesi yapılmıştır. Bu literatür incelemesinde yüksek verimli elektrik motorlarının kullanımı, değişken hızlı sürücüler, dış hava girişi, basınç düşümünü azaltma, atık ısının geri kazanımı, verimli püskürtme sistemleri (nozul) kullanımı ve basınçlı hava enerjisinden tasarruf etmek için değişken deplasmanlı kompresör kullanımı gibi enerji tasarrufu önlemleri üzerinde durulmuştur [6].

M. Jarvisalo ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, basınçlı hava sistemlerinde kullanılan değişken hızlı tahrik modeli, düzgün uygulanması halinde klasik yük/boş kontrol moduna kıyasla enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Buna ek olarak değişken hızlı sürücülü sistem, ömür maliyetleri için önemli katkılar sağlayabilir. Bu çalışmada, değişken hızlı kompresör bazlı sistemin toplam basınçlı hava hacmini belirlenmesi, kompresör hacmi ve debisine ek olarak spesifik enerji tüketim haritası gösterilmiştir. Önerilen yöntemlerin uygulanabilirliği için değişken hızlı vidalı kompresör, debi sensörü ve basınç dönüştürücüsünün (transmitter) kullanıldığı laboratuvar testleri ile belirlenmiştir [7].

K. M. Pauwels çalışmasında, pompaların ve fanların mekanik debi kontrolünü değişken hızlı sürücülerle değiştirilmesiyle elde edilebilecek ekonomik faydalara odaklanmaktadır. Üç farklı vaka incelemesinden oluşan bu çalışmanın ikinci incelemesinde endüstride yaygın olarak kullanılan yağ enjeksiyonlu vidalı kompresörler için mevcut olan üç adet regülasyon. (yük/boş, valf ve frekans regülasyonu) metodu kullanılmıştır Bu üç yöntem, aynı kurulu güce sahip (45 kW) kompresörlerin enerji tüketimlerini karşılaştırmak amacıyla ölçümler yapılarak değişken hızlı sürücülerin enerji tasarrufu ve ekonomik faydalarını açıklamaktadır [8].

Y. Zhang ve arkadaşları enerji verimliliği göz önüne alınarak yağ enjeksiyonlu vidalı kompresörler ve son soğutucular (hava soğutucular) için verimlilik analiz yöntemleri tartışılmıştır. Enerjiyi ölçmek için önerilen hava gücü, basınçlı havadaki kantitatif (sayısal/nicel) enerji standardı olarak tanıtılır. Daha sonra, hava üretimi için yağ enjeksiyonlu vidalı kompresörlerin sıkıştırma işlemi detaylı analizi, tek kademeli

kompresör, ara soğutucu ve son soğutucu dahil olmak üzere tek kademeli basınçlı hava sistemindeki havanın güçleri tartışılmaktadır. Kompresörün ısı değişimine bağlı (adyabatik) ve hava kalitesi ile ilişkili (izotonik) verimlilikleri tartışıldıktan sonra kompresör ve son soğutucunun verimliliği hava gücü ile tanımlanarak genel enerji verimliliği nihai enerji verimliliği olarak önerilir. Sunulan yöntemlerin pnömatik sistem için enerji tasarrufu sağlayan ekipman seçimi ve enerji değerlendirmesine yardımcı olacağı öngörülmektedir [9].

K. Wiratkasem ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, 2018 yılı içerisinde Tayland Gümrük Departmanı'ndan alınan verilere göre 60 milyon USD'nin üzerinde hava kompresörü ithal edildiği verisi elde edilmiştir.. Anket verilerinde ise yağ enjeksiyonlu vidalı kompresörlerin çok sayıda uygulama tipini içerdiği tespit edilmiştir. 11 kW'dan daha küçük hava kompresörleri için enerji verimliliği standartlarının kullanımı araştırılmış ve teşvik edilmiş olsa da, Tayland'ın hava soğutmalı yağ enjeksiyonlu vidalı kompresörler için hali hazırda yüksek enerji verimliliği standardı olmaması sebebiyle bu çalışmada Yüksek Enerji Verimliliği standardı (YEVS) hazırlanmaktadır. Yüksek enerji verimliliği standartları standardı Tayland için benimsenmesi halinde 37.305.000 kWh / yıl enerji tasarrufu potansiyeline sahip olacağı öngörülmüştür [10].

A. Zaim ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, sanayide sıklıkla kullanılan basınçlı hava ile çalışan pnömatik sistemlerin enerji verimliliğine dair uygulamalar ile deneysel çalışmalar yapılarak incelenmiştir. Basınçlı hava sistemlerinin verimliliğe pozitif katkı sağlayan öğeler tespit edilmiştir. Endüstride kullanılan kompresör, silindir vb. iş elemanlarının basınçlarının düşürülmesiyle oluşan tasarruf oranları hesaplanmıştır. Sistemde oluşan hava kaçakları belirlenerek maliyet oluşturan bulgular fiziki olarak tespit edilerek incelenmiştir. Bu durumlara binaen enerji tasarrufu için öneriler gösterilmiştir. Bu çalışmanın enerji ihtiyacıyla büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemizin sanayi sektörüne yönelik enerji verimliliği ve tasarruf önerileri ile rehber olabileceği düşünülmektedir [11].

## 2. KOMPRESÖR TÜRLERİ VE YOL VERME ÇEŞİTLERİ

Atmosferden alınan hava genellikle silindir içerisine alınarak pistonun hareketiyle sıkıştırılmaktadır. Sıcaklık sabit tutularak havanın sıkıştırılmasıyla basınç artar. Bu durumda ilk hacmi  $V_1$ , ilk durumdaki mutlak basıncı  $P_1$ , ikinci durumdaki hacmi  $V_2$  ve son durumdaki mutlak basıncı  $P_2$  olarak tanımlanır ise;

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

ya da

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (2)$$

eşitliği ile sabit sıcaklıkta kalma şartıyla sağlanabilir. Eşitlikte basınç ve mutlak basınç çarpımı sabit olmaktadır.

Atmosferden alınan hava kompresörden atmosfer basıncından daha fazla basınçlandırılarak çıkar. Aşağıda verilen (3) ve (4) eşitliklerinde sıkıştırma oranı, Emme basıncı ile basma basıncının mutlak değerinin oranını göstermektedir [12].

Atmosferden alınan hava ile basınçlandırılarak sisteme gönderilen hava arasında bir ilişki olmaktadır. Bu ilişki Tablo 2.1'de gösterilmektedir [13].

**Tablo 2.1.** Atmosfer basıncı ile sıkıştırma oranı ilişkisi [13].

Hava Basıncı (bar)	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18
Sıkıştırma Oranı	1,5	1,99	2,97	3,96	4,95	5,94	6,92	7,91	8,9	10,87	12,85	14,82	18,77

$$R = \frac{P_2}{P_1} \quad (3)$$

ya da

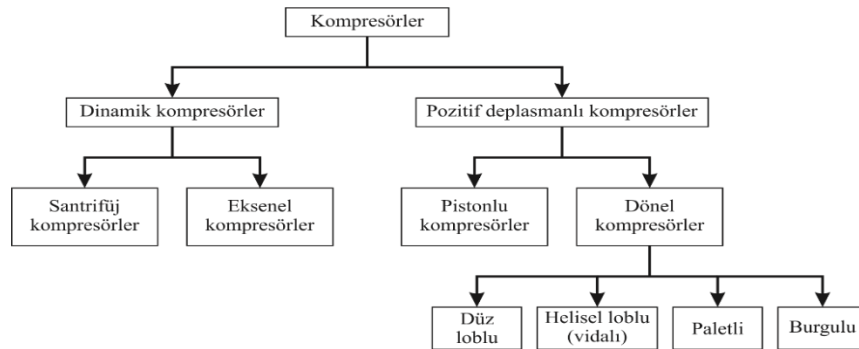
$$R = \frac{SHH}{BHH} \quad (4)$$

## 2.1. Kompresörler ve Türleri

Bir kompresör, soğutucu akışkan bazlı bir mekanik soğutma sisteminin “kalbi” olarak işlev görmektedir. Fonksiyonları arasında, ısı enerjisini buharlaştırıcı (evaporatör) bobinlerinden taşıyan soğuk buharlaştırılmış soğutucu akışkanın içine çekilmesi, düşük basınç ve sıcaklıktan yüksek basınç ve sıcaklığa sıkıştırılması ve ısı reddi amacıyla soğutma döngüsünün etrafında itilmesi bulunmaktadır. Kompresörler bazen aşağıda verilen özellikler doğrultusunda tanımlanabilmektedir [14].

- Sürüş hızı (sabit hız veya değişken hız)
- Kademe sayısı (tek kademeli, iki kademeli veya çok kademeli)
- Tahrik tipleri (motor, kayış veya zincir vb.)
- Yapı (açık tip, yarı dış hava kullanımlı (yarı hermetik) ve hava geçirmez)
- Soğutma yöntemi ve ortam (hava soğutmalı, su soğutmalı veya yağ soğutmalı)
- Yağlama yöntemi

Kompresörler, pompa ve fanlarla beraber üretim gerçekleştiren fabrikaların solunum sistemleri görevi görmektedir. Bu makinelerin verimli ve düzgün bir şekilde çalışabilmesi için öncelikli olarak petrol, petro-kimya ve gaz üretim tesisleri olmak kaydıyla ilaç, gıda, otomotiv, tekstil ve daha pek çok tesis için oldukça önemli bir konuma sahiptir. Temelde gazları sıkıştırmak için kompresörler kendi içerisinde oldukça farklı formlara sahip olabilmektedir. Kompresörler genel hatları ile ikiye ayrılmaktadır. Bu alt gruplar dinamik kompresörler ve pozitif yer değiştirmeli kompresörlerdir ve bunlar da alt gruplara ayrılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.1.’de kompresör türlerinin sınıflandırılması gösterilmektedir [15].



Şekil 2.1. Kompresörlerin sınıflandırılması [15].

### **2.1.1. Dinamik Kompresörler**

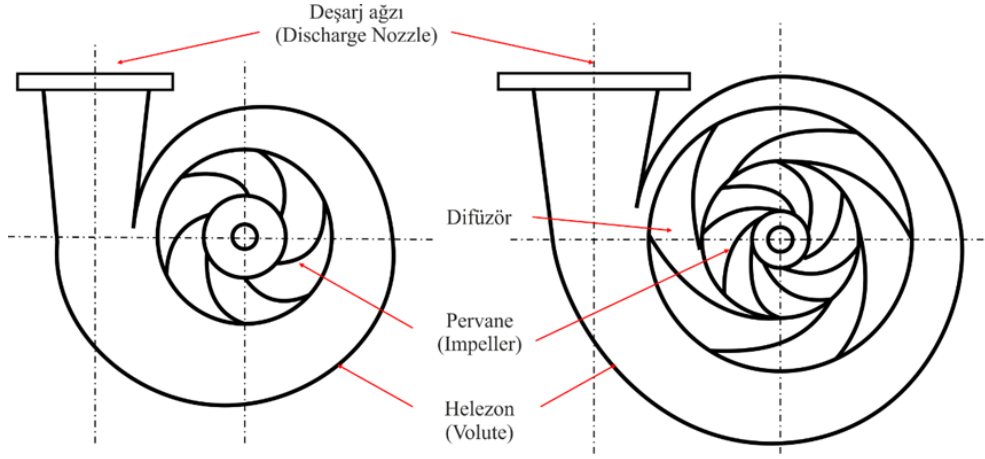
Dinamik kompresörlerde enerji, hareketli bir bıçak setinden gaza aktarılır. Enerji, dönen elemanlarda hız ve basınç şeklini almaktadır. Bu kompresörlerin dinamik doğası nedeniyle, yoğunluk ve molekül ağırlığı, kompresörün üretebileceği basınç miktarı üzerinde bir etkiye sahiptir. Dinamik kompresörler ayrıca öncelikle makineden geçen akış yönüne bağlı olarak üç kategoriye ayrılmaktadır. Bunlar santrifüj, aksenal ve karışık akıştır [16].

Dinamik kompresörler, diğer kompresör tiplerinden daha güvenilirdir çünkü hizmet sırasında döngüsel stres yaşayan pistonlu bileşenler yoktur. Genellikle, bunu yapmamak için belirli bir neden olmadıkça santrifüj kompresörler seçilmelidir, çünkü bunların aşağıda verilen özellikleri santrifüj kompresörlerin seçilmesi adına oldukça önemlidir [17].

- En geniş çalışma aralığına sahiptir.
- Pozitif yer değiştirmeli kompresörlerden daha az verimli olsa da, daha güvenilirdir.
- Birçok yüksek değerli işleme tesisi ve tesisinde hazırlıksız çalışmaktadır.
- Temel kompresör seçimi vardır.

#### **2.1.1.1. Santrifüj Kompresörler**

Santrifüj kompresörler, hızla dönen çarkın gazı hızlandırdığı dinamik makinelerdir (Şekil 2.2.). Proses akışı, hızı basınca dönüştüren sabit bir dağıtıcı (difüzör) genellikle hava akışını bir sonraki pervaneye yönlendirmek için 180° döndüren bitişik diyaframlar arasındaki küçük boşluk) aksenelden radyal (mil merkez hattına dik) olarak yayılır [18].

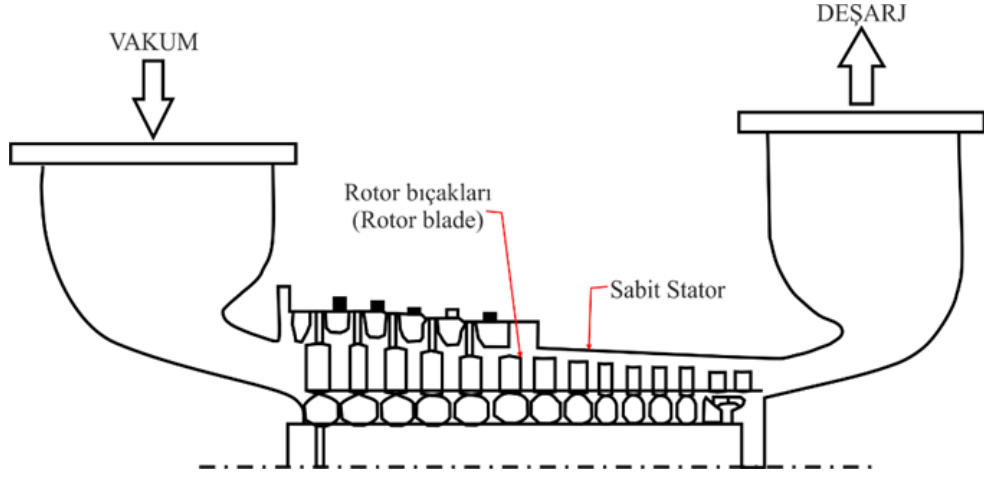


**Şekil 2.2.** Santrifüj kompresörler [18].

Santrifüjlü bir kompresörün tasarımı, aerodinamik olmayan birkaç hususla sınırlandırılmıştır. Bunlar arasında maliyet, toplam çerçeve boyutu, dönen bileşenlerin ataleti ve genel dayanıklılık sayılabilir. Yüksek pervane uç hızları ile yüksek basınç oranları elde etmek, alüminyum yerine titanyum metal kullanımını zorunlu kılar ve bu da maliyette bir artışa neden olur. Bununla birlikte mevcut gereksinimler, alüminyum çarklar için uygun dönme hızlarında elde edilebilecek basınç oranları içindir ve alternatif malzemeye geçme ihtiyacı henüz çok zor değildir [19].

### **2.1.1.2. Eksenel Kompresörler**

Bu kompresörler, gaz akışının eksenel olduğu (şaft boyunca düz bir çizgide) dinamik tip kompresörlerdir. Tipik bir eksenel kompresör, konturlu kanatları olan bir fan gibi görünen bir rotora ve ardından stator adı verilen sabit bir bıçak setine sahiptir. Şaftın üzerine takılı rotor kanatları döner ve gazı kompresör mahfazasının iç duvarlarına tutturulmuş stator kanatlarının üzerine gönderir. Bu bıçaklar, kasa boyutu küçüldükçe küçülür. Milin ve bağlı rotor kanatlarının dönüşü, akışın mil boyunca eksenel olarak yönlendirilmesine ve ünitenin deşarjına doğru daha yüksek basınç oluşmasına neden olur. Her rotor ve stator çifti bir aşama olarak adlandırılır. Çoğu eksenel kompresör, merkezdeki ortak bir güç şaftı boyunca arka arkaya yerleştirilmiş bu tür aşamalara sahiptir. Şekil 2.3. rotor ve stator kanatlarına sahip bir eksenel kompresörün bir örneğini göstermektedir [20].



Şekil 2.3. Eksenel kompresörler [18].

### 2.1.2. Pozitif Yer Değiştirmeli Kompresörler

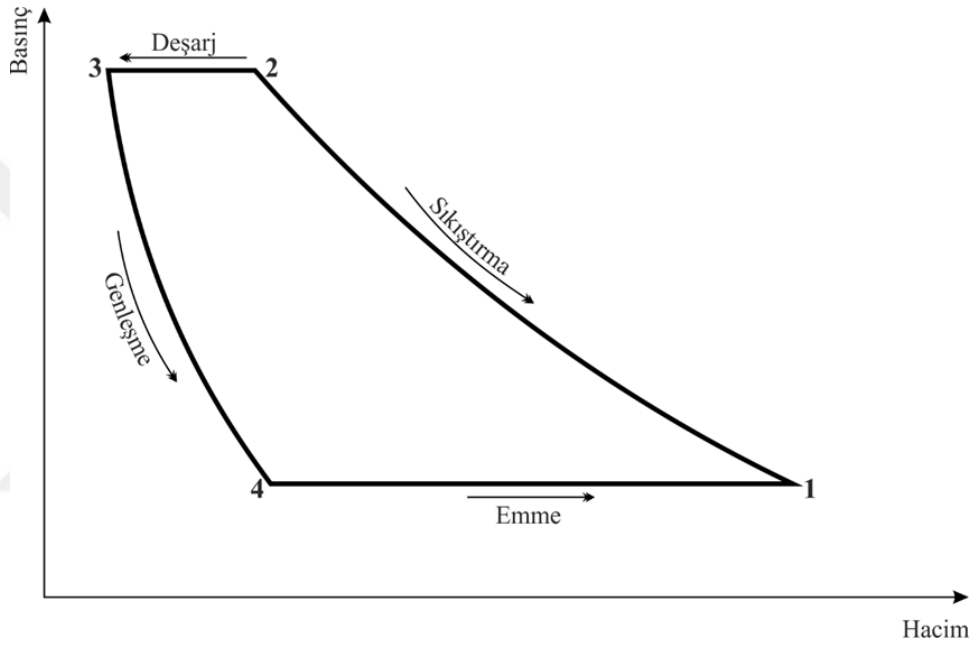
Pozitif yer değiştirmeli (deplasmanlı) kompresörler, belirli bir miktarda gazın yakalanması ve daha küçük bir hacme zorlanmasıyla çalışmaktadır. Döner veya pistonlu olarak sınıflandırılmaktadır. Döner kompresörler ayrıca döner vida, sürgülü kanat, lob veya sıvı halka olarak gruplandırılmaktadır. Pistonlu kompresörler piston veya diyafram olarak sınıflandırılır. Pozitif yer değiştirmeli kompresörler, birincil transfer elemanlarının her dönüşü veya hareketi (stroku) için ayarlanmış bir hacimde gaz çıkarır. Sıvı yoğunluğu ve emme basınçlarının değiştiği proses sistemlerinde, pozitif yer değiştirme cihazları sabit servis sağlar. Döner kompresörler 100 psi ile 130 psi arasında basınç sağlayabilir. Pozitif deplasmanlı kompresör tasarımları, pistonlu, kayar kanatlı ve dönel vidalı kompresörler ve loblu üfleyicileri içermektedir. Bu tasarımlarda gaz, sabit hacimli bir boşluğa, bir silindire veya hazneye çekilir ve daha sonra mekanik bileşenlerin daha küçük bir birim alanına hareketi ile basınç yaratarak sıkıştırılır [21,22].

#### 2.1.2.1. Pistonlu Kompresörler

En yaygın kullanılan kompresör tipidir. Çalışma prensibi bir silindirin içerisinde eksenel şekilde çalışan bir pistonun gazı sıkıştırması temel almaktadır. Pistonlu kompresörler, temelde silindir içerisindeki pistonun hareket etmesini sağlayan, karter (crankcase) içindeki krank mili ve biyel kolunun birbirlerine bağlı



olduğu (cross-head) mekanizmalarından oluşmaktadır. Piston, bir krank biyel mekanizmasıyla elektrik motoruna bağlı yapıdadır ve yağsız veya yağlı şekilde çalışabilmektedir. Çift etkili ve tek etkili olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Çift etkili türünde sıkıştırma işlemi, pistonun silindirik hazne içerisinde hem gidiş hem de geliş yönünde gerçekleşirken; tek etkili türünde ise pistonun gazı sıkıştırma işlemi tek yönde gerçekleşmektedir [15, 23]. Genel döngü Şekil 2.4.'de emme, sıkıştırma, deşarj ve genişleme olarak dört tipik aşamasıyla gösterilmiştir. Giriş valfleri 4'ten 1'e, deşarj vanaları ise 2'den 3'e kadar açıktır [18].



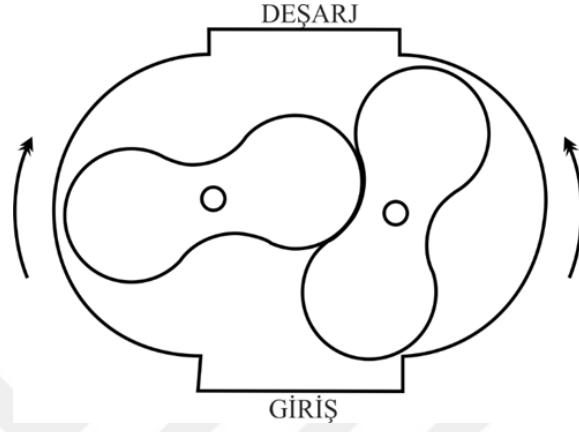
Şekil 2.4. Pistonlu kompresör basınç - Hacim grafiği [18].

#### 2.1.2.2. Dönel Kompresörler

Dönel kompresörler, sıkıştırılma işlemi gerçekleştirilecek gaza, enerjiyi çoklu ya da tekli şekilde dönen şaftlar aracılığıyla iletmektedirler. Sıkıştırma işlemi, kesik kesik gerçekleştirilir fakat uygulama esnasında sıkıştırma aralıklarının hızıyla devamlı bir akış oluşuyormuş gibi kesikli akışın yaratabileceği dalgalanma hemen hemen yoktur. Dönel kompresörler, düz loblu, burgulu, paletli ve vidalı olmak üzere dört grup altında incelenmektedir [16].

