

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**OTOMOTİV TESİSİNDEKİ BASINÇLI HAVA
KOMPRESÖRLERİNDE OTOMASYON İLE ENERJİ TASARRUFU
UYGULAMASI**

HAZIRLAYAN

ÖMER ÖZGÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA-2023

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**OTOMOTİV TESİSİNDEKİ BASINÇLI HAVA
KOMPRESÖRLERİNDE OTOMASYON İLE ENERJİ TASARRUFU
UYGULAMASI**

HAZIRLAYAN

ÖMER ÖZGÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK

ANKARA-2023

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı Elektrik Elektronik Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Ömer Özgür tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 21/08/2023

Tez Adı: OTOMOTİV TESİSİNDEKİ BASINÇLI HAVA KOMPRESÖRLERİNDE OTOMASYON İLE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)	İmza
Başkan : Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK – Başkent Üniversitesi (Danışman)	
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bülent İRFANOĞLU – Başkent Üniversitesi	
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Amir NOBAHAR - Atılım Üniversitesi	

ONAY

Prof.Dr Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

....../....../2023

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih : 21/08/2023

Öğrencinin Adı, SOYADI : Ömer ÖZGÜR
Öğrencinin Numarası : 22220380
Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
Programı : TEZLİ YÜKSEK LİSANS
Danışman Unvanı /Adı Soyadı : Prof. Dr Sedat NAZLIBİLEK
Tez Başlığı : Otomotiv Tesisindeki Basınçlı Hava Kompresörlerinde Otomasyon
İle Enerji Tasarrufu Uygulaması

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan toplam 43 sayfalık kısmına ilişkin 21/08/2023 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %10 'dur. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası :

ONAY

Tarih : 21/08/2023

Öğrenci Danışmanı

Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen ve çalışmanın danışmanlığını yapan değerli hocam Prof. Dr. Sedat NAZLIBİLEK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Basınçlı hava kompresörlerinin etkili kullanımıyla birlikte, enerji verimliliği algısını endüstriyel sektörde geliştirmeye yönelik çalışmamın uygulanmasında katkıda bulunan Türk Traktör Ankara Fabrikası'na ve değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, enerji tüketimini azaltma konusundaki bu önemli fırsatı öz kaynaklarımızı kullanarak değerlendirmemize imkân tanıyan yöneticilerimize de özel bir teşekkür borçluyum.

ÖMER ÖZGÖR
ANKARA-2023

ÖZET

Ömer ÖZGÜR

OTOMOTİV TESİSİNDEKİ BASINÇLI HAVA KOMPRESÖRLERİNDE OTOMASYON İLE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

2023

Dünya nüfusunun artışı, çalışma düzeyindeki insan gelişimi ve endüstriyel faaliyetlerdeki ilerlemeler, enerji kullanımını düzenleme ve azaltma çabalarını başlatmıştır, bu çerçevede faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Bu araştırma, otomotiv üretim tesislerinde enerji tasarrufu sağlamayı ve enerji verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, Türk Traktör fabrikasının Ankara'daki tesisi üzerinde ölçümler ve incelemeler gerçekleştirilmiş, basınçlı hava kompresörlerinin işleyişi detaylı bir şekilde incelenip analiz edilmiş ve bu kapsamda kompresörlerin enerji tasarrufunu optimize edecek bir otomasyon sistemi tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında uygulanan metodoloji: Basınçlı hava sistemi bileşenlerinin ve yapılandırmasının tanımlanması; işletme tarafından yapılan incelemelerin değerlendirilmesi, projenin kapsamının belirlenmesi; işletmeye özel sistem tasarımının geliştirilmesi, talep tarafının analizi ve hesaplamalarının yapılması gibi adımlar izlenmektedir.; sonuç ve önerilerin raporlanması ve uygulanan projenin tasarruf ekonomik analizi adımlarını içermektedir. Sistemdeki mevcut işleyiş sırasında yapılan incelemeler, enerji analizörü ve akış metre kullanılarak işletmedeki kompresörlerden veri toplandı ve her bir kompresörün özgün enerji tüketimi hesaplandı.

Öte yandan, işletmeye özgü tasarlanan otomasyon sistemi kompresörleri eş yaşlanmalı olarak çalışmasını sağlayarak bakım tasarrufu sağlamış ve tüm kritik verilerinin, arıza alarmlarının merkezi SCADA sistemine aktarımı sağlanarak işletme personellerinin periyodik kontrol zamanlarını azaltmıştır. Projenin uygulanması ile işletmenin yıllık enerji tüketiminde %8,3 oranında enerji tasarrufu ortaya çıktı gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Basınçlı hava kompresörleri, enerji verimliliği, otomotiv tesisi, enerji tasarruf önlemleri, otomasyon sistemleri.

ABSTRACT

Ömer ÖZGÜR

ENERGY SAVING PROJECT WITH AUTOMATION IN COMPRESS AIR COMPRESSORS IN AUTOMOTIVE FACILITY

Başkent University Institute of Science

Department of Electrical-Electronics Engineering

2023

The increase in the world population, the development of people's working level and industrial activities. Emerging developments have begun to engage in activities aimed at regulating and reducing energy use.

This study aims to save energy in compressed air compressors in automotive plant and aims to increase energy efficiency. In line with this study, measurements and examinations on the compressed air system of the Türk Tractor factory in Ankara, examining and analyzing the work of the compressed air compressors in the system, and in this context, an automation system design that will regulate the operation of the compressors and save energy has been revealed.

The methodology applied within the scope of the study: Compressed air system components and determining its configuration; conducting business-side reviews; the scope of the project to be implemented; company-specific system design; performing demand-side reviews and calculations; reporting of conclusions and recommendations; and the savings economic analysis steps of the implemented project. Investigations during the operation of the current state of the system; By using an energy analyzer and flow meter, data were collected from the compressors in the operation and the energy consumptions specific to the compressors were calculated.

On the other hand, the automation system compressors designed specifically for the enterprise have ensured maintenance savings by ensuring that they operate with equal aging and reduced the periodic control times of the operating personnel by transferring all critical data and fault alarms to the central SCADA system. With the implementation of the project, it has been observed that an energy saving of 8.3% has emerged in the annual energy consumption of the enterprise

KEYWORDS: Compressed air compressors, energy efficiency, automotive plant, energy saving measures, automation systems.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
SİMGELER VE KISLATMALAR LİSTESİ	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. BASINÇLI HAVADA ENERJİ TASARRUFU LİTARATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. BASINÇLI HAVA SİSTEMİ İLE İLGİLİ KRİTERLER	9
3.1 Kompresörler	10
3.1.1 Pozitif Deplasmanlı Kompresörler.....	11
3.1.1.1 Vidalı Kompresörler.....	11
3.1.1.2 Pistonlu Kompresörler	13
3.1.2 Dinamik Kompresörler	14
3.1.3 Kompresör Motorları.....	15
3.1.4 Kompresör Kontrol Metotları.....	17
3.1.4.1. On/off kontrol	18
3.1.4.2 Yükleme/boşta çalıştırma.....	18
3.1.4.3 Modülasyon	18
3.1.4.4 Değişken deplasman	19
3.1.4.5 Değişken hız sürücüsü (VSD)	19
3.2 Yardımcı Ekipmanlar	19
3.2.1 Hava Kurutucuları	19
3.2.2 Basınçlı Hava Filtreleri	20

3.2.3 Basınçlı Hava Tankları	22
3.2.4 Ayrıştırıcılar ve Kondensat Tahliyeleri.....	23
3.2.5 Debi Kontrolleri.....	24
3.2.6 Hava Dağıtım Sistemleri	25
4. OTOMOTİV ANA SANAYİ TESİSİ BASINÇLI HAVA SİSTEMİNDE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI.....	26
4.1 Ünite Sistem Tarifi.....	27
4.2 Kompresörler Ölçümleri.....	29
4.3 Optimizasyon Sistemi Tasarımı	31
4.4 Kontrolcü Sistemi Veri Ekranları Analizi.....	35
4.4.1 Kompresör Durum Ekranı	35
4.4.2 Enerji Analiz Ekranı	36
4.4.3 Kompresör Kullanımı Analiz Ekranı	37
4.4.4 Kompresör Üzerindeki Teknik Veri Analizi.....	38
4.4.5 Kompresörler Servis & Bakım Durumu Takip Ekranı	39
5. ENERJİ VERİMLİLİĞİ HESAPLAMALARI	40
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR.....	44
EKLER	
1. Enerji Analizörü Kalibrasyon Belgesi	
2. Akış metre Kalibrasyon Belgesi	

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Mevcut Kompresörlerin Katolog Bilgileri.....	28



ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1 Basınçlı hava sistemi temel görünümü ve elemanları	10
Şekil 2 Basınçlı hava sistemi temel görünümü ve elemanları	10
Şekil 3 Vida Bloğu Yapısı (Anonim,2017)	11
Şekil 4. Vidalı Kompresör Çalışma Fazları (Anonim,2019).....	12
Şekil 5 Yağ Enjekteli Bir Vidalı Kompresörün Yapısı (Anonim,2019).....	12
Şekil 6 Pistonlu Kompresörlerin Yapısı (Anonim,2019)	13
Şekil 7 Pistonlu Kompresör Türleri (Sapmaz,2014)	14
Şekil 8 Dinamik Kompresörlerin Genel Yapısı (Sapmaz,2014)	15
Şekil 9 Motor Güç Aktarım Tipleri (Hürdoğan,2015)	15
Şekil 10 Yıldız-Üçgen Motor Bağlantısı (Anonim,2020)	16
Şekil 11 Yumuşak Yol Vericinin Motor Başlangıç Akımına Etkisi	17
Şekil 12 Nemli Havanın Kullanım Sonuçları (Kaya,2014).....	19
Şekil 13 Kurutucu Basınçlı Çiğlenme Noktası Sınıfları (Kanoğlu,2010)	20
Şekil 14 Filtreleme Spektrumu (Karataş,2012)	20
Şekil 15 Yüzey Filtresi Yapısı (Anonim,2018).....	21
Şekil 16 Derin Yatak Filtresi Yapısı (Anonim,2018).....	22
Şekil 17 Dikey Konumlandırılmış Hava Tankı [Anonim,2019]	23
Şekil 18 Pnömatik Debi Kontrolörü	25
Şekil 19 Çalışmada Takip Edilen Metodoloji.....	27
Şekil 20 Kompresörlerin Görüntüleri	28
Şekil 21 Kompresörlerin PLC Programlamasındaki Yerleşimi	29
Şekil 22 Ölçüm Alınan Enerji Analizörü	29
Şekil 23 SCADA Ekranından Alınan Enerji Ölçümü	30

Şekil 24 Ölçüm Alınan Debimetre	30
Şekil 25 Kompresör Haftalık Debi Değişim Grafiği	31
Şekil 26 Sistem Çalışma Diyagramı	32
Şekil 27 Basınç Sensörü	31
Şekil 28 Basınç Sensörü Bağlantı Noktası	32
Şekil 29 Kompresör Kontrolcüsü	32
Şekil 30 Soket Bağlantı Gösterimi	33
Şekil 31 Kompresör & Kontrolcü Bağlantı Diyagramı	34
Şekil 32 MODBUS-RTU Aracılığı İle Gelen Veriler	34
Şekil 33 SCADA Ekranında Tasarlanan Arayüz	35
Şekil 34 Kontrolcü Durum Ekranı	36
Şekil 35 Enerji Analiz Ekranı	37
Şekil 36 Kompresör Kullanım Analiz Ekranı	37
Şekil 37 Kompresör Teknik Analiz Ekranı	38
Şekil 38 Kompresör Kullanım Analiz Ekranı	39
Şekil 39 Kompresör Servis & Bakım Takip Ekranı	39
Şekil 40 Kontrolcü Bağlantısı Öncesi Enerji Tüketimi	40
Şekil 41 Kontrolcü Bağlantısı Sonrası Enerji Tüketimi	40

SİMGELER VE KISLATMALAR LİSTESİ

kWh	Kilowatt saat
CO ₂	Karbondiyoksit
MWh	Megawatt saat
€	Euro (Avrupa Birliği Para Birimi)
\$	ABD Doları (ABD Para Birimi)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
MODBUS-RTU	Modicon-Bus Remote Telemetry Unit
RS-485	Balanced Data Transmission



1.GİRİŞ

Havanın bir iş yapabilmesi amacıyla kompresörle yüksek basınçlara çıkartılarak kullanılan sistemlere basınçlı hava (pnömatik) sistemler denir. Basınçlı hava sistemlerinde kompresör ve bağlı olduğu elektrik motoru elektrik enerjisini mekanik vasıta ile havaya aktarır ve havayı basınçlandırılmış hava haline dönüştürür. Hava enerji taşıyıcısı olarak mekanik işi tüm sistem boyunca taşır ve kullanılabilir hale getirir. Doğrusal, dairesel, açısal hareketlerin, karmaşık ve pahalı mekanik tasarım yerine basınçlı hava donanımları ile gerçekleştirilmesi, tasarım kolaylığı ve sistem maliyet açısından çok avantajlıdır. (Soylu, 2017)

Basınçlı hava, endüstriyel tesislerde üretim süreçlerinin önemli bir parçasıdır. Bu, üretim süreçlerinin verimliliğini artırmak ve ürünleri daha hızlı üretebilmek için temel bir bileşendir. Basınçlı hava sistemleri endüstriyel tesislerde önemli bir elektrik tüketim kaynağıdır ve genellikle enerji maliyetlerinin büyük bir bölümünü oluşturur. Bu nedenle enerji maliyetlerini düşürmek, tesislerin karlılığını artırabilir. Basınçlı hava kayıplarının azaltılması, çevre açısından da önemlidir. Kayıpların azaltılması, enerji üretimine olan talebi düşürebilir ve bu da atmosfere salınan CO₂ ve diğer zararlı bileşenlerin azalmasına katkıda bulunabilir. Bu, çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu bir etki yaratır. Bir kompresörün sürekli çalışma süresince elektrik enerjisi tüketiminin ilk yatırım maliyetinden daha fazla olduğu vurgulanıyor. Bu, enerji verimliliğinin önemini gösteriyor. Tesisler, enerji verimliliğini artırmak için basınçlı hava sistemlerini düzenli olarak incelemeli ve iyileştirme çalışmaları yapmalıdır. Basınçlı hava sistemleri endüstriyel tesislerde hem üretim süreçlerinin önemli bir parçası hem de enerji tüketimi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu sistemlerin verimliliğinin artırılması, hem maliyet tasarrufu sağlar hem de çevresel faydalar getirir..(Mühendis ve Makine, 2017)

Bir endüstriyel tesiste bulunan 4 adet basınçlı hava kompresörünün enerji verimliliğini artırmak amacıyla yapılan bir çalışmayı açıklıyor. İlk olarak, bu kompresörlerin basınç ayarı olmadan gereksiz enerji tüketimine yol açtığı ve ürettikleri basınçlı havanın verimli bir şekilde kullanılması için potansiyel uygulamaların incelendiği belirtiliyor. İkinci aşamada, bu 4 kompresörün birbirleriyle iletişim kurabilmesi için bir kontrolcü tasarlandığı ve işletme içindeki tezgahların basınç değerlerine göre basınçlı hava üretiminin optimize edilmesi için çalışmalar yapıldığı ifade ediliyor. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanması amaçlanıyor. Son aşamada ise kompresörlerin işletme süreçleri dikkate alınarak çalışma saatlerinin günlük olarak eşleştirildiği ve bu şekilde hem enerji hem de işletme ve bakım maliyetlerinde tasarruf

elde edildiği belirtiliyor. Bu alışma, endüstriyel tesislerde enerji verimliliğini artırmak ve işletme maliyetlerini azaltmak için önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda, basınçlı hava üretimi ve dağıtımı süreçlerinin iyileştirilmesiyle çevresel etkilerin azaltılması da mümkün olabilir. Bu tür çalışmalar, endüstriyel tesislerin daha sürdürülebilir ve ekonomik olarak daha rekabetçi olmalarına yardımcı olabilir..

2. BASINÇLI HAVADA ENERJİ TASARRUFU LİTARATÜR ARAşTIRMASI

Basınçlı hava kullanımında enerji tasarrufu sağlanabilmesi için farklı ölçütlerin ele alınması ve sonuç üzerindeki etkisini yansıtabilecek şekilde bir kıymetlendirme yapılması gerekmektedir. Bu çerçevede yapılan çalışmalar doğrultusunda özetlenmeye çalışılmıştır:

Güleç (1999), alışma, pnömatik sistemlerde enerji tasarrufu sağlamak için hangi önlemlerin alınabileceğine odaklanmıştır. Bu nlemler, sistemlerin daha verimli çalışmasını sağlayarak enerji tüketimini azaltmayı amaçlar. Pnömatik sistemlerle ilgili yaygın yanlış inançları ve bilgi eksikliklerini ele almıştır. Bu yanlış bilgilerin düzeltilmesi, daha verimli ve tasarruflu sistemlerin kurulmasına yardımcı olabilir. Basınçlı hava sağlama yöntemlerinden biri olarak büyük bir kompresör kullanmanın her zaman doğru olmadığını vurgulamıştır. Bu yaklaşımın yanlış ve israf edici olabileceğini savunarak, basınçlı hava sistemlerinin optimize edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Basınçlı hava sistemlerinin optimize edilmesinin büyük enerji tasarrufu sağlayabileceğini açıklamıştır. Doğru basınç seviyelerinin kullanılması ve kaçakların önlenmesi gibi önlemlerle enerji verimliliği artırılabilir. Endüstriyel uygulamalarda enerji tasarrufu ve verimliliği sağlama amacı taşıyan işletmelere ve mühendislere önemli bilgiler sunabilir. Bu sayede hem enerji maliyetlerinin azaltılması hem de çevresel etkilerin azaltılması gibi önemli faydalar elde edilebilir.

Kaya ve Güngör (2002), Sızıntıların tespiti ve önlenmesi üzerine odaklanarak enerji tasarrufu potansiyelini artırmayı amaçlar. Sızıntıların düzgün bir şekilde tespit edilmesi ve hızla onarılması, enerji kayıplarının nlenmesine yardımcı olabilir. Düşük basınçlı hava, bazı uygulamalar için yüksek basınçlı havaya göre daha az enerji gerektirir. Uygunluk ve tasarruf potansiyelini değerlendirmek amacıyla düşük basınçlı hava kullanımını incelenir. Düşük basınçlı hava kullanımının, enerji tasarrufu sağlama potansiyelini vurgular. Çalışma, yapılan değişikliklerin veya yatırımların işletme maliyetlerine nasıl etki edeceğini hesaplayarak, bu değişikliklerin ne kadar sürede kendini amorte edeceğini inceler. İşletmelere maliyet etkinliği açısından bir baķıř sunar. Emiş havası, endüstriyel

uygulamalarda sıkça kullanılır ve bu kaynağın tasarruf edilmesi, enerji maliyetlerini azaltabilir.

