OTOMOTİV TESİSİNDEKİ BASINÇLI HAVA KOMPRESÖRLERİNDE ENERJİ TASARRUFU UYGULAMASI

Ömer Özgür[1], Sedat Nazlıbilek[2]

1. GİRİŞ

Havanın bir iş yapabilmesi amacıyla kompresörle yüksek basınçlara çıkartılarak kullanıldığı sistemlere basınçlı hava (pnömatik) sistemleri denir. Basınçlı hava sistemlerindeki kompresör, bağlı olduğu elektrik motorundan gelen elektrik enerjisini, mekanik yolla havaya aktarır ve emdiği havayı basınçlandırır. 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 maliyeti açısından pek çok üstünlüklere sahiptir [1].

Basınçlı hava, endüstriyel tesislerde üretimin çeşitli aşamalarında kullanılan önemli bir girdidir. Otomotiv sektöründe basınçlı hava; su, elektrik ve doğalgazın ardından üretim süreçlerini kolaylaştıran dördüncü önemli girdidir. Basınçlı hava sistemi, birçok endüstriyel tesiste elektrik tüketiminde üçüncü sırada yer almaktadır Ayrıca basınçlı hava AB endüstriyel elektrik kullanımının %10'luk kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle, enerji maliyetlerinin düşürülmesi açısından da önemli sistemlerdendir. Çeşitli ekonomik etkilerin yanında basınçlı hava kayıplarının azaltılması, çevre açısından da yararlıdır. Kayıpların azaltılması, aynı zamanda enerji üretimine olan talebi azaltmakta ve böylece daha az CO_2 ve diğer zararlı bileşenin atmosfere salımını sağlamaktadır. Bir kompresörün bir yıllık sürekli çalışma süresince elektrik enerjisi tüketimi, genellikle bu ekipmanın ilk yatırım maliyetinden daha fazla olduğundan, enerji maliyetlerinin azaltılması çalışmaları büyük önem taşır [2].

Bu yazıda bir endüstriyel tesisin basınçlı hava gereksinimini karşılayan dört adet basınçlı hava kompresörünün, basınç set ayarı olmadan gereksiz enerji harcanarak üret-

[1] Elektrik-Elektronik Mühendisi, ORCID No: 0000-0002-9980-1400 - *omerozg06426@gmail.com*

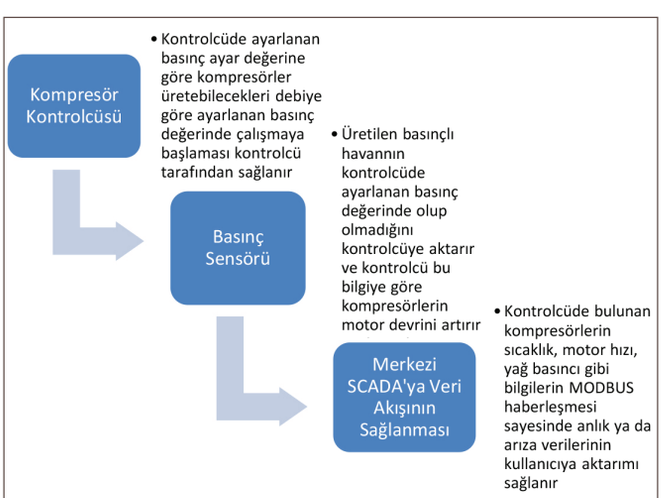
[2] Prof. Dr., Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği - *snazlibilek5@gmail.com*

tiği basınçlı havanın, en verimli olarak dağılımı hakkında potansiyel uygulamaları incelenmiş ve ortaya konulmuştur. İkinci aşamada hızlı bir şekilde uygulanabilir olan dört kompresörün birbiriyle haberleşmesi için kontrolcü tasarımı yapılarak, işletme içerisindeki tezgahların kataloglarındaki basınç değerine göre basınçlı hava üretiminin yapılıp kompresörlerin basınçlı hava üretimi yaparken optimum motor devrinde çalışarak enerji tasarrufu elde edilmesi ve basınçlı havanın iletilmesi için çalışmalar yapılmıştır [3]. Çalışmanın son aşamasında ise, kompresörlerin işletme süreçleri de göz önünde bulundurularak, birbirlerinin çalışma saatlerini günlük kontrol ederek eş yaşlanmalı olarak çalışması ayarlanmış ve enerji tasarrufunun yanında işletme ve bakım tasarrufu da sağlayan veriler elde edilmiştir.