### 2.1.2.2.1. Düz Loblu Kompresörler

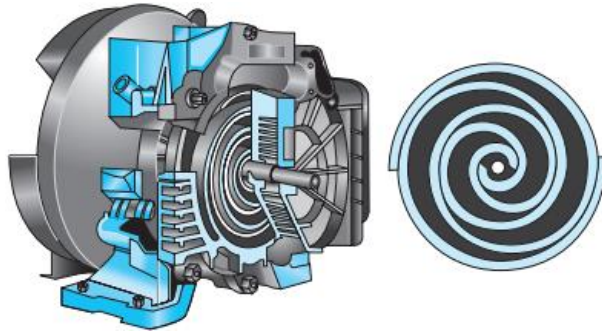
Düz loblu dönel kompresör tipinde iki düz eşleşen loblu pervane, gazı hapsederek girişten boşaltmaya taşımaktadır ve bu türde dahili sıkıştırma yoktur (Şekil 2.5.) [18].



Şekil 2.5. Düz loblu kompresör rotorları [18].

### 2.1.2.2.2. Burgulu Kompresörler

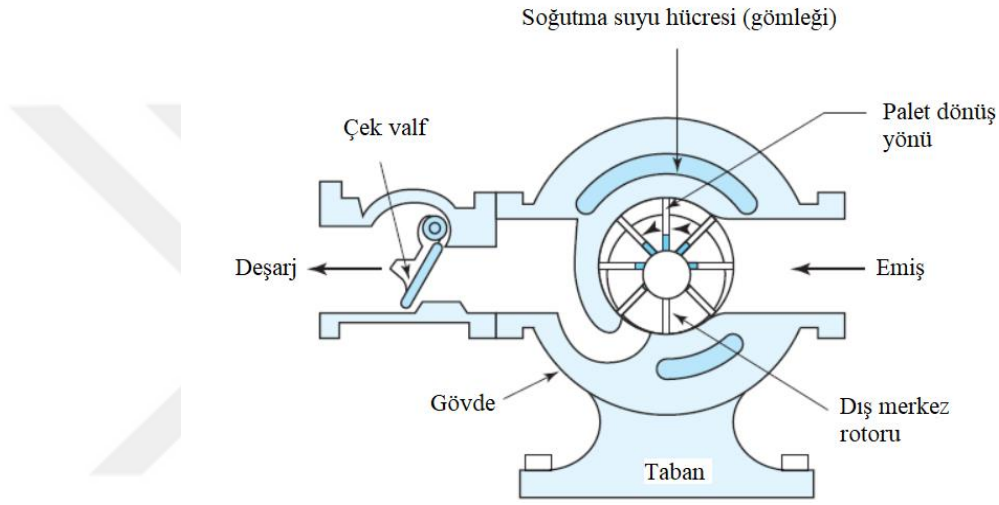
Bir burgulu kompresörde (Şekil 2.6.) akışkanlar, giderek azalan hacimlere sıkıştırmak için tasarlanmış iki adet aralıklı spiral kanattan oluşur. Burgulu kompresörler, daha düşük hacimlerde sessiz ve sorunsuz bir şekilde çalışır ve kanatlar arasında akışkanı sıkıştırır. Çoğu durumda, kanatlardan biri sabit (diğer kanat hareketli) olup dönmeden eksantrik olarak yörüngede kalır [22].



Şekil 2.6. Burgulu kompresör [22].

### 2.1.2.2.3. Paletli Kompresörler

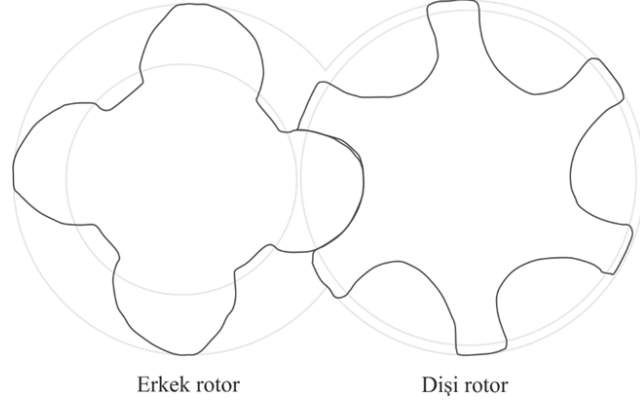
Paletli kompresörler, silindirik bir gövde içerisine hazne boşluğundan küçük çapta bir silindirik rotorun yerleştirilmesiyle oluşan bir yapı olarak tanımlanmaktadır. Bir silindirin malzemesi tipik olarak korozyon direnci, termal şok direnci, basınç derecesi ve mekanik şok direnci temelinde seçilir. Termal şok, bir ekipman parçası ve içindeki sıvı arasındaki büyük sıcaklık farklarının neden olduğu metal yorgunluğuna neden olan bir stres şeklidir. Şekil 2.7.'de paletli kompresör kesiti gösterilmektedir [22].



Şekil 2.7. Paletli kompresör kesiti [22].

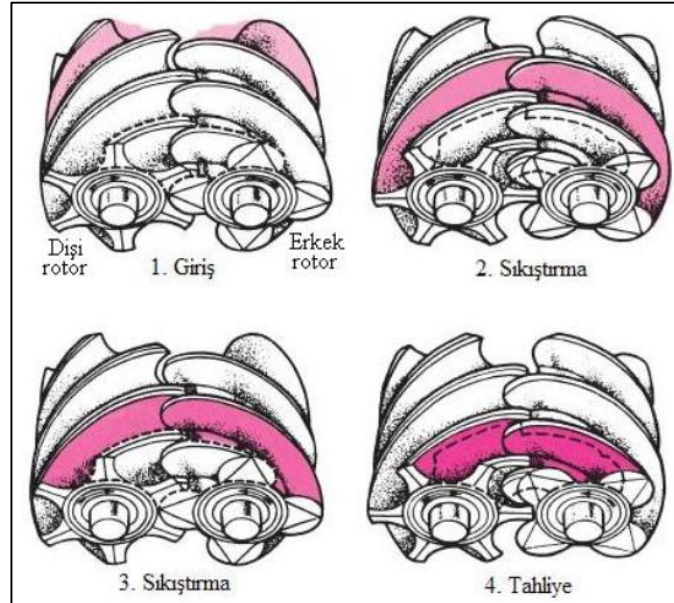
### 2.1.2.2.4. Helisel Loblu (Vidalı) Kompresörler

Helisel loblu, diğer bir isimle vidalı kompresörler, basınçlı havayı piston aracılığı ile değil birbirine geçmiş rotor çifti ile üreten pozitif yer değiştirmeli makinalar olarak açıklanmaktadır. Bir mil üzerinde yer alan helisel loblar, rotorları meydana getirmektedir. Yuvarlak ve dolgun loblara sahip helisler erkek rotor adını almaktadır. Erkek rotorun karşısında yer alan yuvalara sahip olanlar ise dişi rotor olarak isimlendirilmektedir. Şekil 2.8.'de görüldüğü üzere erkek rotorda bulunan 4 loba karşılık gelecek şekilde altı yive sahip dişi rotor kullanılmaktadır. Bu iki rotor birbirine geçmiş halde dönmektedir. Erkek rotor bir tur atarken dişi rotor ise yalnızca 240° dönmektedir. Diğer bir deyişle erkek rotor 1.5 tur attığında dişi rotor bir turunu tamamlamaktadır [24].



**Şekil 2.8.** En çok kullanılan kompresör vidası profili [15].

Erkek rotorun dönüşü ile içeriye belirli miktarda gaz alınmaktadır. Dişi ve erkek rotorların arasında giderek daralan helisel bir yol izleyen gaz, tahliye kanalından dışarı çıkar. Dört loblu bulunan erkek rotorun tek bir dönüşünde dört sıkıştırma çevrimi gerçekleşmektedir (Şekil 2.9.). Kesintili sıkıştırma yapan bu tür kompresörlerde, rotorlar yüksek devirde dönerek, çıkışta yaşanabilecek basınç dalgalanmalarını ihmal edilebilir seviyeye indirmiş olmaktadır. Bu doğrultuda rotorların uzunluğu ve çapı kompresörün kapasitesini de etkilemektedir. Rotorların daha uzun olması basıncın da yüksek olması anlamına gelmektedir. Çapı büyük olan rotorlarda ise kapasite daha yüksektir [15].



**Şekil 2.9.** Vidalı kompresörlerde sıkıştırma çevrimi [15].

Stosic, N., ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Çalışma aralığında sıkıştırılan hava kütlesi yani kütle korunumu, sisteme giriş yapan toplam hava kütlesi ile çıkış yapan toplam hava kütlesinin farklı olarak (5) eşitliği ile hesaplanmaktadır [25].

$$m = m_{giris} - m_{cikis} \quad (5)$$

Kompresörün dönüş hızlarına ulaşması sebebiyle ana vida bloğu grubunda kütleli debiye etkisi sadece  $z_1$  kadardır. Aşağıda verilen denklemde (6)  $z_1$  ana rotor adedi ve toplam kütleyle bağlı gerçek kütle debisi,

$$\dot{m} = m \times n_s \times z_1 / 60 \quad (6)$$

olarak ifade edilir. Yukarıda belirtilen denklemde “n” ana rotor dönüş hızıdır.

Hacimsel debi ( $\dot{V}$ ) ise emiş durumuna bağlı olarak aşağıdaki denklemde (7) belirtilmektedir.

$$\dot{V} = 60 \times m / \rho_0 \quad (7)$$

olarak elde edilir. Çalışma aralığında en yüksek hacim değerinden yola çıkılacak olursa kütleli debi (8);

$$\dot{m}_t = \frac{(F_{1n} + F_{2n}) \cdot L_s \cdot n_s \cdot z_1 \cdot \rho}{60} \quad (8)$$

Yukarıda verilen denklemde  $L_s$  vida bloğu rotor uzunluğu iken  $F_{1n}$  ve  $F_{2n}$  ise vida bloğu rotorları arasında kalan kesit alanıdır. Bu sonuçlara dayanarak volumetrik verim (9):

$$\eta_v = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_t} \quad (9)$$

şeklinde belirlenmiştir. Emiş, basınçlandırılan havanın şebekeye verilmesi ve genişleme esnasında vida bloğunun rotorlarında oluşturduğu iş eşitlik (10) ile verilir:

$$W_n = \int_{devir} V \cdot dp \quad (10)$$

Tek bir kompresör çalışma aralığında belirlenen iş, kompresör nominal gücünün hesaplanmasında eşitlik (11) kullanılmaktadır.

$$P_n = \frac{W_n \cdot z_1 \cdot n}{60} \quad (11)$$

Nominal gücün yanı sıra spesifik nominal güce karşılık gele iş eşitlik (12)' da belirtilmektedir.

$$W_{sn} = \int_{devir} \frac{V}{m} dp \quad (12)$$

Nominal işe karşılık gelen verimi elde edebilmek adına matematiksel olarak aşağıda verilen eşitliklerde (13) adyabatik veya izotermal işler ile karşılaştırılmaktadır.

$$\eta_i = \frac{W_i}{W_n}, \quad \eta_a = \frac{W_a}{W_n} \quad (13)$$

Bu noktada adyabatik ve izotermal işler ortak matematiksel ifadeden türetilirler. Sırasıyla izotermal ve adyabatik işler aşağıda verilen eşitlik (14) ile bulunmaktadır:

$$W_i = R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}, \quad W_a = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot R \cdot (T_2 - T_1) \quad (14)$$

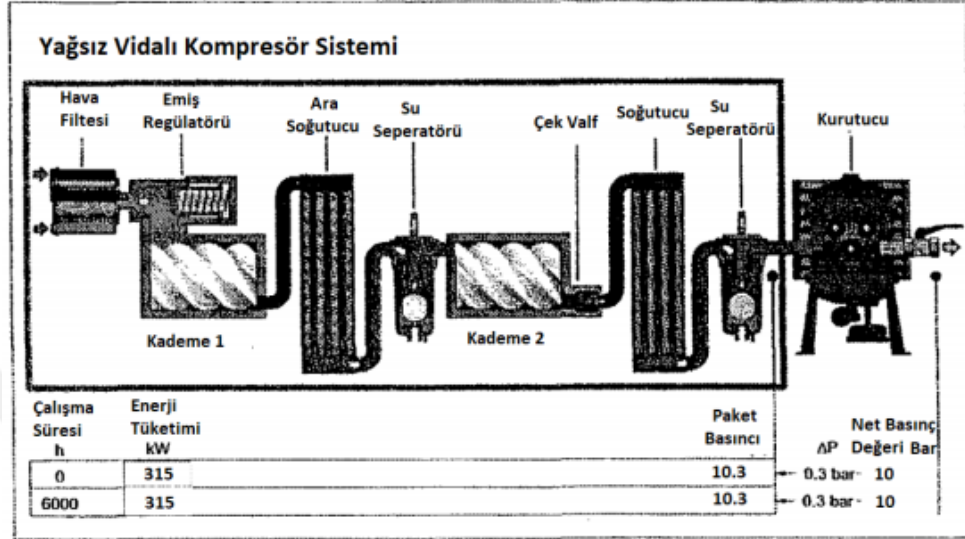
Yukarıda belirtilen eşitliklerde “1” sıkıştırma işleminin başlangıç koşulunu belirtirken, “2” ise bitişini belirtmektedir. Nominal güç, bilinen nominal güçten ve hacimsel debiden elde edilir [25].

Spesifik nominal güç, (15) denkleminde;

$$P_{sn} = \frac{P}{\dot{V}} \quad (15)$$

Vidalı Kompresörler yağlı ve yağsız olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Yağsız vidalar, Şekil 2.10.'da görüldüğü gibi alçak ve yüksek basınç kademesine sahiptir. Rotor yataklarının ve dişli kutusunun yağlanabilmesi için vida ünitesi içerisinde yağ dönüşümünü sağlayan ve tahrikini ana dişliden alan bir pompa

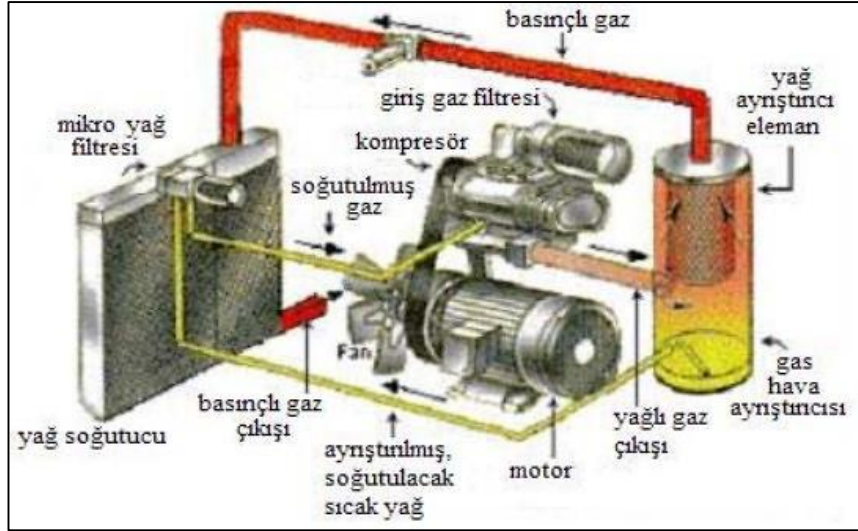
mevcuttur. Bu yağın, kesinlikle basınçlandırılan hava ile teması bulunmamaktadır. Elektrik motorlar sayesinde yağsız vidaların tahriki sağlanmaktadır. Bu tahrik kuvveti dişli kutusu aracılığı ile kademelere ulaştırılmaktadır. Aynı anda, ana dişliye bir kaplin sistemi ile bağlanan pompa sisteminin yağlanması sağlamaktadır.



Şekil 2.10. Yağsız vidalı kompresör sistemi [26].

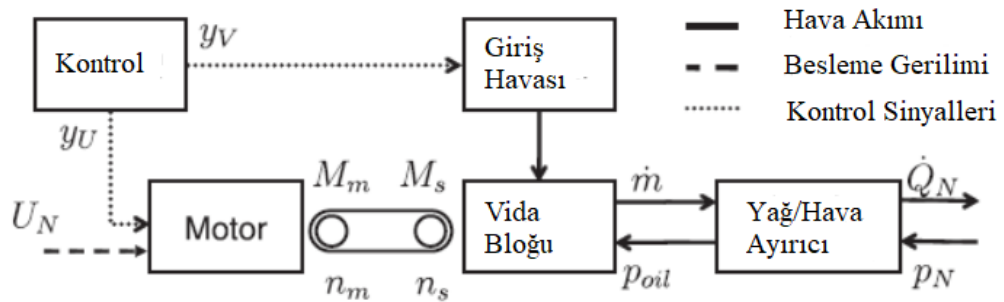
Havanın kademeye iletilmesini sağlayan hidrolik emiş regülatörünün kontrolü hidrolik olup, yağın şartlandırıcısı olarak selenoid valf kullanılmaktadır. Sistem devreye alındığında üç yollu selenoid valf emiş regülatörünün hidrolik silindirine yağ dolması işlemine izin verir ve emiş regülatörünün kontrol anahtarı (klepe) açık konuma gelir. Böylece sıkıştırılacak hava vidanın birinci kademesine iletilmektedir. Bu hava hacmi dişli oranının hız sınırına göre kademeli olarak basınçlandırılmaktadır [26].

Şekil 2.10.'de görüldüğü üzere birinci kademedeki sıkıştırılan hava ara soğutucudan geçerek soğumaktadır. Sulu ayırıcı sistem (seperatör) ile de soğutucudan çıkan basınçlı havadaki yoğunlaşmış nem ayrıştırılmaktadır. Böylece basınçlı hava ikinci kademeğe gönderilmektedir. Burada sıkıştırılan hava istenilen basınç değerine ulaşarak tekrar su seperatöründe su buharında ayrıştırılır ve kurutucuya iletilir. İkinci kademedeki yer alan çek valf ile kompresör durduğunda ikinci kademedeki havanın soğutucuya iletilmesi önlenmiş olur [27].



Şekil 2.11. Yağlı çalışan vidalı kompresör sistemi [27].

Şekil 2.11.'de görülen ikinci grubu oluşturan yağlı çalışan vidalı kompresör sisteminde ise tüm sistemin içerisinde yağ dolaşımı gerçekleşmektedir [28]. Şekil 2.12.'de gösterilen blok diyagramı dört alt sisteme ve bir kontrol bloğuna ayırılır. Burada motor için bir gerilim sinyali ( $y_u$ ) ve valf kapak açısı ( $y_v$ ) üretir. Bu değerler başlatma, yükte, boşa ve durdurma olmak üzere dört ana çalışma tipinde farklılık gösterir. Asenkron motor, vida bloğuna doğrudan veya bir kayışla bağlanır. Vida bloğunun yük torku ( $M_s$ ) nedeniyle bir motor torku ( $M_m$ ) ile yüklenir. Vida elemanının ana rotoru bir elektrik motoru tarafından döndürülür ve vida bloğu içerisinde -Z- boşlukları üreten ikincil rotorla birbirine geçer. Ana rotordaki hava her tam devrinde bu -Z- odalarına çekilir ve sıkıştırılır. Yağ, boşluklara giren hava ile aynı anda enjekte edilir. Dönen vidaları yağlar ve temas noktalarının aşınmasını önler [29].

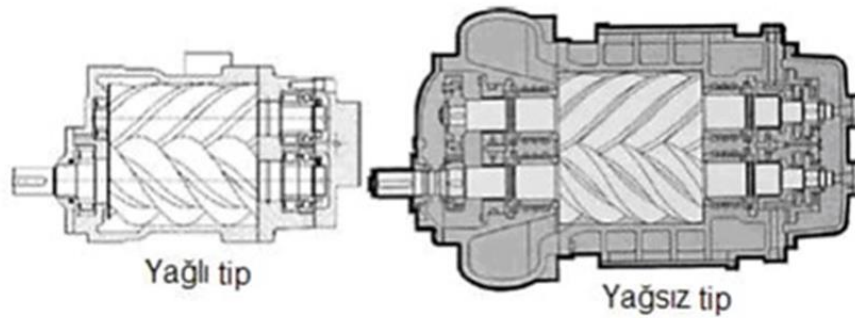


Şekil 2.12. Vidalı kompresör sistemine ait blok diyagramı [29].



Hazne içerisinde gazla birlikte yağ da yer almaktadır. Gazla birlikte bulunduğu için fazla yer kaplaması az da olsa verimin düşmesine neden olabilmektedir. Yağın, sıkıştırmanın ardından gazdan ayrılması gerekmektedir. Bu, mekanik ayrıştırıcılarla yapılmaktadır. Yağ, tüm sistem içerisinde dolaşarak birden fazla işlevi gerçekleştirmektedir. İlk olarak gazın sıkıştırılması ile meydana çıkan ısıyı emmektedir. Gazın, vidaların hareketi esnasında düşük basınçlı bölgelere girmesini engelleyerek verimin düşmesini önlemektedir. Vidaların ve gövdenin yağlanması sonucunda sürtünme sonucu oluşacak aşınma ve korozyonun önüne geçilmiş olur. Ayrıca, titreşim sönümlenme görevi görerek sistem parçalarının uzun ömürlü olmasını ve sessizce çalışmalarını sağlamaktadır. Bu kompresörlerde yağsız çalışan sisteme göre daha az eleman bulunmaktadır. Aşağıda yer alan Şekil 2.13.'de görüldüğü üzere tevzi dişlileri ve yağ geri dönüş pompası mevcut değildir. Yağın geri dönüşü ise sistemde oluşan basınç farkıyla sağlanmaktadır [28].

Yağlı çalışan vidalı kompresörler tek bir kademede 21:1 basınç oranında olabilmektedir. Kapasitesi yüksek modeller ise  $70000 \text{ m}^3/\text{h}$  değerine kadar ulaşabilmektedir. 8,3 MPa değerine ulaşan yüksek basınçlar görülebilmektedir. Yağlı çalışan vidalı kompresörlerin kullanıldığı birçok alan bulunmaktadır. Özellikle doğalgaz ve petrol tesisleri başta olmak üzere atık ve zehirli gazların taşınmasında, genel amaçlı basınçlı hava uygulamalarında tekstil, gıda, ilaç, kimya sanayilerinde basınçlı hava ihtiyacını karşılamaktadır. Bunların beraberinde soğutucu gazların iletilmesinde ve basınçlandırılmasında özellikle buzdolaplarında kullanılan kompresörlerde sıkça kullanılmaktadır [15].