Kaya ve ark. (2002), basınçlı hava sistemlerindeki hava eksilmelerinin onarılmasının yıllık 44,998 kWh (2,63 \$/yıl) tasarruf sağlayabileceğini hesaplamıştır. Ayrıca, bu tasarrufun 2 ay gibi kısa bir sürede yatırımın geri ödemesini yapabileceğini göstermiştir. Hava kaçaklarının tespit edilmesi ve hızla onarılması, enerji verimliliğini artırmanın hızlı bir yoludur. Yüksek verimli motorların kullanılmasıyla yıllık 19,14 kWh (1,142 \$/yıl) tasarruf sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu, enerji verimliliğini artırmak için motor seçiminin önemini vurgular. Tasarrufun 1,142 dolarlık yıllık tasarrufla birlikte gelmesi, bu yatırımın işletme için maliyet etkin olduğunu göstermektedir. Kompresör havasının dışarıdan alınmasının yıllık 596 dolarlık tasarruf sağlayabileceğini hesaplamıştır. Bu, kompresörün çalışması için gerekli havayı daha verimli bir şekilde temin etmenin faydasını gösterir. Geri ödeme süresinin yıllık olduğu belirtilmiştir, bu da yatırımın kısa sürede kendini telafi ettiğini gösterir.

Çatak (2005), bir pnömatik sistemin veya makinenin yapım aşamasının başlangıcında doğru bir şekilde monte edilmesinin büyük önem taşıdığını vurguluyor. Bu, hem çevresel hem de malzeme dayanımı açısından tasarruf sağlayabilir. İlk aşamada yapılan doğru montaj, ilerleyen aşamalarda gereksiz düzeltmeleri ve değişiklikleri önleyerek maliyetleri azaltabilir.

Üser ve ark. (2005), Çalışma, basınçlı hava sistemlerindeki hava kaçaklarının giderilmesinin enerji tasarrufu sağlayabileceğini belirtmiştir. Hava kaçakları, basınçlı hava sistemlerinde yaygın bir sorundur ve enerji kaybına yol açar. Bu kaçakların tespit edilmesi ve düzeltilmesi, enerji verimliliğini artırmanın önemli bir yoludur. Çalışma, alınan tasarruf önlemleri ile aynı ürünün daha düşük maliyetle üretilebileceğini göstermiştir. İşletmenin üretim maliyetlerini azaltarak rekabetçiliğini artırabilir.

Mendis ve Perera (2006), Sri Lanka'daki bir tekstil firması tarafından gerçekleştirilen enerji araştırması sonuçları ve enerji tasarrufu yöntemleri üzerinde durulmuş. Hava sızıntılarını en aza indirmeye önleminin alınması, basınçlı hava sistemlerinde enerji tasarrufu sağlar. Bu, sistemdeki enerji kayıplarını azaltmaya yardımcı olur. Değişken hız kontrol cihazları, kompresörlerin hızını ayarlayarak enerji tüketimini optimize eder. Bu sayede ihtiyaç duyulduğunda daha az enerji tüketilir. Düzenli olarak denetleyici kurulumlarının yapılması, sistem performansını izlemeye ve gerektiğinde ayarlamalar yapmaya olanak tanır.

Bu, verimliliği artırır. Önerilen enerji tasarrufu önlemlerinin işletme için maliyet-etkin olduğunu göstermek için amortisman hesabı yapmıştır. Amortisman hesabına göre, önerilen önlemlerin maliyeti belirli bir süre içinde tasarruf edilen enerji maliyetleri ile telafi edecektir.

Dalgleish ve Grobler (2009), paketleme tesisin kompresörlerinin enerji tüketimini ve yük durumlarını detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Bu, mevcut sistemdeki enerji verimliliği hakkında önemli bilgiler sağlar. Basınçlı hava dağıtım basıncının ayarlanması, sistemin gereksiz yük altında çalışmasını önler, enerji tüketimini düşürürken ekipmanın ömrünü uzatır. Hava sızıntılarının giderilmesi, enerji tasarrufunun en temel adımlarından biridir. Sızıntılar, sistemdeki enerji kayıplarına neden olur ve bu kayıpların önlenmesi önemlidir. Üretim olmadığı durumlarda makinaların basınçlı hava vanalarının kapatılması, enerji israfını önler. Bu sayede gereksiz enerji tüketiminden kaçınılır.

Sheckler (2009), mevcut basınçlı hava sisteminin detaylı bir analizini yapmış, mevcut sistemin eksikliklerini ve iyileştirme potansiyelini değerlendirdikten sonra yeni bir kompresör sistemi önermiştir. Bu yeni sistem, daha enerji verimli, daha güçlü veya daha uygun maliyetli olabilir. Çalışma, hava sızıntılarının giderilmesi için önlemler önermiştir. Hava sızıntıları, basınçlı hava sistemlerinde enerji kaybına yol açar ve bu kayıpların minimize edilmesi gereklidir. Yeni bir kompresör sistemi önerisi ve hava sızıntılarının giderilmesi, enerji verimliliğini artırarak işletme maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, bu tür iyileştirmeler çevresel etkileri de azaltabilir ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunabilir. Bu nedenle, endüstriyel tesislerde bu tür değerlendirmeler ve iyileştirmeler önemlidir.

Yang (2009), Enerji Kaybının Büyük Bir Kısımını Kompresör Sistemlerinden Kaynaklandığı belirtiliyor : Çalışma, enerji kaybının %80'i aştığını belirtiyor ve bu kaybın büyük bir kısmının kompresör sistemlerinden kaynaklandığını tespit etmiştir. Bu, kompresörlerin enerji verimliliği konusunda optimize edilmemiş olduğunu göstermektedir. Fabrika, kompresörlerin çalışma şeklinin enerji kaybına yol açtığını belirtiyor. Bu, belirli bir üretim seviyesine ulaşmak için gereksiz enerji tüketimi anlamına gelebilir. Basınçlı hava sistemlerindeki sızıntılar, sürekli enerji kaybına yol açar ve bu kayıpların önlenmesi önemlidir.

Abdelaziz ve ark. (2011), inceledikleri ve bu stratejilerin enerji kullanımı ve verimliliği hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynadığını savunduğu belirtiliyor. Ayrıca, endüstriyel bir örnekte, sadece 1/4 inçlik 10 hava sızıntısının giderilmesinin toplam enerji

tasarrufunun neredeyse %70'ini oluşturduğunu gözlemlemişler. Bu, enerji verimliliği çalışmalarının küçük önlemlerin bile büyük tasarruflar sağlayabileceğini vurguluyor. Araştırmacılar, bu tür basit iyileştirmelerin, ulusal enerji stratejilerine ve enerji tasarrufu hedeflerine katkı sağladığını göstermektedirler. Bu yüzden hava kaçaklarının giderilmesine vurgu yapmışlardır.

Dindorf (2012), basınçlı hava sistemlerinde enerji tasarrufu potansiyelini tahmin etmek ve bu tasarrufun enerji ve maliyet üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yapılmış önemli bir araştırmayı yansıtmaktadır. Çalışma, kompresör kontrolcüsünün olmadığı durumlarda enerji tasarrufu imkanlarının sınırlı olduğuna vurgu yapmaktadır. Kompresör kontrolcüsü, kompresörlerin yük durumuna göre otomatik olarak ayarlanmasını sağlar ve böylece enerji tüketimini optimize eder. Araştırma, her 50 kPa basınç düşüşünün kompresörün talep ettiği enerji gücünde ortalama %3'lük bir azalmaya neden olduğunu belirtmektedir. Basınç düşüşlerinin kontrol edilmesi, enerji tasarrufu potansiyelini artırabilir. Sıkıştırılmış hava maliyetlerinin azaltılmasının enerji tasarrufu sağlayacağını ve elektrik tüketiminin azalacağını belirtmektedir. Bu, işletmenin maliyetlerini azaltırken çevresel etkileri de minimize edebilir. Enerji tasarrufu, elektrik tüketiminin azalmasına ve dolayısıyla daha az CO₂ emisyonuna yol açar. Bu da çevresel etkinin azaltılmasına katkıda bulunur ve sürdürülebilirlik hedeflerine uyum sağlar.

Dudic ve ark. (2012) sızıntı deliğinin büyüklüğünün, şeklinin ve konfigürasyonunun, tespit yöntemlerini etkilediğini vurguluyor. Sızıntıların tespitinde kullanılan yöntemler, dışarı atılan hava sıcaklığı ve nemi gibi çevresel faktörlerden etkilenebilir. Özellikle kızılötesi yöntem, hava sıcaklığındaki farklılıkları algılar ve bu farklılıkların sızıntıları tespitinde kullanılır. Bu nedenle, çevresel koşullar sonuçları etkileyebilir. Hava kaçak analizi yaparak hava kaçaklarının giderilmesinin ortaya koyduğu tasarrufları göstermişlerdir.

Karataş (2012), Çalışmasında, bir çelik fabrikasının basınçlı hava sistemi verimliliği üzerine ölçümler gerçekleştirmiş, İncelemeler sonucunda enerji tasarrufu potansiyelleri belirlenmiştir. Özellikle, kompresörlerin gereksiz yere çalıştığı ve enerji israfına neden olduğu durumları tespit etmek önemlidir. Çalışma, tesisin basınçlı hava gereksinimi olmadığı bir dönemde kompresörlerin işlediğini saptamıştır. Bu, enerji israfına yol açar. Bu nedenle, sistemi revize etmek ve gereksiz çalışmayı önlemek amacıyla önlemler alınmıştır.

Fan ve ark. (2013), Çalışmasında, basınçlı hava sistemlerinin enerji tasarruf potansiyelini değerlendirmek ve verimliliği artırmak için dört temel tasarruf önerisi

sunmuştur. Bu önlemler, daha etkili bir enerji yönetimi sağlayarak işletmelerin enerji maliyetlerini azaltmalarına yardımcı olabilir. Basınçlı hava sisteminin her bir elemanı için enerji tüketim endeksleri oluşturmayı önermektedir. Bu endeksler, her bir elemanın ve ekipmanın enerji tüketimini ölçerek, hangi birimlerin yoğun enerji tükettiğini belirlemenizi sağlar. Endeksler oluşturulduğunda, hangi birimlerin ve ekipmanların yoğun enerji tükettiği daha açık bir şekilde görülebilir. Yoğun enerji tüketen birimlere ve ekipmanlara odaklanarak, enerji verimliliği iyileştirmesi daha etkili ve odaklı hale gelir.

Zhang ve ark. (2013), Çalışma, kompresörlerin güç tüketimini azaltmanın anahtar bir strateji olduğunu vurgulamaktadır. Basınç oranının düşürülmesi, kompresörlerin daha az enerji harcaması anlamına gelir. Ancak, bu düşüş, işletme ihtiyaçlarını karşılamaktan ödün vermeden dengeli bir şekilde yapılmalıdır. Giriş hava sıcaklığının düşürülmesi, kompresörlerin daha verimli çalışmasını sağlar. Bu, kompresörlerin daha az enerji harcamasına ve daha düşük sıcaklıkta çalışmasına yardımcı olabilir. Kompresörlerin bir işlemci yardımıyla kontrol edilmesini önermektedir. Kompresörlerin çalışma sürelerini ve hızlarını dinamik olarak ayarlama yeteneği sağlar. Böylece enerji tasarrufu potansiyeli artar. Bu önlemlerin uygulanması durumunda bir yıl boyunca %35 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceğini belirtmektedir. .

Mousavi ve ark. (2014), enerji verimliliğini iyileştirmek için simülasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. Basınçlı hava sisteminin farklı ayarlarını ve konfigürasyonlarını içeren bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Bu model, sistemin farklı çalışma koşullarını ve seçeneklerini değerlendirmeyi mümkün kılar. İki farklı kompresör tipi olan değişken hız sürücülü ve sabit hız sürücülü kompresörlerin performansını karşılaştırmışlardır. Enerji verimliliğini artırmak için hangi kompresörün daha iyi bir seçenek olduğunu belirlemeye yardımcı olur. Çalışma, enerji verimliliğini artırmak için temel besleme kompresörünün maksimum kapasitesini değiştirme yolunu incelemek amacıyla bir duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Sistemdeki farklı değişkenlerin ve parametrelerin enerji tüketimine olan etkilerini değerlendirmeyi sağlar. Geliştirilen simülasyon modeli, enerji tahmin modelleri ile entegre edilmiş ve gerçek zamanlı enerji tüketimini tahmin etmek ve enerji verimliliği iyileştirmelerini daha etkili bir şekilde uygulamak için önemlidir.

Sapmaz (2014), Çalışma, sızıntılardan kaynaklanan kayıpların önlenmesi ile ilgili bir model geliştirmiştir. Bu model, aşağıdaki adımları içerebilir: Sistemdeki sızıntıların tespit edilmesi ve belirlenmesi. Sızıntıların büyüklüğü, etkisi ve yerleri değerlendirilir, böylece öncelikli olarak düzeltilmesi gereken sızıntılar belirlenir. Belirlenen sızıntılar düzeltilir ve

sistem verimliliği artırılır. Sızıntıların düzeltilmesi sonrasında sistemin enerji verimliliği izlenir ve gelişmeler değerlendirilir.

Backlund ve Thollander (2015), kullanımını ve enerjinin nasıl dağıtıldığını ayrıntılı bir şekilde değerlendirmiştir. Bu, enerji tüketimini optimize etmek ve verimliliği artırmak için temel verileri sağlar. Çalışma, enerji verimliliği önlemlerinin uygulanması durumunda yılda 11,379 MWh tasarruf potansiyeli olduğunu tespit etmiştir. Bu, enerji tüketiminde önemli bir azalmayı temsil eder.

Vittorini ve Cipollone (2016), endüstriyel kompresörlerin enerji tasarrufu seçeneklerini derinlemesine incelemiş ve enerji boyutlarını değerlendirmiştir. Araştırma, kompresyon işleminin iki aşamada gerçekleştirilmesinin enerji tasarrufu sağlayabileceğini belirlemiştir. Bu, daha düşük sıkıştırma ile daha yüksek enerji verimliliği elde edilmesini amaçlar. Analizler, enerji boyutlarını değerlendirmiş ve hangi aşamada ne kadar enerji kullanıldığını incelemiştir. Kompresyon işlemi iki aşamada yapılması, sıkıştırma verimliliğini artırabilir ve enerji tüketimini azaltabilir.

Sapmaz ve Kaya (2017), çalışmalarında basınçlı Kompresör atık ısısının geri dönüşümü, enerji verimliliği açısından önemli bir stratejidir. Bu yöntem, basınçlı hava sistemlerinde enerji tasarrufu sağlamak ve emisyonları azaltmak için kullanılabilir. Kompresörlerin işlem sırasında oluşturduğu ısıнын geri dönüşümü, ısıнын yeniden kullanılması anlamına gelir ve bu da enerji tüketimini azaltabilir. Bu çalışma, kompresör atık ısısının geri dönüşümünün enerji tasarrufu potansiyelini incelemiş ve bu yöntemin uygulanmasıyla enerji verimliliğinin artırılabilirliğini göstermiştir. Kompresör atık ısısı, ısıнын ısıtma veya diğer prosesler için yeniden kullanılmasıyla enerji tüketimini azaltabilir. Bu, tesislerin enerji maliyetlerini düşürmesine ve çevresel etkilerini azaltmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, bu tür çalışmaların gerçek dünya uygulamalarıyla desteklenmesi, enerji tasarrufu önlemlerinin etkinliğini değerlendirmek için önemlidir. Bu çalışma, bu tür uygulamaların gerçek tesiste nasıl çalışabileceğini göstermek için üç farklı tesiste 6 aylık dönem içerisinde bu önlemin uygulandığını göstermektedir.

Taheri ve Gadow (2017), Çalışma, basınçlı hava sistemlerinin atık ısısının geri kazanılmasıyla ilgili olarak ekserji ve termoekonomik analizler yapmıştır. Bu analizler sonucunda atık ısıнын geri kazanılmasının en yüksek enerji faktörünü sağladığı belirlenmiştir. Bu, işletmenin enerji verimliliğini artırmak ve enerji maliyetlerini düşürmek için atık ısıнын değerlendirilmesini önerir. Çalışma, hava sızıntılarının azaltılmasının basınçlı

hava sistemi için en iyi verimlilik optimizasyon senaryosu olduğunu göstermektedir. Yani, hava sızıntılarını önlemek veya azaltmak, basınçlı hava sisteminin enerji tüketimini, ekserji verimini (enerjinin kalitesi) ve termoekonomiyi (enerji maliyeti ve performansı arasındaki ilişki) en iyi şekilde iyileştiren bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Bu sonuç, enerji verimliliği ve ekonomik açıdan en avantajlı yolun hava sızıntılarının kontrol altına alınması olduğunu göstermektedir. Hava sızıntılarının azaltılması, kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlar ve enerji tasarrufu potansiyelini artırır. Çalışma, atık ısı geri kazanımı ve hava sızıntılarının azaltılmasının enerji verimliliği açısından en maliyet etkin önlemler olduğunu ispatlamıştır.

Salvatori ve ark. (2018), Bu metodoloji, sektörler arası karşılaştırmalar yapmak için temel bir çerçeve sunar. Basınçlı hava sistemlerinin enerji performansını değerlendirmek için çeşitli performans göstergelerini kullanmıştır. Analizin hangi faktörleri içerdiği ve analizin sonuçlarının ne tür etkileri olduğu açıklanmaktadır. Çalışmada incelenen göstergeler, basınçlı hava sistemi performansını etkileyen önemli faktörleri kapsamaktadır. Analiz, İtalya'daki farklı sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler için basınçlı hava sistemlerinin enerji yönetimi konusunda yeni referanslar ve yönergelerin oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Bu, analizin, enerji yönetimi konusunda daha etkili ve verimli uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlayacak önemli bilgiler sunarak endüstriyel sektörler için faydalı bir kaynak olduğunu göstermektedir.

Küçükyazıcıoğlu (2020), çalışmada bir otomotiv yan sanayi tesisinde hava kaçaklarının tespiti ile ilgili çalışmada bulunmuş ve bu çalışmalar sonucunda basınçlı hava tabancaları tesis üzerindeki hava kayıplarının büyük bir kısmını oluşturduğunu gözlemlemiştir. Hava tabancalarının yüksek verimli hava tabancaları ile revize ettikten sonra oluşacak enerji tasarrufunu raporlamış ve sunmuştur.

