

# BİR ENDÜSTRİYEL KURULUŞTA 6-SİGMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASIYLA ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN YÜKSELTİLMESİ

<sup>1</sup>Musa DEMİRBAŞ, <sup>2</sup>Türker Fedai ÇAVUŞ

<sup>1</sup> Arçelik Bolu Pişirici Cihazlar İşletmesi, Bolu

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği  
[musa.demirbas@arcelik.com](mailto:musa.demirbas@arcelik.com) [tfcavus@sakarya.edu.tr](mailto:tfcavus@sakarya.edu.tr)

## ÖZET

Günümüzde endüstriyel kuruluşlarda enerji verimliliği yaklaşımları dünya ülkeleri için çok önemli bir duruma gelmiştir. Enerji kaynakları hızla tükenirken ve sera gazı alınımı yükselmekte, enerji verimliliği konusunda daha ciddi çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Bu çalışmada bir endüstriyel kuruluşta 6-Sigma tekniği kullanılarak enerji verimliliğini artırmaya yönelik bir çalışma yapılmıştır. Uygulama ile tesiste kullanılan kompresörlerde verimliliğin artırılması hedeflenmiştir.

Enerji tüketiminin mevcut durum analizi yapılacak ve iyileşme potansiyelinden bahsedilecektir. 6-Sigma tekniğinin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar kullanılarak, enerji tasarrufu potansiyeli ve ilişkili parametreleri değerlendirilerek, sistemin olumlu yönlerinin daha da güçlendirilmesi ve olumsuz yönlerin ise azaltılması amaçlanmıştır.

Yapılan bu çalışma ile tesiste kullanılan kompresörlerin toplam verimi %10 artırılmıştır ve toplam enerji tüketimi % 2,9 azaltılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Endüstride Enerjisi Tasarrufu, Değişken devirli kompresör ile enerji verimliliği, Enerji Verimliliği

## 1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve enerjiye olan talebin nüfus artışlarına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak sürekli artış göstermesi, enerjinin verimli kullanılmasını ve enerji tasarrufunu son yılların en güncel konularından biri haline getirmiştir. Ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan kaynaklarının, her geçen gün artan bir oranda ithal kaynaklardan sağlandığı da bir gerçektir. Elektrik enerjisinin verimli kullanılması, ülke ekonomisinin gelişimi ve dışarıya olan bağımlılığın azalması açısından oldukça önemlidir.

28 Kasım-9 Aralık tarihlerinde Güney Afrika'nın Durban şehrinde İklim Değişikliği konferansının 17.si (COP 17) tarihe geçecek bildiğe ile tamamlanmıştır. Görüşmeler sonunda Kyoto Protokolünün 1997'de oluşturulmasından sonra en önemli kararların alındığı

bir toplantı olmuştur. Her ne kadar Durban'da alınan kararlar, dünyanın 2 derece ısınmasının önüne 2020 yılına kadar geçemeyecek olsa da tüm dünya ülkelerinin karbon azaltma yönünde taahhüt altına girmesinden dolayı önemlidir.

Şu an iklim değişikliği ile mücadelede tek mekanizma olan ve sadece gelişmiş ülkelerin karbon azaltım taahhüdünde buldukları Kyoto Protokolü'nün, Durban'daki 2011'in bu son toplantısında "Kyoto Protokolü II" şeklinde 2017 ya da 2020 yılına kadar uzatılması karara bağlanmıştır. Bilindiği gibi bu mekanizmada, gelişmiş ülkeler karbon salınımlarını geliştirmekte olan ülkelerdeki düşük karbon teknolojilerinin uygulanması sonucu elde edilen karbon kredileri ile azaltıyorlardı. Karbon borsasındaki değere bağlı olarak ton başına bir meblağ ödenerek gelişmiş ülkelerden geliştirmekte olan ülkelere maddi kaynak sağlanarak düşük karbon teknolojilerinin finansmanına yardımcı olunuyordu. Kyoto Protokolünün uzatılmasına karşılık özellikle Çin, Hindistan ve Brezilya gibi geliştirmekte olan ve karbon salınımları her geçen gün artan ülkelerin de taahhüt altına girmesi sağlanmış oldu. Bu artık Türkiye'nin de yükümlülük altına girmesi anlamına gelmektedir [1].

