

# Bir Otomobil Montaj Fabrikasının Enerji Tüketim Analizi ve Enerji Tasarrufu Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Burcu Akbaş <sup>\*1</sup>  
Durmuş Kaya <sup>2</sup>  
Muharrem Eyidoğan <sup>3</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada, bir otomobil montaj tesisinin (pres, gövde, boyahane ve montaj bölümlerinde oluşan) üretim değerlerine karşılık gelen enerji tüketimleri incelenmiştir. Tesis genelinde, enerjinin yoğun kullanıldığı sistemler incelenmiş olup, verimliliğin artırılması için yapılabilecek çalışmalar irdelenmiştir. Üretim-tüketim analizleri 2013, 2014 ve 2015 yılı verileri üzerinden yapılmıştır. İncelenen tesisin yıllık otomobil üretim miktarı ortalama 150.000 adet/yıldır. Tesiste, otomobil başına özgül enerji tüketimi üç yıllık ortalama (SET), elektrik enerjisi için (SETe) 500,00 kWh/adet, doğalgaz için (SETdg) 650,00 kWh/adet olmak üzere toplamda 1.150,00 kWh olarak hesaplanmıştır. Üretim-tüketim analizlerinde regresyon analizi yönteminde faydalanılmıştır. Bu yöntem, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi göstermek için kullanılır. Bu çalışmada, fabrikanın üretim-tüketilen enerji miktarları incelenmiş ve bunlar arasında nasıl bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Tesiste yapılan enerji verimliliği çalışmaları sonucunda tesisin 3 yıllık ortalama enerji tüketiminde, elektrik enerjisi için %2,00 ve ısı enerjisi için %0,30 azalma sağlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji tasarruf potansiyeli, enerji verimliliği, otomobil üretimi, özgül enerji tüketimi (SET), regresyon analizi

## Energy Appraisal for Energy Consumptions and Energy Saving Potentials in an Automobile Assembly Plant

### ABSTRACT

In this study, the energy consumption corresponding to the production values of an automobile assembly plant (press, body, paint shop and assembly sections) was examined. Throughout the plant, systems are examined which are consume energy intensely. Production-consumption analyzes were made over datas of 2013, 2014 and 2015. The average annual production rate of the plant in which examined is 150,000 units/year. The three-years average specific energy consumption for per car is (SEC), 500.00 kWh/unit for electricity (SECe), 650.00 kWh/unit for natural gas (SECng) and totally 1,150.00 kWh/unit was calculated. Regression analysis method was used in production-consumption analysis. This method is used to show the relationship between two or more variables. In this study, the production-consumption energy quantities of the fabrics are examined and the relationship between them is revealed. As a result of energy efficiency studies, the three-years average energy consumptions of the plant will be reduced by 2.00% for electricity and 0.30% for thermal energy.

**Keywords:** Energy saving potential, energy efficiency, automobile assembly plant, specific energy consumption (sec), regression analysis

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 05.12.2017

Kabul/Accepted : 19.01.2018

<sup>1</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, İzmit/Kocaeli - burcuakbasmail@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, İzmit/Kocaeli - durmus.kaya@kocaeli.edu.tr

<sup>3</sup> Yrd. Doç. Dr. Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, İzmit/Kocaeli - muharrem.eyidogan@kocaeli.edu.tr



## 1. GİRİŞ

Günümüzde otomobil üretimi için çok sayıda tedarikçi katkıda bulunmaktadır. Pek çok farklı malzemeden oluştuğu ve bir işletmede bazen birden fazla model aynı anda üretildiği için bir otomotiv sektörünü, yan sanayi ile birlikte değerlendirmek oldukça güçtür. Bu nedenle bu çalışmada, yalnızca otomobil montajının yapıldığı bir işletmede gerçekleşen enerji tüketimleri ve enerji tasarruf potansiyelleri değerlendirilmektedir.

Fysikopoulos ve ark. [1], otomotiv montaj hattında Body-in-White (BiW, gövdeyi oluşturan metal parçaların birbirine kaynatılması işlemi) alt gövde yapısını modelleyerek enerji tüketimini hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda, tesiste araç üretiminin maksimumu olduğu 161-240. günler de enerji tüketimini minimum (68,9 MJ) olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak kapasite kullanımının artması ile makinelerin verimliliklerinin artması gösterilmektedir. Kaynak çalışmasına ait simülasyonda BiW üzerinde toplam 4.474 kaynak noktası olduğu ve bunun %49,6'sının alt gövdede olduğu göz önünde bulundurularak yapılan 2 yıl süreli simülasyon çalışması ile 73 MJ/alt gövde enerji tüketimi gerçekleşeceği hesaplanmıştır.

ABD Enerji Bakanlığı (DOE) Endüstri Teknolojileri Programı (ITP), ABD Otomotiv Araştırmaları Konseyi (USCAR) ile iş birliği kapsamında, "Otomotiv İmalatında Enerji Tüketiminin Azaltılması Yol Haritası" başlıklı yayını hazırlamışlardır. Bu çalışmanın yayımlanması otomotiv üretimi ve buna bağlı tedarik zincirinde enerji tüketiminin azaltılması ile ilgili fırsatların anlaşılması için odaklanmış bir gayreti ifade etmektedir.

Açıkça görülmektedir ki fırsatlar çeşitli ve endüstrinin her alanını kapsamaktadır. Yol Haritasında BiW, iç aksam, otomotiv boya prosesi, güç ünitesi ve gövde elemanları, nihai montaj, tesis yardımcı işletmeleri incelenmiştir. Ayrıca inovasyonla geliştirilmesi gereken enerji verimliliği alanları da okuyucular için derlenmiştir [2].

Günümüz rekabetçi koşulları ve artan enerji fiyatları nedeniyle bir işletmenin tükettiği enerjiyi etkin kullanabilmesi, ancak zamanında yatırım yaparak teknolojinin güncelleştirilmesi, işletme şartlarının optimizasyonu ve sürekli kontrolü sonucunda yapabilecek tasarruflar ile mümkündür. Bu doğrultuda, örnek bir otomobil üretim işletmesi sahasında olası kayıpları tespit etmek için ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak bu çalışma başlatılmıştır.