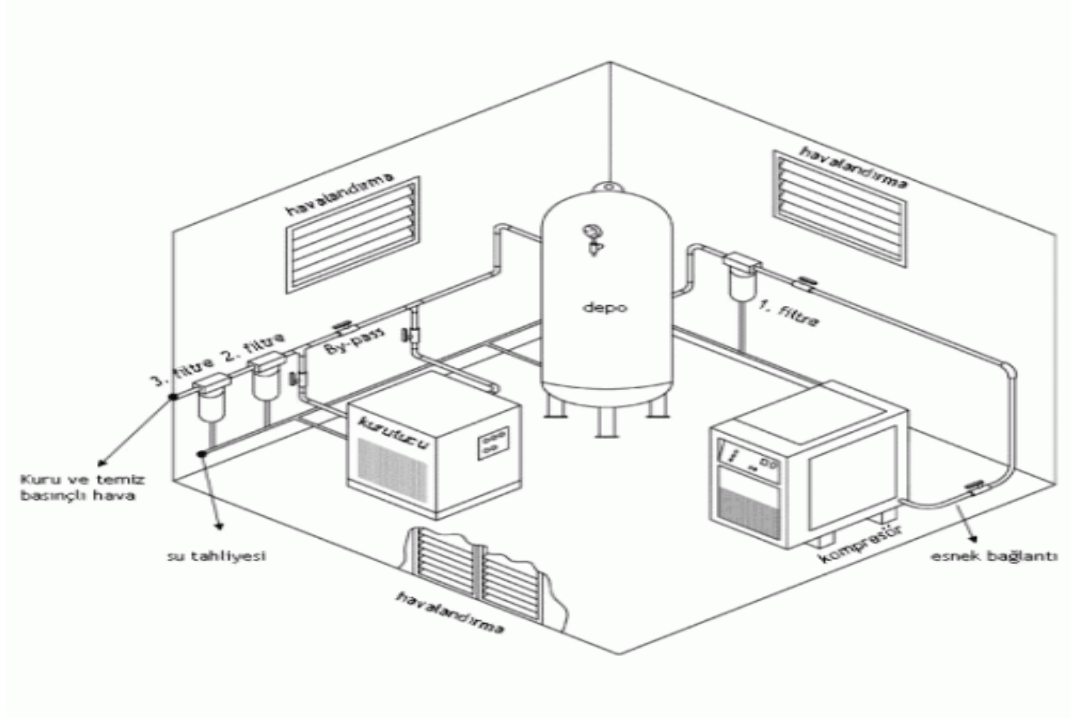
Literatürde görüldüğü üzere basınçlı hava enerji tasarrufu ile ilgili sektörel ve dünya çapında bir verimlilik artırıcı proje olanağı ortaya çıkarılmıştır.

Bu tez çalışmada bir otomotiv fabrikasında analiz yapılan basınçlı hava kayıplarında kompresörlerin birbirinden bağımsız şekilde çalışmasından dolayı kompresörler basınçlı hava üretimi için gereksiz enerji harcamakta olup bu uygunsuzluğun fabrikaya özgü tasarlanan kontrolcü ile tezgahların ihtiyacı olan basınçlı hava değerini kompresörler birbirleriyle haberleşerek enerji tasarrufu ve eş yaşlanma kriterleri göz önünde bulundurularak çalışacak bir sistem tasarlanmıştır.

3. BASINÇLI HAVA SİSTEMİ İLE İLGİLİ KRİTERLER

Basınçlı havanın depolanabilir bir enerji türü olduğunu ve özellikle elektrik enerjisinin kullanılmadığı veya kullanılmasının tehlikeli olduğu durumlarda tercih edildiğini ifade ediyor. Bu durumlar genellikle üretim sektöründe ve bazen de servis sektöründe karşımıza çıkıyor. Cümle, basınçlı havanın enerji ihtiyacını karşılama ve güvenliği sağlama amacıyla kullanıldığını belirtiyor. Bu tür bir enerji depolama, elektrik enerjisinin istenilen anda kullanılabilir olmadığı durumlarda oldukça kullanışlıdır. Özellikle endüstriyel faaliyetlerde, enerji kesintileri veya elektrik kaynaklarının güvenli bir şekilde kullanılmadığı durumlarda basınçlı hava enerjisi alternatif bir kaynak olarak değerlendirilebilir. Bu cümle, enerji çeşitlendirmesinin ve güvenliğinin önemini vurguluyor, özellikle üretim ve servis sektörlerinde.

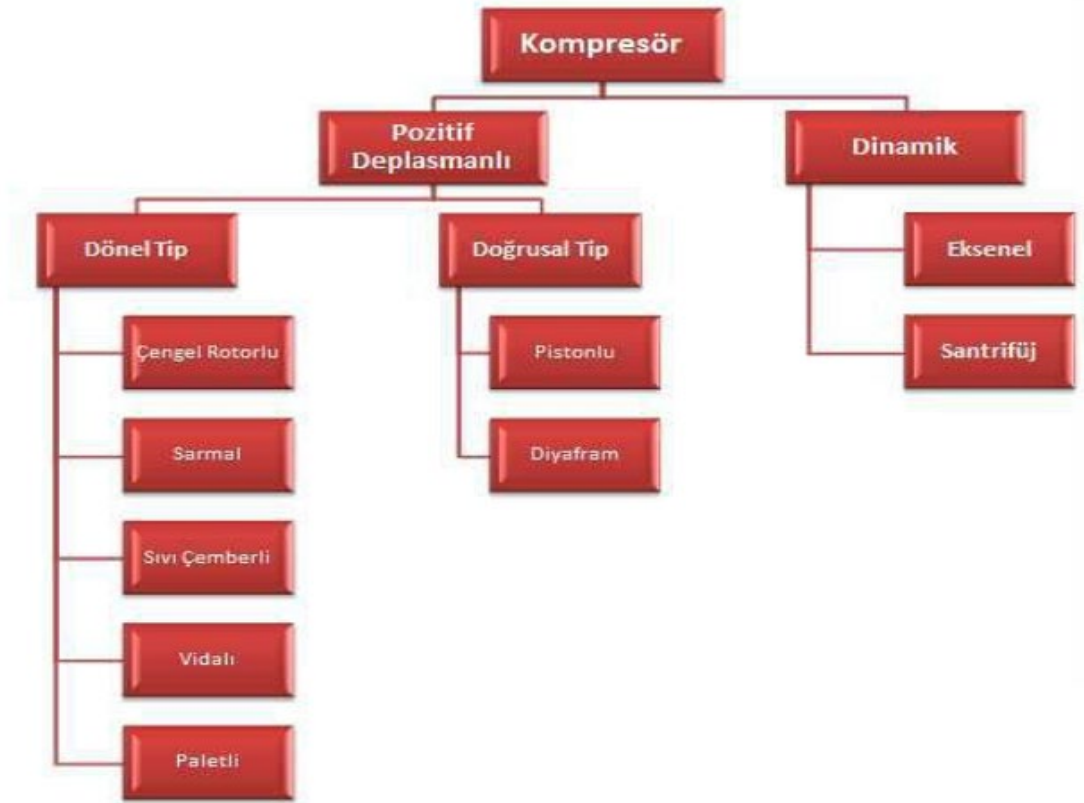
Basınçlı hava sistemlerinde enerji oluşumunu sağlayan kompresörlerdir. Kompresöre alınan hava istenilen basınca ulaşıncaya kadar hacmi küçültülür ve molekül bazında ivmelendirilir. Kompresörler, basınçlı hava üretim yöntemine bağlı olarak pozitif deplasmanlı ve dinamik kompresörler olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Elde edilen basınçlı havanın kullanılacak alana ulaştırılması, depolanması veya akış ihtiyacına göre basıncını düzenlemek gibi amaçlarla kullanılan gereçlere ise yardımcı ekipman adı verilir. Bir basınçlı hava sisteminin bileşenlerine ve temel yardımcı ekipmanlarına dair bilgi sunmaktadır. Yardımcı ekipmanlar, basınçlı hava sisteminin düzgün çalışmasını ve temiz, kurutulmuş hava üretimini sağlama görevlerini üstlenir. Bu ekipmanlara örnek olarak partikül ve nemin temizlenmesine yardımcı olan filtreler, yağ ve suyun ayrılmasını sağlayan ayırıştırıcılar, havanın kurutulmasını sağlayan kurutucular, basınç akışını kontrol eden valfler, hava depolama kapasitesi sunan hava tankları, fazla basınçlı havanın tahliye edilmesini sağlayan tahliye vanaları ve basınçlı hava dağıtımını kontrol eden vanalar gibi çeşitli bileşenler örnek verilebilir. Ayrıca, cümle, basınçlı hava sisteminin nasıl görünebileceğini göstermek için "Şekil-1" gibi bir görsel ifadenin kullanılabileceğini belirtiyor. Bu görsel, sistemin nasıl çalıştığını ve bileşenlerinin nasıl düzenlendiğini daha iyi anlamak için kullanılabilir. Bu şekilde, basınçlı hava sistemi tasarımı ve işleyişi hakkında daha net bir fikir elde etmek mümkün olabilir.



Şekil 1 Basınçlı hava sistemi temel görünümü ve elemanları

3.1 Kompresörler

Ortamdan alınan gazın hacmini küçülterek veya hızını artırarak gazın basıncını yükselten mekanik üniteye kompresör adı verilir. Kompresörler Şekil- 2’de gösterilmiştir.



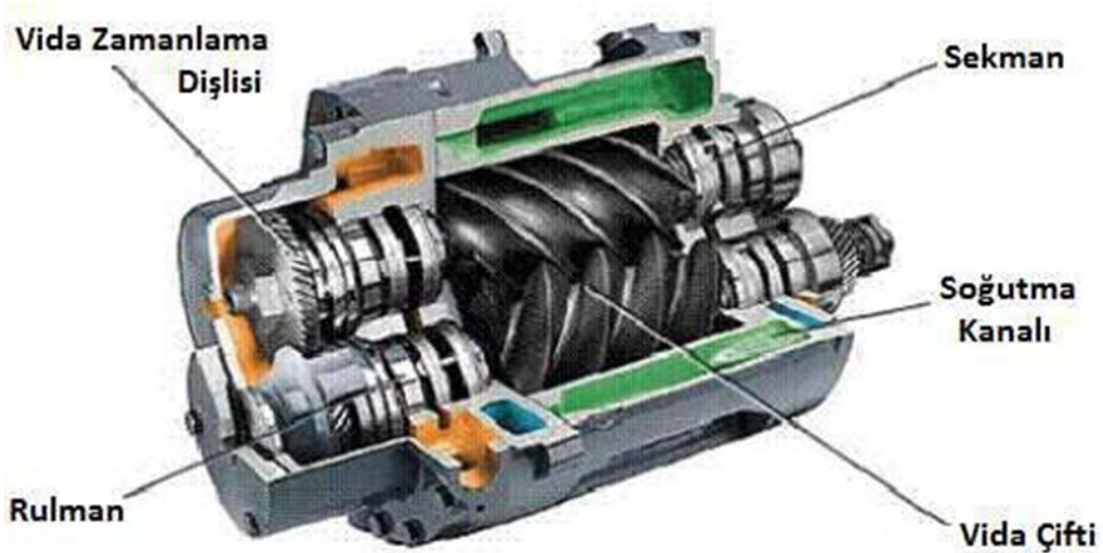
Şekil 2 Basınçlı hava sistemi temel görünümü ve elemanları

3.1.1 Pozitif Deplasmanlı Kompresörler

İhtiyaç olan hava miktarı emiş regülatörü vasıtasıyla kompresör hazinesine alındıktan sonra istenen basınca ulaşıncaya kadar hacmi düşürülür. Bu tür kompresörler, çalışma prensiplerine göre iki ana kategoriye ayrılır: döner ve doğrusal mekanizmalı kompresörler. Döner mekanizmaya sahip olan kompresör türleri genellikle çengel rotorlu, sarmal, sıvı çemberli, vidalı ve paletli kompresörler olarak bilinirler. Kompresörlerin diğer bir tipi olan doğrusal mekanizmalı kompresörler ise çalışma şekillerine göre piston tipi ve diyafram tipi kompresörlerdir. En yaygın bir şekilde kullanılan kompresör çeşitleri doğrusal mekanizmalı kompresörlerdir.

3.1.1.1 Vidalı Kompresörler

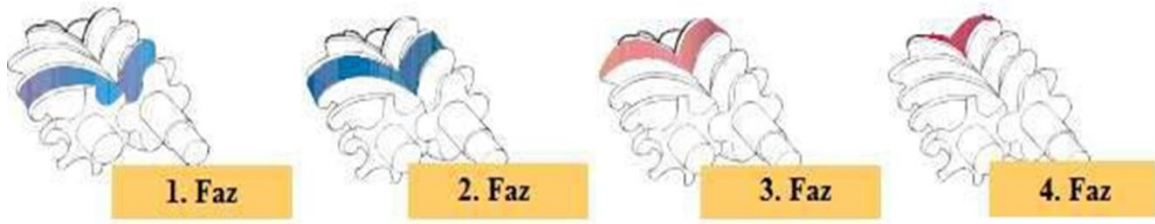
İki rotorun birbirine eşleştirilerek bir gövde içerisine yerleştirilerek gerçekleştirilen basın artırma mekanizmasına vidalı kompresör denir. Vida bloğunun yapısı Şekil- 3’de görüldüğü gibidir. Ana rotor, direk akupule ya da kayış-kasnak mekanizmaları ile kompresör motorundan güç alırken, yardımcı rotor sadece emiş ve sıkıştırma fazları sırasında çalışma boşluğunun sızdırmazlığını sağlar.



Şekil 3 Vida Bloğu Yapısı (Anonim,2017)

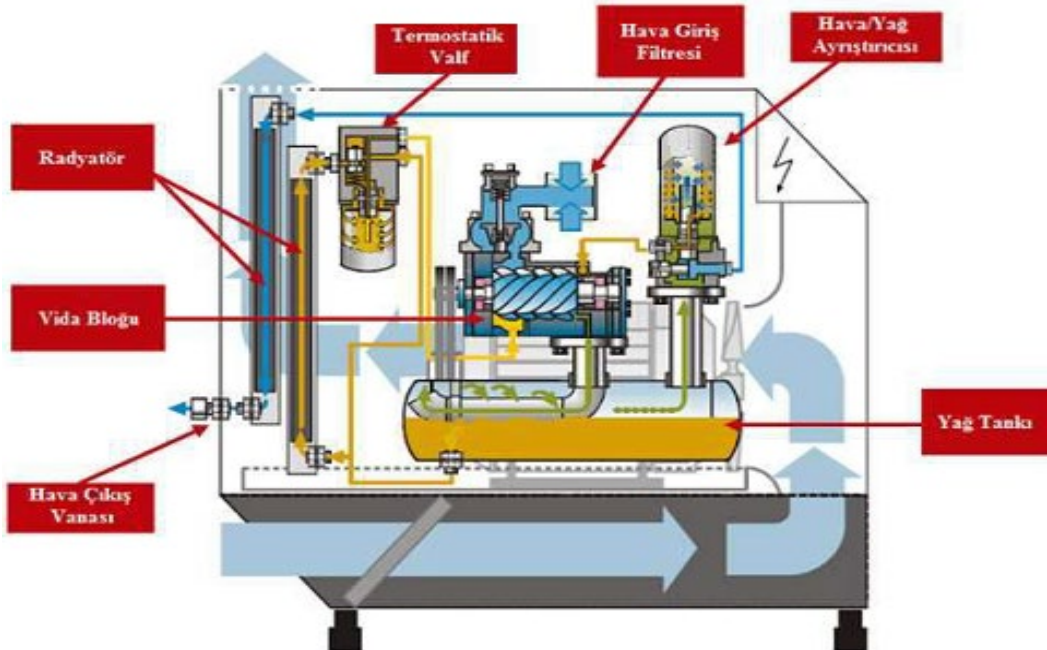
Vida bloğunun çalışma prensibi Şekil 4’te de belirtildiği gibi dört aşamada açıklanabilir. Birinci adımda, istenen miktar hava, emiş valfi tarafından sıkıştırma alanına çekilir ve rotorların dış kısımları hava ile dolar. İkinci ve üçüncü aşamalarda ise rotorlar, emilen havanın sıkıştırılması için emiş valfini kapatır ve sıkıştırma alanını oluşturur.

Millerin ters yöne dönmesi ile azalan hacim havayı boşluklara doğru ilerletir. Dördüncü aşamada ise hacmi küçültülmüş gaz çıkış valfinden dışarıya verilir.



Şekil 4. Vidalı Kompresör Çalışma Fazları (Anonim,2019)

Yağ püskürtmeli bir vidalı kompresörün yardımcı elemanlarıyla görünümü Şekil 5’te verilmiştir. Emiş valfinden alınan hava filtrelandikten sonra vida bloğuna alınır, blok içerisinde yağ ile karıştırılarak şekilde gösterilen aşamalardan geçer sıkıştırılmış hava-yağ karışımı çıkış valfine yağ tankına doğru yönlendirilir. Karışım yağ tankından sonra ayırıştırıcıya aktarılır ve hava yağ ayrıştırılması gerçekleştirilir. Soğutulmak üzere radyatöre gönderilen yağdan ayrıştırılmış basınçlı hava nihai kullanım noktalarına gönderilir. Açığa çıkmış olan yağ ise sistemde kullanılan sıcaklığa ulaşmadığı sürece sıkıştırma amaçlı kullanılmaya devam eder. Sıcaklık artması durumunda yağ soğutma işlemi uygulanır.

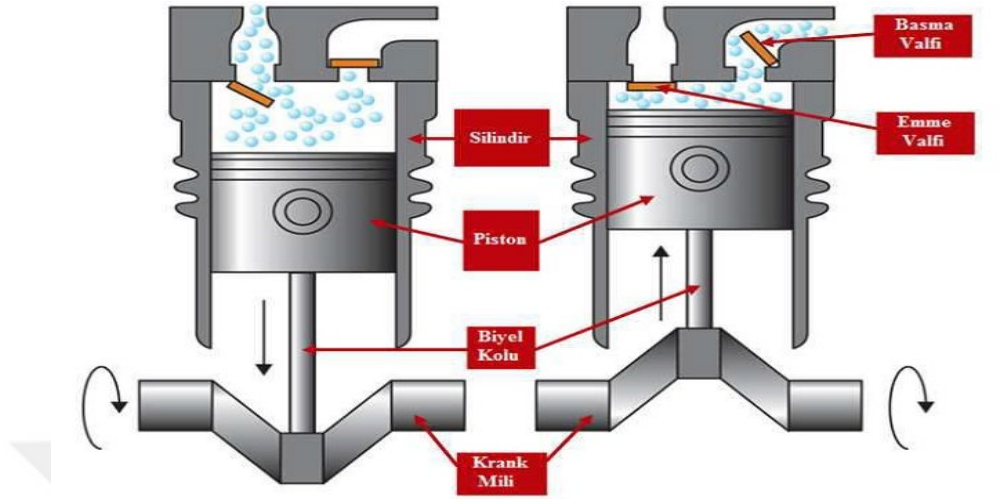


Şekil 5 Yağ Enjekteli Bir Vidalı Kompresörün Yapısı (Anonim,2019)

Sanayii de kullanılan yağ püskürtmeli de kullanılmaktadır. Bu tip kompresörler daha çok sağlık alanında ve çok yüksek basınca ihtiyaç duyulmayan endüstride kullanılmaktadır.

3.1.1.2 Pistonlu Kompresörler

Kullanılan reaktif kompresörler, pistonlu kompresörlerdir. Şekil 6'da da gözüktüğü üzere valfleri gibi bileşenlerden oluşur.