2. MATERYAL METOD

Kompresörlerde merkezi kontrol, genellikle göreceli akıllı kontrol sistemlerinin olduğunu gösterir. Temel gereksinim, dar sınırlar içinde önceden belirlenmiş bir basıncı sürdürmek ve sistemin ekonomik bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Sistem bunun için sistemde neler olacağını tahmin edebilmeli ve aynı zamanda kompresör üzerindeki yükü algılayabilmelidir. Sistem her iki şekilde basıncın ne kadar hızlı değiştiğini algılar. Sistem bu değerleri kullanarak hava gereksinimini kestirmeyi olası kılan hesaplamalar yapabilir ve örneğin makinaları boşa alabilir/yüke geçirebilir veya çalıştırabilir/durdurabilir.

Tasarlanan Şekil 1'deki sistemde, kontrolcüye kompresörlerin basınçlı hava üretim kapasiteleri tanımlanmış olup,



Şekil 1. Sistem Çalışma Diyagramı

Şekil 2. Basınç Sensörü

kontrolcü üzerinden ayarlanan basınç değerine göre kompresörler basınçlı hava üretimine başlarlar. Üretilen basınçlı hava, fabrika içerisine verilmeden giriş ve çıkış kolektörüne Şekil 2'de gösterilen bir adet basınç sensörü Şekil 3'te gösterildiği gibi bağlantısı yapılarak basıncın analog olarak ölçümü sağlanmıştır. Kontrolcü giriş-çıkış basınç değerinin ortalamasını alarak ayarlanan istenen

Şekil 3. Basınç Sensörü Bağlantı Noktası

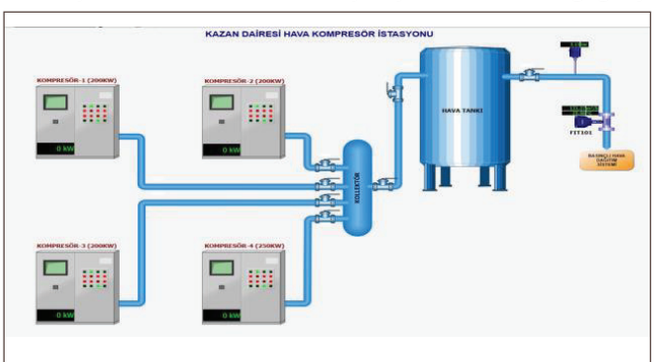
Şekil 4. Kompresör Kontrolcüsü

basınç değerine göre, kompresörlerin motor devrini ayarlama bilgisini buradan almaktadır.

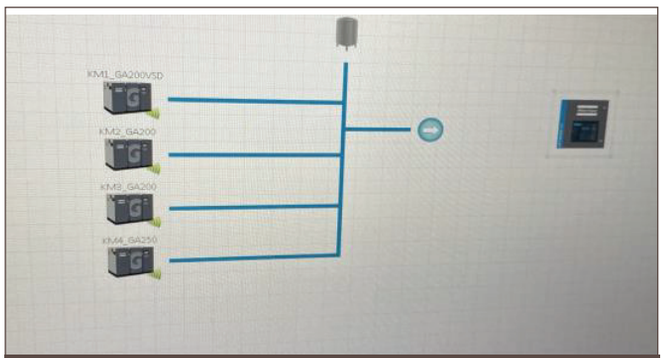
Kompresörlere uzaktan erişebilmek ve kompresörlerin hız, sıcaklık, ürettiği debi, ürettiği hava basıncı gibi parametre bilgilerini almak için kompresörler arasında birbirine seri bağlantı olacak şekilde MODBUS haberleşme bağlantısı Şekil 4'te gösterildiği gibi kontrol ünitelerine bağlanmıştır.