Enerji verimliliği birçok kavramı içerisinde barındırmaktadır. Bu kavramlar kısaca özetlenecek olursa, **Enerji Kaynağı:** Enerji üretimi sağlayan kaynaklardır. Genel olarak klasik enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak ayrılmaktadır. **Enerji Verimliliği:** Enerji kaynaklarının en yüksek etkinlikle kullanılması olarak ifade edilmektedir. **Enerji Tasarrufu:** Enerjinin verimli kullanılması amacıyla üretimin tüm aşamalarında harcanan enerji miktarındaki azalmadır. **Enerji Etüdü:** Enerji ta-



sarrufu olanaklarını ortaya çıkarmak amacıyla yapılan detaylı çalışmalardır. Bunlar; bilgi edinme, ölçme, değerlendirme/hesaplama ve raporlama aşamalarından oluşur.

**Enerji Yönetimi:** Enerji kaynaklarının en etkin biçimde kullanılması için uygulanan yöntemlerin tümüdür [3].

Bu kavramları anlamak, enerjinin etkin kullanılması açısından önem taşımaktadır. Ülkemizde birincil enerji kaynaklarının yaklaşık %24'ü, elektriğin ise %47'si sanayi sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye enerji yoğunluğu yüksek ülkelerin başında gelmektedir [4].

Bu çalışmada, pompa verimliliklerine, fan verimliliklerine, chiller performansına, fırınların analizlerine, buhar kazanı verim analizine ve basınçlı hava sisteminin verimliliğine yönelik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Tespit edilen, kayba neden olan noktalar, bu noktalardan ne kadar kayıp gerçekleştiği ve bu kaybın telafisi için gerekli yatırım ihtiyaçları ve fiyat bilgileri konusunda önerilerde bulunulmuştur.

## 2. ARAÇ ÜRETİM PROSESİ

Temel olarak otomobil üretimi 4 kademe içermektedir:

- a) Pres
- b) Kaynak (gövde imalatı)
- c) Boyahane
- d) Montaj

Ülkemiz otomobil endüstrisinde daha çok araç gövde üretimi gerçekleştirilmektedir. Profillerin ve çelik sac yüzeylerin birleştirilmesi, ardından motor ve aksesuarların montajı ile nihai ürün elde edilmektedir. İnceleme yaptığımız işletmenin birçok yan sanayi bulunmaktadır. Pek çok parça yan sanayinde üretilse de çelik sac yüzeyler ve motor gibi üretimi meşakkatli ve üretim aşamasında enerji tüketimi yüksek parçalar yurtdışından temin edilmektedir. Otomobil gövdesinin büyük bir kısmı çelik sacdan imal edilmektedir. Maliyetin düşük olması, iyi şekillendirilebilme ve hafiflik gibi bazı özellikler nedeniyle çeşitli çelik alaşımları da kullanılmaktadır. Aksesuarlar için ise daha çok plastik ve fiberglas malzemeler kullanılmaktadır.

**Pres bölümü,** otomobilin çelik sac yüzeylerinin şekillendirildiği kısımdır. Üretilmek istenen otomobil modeline göre değişiklik gösteren kalıplar, preslere yerleştirilerek çelik saclar üzerinde istenen şekil elde edilmektedir.

**Kaynak bölümünde** otomobilin şasesi yapılmaktadır. Şase otomobilin iskelet yapısıdır. İskelet üzerine aks sistemi, güç dağıtım sistemi, yönlendirme mekanizması ve süspansiyon elemanları montaj edilmektedir. Kaynak bölümünde üretilen gövdeler, boya-



haneye yalnızca renklendirme amacıyla değil, aynı zamanda ses yalıtımı ve korozyona karşı dayanıklı olmalarını sağlayacak işlemlerin yapılması için de gönderilmektedir.

**Boyama bölümünde** otomobil gövdesi kataforez boyama uygulaması ile boyanmaktadır. ED (Electro Deposition; elektro kaplama, kataforez boyama) kaplama işlemi öncesinde, sac yüzeyler ön temizlik için bazı proseslerden geçmektedir. Yüzey şartlandırması işleminden sonra otomobiller ED havuzundan geçerek kataforez boya ile kaplanmaktadır. ED boyasının pışirilmesinin ardından ses yalıtımı ve korozyon dayanımı sağlamak amacıyla mastik ve PVC uygulamaları yapılmaktadır. Bundan sonraki aşama “ilk kat” boyadır. Bu aşamada, ultraviyole güneş ışınlarına dayanım ve son kat boyanın kalitesini artırmak amacıyla yapılmaktadır. İlk kat boyama işleminden sonra otomobiller, konveyörlü fırınlara girmektedir. Ardından “son kat” boya kabineye gönderilmektedir. Son kat boyama işlemi de bitince, tekrar fırına gönderilen otomobiller montaj hattına gönderilmektedir.

**Montaj bölümünde** otomobiller montaja girince, “manifest” adı verilen ve otomobilin tüm özelliklerini anlatan bir kağıt otomobil üzerine yerleştirilmektedir. Ana gövde ilerlerken, aynı anda alt parçaların üretildiği hatlarda da parça üretimine başlanmaktadır. Alt parçalar ve gövde tam zamanında birleşmektedir. Tedarikçilerden gelen küçük parçalar da tam zamanında istasyona ulaşmaktadır. Lojistik grubu tarafından organize edilen işlemler neticesinde, istasyon kenarında az miktarda emniyet stoğu bulundurulmaktadır.

### 3. OTOMOBİL MONTAJ TESİSİNDE ENERJİ TÜKETİMİ VE VERİMLİLİK ARTIRICI FIRSATLAR

Motorlu araç montaj tesislerinde birincil enerji kaynakları; elektrik, buhar, doğalgaz ve basınçlı havadır. Toplam enerji bütçesinin yaklaşık %45’ini elektrik enerjisi teşkil etmektedir. Geri kalan %55’lik kısım ise doğalgaz enerjisidir.

Doğalgaz daha çok ortam ısıtmasında, boyama kabinlerindeki iklimlendirmede (sıcaklık ve nem) ve boya kurutma fırınlarında kullanılmaktadır. Elektrik ise pres bölümü (sac şekillendirme), kaynak makinaları, boyama, basınçlı hava, aydınlatma, iklimlendirme ve malzeme nakliyesi gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Enerji tüketiminin dağılımı o tesise özgü sebeplerden dolayı değişiklik göstermektedir.

Almanya’da tesis yakıt tüketiminin %50 – 60’lık kısmı boyahane gerçekleştirilmektedir [5]. Bu çalışmanın amacına uygun olarak otomotiv imalat prosesinde, üretim-tüketim analizleri ve genel performansı düşürmeden uygulanabilecek enerji verimliliği fırsatları ele alınmıştır. Aşağıda, bir otomobil üretim prosesinde gerçekleştirilebilecek enerji verimliliği artırıcı önlemler verilmektedir.