## 2. PROBLEM TANIMI

Enerji tasarrufu, endüstriyel işletmelerde önemli bir yer kaplamakta, gelişen üretim teknolojileri ve konu üzerine artan araştırmalar ile birlikte meydana çıkan verimi yüksek aygıtlarının kullanımı dünya çapında özendirilmeye ve yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır.

Beyaz eşya sektörü 2012 raporunda sektörün maliyet bileşenleri arasında hammadde, maliyet bileşenlerinden önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Beyaz eşyalarda kullanılan paslanmaz çelik sacın büyük bir kısmı ithal edilmektedir. Ayrıca enerji, işçilik ve test giderleri maliyeti arttıran faktörlerdir. Sektörde Ar-Ge çalışmaları yoğun olduğundan Ar-Ge harcamaları da sektör için maliyet oluşturan faktörlerdendir [2].

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2010 istatistiklerine göre elektrik tüketimi toplam 172 TWh olarak gerçekleşmiş ve bu miktarın yaklaşık %46'sı sanayide tüketilmiştir [3]. 2010 yılında sanayide tüketilen elektrik enerjisi 79,3 TWh tir.

Hem ülkemiz hem de diğer dünya ülkeleri için sanayide enerji tüketiminin çok yüksek seviyelerde olduğu ve artan nüfusla beraber bu seviyelerin daha da yukarıya çıkacağı beklenmektedir. Bu nedenle sanayide enerji tasarrufunu sağlayabilmek için, mevcut koşullarının iyileştirilmesi, yeni kurulan tesislerde enerji verimli sistemlerin projelendirilmesi ve inşa edilmesi gerekmektedir.

İncelemeler ışığında, sanayide enerji tasarrufu konusuna daha geniş bir açıdan bakmayı amaçlayan, sanayide hem elektrik enerjisinden tasarruf hem de reel tasarruf edebilme potansiyellerini 6-Sigma tekniklerini kullanarak ortaya çıkarmayı amaçlayan bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

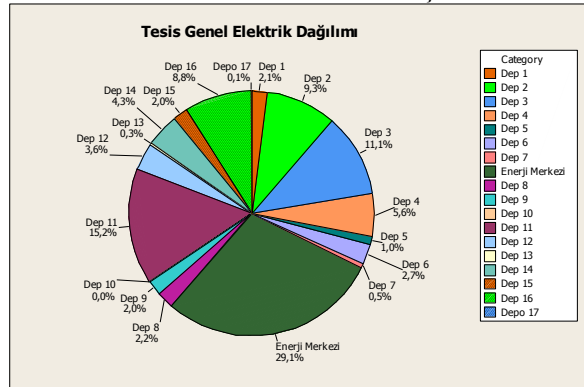
### 3. MEVCUT DURUM ANALİZİ VE UYGULAMA

Verimi artırmak için öncelikli olarak sistemin analizi yapılarak zayıf ve güçlü yanlar tespit edilmelidir. Sonra zayıf bulunan yanlar iyileştirilmelidir.

#### 3.1 Durum Analizi

Tesiste yapılan elektriksel ölçümler 1 yıllık tüketim değerleri göz önüne alınacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tesisin yıllık toplam tüketiminde bölümlerin yüzdesel oranları Şekil 1’de görülmektedir. Yapılan ölçümlerde işletmenin elektrik tüketiminin %30’luk kısmının fabrika enerji dairesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Enerji dairesindeki tüketimin yüzdesel dağılımları Şekil 2’de verilmiştir.

İşletmenin üretim kapasitesinin artmasına orantılı olarak basınçlı hava ihtiyacı da artmaktadır. Bu kapsamda 1 metreküp hava başına tüketilen enerji miktarının %10 azaltılması hedeflenmiştir.

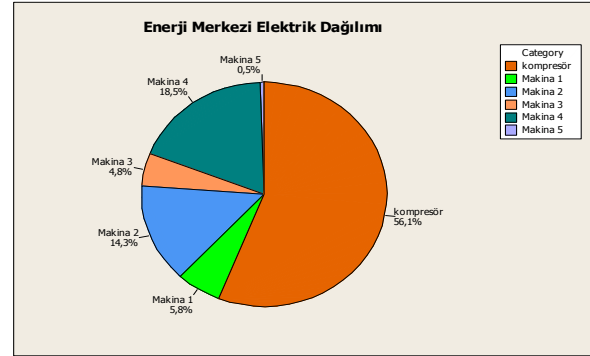


Şekil 1. Tesis Elektrik tüketim dağılımı

Enerji merkezindeki tüketimin ise %56’lık kısmı kompresör elektrik tüketimleri ile gerçekleşmektedir.