Bağlantıda kullanılan sarı uç toprak, kahverengi uç +24V, beyaz uç ise sinyal ucu olacak şekilde soket bağlantıları Şekil 5'te gösterilmiştir.

Kompresörlerin birbirleri ile bağlantılarının sonlandırılması için kontrolcünün basınç ölçüm ucu analog giriş-



Şekil 5. Soket Bağlantı Gösterimi



Şekil 6. Kompresör ve Kontrolcü Bağlantı Şeması

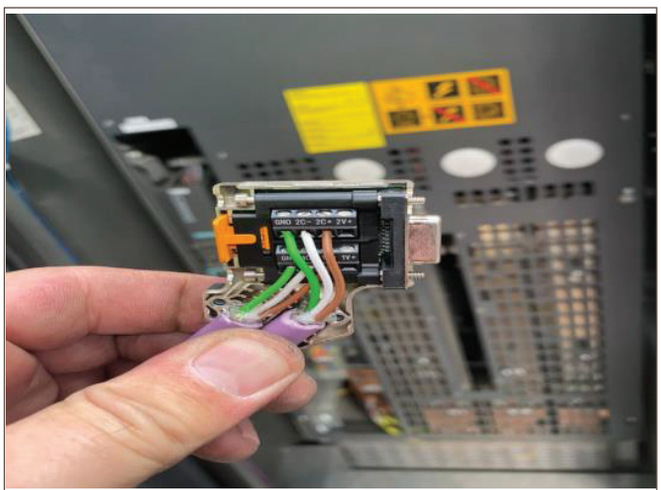
lerine; kompresörlerin haberleşme ve veri okuma bağlantıları dijital girişlerine bağlanmıştır . Kompresörlerin hepsi aynı marka olduğundan, herhangi bir veri kaybı olmaması ve uygun çalışabilmesi için, önerildiği şekilde, aynı marka kontrolcü kullanılmıştır. Bu kontrolcü, ürünlerin hepsinin haberleşme protokollerini barındırmasından ve tüm kompresör verilerinin paket şeklinde alınması için kolaylık sağlamaktadır. İlgili yazılımı etkin duruma getirebilmek için, programın ara yüzünden, kompresörlerin çalışma şemasını Şekil 6'daki gibi çizmek yeterli olmaktadır.

Şemaya uygun bağlantılar tamamlandıktan sonra kompresörlerin birbiriyle haberleşmeleri tamamlanmış olup, uzaktan kontrolleri yapılabilmektedir. Kompresörlerin ilgili verilerini eş zamanlı olarak fabrikada bulunan SCA-

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 7. MODBUS-RTU Aracılığı ile Gelen Veriler



Şekil 8. SCADA Ekranında Tasarlanan Arayüz

DA sisteminde görmek için SCADA haberleşme sunucusu ile kontrolcü arasında RS-485 bağlantısı kurulmuş ve MODBUS-RTU ile Şekil 7'de görüldüğü gibi kompresör verileri eş zamanlı olarak fabrika ekranlarında izlenmeye başlanmıştır.

Verilerin izlenmesini kolaylaştırmak için fabrikanın SCADA ekranında Şekil 8'deki gibi bir ara yüz tasarlanmış olup, bu şekilde, anlık izleme ve durumları gözlemlemek açısından kolaylık sağlanmıştır. Tasarlanan arayüzde, fabrikada bulunan kompresörlerin enerji analizöründen gelen anlık güç tüketimlerinin gözlenebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca dağıtım noktasındaki basınç sensöründen gelen basınç bilgisi ve üretilen debi miktarının da anlık olarak SCADA sisteminde gözlenebilmesi için gerekli işlemler, sayfa tasarımına eklenmiştir.