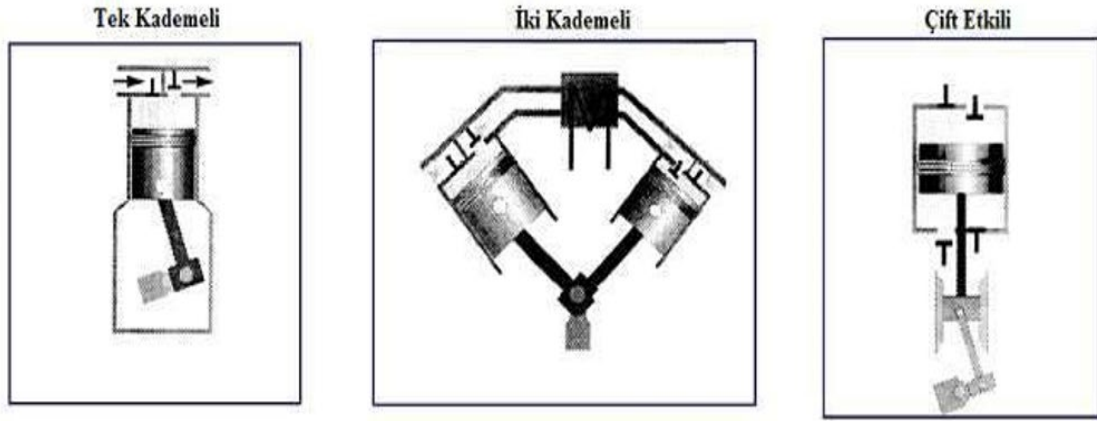


Şekil 6 Pistonlu Kompresörlerin Yapısı (Anonim,2019)

Ortamdan emilen hava aynı gövde içerisinde istenilen basınca ulaşınca kadar (genelde 8-10 bar) sıkıştırma sağlayan kompresörler tek kademeli pistonlu kompresörlerdir. Kompresörlerin çalışma prensipleri ve farklı tipleri hakkında bilgi verilmektedir. Kompresörler, bir ya da birden fazla silindirden oluşabilirler ve sıkıştırma oranı arttıkça hava kaybı da artar. Bu nedenle, genellikle alçak basınçlı ve fasılalı kullanımlar için daha uygundur. İki kademeli pistonlu kompresörler ise sıkıştırma işlemini iki aşamada gerçekleştirirler. İlk aşamada, gazın hacmi birinci silindirde düşürülür ve bu sırada hava ısınır. Isınan hava daha sonra bir ara soğutucudan geçirilerek soğutulur. Bu soğutma işlemi, ikinci aşamada hava sıkıştırıldığında daha etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. İkinci aşamada, ara soğutucudan alınan basınçlı hava, nihai basınç değerine kadar tekrar sıkıştırılarak istenilen kullanım alanına yönlendirilir. Bu ikinci aşama sayesinde, daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulan uygulamalarda kullanılmak üzere hava hazırlanmış olur.

Kompresörlerin nasıl çalıştığını ve neden farklı tiplerinin tercih edildiğini açıklayarak, kompresörlerin işlevi hakkında bilgi vermektedir. Aynı zamanda, bu cihazların verimli çalışmalarını sağlamak için kullanılan tekniklerin önemini vurgulamaktadır. Kompresörlerin çalışma prensibine ve enerji tasarrufu sağlama yöntemlerine dair bilgi vermektedir. Emme ve basma valflerinin hem alt hem de üst kısımlara yerleştirilmesi, havanın bir motor devri içerisinde iki kez sıkıştırılmasını mümkün kılarak enerji verimliliğini artırmayı amaçlar. Bu

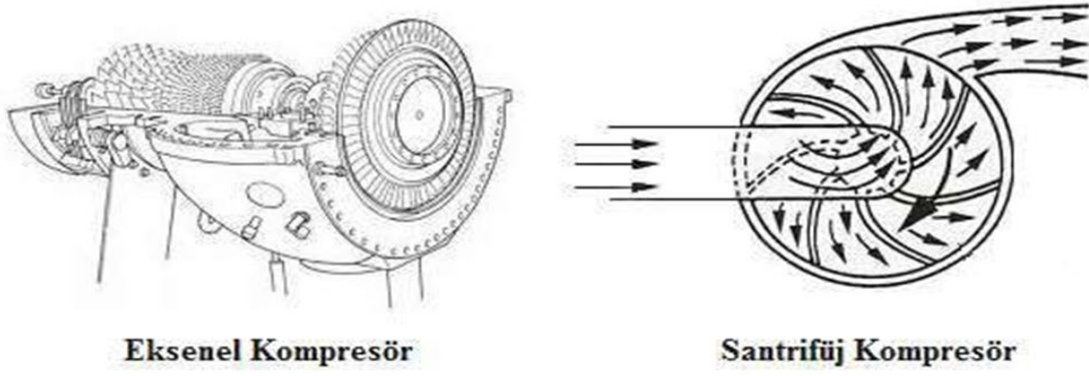
tasarım, birim zamanda daha fazla iş yapılmasına olanak sağlayarak enerji tasarrufu sağlar. Şekil 7 ise bu tür kompresörlerin şematik gösterimlerini sunar, böylece konsepti daha iyi anlamamıza yardımcı olur.



Şekil 7 Pistonlu Kompresör Türleri (Sapmaz,2014)

3.1.2 Dinamik Kompresörler

Gaz akış esnasında basınç artıran kompresörlere dinamik (turbo) kompresör adı verilir. Dinamik kompresörler, gazın sıkıştırılması için dönen kanatların kullanıldığı bir prensibe dayanır. Gaz, bir püskürtücü yardımıyla genişler ve bu genişlemenin sonucunda hız kazanır. Daha sonra bu hızlı gaz, dönen kanatlar tarafından yakalanır ve statik basınca dönüşür. Dinamik kompresörler, hava akış yönüne göre iki ana grupta incelenir: eksenel ve santrifüj kompresörler. Eksenel kompresörlerde hava akışı eksenel (paralel) bir yönde gerçekleşirken, santrifüj kompresörlerde hava dairesel bir yönde döndürülerek sıkıştırılır. Bu, dinamik kompresörlerin, güç ayarlamaları yapmadan geniş debi aralığında çalışabilmesini mümkün kılar. Dinamik kompresörlerin bu özellikleri, endüstriyel uygulamalarda genellikle büyük hacimli ve değişken hava taleplerine hızlı bir şekilde cevap verebilme yetenekleri nedeniyle tercih edilirler. Ayrıca, enerji verimliliği ve işletme esnekliği açısından avantajlar sunabilirler. Şekil 8'de verilmiştir

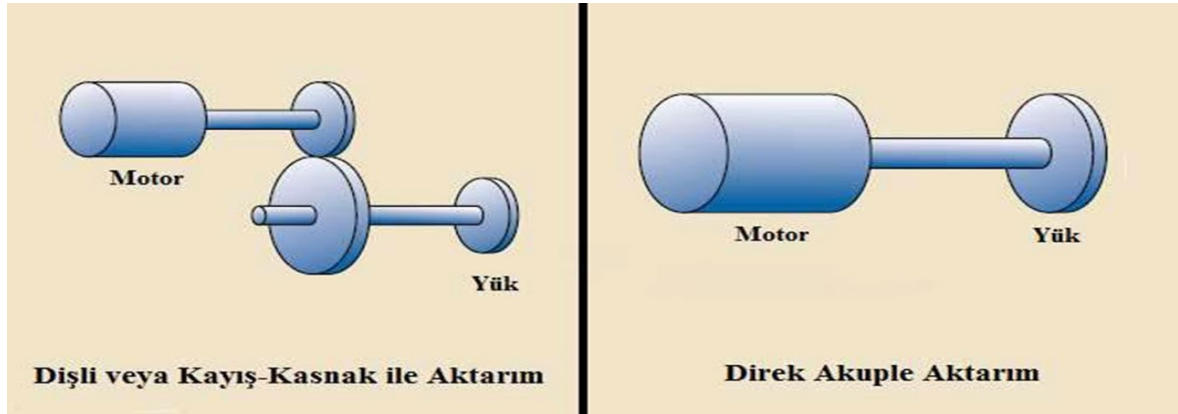


Şekil 8 Dinamik Kompresörlerin Genel Yapısı (Sapmaz,2014)

3.1.3 Kompresör Motorları

Kompresörlere güç aktarımı elektrik motorları tarafından kayış – kasnak ya da direk bağlantı şeklinde gerçekleştirilmektedir. Kasnak – kayış yönteminde kompresör ve motor millerine yerleştirilen kasnak ve bu kasnakların kayış ile bağlanması sonucunda güç transferi gerçekleşmektedir. Direk aktarımlarda ise kompresör mili ile motor mili birbirine bağlanarak birebir aktarım sağlanır. Akuple güç aktarımlarında karmaşık sistem tasarımlarında önlemler alınması gerekmektedir.

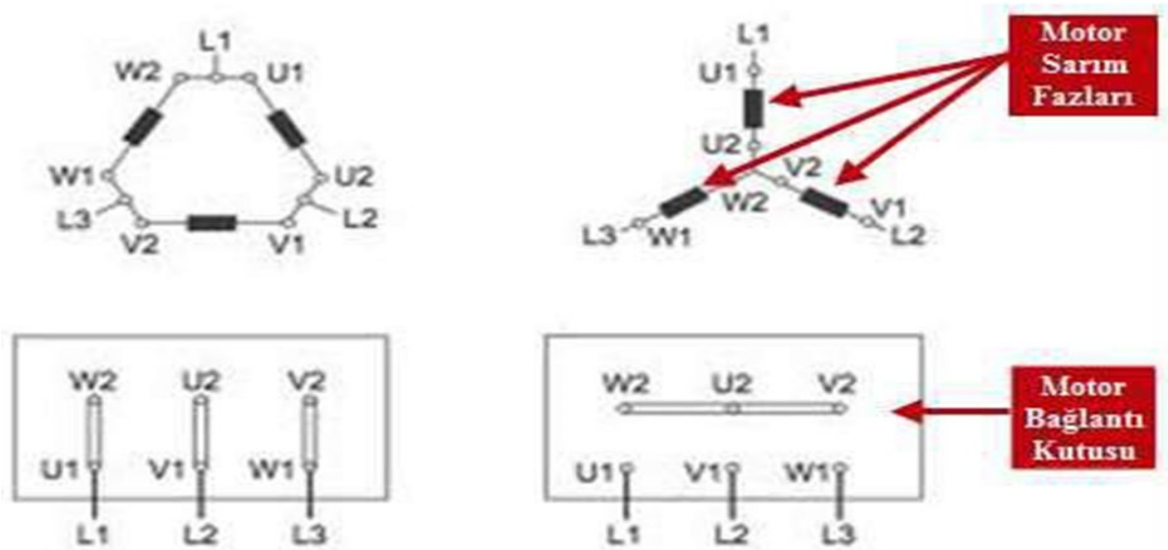
Geleneksel yöntemde (kayış – kasnak) güç aktarımlarında %5'e yakın kayıp oluşmasına rağmen uzun kullanım ömrü, titreşim azaltma ve düşük çalışma sıcaklıkları da tercih edilmesinde önemli faktör teşkil etmektedir. Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9 Motor Güç Aktarım Tipleri (Hürdoğan,2015)

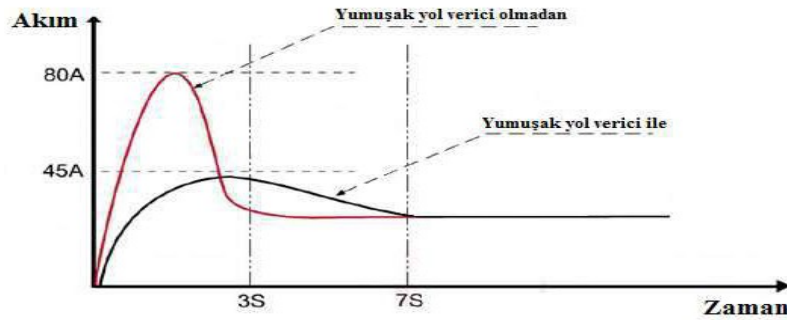
Kompresörlere güç aktarımında kullanılacak olan elektrik motorların doğrudan şebekeye bağlanabileceği gibi diğer bağlantı yöntemleri de kullanılabilir. elektrik motorlarının üç fazlı elektrik girişine bağlanmasını ve bu bağlantıların temel sürüş tekniklerinden biri olan "yıldız" veya "üçgen" bağlantı yöntemleri ile

gerçekleştirilebileceğini açıklar. Bu bağlantı yöntemleri, motorun çalışma şeklini ve hızını kontrol etmek için kullanılır. "Yıldız" ve "üçgen" bağlantıları, motorun dönme yönünü, hızını ve gücünü etkileyen temel parametrelerdir. Bu nedenle, bu basit bağlantı teknikleri, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır ve motorların çalışma şeklini ayarlarken elektrik sistemi üzerinde minimal karmaşıklık sağlarlar. Faz uçlarının bir ortak uç olarak bağlanırsa şebeke geriliminin 1/3 kadarı sarımlara gönderilir (yıldız bağlantı). Motor sarmıların faz uçları birbirini takip edecek şekilde bağlanırsa şebeke geriliminin kendisi motor sarmlarına uygulanmış olur (üçgen bağlantı). Elektrik motorlarının farklı bağlantı yöntemlerinin akım değerleri ve performansları üzerindeki etkisini açıklar. İlk olarak, "yıldız bağlantı" ve "üçgen bağlantı" arasındaki akım değerlerine odaklanır. Yıldız bağlantıda, motor şebekeden çekilen akımın faz akımıyla aynıdır. Ancak üçgen bağlantıda, şebekeden çekilen akım faz akımının üçte biri kadardır. Bu, yıldız bağlantısının daha yüksek akım çektiği anlamına gelirken, üçgen bağlantısının daha düşük akım çektiğini gösterir. Daha sonra, cümlelerin son kısmı "kalkış torku"na odaklanır. Kalkış torku, bir motorun başlangıçta bir yükü kaldırma veya döndürme yeteneğini ifade eder. Cümlede belirtiliyor ki, yıldız-üçgen bağlantısı kullanılarak kalkış torku motorun nominal torkunun 1/3 kadar azaltılabilir. Bu, motorun başlangıçta daha az güç kullanarak yükü kaldırmasına veya döndürmesine olanak tanır. Elektrik motorlarının bağlantı yöntemlerinin akım değerleri ve başlangıçta tork sağlama kapasitesi üzerindeki farklı etkilerini açıklar. Bu bilgi, motorların belirli uygulamalara uygun şekilde yapılandırılmasına yardımcı olabilir.



Şekil 10 Yıldız-Üçgen Motor Bağlantısı (Anonim,2020)

Daha özelleştirilebilir yapılarından dolayı yumuşak yol vericiler tercih edilebilirliğini artırmaktadır. Yumuşak yol vericiler ile güç aktarım motorlarının daha verimli kullanılması, başlangıç torku imkânı, mekanik piklerinin oluşmaması bakım gerektirmemesi, tamamı bir anahtarlama mekanizmasından oluşması gibi sebeplerden dolayı tercih edilmektedir. Şekil 11’de karakteristiğini göstermektedir. Yumuşak yol vericiler, motorların başlangıç anındaki yüksek akım çekimini azaltarak elektrik ağına bindirme işlemi sırasında ani voltaj düşmelerini engellemeye yardımcı olur. VSD, motorun hızını kontrol etmenin ötesinde, motorun çalışma hızını istenen düzeyde değiştirmek için kullanılan bir ekipmandır. Bu, motorun çeşitli hızlarda çalışmasını ve bu hızları taleplere göre ayarlamasını sağlar. Değişken hız sürücüler, sabit hızlı motorlara göre daha yüksek enerji verimliliği sağlar. Motorun işletim hızını taleplere göre optimize etmek, enerji tüketimini azaltır ve böylece enerji tasarrufu sağlar. VSD’ler, motorların daha yumuşak bir şekilde başlatılmasını ve durdurulmasını sağlar. Ayrıca, motor ivmesini ve torkunu hassas bir şekilde kontrol etmeye olanak tanır. Bu, motorun daha hassas ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. VSD’ler, motorun hassas konumlandırma gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Bu, endüstriyel makinelerin veya robotik sistemlerin daha hassas ve doğru bir şekilde pozisyonlandırılmasını sağlar.



Şekil 11 Yumuşak Yol Vericinin Motor Başlangıç Akımına Etkisi

3.1.4 Kompresör Kontrol Metotları

Sanayii ortamında kullanılan kompresörlerin tam zamanlı ve tam kapasite çalışma saklığı nadir görülmektedir. Kompresörün çalışmasının kontrol yöntemi doğrudan etkilemektedir.

3.1.4.1. On/off kontrol

Doğru kullanıldığı zaman en etkili yöntem olmakla beraber en ilkel yöntemlerden biridir. Basınç tankın çıkışına yerleştirilen bir basınç anahtarı ile kompresöre güç aktaran motorun çalıştırıp durdurulması yöntemidir. 30 Hp daha küçük motora sahip kompresörlerde kullanılması uygun bir yöntemdir. Güç aktarım motorunun sık durup çalıştırılacağından fazla ısı oluşup motor ömrünün kısa olmasının önüne geçmek maksadıyla uygun basınç tankı ve basınç anahtarının geniş basınç aralıklarına uygun şekilde ayarlanmasına özen gösterilmelidir.

3.1.4.2 Yükleme/boşta çalıştırma

Basınç tankında istenilen basınç aralığına ulaşıldığında kompresör emiş valfi kapatılır ve böylece güç aktarım motoru yükten çekilmiş olur. Birçok motor, iş yükü olmadığında veya minimum yük altında çalışmaya devam eder. Bu durum, motorun iş yapmamasına rağmen çalışır durumda olduğu anlamına gelir. Motor, boşta çalışırken bile enerji tüketmeye devam eder. Bu, motorun tam yükte çalıştığı durumda harcadığı enerjinin bir kısmını gereksiz yere tüketmesi anlamına gelir. Boşta çalışma sırasında motorun harcadığı enerji, genellikle tam yükte çalışma sırasında harcadığı enerjinin bir yüzdesine denk gelir. Bu nedenle boşta çalışma süresince enerji israfı yaşanır. Bu tür enerji israfını önlemek ve enerji verimliliğini artırmak için motorların yük altında çalışmadığı durumlarda otomatik olarak kapanmasını veya daha düşük güç seviyelerinde çalışmasını sağlayan enerji yönetimi sistemleri kullanılabilir. Bu, enerji tasarrufu sağlar ve işletme maliyetlerini düşürebilir. Motorların gereksiz yere enerji tüketimi, enerji kaynaklarının israf edilmesine ve çevresel etkilere neden olabilir. Bu nedenle enerji tasarrufu önlemleri, sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlar. Motorun boşta çalışmasını engellemek için çalışma zamanını ölçen zamanlayıcılar takılarak motorun durdurulması sağlanarak enerji verimliliği artırılır.

3.1.4.3 Modülasyon

En verimsiz kontrol yöntemlerinden biri olup sadece yağ püskürtmeli vidalı kompresörlerde kullanılmaktadır. Emiş düzenleyicisi üzerinden alınan hava sınırlandırılarak debisi ayarlanır. Tam modülasyon uygulanmış bir kompresörde çalışması esnasında tüketilen enerjinin %70'ini tüketmeye devam etmekte olduğu görülmüştür. Ancak bir basınç anahtarı vasıtasıyla enerji tüketimi biraz daha düşürülebilmektedir.