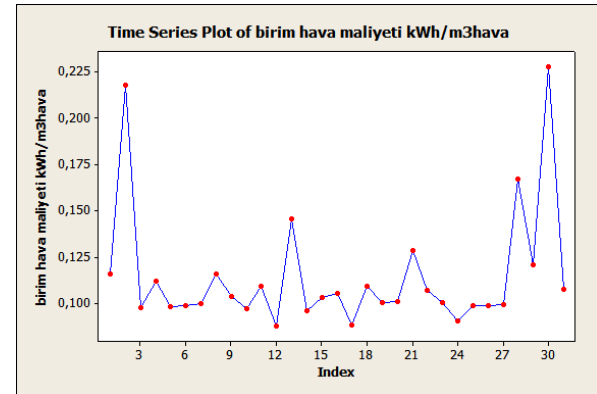
İşletme enerji merkezinde bulunan kompresörler ve ürettikleri basınçlı hava kapasiteleri aşağıda verilmiştir. İşletme hava kullanımı ve kompresör elektrik tüketimi teorik olarak kompresörlerin boşta ve yükte çalışma saatlerine göre hesaplanmıştır. Günlük

hava tüketimi ve günlük harcanan enerji 1 aylık ölçümlerim ortalaması alınarak tespit edilmiştir.



Şekil 2. Tesis Enerji Merkezi Elektrik tüketim dağılımı

Şekil 3’de enerji dairesinde birim hava için tüketilen elektrik değerleri görülmektedir.



Şekil 3. Tesis enerji dairesinde birim hava için tüketilen elektrik değeri

Basınçlı havanın elde edilmesine yönelik süreç akış şeması aşağıda verilmiştir.

Enerji verimliliği çalışmasında süreç akış şemasında belirlenen girdilerden faydalanılmıştır. Veri toplama formu oluşturularak ve düzenli olarak veriler kayıt altına alınmıştır.

Toplanan veriler ışığında yapılan analizlerde önce; olarak girdi ve çıktı tanımlanmıştır.

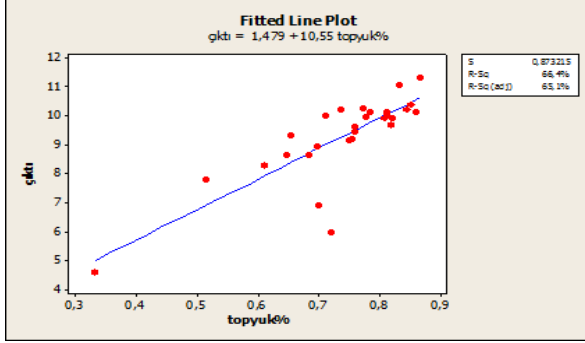
$$\text{Çıktı (verim)} = \frac{bhü}{et} \left( \frac{m^3}{kWh} \right)$$

$$\text{Girdi(Topyük\%)} = \frac{tçs}{çs}$$

Burada,

- bhü : basınçlı hava üretimi (m<sup>3</sup>)
- et : elektrik tüketimi (kWh)
- tçs : topyük.’te çalışma süresi
- çs : çalışma süresi

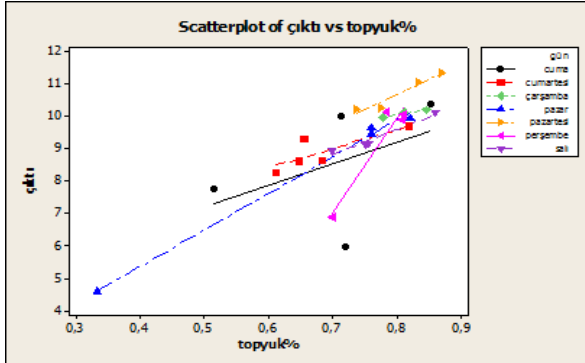
Girdi ile çıktı arasında 6-Sigma araçlarından fitted line plot ile inceleme yapılmış ve aralarında ilişki olduğunu görülmüştür.  $R^2$  değeri (Çıktıdaki değişkenliğin %65 seviyesinde yukarıdaki girdiden(Topyuk %) kaynaklandığı söylenebilir.) % 65' ler seviyesindedir.