**Şekil 2.13.** Yağlı ve yağsız tip arasındaki boyut ve eleman farkı [15].

Yağlı alışan vidalı kompresörlerde, kompresyon işlemi birbirine seri olarak bağlı birinci ve ikinci kademe vida bloğu rotorları tarafından paylaşılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu durumda tüm kompresör verimi, tam yükte motor gücü/enerji tüketimi bakımından %15 daha verimli olmasını sağlar. İki kademeli vidalı kompresör, vidalı kompresörün basit yapısı ve esnekliği ile iki kademeli ve çift etkili pistonlu kompresörün enerji verimini birleştirmektedir. İki kademeli vidalı kompresörler hava ve su soğutmalı eřitleri ile ve bütün halinde çalıştırılmaya hazır kapalı kasa şeklinde yapılmaktadır [30].



### 3. ELEKTRİK MOTORLARI

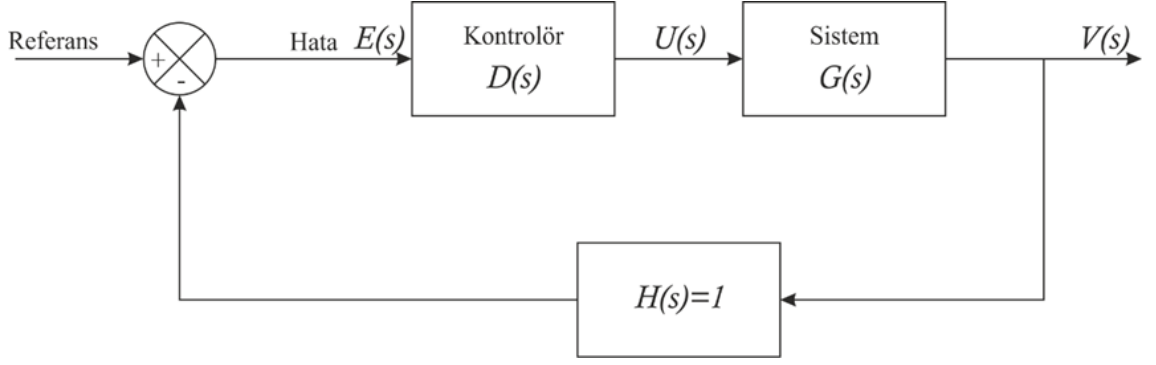
Avrupa yönetmeliği “elektrik motoru” nu elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir cihaz olarak tanımlamaktadır. İş Tanımı, ürün grubunu 1 kW ila 150 kW çıkış gücü aralığında elektrik motorları olarak tanımlar. Bununla birlikte, çalışma, standart güç boyutlarını ve motor verimliliği ile ilgili yeni önerilen IEC 60034-30 verimlilik sınıflandırma standardını dikkate almak için 0.75 kW'lık bir alt sınır ve 200 kW'lık bir üst sınır dikkate almıştır. Bu güç aralığındaki hemen hemen tüm motorlar alçak gerilimlidir. Orta gerilim motorları tipik olarak > 500 kW'tan büyük güç uygulamalarında kullanılır; standart dışı bir tasarıma sahip oldukları için çok az sayıda satılırlar ve henüz hedeflenmiş enerji verimliliği politikalarına dahil edilmezler [31].

Elektrik makineleri elektrik enerjisini mekanik enerjiye (motor) ve/veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine (generatör) dönüştüren ve AA gerilimin (alternatif gerilim) düzeyini değiştiren cihazlardır. Ayrıca transformatörler alternatif akımda gerilim veya akım seviyesini yükseltmek veya düşürmek için kullanılan elektrik makineleridir. Elektrik motorları ise yapılarına bağlı olarak çeşitli gruplara ayrılır [32].

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren, bugünkü manasıyla ilk döner elektrik makinesini Prusyalı bilim insanı Moritz Hermann von Jacobi 1834 senesinde buluşunu gerçekleştirmiştir. Bu dönemde elektromanyetik etkileşim ile elektrik enerjisinden mekanik enerji elde etmek o dönemin önemli bir bilim sorunu idi. Bu süreçte 1887'de Sırp bilim insanı ve elektrik mühendisi Nikola Tesla iki fazlı asenkron motorun da içinde olduğu bir elektrik üretim dağıtım sisteminin patentini almıştır [36].

Bir elektrik motoru, elektrik enerjisini mekanik enerjiye (genellikle bir tork) dönüştüren bir cihazdır. Bu dönüşüm genellikle bir veya daha fazla bobine akan bir akım vasıtasıyla manyetik bir alanın oluşturulmasıyla elde edilir [33].

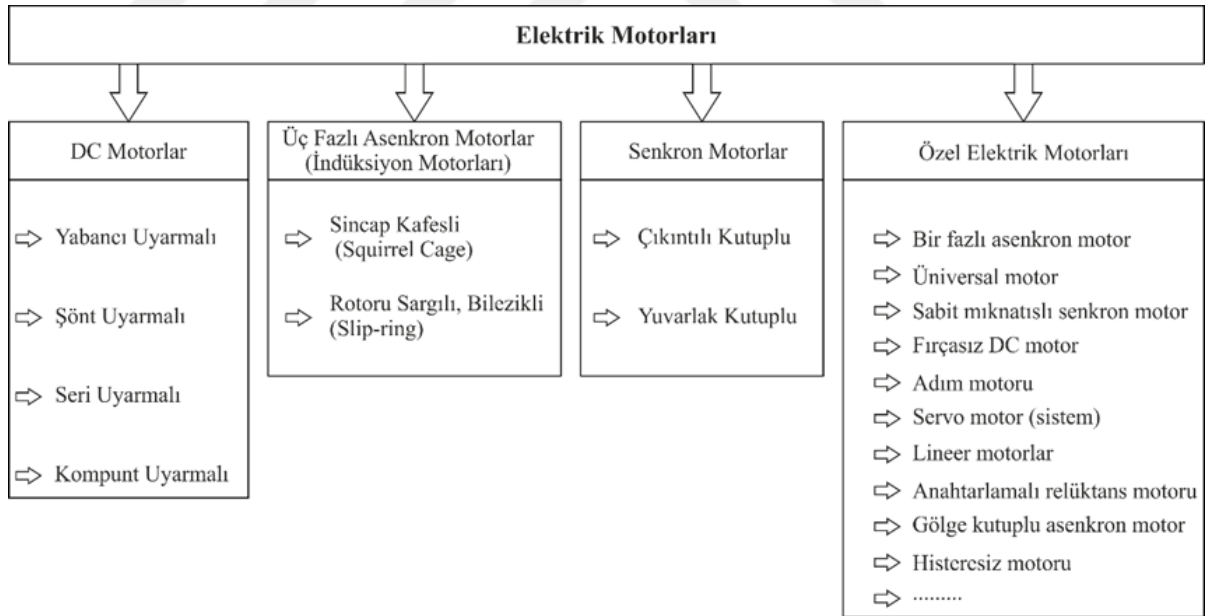
Elektrikli motor sürücülerinin özellikleri ve davranışları kapalı devre sistemler tarafından kontrol edilir. Sürücü sisteminin en verimli çıkış-giriş oranını veren en popüler lineer kontrolör PID Kontrolörleridir. Şekil 3.1.'de, kapalı çevrim sistemine beslenen referans ve geri besleme sinyalinin farkı olan gerçek sistem (tesis), kontrolör ve hatadan oluşan bir geri bildirim sistemi verilmiştir [34].



Şekil 3.1. PID kontrolörünün şematik kapalı döngüsü [34].

### 3.1. Elektrik Motorları Çeşitleri

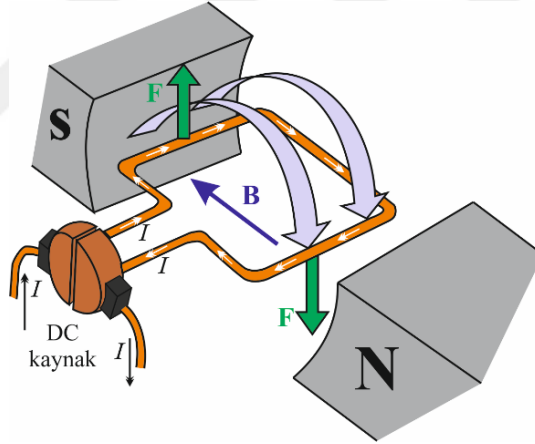
Elektrik motorlarının çeşitleri DC motorlar, Üç fazlı asenkron motorlar ya da indüksiyon motorları, senkron motorlar ve özel elektrik motorları olarak Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Elektrik motor türlerinden bir olan sincap kafesli asenkron motorlar, sanayide sıkça kullanılan motorlar olarak bilinmektedirler.



Şekil 3.2. Elektrik Motorları Türleri

### 3.1.1. Doğru Akım Elektrik Motorları

Doğru akım elektrik motoru, elektrik gücünü mekanik güce dönüştürmek için doğru akım kullanan bir elektrik makinesidir. Fırçalı ve fırçasız DC motorlar, endüstride yaygın olarak kullanılan iki tip DC motordur. Tipik bir fırçalı DC motorun güç üretim mekanizması, sabit mıknatıslı bir stator sarılı bir rotor ve bir komütatörden oluşur. Stator tarafından rotor etrafında sabit bir manyetik alan oluşturulur. Komütatör, güç kaynağı tarafından üretilen doğru akımı rotor sargılarına aktarır. Sabit bir manyetik alanda rotor sargılarından geçen akımın bir sonucu olarak, rotorun sargıları üzerinde elektromanyetik kuvvetler oluşur. Bu elektromanyetik kuvvetler, rotorun normal eksenine etrafında dönmesine neden olur. Buna ek olarak komütatör, motorun ürettiği torkun her zaman aynı yönde olmasını sağlamak için doğru akımın sargı boyunca yönünü kontrol eder. Şekil 3.3’de tipik bir DC motorun çalışma döngüsünü göstermektedir [35].



Şekil 3.3. Sabit mıknatıslı DC motorun çalışması [35].

### 3.1.2. Alternatif Akım Elektrik Motorları

Alternatif akımlı elektrik motoru (A.C) çeşitlerinin sayıca fazla olmasına rağmen, endüksiyon motorları endüstride en çok kullanılan motorlardır. Tipik bir alternatif akımlı motor, bir sargılı stator ve bir sincap kafesli rotordan oluşur. Stator sargılarına üç fazlı alternatif akımla güç verildiğinde, statorun etrafında dönen bir manyetik alan oluşturulur. Dönen manyetik alanın hızına senkron hız denmektedir [35].

Modern AC motorlarda, modern AC jeneratörlerinde olduğu gibi, akım motorun sabit kısmına uygulanır ve mıknatıs rotor üzerindedir. Statordaki değişken akım, rotorun manyetik alanı ile etkileşerek rotoru iterek dönen bir manyetik alan (Amper yasası ile) üretir. Kullanılan AC motorlar artık rotor manyetik alanını üretmek için çeşitli seçeneklere sahiptir. Bazılarında rotorun kalıcı mıknatısları vardır; diğerlerinde rotor harici bir DC güç kaynağı tarafından çalıştırılan bir elektromıknatıs taşır; yine diğerlerinde (endüksiyon motorları) rotor sadece indüklenen manyetik alanları statorun manyetik alanından alır [32].

### **3.1.2.1. Senkron Motorlar**

Adından da anlaşılacağı gibi, manyetik döner alanın hızı ne ise rotor mili de o hızla döner yani senkron hızda dönerler. Senkron motorlar yükü değiştiği halde devir sayısı sabit olarak çalışan motorlardır. Endüksiyon motorundan farklı olarak, ilk momentleri olmaması sebebiyle senkron motorlar kendi kendilerine harekete geçemezler, senkron motorların senkron hıza getirilmeleri gereklidir. Bir kere kilitlendikten sonra, daimi olarak dönecektir [37].

Senkron motorlar, sabit hız ve tork ile çalışabilmeleri sebebiyle bir çok endüstriyel işletmede kullanılmaktadırlar. Bunun beraberinde senkron motorların uyarma akım genliği kontrol edilerek endüktif karakterdeki yüklerin şebekeden çektiği reaktif güç, dinamik olarak kompanze edilebilmektedir.

Senkron motorlar yüksek güç gerektiren uygulamalarda tipik olarak 150kW ile 60MW güç aralığında ve 150 d/dk. - 1800 d/dk. sabit hız aralığında üretilmektedirler. Kullanım alanları genellikle ağır sanayi başta olmak üzere, çimento, pompa, kompresör, gemi motoru, değirmen, v.b. gibi uygulamalarda sıkça kullanılırlar [38].

### **3.1.2.2. Asenkron Motorlar**

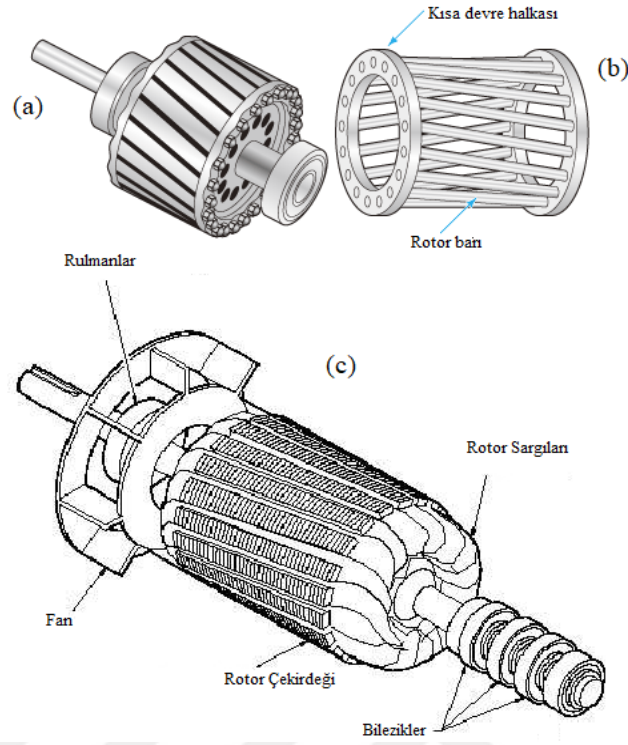
Asenkron motorlar (endüksiyon motorları) endüstride ucuzluğu, sağlamlığı ve bakım kolaylığı sebebiyle en çok tercih edilen elektrik motorlardır. Asenkron motorların motor devri yük ile çok az değişir, bu motorlar sabit devirli motorlar kategorisinde değerlendirilebilirler. Doğru akım motorlarında ise devir sayısı daha

geniş sınırlarıyla değiştirilebilir. Halbuki asenkron motorunun devir sayısı sınırlı olarak bir veya birkaç kademeli olacak şekilde değiştirilebilir. Bu yönü ile doğru akım motorları asenkron motorlardan üstündür. Bununla beraber asenkron motorların önemli avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Daha ucuz maliyetli olmaları
- Çok fazla bakıma ihtiyaç duymazlar ve güvenilirlerdir
- Çalışma esnasında elektrik arkı meydana gelmez ve patlayıcı ortamlar gibi zor şartlarda rahatça kullanılabilir.
- Momentlerinin (tork) yüksek olması
- Elektronik sürücülerle (hız kontrol cihazı) frekansının değiştirilerek devir sayıları değiştirilebilir.
- Bir fazla, üç fazlı olarak iki şebeke gerilimine ve farklı güçlerde özel olarak da çok fazlı üretilebilmeleri
- Alçak gerilim ve orta gerilimde de çalışabilmeleri [39].

Çok fazlı asenkron motorların rotoru, bilezikli veya sincap kafesli olabilir; Şekil 3.4'de Bilezikli rotor (c), statordakine benzer biçimde çok fazlı bir sargıdan ve birçok ince tellerden oluşur. Kutup sayısı, statorunki ile aynı olacak şekilde sarılır. Rotor sargı uçları, rotor mili (şaftı) üzerine elektriksel yalıtımı yapılarak yerleştirilmiş kayma bileziklerine bağlanır. Şekil 3.4.'de (a,b) daire biçimindeki saclara yerleştirilecek mil ve stator çapından sadece hava geçecek kadar az olacak şekilde sargıların sarılacağı oluklar açılır. Bu sacların ardına dizilmesiyle "rotor sac paketi" olarak oluşmuş olur. Daha sonrasında iletkenler oluklara yerleştirilerek rotor arka ve ön kısmı halka şeklinde kısa devre edilir. Oluklara rotor barları yerleştirilir. Bilezikli asenkron makineler sadece sıra dışı, dolayısıyla sınırlı sayıdaki özel amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır [40, 43].

Diğer taraftan, tipik bir endüksiyon motoru, rotor sargısı rotor çekirdeğindeki oluklara gömülen iletken çubukların her iki taraftaki halkalar ile kısa devre edilmesi şeklinde oluşturulur. Sincap kafes yapısının son derece basit ve sağlam olması, asenkron motorların bu türünün öne çıkan üstünlükleridir. Bu üstünlükleri, küçük güçlerden çok daha büyük beygir gücüne kadar değişen büyüklüklerde en yaygın bir şekilde kullanılan motor türü olmasını sağlamıştır [40, 41].



Şekil 3.4. (a) Sincap kafesli rotor (b) Sincap kafesi ve (c) Bilezik rotorlu motor [43].

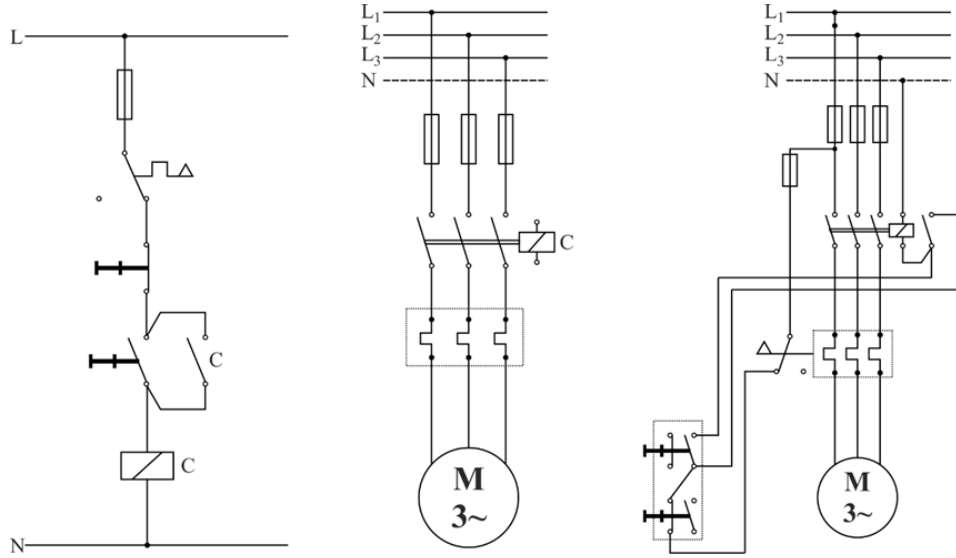
## 3.2. Asenkron Motorlara Yol Verme Yöntemleri

### 3.2.1. Doğrudan Yol Verme

Doğrudan yol verme yöntemi küçük güçlü motorlarda ya da kendi enerjisini üretmekte olan işletmelerde kullanılmaktadır. Kalkış sırasında çekilen akım nominal akımın 4-8 katı kadardır. Bu işlem sırasında paket şalterler kollu tip mekanik şalterler veya kontaktör kombinasyonu ile oluşturulan manyetik şalterler kullanılmaktadır [41].

Bu tip motorlarda şebeke üzerinde kısa süreli fazla akım olumsuz etki yaratmamaktadır. Fakat büyük güçlü motorlarda akım oldukça önemlidir. Belirli bir gücün üzerinde büyük motorlarda kalkış akımının düşürülmesi için belirli kurallar konmuştur. Tek fazlı, küçük güçlü motorlara ve 3-4 kW'a kadar küçük güçlü üç fazlı asenkron motorlara doğrudan yol verilmektedir. Doğrudan yol verme devre şemaları Şekil 3.5'de gösterilmiştir [42].





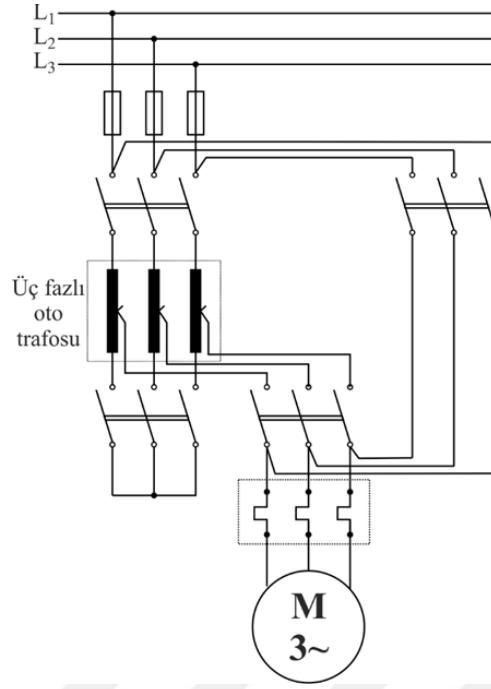
**Şekil 3.5.** Doğrudan yol verme, kumanda, güç ve uygulama şemaları [42].

### 3.2.2. Gerilimi Değiştirerek Yol Verme

Gerilimi değiştirerek yol vermede motorun az yüklenmiş ya da yüklenmemiş olması gerekmektedir. Diğer durumda, düşük gerilim altındaki motor gerekli olan momenti üretememektedir. Bunun sonucunda şebekeden daha çok akım çekmeye çalışmaktadır. Bu uygulama sırasında öncelikle yüksüz olarak başlanmakta, motor nominal hıza eriştiğinde yükleme gerçekleştirilmektedir. Bu durum yüklükten yol vermek için gerekli momenti yaklaşık %10-50 oranında azaltmaktadır [43].