3.ENERJİ VERİMLİLİĞİ HESAPLAMALARI

Tesiste devreye alınan kontrolcü sayesinde, tesiste üretim sırasında aktif olarak çalışan invertörsüz kompresör sayısı ikiden bire indirilmiş ve bir invertörlü kompresörün yarım yükte çalışması sağlanarak tesisin gereksinimi olan basınçlı havayı üreten kompresör sayısı bir buçuk adete indirgenerek Şekil 9'da öncesi ve Şekil 10'da sonrasının gösterildiği gibi enerji tasarrufu elde edilmiştir

Kontrolcü bağlantısının öncesi ve sonrasında alınan bu bir haftalık veriler, üretimin aynı tempoda olduğu zamanda alınan verilerdir. Bu veriler sonrasında elde edilen yıllık enerji tasarrufu, aşağıdaki eşitlik kullanarak hesaplanmıştır;

Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh/yıl) = (Proje öncesi örnek alınan 1 haftalık tüketim (kWh) - Proje sonrası örnek alınan

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

Şekil 9. Kontrolcü Bağlantısı Öncesi Enerji Tüketimi

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

Şekil 10. Kontrolcü Bağlantısı Sonrası Enerji Tüketimi

1 haftalık tüketim (kWh)) x Yıldaki hafta sayısı

Yıllık Enerji Tasarrufu (kWh/yıl) = (65724-58103) x 52 (Hafta) = 396.292 kWh/yıl

Projenin devreye alınma tarihi olan Mayıs 2022'de aylık sanayi elektrik birim fiyatı 2,15 TL/kWh'dir. Böylelikle yıllık enerji tasarruf maliyeti aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmıştır.

Enerji Tasarruf Tutarı (TL/yıl) = Yıllık enerji tasarrufu (kWh/yıl)* Birim Fiyat (TL/kWh)

Enerji Tasarruf Tutarı (TL/yıl) = 396.292 (kWh/yıl) * 2,15 (TL/yıl) = 852.027 TL/yıl

İlgili proje, sağladığı enerji tasarrufunun yanında doğaya salınan sera gazının da düşmesini sağlamıştır. Salım azalımı, aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmıştır;

Yıllık CO_2 Salım Tasarrufu (TON)= Enerji miktarı (kWh)* Dönüşüm katsayısı (kg/Kwh)

Yıllık CO_2 Emisyon Tasarrufu (TON) = 396.292(kWh)* 0,466(kg/kWh) /1000=185 TON

Projenin yatırım maliyeti 278.967 TL olduğundan, elde edilen enerji tasarrufu ile oluşan basit geri ödeme süresi aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanmıştır;

GÖS (yıl) = Yatırım maliyeti (TL) / Tasarruf tutarı (TL/yıl)

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

Proje aynı zamanda kompresörlerin eş yaşlanmasını da sağladığından, tüm kompresörlerin aynı çalışma saatlik bakımı yapılmasına olanak sağlamaktadır. Böylelikle bir kompresörün aynı yıl içerisinde hem ağır bakımları hem de rutin bakımlarının yapılması durumu ortadan kaldırılarak işletme bakım tasarrufu elde edilmiştir

Elde edilen bu tasarruf miktarları ile hem işletme kolaylığı

hem de doğaya salınan sera gazı etkisi azaldığından sürdürülebilirlik anlamında katkı sağlanmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yazıda; Ankara ilindeki Türk Traktör Fabrikası'nda basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği yönünden incelenerek teknolojik ve ekonomik bakış açılarından değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, işletmedeki basınçlı hava sistemindeki enerji verimliliğini artırmak ve sürdürebilirlik sağlanması amacıyla; mevcut basınçlı hava sistemi üzerinde ölçüm ve incelemeler yapılmış, sistemdeki enerji kayıpları kompresörlerin ürettiği basınçlı hava gereksinimi ve tüketilen basınçlı hava karşılaştırılarak belirlenmiş ve belirlenen enerji kayıplarını önlemek ve enerji verimliliğini sağlamak için sistem tasarımı değiştirilmiştir. Önceki sistemde iç gereksinim bilinmeden kompresörler yüksek güçte çalıştırılarak basınçlı hava üretimi sağlanmaktaydı. Tasarlanan yeni sistem ile ise iç gereksinim belirlenip kompresör motorlarının bu belirlenen gereksinime göre çalışması sağlanarak gereksiz enerji kullanımının önüne geçilmiştir. Mevcut kayıpların yol açtığı parasal kayıplar ve belirlenen tasarruf önlemi uygulandığında elde edilen parasal kazanım hesaplanmıştır.