3.1.4.4 Değişken deplasman

Yağ püskürtmeli vidalı kompresörlerin çıkışları spiral, döner v.b. valfler ile özel kontrol altına alınabilir. Kompresöre güç sağlayan motoru durdurup çalıştırmadan veya boşa almadan hassas ayar yapıp enerji verimliliği sağlanabilir. Kompresörün orta seviye ve üzerinde yükte çalışırken oldukça etkili olan bu yöntem daha düşük sevi çalışmalarda basınç anahtarı kullanımı enerji verimliliği açısından uygundur.

3.1.4.5 Değişken hız sürücüsü (VSD)

Basıncı sabit tutmak için yağ püskürtmeli veya yağsız vidalı kompresörlerde tercih edilen çok yaygın bir yöntemdir. Bir frekans invertörü vasıtasıyla değişken basınçlı hava ihtiyaçlarına cevap verebilmek için değişken hız sürücüsü ile güç aktarım motor hızı ayarlanır On/off kontrol, motorun tamamen açık (yükte) veya tamamen kapalı (boşta) olduğu bir kontrol yöntemidir. Bu basit kontrol yöntemi, motorun ihtiyaç duyulmadığı durumlarda tamamen kapanarak enerji tasarrufu sağlar. Bu kontrol stratejisi, motorun iş yüküne bağlı olarak hızını ayarlar. Yük altında çalışırken motor tam hızda çalışırken, boşta çalışırken hızını düşürür veya motoru tamamen kapatır. Bu, enerji verimliliğini artırır çünkü gereksiz enerji sarfiyatını önler. Sürekli tam kapasite çalışan sistemlerde VSD sistemi %5'lik invertör kayıpları sebebiyle fazla enerji sarfiyatına sebep olabilir. VSD yönteminin özellikle kısmi yük durumlarında kullanılması gerekli olan bir yöntemdir.

3.2 Yardımcı Ekipmanlar

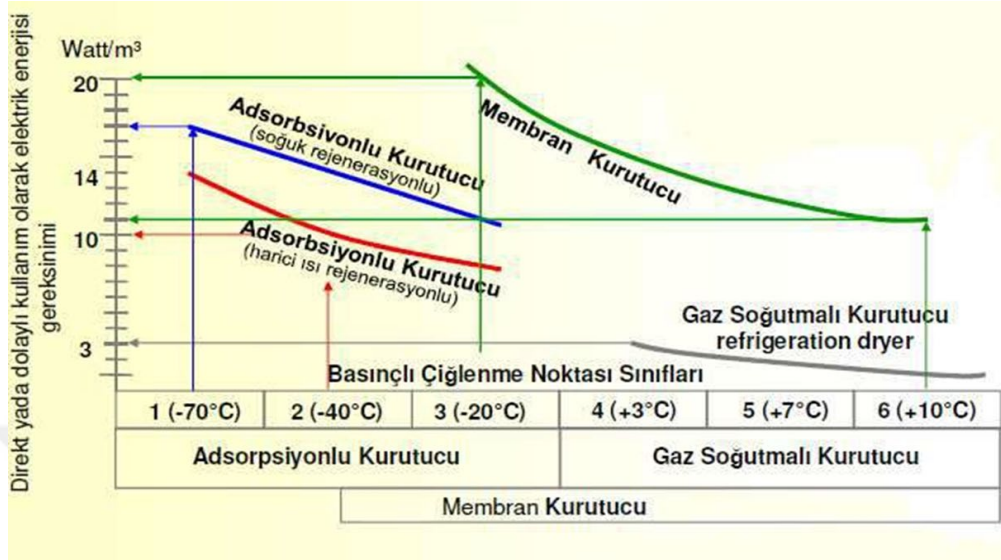
3.2.1 Hava Kurutucuları

Ortam sıcaklığından yüksek ve neme tam doymuş durumda olan çıkış soğutucusundan çıkmış olan hava dağıtım hattı boyunca ilerledikçe soğur ve yoğunlaşarak sıvı hale dönüşür. Bu nedenle, sonuç olarak, Şekil 12'deki örneklerde olduğu gibidir.



Şekil 12 Nemli Havanın Kullanım Sonuçları (Kaya,2014)

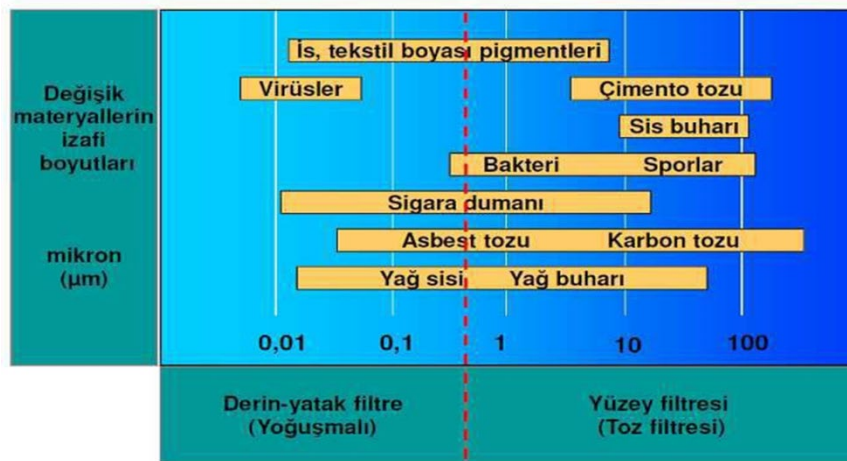
Basınçlı hava endüstrisinde sıklıkla karşılaşılan kurutucu türleri genellikle emici kurutucular ve membran kurutuculardır. Bahsi geçen kurutucu Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13 Kurutucu Basınçlı Çiğlenme Noktası Sınıfları (Kanoğlu,2010)

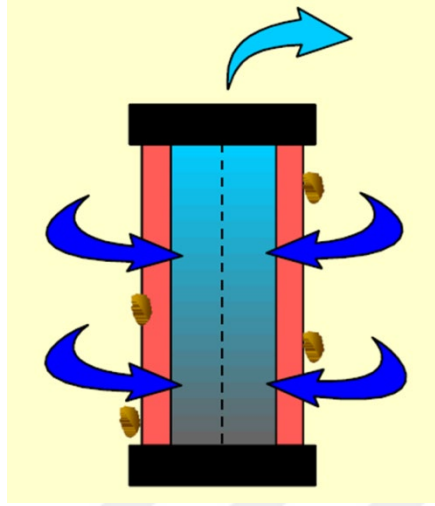
3.2.2 Basınçlı Hava Filtreleri

Şekil 14'te gösterildiği gibi, basınçlı hava içindeki parçacıklar, boyutlarına bağlı olarak farklı filtreleme yöntemleri kullanılarak temizlenirler. Filtreleme yöntemi parçacıkların büyüklüğüne göre değişiklik göstermektedir. 0.5 mikrondan büyük parçacıklar mekanik olarak filtrelenirken daha küçük parçacıklar için ise derin yatak filtreleri kullanılır.



Şekil 14 Filtreleme Spektrumu (Karataş,2012)

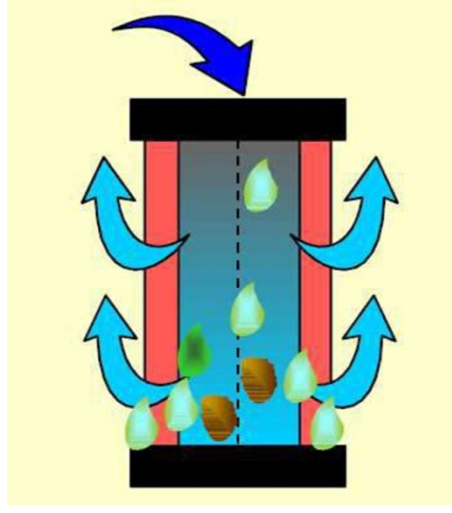
Şekil 15’de görüldüğü gibi gerçekleşir. Filtreleme yönteminde basınç kaybına sebebiyet vermemek için bakım periyotlarına dikkat edilmelidir.



Şekil 15 Yüzey Filtresi Yapısı (Anonim,2018)

Derin yatak filtreleri olarak da adlandırılan mikro filtreler, Şekil 16’da gösterildiği gibi içten dışa doğru hava akışına sahiptir. Genellikle 0.5 mikrondan daha küçük parçacıkların filtrelenmesi için kullanılırlar. Bu tür filtreler, özellikle çok küçük partiküllerin hava veya sıvı akışından ayrılmasını sağlar. Bu tür filtreler, farklı parçacık büyüklüklerini filtrelemek için üç temel yöntemi kullanabilir:

- **Doğrudan Temas:** Bu yöntemde, parçacıklar doğrudan filtrenin yüzeyine yapışır veya temas eder. Bu, daha büyük parçacıkların fiziksel olarak filtreye yaklaşmasını ve yapışmasını içerir.
- **Sızma:** Sızma, filtrenin iç yapısının veya gözeneklerinin, parçacıkların geçişine izin vermeyecek kadar küçük olduğu bir mekanizmadır. Bu, özellikle küçük parçacıkların filtrelenmesi için etkili bir yöntemdir.
- **Difüzyon:** Difüzyon, gaz moleküllerinin rastgele hareket ederek parçacıkların filtreye ulaşmasına yol açan bir süreçtir. Bu, çok küçük parçacıkların filtreye yaklaşmasını sağlar.



Şekil 16 Derin Yatak Filtresi Yapısı (Anonim,2018)

3.2.3 Basınçlı Hava Tankları

Basınçlı hava tankları, basınçlı hava sistemlerinde depolama ve dengeleme işlevi görür. Bu tanklar, basınçlı hava üretimini ve tüketimini dengeleyerek sistemin istikrarını sağlar. Tankların yeterli kapasiteye sahip olması ve sayılarının doğru şekilde belirlenmelidir. Bu, sistemin taleplerini karşılayabilmesi ve dalgalanmalara karşı dayanıklı olabilmesi için kritiktir. Doğru miktarda ve kapasitede basınçlı hava tankları kullanmak, sistemin verimli çalışmasını destekler ve basınçlı hava sisteminin enerji tüketimini optimize eder, işletme maliyetlerini düşürür. Basınçlı hava tankları ayrıca hava kalitesini korumada da önemlidir. Bu tanklar, havadaki nem ve kirleticilerin bir kısmını uzaklaştırarak, basınçlı hava kalitesini yükseltir. Basınçlı hava tankları, ani ve büyük basınç dalgalanmalarını önler. Sistemin hasar görmesini veya hava tüketen cihazların performansının düşmesini engeller. Kullanım amacına bağlı olarak yatay veya Şekil 17'deki gibi dikey bir konumda üretilebilirler. Tankların üzerinde standart donanımlar mevcut olup genellikle primer ve secondar hava tankları olmak üzere iki grupta incelenir.

Kompresöre yakın konumda olup genellikle sistemin deposu olarak görev yapan tanklar birincil hava tanklarıdır.

Basınçlı hava tankları doğrusal kompresörlerde saflaştırılması için uygun ortam oluşturulmasında, basınçlı gaz ihtiyacının maksimum seviyeye ulaştığı durumlarda ekstre bir sisteme ihtiyaç duymadan gerekli basıncı sağlamada, vidalı kompresörlerin ürettikleri basınçları kontrol altında tutarak daha kararlı bir sistem oluşturulmasında etkin rol oynamaktadırlar.

Primer hava tanklarının kurutuculara göre konumunun da sistem için büyük önem arz etmektedir. Kurutucudan sonra bağlanan primer hava tankı, depoladığı işlem görmüş

havayı artışlara karşı eş zamanlı olarak karşılamaktadır. Kurutucudan önce yerleştirilen primer hava tankı ani değişimlerde işlem görmüş havayı kurutucuya gönderdiğinden kurutucu aşırı yüklenmelere maruz kalma ihtimali olduğundan sistem verimsizleşip fazla enerji tüketimine neden olmaktadır.

Son kullanım noktalarına yakın yerlere yerleştirilen hava tankları secondar hava tanklarıdır. Sistem basıncının kararlılığını, süresiz geniş bantta basınçlı hava sağlanması, geçici basınç düşmelerine karşı hassas ekipmanların korunmasında secondar hava tanklarının önemi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 17 Dikey Konumlandırılmış Hava Tankı [Anonim,2019]

3.2.4 Ayrıştırıcılar ve Kondensat Tahliyeleri

Hava ile birlikte sisteme alınan sıvı moleküllerinin ayrıştırılması ayrıştırıcılar vasıtasıyla gerçekleştirir. Basıncı artırılmış havadaki nemi almak üzere çıkış valflerinden sonra soğutucu yerleştirilir.

Yoğunlaşmış madde tahliyesi amacıyla kurutucularda ve hava tanklarında biriken sıvı maddelerin sistem dışına çıkarılması filtreler vasıtasıyla gerçekleşir.

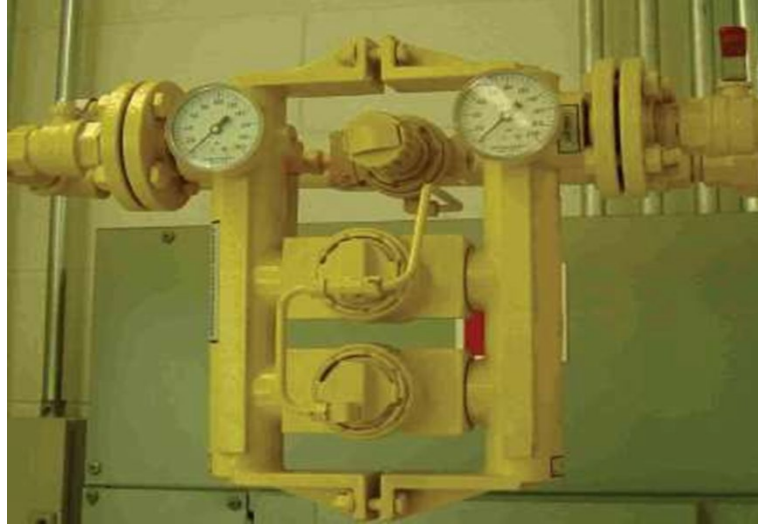
Kondensat tahliede; manuel boşaltım, şamandıra ile boşaltım olmak üzere dört farklı seçenek bulunmaktadır. Kondensatların el ile sistem dışına atılmasına manüel tahliye denir. Bu tahliye yönteminde yoğunlaşmış madde ile birlikte sistem dışına basıncı hava da çıkacağından verim de düşmüş olacaktır.

Ancak çalışıp çalışmadığına karar vermek, yoğunlaşmış madde birikiminden dolayı sıkça tıkanmalar ve bakımın çok zor ve külfetli olduğundan tercih edilebilir bir tahliye yöntemleri arasında yer almamaktadır.

Zaman kontrollü solenoid valfler, belirli bir zamanda açılma ve kapanma zamanlaması gereken uygulamalarda kullanılan elektromekanik valflerdir. Bu valfler, bir elektrik sinyali kullanarak bir solenoid (elektromıknatıs) tarafından kontrol edilirler. İşte zaman kontrollü solenoid valflerin bazı temel özellikleri: Bu valfler, belirli bir zaman diliminde açılır veya kapanır. Zamanlama, genellikle uygulamanın gereksinimlerine ve işleme ihtiyaca göre ayarlanabilir. Solenoid valfler, elektromıknatısın etkisi altında çalışır. Elektrik akımı uygulandığında solenoid aktive olur ve valfin açılmasını veya kapanmasını sağlar. Zaman kontrollü solenoid valfler, birçok endüstriyel ve otomasyon uygulamasında kullanılır. Örneğin, su veya gazın belirli aralıklarla akışını kontrol etmek, otomasyon sistemlerinde kullanılan zamanlı işlemleri gerçekleştirmek için kullanılır. Bu valfler, zamanlama açısından yüksek hassasiyet sunar ve belirli bir süre boyunca istikrarlı bir şekilde çalışabilirler. Bu nedenle zamanlama gereksinimleri olan uygulamalarda güvenilir bir seçenek olarak tercih edilirler. Zaman kontrollü solenoid valfler, sulama sistemleri, otomotiv üretimi, gıda işleme endüstrisi, kimya endüstrisi ve daha birçok alanda kullanılabilirler. Örneğin, belirli aralıklarla sıvı veya gazın pompalanması gereken uygulamalarda bu valfler sıklıkla kullanılır. Bu valfler, belirli bir zaman dilimi içinde doğru ve tekrarlanabilir işlemler yapılması gereken birçok endüstriyel uygulama için önemlidir. Elektronik kontrollü tahliyeler ise biriken yoğunlaşmış madde miktarını elektronik olarak kontrol ettiğinden sadece gerekli olduğu kadar tahliye vanaları açılır ve sistemde hava kaçağı görülmez.

3.2.5 Debi Kontrolleri

Kompresör odaların çıkış noktalarında sistem basıncını kullanılan debi kontrolörleridir. Bu üniteler Şekil 18'deki gibi gaz basıncı. Daha verimli hava basıncı ve kararlılığı elde etmek amacıyla bu tür vasıtalar kullanılır.



Şekil 18 Pnömatik Debi Kontrolörü

3.2.6 Hava Dağıtım Sistemleri

Merkezi basınçlı havanın kullanıldığı bir endüstride basınçlı havanın üretilmesi kadar dağıtılması da büyük önem arz etmektedir. Dağıtımın en pratik ve verimli yöntemi ise üretim kaynağından son kullanım noktasına kadar döşenecek basınca dayanıklı borular vasıtasıyla gerçekleşmelidir. Hava dağıtım sistemleri, genellikle ring veya ana boruya bağlanan yan kollar şeklinde tasarlanır. Ring hatlarında hava akışı çok yönlü olduğundan, boru kesitleri yarıya indirilebilir. Ring hatlarında bağımsız çok fazla hava tüketim noktaları var ise secondar tanklarla basınç dengelemesi sağlanmalıdır.

Ana borudan çıkan yan hatlar vasıtasıyla dağıtım yapılacak ise ikincil boruların kesitler ana borudan daha küçük olmalıdır.

Bağımsız yüklü enerji tüketimlerinin olduğu yerlerde tercih edilen bağımsız lokal basınçlı hava istasyonlarıdır.

4. OTOMOTİV ANA SANAYİ TESİSİ BASINÇLI HAVA SİSTEMİNDE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

Enerji tüketiminin izlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda, işletmelerin enerji verimliliğini iyileştirmek ve enerji israfını azaltmak için başlamak için birinci adım basınçlı hava analizi yapmaktır. Basınçlı hava sistemlerinin analizi, enerji tüketiminin gözden geçirilmesi ve enerji tasarrufu fırsatlarının belirlenmesi için kritik öneme sahiptir. İşte bu tür analizin neden önemli olduğu ve nasıl yapılacağına dair bazı önemli noktalar: Öncelikle, mevcut basınçlı hava sistemleriyle ilgili mevcut verileri toplamak ve değerlendirmek önemlidir. Bir basınçlı hava analizi, sistemin nasıl çalıştığını, enerji tüketimini ve verimliliği daha ayrıntılı bir şekilde incelemenizi sağlar. Bu analiz, hava sızıntılarını, basınç kayıplarını ve gereksiz enerji tüketimini tespit etmeye yardımcı olabilir. Analiz sonuçlarına dayanarak, enerji tasarrufu fırsatlarını belirlemek mümkün olur. Bu, sıkıştırılmış hava üretiminin ve kullanımının nasıl iyileştirilebileceğini anlamak anlamına gelir. İşletme için en büyük enerji tasarrufu potansiyeline sahip alanları belirlemek, yatırım kararlarını yönlendirmek için önemlidir. Öncelikle basınçlı hava sistemlerindeki en büyük enerji israfına odaklanmak, daha hızlı geri dönüşler ve daha büyük tasarruflar sağlayabilir. Analiz sonuçlarına dayanarak, gerekli iyileştirmeleri yapmak için yatırımları planlamak önemlidir. Bu, daha verimli kompresörlerin kullanılması, sızıntıların onarılması ve sistem basıncının optimize edilmesi gibi önlemleri içerebilir. Basınçlı hava analizi yapmak, enerji verimliliğini artırmak ve enerji tasarrufu sağlamak için temel bir adımdır. Ayrıca, işletmelere enerji tüketimi ve israfı hakkında daha iyi bir anlayış kazandırarak, enerji yönetimi stratejilerini geliştirmelerine yardımcı olur.