#### 3.2.2.1. Oto Transformatörü ile Yol Verme

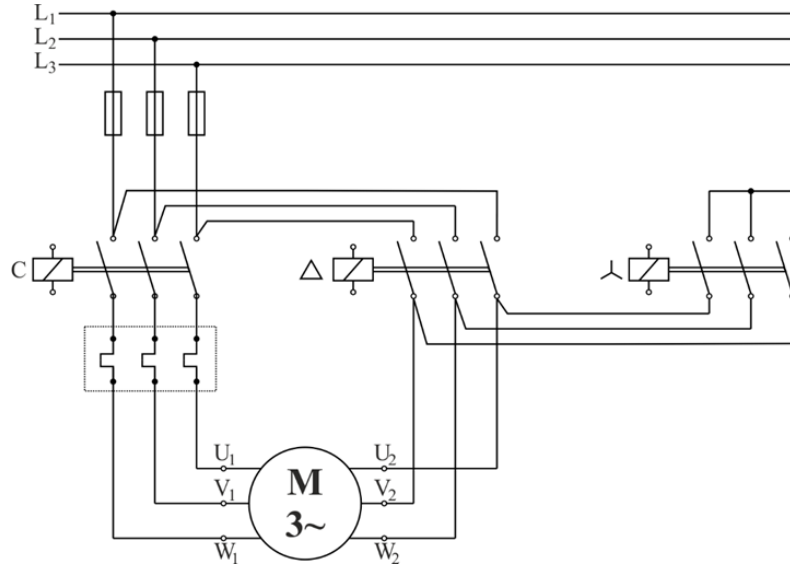
Oto transformatörü ile yol vermede, küçük güçlü motorların yanı sıra üçgen bağlantıdaki nominal gerilimi, şebeke gerilimi ile eşit olmayan motorlarda kullanılmaktadır. Genel olarak motor, nominal gerilimin yarısı ya da biraz daha fazlasına maruz bırakılmaktadır. Motor nominal devrine ulaştığında ise % 100 nominal gerilimi ile beslenmektedir. Bir oto-transformatör aracılığı ile gerilim ayarlaması yapılmaktadır. Bu uygulamanın sağladığı en önemli avantaj, diğer yol verme yöntemlerine göre çekilen hat akımının en düşük olmasıdır. Oto transformatörü ile yol verme güç devresi şeması Şekil 3.6'da yer almaktadır [44].



Şekil 3.6. Oto transformatörü ile yol verme güç devresi [44].

### 3.2.2.2. Yıldız-Üçgen Bağlayarak Yol Verme

Bir asenkron motorun üçgen çalışma gerilimi ile şebeke geriliminin eşit olduğu durumlarda yıldız-üçgen yol verilmesi mümkün olmaktadır. Yol vermeden sonra sargılar üçgen şeklinde kalmaktadır. Bu nedenle üçgen şeklindeki sargıların gerilime dayanıklı olmaları gerekmektedir. Bu sistem sigorta veya şalter, kablolama, zaman rölesi ve kontaktörle kurulabilmektedir. Bu yöntem küçük güçlü motorlarda kalkış akımını düşürmek için kullanılan en ekonomik yöntem olarak bilinmektedir. Yük momentinin elektrik motorunun yıldız bağlı olduğu durumlardan büyük olduğu durumlarda motor yük altında hızlanamamaktadır. Bu tür durumlarda motora boşta yol alma imkânı sağlayan donanımlar kullanılabilir. Şekil 3.7’de yıldız üçgen zaman rölesi kullanılmıştır. Yıldız üçgen zaman rölesi “Başla” düğmesine basıldığında enerjilenmekte yıldız çektikten sonra ana kontaktör enerjilenmektedir. Yıldız kontaktörünün önce devreye alınması yıldız kontaktörünü nominal akımın 1/3’ü kadar küçük olmasını da sağlamaktadır. [41].

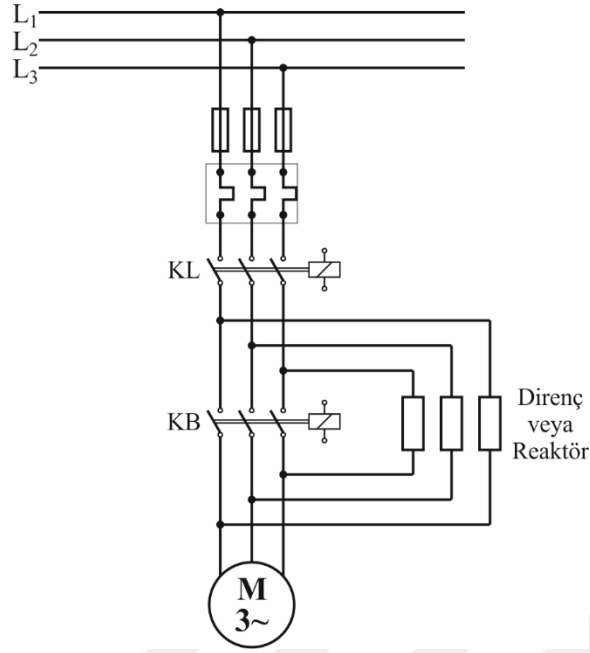


**Şekil 3.7.** Yıldız üçgen yol verme güç devresi [45].

### 3.2.2.3. Stator Ön Direnci ile Yol Verme

Stator ön direnci ile yol vermede oto -transformatör yerine direnç (rezistans), reosta (ayarlı direnç) veya reaktörler kullanılmaktadır. Bu yöntemin uygulanması esnasında ilk olarak hattın çekilen akımın dirençler üzerinden geçerek bir gerilim düşümüne sebep olması amaçlanmaktadır. Böylece uygulanan gerilim motor sargılarında görülmemektedir. Bu durumda motor üzerine çekilen akım azalmakta ardından direnç uçları kısa devre edilerek tüm gerilimin motor sargılarına uygulanması sağlanmaktadır. Bu arada geçen süre bir zamanlayıcı ile ölçülmektedir. Burada direnç yerine reaktör de kullanılabilir. Reaktörle yol verme, büyük güçlü ve yüksek gerilimli motorlarda enerji kayıplarının önüne geçebilmek için kullanılmaktadır [43].

Bağlantı diyagramı Şekil 3.8’de gösterilen bu yol verme yöntemi sincap kafesli motorlar için uygundur. Bu durumda gerilim düşümü, yol verme esnasında (KL kapalı, KB açık) statora seri bağlı dirençler kullanılarak elde edilir; bunun sonucu olarak, ilk etapta elektrik motorunu besleyen gerilim, şebeke gerilimine göre “k” katsayısı kadar azaltılır ve bu k<sup>2</sup>’lik bir tork azalmasına karşılık gelecektir. Giriş akımı, tam gerilimde yol verme için yeterli olan akımın yaklaşık yarısıyla sınır olmuş olur. İvmelenme fazı bittiğinde, dirençler hariç tutulur (KB2’nin kapanması) ve motor tam gerilimle ilgili parametrelere geri dönmüş olur [46].



Şekil 3.8. Stator ön direnci ile yol verme [46].

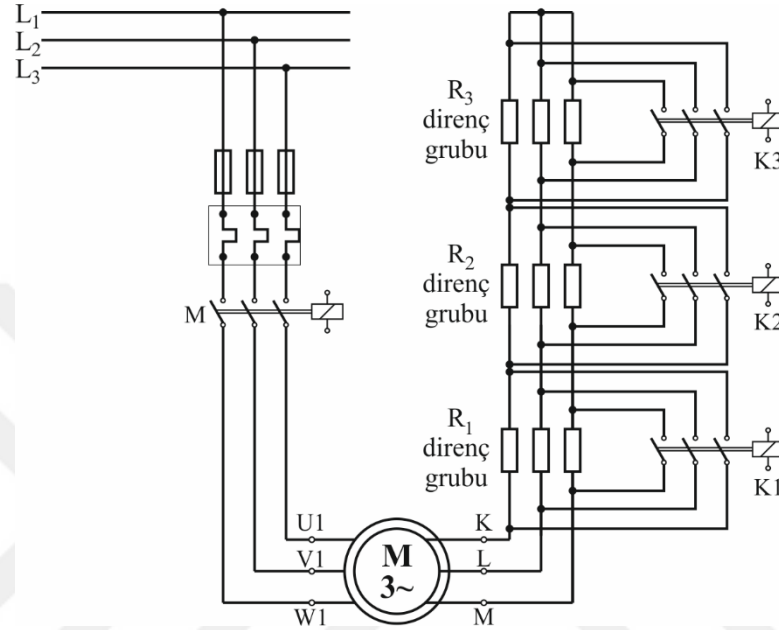
#### 3.2.2.4. Bilezik Ön Direnci ile Yol Verme

Diğer yol verme yöntemlerinde motorların yol alırken yüksüz olmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Fakat belirli durumlarda motorlar yük altında kalmak mecburiyetinde olabilmektedir. Bu tür durumlarda rotorunda iki tür sargı bulunan senkron motorlarda kalkış işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu sargılardan ilki rotor sargısıdır. Diğeri ise rotor sargısından yalıtılan ve asenkron motor rotor sargısına benzeyen sargıdır. İlk adımda rotorun üç fazlı olan sargılarına yol verme direnci, seri olarak bağlanmaktadır. Bununla birlikte endüviye üç fazlı alternatif akım uygulanmaktadır. Rotora seri bağlanan yol verme direnci yavaş yavaş devreden çıkartılmakta ve motorun yük altından kalkarak yol alması sağlanmaktadır. Uyarım için rotora doğru akım uygulanarak rotor ve döner alan kutuplarının kilitlemesi sağlanmaktadır [47].

Şekil 3.9.'da sırasıyla şu yollar izlenerek motora yol verilir:

- 1) İlk başta tüm kontaklar açıktır. Rotor sargılarına (bilezik) tüm dirençler seridir. İlk olarak motor kontakları kapanır ve bir süre motor devri artmaya başlar.

- 2) R3 direnç kontaktları kapatılarak R3 direnç grubunun kısa devre olarak rotor sargılarına daha fazla gerilim düşmesi sağlanır.
- 3) R2 direnç kontaktları da kapatılarak R2 direnç grubu da kısa devre edilir.
- 4) Motor nominal devrine yaklaşırken bilezik kontaktları da kapatılarak tüm dirençler kısa devre edilmiş olur [43].



Şekil 3.9. Bilezik ön direnci ekleyerek yol verme güç devresi [43].

### 3.2.3. Güç Elektroniği Sistemleri ile Yol Verme

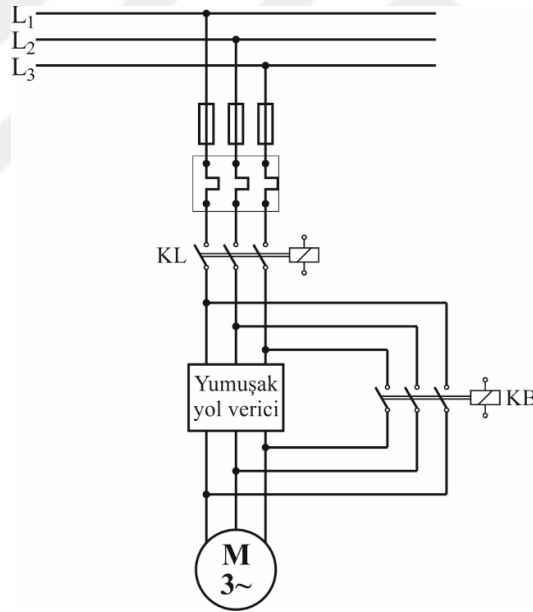
Güç elektroniği sistemleri ile yol verme, diğer yol verme çeşitleri ile aynı yöntemde sahiptir. Ancak güç elektroniği elemanları kullanılmasından ötürü diğer yöntemlere göre maliyeti daha yüksek olmaktadır. Ancak bu yöntem ile motorlar daha yumuşak bir şekilde kalkınmakta ve devirlerde hassas ayarlamalar yapılabilmektedir [43].

#### 3.2.3.1. Yumuşak Yol Verici (Soft-starter) ile Yol Verme

Yol verme yöntemleri arasında son teknoloji yumuşak yol verici ile yol verme yöntemidir. Bu yöntemde gelişmiş motor koruma ve operatör ara birim fonksiyonları ile birlikte akım ve momenti bütünüyle kontrol edilebilmektedir. Bu yol verme yönteminde yumuşak yol vericiler sayesinde tristörlerin kesme açısı değiştirilerek faz

kontrolü gerçekleştirilmektedir. Bu faz kontrolü ile motor terminal geriliminin kurulabilir başlangıç değerinden, sistem kaynak gerilimine yükseltilmesi sağlanmaktadır. Yumuşak yol verici, motorun devreye girmesi esnasında şebeke gerilimini, %30 değerinden başlamak üzere %100 değerine kadar, kontrol ederek motora uygulamaktadır. Motorun devreden çıkması halinde ise şebeke gerilimini %100 değerinden %30 değerine kadar kontrol altına alarak şebekeden ayrılmasını sağlamaktadır [48].

Şekil 3.10'daki şema ile bu cihazların kullanımı, başlangıç akımını sınırlamayı, momenti belirlemeyi ve yol verme zamanını ayarlamayı sağlayarak doğrudan yol verme ve yıldız üçgen yol vermeyi karakterize eden elektriksel ve mekanik gerilmelerden kaçınarak yumuşak bir yol verme sağlamak amacı ile tüm süreç boyunca artan motor beslemesinin yumuşak olmasını mümkün kılar [46].



**Şekil 3.10.** Yumuşak yol verme (soft-starter) bağlantı şeması [46].

### 3.2.3.2. Frekans Değiştirici (İnverter) ile Yol Verme

Frekans değiştirici (inverter) ile yol verme yöntemi, motorun hızını frekansı kontrol ederek motorun hız kontrolünü yaparlar. Frekans değiştiriciler, sabit frekanslı AC gücün girişini, değişken frekanslı çıkışa çeviren elektronik cihazlardır. Bu cihazlar

sayesinde motor için sağlanan elektrik gücün frekansını kontrol ederek, alternatif akımın döner hızını, böylece de motorun hızını kontrol edebilmek mümkün olmaktadır. Parametreler, cihaz üstünde yer alan Temel Operatör Paneli (TOP) aracılığı ile değiştirilebilmektedir. Makro seçimleri, parametreler, sürücünün kalkış-duruş ve rampa süreleri, minimum ve maksimum frekansları vb. gibi istenilen fonksiyonlar TOP aracılığı ile düzenlenip, ayarlanabilmektedir. Seçilen parametreler ve bu parametrelerin değerleri seçilen kullanıcı panelinin ekranında gösterilmektedir [49].

### 3.3. Enerji Verimliliği

Basınçlı hava sistemlerinin çoğu tam yük koşullarında çalışacak şekilde tasarlanmış olsa da gerçek çalışma koşullarında bu durum çok küçük oranda gerçekleşebilir. Hava talebindeki dalgalanmadan kaynaklanan bu sapma, verimsiz çalışmayla sonuçlanır. Bu verimsizlik, kompresörün hızını değiştirerek gerçek yük gereksinimlerini karşılama kapasitelerini değiştirerek azaltabilir. Böylece, hızı kontrol etmek için VSD kullanmak önemli miktarda enerji tasarrufu sağlayabilir. VSD kurularak tasarruf edilen yıllık enerji Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanabilir [50].

$$YET = n_1 \cdot P \cdot L \cdot h_r \cdot S_{SR} \quad (16)$$

Dünya çapında enerji tedarikinin ve buna bağlı olarak enerji tüketiminin gittikçe çok daha önemli bir yapıya bürünmesinden dolayı enerjinin daha verimli bir biçimde kullanılmasına yönelik önlemler alınmasına yol açmıştır. Söz konusu önlemler, sanayi, konut, ulaşım ve benzeri önemli enerji tüketim alanlarında uygulanmaktadır. Endüstrinin tüketilen enerji arasındaki büyük payı, söz konusu sektör için birtakım önlemlerin alınmasını gerekli kılmıştır. Endüstri sektörü için önlemler, yönetimsel, teknolojik ve yasal tedbirler olmak üzere üç ana başlık altında değerlendirilmektedir [51].

Ekonomik açıdan bakıldığında, enerji verimliliği seçimleri temelde daha yüksek ilk sermaye maliyetlerini takas eden ve gelecekteki daha düşük enerji işletme maliyetlerini belirleyen yatırım kararlarını içerir. En basit durumda, ilk maliyet,

nispeten enerji tasarruflu bir ürünün satın alma ve kurulum maliyeti ile aynı enerji hizmetlerini sağlayan ancak daha fazla enerji kullanan başka türlü eşdeğer bir ürünün maliyeti arasındaki farktır. Enerji tasarruflu yatırım yapıp yapmama kararı, bu ilk sermaye maliyetinin gelecekteki beklenen tasarruflarla karşılaştırılmasını gerektirir. Gelecekteki tasarrufları değerlendirmek için, gelecekteki enerji fiyatlarından beklentilerin oluşturulması, enerji kullanımıyla ilgili diğer işletme maliyetlerindeki değişiklikler (örneğin temizlik ücretleri), ürünün kullanım yoğunluğu ve ekipman ömrü gerekir [52].

Verimli çalışmak için uygun güce sahip bir elektrik motoru seçmek çok önemlidir. Genel olarak, motorlar ekstra yük taleplerini karşılamak için büyük kapasitelerde seçilir. Büyük kapasiteler motorların düşük yükte verimsiz çalışmasına neden olur. Normalde, motorlar nominal yükün %75'inde ve üstünde daha verimli bir şekilde çalıştırılır. Nominal kapasitenin %50'sinden daha az çalışan motorlar büyük kapasitede seçilmelerinden dolayı verimsiz performans göstermelerine sebep olur ve reaktif akım artışı nedeniyle güç faktörleri de azalış gösterir. Bu tür motorlar enerjiyi verimli bir şekilde tüketmez, çünkü ihtiyaca göre değil büyük bir güçle seçilir. Bu motorlar yeni uygun kapasitede motorlarla değiştirilmeli ve yeni motorlar satın alırken enerji tasarruflu motorlar tercih edilmelidir [53].

Elektrik motorlarının enerji tüketiminde sektörel koşulların yanında motorların kategorize edilmesi konusu da enerji verimliliği üzerindeki araştırmaların amacı bakımından son derece önem arz etmektedir. Dünya çapında işletmede olan elektrik motorlarının 2,23 milyar adet olduğu düşünülmektedir. Bu motorların yaklaşık %89 (2 milyar adet) gibi büyük bir kısmının 0,75 kW ve altında güce sahip olduğu tahmin edilmektedir. Fakat söz konusu rakam enerji tüketimi bakımından %9 oranında kalmaktadır. Adet olarak toplamın yaklaşık %11 oranında kalan 0,75-375 kW aralığı ise toplam enerji tüketiminde %68'lik orana sahip olmaktadır. 375 kW ve üzeri motorların ise sayı bazında %1 oranının altında olmasına rağmen, enerji tüketiminin %23 seviyesinde olduğu belirtilmektedir [54].



## 4. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu bölümde yukarıda genel hatlarıyla bilgileri verilen vidalı kompresörler ile ilgili olarak bu çalışma kapsamında enerji verimliliğine dair performans analizleri yapılmıştır. Bu doğrultuda, hava debisi, paket güçleri gibi ölçüm yöntemleri kullanılarak tüm gözlemler ortaya konulmuş, vidalı kompresörlerde motor enerji verimlilik sınıfı, yol verme yöntemi ve tahrik tipinin enerji verimliliğine etkileri üzerinde durulmuştur.

Fiziki ölçümler Aydın Trafo Kompresör Kemalpaşa / İzmir fabrikası kompresör test bölümünde TÜV AUSTRIA TURK Belgelendirme Eğitim ve Gözetim Hizmetleri Ltd. Şti. nezaretinde yapılmıştır. Firma, TS 7765 ISO 1217 yer değiştirmeli kompresörler – kabul deneyleri Türk Akreditasyon Kurumu’ndan (TÜRKAK), TS En ISO/IEC 17025 standardına uygun şekilde akredite olmuştur.

### 4.1. Debi Ölçümü

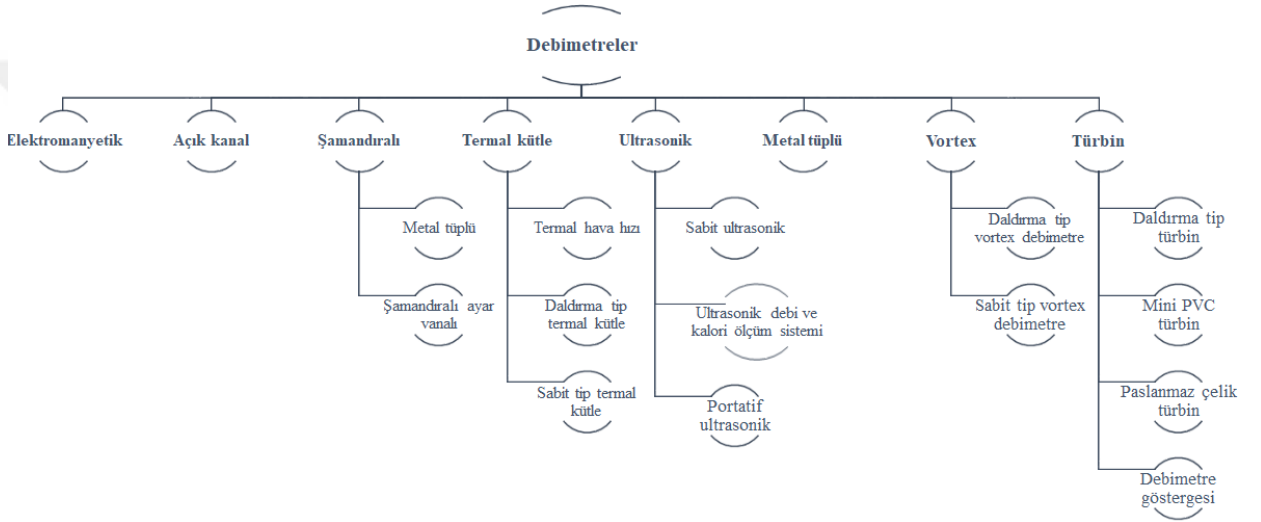
Debi, havanın (akışkanın) geçtiği bir boru kesitinden birim zamanda geçen hacmine denir. Miktar / birim zaman olarak bilinen genellikle kullanılan birimi ise  $m^3/dk$ 'dır. Hava debisi debimetre veya diğer adı ile akış ölçer ile ölçülür.

Debimetreler gaz, sıvı ya da buhar gibi akışkanların miktar / birim zaman cinsinden ölçen cihaz olarak adlandırılmaktadır. Debimetre ölçümlerini mekanik veya elektronik olarak ölçüm yapar. Bu cihazlar boru hattının üzerine bir oluk içerisine yerleştirilerek kullanılırken, boru hattı üzerinden de ölçüm yapacak şekilde tasarlanmışlardır.