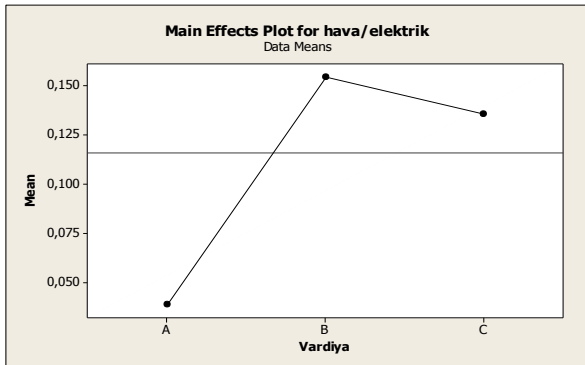
Şekil 5. 6-Sigma fitted line plot analizi

Verimliliği artırmak için boşa çalışmaların azaltılması, ihtiyaca bağlı kompresör optimizasyonu yapılması gerektiği tespit edilmiştir.

Scatter plot ile verim analizi yapıldığında günler arasında verimin farkı olduğu tespit edildi. Benzer şekilde vardiyalar arasında da verim farkı olduğu yapılan analizlerden görüldü. Bu farklılıklar Şekil 7 ve Şekil 8 de açıkça görülmektedir.



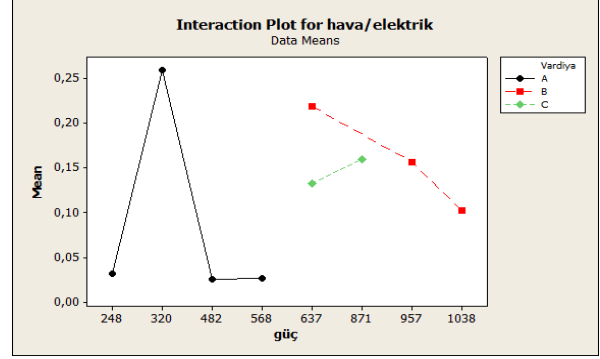
Şekil 6. 6-Sigma scatter line plot analizi



Şekil 7. Vardiyalar bazında 6-Sigma ana etki grafiği

Toplam kompresör güçlerini göz önüne alınarak, vardiya ile güç etkileşimini analizi yapılmış ve

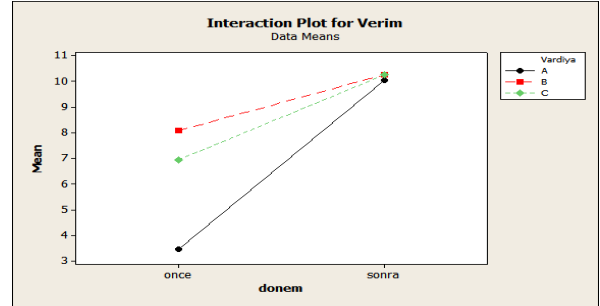
sonuçlar Şekil 8'da gösterilmiştir. Güce göre verimin aşırı değişkenlik göstermesi optimizasyon yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.



Şekil 8. Vardiyalar bazında Kompresör güçleri için 6-Sigma interaction plot analizi

### 3.2 İyileştirmeler

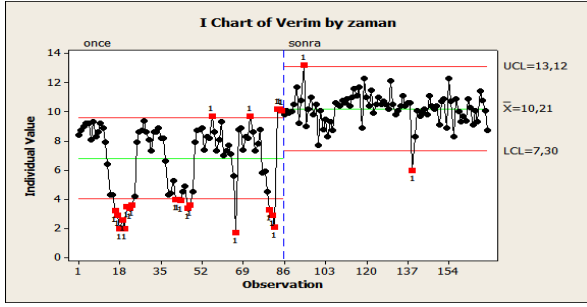
Kompresörleri sürekli yükte tutmak için değişken devirli bir kompresör kullanarak basınçlı hava elde edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Değişiklik yapılan iş önce sonra olarak dönemlere ayrılmıştır, aşağıda tabloda da görüleceği üzere öncesi ile sonrası arasında fark görülmektedir. Anova ile main effect plot yaptığımızda aşağıdaki grafiği elde ederiz. Ayrıca vardiyalar arasındaki farklılığında azaldığını görüyoruz. Verim de nerdeyse % 25 den fazla yükseldi.