Bu çalışma çerçevesinde, Türk Traktör Ankara Fabrikası'nın durumu analiz edilmiş ve tasarruf potansiyelleri tespit edilmiştir. Şekil 19'da görülen metodoloji, çalışmanın izlediği yaklaşımı göstermektedir; bu metodoloji sayesinde aşamaları incelenmiş, uygulanabilir tasarruf fırsatları tanımlanmış ve kayıpları hesaplanmıştır.



Şekil 19 Çalışmada Takip Edilen Metodoloji

4.1 Ünite Sistem Tarifi

İşletmede mevcut durumdaki proses makinalarında kullanılmak üzere basınçlı hava sistemi bulunmaktadır. İşletmede bir adet kompresör dairesi bulunmaktadır. Mevcut durumda toplamda dört adet kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörlere ait fotoğraflar şekil-20’de gösterilmiştir.



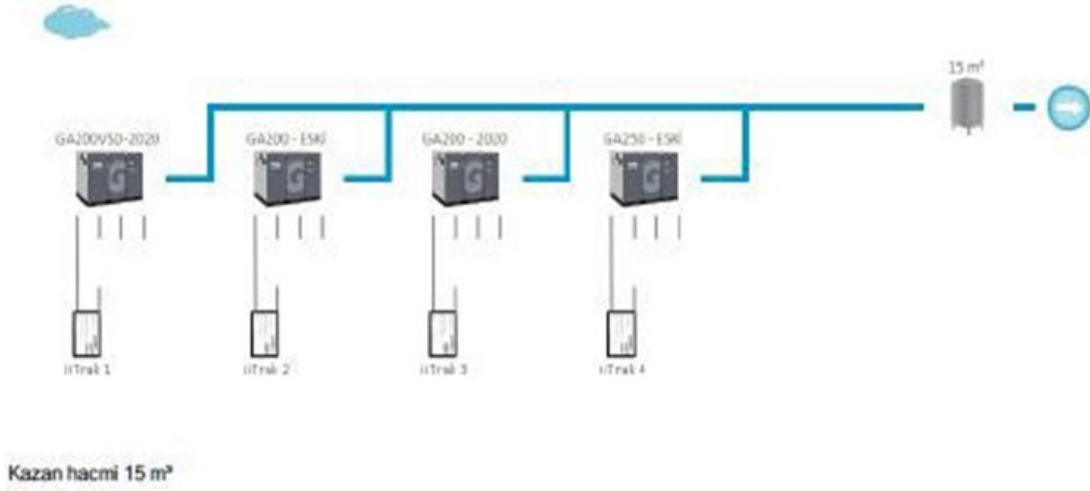
Şekil 20 Kompresörlerin Görüntüleri

İşletmede bulunan mevcut kompresörlerin etiket bilgileri Tablo-1’de gösterilmiştir.

Sıra No	Kompresör Markası	Kompresör Modeli	Güç (kW)	Kapasite (lt/s)	Max. Çalışma Basıncı (bar)	İşletme Basıncı (bar)	Hız Kontrolü	Toplam Çalışma Saati (h)	Yükte Çalışma Saati (h)
1	Atlas Copco	GA 200 VSD	200	687	8,5	7	İnvertörlü	6738	6738
2	Atlas Copco	GA 200	200	673	7,5	7	İnvertörsüz	33035	28431
3	Atlas Copco	GA 200	200	673	7,5	7	İnvertörsüz	6249	5795
4	Atlas Copco	GA 250	250	728	7,5	7	İnvertörsüz	49426	47902

Tablo 1 Mevcut Kompresörlerin Katolog Bilgileri

Saha gözleme sırasında fabrika bulunan 400 adet CNC tezgahın basınçlı hava ihtiyacını karşılamak için toplamda 4 adet olan kompresörlerden GA 250 ve GA 200 VSD olanın genellikle sürekli tam devirde çalıştığı bazı vardiyalarda üretime bağlı olarak GA 250 ile mevcutta bulunan yedek 2 adet GA 200 kompresörünün yetkili personeller tarafından manuel şekilde devreye alındıkları gözlenmiştir. Kompresör odasının sahada bulunan fiziki yerleşiminin PLC programlamasına yerleştirilen çizimi şekil-21’de gösterilmiştir



Şekil 21 Kompresörlerin PLC Programlamasındaki Yerleşimi

4.2 Kompresörler Ölçümleri

Kompresör odasında bulunan fabrikanın SCADA sistemine bağlı şekil 22’de gösterilen Schneider PM710 marka enerji analizöründe kompresör odasının enerji tüketim verileri alınmış ve şekil 23’ de gösterilmiştir.

Hava debisinin ölçülmesi, basınçlı hava sistemlerinin etkin bir şekilde çalıştığını doğrulamak ve performansı izlemek için önemlidir. Bahsettiğiniz yöntem, kompresör çıkışlarında hava debisinin ölçülmesi için kullanılan yaygın bir tekniktir. Hava debimetresi olarak şekil-24’de verilen PCE TDS-100 marka debimetre kullanılmıştır, alınan haftalık alınan veriler ise şekil-25’de verilmiştir.



Şekil 22 Ölçüm Alınan Enerji Analizörü

İlk Tarih: 09-05-2022 00:00:00
Son Tarih: 15-05-2022 00:00:00

TürkTraktör

No	Cihaz Adı	İlk Endeks	Son Endeks	Fark(kWh)
1	KOMPRESÖR	2,236,182.00	2,301,906.00	65,724.00
Toplamlar:		2,236,182.00	2,301,906.00	65,724.00



1 / 1

Şekil 23 SCADA Ekranından Alınan Enerji Ölçümü

Kompresör çıkışlarından yaklaşık 1 metre mesafede, hava debisini ölçeceğiniz bir nokta seçmelisiniz. Bu nokta, hava dağıtım sistemi ile ilgili önemli bir nokta olabilir. Seçilen noktada, hava debimetresi probunun takılacağı uygun boyutta bir delik açmanız gerekecektir. Deliğin boyutu, kullanacağınız hava debimetresi probunun gereksinimlerine bağlı olacaktır. Açılan deliğe hava debimetresi probunu takın. Bu prob, hava akışını doğrudan ölçecektir. Probun bağlantılarını sıkıca yerleştirin ve hava sızıntılarını önlemek için uygun bir bağlantı sağlayın. Şekil-24’de verilen PCE TDS-100 marka debimetre kullanılmıştır, alınan haftalık alınan veriler ise şekil-25’de verilmiştir.



Şekil 24 Ölçüm Alınan Debimetre



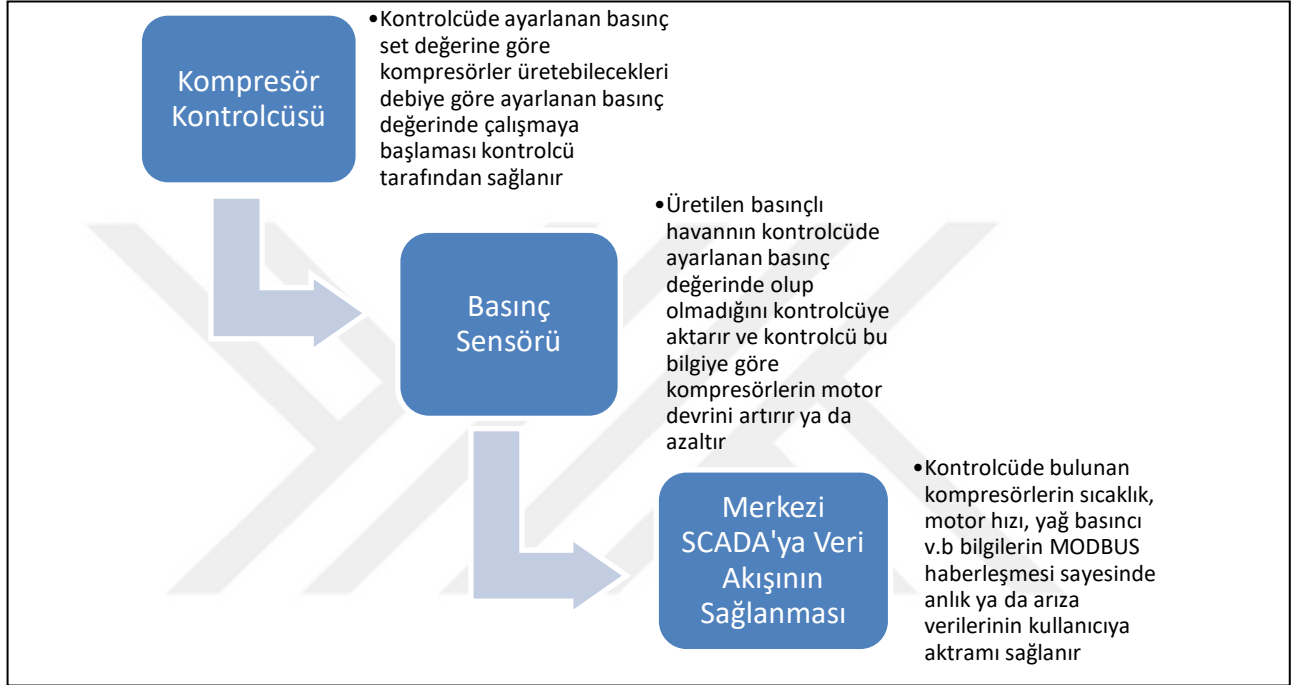
Şekil 25 Kompresör Haftalık Debi Değişim Grafiği

Haftalık enerji ve debi verileri incelendiğinde sürekli tam yükte çalışan GA 250 ve GA 200 VSD kompresörünün toplamda 1415 lt/s ürettiği ancak işletmede ki ihtiyacın ortalama 1300 lt/s olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kompresörlerin çalışma saatleri incelendiğinde eş yaşlanmalı çalışmadığı görülmüştür. Bu iki gözlem sonucunda gereksiz bir enerji ve işletme israfı görüldüğünden kompresörlerin bir kontrolcü yardımıyla haberleşme sistemi tasarımı uygulamasına geçilmeye karar verilmiştir.

4.3 Optimizasyon Sistemi Tasarımı

Kompresörlerin merkezi kontrolünün genellikle akıllı kontrol sistemleri tarafından yönetildiğini ve temel amacının belirli bir basınç seviyesini korumak ve sistem verimliliğini sağlamak olduğunu açıklıyor. Bu kontrol sistemi, iki temel bilgiyi kullanarak çalışır: birincisi, basınçtaki değişiklikleri zaman içinde tahmin edebilme yeteneği, ikincisi ise kompresör üzerindeki yükü algılama yeteneği. Kontrol sistemi, basınçtaki hızlı değişiklikleri tespit ederek bu bilgiyi kullanarak hava ihtiyacını tahmin eder. Bu sayede, sistem makinaları gereksiz yere çalıştırmadan veya durdurmadan önce önceden hesaplamalar yapabilir. Bu yaklaşım, enerji tasarrufu sağlamak ve sistem verimliliğini artırmak için kullanışlıdır. Dolayısıyla, bu akıllı kontrol sistemleri, kompresörlerin daha etkili ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlayarak işletme maliyetlerini azaltabilir. Şekil-26'da tasarlanan sistemde,

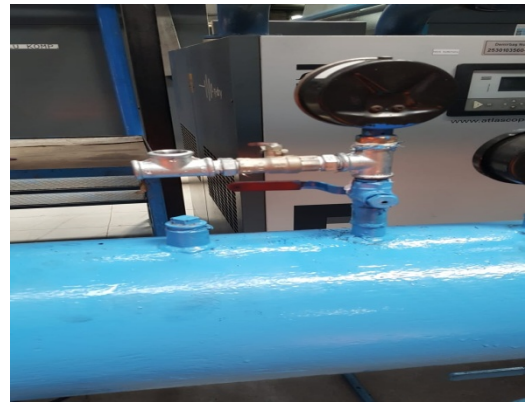
kompresörlerin basınçlı hava üretim kapasiteleri kontrolcü tarafından belirlenmiştir. Kontrolcü, ayarlanan basınç değerine göre kompresörleri başlatarak basınçlı hava üretimini yönetir. Üretilen basınçlı hava, fabrika içine verilmeden önce giriş ve çıkış kolektörüne yönlendirilir. Bu aşamada, Atlas Copco marka basınç sensörü kullanılarak basınç değeri analog olarak ölçülür ve şekil-28'de gösterildiği gibi bağlantısı yapılır. Kontrolcü, giriş-çıkış basınç değerlerinin ortalamasını alarak kompresörlerin motor devri ayar bilgisini bu ölçümlerden elde eder.



Şekil 26 Sistem Çalışma Diyagramı



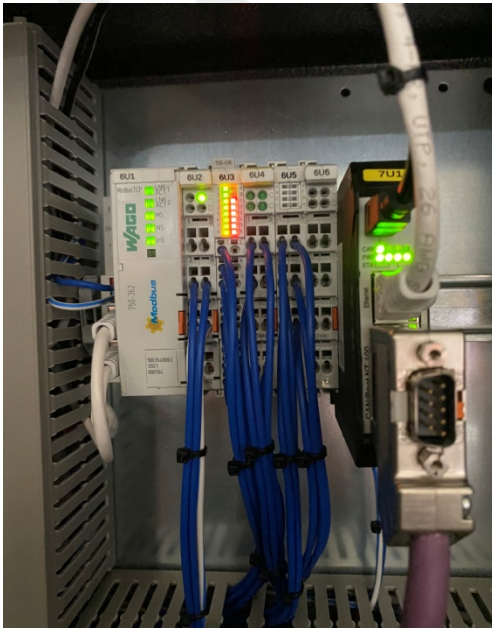
Şekil 27 Basınç Sensörü



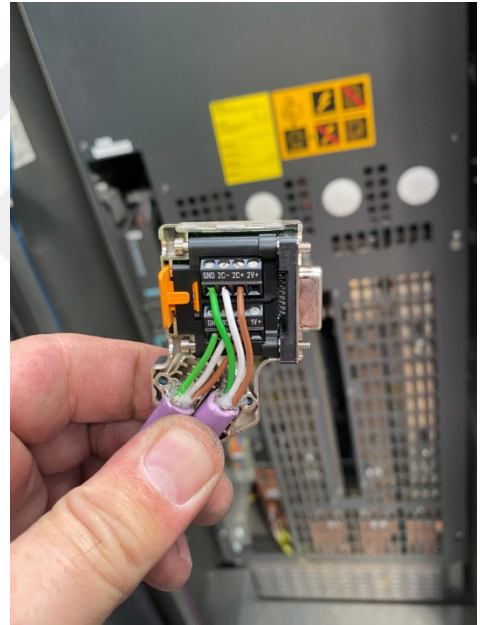
Şekil 28 Basınç Sensörü Bağlantı Noktası

Bir endüstriyel kompresör sisteminin işleyişini ve kontrolünü açıklıyor. Sistemde, kompresörler arasında bir dizi MODBUS haberleşme bağlantısı kurulmuş ve bu bağlantılar şekil-29'da gösterilen kontrol ünitelerine bağlanmıştır. Bu bağlantılar, kompresörlerin uzaktan kontrol edilmesine ve çeşitli önemli parametrelerin izlenmesine olanak tanır.

Bağlantılarda sarı uç toprak, kahverengi uç +24V ve beyaz uç sinyal taşıyan bir soket bağlantısı kullanılmış ve bu bağlantılar şekil-30'da gösterilmiştir. Soket bağlantıları, veri iletişimi ve kontrol işlevlerini yerine getirmek için kullanılır. Endüstriyel otomasyon ve kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan MODBUS haberleşme protokolünün ve bağlantıların kullanıldığı bir sistem hakkında bilgi vermektedir. Bu tür sistemler, uzaktan izleme, kontrol ve veri toplama gibi işlevleri gerçekleştirmek için önemlidir ve endüstriyel tesislerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

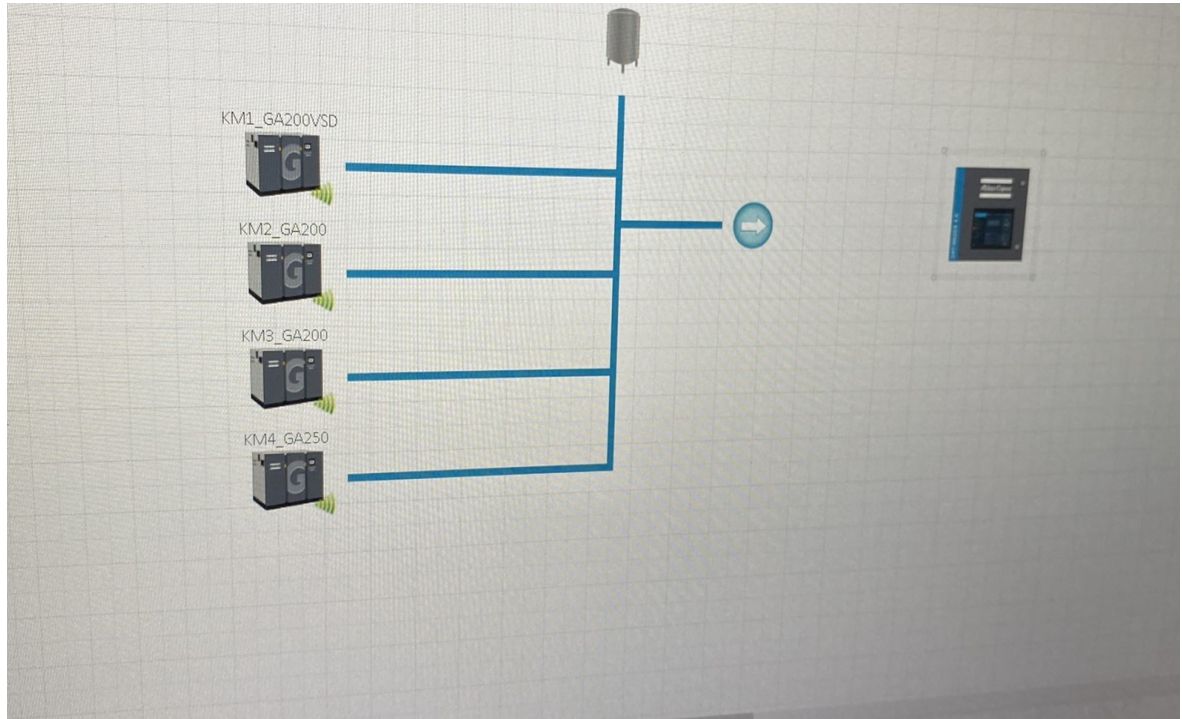


Şekil 29 Kompresör Kontrolcüsü



Şekil 30 Soket Bağlantı Gösterimi

Kompresörlerin birbirleriyle olan bağlantıları sonlandırıldı ve kontrolcünün basınç ölçüm ucu analog girişlere, kompresörlerin haberleşme ve veri okuma bağlantıları ise dijital girişlere bağlandı. Tüm kompresörler Atlas Copco markası olduğu için, veri kaybını önlemek ve uygun bir şekilde çalışmalarını sağlamak için Atlas Copco tarafından önerilen Wago markalı bir kontrolcü tercih edildi. Bu kontrolcü, Atlas Copco ürünlerinin tüm haberleşme protokollerini desteklediği için tüm kompresör verilerini paket halinde almayı kolaylaştırır. İlgili yazılımı etkinleştirmek için, program arayüzünden kompresörlerin çalışma diyagramını şekil-31'de olduğu gibi çizmek yeterlidir.