Şekil 4.1’de belirtilen debime türleri genellikle pompa, motor ve kompresör sistemlerinin iyileştirme ve performans analizlerinin yapılmasında önemli bir yere sahiptir.

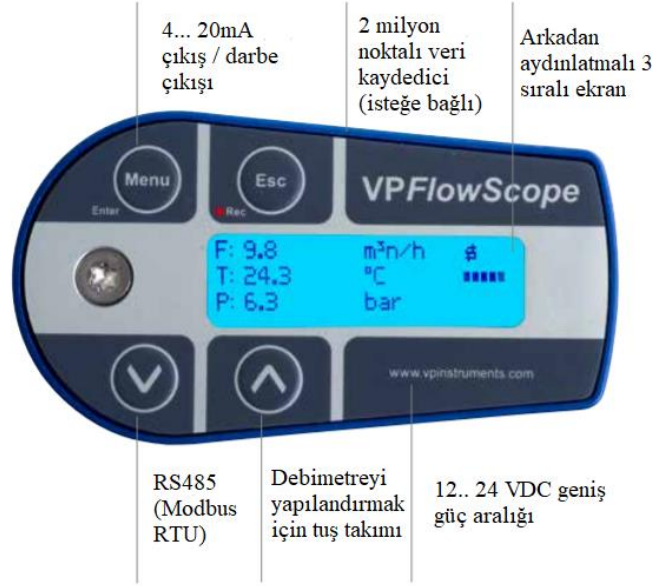
#### 4.1.1. Daldırma Tip Termal Kütle Debimetre

Daldırma tip termal kütle debimetreler, gazların kütle ölçümlerini gerçekleştirmek için tasarlanmış ürünlerdir. Standart debimetreler, debi ölçümlerini doğru bir şekilde yapabilmek için basınç ve sıcaklıkların karşılıklarına ihtiyaç duyarlar. Ancak daldırma tip kütle debimetreleri akışkanın, kütle akış değerine ihtiyaç duymadan hesaplarlar. Kütle debimetreleri, uygulama kolaylığı, dinamik bir malzemeye sahip olmaması, düşük basınç kayıpları, ölçüm aralığının genişliği, sağlıklı ölçümüyle güvenilirliği ve hassasiyetiyle sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 4.1. Debimetre türleri

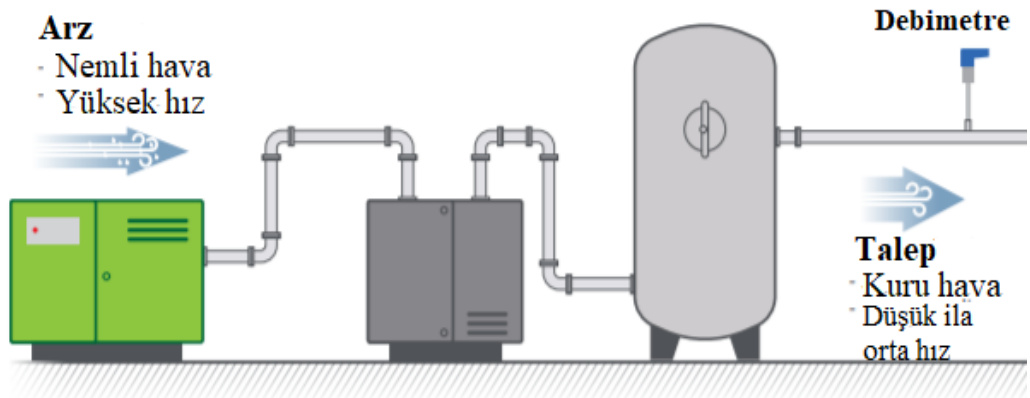
Vidalı kompresörlerde verimlilik açısından önemli bir gösterge olan çıkış hava debisi verileri, m<sup>3</sup>/dk cinsinden debimetre ile ölçülmüştür. Ölçümler Aydın Trafo Kompresör Fabrikası'nda (Kemalpaşa / İzmir) 75kW güce sahip vidalı kompresörün; kayış-kasnak, akuple, kayış-kasnak inverterli ve akuple inverterli modellerinde hava debisi ölçümleri gerçekleştirilirken, 250kW güce sahip vidalı kompresörün; akuple ve akuple inverterli modellerinde hava debisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2'de kullanılan debimetre ve özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 4.2. VPFlowScope debimetre

#### 4.1.2. Debimetre Bağlantısı

Şekil 4.3' de kompresör çıkışından alınan boru hattı, havanın kurutulması için kurutucuya bağlanır. Kurutucunun çıkışından alınan boru hattı ise tankın girişine bağlanırken, tankın çıkışından sisteme giden boru hattında oyuk açılarak debimetre yerleştirilir.



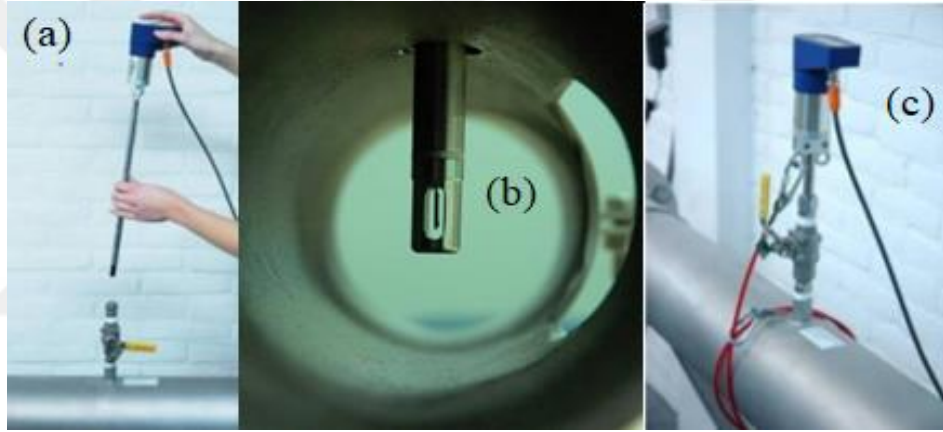
Şekil 4.3. Basınçlı hava sistemi debimetre bağlantı şeması

Debimetre ile yapılan fiziki ölçüm değerleri serbest hava debisi olarak adlandırılır. Serbest hava debisinin verimi ( $\eta_v$ ), serbest hava debisinin ( $Q_s$ ), kompresörün yer değiştirmesine (deplasmanına) oranı ile bulunur [55].

$$Q_s = \frac{P_2 - P_1}{P_0} \cdot \frac{v}{t} \quad (17)$$

$$\eta_v = \frac{Q_s}{Q_k} \quad (18)$$

Kompresörün yer değiştirmesi ( $Q_k$ ) pistonlu ve vidalı kompresörlerde farklı olarak değerlendirilmektedir [55].



**Şekil 4.4.** Debimetre montaj şeması

Debimetrenin bağlantısı aşağıda sıralanmaktadır;

1. Tank çıkışında boru hattında açılan oluğa bir vana ve rekoru teflon veya sıvı sızdırmaz madde kullanarak yerleştirilmelidir.
2. Vana kapatılmalıdır.
3. VPFflow DP model debimetrenin Şekil 4.4' deki gibi (a) takılmalıdır.
4. İş güvenliği için bir ip veya halat vasıtasıyla debimetreye halkaya asılmalıdır.
5. Debimetrenin boru içerisinde nerede olduğunu belirlemek için proba işaret koyulmalıdır. Bu durum debimetre geri çekilirken küresel vanayı nerede kapatacağımıza güvenlik açısından yardımcı olacaktır.

6. Hızlıca vana açılarak debimetre probu oluktan içeriye şekil 4.4' (b) deki gibi konumlandırılmalıdır.
7. Anahtar vasıtasıyla rekor sıkılarak sabitlendi ve debimetrenin hasar almaması için yeterince sıkı olup olmadığı kontrol edilmelidir.
8. Şekil 4.4 (c) de görüldüğü gibi VPFlow DP model debimetre ölçüm yapmaya hazır hale gelecektir.

Şekil 4.5. debimetre bağlantısı, çıkış hattı boru çapının 10 katı uzunluğunda ve debimetre bağlantısının bulunduğu noktadan sonra boru çapının 5 katı uzunluğunda dirsek, eğim, ek bulunmamalıdır. Kompresörde üretilen basınçlı havanın kompresör çıkışında herhangi bir etkiyle karşılaşmadan debimetreye ulaşması amaçlanırken, aynı şekilde debimetre çıkışından sisteme giden basınçlı havanın akışını engelleyecek şekilde olmamasına dikkat edilmelidir. Böylece debimetre ile daha sağlıklı ölçümler yapılarak gerçeğe en yakın veriler elde edilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 4.5. Debimetre-kompresör çıkış bağlantısı

## 4.2. Analizör ile Güç Ölçümü

Enerji (şebeke) ve güç analizörleri, mevcut teknolojiler ile elektrik enerjisinin sürekli olarak izlenebilmesini, bu verilerin kayıt altında tutulmasını, gerek duyulması halinde verilerin haberleşmeler sağlanarak iletilmesini sağlayan izleme cihazlarıdır.

Enerji analizörleri;

- Pano tipi enerji analizörü
- Ray tipi enerji analizörü

Bu tiplere ek olarak taşınabilir ve masa tipi enerji analizörleri de bulunmaktadır.

Güç analizörlerinin kullanım alanları;

- 3 fazlı şebekelerin güç kalite analizi ölçümünde şebeke analizörü olarak,
- AG ve OG elektrik şebekelerinin güç kalitesi ve sorunlarının çözümünde,
- Güç kontrol malzemelerinin güç analizörü olarak,
- Enerji tüketim takibi ve kayıtlarında kullanılabilir

Vidalı kompresörlerin verimliliklerini belirlemek için güç ölçümleri yapılmıştır. Burada ölçüm sonuçları değerler fan ve inverter (var ise) güçleri dahil olan paket güç değerleridir. Şekil 4.6'da ölçümlerde kullanılan test analizör gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Pano tipi test analizör

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma kapsamında vidalı kompresörlerin kayış-kasnak (KK), akuple (A) ve akuple inverterli (A VSD) modelleri için aktarma şekilleri ve yol verme yöntemlerinin enerji verimliliğe etkilerinin varlığı araştırılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak 75 kW vidalı kompresörün KK, A ve A VSD modellerinin debi ve paket gücü ölçümleri yapılmıştır. Aynı şekilde 250 kW vidalı kompresörün A ve A VSD modellerinde de aynı ölçümler yapılarak teorik (katalog) değerleri ile fiziki ölçüm verileri ile grafikler elde edilmiştir.

### 5.1. Spesifik (özgül) Güç Tüketimi

Bir kompresörün spesifik (özgül) gücü, tüketilen elektrik enerjisi ile ilgili çalışma basıncındaki hava verimi arasındaki orandır.

Bir kompresörde tüketilen elektrik enerjisi (paket gücü) kompresörde mevcut olan örneğin ana motor, fan motoru, inverter vs. gibi tüm tüketim unsurlarının enerji tüketiminin toplamıdır. Spesifik güç, verimlilik hesaplaması için gerekli olursa, kompresör sisteminin tamamı ve maksimum çalışma basıncı baz alınmalıdır. Buna ek olarak çalışma basıncındaki 1 barlık artış, enerji harcamasını yaklaşık olarak %7 arttırdığı dikkate alınmalıdır.

Spesifik güç;

$$SET = \frac{P_T}{Q} \quad (19)$$

Paket Gücü;

$$P_T = \frac{P_S}{\eta} + P_F \quad (20)$$

**Tablo 5.1.** Vidalı kompresörlerde kullanılan fan motoru güçleri

<b>KOMPRESÖR MOTOR GÜCÜ (kW)</b>	<b>FAN MOTORU GÜCÜ (kW)</b>
15	0,48
18,5	0,48
22	0,48
30	0,72
37	0,72
45	0,75
55	1,5
75	2,2
90	2,2
110	3
132	3,7
160	4,4 (2 x 2,2)
200	6 (2 x 3 x 1500)
250	7 (2 x 3 x 1500)
315	8 (2 x 4 x 1500)

## 5.2. Kayış-Kasnak Tasarım Vidalı Kompresör Veri Analizi

Kayış kasnak mekanizmaları temelde bir güç aktarım ekipmanıdır. Basit bir ifadeyle kayışlar tahrik kasnağından aldığı hareketi/gücünü tahrik eden kasnağa aktarmaya yarayan makine elemanlarından biridir. Sürtünme bazlı temas ve pozitif temas olarak ayrılır. Kasnak çapları değiştirilerek vidanın devri ile oynanabilir, bu avantajlarının dışında en büyük dezavantajı sürtünmeden kaynaklı aktarımda %2-8'e verim kaybı vardır.



**Şekil 5.1.** POLY - V kasnak ve kayış



Bu çalışmada ölçüm yapılan kayış kasnaklı vidalı kompresörde Poly V kayış kullanılmaktadır. Poly V kayışlarda verim kaybı %2 iken V kayışlarda verim kaybı %8'dir. Kayış kasnak bağlantısının dezavantajı motor ve vida içindeki rulmanların üzerine aksel ve radyal yönde yük binmesidir.

### 5.2.1. Kayış-Kasnak Tasarım Vidalı Kompresör Elektrik Bağlantısı

Kompresörün ana motoru ve fan motoru 400 V, 50 Hz üç fazlı asenkron motorlardır. Kumanda devresi gerilimi ise 24 V ile beslenmektedir. Ünite besleme kablosu (3 faz + toprak iletkeni) gerilim düşümüne sebep olmayacak kesitte olmalıdır. Besleme kablosu ve ana şalter emniyet açısından kompresörün gücüne uygun seçilmelidir. Uygun kablo kesitlerini ve konulacak ana şalter akım değerleri Tablo 5.2. da verilmektedir.

**Tablo 5.2.** KK vidalı kompresör uygun kablo kesitleri ve ana şalter akım değerleri

MODEL	GÜÇ (kW/HP)	KABLO KESİTİ (mm <sup>2</sup> )	MCB [A]
ATV - 3	3 / 4	4 x 4	25
ATV - 4	4 / 5,5	4 x 4	25
ATV - 5,5	5,5 / 7,5	4 x 4	25
ATV - 7,5	7,5 / 10	4 x 4	32
ATV - 11	11 / 15	4 x 6	32
ATV - 15	15 / 20	4 x 6	40
ATV - 18,5	18,5 / 25	4 x 10	50
ATV - 22	22 / 30	4 x 16	63
ATV - 30	30 / 40	3 x 25 + 16	80
ATV - 37	37 / 50	3 x 25 + 16	100
ATV - 45	45 / 60	3 x 35 + 16	125
ATV - 55	55 / 75	3 x 50 + 25	125
ATV - 75	75 / 100	3 x 50 + 25	160



### 5.3.1. Akuple Tasarım Vidalı Kompresör Elektrik Bağlantısı

Kompresörün ana motoru ve fan motoru 400 V, 50 Hz. üç fazlı motorlardır. Kumanda devresi gerilimi ise 24 V'tur. Ünite besleme kablosu (3 faz + toprak iletkeni) gerilim düşümüne sebep olmayacak kesitte olmalıdır. Besleme kablosu ve ana şalter emniyet açısından kompresörün gücüne uygun seçilmiştir. Uygun kablo kesitleri ve konulacak ana şalter akım değerleri Tablo 5.3.'de verilmiştir.

**Tablo 5. 3.** Akuple vidalı kompresör uygun kablo kesitleri ve ana şalter akım değerleri

MODEL	MOTOR GÜCÜ (kW / HP)	KABLO KESİTİ (mm <sup>2</sup> )	MCB [A]
ATV - 11 A	11 / 15.	4 x 6	32
ATV - 15 A	15 / 20.	4 x 10	40
ATV - 18,5 A	18,5 / 22.	4 x 10	50
ATV - 22 A	22 / 30.	4 x 16	63
ATV - 30 A	30 / 40.	3 x 25 + 16	63
ATV - 37 A	37 / 50.	3 x 25 + 16	80
ATV - 45 A	45 / 60.	3 x 35 + 16	100
ATV - 55 A	55 / 75.	3 x 50 + 25	125
ATV - 75 A	75 / 100.	3 x 50 + 25	160
ATV - 90 A	90 / 125.	3 x 70 + 35	200
ATV - 110 A	110 / 150.	3 x 95 + 50	250
ATV - 132 A	132 / 180.	3 x 120 + 70	250
ATV - 160 A	160 / 220.	3 x 150 + 70	300
ATV - 200 A	200 / 270.	3 x 185 + 95	400
ATV - 250 A	250 / 340.	3 x 240 + 120	500
ATV - 315 A	315 / 430.	2 x 185 + 240	630

### 5.4. İnverterli Tasarım Vidalı Kompresör Veri Analizi

Frekans kontrolü enerji tasarrufa katkı sağlamaktadır. Frekans kontrolü sayesinde; basınç sensöründen gelen bilgilere göre, ne kadar hava gereksinimi olduğu algılanır ve ihtiyaca göre hava üretilir. Böylelikle gereksiz yere enerji sarfiyatı da engellenmiş olur. Kısacası; kompresör, firmanın ihtiyaç duyduğu hava miktarına göre enerji harcamaktadır. Frekans kontrolü sayesinde, basınçlı hava için yapılan toplam harcamalarda ortalama %25 tasarruf sağlanmaktadır. Bu oran elektrik harcamalarında yaklaşık olarak %35'e varan enerji tasarrufuna denk gelmektedir.



**Şekil 5.4.** Frekans inverteri

Elektrik motorunun yıldız-üçgen kalkışı esnasında, yıldız periyodunda çekilen aşırı akım ve buna bağlı tüm kayıp ve riskler; inverterli uygulamanın yumuşak kalkış ve yumuşak duruş özelliği ile önlenmiş olur. Kompresör elemanlarının kullanım ömrü uzar.

Standart kompresörler, hedeflenen basınçta boşa geçer, basınç alt değere ulaşınca tekrar yüke girer. Bunun sonucu kullanılan havanın basıncı alt ve üst değerler arasında sürekli değişir. İnverterli kompresörler frekansı değiştirir ve motor devrini ayarlayarak istenen basınçta kalır.

İNverterli kompresörler kapasite aralığında kalan kullanımda boşa geçmez. Çalışma ile ilgili bütün değerler dengede kalır. Sistemin o andaki hava ihtiyacı ne kadar ise inverter motor devrini o duruma göre ayarlayarak kompresör sadece istenilen hava ihtiyacı kadarını üretir ve sadece sistem ihtiyacı kadar enerji kullanır.

## 6. TARTIŞMA

Ölçümleri gerçekleştirilen vidalı kompresörleri karşılaştırabilmek adına 75kW ve 250kW vidalı kompresör grubu ayrı ayrı olacak şekilde iki ana grupta incelenmiştir. Bu iki ana grupta bulunan vidalı kompresör modellerinin kendi aralarında yol verme çeşidi ve aktarım tipi gibi farklılıkları bulunmaktadır. Burada amaçlanan ölçüm ve analizleri gerçekleştirebilmek için aynı ana grupta bulunan vidalı kompresörlerin iç elemanlarının aynı marka ve modelde seçilmesine özen gösterilmiştir.

### **Grup A1:** 75kW 10 Bar Vidalı Kompresör

- 75kW Kayış Kasnak (KK) 10 Bar Vidalı Kompresör
- 75kW Kayış Kasnak Inverterli ( KK VSD) 10 Bar Vidalı kompresör
- 75kW Akuple (A) 10 Bar Vidalı Kompresör
- 75kW Akuple İnverterli (A VSD) 10 Bar Vidalı Kompresör

### **Grup A2:** 250kW 7 Bar Vidalı Kompresör;

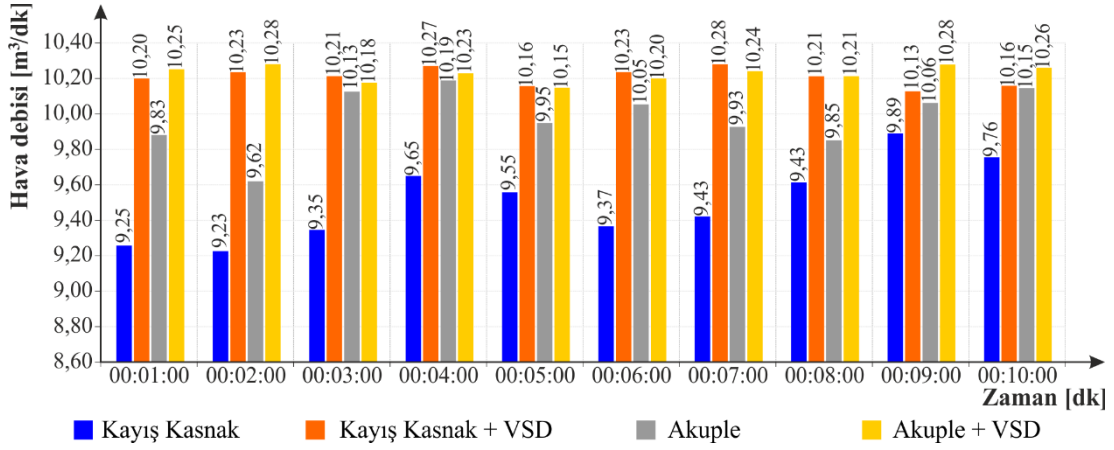
- 250kW Akuple (A) 7 Bar Vidalı Kompresör
- 250kW Akuple İnverterli (A VSD) 7 Bar Vidalı Kompresör
- 

Tasarımların Performans Ölçümleri;

- Debimetre ile Debi Ölçümleri
- Analizör ile Güç Ölçümleri

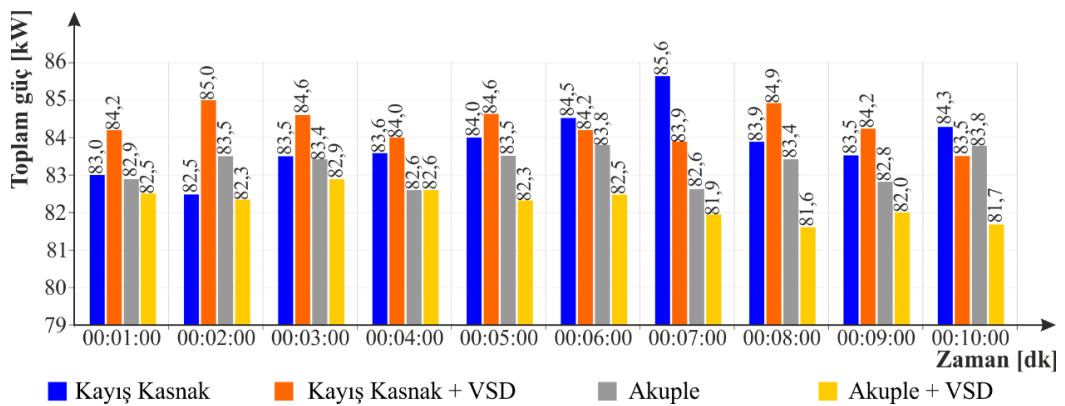
### **6.1. 75kW Vidalı Kompresörlerin Karşılaştırılması ( KK, KK VSD, A, A VSD)**

Şekil 6.1.'de görüldüğü üzere 75kW A VSD model vidalı kompresörün hava debisinin istikrarlı olarak ön plana çıktığı görülmüştür. Buna ek olarak katalog değerleri 10,32 m<sup>3</sup>/dk olan A VSD ve A model vidalı kompresörlerin ölçüm sonuçları şu şekilde gerçekleşmiştir. A model vidalı kompresör 9,97 m<sup>3</sup>/dk ortalamaya sahip olurken, A VSD model vidalı kompresörün ise 10,22 m<sup>3</sup>/dk hava debisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu grafikte tespiti yapılan en dikkat çekici nokta ise KK VSD ve Akuple model vidalı kompresörlerin hava debisi açısından karşılaştırılmasıdır.