Şekil 9. Vardiyalar bazında önceki ve sonraki döneme ait interaction plot analizi

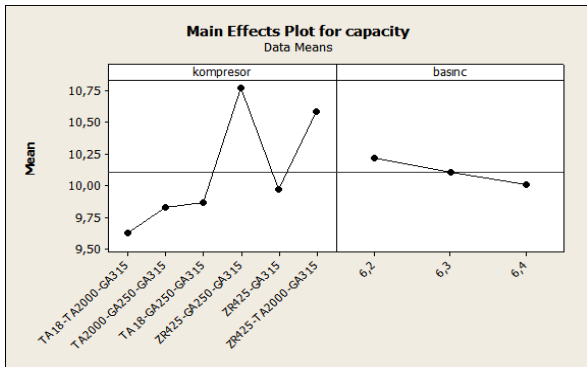
Sistemde en az iki en fazla üç kompresör kullanılarak hava ihtiyacı karşılanabilmektedir. Kompresörleri tamamen yükte çalıştırmak için bir adet düşük basınçta değişken devirli kompresör kullanılarak diğer kompresör çıkış basınçları da daha yüksek set değerinde tutularak tüm kompresörler yükte çalıştırılabilir. Sonuç olarak; İki kompresör tam yükte çalıştırılmaktadır. Değişken hava ihtiyaçlarını karşılamak için ise değişken devirli kompresör kullanılmıştır. Bu kompresörün çıkış basınç set değeri sistemin ihtiyacı olan en küçük değere set edilmiştir.

Değişiklik yapılan işi önce sonra ile dönemlere ayırdık, aralarındaki fark aşağıda görülmektedir.



Şekil 10. Saatlik bazda 1 günlük birim havaya karşılık elektrik tüketimi

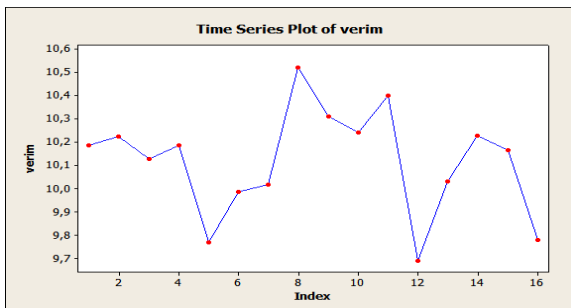
İhtiyaca göre kompresörler çeşitli kombinasyonlarda çalıştırılmıştır. Farklı kompresörlerle ve farklı basınç değerleri ile yapılan çalışmanın ana etki grafiği aşağıda görülmektedir.



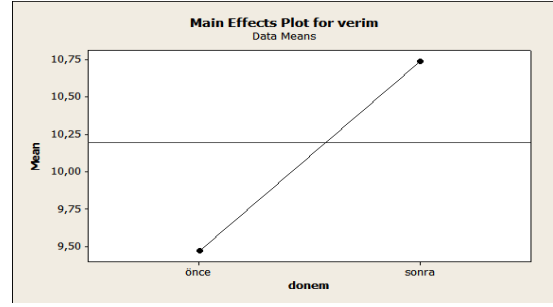
Sekil 11. Deneysel tasarımı ana etki grafiği

Deneysel tasarımı yaptığımızda karşımıza aşağıdaki durum çıkmıştır. İhtiyaca göre kompresörler çeşitli kombinasyonlarda çalıştırılabilir.

16 saatlik bir periyotta verimlilik incelendiğinde mola saatlerinde verimin düştüğü görülmektedir. 3 adet kompresörün çalıştığı kombinasyonda mola saatlerinde kompresörlerden birinin zaman zaman boş dolu yaptığı izlenmiştir. Yemek saatlerinde 45 dakika süreyle kompresörlerden birinin kapatılması ile verimlilik artışı sağlanmıştır.