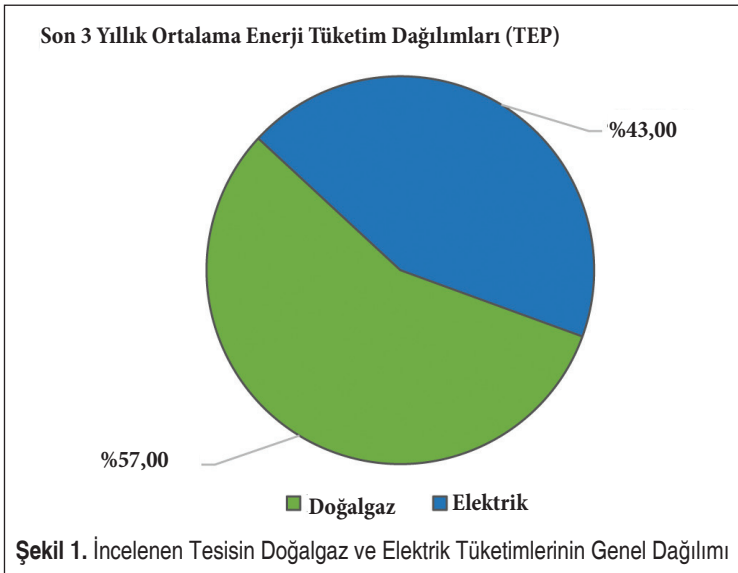


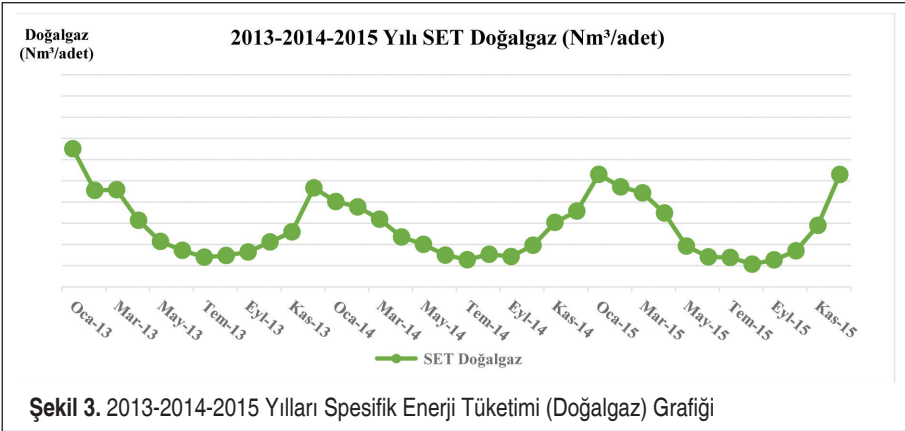
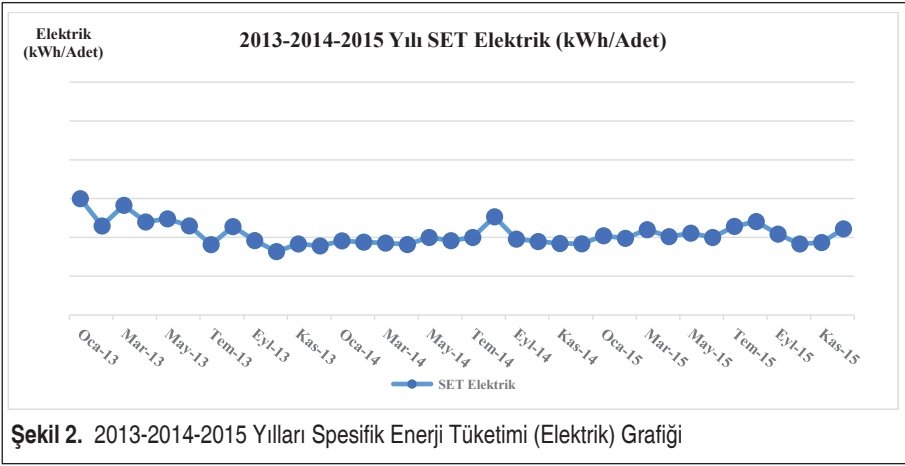
### 3.1 Örnek Bir Otomobil Üretim Tesisinin Enerji Tüketimi Dağılımı

Bu çalışma, 150.000 araç/yıl üretim kapasitesine sahip bir otomobil üretim tesisinde gerçekleştirilmiştir. Tesisin bulunduğu bu bölge aşırı soğuk ve aşırı sıcak iklim koşullarına sahip değildir. Üretimde presler ve kaynak robotları yoğun enerji tüketen sistemlerdir. Tesis enerji tüketiminin büyük bölümü boyahane de gerçekleşmektedir. Montaj hattında ise tedarikçilerden gelen motor bloğu ve elemanları ile iç aksesuar ekipmanları gövdeye yerleştirilmektedir. Tesisin elektrik ve doğalgaz tüketiminin bölümler bazında dağılımı Şekil 1’de verilmektedir. Bu dağılım, yapılan çalışma sırasında örnek otomobil fabrikasına ait yaklaşık değerler ile bu çalışma için üretilmiştir.

Bu grafikten anlaşılacağı üzere çalışma yapılan otomobil fabrikası enerji tüketimleri literatürde belirtilen otomobil fabrikaları ile benzerlik göstermektedir. Tesisin 3 yıllık çalışma düzeni ile araç başına özgül enerji tüketimi ortalama (SET) elektrik enerjisi için (SET<sub>e</sub>) 500,00 kWh, doğalgaz için (SET<sub>dg</sub>) 650,00 kWh olmak üzere toplam 1.150,00 kWh olarak hesaplanmıştır. Farklı tesislerde; özgül enerji tüketim verilerinin çeşitliliği üretim metotları, üretilen parçalar, üretilen araç türü (büyüklüğü), iklim şartları vb. koşullardan etkilenmektedir.

Enerji tüketim değerlendirmeleri için “Spesifik Enerji Tüketimi (SET)”, yani birim değişken için harcanan enerji miktarı önemli bir parametredir. Çoğu tesis geçmiş SET değerlerine dayanarak sonraki yılın enerji tüketim projeksiyonunu hazırlamaktadır. Burada kullanılan üretim ve tüketim verileri örnek bir otomobil fabrikası için alınan yaklaşık değerlerdir. Grafikler bu çalışma için üretilmiştir. Yukarıdaki bilgilere göre





2013-2014-2015 yılları için oluşturulan SET grafiği Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir.

Yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere, spesifik enerji tüketimleri değişiklik göstermektedir. Elektrik tüketimleri nispeten daha düzgün bir seyir izlerken, doğalgaz tüketimlerinde özellikle kış aylarında artış yaşandığı görülmektedir. Bu durum doğalgazın üretim dışında ısıtma içinde kullanıldığını açıklamaktadır.

### 3.2 Soğutma Sistemi

Gövdenin boyanması esnasında açığa çıkan uçucu maddelerin boya kabinlerinden uzaklaştırılması için kabinlerde hava sirkülasyonu yapılmaktadır. Dış ortamdan kabine şartlandırılmış hava gönderilmekte ve kabin içinden de ortam havası çekilerek kabin dışına atılmaktadır. Otomotiv sektöründe soğutma sistemleri genellikle boya



kabinlerine gönderilen havanın şartlandırılmasında kullanılmaktadır. Boya kabinlerine dış ortandan gönderilen hava belirli sıcaklık ve nem değerinde olmalıdır. Boyanın otomobil gövdesine istenilen şekilde nüfus etmesi ve kalıcılık sağlaması için kabin içi şartları, belirlenen değerlerde sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Kabine gönderilecek havanın sıcaklığı istenilen değerlerin üzerinde ise soğutma sistemleri devreye girmektedir. Havanın soğutulması için chillerlerden gelen soğuk su kullanılmaktadır. Bunun dışında, otomotiv sektöründe soğutma sistemleri daha çok mahal soğutma için kullanılmaktadır.

Soğutma sistemlerinde verimliliği gösteren en önemli etken COP değeridir. İhtiyaca en uygun kapasitede chiller seçilmelidir. Genellikle küçük kapasitelerdeki chillerlerde hermetik tip kullanılmaktadır. 500 kW kapasiteye kadar soğutma gruplarında yarı hermetik tip oldukça sık kullanılmaktadır.

Genellikle 450 kW ile 1500 kW arasındaki kapasiteye sahip chiller ünitelerinde ise vidalı tip kompresörler kullanılmaktadır. Özgül hacmi yüksek olan akışkanların kolayca hareket ettirilmesi mümkün olduğundan genellikle büyük kapasiteli derin dondurma işlemlerinde santrifüj kompresör uygulanmaktadır. Bu tip kompresör grupları ile diğer kompresörlerle ulaşılabilecek kapasiteleri elde etmek mümkündür. Seçim yaparken ihtiyaç duyduğunuz kapasite ana belirleyici faktör iken, sistemin çalışacağı bölgede yedek parça bulunabilirliği ve ortam koşulları gibi faktörler de belirleyici etken olabilmektedir.

Chillerlerin verimlerinin düşük olmasının sebepleri farklılık gösterebilmektedir. Örneğin; chillerlerin düşük kapasitelerde çalıştırılması, kondenser ve evaporatörlerin ısı transfer yüzey alanlarının kirlenmesi, kondenser suyu giriş sıcaklığının yüksek olması, evaporatör çıkış suyu sıcaklığının düşük olması, soğutucu akışkan kaçakları olarak ifade edilebilir.

Pistonlu kompresörlü hava soğutmalı gruplarda COP değerlerinin 2.60-2.90 aralığında, pistonlu kompresörlü su soğutmalı gruplarda 3.50-4.50, vidalı kompresörlü hava soğutmalı gruplarda 2.60-3.00, vidalı kompresörlü su soğutmalı gruplarda 4.70-6.3, santrifüj kompresörlü su soğutmalı kompresörlerde 5.3-10.8 aralığında olması beklenir.

Bu çalışma sırasında incelenen chillerlerden yalnızca biri (Su soğutmalı chiller) aktif olarak çalışmaktadır. Yapılan ölçümlerde, chillerlerin COP değeri ~5,5 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu COP değerleri beklenen aralıktadır. Günümüz teknolojisinde su soğutmalı chillerler için COP değerleri genellikle 4,5~7 arasındadır.

İncelenen tesis için mevcut chillerin yeni nesil chiller ile değiştirilmesine gerek görülmemiştir. İhtiyaç olması halinde ise daha yüksek COP'li chillerlerin tercih edilmesi enerji tasarrufu sağlayacaktır.



### 3.3 Pompalar

Amerikan Hidrolik Enstitüsü'nün yaptığı araştırmaya göre, sanayide tüketilen enerjinin yaklaşık %20'si pompalar tarafından tüketilmektedir. İyi sistem dizaynı ve uygun pompa seçimiyle bu enerjinin %30'u kadarının tasarruf edilebileceği tahmin edilmektedir [6].

Otomobil üretim tesislerinde, pompalar birçok farklı amaçla kullanılmaktadır. Bu tesis için incelenen pompalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kompresör soğutma suyu pompaları; su soğutmalı basınçlı hava kompresörlerinin soğutulmasında soğutma kulesi ile kompresör arasında su sirkülasyonunu sağlamaktadır.
- Soğutma sistemi pompaları; makinaların soğutulmasında, chiller ve soğutulacak nokta arasında soğuk su sirkülasyonunu sağlamaktadır.

Kompresör soğutma suyu pompaları, kompresörden açığa çıkan ısının soğutma kulesinden atmosfere atılması için soğutma suyu sirkülasyonunu sağlamaktadır. Kompresör soğutma sisteminde toplam 2 adet pompa bulunmaktadır. Bu pompalar kompresörlerin soğutulmasında kullanılmaktadır.

Kule pompaları kaynak makinalarına ve robotlara soğutma suyu sağlamaktadır.

Aktif çalışan kompresör soğutma suyu pompalarının verimlerinin beklenenden düşük olduğu tespit edilmiştir. Aktif çalışan kompresörün soğutulmasını sağlamak için düşük kapasiteli, yüksek verimli pompaların kullanılmasıyla 146.160,00 kWh/yıl enerji tasarrufu mümkündür. Toplam tasarrufun mali değeri 29.232,00 TL/yıl'dır. Yapılacak yatırımın mali değeri 61.000,00 TL'dir. Basit geri ödeme süresi ise 2,09 yıl'dır. Kompresör soğutma pompaları etiketine yakın değerlerde çalışmasına rağmen verimlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, seçilen pompaların etiket NPSH (Net Positive Suction Head, Net Pozitif Emme Yüksekliği) değerlerinin yüksek olması gösterilebilir.