**Şekil 6.1.** 75kW 10 bar vidalı kompresör hava debisi ölçümleri sütun grafiği

Teorik olarak belirtildiği üzere kayış-kasnak sistemin akuple tasarıma göre daha fazla aktarım kayıplarını oluşturacağıdır. Burada ise bu dezavantajı ön görülebilir seviyelere çeken noktanın, kayış kasnak tasarımının devrinin ayarlanabilir yapısı sayesinde akuple tasarıma göre hava debisi açısından daha yüksek olduğu görülmektedir. Yani KK VSD model kompresörün devri 3338 d/dk iken ölçümlerde debi ortalaması 10,2 m<sup>3</sup>/dk'dır. Akuple modelde ise devri 2975 d/dk iken ölçümlerde debi ortalaması 9,97 m<sup>3</sup>/dk'dır. Devrin arttırılmasıyla hava debisinde bir artış görülmüştür. Ancak bu durum devrin artması sebebiyle vidalı kompresörün ömrüne negatif yönde etki edeceği ve buna ek olarak kayış kasnak mekanizmasının yapısı (aktarma kayıplarının oluşması) sebebiyle devir artışının hava debisinde de aynı etkiyi yapmayacağı ön görülmektedir.

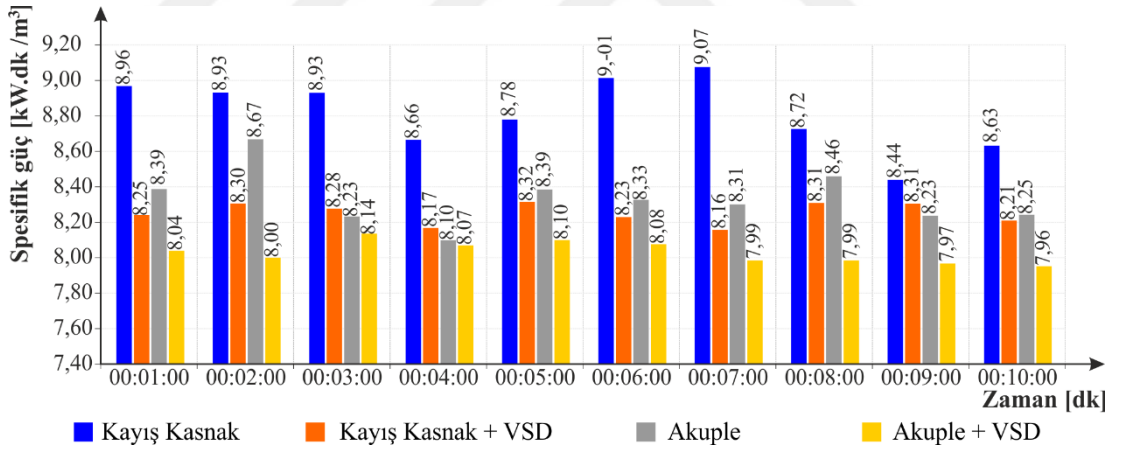


**Şekil 6.2.** 75kW 10 bar vidalı kompresörler için analizör ile güç ölçümleri sütun grafiği

Katalog verisinde 81,4 m<sup>3</sup>/dk hava debisine sahip olan 75kW A VSD vidalı kompresörün Şekil 6.2.'de verilen değerlere göre ortalama paket gücü 82,23 kW'dır. Buna göre toplam güç değerlerinde Hava debisi – Toplam güç ikilisi değerlendirilecek olursa diğer vidalı kompresörlere göre daha fazla debi elde edilerek daha az güç tüketildiği gözlemlenmiştir.

75kW KK vidalı kompresörün ana motor devri 2975 d/dk ve vida bloğu devri ise 3000 d/dk'dır. Kayış kasnak mekanizmasının avantajı, ana motordan aldığı devri vida bloğuna yüksek devir olarak aktararak hava debisinde artış sağlamaktır.

75kW KK model vidalı kompresörde vida bloğu devrinin yaklaşık olarak ana motor devrine yakın olması, ön görülen aktarım esnasındaki sürtünmeden kaynaklı enerji kayıplarını yok edememiştir. Buna ek olarak da yukarıda belirtildiği gibi en düşük hava debisini üretirken toplam güç grafiğinin buna nazaran daha yüksek güç tükettiği tespit edilmiştir.



**Şekil 6.3.** 75kW 10 bar vidalı kompresörler için spesifik güç sütun grafiği

Spesifik (özgül) güç, verilen 1 birim havayı dağıtmak için kompresör tarafından harcanan güç olarak tanımlanır. Basınçlı hava sistemlerinde verimlilik kıstası olarak değerlendirilmektedir. Vidalı kompresörlerde spesifik güç tüketimleri göz önüne alınarak enerji tasarrufu sağlamak mümkündür.

Basınçlı hava sistemlerinde yalnızca hava debisini yükseltme çalışmaları sistem ve enerji verimliliği açısından doğru bir yaklaşım değildir. Yalnızca hava debisini yükseltme çalışmaları kompresörlerde yüksek hava debisi elde etme açısından makul gözükse de buna karşılık harcanan paket gücünün enerji verimliliği açısından önemi göz ardı edilmektedir. Bu noktada spesifik güç gerçek anlamda “verimlilik” kistasını karşılamaktadır. Spesifik güç 1 m<sup>3</sup>/dk hava debisi elde etmek için toplamda kaç kW enerji harcanacağını göstermektedir. Buna göre spesifik güç ne kadar düşük olursa vidalı kompresör o kadar verimlidir. Burada dikkat edilmelidir ki kullanılacak olan sistem için elde edilecek olan hava debisinin yüksek olması ne kadar önem arz etse de bu hava üretilirken toplamda ne kadar enerji harcandığı da üretim tesisleri için fazlasıyla önemlidir.

Şekil 6.3.’de 75kW A VSD vidalı kompresör sisteminin 8,03 spesifik güç ortalaması ile verimliliği gözle görülür bir şekilde en verimli model olduğu görülmektedir. Ayrıca KK vidalı kompresörün ise 8,81 spesifik güç ortalaması ile diğer vidalı kompresörlere göre daha verimsiz olduğu tespit edilmiştir. Grafikte A ve KK VSD kompresörler verimlilik açısından kıyaslanacak olursa, spesifik güç değerleri genel olarak birbirlerine yakın değerlere sahip olmasıyla birlikte KK VSD model kompresörün 8,25 spesifik güç ortalaması ile A model vidalı kompresöre göre (8,41 spesifik güç ortalaması) daha verimli olduğu görülmektedir.

#### **6.1.1. 75kW Vidalı Kompresörlerin Enerji Maliyet Analizi (KK, KK VSD, A, A VSD)**

75kW KK, KK VSD, A ve A VSD model vidalı kompresörler bir işletmede günde 8 saat, aylık 26 gün ve senede 12 ay çalıştırıldığı düşünülerek maliyet analizi yapılmıştır.

**\*\*\* Sanayi için elektrik tüketim maliyeti 1 kWh = 0.54 TL hesaplanmıştır.**

Tablo 6.1.’ de görüldüğü gibi ATV 75 A VSD model vidalı kompresör 110.792,45 TL’lik yıllık elektrik sarfiyatıyla yıllık elektrik maliyeti en düşük vidalı kompresördür. Bu elektrik tüketim maliyetine ek olarak yılda 1.530.547,20 m<sup>3</sup> hava üretimi ile en yüksek basınçlı hava üretimine sahiptir. Bu yönleriyle ATV 75 A VSD model vidalı kompresör, 75kW vidalı kompresör grubunun en verimli, en tasarruflu vidalı kompresörü olduğu tespit edilmiştir.



Yıllık hava üretiminde 1.421.222,40 m<sup>3</sup> ile en düşük basınçlı hava üretimini ATV 75 model vidalı kompresör gerçekleştirmiştir. Buna karşılık ise yüksek elektrik tüketimi ve yüksek elektrik maliyeti görülmektedir.

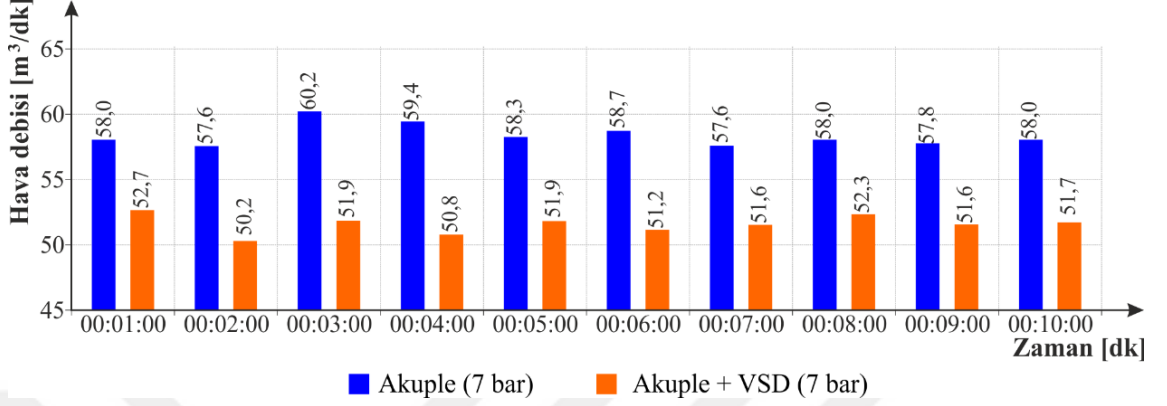
**Tablo 6.1.** 75kW 7 bar vidalı kompresör maliyetleri

<b>HAVA DEBİSİ</b>					
<b>MODEL</b>	<b>m<sup>3</sup>/dk</b>	<b>m<sup>3</sup>/saat</b>	<b>m<sup>3</sup>/gün</b>	<b>m<sup>3</sup>/ay</b>	<b>m<sup>3</sup>/yıl</b>
ATV - 75	9,49	569,4	4555,2	118.435,20	1.421.222,40
ATV - 75 VSD	10,2	612	4896	127.296,00	1.527.552,00
ATV - 75 A	9,97	598,2	4785,6	124.425,60	1.493.107,20
ATV - 75 A VSD	10,22	613,2	4905,6	127.515,60	1.530.547,20
<b>TÜKETİLEN ENERJİ</b>					
<b>MODEL</b>	<b>kWh/dk</b>	<b>kWh/saat</b>	<b>kWh/gün</b>	<b>kWh/ay</b>	<b>kWh/yıl</b>
ATV - 75	1,4	83,84	670,72	17.348,72	209.264,64
ATV - 75 VSD	1,41	84,31	674,48	17.536,48	210.437,76
ATV - 75 A	1,39	83,23	665,84	17.311,84	207.742,08
ATV - 75 A VSD	1,37	82,23	657,84	17.103,84	205.246,08
<b>MALİYET</b>					
<b>MODEL</b>	<b>TL/dk</b>	<b>TL/saat</b>	<b>TL/gün</b>	<b>TL/ay</b>	<b>TL/yıl</b>
ATV - 75	0,76	45,36	362,88	9.434,88	113.218,56
ATV - 75 VSD	0,76	45,68	365,47	9.502,27	114.027,26
ATV - 75 A	0,75	45,04	360,29	9.367,49	112.409,86
ATV - 75 A VSD	0,74	44,39	355,1	9.232,70	110.792,45

## 6.2. 250kW Vidalı Kompresörlerin Karşılaştırılması ( A, A VSD)

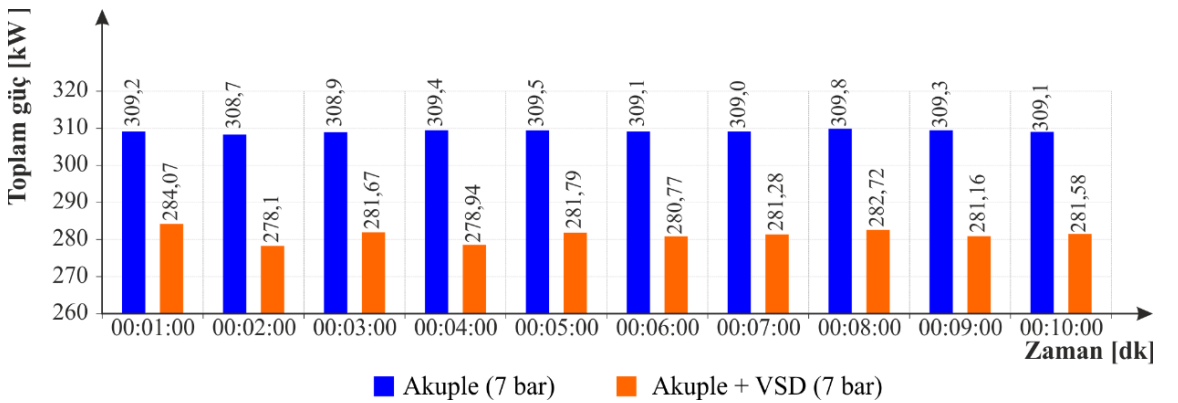
Şekil 6.4.'de görüldüğü gibi katalog değeri 52,4 m<sup>3</sup>/dk olan Akuple model vidalı kompresörde ölçüm değerleri arasında yaklaşık 5 – 7 m<sup>3</sup>/dk lık bir fark oluştuğu ve katalog değerinden daha yüksek hava debisine sahip olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, katalog değeri 49,7 m<sup>3</sup>/dk olan A VSD model vidalı kompresörün de 1 – 3

m<sup>3</sup>/dk kadar daha yüksek hava debilerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Burada Akuple model vidalı kompresörün hava debisinin A VSD model kompresörden çok daha fazla hava debisi elde edebilme potansiyeli gözlemlenmiştir.



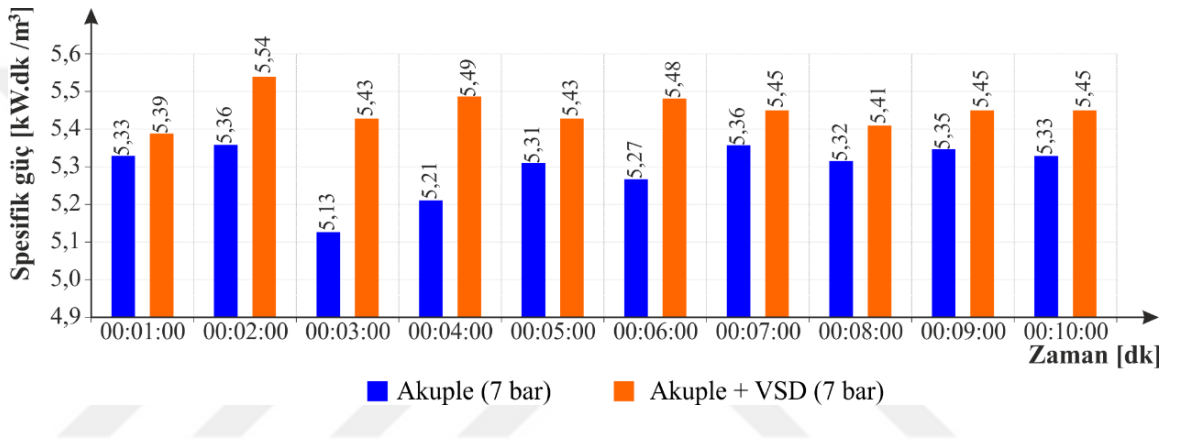
Şekil 6.4. 250kW 7 bar vidalı kompresörler için hava debisi ölçümleri sütun grafiği

Şekil 6.5’de katalog değeri 270,6 kW paket güce sahip akuple modelin analizör ile güç ölçümlerinde yaklaşık 40kW’ a kadar bir sapma gözlemlenmiştir. Bu durum, akuple modelin Toplam Güç/Hava debisi oranıtısı kıyaslandığında spesifik gücü negatif yönde etkileyecektir. Aynı şekilde 265,29 paket güce sahip A VSD model vidalı kompresörde yaklaşık olarak 25kW’ a kadar bir sapma ile spesifik güce negatif etkisi olacağı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak ise Akuple model vidalı kompresörün A VSD model vidalı kompresörden daha fazla güç tükettiği gözlemlenmiştir.



Şekil 6.5. 250kW 7 bar vidalı kompresörler için analizör ile güç ölçümleri sütun grafiği

Şekil 6.6.' da ölçümlerin yapıldığı sürelerde spesifik güç değerlerinde yüksek sapmalar olmasına rağmen akuple model vidalı kompresörün ortalama 5,29 spesifik güç ortalaması ile A VSD model vidalı kompresörden spesifik gücü (5,45 spesifik güç ortalaması) daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla akuple model kompresörün daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Bu noktada akuple ve A VSD model kompresörler aynı şartlar altında gerçekleştirilen testlerinde, aktarma şekli veya tahrik modelinin haricinde elektrik motoru ve vidalı bloğu performansının etkisi ortaya konmuştur. Yüksek güçlere sahip kompresörlerin vida blokları kompresör tiplerine özel olarak tasarlanırlar ve sınırlı sayıda ürün yelpazesine sahiptirler.



Şekil 6.6. 250kW 7 bar vidalı kompresörler için spesifik güç sütun grafiği

### 6.2.1. 250kW Vidalı Kompresörlerin Enerji Maliyet Analizi (A, A VSD)

250kW A ve A VSD model vidalı kompresörler bir işletmede günde 8 saat, aylık 26 gün ve senede 12 ay çalıştırıldığı düşünülerek maliyet analizi yapılmıştır. Sanayi için elektrik tüketim maliyeti 1 kWh = 0.54 TL hesaplanmıştır. Tablo 6.2.'de 8.739.993,60 m<sup>3</sup> yıllık basınçlı hava üretimi ile akuple model vidalı kompresör, 1.013.875,2 m<sup>3</sup> daha fazla basınçlı hava üretimi gerçekleştirmiştir. Bununla birlikte akuple model vidalı kompresör yıllık 771.763,20 kW elektrik tüketimi ile A VSD model vidalı kompresörden yıllık 69.868,03 kW daha fazla elektrik sarfiyatı bulunmaktadır.

Yıllık bazda elektrik maliyetinde 416.482,56 TL ile akuple model vidalı kompresör 37.200,38 TL A VSD model vidalı kompresöre göre fazla elektrik maliyeti

oluşturmuştur. Ancak birim enerji maliyetinde akuple model vidalı kompresör 5,29 spesifik gücü ile A VSD model vidalı kompresöre göre (5,45 spesifik güç) daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

250kW vidalı kompresör grubunda kompresörün verimlilikleri ve tasarruflarının öneminin yanı sıra kompresörlerin kurulacağı sistemin ne kadar basınçlı havaya ihtiyacının da önemli bir kıstas olduğu belirlenmiştir. Örneğin, bir işletmenin yıllık hava ihtiyacı ortalama 7.500.000 m<sup>3</sup> ise akuple model vidalı kompresör tercih edilerek A VSD modele göre alım maliyeti daha az olurken bununla birlikte akuple model vidalı kompresörün yıllık elektrik maliyetinin de işletme için daha fazla olacağı görülmektedir. Sistemin hava ihtiyacı ne kadar ise bu duruma karşılık kompresörün seçilmesinin daha uygun olduğu özellikle bu vidalı kompresör grubunda ön plana çıktığı görülmektedir.

**Tablo 6.2.** 250kW 7 bar vidalı kompresör maliyetleri

<b>HAVA DEBİSİ</b>					
<b>MODEL</b>	<b>m<sup>3</sup>/dk</b>	<b>m<sup>3</sup>/saat</b>	<b>m<sup>3</sup>/gün</b>	<b>m<sup>3</sup>/ay</b>	<b>m<sup>3</sup>/yıl</b>
ATV - 250 A	58,36	3501,6	28.012,80	728.332,80	8.739.993,60
ATV - 250 A VSD	51,59	3095,4	24.763,20	643.843,20	7.726.118,40
<b>TÜKETİLEN ENERJİ</b>					
<b>MODEL</b>	<b>kWh/dk</b>	<b>kWh/saat</b>	<b>kWh/gün</b>	<b>kWh/ay</b>	<b>kWh/yıl</b>
ATV - 250 A	5,15	309,2	2473,6	64.313,60	771.763,20
ATV - 250 A VSD	4,69	281,208	2249,664	58.491,26	701.495,17
<b>MALİYET</b>					
<b>MODEL</b>	<b>TL/dk</b>	<b>TL/saat</b>	<b>TL/gün</b>	<b>TL/ay</b>	<b>TL/yıl</b>
ATV - 250 A	2,78	166,86	1.334,88	34.706,88	416.482,56
ATV - 250 A VSD	2,53	151,96	1.215,65	31.606,85	379.282,18

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Otomasyon sistemlerinin endüstride yaygınlaşmasına paralel olarak, işletmelerde basınçlı havaya olan ihtiyaç günden güne artmış, kompresörler endüstrilerin en önemli kalemlerinden biri haline gelmiştir. Oluşan bu gereksinime paralel olarak, özellikle üretim yapan endüstri işletmeleri için satın alma süreçlerinin yanı sıra bu kompresörlerin enerji tüketimlerini de düşünerek hareket etmek göz ardı edilemez bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında Aydın Trafo kompresör fabrikası test bölümünde analizleri yapılacak vidalı kompresör tasarımlarının performans analizleri için; debimetre ile hava debisi ölçümleri ve güç analizörü ile paket gücü ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 75kW vidalı kompresörlerin analizinde A VSD model kompresörün akuple model vidalı kompresöre göre %4,51, KK model vidalı kompresöre göre % 6,95 KK VSD model vidalı kompresöre göre ise % 8,85 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.
- 250kW Akuple model vidalı kompresörün teknik detaylarında (Tablo ek 3.6.) hesaplanan hava debisi 52,4 m<sup>3</sup>/dk'dır. Hava debisi ölçümlerinde ise bu değer 58,36 m<sup>3</sup>/dk ortalama ile dakikada 5,96 m<sup>3</sup> daha fazla hava üretimi gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda teknik detaylarında 252,1 kW paket güce sahip olduğu belirtilirken, analizör ile güç ölçümlerinde 309,2 kW paket gücüne sahip olup 57,1 kW daha fazla elektrik tüketimi gerçekleştirmiştir.
- 250kW A VSD model vidalı kompresörün teknik detaylarında (tablo ek 4.6.) hesaplanan hava debisi 49,7 m<sup>3</sup>/dk'dır. Hava debisi ölçümlerinde ise bu değer 51,59 m<sup>3</sup>/dk ile dakikada 1,89 m<sup>3</sup> daha fazla hava üretimi gerçekleşmiştir. Aynı zamanda teknik detaylarında 247 kW paket güce sahip olduğu belirtilirken, analizör ile güç ölçümlerinde 281,208 kW paket güce sahip olup, 34,208 kW daha fazla elektrik tüketimi gerçekleşmiştir.