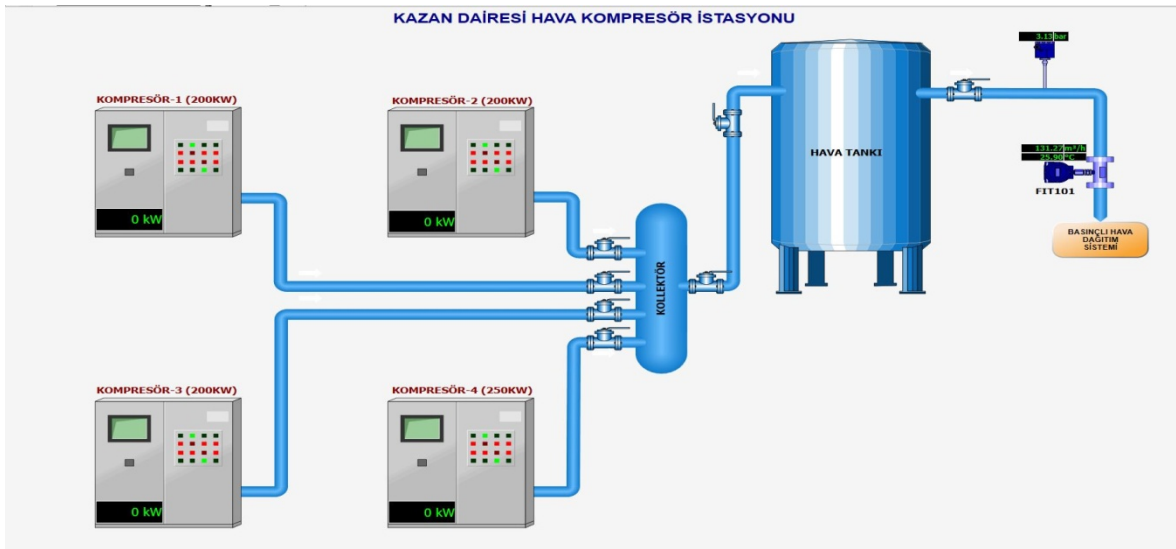
Şekil 31 Kompresör & Kontrolcü Bağlantı Diyagramı

Endüstriyel kompresör sisteminin etkin bir şekilde çalıştırılmasının ve izlenmesinin nasıl gerçekleştirildiğini özetliyor. Öncelikle, diyagramın çizilmesiyle kompresörlerin birbirleriyle haberleşmeleri ve uzaktan kontrolünün etkin hale getirilmesi sağlandı. Bu, sistem operatörlerinin uzaktan müdahale edebilme yeteneğini ve kompresörlerin verimli çalışmasını kolaylaştırır. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) sistemi ile ilgili verilerin izlenmesi için bir RS-485 bağlantısı kullanıldı ve MODBUS-RTU ile kompresör verilerinin eş zamanlı olarak fabrika ekranlarında izlenmesi sağlandı. Bu, tesis yöneticilerinin kompresörlerin performansını anlık olarak takip edebilme ve gerektiğinde müdahale edebilme imkanı sağlar. Bu tür bir izleme ve kontrol sistemi, tesisin verimliliğini artırmak ve arıza durumlarını hızla tespit etmek için kritik bir öneme sahiptir.

Contents of 'Group0'		
Item ID	Access Path	Value
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.accumulated_volume		21
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.actual_local_pressure_setpoint		7000
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.ambient_air		301
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.communication_timeout		30
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.compressor_motor_speed		1723
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.compressor_outlet		7063
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.compressor_outlet_temp		403
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.Controller_Mode		18
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.cooling_air_in		337
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.dp_air_filter		-11
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.dp_oil_separator		129
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.element_1_outlet_temp		896
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.energy_recovery_water_in		501
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.energy_recovery_water_out		454
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.fan_motor_speed		1499
COMPRESSORS.KM1_GA200VSD.General_Status		384

Şekil 32 MODBUS-RTU Aracılığı İle Gelen Veriler

Verilerin takibinin kolaylaştırmak için fabrikanın SCADA ekranında bir ara yüz şekil-33’de ki gibi tasarlanmış olup anlık izleme ve durumları gözlemlemek açısından kolaylık sağlamıştır. Tasarlanan arayüz, fabrikadaki kompresörlerin anlık enerji tüketimlerini izlemeyi mümkün kıldı. Bunun yanı sıra, dağıtım noktasındaki basınç sensöründen gelen basınç bilgisi ve üretilen debi miktarı da SCADA sistemi üzerinden anlık olarak görüntülenmeye dahil edildi. Bu sayede, tesis yöneticileri, enerji tüketimini ve sistemin performansını anlık olarak izleyebilirler. Bu izleme, tesisin enerji verimliliğini artırmak ve işletim verilerini daha etkili bir şekilde yönetmek için değerli bir araç sağlar..



Şekil 33 SCADA Ekranında Tasarlanan Arayüz

4.4 Kontrolcü Sistemi Veri Ekranları Analizi

Kompresörler üzerinden alınan tüm teknik ve enerji birimleri anlık olarak fabrikanın veri merkezine kayıt olmakta ve geçmişe yönelik analiz yapmaya olanak sağlamaktadır. Kompresör durumları, kompresör kullanımları, harcanan enerji ve hava kalitesi ayrı ayrı olarak gözlenebilmektedir.

4.4.1 Kompresör Durum Ekranı

Şekil 34’de gösterilen ekranda sisteme entegre olan 4 adet kompresörümüzün yükte & boшта durumlarını ve motor çalışma devirlerinin canlı olarak görüntüleyebilmekteyiz. Ayrıca basınç ölçüm noktalarından alınan basınç değerini sağlamak için kompresörlerin sağladıkları basınca oranla ne kadarlık bir debi sağladıkları yine anlık olarak görülebilmekte ve işletme sağlanan havanın enerji tasarrufu sağlanabilmesi için doğrusal bir uzantıda olduğunu anlamamız için eğri aktif olarak gösterimi sağlanmaktadır.



Şekil 34 Kontrolcü Durum Ekranı

4.4.2 Enerji Analiz Ekranı

Kompresörlerin çalışma sırasında basınçlı hava üretimi için harcamış oldukları enerjiyi Şekil 35’de görüldüğü gibi anlık olarak sunucu da kayıt ederek saatlik, haftalık, aylık ve yıllık enerji/maliyet analizi yapmayı kontrolcü sağlamaktadır. Böylelikle fabrikada ortaya konulan ürün miktarına ne kadarlık bir basınçlı hava ihtiyacı harcandığı görülmekte olup üretim veya sistemi geliştirici projeler ortaya çıkması sağlanmaktadır.



Şekil 35 Enerji Analiz Ekranı

4.4.3 Kompresör Kullanımı Analiz Ekranı

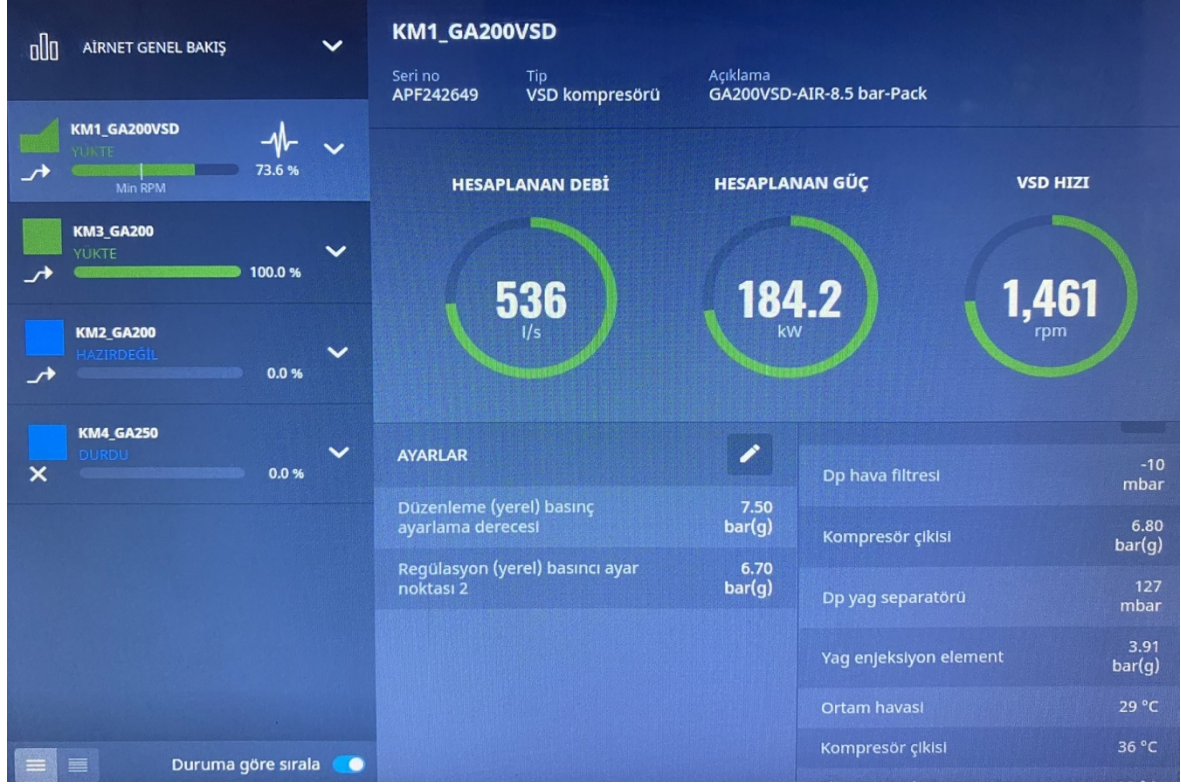
Şekil 36'da kompresörlerin ilgili basınç ölçümüne göre enerji tasarrufu sağlarken aynı zamanda eşit yaşlanmalı olarak çalışmaktadır. Ayarlanan set değerine göre ilgili kompresörler her gün kendi aralarında çalışma saati ayarlamasını otomatik yaparak işletme ve bakım maliyetlerini azaltıcı şekilde çalışmasını gerçekleştirmektedir.



Şekil 36 Kompresör Kullanım Analiz Ekranı

4.4.4 Kompresör Üzerindeki Teknik Veri Analizi

Kompresör üzerindeki sensörlerin ölçtü yağ basıncı, akış hızı, üretti basınç, seperatör sıcaklığı gibi verilerin eş zamanlı olarak kontrolcü ekranına aktarımı da sağlanarak kullanıcıların verileri izlemesini ayarlanan değerler arasında bir sapma olduğundan alarm oluşturulacak ekran şekil 37’de ki gibi izlenebilmektedir



Şekil 37 Kompresör Teknik Analiz Ekranı

Kompresörlerin ürettiği hava miktarının ölçüm noktasından alınan basınç verisiyle üretilen debiyi karşılaştırılabilen ve aynı zamanda harcanan enerjiyi de görebildiğimiz veri karşılaştırabileceğimiz şekil 38’de ki ekran oluşturulmuştur. Böylelikle işletmeye verilen havanın kayıp miktarı ve verim düşüşü gözlenebilmektedir.



Şekil 38 Kompresör Kullanım Analiz Ekranı

4.4.5 Kompresörler Servis & Bakım Durumu Takip Ekranı

Kompresörlerin çalışma saatleri ve seri numaraları şekil 39’da gösterildiği gibi kontrolcüde kayıtlı olarak bulunduğundan ilgili bakım zamanı geldiğinde uyarı vererek işletme personelinin bakım süreçlerini yönetmesine kolaylık sağlamaktadır.

Airnet	SERVIS PLANI		SERVIS GÜNLÜĞÜ				
	SERVIS PLANI		SERVIS GÜNLÜĞÜ				
	MAKİNE	SERİ NO	ÇALIŞMA SAATI	SERVIS DURUMU	SONRAKİ SERVİS TİPİ	SERVİSE KALAN SAAT	SERVİSE KALAN TAHMİNİ GÜN
KM1_GA200VSD	KM1_GA200VSD	APF242649	11,444 h	Zamanı Geldi	A	557	33 gün
KM2_GA200	KM2_GA200	ATF044762	35,092 h	Zamanı Geldi	A	920	204 gün
KM3_GA200	KM3_GA200	APF242654	10,722 h	Zamanı Geldi	C	1163	69 gün
KM4_GA250	KM4_GA250	APF136473	51,642 h	Zamanı Geldi	A	554	250 gün

Şekil 39 Kompresör Servis & Bakım Takip Ekranı

5. ENERJİ VERİMLİLİĞİ HESAPLAMALARI

Tesiste yeni devreye alınan kontrolcü sayesinde, üretim sırasında aktif olarak çalışan kompresör sayısı 2'den 1 invertörsüz kompresör ve 1 invertörlü kompresörün yarım yükte çalışması şeklinde düzenlenmiştir. Bu sayede tesisin ihtiyacı olan basınçlı hava üretimi daha verimli bir şekilde sağlanmış ve kompresör sayısı 1,5'e indirilmiştir. Bu önemli değişiklik, hem enerji verimliliğini artırarak enerji tasarrufu sağlamış hem de tesisin çalışma maliyetlerini optimize etmiştir. Bu dönüşümün etkileri şekil 40'ta önce ve şekil 41'de sonra olarak görsel olarak sunulmuştur.

İlk Tarih: 09-05-2022 00:00:00
Son Tarih: 15-05-2022 00:00:00

TürkTraktör

No	Cihaz Adı	İlk Endeks	Son Endeks	Fark(kWh)
1	KOMPRESÖR	2,236,182.00	2,301,906.00	65,724.00
Toplamlar:		2,236,182.00	2,301,906.00	65,724.00



1 / 1

Şekil 40 Kontrolcü Bağlantısı Öncesi Enerji Tüketimi

İlk Tarih: 13-06-2022 00:00:00
Son Tarih: 19-06-2022 00:00:00

TürkTraktör

No	Cihaz Adı	İlk Endeks	Son Endeks	Fark(kWh)
1	KOMPRESÖR	2,595,718.00	2,653,821.00	58,103.00
Toplamlar:		2,595,718.00	2,653,821.00	58,103.00



1 / 1

Şekil 41 Kontrolcü Bağlantısı Sonrası Enerji Tüketimi

Kontrolcü bağlantısının öncesi ve sonrasında elde edilen bir haftalık veriler, üretimin aynı hızda devam ettiği dönemde kaydedilen verilerdir. Bu veriler, projenin enerji tasarrufunu hesaplamak için kullanıldı. Aşağıdaki formül ile yıllık enerji tasarrufu hesaplandı.

Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh/yıl) = (Proje öncesi bir haftalık tüketim (kWh) - Proje sonrası bir haftalık tüketim (kWh)) x Yıllık hafta sayısı

Bu hesaplama göre yıllık enerji tasarrufu 396.292 kWh/yıl olarak belirlendi.

Proje, Mayıs 2022'de devreye alındığı için Mayıs ayındaki sanayi elektrik birim fiyatı 2,15 TL/kWh olarak kabul edildi. Bu birim fiyat ile yıllık enerji tasarrufu maliyeti hesaplandı ve 852.027 TL/yıl olarak bulundu.

Ayrıca, projenin sera gazı emisyonlarını azalttığı da göz önüne alındı. Yıllık CO₂ emisyon tasarrufu hesaplaması şu şekildedir:

Yıllık CO₂ Emisyon Tasarrufu (TON) = Enerji miktarı (kWh) x Dönüşüm katsayısı (kg/kWh)

Yıllık CO₂ Emisyon Tasarrufu (TON) = 396.292 kWh x 0,466 kg/kWh / 1000 = 185 TON

Projenin yatırım maliyeti 278.967 TL olarak hesaplandı ve elde edilen enerji tasarrufu ile basit geri ödeme süresi hesaplandı:

Geri Ödeme Süresi (yıl) = Yatırım maliyeti (TL) / Tasarruf tutarı (TL/yıl)

Geri Ödeme Süresi (GÖS) = 278.967 TL / 852.027 TL/Yıl = 0,3 Yıl

Bu proje aynı zamanda kompresörlerin aynı yaşta olmasını sağlayarak, tüm kompresörlerin aynı yıl içinde hem ağır bakımlarını hem de rutin bakımlarını yapma olanağı sağlamıştır. Bu sayede işletme bakım maliyetlerinde tasarruf sağlandı.

Sonuç olarak, bu tasarruflar hem işletme hem de çevre için olumlu katkılar sağlayarak sürdürülebilirlik açısından önemli bir adımı temsil etmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Türk Traktör Fabrikası'nda bulunan basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği üzerine bir değerlendirme ve geliştirme çalışmasını ele almaktadır. Araştırmanın ana amacı, teknolojik ve ekonomik perspektiflerden bu sistemin verimliliğini artırmak ve sürdürülebilirlik sağlamaktır. İşte çalışmanın temel bulguları ve yaklaşımları: Çalışma, mevcut basınçlı hava sisteminin enerji verimliliğini incelemek için ölçüm ve incelemeleri içermektedir. Bu adım, sistemin mevcut durumunu anlamak için gereklidir. Sistemdeki enerji kayıpları, kompresörlerin ürettiği basınçlı hava ihtiyacı ile tüketilen basınçlı hava miktarı arasındaki farkı belirleyerek tanımlanmıştır. Bu kayıpların tespiti, enerji tasarrufu potansiyelini gösterir. İhtiyaca dayalı çalışmayı sağlamak amacıyla sistem tasarımı değiştirilmiştir. Bu, gereksiz enerji tüketimini azaltmak için kritik bir adımdır. Enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanmasının ardından, elde edilen tasarruf miktarı ve bu tasarrufun parasal değeri hesaplanmıştır. Bu, projenin ekonomik etkilerini gösterir. Araştırma, basınçlı hava sistemi verimliliğini artırmak için belirli bir metodolojiyi izlemiştir. Bu, adımların düzenli ve sistematik bir şekilde takip edilmesini sağlar. Çalışma, enerji verimliliğini artırmak için teknolojik yaklaşımı ele almıştır. Ancak, yönetsel ve politika bazlı yaklaşımların da verimlilik çalışmalarında önemli bir rol oynadığına dikkat çekilmiştir. Personelin bilinçlendirilmesi, enerji yönetim sisteminin kurulması ve enerji politikalarının hazırlanması gibi adımlar da verimliliği artırabilir.