Sekil 12. 2 vardiya (16 saatlik zaman) diliminde verim grafiği



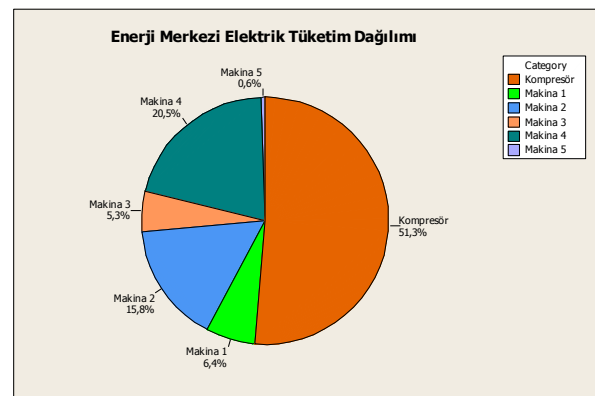
Sekil 13. Yemek molalarında 1 kompresörün kapatılması sonrası kazanç grafiği

#### 4. SONUÇLAR

Proje öncesi ve sonrası kompresörlerde tüketim dağılım oranlarından da görüleceği üzere % 10 luk iyileşme sağlanmıştır.

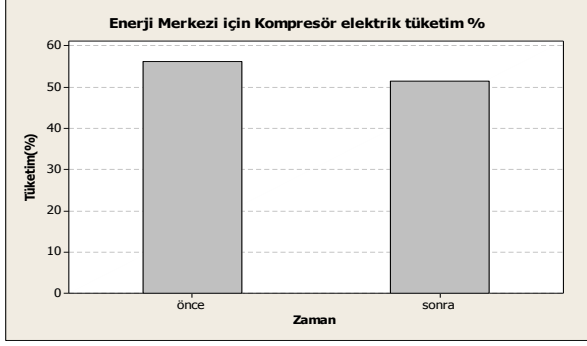
Kompresörlerin boş dolu yaparak çalışmasını engellemek için ihtiyaç duyulan basınçlı hava miktarına göre 2 yada 3 kompresör çalıştırılmıştır. Kompresörlerden biri değişken devirli olarak ve ihtiyaç duyulan en düşük basınç değeri set edilerek çalıştırıldı. Diğer kompresörün çıkış basınç değeri değişken devirli kompresörden yüksek set edilerek sürekli yükte çalışması sağlandı.

Yemek molalarında değişken devirli kompresörün devrinin oldukça düştüğü hatta kapandığı tespit edilmiş, mola saatlerinde değişken devirli olmayan kompresörlerden biri kapatılmıştır. Tesiste emniyetli tarafta kalmak için yedek durumda tutulan kompresörler vardır. Bu kompresörler farklı kombinasyonlarda değişken devirli kompresör ile birlikte çalıştırılmış ve yapılan deneysel tasarımı sonrası en uygun kombinasyon birinci öncelikli olarak değerlendirmeye alınmıştır.

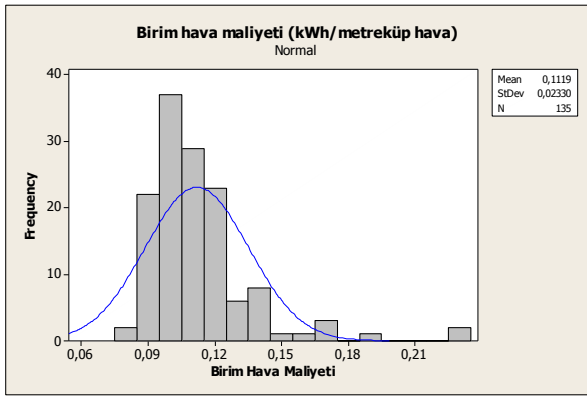


Sekil 15. Proje çalışması sonrasında enerji merkezi elektrik tüketim dağılımı

Proje öncesi ve sonrası enerji merkezi elektrik tüketiminde kompresörlerin harcadığı elektrik tüketim oranları aşağıda verilmiştir. % 56'larda olan enerji merkezindeki kompresör elektrik tüketim oranı %51 mertebelerine düşürülmüştür.