Bu nedenle değişimini önerdiğimiz pompalar için seçim yapılırken NPSH değerlerinin mümkün olduğunca düşük seçilmesine özen gösterilmiştir.

Mevcut kule soğutma pompalarının sistem verimlerinin beklenenden düşük olduğu tespit edilmiştir. Kule pompalarının yüksek verimli pompalar ile değişimi sonucunda elde edilecek tasarruf miktarı 515.340,00 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Tasarrufun mali değeri 103.068,00 TL/yıl'dır. 3 adet pompa için yatırım maliyeti 127.000,00 TL ve projenin basit geri ödeme süresi 1,23 yıl'dır.

İncelenen 2 adet chiller pompasından sistem veriminin beklenen aralıkta (>%60) olduğu tespit edilmiştir. 2 adet pompanın verimlerinin düşük olduğu (%25-38) belir-





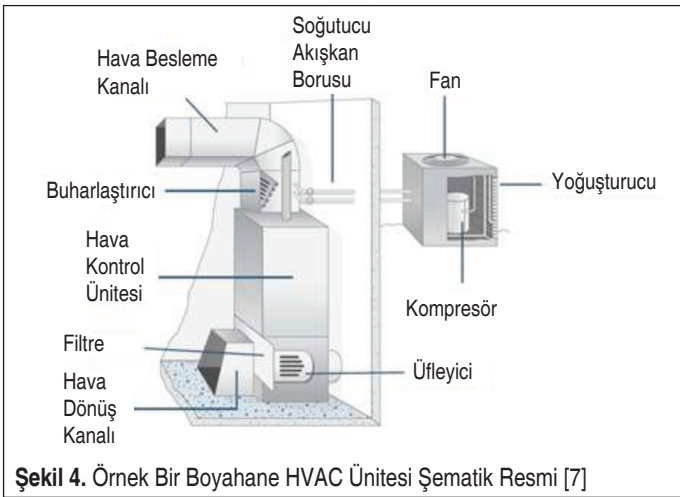
lenmiştir. Mevcut pompaların daha verimli pompalar ile değişimi sonucunda yıllık 206.640,00 kWh enerji tasarrufu yapmak mümkün olacaktır. Bu tasarrufun mali değeri 41.328,00 TL/yıl'dır. Bu değişimin yatırım maliyeti 46.000,00 TL ve basit geri ödeme süresi ise yaklaşık 1,11 yıl'dır.

### 3.4 Boyahane HVAC Fanları

HVAC sistemleri, sıralanmış üç fonksiyonu (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) tek bir sistem içerisinde birleştirmektedir. HVAC sistemleri kuruldukları ortamlardan sıcaklık, basınç, nem gibi verileri alarak uygun düzeyde havalandırma sağlamaktadır. HVAC sistemlerinde basınç ve sıcaklıklar otomatik kumanda ile kontrol etmektedir. Bu kontrol ile istenen değerlere, minimum enerji kullanarak ulaşılmaktadır. Sistemin en önemli özelliği, minimum enerji ile maksimum verime ulaşarak uygun şartları sağlamaktır.

Boyanın otomobil gövdesine en iyi şekilde nüfus etmesi ve boyama işleminin istenilen kalitede gerçekleştirilebilmesi için uygun kabin içi iklim şartlarının sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla boyahanelerde HVAC fan üniteleri kullanılmaktadır. Bu fanlar, boyama işlemi gerçekleşirken havaya karışan boya partiküllerini uzaklaştırmak ve atmosferden alınan taze havayı iklimlendirerek boyama kabinlerine göndermek için kullanılmaktadır. Fanlar iklimlendirme için sırasıyla filtreleme, ön ısıtma, soğutma, nemlendirme ve son ısıtma işlemlerini yerine getirmektedir. Örnek bir boyahane HVAC ünitesi şematik resmi Şekil 4'te verilmiştir.

İncelenen tesiste, fan motorlarının tamamında hız sürücüsü bulunmaktadır. Bu nedenle verimleri düşük olan fanlara yalnızca fan değişimi önerilmektedir. Toplam 5





adet fan için düşünülen fan değişimi sayesinde elde edilecek toplam tasarruf miktarı 1.146.096,00 kWh/yıl'dır. Bu tasarrufun mali değeri 229.219,20 TL/yıl'dır. 5 adet fan için yatırım maliyeti yaklaşık olarak 387.000,00 TL ve basit geri ödeme süresi 1,69 yıl'dır.

HVAC sistemlerinde verimliliği sağlamak için bazı yollar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Sistemin işletim saatlerinde çalışması, işletmenin kapalı olduğu zamanlarda sistemin de kapanmasının sağlanması,
- Havanın ısı, nem, entalpi ve hava kalitesi değerlerine dayanarak yapılan kontrol ile enerjiyi en verimli şekilde kullanmak ve gereksiz ısıtma, soğutma vb. işlemlerin önlenmesi,
- Fancoil ve radyatörlerin kontrolleri ile işletim saatleri dışında çalışmaması,
- Pompa ve fanların basınç ve debi gibi değerlerin ölçümüne dayanarak frekans konvertörü ile kontrol edilmesidir.

### 3.5 Boya Fırınları

Geleneksel boyama işlemi birçok aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; kataforez, astarlama, alt kaplama ve üst kaplama olarak adlandırılmaktadır. Kataforez işlemi, elektrokimyasal bir kaplama yöntemidir. İletken özellik gösteren metal parçaların boyanarak korozyon direnci kazanması için oldukça etkili ve yaygın bir yöntemdir. İyi bir kataforez kaplama ile 1000 saat civarında tuz testi dayanımı sağlanabilir. Yüzey temizliğinin çok iyi yapılması, fosfat kristal yapısının iyi olması, kaplama kalınlığının ideal sınırlarda olması (ortalama 20-30 mikron) ve sac kalınlığına göre fırın sıcaklığı bu dayanıma direk etki eden belli başlı parametrelerdir.

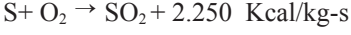
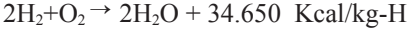
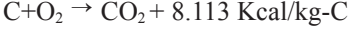
Otomobiller boya kabinlerinden sonra fırınlara gönderilmektedir. Fırınlarda, otomobillere uygulanan yaş boyanın, performans ve fonksiyonelliğini sağlamak için, içerisindeki su ve/veya solventinin buharlaştırılması gerekmektedir.