Çalışma, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından önemli bir konuya odaklanmıştır. Sadece ekonomik değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal açıdan da olumlu etkiler sağlamaktadır.

Bu çalışma, Türk Traktör Ankara Fabrikası'ndaki basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği üzerine yapılan bir projeyi özetlemektedir. İşte bu çalışmanın ana sonuçları ve yaklaşımları: Enerji ve İş Gücü Kaybını Ortadan Kaldırma: Türk Traktör Ankara Fabrikası'ndaki basınçlı hava sistemi üzerinde gerçekleştirilen bu çalışma, insana bağlı enerji ve iş gücü kayıplarını azaltmak amacıyla dijitalleşme temelli bir enerji tasarrufu projesini içermektedir. Bu projenin sonucunda, işletme yıllık enerji tüketiminde %8.3'lük bir tasarruf elde etmiştir. Kompresör Sistemlerinin Ayarları ve Alarm Ekranı: Yapılan çalışma, kompresör sisteminin ayarlarının yapılmasını ve %100 insandan bağımsız bir şekilde çalışmasını sağlamıştır. Ayrıca, herhangi bir arıza durumunda hızlı müdahale için bir alarm ekranı da dahil edilmiştir. Bu sayede enerji tasarrufu sağlanırken sistemin güvenliği ve verimliliği artırılmıştır.

Parasal Değer Hesaplamaları ve Öneriler: Çalışmada enerji kayıplarının parasal değeri hesaplanırken literatürde bulunan hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, tasarruf önlemlerinin uygulanmasının ardından elde edilen parasal kazanımların saha ölçümleri ile doğrulanması ve teorik hesaplamalarla karşılaştırılması önerilmektedir. Daha Fazla İyileştirme Potansiyeli: Basınçlı hava üretimi noktasında gerçekleştirilen bu tasarruf uygulamasının son kullanıcılar olan tezgah veya hatlar otomasyon sistemine dahil edilerek daha fazla tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca, bakım stratejilerinin çeşitlendirilmesi ve kestirimci bakımın daha fazla kullanılması enerji verimliliğini artırabilir.

Bu çalışma, enerji verimliliği açısından önemli sonuçlar doğurmuş ve gelecekte benzer projeler için yol gösterici olmuştur. Ayrıca, enerji tasarrufu konusunda bilinçli bakım ve yönetim stratejilerinin uygulanmasının önemini vurgulamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] TOFAŞ, Eren Soylu, Basınçlı Hava Kullanımında Enerji Verimliliği Teknik Rapor, Aralık 2017
- [2] Mühendis ve Makine, “*Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi*”, Syf 1-3, 2017
- [3] Anonim, 2017, Basınçlı hava sistemleri-Kılavuzu, Dalgakıran kompresör. İstanbul, 2017
- [4] Abdelaziz, E., A., Saidur, R. and Mekhilef, S., 2011, “*A review on energy saving strategies in industrial sector, Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, 15 (1), 150-168.
- [5] Güleç, M., 1999, “*Pnömatik sistemlerde tasarruf önlemleri ve yöntemleri*”, I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 269-293.
- [6] Kaya, D. ve Güngör, C., 2002, “*Sanayide enerji tasarrufu potansiyeli-I*” Mühendis ve Makine, 43 (514), 20-31.
- [7] Anonim, 2018, Basınçlı hava sistemlerinde enerji tasarrufu Özen kompresör, 2018
- [8] Çatak, E., 2005, “*Pnömatik sistemlerde enerji tasarrufu*” IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 249-260.
- [9] Üser, Y., Yalçın, M. A., Özen, Ş. ve Cerit, B., 2005, “*Endüstriyel bir tesisteki basınçlı hava üretim ve dağıtım sistemlerinde enerji tasarrufu analizi*”, IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 263-269.
- [10] Anonim, 2019, Basınçlı hava sistemleri tasarımı, Atlas Copco kompresör, 2019
- [11] Mendis, N., N., R., and Perera, N., 2006, “*Energy Audit: A case study*” International Conference on Information and Automation, 45-50.

- [12] Dalglish, A., Z., and Grobler, L. J., 2009, "" *Energy management opportunities on a compressed air system In a packaging facility*", Energy Engineering, Vol 103, No.4, 42-52.
- [13] Anonim, 2020, Basınçlı havada kullanılan ürünler, Özen kompresör, 2020
- [14] Yang, M., 2009, "*Air compressor efficiency in a Vietnamese enterprise*"Energy Policy, 37 (6), 2327-2337
- [15] Sheckler, M. S., 2009, "*Assessment of a compressed air system*" Energy Engineering, 104:1, 13-22.
- [16] Akkuş, N., 1986, Pnömatik temel ve uygulamaları, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 16-18.
- [17] Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V. and Stojiljković, M., 2012, "*Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography*" Measurement, 45 (7), 1689-1694.
- [18] Dindorf, R., 2012, "*Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air Systems*" Procedia Engineering, 39, 204-211.
- [19] Karataş, M. A., 2012, Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği, "*Bir çelik fabrikasının basınçlı hava denetleme çalışması*", Tesisat Mühendisliği, 132, 19-26.
- [20] McKane, A., Perry, W., ve Taranto T., 2016, Endüstriyel sistemlerde optimizasyon
- [21] Basınçlı hava sistemleri, Erdal Çalikoğlu, Atilla Bıyıkoglu, İsmail Coşkun, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, 20-201.
- [22] Zhang, B., Liu, M., Li, Y., and Wu, L., 2013, "*Optimization of an industrial air compressor system*", Energy Engineering, Vol. 110, No.6, 52-64.

- [23] Fan, Z., Shi, Y., Sun, J., and Cai, M., 2013, “A review of energy saving technologies on compressed air system”, 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 7880-7885.
- [24] Sapmaz, S., 2014, Basınçlı hava sistemlerinde enerji tasarrufu uygulaması, Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-23.
- [25] Sapmaz, S. ve Kaya, D., 2017, “Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği ve emisyon azaltım fırsatlarının incelenmesi”, Engineer and Machinery, 58 (689), 23-36
- [26] Mousavi, S., Kara, S. and Kornfeld, B., 2014, “Energy Efficiency of Compressed Air Systems”, Procedia CIRP, 15, 313-318.
- [27] Backlund, S., and Thollander, P., 2015 “Impact after three years of the Swedish energy audit program”, Energy, 82, 54-60.
- [28] Vittorini, D. and Cipollone, R., 2016, “Energy saving potential in existing industrial Compressors”, Energy, 102, 502-515.
- [28] Taheri, K. and Gadow, R., 2017, “Industrial compressed air system analysis: Exergy and thermoeconomic analysis”, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 18, 10-17.
- [29] Hürdoğan, E., Çerçi, K. N. ve Aksoy, M. M., 2015, Basınçlı hava sistemlerinde oluşan hava kaçaklarının enerji maliyetine etkisinin deneysel olarak incelenmesi
- [30] Kaya D., ve Öztürk H.H., 2014, “Sanayide enerji yönetimi ve enerji verimliliği uygulamalı örnekleri”, 114, Umuttepe Yayınları, Kocaeli, 47-63; 401-425.
- [31] Kaya, D., Phelan, P., Chau, D., and Sarac, H.İ., 2002, “Energy conservation i compressed-air systems”, International Journal of Energy Research, 26, 837-849.

- [32] Kaya, M., 2012, Sanayide enerji verimliliği potansiyeli ve basınçlı hava sistemlerinde verimlilik, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 11-41.
- [33] Küçükyazıcıoğlu, 2020, Bir otomotiv yan sanayi tesisinde basınçlı hava uygulaması, Yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 9-35.



EKLER

1. Enerji Analizörü Kalibrasyon Belgesi

 KALİTE ELEKTRİKSEL KALİBRASYON	UMS KALİTE ELEKTRİKSEL KALİBRASYON Deney Eğitim Dan. Müh. San. ve Tic. Ltd. Şti. Alınteri Bulvarı Gül 86 Sitesi 1151 Sk. No: 1/1 Ostim / ANKARA Tel: +90 312 395 85 36 Faks: +90 312 395 51 99 web: www.ums.com.tr e-posta: kalite@ums.com.tr	 TÜRKAK Kalibrasyon TS EN ISO/IEC 17025 AB-0204-K
KALİBRASYON SERTİFİKASI <i>Calibration Certificate</i>		AB-0204-K 2200197 01.22
Cihazın Sahibi / Adresi: <i>Customer / Address</i>	TÜRK TRAKTÖR VE ZİRAAT MAKİNELERİ A.Ş. Gazi Mahallesi Anadolu Bulvarı No: 52 - 52A Yenimahalle / ANKARA	
İstek Numarası: <i>Order No.</i>	SP220055	
Makine / Cihaz: <i>Instrument / Device</i>	Enerji Analizörü	
İmalatçı: <i>Manufacturer</i>	SCHNEIDER ELECTRIC	
Tip: <i>Type</i>	PM 710	
Seri Numarası: <i>Serial Number</i>	TM3-TR2-AG	
Kalibrasyon Tarihi: <i>Date of Calibration</i>	10.01.2022	
Sertifikanın Sayfa Sayısı: <i>Number of pages of the Certificate</i>	3	
Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler. <i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the International System of Units (SI).</i> Kalibrasyon laboratuvarı olarak faaliyet gösteren UMS Kalite Elektriksel Kalibrasyon Deney Eğitim Dan. Müh. San. ve Tic. Ltd. Şti., TÜRKAK'tan AB-0204-K ile TS EN ISO / IEC 17025 : 2017 standardına göre akredite edilmiştir. <i>UMS Kalite Elektriksel Kalibrasyon Deney Eğitim Dan. Müh. San. ve Tic. Ltd. Şti. accredited by TÜRKAK under registration number AB-0204-K for TS EN ISO / IEC 17025: 2017 as Calibration Laboratory.</i> Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) kalibrasyon sertifikalarının tanınırlığı konusunda Avrupa Akreditasyon Birliği (EA) ile Çok Taraflı Anlaşma ve Uluslararası Laboratuvar Akreditasyon Birliği (ILAC) ile karşılıklı tanıma anlaşması imzalamıştır. <i>TURKAK is a signatory to the European Co-operation for Accreditation (EA) Multilateral Agreement (MLA) and to the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) Mutual Recognition Arrangement (MRA) for the recognition of calibration certificates.</i> Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metotları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir. <i>The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.</i>		
Mühür/Kaşe <i>Seal</i>	Kalibrasyonu Yapan <i>Calibrated by</i>	Onaylayan / Approval <i>Tarih / Date</i>
	 Ahmet BOZKURT	 Gündüz YILMAZ 2022.03.19 09:43: 22+03'00"

UMS KALİTE
ELEKTRİKSEL KALİBRASYON

AB-0204-K

2200197

01.22

1 . Makine / Cihaz

Information about the object

Enerji Analizörü

2 . Bulunduğu Yer

Place

Gazi Mahallesi Anadolu Bulvarı No: 52 - 52A

Yenimahalle/ANKARA

3 . Cihazın Laboratuvara Kabul Tarihi

Date of receipt of device

--

4 . Prosedür

Procedure

Kalibrasyon, PR02.07, PR02.02, PR02.17 ve PR02.16 kalibrasyon prosedürüne göre gerçekleştirilmiştir.

Calibration is performed in accordance with PR02.07, PR02.02, PR02.17 and PR02.16 calibration procedure.

5 . Kalibrasyonda Kullanılan Referans Cihazlar

Reference equipment used during calibration

Cihaz <i>Object</i>	İmalatçısı <i>Manufacturer</i>	Model <i>Model</i>	Seri No <i>Serial Number</i>	Sertifika No <i>Certificate No</i>	İzlenebilirlik <i>Traceability</i>
Enerji Analizörü (3 Fazlı)	Songyang	SY3640	018378	2103035 07.21	UMS KALİTE (TÜRKAK)
Frekans Sayıcı	Philips	PM 6680	553 037	20E00971 08.20	TSE (TÜRKAK)
Standart Akım Transformatörü	Refcal	RCT-01	RC01	UME G1PE- 0057	UME (TÜRKAK)
Sıcaklık Nem Ölçer	TFA	Dijital-SN	447305	2127694 07.21	UMS ANKARA (TÜRKAK)

6 . Çevre Şartları

Environmental conditions

Sıcaklık: 22.5 °C

Temperature

Nem: % 40 RH

Humidity

7 . Ölçüm Sonuçları

Measurement results

Takip eden sayfalarda verilmiştir.

Given in the following pages

8 . Ölçüm Belirsizliği

Measurement uncertainty

Takip eden sayfalarda verilmiştir.

Given in the following pages

Beyan edilen genişletilmiş ölçüm belirsizliği, standart belirsizliğin $k=2$ olarak alınan genişletme katsayısı ile çarpımı sonucunda bulunan değerdir ve %95 oranında güvenilirlik sağlamaktadır. Bu sertifikada beyan edilen sonuçlar cihazın kalibrasyon tarihindeki durumunu kapsar ve uzun dönem stabilitesi hakkında bir yorum içermez.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k=2$ which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The results reported in this certificate refer to the condition of the instrument on the date of calibration and carry no implication regarding the long-term stability of the instrument.

UMS KALİTE
ELEKTRİKSEL KALİBRASYON

AB-0204-K
2200197
01.22

9. Ölçüm Sonuçları

Measurement results

Kademe Range	Ölçüm Şartları Modifier	Referans Cihaz Reference Device	Kalibre Edilen Cihaz Calibrated Device	Sapma Deviation	Belirsizlik Uncertainty ±
AC Akım Ölçümü / AC Current Measurement					
I1	50 Hz		535,4 A	540 A	4,6 A
I2	50 Hz		555,2 A	570 A	14,8 A
I3	50 Hz		549,3 A	564 A	14,7 A
AC Gerilim Ölçümü / AC Voltage Measurement					
U1	50 Hz		393,1 V	394 V	0,9 V
U2	50 Hz		395,5 V	396 V	0,5 V
U3	50 Hz		394,9 V	395 V	0,1 V
Frekans Ölçümü / Frequency Measurement					
			50,00 Hz	50,00 Hz	0,00 Hz
AC Güç Ölçümü / AC Power Measurement					
		50 Hz	0,65 pf	420,5 kW	428 kW
				7,5 kW	0,6 kW

10. Gerektiğinde yorum, açıklama:

Comment, explanation if necessary

- Bu sertifikada akreditasyon kapsamında olmayan değerler * işareti ile belirtilmiştir.
- Kalibrasyon sonuçları sadece; model ve seri numarası bilgileri kapak sayfasında belirtilen Enerji Analizörü cihazına ait olup sonuçlar, cihazın teslim alındığı durum için geçerlidir.
- Cihazın, performansının uygunluğu açısından uygun çevre şartlarında kullanımından ve uygun aralıklarla kalibre ettirilmesinden kullanıcı sorumludur.

2. Akış metre Kalibrasyon Belgesi

Calibration Kalibrirung калибровка 校准 étalonnage Calibratura

OMKA 2022

Calibration Kalibrirung калибровка 校准 étalonnage Calibratura

OMEGA

ÖLÇME KONTROL SİSTEMLERİ KALİBRASYON
LABORATUVAR CİHAZLARI SAN. TİC. LTD. ŞTİ.

KALİBRASYON SERTİFİKASI CALIBRATION CERTIFICATE

Cihazın Sahibi / Adres : TÜRK TRAKTÖR SAN. VE ZİRAAT MAKİNELERİ A.Ş. (ANKARA)
Costumer / Address : Gazi Mah Anadolu Biv. Güvençinlik Yolu 52-52/A Yenimahalle / ANKARA

İstek Numarası : 26390
Order No

Makine / Cihaz : FLOWMETRE (ULTRASONİK)
Instrument / Device

İmalatçı : PCE
Manufacturer

Tip : TDS-100
Type

Seri No : ESN81801044H
Serial Number

Kalibrasyon Tarihi : 28.03.2022
Date of Calibration

Sertifika Sayfa Sayısı : 2
Number Of Pages Of The Certificate

Bu cihaz Omka-Omega Kalibrasyon Kalite Güvence lulasuzuna uygun olarak işlenmiş ve kalibre edilmiştir ve Ulusal Metroloji Enstitüsü'ne (UME) kadar izlenebilir.

This instrument has been processed and calibrated in accordance with the Omka-Omega Calibration Quality Assurance manual and is traceable to the National Metrology Institute (UME).

Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate

Bu sertifika laboratuvarın izni olmadan kısmen veya tamamen kopyalanıp çoğaltılamaz. Mühürsüz ve karekodsuz sertifikalar geçersizdir. Bu sertifikanın güncelliğini karekod doğrulamasıyla kontrol edebilirsiniz.

This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory. Calibration certificates without seal and qr code are not valid. Whether certificate's is out of date. You can check by verification of square barcode.

Etiket
Tag

OMKA
280322AS04
28.03.2022

Kontrol Kodu
QR Code



Kalibrasyonu Yapan
Calibrated By

e-imzalıdır!

Arda SEZER

Laboratuvar Müdürü Y.
Behalf of Laboratory Manager

e-imzalıdır!

Erkal KETENCİ

OMEGA

KALİBRASYON SERTİFİKASI

CALIBRATION CERTIFICATE

OMKA
280322AS04
28.03.2022

Cihaz Adı : FLOWMETRE (ULTRASONİK)
Seri Numarası : ESN81801044H
Kalibrasyon Metodu : Belirlenmiş koşullar altında doğruluğu bilinen bir referans ölçüm standardı (ölçüm sistemi) kullanarak , doğruluğu aranan test/ölçü aleti ya da sistemin ölçme işlemi yapılmış olup , aşağıda sapmaları belirlenerek rapor edilmiştir .
Ölçüm Belirsizliği : Beyan edilen genişletilmiş belirsizlik değeri, standart belirsizliğin normal dağılım için yaklaşık %95 güvenlilik seviyesi sağlayan k=2 kapsam faktörü ile çarpımının sonucudur. Standart ölçüm belirsizliği GUM ve EA-4/02 dokümanlarına uygun olarak belirlenmiştir.

CİHAZ ADI	CİHAZ KODU	İZLENEBİLİRLİK
HIGH FLOW ANALYZER	OMG-MED-016	OMEGA

OKSİJEN ÖLÇÜM SONUÇLARI				
TEST DEĞERİ (l/min)	REFERANS DEĞER (l/min)	SAPMA (l/min)	TOLERANS	ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ
1.9996	2	-0.0004	± 1 l/min	±± (%1)
3.9992	4	-0.0008	± 1 l/min	±± (%1)
5.9987	6	-0.0013	± 1 l/min	±± (%1)
7.9981	8	-0.0019	± 1 l/min	±± (%1)
9.9975	10	-0.0025	± 1 l/min	±± (%1)

ORTAM ŞARTLARI	
ORTAM SICAKLIĞI (°C)	ORTAM NEMİ (% RH)
20.8	52