Çalışmada uygulanan yöntem: Basınçlı hava sisteminin bileşenlerinin ve yapılandırmanın belirlenmesi, işletme tarafı incelemelerinin yapılması, uygulanacak projenin kapsamı, işletmeye özgü sistem tasarımının yapılması, istem tarafı incelemeleri ve hesaplamalarının yapılması, istem tarafı ölçüm analiz incelemeleri ve ekonomik analizi adımlarını içermektedir. Endüstride enerji verimliliği üç farklı yaklaşımla geliştirilebilir. Bunlar; teknolojik, yönetimsel ve politika/yasalar ile enerji tasarrufu yaklaşımlarıdır [4]. Bu çalışmada teknolojik yaklaşım ele alınarak basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği projesi gerçekleştirilmiştir. Teknolojik yaklaşımın yanı sıra yönetimsel ve politikalar ile yaklaşım da verimlilik çalışmalarında önemli bir etkiye sahiptir. Çalışma konusu ele alındığında basınçlı hava sistemlerinde savurganlığın önüne geçmede en basit önlem personelin bilinçlendirilmesidir diyebiliriz. Personele verilebilecek basit eğitimlerle basınçlı havanın uygunsuz kullanımı konusunda fark edilebilir düzeyde tasarruf sağlanabilir. Bunun yanında sürdürülebilir bir enerji yönetim sisteminin kurulması ve yürütülmesi, diğer enerji tüketen sistemlerin yanında basınçlı hava sistemlerinde de verimli çalışmanın gerekliliklerini firmaya benimsetecektir. Enerji politikalarının hazırlanması ve enerji hedeflerinin belirlenmesi de yine yönetimin başta olmak üzere tüm çalışanların enerji tasarrufu konusunda aynı amaçta odaklanmalarını sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında enerji verimliliği değerlendirilen Türk Traktör Ankara Fabrikası'nda mevcut basınçlı hava sistemindeki insana bağlı oluşan enerji ve iş gücü kaybını ortadan kaldırıcı otomasyon yapılarak enerji tasarrufu projesi uygulanmış ve işletmenin yıllık enerji tüketiminde %8,3 oranında enerji tasarrufu elde edilmiştir. Yapılan çalışma, kompresör sisteminin ayarları yapıldıktan sonra %100 insandan bağımsız hale gelecek şekilde çalışması sağlanmış ve oluşacak herhangi bir terslik veya arıza durumunda, alarm ekranı sayesinde, sadece o anda insan girişimine gerek duyan bir yapı tasarımı yapılmıştır.

Bu çalışmada, enerji kayıplarının parasal değeri hesaplanırken literatürde bulunan ve bir kısmı ölçümlerle doğrulanmış olan hesaplama bağıntıları kullanılmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, belirlenen tasarruf önlemlerinin uygulanması ile

elde edilen parasal kazanımın hem sahada yapılan ölçümlerle belirlenmesi, hem de teorik hesaplamalar kullanılarak hesaplanması, elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak teorik hesaplamaların geçerliliğinin doğrulanması önerilir. Tesislerde yaygın olarak uygulanan arıza giderici plansız bakımların yanı sıra önleyici, düzeltici ve kestirimci gibi planlı bakımların da düzenli periyotlarla yapılması, oluşabilecek basınçlı hava sistemi arızalarını ve sistemdeki uygunsuz durumların önceden belirlenmesinde olduğu gibi enerji kaybının engellenmesinde de çok önemli bir etmendir.

KAYNAKÇA

1. **Soylu, E.** 2017. "Basınçlı Hava Kullanımında Enerji Verimliliği Teknik Rapor", TOFAŞ
2. 2017. "Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi", Mühendis ve Makina, Sayı: 689, Syf 1-3
3. **Küçükyağlıoğlu, G.** 2020. "Bir otomotiv yan sanayi tesisinde basınçlı hava uygulaması", Yüksek lisans tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 9-35.
4. **Abdelaziz, E. A., Saidur, R. ve Mekhilef, S.** 2011. "A review on energy saving strategies in industrial sector", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (1), 150-168.