- 75kW vidalı kompresör modellerinin analizi yapılırken aktarım ve tahrik sistemleri farklı, diğer ekipmanları aynı model ve markada seçilerek aktarım ve tahrik sisteminin verimliliğe etkileri incelenmiştir. 250kW vidalı kompresör modellerinde ise aktarım şekilleri aynı tahrik tipi, elektrik motoru verimlilik sınıfı ve vida bloğu markası farklı seçilerek akuple vidalı kompresörün A VSD vidalı kompresörden %2,85 daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sadece tahrik sistemine bağlanamayacağı, buna ek olarak vida bloğunun ve elektrik motorunun verimliliğe katkısı olduğu açık bir şekilde gözlemlenmiştir.
- Bu çalışma ile literatüre, ülkemizde kompresör modellerinin karşılaştırılmasına yönelik özgün bir çalışma kazandırılmıştır. Özellikle sanayi tipi kompresörlerde tahrik sistemlerine ve kontrol algoritmalarına bağlı olarak deneysel verimlilik analizi açısından önemli bir Türkçe kaynak oluşturulmuştur.
- Basınçlı hava sistemlerinin daha verimli çalışabilmesi için endüstriyel işletmelerde hava debisi ihtiyacına göre en düşük güç tüketimi sağlayacak, sistemin vereceği tepkilere cevap verebilecek, sistemin yapısını öğrenebilecek yapıya sahip vidalı kompresörler üzerine çalışılarak basınçlı hava sistemlerinin enerji kayıpları ve sarfiyatları gibi sorunlarının giderilmesi gerekmektedir.
- Maliyet analizlerinde verimliliğin önemli bir kıstas olduğu tespit edilirken, basınçlı hava sisteminin kurulacağı işletmenin hava ihtiyaç düzeyinin de önemi belirlenmiştir. Ancak bununla birlikte inverterli tip kompresör modellerinin alım fiyatlarında önemli farklar bulunmaktadır. Farklı markalarda bu maliyet farklılıkları bulunmakla beraber verimli olarak belirlenen basınçlı hava sisteminin maliyeti ile verimlilik oranı dikkate alınarak ekonomik geri dönüş sürelerine önem verilmelidir.
- 250kW akuple model vidalı kompresör grubunda IE4 enerji sınıfı, A VSD model vidalı kompresörde ise IE3 enerji sınıfı elektrik motoru kullanılmasına karşılık aynı şartlar altında yıllık elektrik maliyetlerine etki eden tek bir etmen olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda vida bloğu marka-modeli ve tahrik tipinin de etkili olduğu ön görülmektedir.

Tez çalışmasının daha da geliştirilerek sektörde faaliyet gösteren işletmelere doğrudan faydalı olacak çıktılar üretilmesi için aşağıdaki öneriler getirilmiştir.

- ✓ Endüstriyel işletmelerin hava ihtiyacına ve sistemlerinin tepkilerine karşılık verecek vidalı kompresörler tasarlanarak işletmeye özel tasarlanan kompresör tipleri ile yüksek enerji tasarrufları sağlayan çalışmalar yapılabilir.
- ✓ Kompresör seçiminde tahrik motoru ve kontrolör uyumu simülasyon ve deneysel sonuçların karşılaştırılmasıyla desteklenerek işletme verilerini esas olarak uygun kompresör önerileri sunan yazılım geliştirilebilir.
- ✓ Kompresör verimlilik ölçümlerini sürekli yaparak uzaktan izleme yöntemi ile ilgili firmaları teknik olarak bilgilendiren ve değişim, revizyon ve/veya ilave ünite teklifleri yapabilen teknik servis sistemleri kurulmasına yönelik uygulamalar geliştirilebilir.

## KAYNAKÇA

- [1]. Yuan, Chris Y. Zhang, T. Rangarajan, A. Dornfeld, D. Ziemba, B. Whitbeck, Rod. "A decision-based analysis of compressed air usage patterns in automotive manufacturing." *Journal of Manufacturing Systems*. 2006, (Vol. 25/No. 4), 293-300.
- [2]. Pöyhönen, S. Ahonen, T. Saukka, J. "Variable-speed-drive-based soft sensor the twin-rotary screw-compressor output pressure." 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe), IEEE, 2017, DOI: 10.23919/EPE17ECCEurope.2017.8099331.
- [3]. Kaya, D. Phelan, P. Chau, D. Sarac, H. I. "Energy conversation in compressed-air systems." In. *J. Energy Res.* 2002, (Vol. 26), 837-849, DOI: 10.1002/er.823.
- [4]. Karatas, M. A. "Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basınçlı Hava Denetleme Çalışması." *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, Kasım/Aralık 2012, (Sayı 132).
- [5]. Mosavi, S. Kara, S. Konfeld, B. "Energy efficiency of compressed air systems." 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Science Direct Procedia CIRP 15, 2014, 313-318, DOI: 10.1016/j.procir.2014.06.026.
- [6]. Saidur, R. Rahim, N. A. Hasanuzzaman, M. "A review on compressed-air energy use and energy savings." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2010, 1135-1153, DOI: 10.1016/j.rser.2009.11.013.
- [7]. Jarvisalo, M. Ahonen, T. Ahola, J. Kosenen, A. Niemela, M. "Soft-sensor-based flow rate and specific energy estimation of industrial variable-speed-driven twin rotary screw compressor." *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 2016, (Vol. 63, 3282-3289).
- [8]. Pauwels, K. M. "Energy savings with variable speed drives." *CIRE2001*, 18-21 June 2001, (Conference Publication No. 482).



- [9]. Zhang, Y. CAI, M. Kong, D. “Overall energy efficiency of lubricant-injected rotary screw compressors and aftercoolers.” Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2009, DOI: 10.1109/APPEEC.2009.4918581.
- [10]. Wiratkasem, K. Pattana, S. Tippayawong, K. Y. Tippayawong, N. “Developing the high energy performance standards for oil-injected air-cooled screw air compressor for Thailand.” The 6th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE) Energy Reports 6, 2019, 617-621, DOI: 10.1016/j.egy.2019.11.128.
- [11]. Zaim, A., Aras, H., “Pnömatik Sistemlerde Enerji Verimliliği.” Mühendis ve Makine Dergisi, Mart 2020, Sayı 698, 34-45.
- [12]. Kıran, C., Kompresör Tasarımı ve Maliyet Analizi. Makine Mühendisliği Uygulamaları., Celal Bayar Üniversitesi., Manisa, 2015, 13s.
- [13]. Karakoç, T.H, Söğüt, Z., Üren, S., Çelik, C., Durmaz, Ş., Orhan, İ. Sanayide Enerji Ekonomisi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2012, 142-169.
- [14]. Lin, P. and Avelar, P. “The Different Types of Cooling Compressors.” A Journal of Different Technologies for Cooling Data Centres, 2017, (254), 1-12.
- [15]. Ersever, E., Vidalı Kompresörlerde Yeni Bir Ayrıştırma Sistemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, İstanbul 2008, 49, (Yüksek Lisans Tezi).
- [16]. Brown, R. N. Compressors: Selection and Sizing. Elsevier Inc, Oxford, 2005.
- [17]. Stewart, M. Dynamic Compressors. Surface Production Operations, 2019.
- [18]. Robison, D. H. and Beaty, P. J. Compressor Types, Classifications, and Applications. In Proceedings of the 21st Turbomachinery Symposium. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 1992.

- [19]. Zahed, A. H. and Bayomi, N. N. Design Procedure of Centrifugal Compressors. ISESCO Journal of Science and Technology, (10-17), 2014, 77-91.
- [20]. CAPT- Center for the Advancement of Process Tech. Process Technology Equipment 1st Edition. 2009.
- [21]. Johnson, M. Positive Displacement Compressors: Selecting the Correct Lubricant. Tribology & Lubrication Technology, December, 2008, 20-25.
- [22]. Thomas, C. E. Process Technology: Equipment and Systems 3rd Edition. DELMAR CENGAGE Learning, United State of America, 2011.
- [23]. Akman, S. Pistonlu Kompresörlerde Enerji Verimliliği ve İşletme Maliyetlerinin Düşürülmesi. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme, İstanbul, 2017, 31, (Yüksek Lisans Tezi).
- [24]. Cashflo Limited, Vidalı Kompresörlerin Tarihi, Çev. Erdoğan Tan, UK. 2005, [https://www.singlix.com/kompresor/vidali\\_kompresorler.pdf](https://www.singlix.com/kompresor/vidali_kompresorler.pdf)
- [25]. Stosic, N., Smith, I., Kovacevic, A., Mujic, E., 2011 Review of Mathematical Models in Performance Calculation of Screw Compressors. London, U.K.
- [26]. Alemdağ, P. Kompresörlerde Soğutma Sistemi Optimizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2019, 94 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [27]. Stosic, N., Smith, I. ve Kovacevic, A., 2005. Screw Compressors Mathematical Modelling and Performance Calculation. Springer-Verlag, Netherlands.
- [28]. Davidson, J. and Bertele, O., 1996. Process Fan and Compressor Selection. Antony Rowe Ltd, Wiltshire.

- [29]. Krichel, S. V. Sawodny, O. “Dynamic modelling of compressors illustrated by an oil-flooded twin helical screw compressor.” *Mechatronics* 21, (2001), 77-84, DOI: 10.1016/j.mechatronics.2010.08.004.
- [30]. Tan, E. Hava Kompresörleri Hakkında Genel Bilgiler, 2008, 9 s., [http://www.aktifkompresor.com/Hava\\_Kompresorleri.html](http://www.aktifkompresor.com/Hava_Kompresorleri.html)
- [31]. Waide, P and Brunner, C. U. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems, International Energy Agency Working Paper, 2011, 1-128.
- [32]. Chapman, S. J., *Electric Machinery Fundamentals*, 5th edition.(2012) New York, NY.: McGraw Hill.
- [33]. ST Life Augmented, An Introduction to Electric Motors, 2016, 1-68. PDF, [https://www.st.com/content/ccc/resource/sales\\_and\\_marketing/presentation/application\\_presentation/group0/23/a1/94/a3/39/cf/4c/37/introduction\\_to\\_electric\\_motors\\_pres.pdf/files/introduction\\_to\\_electric\\_motors\\_pres.pdf/jcr:content/translations/en.introduction\\_to\\_electric\\_motors\\_pres.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/sales_and_marketing/presentation/application_presentation/group0/23/a1/94/a3/39/cf/4c/37/introduction_to_electric_motors_pres.pdf/files/introduction_to_electric_motors_pres.pdf/jcr:content/translations/en.introduction_to_electric_motors_pres.pdf)
- [34]. Dorji, C. Review Of Electric Motor Drives, Royal University of Bhutan College of Science & Technology, 2012, 1-29.
- [35]. Bilgili, D. Modelling, Analysis and Experimental Validation of Vibration of Electric Motors, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimi ve Teknoloji, İstanbul, 2018, 103 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [36]. Büyük, S. Elektrik Motorlarında Enerji Verimliliği Mevzuatının Türkiye Pazarına Etkisinin Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2018, 89 s., (Yüksek Lisans Tezi).
- [37]. Bodur, A. “Elektrik Motorları (1) AC Motorlar ve Sürücüler”, TMMOB EMO No: EK/2010/2.

- [38]. Kurtkaya, O. 1600kW, 6300V Senkron Motor Uyartım Sisteminin PLC ile Gerçeklenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 53 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [39]. Bulgurcu, H. “Bölüm-8 Elektrik Motorları”, Aralık-2015, PDF, [http://deneysan.com/Content/images/documents/isel08\\_54344678.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/isel08_54344678.pdf)
- [40]. Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S. D. “Elektrik Makineleri” Ed: Sırrı Sunay Gürleyük, Palme Yayıncılık, Ankara, 2014, 688 s.
- [41]. Tümay, M. Endüksiyon Motorlara Yol Verme Yöntemi, Elektrik Mühendisliği, 437, 2009, 69-77.
- [42]. MEGEP, Elektrik Elektronik Teknolojisi Asenkron Motorlara Yol Verme, 2007, Ankara.
- [43]. Aydın, A. B. Asenkron Motorlar Ve Sürücüleri, Elektrik Mühendisliği Projesi I, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, 2014, 32 s.
- [44]. Hubert, C. L., “Electric Machines Theory, Operation, Applications, Adjustment, and Control. Columbus, Ohio: Prentice Hall.
- [45]. Yanmaz, H. Elektro Mekanik Kumanda Sistemleri, 2018, Ders Notları, [http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/hilmiyanmaz\\_23.10.2018\\_9V6H.pdf](http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/hilmiyanmaz_23.10.2018_9V6H.pdf)
- [46]. ABB, Üç fazlı asenkron motorlar Genel özellikler ve koruma cihazlarının koordinasyonunda ABB çözümleri, ABB Elektrik Sanayi, 2019, <https://library.e.abb.com/public/8915afde7b3e4b8db26e6678e170ba5a/QT7%20Uc%20fazli%20asenكرون%20motorlar%20genel%20ozellikler.pdf>
- [47]. Dalkın, A. Senkron Motorlar, 2012, 3. Sınıf Elektrik Tesisatçılığı Ders Notu, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/ahmet.dalkin/105436/ders%2012.pdf>

- [48]. Gülbahçe, M. O. Asenkron Motorun Yapısı, Elektrik Mühendisleri Odası,  
[http://www.emo.org.tr/ekler/3c5bc0fee59f146\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/3c5bc0fee59f146_ek.pdf)
- [49]. Kösoğlu, H., ASM Yol Verme Yöntemi, 2016,  
<http://www.huseyinkosoglu.com/wp-content/uploads/2016/01/ASM-Yolverme-Y%C3%B6ntemi.pdf>
- [50]. Mascarenhas, J. D. S. Chowdhury, H. Thirugnanasambandam, M. Chowdhury, T. Saidur, R. “Energy, exergy sustainability, and emission analysis of industrial air compressors.” *Journal of Cleaner Production* 231, (2019), 183-195, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.158.
- [51]. Abdelaziz, E.A., Saidur, R. and Mekhilef, S. “A Review on Energy Saving Strategies in Industrial Sector, Renewable and Sustainable Energy Reviews.”, 15, 2011, 150-168.
- [52]. Gillingham, K., Newell, R. G. and Palmer, K. “Energy Efficiency Economics and Policy.” *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 1(1), 2009, 597-620.
- [53]. Kaya, D., Yagmur, E. A., Yigit, K. S., Kilic, F. C., Eren, A. S. and Celik, C. “Energy Efficiency in Pumps. *Energy Conversion and Management*.”, 49(6), 2008, 662-1673.
- [54]. Esen, G. K. “Türkiye ve Dünyada Elektrik Motorları Enerji Tüketimi ve İlgili Teknik Mevzuat.”, Türk Standardları Enstitüsü, Müdürlüğü, Elektroteknik Laboratuvarı Gebze, 2015.
- [55]. Energy performance assessment of compressors.  
<https://beeindia.gov.in/sites/default/files/4Ch8.pdf>-(Erişim tarihi:10.06.2018).

## EKLER

### Ek-1. KK vidalı kompresör katalog verileri

Tablo Ek 1.1. 75kW KK 10 bar vidalı kompresör teknik detayları

	<b>Birim</b>	<b>10 Bar</b>
<b>Nominal Çalışma Basıncı</b>	bar	10
<b>Minimum Çalışma Basıncı</b>	bar	5
<b>Standart Çalışma Değerleri (Boşta /Yükte)</b>	bar	8,5/10
<b>Maksimum Debi</b>	m <sup>3</sup> /min	10,41
<b>Maksimum Kapasitedeki Şaft Gücü</b>	kW	75,65
<b>Ortam Sıcaklığı</b>	°C	0 - 45
<b>Nominal Ana Motor Gücü</b>	kW	79,2
<b>Nominal Fan Motor Gücü</b>	kW	2,2
<b>Toplam Giriş Gücü-Maksimum Yükte (Fan Dahil)</b>	kW	82,08
<b>Özgül Güç Tüketimi (Toplam Giriş)</b>	kW/m <sup>3</sup> /h	7,89
<b>Çıkışta Havada Taşınan Yağ Miktarı</b>	mg/m <sup>3</sup>	2.Nis
<b>Ses Seviyesi (ISO 2151 standartına göre)</b>	dB(A)	76
<b>Çıkış Bağlantı Çapı</b>	Inch	2"
<b>Çıkış Hava Sıcaklığı</b>	°C	Ortam Sıcaklığı +(10-12 °C)
<b>Kabin Ölçüleri (E x B x Y)</b>	mm	1165x1670x1800
<b>Ağırlık(Net)</b>	kg	1560

## Ek-1 (devam) KK vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 1.2.** 75kW KK 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri

	<b>Birim</b>	
<b>Marka</b>		Eu Comp
<b>Menşei</b>		Almanya
<b>Tip</b>		EU 55
<b>Yağlama Çeşidi</b>		Yağ Enjekteli
<b>Vida Devri</b>	rpm	3000

**Tablo Ek 1.3.** 75kW KK 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri

	<b>Birim</b>	
<b>Enerji Sınıfı/Koruma Sınıfı</b>		<b>IE3-280L - B35 - IP55</b>
<b>Üretici</b>		WAT
<b>Nominal Çıkış Gücü</b>	kW	75
<b>Nominal Akım</b>	A	124,9
<b>Nominal Voltaj</b>	V	400
<b>Nominal Frekans</b>	Hz	50
<b>Servis Faktörü</b>		1,15
<b>Ana Motor Devri</b>	rpm	2975
<b>Yalıtım Sınıfı</b>		F
<b>Motor Verimliliği</b>	%	94,7

## Ek-1 (devam) KK vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 1.4.** 75kW KK 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri

	<b>Birim</b>	
<b>Marka</b>		Rotoil
<b>Yağ Cinsi</b>	S	Rotoil MF1
<b>Yağ Miktarı</b>	lt	35
<b>Yağ debisi</b>	l/min	191
<b>Yağ Çalışma Sıcaklığı</b>	°C	75 - 105
<b>Maksimum Yağ Sıcaklığı</b>	°C	115

**Tablo Ek 1.5.** 75kW KK 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri

	<b>Birim</b>	
<b>Fan Tipi</b>		<b>Aksiyel</b>
<b>Radyatör Tipi</b>		<b>Hava-Yağ Soğutucu Radyatör</b>
<b>Soğutma Hava Debisi (40°C'de)</b>	m <sup>3</sup> /h	12650
<b>Soğutma Kapasitesi</b>	kcal/h	58190
<b>Nominal Fan Motor Çıkışı</b>	kW	2,2
<b>Nominal Fan Motor Akımı</b>	A	5,4
<b>Fan Motor Devri</b>	rpm	1440



**Ek-1 (devam) KK vidalı kompresör ölçüm verileri**

**Tablo Ek 1.6.** 75kW KK 10 bar vidalı kompresör hava debisi ölçüm sonuçları

ZAMAN ( <i>dk</i> )	BASINÇ ( <i>bar</i> )	HAVA DEBİSİ ( $m^3/dk$ )
00:01:00	10	9,26
00:02:00	10	9,23
00:03:00	10	9,35
00:04:00	10	9,65
00:05:00	10	9,56
00:06:00	10	9,37
00:07:00	10	9,43
00:08:00	10	9,62
00:09:00	10	9,89
00:10:00	10	9,76

**Tablo Ek 1.7.** 75kW KK 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları

ZAMAN ( <i>dk</i> )	BASINÇ ( <i>bar</i> )	TOPLAM GÜÇ ( <i>kW</i> )	SPESİFİK GÜÇ ( $kW/m^3/dk$ )
00:01:00	10	83	8,96
00:02:00	10	82,5	8,93
00:03:00	10	83,5	8,93
00:04:00	10	83,6	8,66
00:05:00	10	84	8,78
00:06:00	10	84,5	9,01
00:07:00	10	85,6	9,07
00:08:00	10	83,9	8,72
00:09:00	10	83,5	8,44
00:10:00	10	84,3	8,63

## Ek-2 KK VSD vidalı kompresör katalog verileri

Tablo Ek 2.1. 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör teknik detayları

	Birim	75kW KK VSD 10 Bar
Nominal Çalışma Basıncı	bar	10
Minimum Çalışma Basıncı	bar	5
Standart Çalışma Değerleri (Boşta /Yükte)	bar	7 / 8
Maksimum Debi	m <sup>3</sup> /min	10,41
Maksimum Kapasitedeki Şaft Gücü	kW	75,65
Ortam Sıcaklığı	°C	0 - 45
Nominal Ana Motor Gücü	kW	79,2
Nominal Fan Motor Gücü	kW	2,2
Toplam Giriş Gücü-Maksimum Yükte (Fan Dahil)	kW	82,08
Özgül Güç Tüketimi (Toplam Giriş)	kW/m <sup>3</sup> /min	7,89
Çıkışta Havada Taşınan Yağ Miktarı	mg/m <sup>3</sup>	2 - 4
Ses Seviyesi (ISO 2151 standartına göre)	dB(A)	76
Çıkış Bağlantı Çapı	Inch	2"
Çıkış Hava Sıcaklığı	°C	Ortam Sıcaklığı + (10-12 °C)
Kabin Ölçüleri (E x B x Y)	mm	1165x11885x1800
Ağırlık(Net)	kg	1650