Boya kabinlerinde, araç üzerine uygulanan boyanın yüzeye en iyi şekilde nüfus etmesi ve uçucu solventlerin buharlaştırılması için kurutma fırınları kullanılmaktadır. Boya kurutma işleminde hava, doğalgaz brülörlü fırınlar ile ısıtılarak kabinlere gönderilmektedir. Otomotiv sektöründe, doğalgaz tüketiminin yaklaşık %70'i boyahane de gerçekleşmektedir.

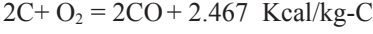
Bu tesiste toplam 8 adet fırın incelenmiştir. Enerji verimliliği arttıran uygulamaların başında gelen kurutma fırın brülörlerinde yakıt-hava oranının iyi ayarlanması gelmektedir. Gaz yakıtlar hava ile kolaylıkla karıştığından ön hazırlığa gerek olmamaktadır. Tutuşma sıcaklığına ulaşıldığında ve uygun türbülans sağlandığında yanma süresi kısalmaktadır [9].



Tam Yanma:



Eksik Yanma:



Denklemlerden de anlaşılacağı üzere, yetersiz oksijen sebebiyle karbonun, karbonmonoksit halinde kalmasıyla kaybedilen enerji miktarı %70 mertebesindedir. Bu nedenle iyi bir yanma sağlanması için, yakıtta verilen hava belirli oranda artırılmaktadır. Buna hava fazlalık katsayısı denilmektedir.

Yakıt cinsine göre değişiklik gösteren bu katsayının istenenden az olması halinde, karbonmonoksit oluşmakta, üretilen enerji miktarı azalmakta ve yanma verimi düşmektedir. Hava fazlalık katsayısının gereğinden fazla olması halinde ise karbonmonoksit azalmakta ancak yanmaya iştirak etmeyen hava ısıtılarak bacadan atılmakta ve yine yanma verimi düşmektedir. Bu nedenle, yanmanın optimizasyonu için analizörler yardımıyla, baca gazı analizleri yapılarak brülöre anında müdahale edilebilmektedir [9].

Bu çalışma sırasında boya kurutma fırınlarından 4 adedinde, hava/yakıt oranının etkin yanma için uygun olmadığı görülmüştür. 4 adet boya kurutma fırınında brülör yanma optimizasyonu yapılması durumunda yıllık 824.712,00 kWh/yıl ve mali olarak 61.853,40 TL/yıl enerji tasarrufu sağlanabilecektir.

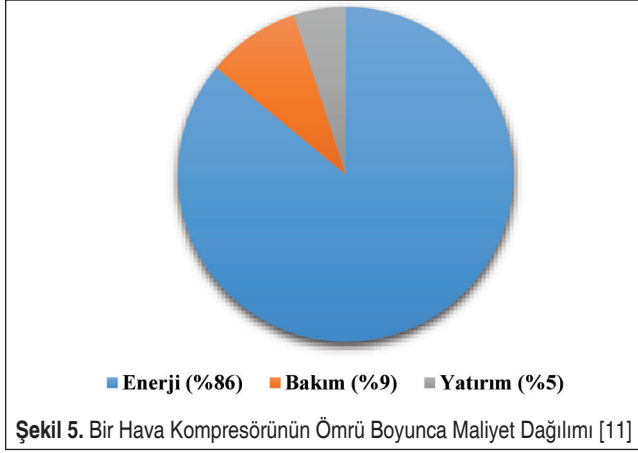
### 3.6 Basınçlı Hava

Basınçlı hava güvenli ve uygun bir güç kaynağı olduğu için, kontrol vanalarında, hava motorlarında ve hava tabancalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Basınçlı hava sistemleri birçok alt kademeden oluşmaktadır. Bu kademeler; kompresör, tahrik sistemi, kontrol ünitesi, bakım ünitesi, dağıtım sistemi ve aksesuarlardan oluşmaktadır. Tahrik ünitesi (elektrik veya içten yanmalı motor) kompresörü harekete geçirmektedir. Kontrol ünitesi, basınçlı hava miktarını ayarlamaktadır. Bakım ünitesi, havanın içindeki istenmeyen maddelerin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır. Dağıtım sistemi ise havanın istenilen noktaya sevkini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Birçok avantaja sahip olması nedeniyle, basınçlı havanın maliyeti yüksek bir kaynak olduğu göz ardı edilmektedir [10].

Basınçlı hava, sanayide yaygın olarak kullanılan bir kaynaktır. Basınçlı hava sisteminde meydana gelebilecek bir arıza birçok tesiste üretimin aksamasına, hatta durmasına sebep olabilir. Kompresörsüz bir fabrika düşünmek zordur. Kompresörlerin



hemen hemen tamamı elektrik ile çalışmaktadır. Elektrik pahalı bir ikincil enerji kaynağıdır.

Bir kompresörü yıl boyunca çalıştırdığımızda harcadığımız enerjinin maliyeti, genelde kompresörün satın alma maliyetini aşmaktadır. Bir hava kompresörünün ömrü boyunca maliyet dağılımı Şekil 5'te verilmiştir.

Şekilde görüldüğü üzere, kompresörün enerji maliyeti satın alma maliyetinin çok üzerindedir.

Yapılan enerji etütlerinde, tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu alanlardan birinin basınçlı hava sistemi olduğu tespit edilmiştir. Farklı sanayi kuruluşlarında yapılan enerji tasarrufu çalışmalarında basınçlı hava sistemlerinde tespit edilen başlıca enerji tasarrufu imkânı;

- ✓ Kompresörlerin doğru tip ve boyutta seçilmesi,
- ✓ Kompresöre soğuk, temiz ve kuru hava girişi sağlanması,
- ✓ Kompresör soğutma havasının kullanımı,
- ✓ Basınçlı hava ekipmanlarının düzenli olarak bakımı,
- ✓ Sistem verimliliğini sağlamak için gerekli enstrümanların sağlanması,
- ✓ Hava kaçaklarının giderilmesi,
- ✓ Sistemin mümkün olan en düşük basınçta çalıştırılması, eğer ekonomikse soğutma enerjisinin geri kazanılması,
- ✓ Ekipmanların uygun şekilde yağlanması olarak sıralanabilir.