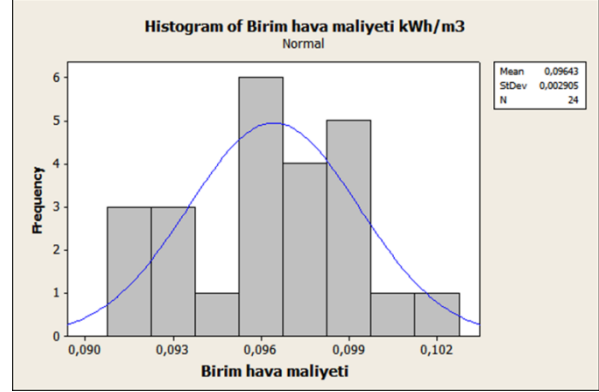


Sekil 16. Proje çalışması öncesi ve sonrasında enerji merkezinde kompresörlerin elektrik tüketim dağılım oranı



Sekil 17. Proje Öncesi birim hava maliyeti  
Tesiste bulunan kompresörlerin kullanım ömürleri farklı ve 5 yılın üzerinde olduğundan yeni nesil kompresörler ile kıyaslandığında verimsiz olabilir. Değişken devirli kompresör ile sağlanan avantaj yanı

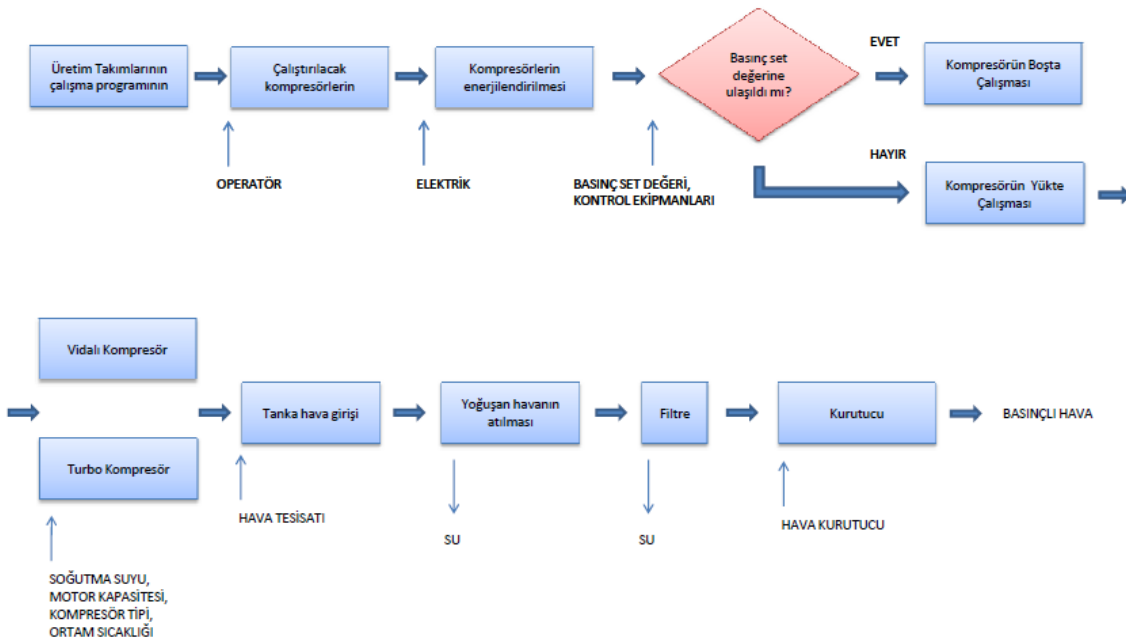
sıra eski nesil kompresörlerin yeni nesil ile değiştirilmesi sonrasında da verimlilik sağlanabilir. Yapılacak yatırımın ve kazanılacak elektrik tüketiminin hesaplanması sonrasında yeni nesil kompresör alınması söz konusu olabilir.



Sekil 18. Proje Sonrası birim hava maliyeti

## 5. KAYNAKLAR

- [1] <http://yesilekonomi.com/yorum/dusuk-karbon-ekonomisine-gecis>, (08.05.2012)
- [2] [www.sanayi.gov.tr/.../beyaz-esya-sektoru-raporu-06042012151417](http://www.sanayi.gov.tr/.../beyaz-esya-sektoru-raporu-06042012151417) (22.05.2012)
- [3] TÜİK, Türkiye 2010 Enerji Tüketim İstatistikleri, Ankara, 2012
- [4] Minitab® 16.2.1© 2010 Minitab Inc. MINITAB® and the MINITAB logo™ are trademarks of Minitab Inc. All other marks referenced remain the property of their respective owners.



Şekil 4. Basınçlı hava üretmek için süreç akış şeması