## Ek-2 (devam) KK VSD vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 2.2.** 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>75kW KK VSD 10 Bar</b>
<b>Marka</b>		Eu Comp
<b>Menşei</b>		Almanya
<b>Tip</b>		Eu 55
<b>Yağlama Çeşidi</b>		Yağ Enjekteli
<b>Vida Devri</b>	rpm	3338

**Tablo Ek 2.3.** 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>75kW KK VSD 10 Bar</b>
<b>Enerji Sınıfı/Koruma Sınıfı</b>		<b>IE3-280M-B35- IP55</b>
<b>Üretici</b>		WAT
<b>Nominal Çıkış Gücü</b>	kW	75
<b>Nominal Akım</b>	A	124,9
<b>Nominal Voltaj</b>	V	400
<b>Nominal Frekans</b>	Hz	50
<b>Servis Faktörü</b>		1,15
<b>Ana Motor Devri</b>	rpm	2975
<b>Yalıtım Sınıfı</b>		F
<b>Motor Verimliliği</b>	%	94,7

## Ek-2 (devam) KK VSD vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 2.4.** 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri

	<b>Birim</b>	<b>75kW KK VSD 10 Bar</b>
<b>Marka</b>		Rotoil
<b>Yağ Cinsi</b>	S	Rotoil MF1
<b>Yağ Miktarı</b>	lt	35
<b>Yağ debisi</b>	l/min	156
<b>Yağ Çalışma Sıcaklığı</b>	°C	75 - 105
<b>Maksimum Yağ Sıcaklığı</b>	°C	115

**Tablo Ek 2.5.** 75kW KK VSD 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri

	<b>Birim</b>	<b>75kW KK VSD 10 Bar</b>
<b>Fan Tipi</b>		<b>Aksiyel</b>
<b>Radyatör Tipi</b>		<b>Hava-Yağ Soğutucu Radyatör</b>
<b>Soğutma Havası Debisi (40°C'de)</b>	m <sup>3</sup> /h	12650
<b>Soğutma Kapasitesi</b>	kcal/h	58190
<b>Nominal Fan Motor Çıkışı</b>	kW	2,2
<b>Nominal Fan Motor Akımı</b>	A	5,4
<b>Fan Motor Devri</b>	rpm	1440

**Ek-2 (devam) KK VSD vidalı kompresör ölçüm verileri**

**Tablo Ek 2.6. 75kW KK VSD 10 bar ölçüm sonuçları**

ZAMAN (dk)	75kW KK VSD 10 bar HAVA DEBİSİ ( $m^3/dk$ )
00:01:00	10,2
00:02:00	10,23
00:03:00	10,21
00:04:00	10,27
00:05:00	10,16
00:06:00	10,23
00:07:00	10,28
00:08:00	10,21
00:09:00	10,13
00:10:00	10,16

**Tablo Ek 2.7. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları**

ZAMAN (dk)	TOPLAM GÜÇ (kW)	SPESİFİK GÜÇ ( $kW/m^3/dk$ )
00:01:00	82,5	8,04
00:02:00	82,3	8
00:03:00	82,9	8,14
00:04:00	82,6	8,07
00:05:00	82,3	8,1
00:06:00	82,5	8,08
00:07:00	81,9	7,99
00:08:00	81,6	7,99
00:09:00	82	7,97
00:10:00	81,7	7,96

### Ek-3 Akuple (A) vidalı kompresör katalog verileri

Tablo Ek 3.1. 75kW A 10 bar vidalı kompresör teknik detayları

	Birim	75kW 10 Bar Akuple
Nominal Çalışma Basıncı	bar	10
Minimum Çalışma Basıncı	bar	5
Standart Çalışma Değerleri (Boşta /Yükte)	bar	8,5 / 10
Maksimum Debi	m <sup>3</sup> /min	10,32
Maksimum Kapasitedeki Şaft Gücü	kW	74,96
Ortam Sıcaklığı	°C	0 - 45
Nominal Ana Motor Gücü	kW	79
Nominal Fan Motor Gücü	kW	2,2
Toplam Giriş Gücü-Maksimum Yükte (Fan Dahil)	kW	81,19
Özgül Güç Tüketimi (Toplam Giriş)	kW/m <sup>3</sup> /h	7,87
Çıkışta Havada Taşınan Yağ Miktarı	mg/m <sup>3</sup>	2 - 4
Ses Seviyesi (ISO 2151 standartına göre)	dB(A)	76
Çıkış Bağlantı Çapı	Inch	2"
Çıkış Hava Sıcaklığı	°C	Ortam Sıcaklığı + (10-12 °C)
Kabin Ölçüleri (E x B x Y)	mm	1300x2200x1797

### Ek-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 3.2.** 75kW A 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>75kW 10 Bar Akuple</b>
<b>Marka</b>		EU Comp
<b>Menşei</b>		Almanya
<b>Tip</b>		EU 55
<b>Yağlama Çeşidi</b>		Yağ Enjekteli
<b>Vida Devri</b>	rpm	2975

**Tablo Ek 3.3.** 75kW A 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>75kW 10 Bar Akuple</b>
<b>Enerji Sınıfı/Koruma Sınıfı</b>		<b>IE3-250S/M-B35-IP55</b>
<b>Üretici</b>		WEG
<b>Nominal Çıkış Gücü</b>	kW	75
<b>Nominal Akım</b>	A	130
<b>Nominal Voltaj</b>	V	400
<b>Nominal Frekans</b>	Hz	50
<b>Servis Faktörü</b>		1,15
<b>Ana Motor Devri</b>	rpm	2975

### EK-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 3.4.** 75kW A 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri

	<b>Birim</b>	<b>75kW 10 Bar Akuple</b>
<b>Marka</b>		Rotoil
<b>Yağ Cinsi</b>	S	Rotoil MF1
<b>Yağ Miktarı</b>	lt	35
<b>Yağ debisi</b>	l/min	263,77
<b>Yağ Çalışma Sıcaklığı</b>	°C	75-105
<b>Maksimum Yağ Sıcaklığı</b>	°C	115

**Tablo Ek 3.5.** 75kW A 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri

	<b>Birim</b>	<b>75kW 10 Bar Akuple</b>
<b>Fan Tipi</b>		<b>Radyal</b>
<b>Radyatör Tipi</b>		<b>Hava-Yağ Soğutucu Radyatör</b>
<b>Soğutma Hava Debisi (40°C'de)</b>	m <sup>3</sup> /h	12650
<b>Soğutma Kapasitesi</b>	kcal/h	58190
<b>Nominal Fan Motor Çıkışı</b>	kW	2,2
<b>Nominal Fan Motor Akımı</b>	A	5,4
<b>Fan Motor Devri</b>	rpm	1440



**EK-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör katalog verileri****Tablo Ek 3.6. 250kW A 7 bar vidalı kompresör teknik detayları**

	<b>Birim</b>	<b>250kW 7 Bar Akuple</b>
<b>Nominal Çalışma Basıncı</b>	bar	7,5
<b>Minimum Çalışma Basıncı</b>	bar	5
<b>Standart Çalışma Değerleri (Boşta /Yükte)</b>	bar	7 / 7,5
<b>Maksimum Debi</b>	m <sup>3</sup> /min	52,4
<b>Maksimum Kapasitedeki Şaft Gücü</b>	kW	252,1
<b>Ortam Sıcaklığı</b>	°C	0 - 45
<b>Nominal Ana Motor Gücü</b>	kW	250
<b>Nominal Fan Motor Gücü</b>	kW	8
<b>Toplam Giriş Gücü-Maksimum Yükte (Fan Dahil)</b>	kW	270,6
<b>Özgül Güç Tüketimi (Toplam Giriş)</b>	kW/m <sup>3</sup> /h	5,16
<b>Çıkışta Havada Taşınan Yağ Miktarı</b>	mg/m <sup>3</sup>	2 - 4
<b>Ses Seviyesi (ISO 2151 standartına göre)</b>	dB(A)	85
<b>Çıkış Bağlantı Çapı</b>	Inch	3"
<b>Çıkış Hava Sıcaklığı</b>	°C	Ortam Sıcaklığı + (10-12 °C)
<b>Kabin Ölçüleri (E x B x Y)</b>	mm	1980x4000x2640

### EK-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 3.7.** 250kW A 7 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>250kW 7 Bar Akuple</b>
<b>Marka</b>		Hanbell
<b>Menşei</b>		Çin
<b>Tip</b>		AB 5600 B3
<b>Yağlama Çeşidi</b>		Yağ Enjekteli
<b>Vida Devri</b>	rpm	1489

**Tablo Ek 3.8.** 250kW A 7 bar vidalı kompresör ana motor grubu bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>250kW 7 Bar Akuple</b>
<b>Enerji Sınıfı/Koruma Sınıfı</b>		<b>IE3</b>
<b>Üretici</b>		ABB
<b>Nominal Çıkış Gücü</b>	kW	250
<b>Nominal Akım</b>	A	445
<b>Nominal Voltaj</b>	V	400
<b>Nominal Frekans</b>	Hz	50
<b>Servis Faktörü</b>		1,15
<b>Ana Motor Devri</b>	rpm	1489
<b>Yalıtım Sınıfı</b>		F
<b>Motor Verimliliği</b>	%	96,5

### EK-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör katalog verileri

Tablo Ek 3.9. 250kW A 7 bar vidalı kompresör yağ özellikleri

	Birim	250kW 7 Bar Akuple
<b>Marka</b>		Shell
<b>Yağ Cinsi</b>	S	Corena S3R46
<b>Yağ Miktarı</b>	lt	120
<b>Yağ debisi</b>	l/min	181,8
<b>Yağ Çalışma Sıcaklığı</b>	°C	75 - 105
<b>Maksimum Yağ Sıcaklığı</b>	°C	115

Tablo Ek 3.10. 250kW A 7 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri

	Birim	250kW 7 Bar Akuple
<b>Fan Tipi</b>		<b>Radyal</b>
<b>Radyatör Tipi</b>		<b>Hava-Yağ Soğutucu</b>
<b>Soğutma Hava Debisi (40°C'de)</b>	m <sup>3</sup> /h	2x20400
<b>Soğutma Kapasitesi</b>	kcal/h	187680
<b>Nominal Fan Motor Çıkışı</b>	kW	2x4
<b>Nominal Fan Motor Akımı</b>	A	2x8,67
<b>Fan Motor Devri</b>	rpm	1432

### EK-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör ölçüm verileri

**Tablo Ek 3.11.** 75kW A 10 bar hava debisi ölçüm sonuçları

<b>ZAMAN (dk)</b>	<b>75kW 10 Bar Akuple HAVA DEBİSİ ( m<sup>3</sup>/dk )</b>
00:01:00	9,88
00:02:00	9,62
00:03:00	10,13
00:04:00	10,19
00:05:00	9,95
00:06:00	10,05
00:07:00	9,93
00:08:00	9,85
00:09:00	10,06
00:10:00	10,15

**Tablo Ek 3.12.** 250kW A 7 bar vidalı kompresör hava debisi ölçüm sonuçları

<b>ZAMAN (dk)</b>	<b>250kW 7 Bar Akuple HAVA DEBİSİ ( m<sup>3</sup>/dk )</b>
00:01:00	58
00:02:00	57,6
00:03:00	60,2
00:04:00	59,4
00:05:00	58,3
00:06:00	58,7
00:07:00	57,6
00:08:00	58
00:09:00	57,8
00:10:00	58

### EK-3 (devam) Akuple (A) vidalı kompresör ölçüm verileri

**Tablo Ek 3.13.** 75kW A 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları

ZAMAN (dk)	TOPLAM GÜÇ (kW)	SPESİFİK GÜÇ ( $kW/m^3/dk$ )
00:01:00	82,9	8,39
00:02:00	83,5	8,67
00:03:00	83,4	8,23
00:04:00	82,6	8,1
00:05:00	83,5	8,39
00:06:00	83,8	8,33
00:07:00	82,6	8,31
00:08:00	83,4	8,46
00:09:00	82,8	8,23
00:10:00	83,8	8,25

**Tablo Ek 3.14.** 250kW A 7 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları

ZAMAN (dk)	TOPLAM GÜÇ (kW)	SPESİFİK GÜÇ ( $kW/m^3/dk$ )
00:01:00	309,2	5,33
00:02:00	308,7	5,36
00:03:00	308,9	5,13
00:04:00	309,4	5,21
00:05:00	309,5	5,31
00:06:00	309,1	5,27
00:07:00	309	5,36
00:08:00	309,8	5,32
00:09:00	309,3	5,35
00:10:00	309,1	5,33

## EK-4 Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 4.1.** 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör teknik detayları

	<b>Birim</b>	<b>75kW A VSD 10 Bar</b>
<b>Nominal Çalışma Basıncı</b>	bar	10
<b>Minimum Çalışma Basıncı</b>	bar	5
<b>Standart Çalışma Değerleri (Boşta /Yükte)</b>	bar	8,5 / 10
<b>Maksimum Debi</b>	m <sup>3</sup> /min	10,32
<b>Maksimum Kapasitedeki Şaft Gücü</b>	kW	75
<b>Ortam Sıcaklığı</b>	°C	0 - 45
<b>Nominal Ana Motor Gücü</b>	kW	79
<b>Nominal Fan Motor Gücü</b>	kW	2,2
<b>Toplam Giriş Gücü-Maksimum Yükte (Fan Dahil)</b>	kW	81,4
<b>Özgül Güç Tüketimi (Toplam Giriş)</b>	kW/m <sup>3</sup> /min	7,89
<b>Çıkışta Havada Taşınan Yağ Miktarı</b>	mg/m <sup>3</sup>	2 - 4
<b>Ses Seviyesi (ISO 2151 standartına göre)</b>	dB(A)	76
<b>Çıkış Bağlantı Çapı</b>	Inch	2"
<b>Çıkış Hava Sıcaklığı</b>	°C	Ortam Sıcaklığı + (10-12 °C)
<b>Kabin Ölçüleri (E x B x Y)</b>	mm	1300x2200x1775
<b>Ağırlık(Net)</b>	kg	1900

#### Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör katalog verileri

Tablo Ek 4.2. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri

	Birim	75kW A VSD 10 Bar
Marka		Eu Comp
Menşei		Almanya
Tip		Eu 55
Yağlama Çeşidi		Yağ Enjekteli
Vida Devri	rpm	2977

Tablo Ek 4.3. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri

	Birim	75kW A VSD 10 Bar
Enerji Sınıfı/Koruma Sınıfı		IE3-250S/M-B35-IP55
Üretici		WEG
Nominal Çıkış Gücü	kW	75
Nominal Akım	A	130
Nominal Voltaj	V	400
Nominal Frekans	Hz	50
Servis Faktörü		1,15
Ana Motor Devri	rpm	2975
Yalıtım Sınıfı		F
Motor Verimliliği	%	94,9

**Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör katalog verileri**

**Tablo Ek 4.4. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör yağ özellikleri**

	<b>Birim</b>	<b>75kW A VSD 10 Bar</b>
<b>Marka</b>		Rotoil
<b>Yağ Cinsi</b>	S	Rotoil MF1
<b>Yağ Miktarı</b>	lt	35
<b>Yağ debisi</b>	l/min	178,91
<b>Yağ Çalışma Sıcaklığı</b>	°C	75 - 105
<b>Maksimum Yağ Sıcaklığı</b>	°C	115

**Tablo Ek 4.5. 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri**

	<b>Birim</b>	<b>75kW A VSD 10 Bar</b>
<b>Fan Tipi</b>		<b>Radyal</b>
<b>Radyatör Tipi</b>		<b>Hava-Yağ Soğutucu Radyatör</b>
<b>Soğutma Havası Debisi (40°C'de)</b>	m <sup>3</sup> /h	12650
<b>Soğutma Kapasitesi</b>	kcal/h	58190
<b>Nominal Fan Motor Çıkışı</b>	kW	2,2
<b>Nominal Fan Motor Akımı</b>	A	5,4
<b>Fan Motor Devri</b>	rpm	1440



**Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör katalog verileri****Tablo Ek 4.6. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör teknik detayları**

	<b>Birim</b>	<b>250kW A VSD 7 Bar</b>
<b>Nominal Çalışma Basıncı</b>	bar	7
<b>Minimum Çalışma Basıncı</b>	bar	5
<b>Standart Çalışma Değerleri (Boşta /Yükte)</b>	bar	7
<b>Maksimum Debi</b>	m <sup>3</sup> /min	49,7
<b>Maksimum Kapasitedeki Şaft Gücü</b>	kW	247
<b>Ortam Sıcaklığı</b>	°C	0 - 45
<b>Nominal Ana Motor Gücü</b>	kW	260
<b>Nominal Fan Motor Gücü</b>	kW	2x4
<b>Toplam Giriş Gücü-Maksimum Yükte (Fan Dahil)</b>	kW	265,29
<b>Özgül Güç Tüketimi (Toplam Giriş)</b>	kW/m <sup>3</sup> /min	5,34
<b>Çıkışta Havada Taşınan Yağ Miktarı</b>	mg/m <sup>3</sup>	2 - 4
<b>Ses Seviyesi (ISO 2151 standartına göre)</b>	dB(A)	85
<b>Çıkış Bağlantı Çapı</b>	Inch	3"
<b>Çıkış Hava Sıcaklığı</b>	°C	Ortam Sıcaklığı + (10-12 °C)
<b>Kabin Ölçüleri (E x B x Y)</b>	mm	1980x4000x2740
<b>Ağırlık(Net)</b>	kg	8300

#### Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör katalog verileri

**Tablo Ek 4.7.** 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör vida grubu bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>250kW A VSD 7 Bar</b>
<b>Marka</b>		ACI
<b>Menşei</b>		Çin
<b>Tip</b>		GE545IV
<b>Yağlama Çeşidi</b>		Yağ Enjekteli
<b>Vida Devri</b>	rpm	1490

**Tablo Ek 4.8.** 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör ana motor bilgileri

	<b>Birim</b>	<b>250kW A VSD 7 Bar</b>
<b>Enerji Sınıfı/Koruma Sınıfı</b>		<b>IE3-350S-B35-IP55</b>
<b>Üretici</b>		ABB
<b>Nominal Çıkış Gücü</b>	kW	250
<b>Nominal Akım</b>	A	436
<b>Nominal Voltaj</b>	V	400
<b>Nominal Frekans</b>	Hz	50
<b>Servis Faktörü</b>		1,15
<b>Ana Motor Devri</b>	rpm	1490
<b>Yalıtım Sınıfı</b>		F
<b>Motor Verimliliği</b>	%	95,8

#### Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör katalog verileri

Tablo Ek 4.9. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör yağ özellikleri

	Birim	250kW A VSD 7 Bar
Marka		Shell
Yağ Cinsi	S	Corena S3R46
Yağ Miktarı	lt	120
Yağ debisi	l/min	181,8
Yağ Çalışma Sıcaklığı	°C	75 - 105
Maksimum Yağ Sıcaklığı	°C	115

Tablo Ek 4.10. 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör soğutma özellikleri

	Birim	250kW A VSD 7 Bar
Fan Tipi		Radyal
Radyatör Tipi		Hava-Yağ Soğutucu Radyatör
Soğutma Havası Debisi (40°C'de)	m <sup>3</sup> /h	2x20400
Soğutma Kapasitesi	kcal/h	187680
Nominal Fan Motor Çıkışı	kW	2x4
Nominal Fan Motor Akımı	A	2x8,7
Fan Motor Devri	rpm	1450

**Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör ölçüm verileri**

**Tablo Ek 4.11.** 75kW A VSD 10 bar ve debi ölçüm sonuçları

<b>ZAMAN (dk)</b>	<b>75kW A VSD 10 Bar HAVA DEBİSİ (<math>m^3/dk</math>)</b>
00:01:00	10,25
00:02:00	10,28
00:03:00	10,18
00:04:00	10,23
00:05:00	10,15
00:06:00	10,2
00:07:00	10,24
00:08:00	10,21
00:09:00	10,28
00:10:00	10,26

**Tablo Ek 4.12.** 250kW A VSD 7 bar debi ölçüm sonuçları

<b>ZAMAN (dk)</b>	<b>250kW A VSD 7 Bar HAVA DEBİSİ (<math>m^3/dk</math>)</b>
00:01:00	52,7
00:02:00	50,2
00:03:00	51,9
00:04:00	50,8
00:05:00	51,9
00:06:00	51,2
00:07:00	51,6
00:08:00	52,3
00:09:00	51,6
00:10:00	51,7

**Ek-4 (devam) Akuple inverterli (A VSD) vidalı kompresör ölçüm verileri**

**Tablo Ek 4.13.** 75kW A VSD 10 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları

ZAMAN (dk)	TOPLAM GÜÇ (kW)	SPESİFİK GÜÇ ( kW/m <sup>3</sup> /dk )
00:01:00	82,5	8,04
00:02:00	82,3	8
00:03:00	82,9	8,14
00:04:00	82,6	8,07
00:05:00	82,3	8,1
00:06:00	82,5	8,08
00:07:00	81,9	7,99
00:08:00	81,6	7,99
00:09:00	82	7,97
00:10:00	81,7	7,96

**Tablo Ek 4.14.** 250kW A VSD 7 bar vidalı kompresör analizör ile güç ölçüm sonuçları

ZAMAN (dk)	TOPLAM GÜÇ (kW)	SPESİFİK GÜÇ ( kW/m <sup>3</sup> /dk )
00:01:00	284,07	5,39
00:02:00	278,1	5,54
00:03:00	281,67	5,43
00:04:00	278,94	5,49
00:05:00	281,79	5,43
00:06:00	280,77	5,48
00:07:00	281,28	5,45
00:08:00	282,72	5,41
00:09:00	281,16	5,45
00:10:00	281,58	5,45

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serhat EKER  
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1996  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : [serhat\\_eker1996@hotmail.com](mailto:serhat_eker1996@hotmail.com)

### Eğitim Durumu

Lise : Gaziemir Nevvar Salih İşgören Anadolu Lisesi, 2014  
Lisans : Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, 2018  
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2020

### Mesleki Deneyim

Aydın Trafo Kompresör Mak. San. Tic. Ltd. Şti. 04/2019 – 04/2020