Basınçlı hava sisteminde meydana gelen sızıntılar toplam hava üretiminin %25'ine

**Tablo 1.** Bölümlere ait İhtiyaç Duyulan Basınç Değerleri

	Debi	Basınç
	Nm <sup>3</sup> /h	bar
Press Bölümü	950	6,5
		6,8
		5,5
Kaynak Bölümü	1.700	5,0
Boyahane Bölümü	5.000	5,5
Montaj Bölümü	1.150	6,5
		5,3
Plastik Bölümü	1.170	5,5

kadar ulaşabilmektedir. Bununla beraber kabul edilebilir sızıntı oranı kompresör çıkış debisinin %10'u kadardır [12].

Basınçlı havanın yoğun olarak kullanıldığı otomotiv tesislerinde, kompresör atık ısısının etkin şekilde kullanımı ile büyük miktarda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

İncelenen tesiste toplam 5 adet kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörlerden yalnızca 1 tanesi VSD'li kompresördür. Bu kompresörlerin çıkış basıncı 8,5 bardır. Ancak farklı bölümlerde ihtiyaç doğrultusunda farklı basınç değerleri ile işlem yapılmaktadır. Bölümlere ait ihtiyaç duyulan basınç değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Montaj, kaynak, boyahane ve plastik bölümleri için kompresörlerin 8,5 bar basınçta çalışması enerji sarfiyatına sebep olmaktadır. Bu bölümlerin basınç ihtiyacı 1 ya da 2 kompresörün 6,5 bar basınçta çalıştırılması ile karşılanabilir. Düşük basınçta çalışan kompresörler için yeniden hat çekilmesi gerekmektedir. Böylece aktif halde bulunan ve 8,5 bar basınçta çalışan kompresörlerin üzerindeki yük azaltılarak enerji tasarrufu elde etmek mümkün olacaktır. Bu uygulama ile elde edilebilecek tasarruf miktarı 1.396.080,00 kWh/yıl'dır. Bu tasarrufun mali değeri 279.216,00 TL/yıl, yeni hat için yatırım maliyeti yaklaşık 650.000,00 TL ve projenin basit geri ödeme süresi 2,33 yıl'dır.

İncelenen otomobil üretim tesisinde basınçlı hava kaçaklarının kontrolü için üretim hattı içine girmek gerekmekteydi. Şirket politikası gereği üretim hattına girmek yasak olduğundan ultrasonik dedektörle basınçlı hava taraması yapılamamıştır.

### 3.7 Buhar Kazanları

Otomobil üretim tesislerinde buhar genellikle; boyahane eşanjörleri, HVAC üniteleri ve mahallerin ısıtılması gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Buhar kullanılan sistemlerde,

yakıtle verilen enerjiden faydalı enerjiye dönüştürülebilir enerji oranı sınırlıdır. Özellikle enerji verimliliğine özen gösterilmeyen tesislerde, sistem verimi olarak tanımlayabileceğimiz bu değer %50-60 mertebelerinin altına kadar düşebilmektedir [13].

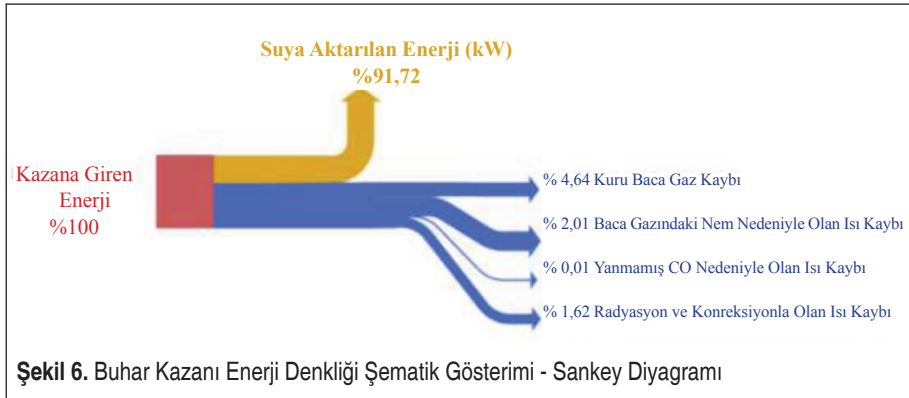
İncelenen otomobil üretim tesisinde 3 adet buhar kazanı bulunmaktadır. Bu kazanlardan yalnızca 1 tanesinin (Kazan-A) aktif olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. İhtiyaç duyulduğunda diğer kazanlarda devreye girmektedir. Ayrıca kazan egzoz gazı ile kazan suyunun ön ısıtması yapılmaktadır.

Buhar kazanlarına verimlilik; hava-yakıt oranına, baca gazı emisyonlarına ve sıcaklığına, yakıt cinsine ve yakıt içerisindeki kirleticilere, brülör tasarımına, kazan yüzeyinden ısı kayıplarına ve blöf miktarına bağlı olmaktadır.

Baca gazı analizörü ile baca gazındaki karbondioksit, karbon monoksit, oksijen miktarları, baca gazı sıcaklığı ve ortam sıcaklığı gibi pek çok parametre ölçülebilmektedir. Bu değerler ile yanma verimi otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Kazan verimini hesaplayabilmek için ise kayıpları belirlemek gerekmektedir. Buhar kazanı kayıpları genel olarak baca gazı kayıpları, yüzeyden ısı kaybı ve blöf ile ısı kaybı olarak incelenmiştir. İncelenen tesis için hesaplamalarda blöfle ısı kaybı ihmal edilmiştir.

Buhar kazanı enerji dengeliği şematik gösterimi- Sankey Diyagramı Şekil 6'da verilmiştir. Sankey Diyagramı çalışma sırasında yapılan gerçek ölçümlere dayanarak bu çalışma için üretilmiştir.

Kazan için yapılan ölçümler ve hesaplamalar doğrultusunda kazan veriminin beklenen değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz brülörlü yakma sistemlerinde baca gazında %3 oksijen ve 0 ppm karbon monoksit ölçülmesi sistemde optimum yanma olduğunu göstermektedir. Ölçülen oksijen oranının %3'e çekilmesi için fazla hava oranı bir miktar düşürülebilir.



Şekil 6. Buhar Kazanı Enerji Dengeliği Şematik Gösterimi - Sankey Diyagramı



## 4. SONUÇLAR

Bir otomobil üretim fabrikasında gerçekleştirilen enerji verimliliği çalışmasının amacı, enerjinin etkin kullanılması, enerji tasarruf imkânlarının ve verimlilik artırıcı projelerin belirlenmesidir. Yapılan etütle enerji maliyetlerinin işletme bütçesi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve aynı zamanda çevrenin korunması hedeflenmektedir. Bu projelerde sağlanan tasarruf ile üretim maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Çalışma gerçekleştirilirken otomotiv yan sanayi süreçleri dikkate alınmamıştır. Te-siste pompa verimliliklerine, fan verimliliklerine, chiller performansına, fırınların analizlerine, buhar kazanı verim analizine ve basınçlı hava sisteminin verimliliğine yönelik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Örnek tesiste incelen su soğutmalı chillerin COP değerinin beklenen aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle soğutma sistemi ile ilgili herhangi bir öneride bulunulmamıştır.

İncelemeler sonucunda 7 pompanın veriminin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu pompaların daha verimli pompalar ile değişimi sonucunda elde edilebilecek enerji tasarruf miktarı 868.140,00 kWh/yıl'dır. Tasarrufun mali değeri 173.628,00 TL/yıl'dır. Toplam 7 adet pompanın değişimi için gerekli yatırım maliyeti 234.000,00 TL ve basit geri ödeme süresi 1,35 yıl'dır.

Kompresör soğutma pompaları etiketine yakın değerlerde çalışmasına rağmen verimlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, seçilen pompaların etiket NPSH değerlerinin yüksek olması olabilir. Bu nedenle değişimini önerdiğimiz pompalar için seçim yapılırken, NPSH değerlerinin mümkün olduğunca düşük seçilmesine özen gösterilmiştir.

Boyahanede ölçümü alınan fanların tamamında sürücü bulunmaktadır. Bu nedenle verimleri düşük olan fanlara yalnızca fan değişimi önerilmektedir. Toplam 4 adet fan için düşünülen fan değişimi sayesinde elde edilecek toplam tasarruf miktarı 1.146.096,00 kWh/yıl'dır. Bu tasarrufun mali değeri 229.219,20 TL/yıl'dır. 4 adet fan için yatırım maliyeti yaklaşık olarak 387.000,00 TL ve basit geri ödeme süresi 1,69 yıl'dır.

Kazan-A için yapılan ölçümler ve hesaplamalar doğrultusunda kazan veriminin beklenen değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Doğalgaz brülörlü yakma sistemlerinde baca gazında %3 oksijen ve 0 ppm karbonmonoksit ölçülmesi sistemde optimum yanma olduğunu göstermektedir. Etüt sırasında ölçülen oksijen oranının %3'ün altına düşürülmesi enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Fırınlardan alınan ölçümler sonucunda bazı fırınların brülörlerinde yanmanın verimli gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Hava-yakıt karışımının etkin yanma için uygun olmadığı görülmüştür. Brülörlerde yanma ayarının yaptırılması önerilmektedir. Toplam



4 adet fırın için yapılacak brülör yanma ayarı ile elde edilebilecek tasarruf miktarı 824.712,00 kWh/yıl'dır. Bu tasarrufun mali değeri 61.853,40 TL/yıl'dır.

İncelenen işletmede montaj, kaynak, boyahane ve plastik bölümleri için set basıncı 8,5 bar olan kompresörlerin yerine, yeni bir hat çekilmesi ve 1~2 adet kompresörün düşük basınçta (6,5 bar) çalıştırılması önerilmektedir. Böylece aktif halde bulunan kompresörlerin üzerindeki yük azaltılarak enerji tasarrufu elde edilebilecektir. Bu uygulama ile elde edilebilecek tasarruf miktarı 1.396.080,00 kWh/yıl'dır. Bu tasarrufun mali değeri 279.216,00 TL/yıl, yatırım maliyeti 650.000,00 TL ve geri ödeme süresi 2,33 yıl'dır.

## KAYNAKÇA

1. **Fysikopoulos, A., Anagnostakis, D., Salonitis K, Chryssolouris, G.** 2012. "An Empirical Study of the Energy Consumption in Automotive Assembly," *Procedia CIRP*, vol. 3, p.477-82.
2. U. S. Dep. Energy. 2008. Technology Roadmap for Energy Reduction in Automotive Manufacturing, U. S. Dep. Energy.
3. **Hepbaşlı A.** 2010. Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi, Yaklaşımlar ve Uygulamalar, Schneider Electric, Enerji Verimliliği Serisi 1, İstanbul.
4. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2017. "Sanayide Enerji Verimliliği," [http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji\\_kongresi\\_11/seldem.pdf](http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/seldem.pdf), son erişim tarihi: 07.11.2017.
5. **Leven, B., Weber, C.** 2001. "Energy Efficiency in Innovative Industries: Application and Benefits of Energy Indicators in the Automobile Industry," *Proc ACEEE Summer Study Energy Effic Ind.*, vol. 1, p. 67-75.
6. Study on Improving the Energy Efficiency of Pumps, ETSU, AEAT PLC, (United Kingdom) CETIM (France), David T. Reeves (United Kingdom), NESA (Denmark), Technical University Darmstadt (Germany), (European Commission), February 2001.
7. Standart Heating&Air Conditioning. 2017. "HVAC Diagram," <http://www.standardheating.com/hvac-maintenance/hvac-diagram/>, son erişim tarihi: 04.11.2017.
8. **Beşergil, B.** 2009. "Yakıtlar," [http://www.bayar.edu.tr/besergil/6\\_yakitlar.pdf](http://www.bayar.edu.tr/besergil/6_yakitlar.pdf), son erişim tarihi: 04.11.2017.
9. **Bilgin, A.** 2001. "Kazanlarda Baca Gazı Analizlerinin Değerlendirilmesi, İç Soğuma Kayıplarının İrdelenmesi," V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Konya, 3-6 Ekim 2001, s. 617-622.
10. **Karataş, M. A.** 2012. "Basıncılı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basıncılı Hava Denetleme Çalışması," *Tesisat Mühendisliği*, sayı 132, s. 19-26.
11. **Karakaş, M. Altuğ.** 2013. "Basıncılı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basıncılı Hava Denetleme Çalışması," [http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya\\_ekler/63ef172464fbedb\\_ek.pdf](http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/63ef172464fbedb_ek.pdf), son erişim tarihi: 08.11.2017.
12. **Kaya, D., Phelan, P., Chau, D., Ibrahim Sarac H.** 2002. Energy Conservation in Compressed-Air Systems. *Int. J. Energy Res.* 2vol. 26, p. 837-849.
13. **Arısoy, A.** 2009. "Buhar Kazanlarında ve Tesisatında Enerji Tasarrufu," <http://www.ttmtd.org.tr/userfiles/dergi/dergi38.pdf>, son erişim tarihi: 09.11.2017.