

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİV FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ
UYGULAMALARI**

GÖKHAN KILINÇ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

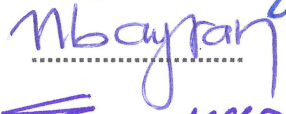
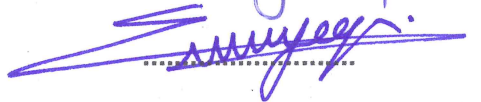
OTOMOTİV FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ
UYGULAMALARI

Haziran 2019

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖKHAN KILINÇ

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Zeki BİLGİN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof.Dr. Mehmet BAYRAK
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi
Dr.Öğr.Üyesi Erdal Mustafa YEĞİN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Enerji verimliliği, gelişen teknolojiler ve birincil enerji kaynaklarının tükenme hızının artmasıyla tüm ülkeler için çok önemli bir konu haline gelmiştir. Gelişmiş birçok ülkenin bu konuda atmış oldukları adımlar ve çalışmalar bulunmaktadır. Ülkemizde ise enerji verimliliği konusunda geç kalınmış olsa da son yıllarda yapılan teşvikler sonucunda insanların enerji tasarrufu ve enerjinin verimli kullanımındaki farkındalığı artmaya başlamıştır.

Ülkemizin ekonomisinde büyük bir paya sahip olan sanayi sektörü enerji verimliliği açısından özellikle teşvik edilmektedir. Sanayi sektöründe yapılacak enerji verimliliği çalışmaları gerek ülke ekonomisi gerekse firmalar açısından büyük bir maliyet tasarrufu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sanayi sektöründe enerji verimliliği çalışmalarının değerlendirilmesi ve uygulanması konusunda bana çalışma fırsatı veren değerli hocam Dr. Mehmet Zeki BİLGİN'e teşekkür eder, hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen eşime de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran - 2019

Gökhan KILINÇ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
TABLOLAR DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. ENERJİ YÖNETİM SİSTEMLERİ VE VERİMLİLİK	5
1.1. Enerji ve Enerji Yönetim Sistemleri	5
1.2. Enerji Yoğunluğu ve Yönelimler	9
1.3. Enerji Verimliliği	13
2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMA ALANLARI	20
2.1. Konutlarda Enerji Verimliliği	20
2.2. Ulaştırma Enerji Verimliliği	23
2.3. Sanayide Enerji Verimliliği	27
3. OTOMOTİV FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	32
3.1. Üretim Süreçleri	32
3.1.1. Pres bölümü	33
3.1.2. Gövde bölümü	34
3.1.3. Boyahane bölümü	35
3.1.4. Montaj bölümü	36
3.2. Otomotiv Fabrikalarında Enerji Verimliliği Uygulama Alanları	37
3.2.1. Basınçlı hava	39
3.2.2. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri (HVAC)	39
3.2.3. Fırınlara	41
3.2.4. Pompalar	41
3.2.5. Su ve buhar kazanları	42
3.2.6. Elektrik motor sürücüler ve dinamik frenleme üniteleri	43
4. ÖNERİLEN ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI	45
4.1. Debimetre ile Pompa Kontrolü	45
4.2. Rejeneratif Matris Sürücü ile Asansör Kontrolü	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	64
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	2015 referanslı Dünya enerji tüketimi	6
Şekil 1.2.	Dünya birincil enerji tüketimi (milyon TEP)	7
Şekil 1.3.	Enerji yönetim sistemlerinde PUKÖ döngüsü	9
Şekil 1.4.	Ülkelerin birincil enerji yoğunlukları (2015)	10
Şekil 1.5.	Birincil ve nihai enerji yoğunluğu (İklim düzeltmeli)	11
Şekil 1.6.	Türkiye 2000-2017 yılları enerji yoğunluğu	11
Şekil 1.7.	Türkiye toplam birincil enerji tüketimi	12
Şekil 1.8.	Türkiye kişi başına birincil enerji arzı	13
Şekil 1.9.	Sistemlerdeki girdi-çıktı-kayıp ilişkisi	13
Şekil 1.10.	Kaynak bazında birincil enerji tüketimi	15
Şekil 1.11.	Türkiye toplam nihai enerji tüketimi	16
Şekil 1.12.	Türkiye'nin kaynak bazında toplam nihai enerji tüketim dağılımı	16
Şekil 1.13.	Yatırımların ve öngörülen tasarrufların yıllara göre değişimi	17
Şekil 1.14.	Yıllara göre sektörel bazda enerji verimliliği endeksi	18
Şekil 1.15.	Türkiye 2000~2015 dönemi kümülatif enerji tasarrufu	19
Şekil 2.1.	Türkiye sektör bazlı birincil enerji tüketimi (2016)	20
Şekil 2.2.	Konutlarda nihai enerji tüketiminin dağılımı	21
Şekil 2.3.	Ulaştırma sektörü nihai enerji tüketimi	24
Şekil 2.4.	Ulaşım türlerinin enerji tüketimindeki payları	25
Şekil 2.5.	Ulaştırma sektörü enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı	26
Şekil 2.6.	Türkiye sanayi sektörü nihai enerji tüketimi	28
Şekil 2.7.	Sanayi sektörü enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı	28
Şekil 2.8.	İmalat sanayi alt sektörlerinde enerji tüketim endeksi	29
Şekil 3.1.	Araç üretim süreci genel şema	33
Şekil 3.2.	Araç üretim süreci genel şema - Pres bölümü	34
Şekil 3.3.	Araç üretim süreci genel şema - Gövde bölümü	35
Şekil 3.4.	Araç üretim süreci genel şema - Boyahane bölümü	36
Şekil 3.5.	Araç üretim süreci genel şema - Montaj bölümü	36
Şekil 3.6.	Örnek bir otomotiv fabrikasının enerji dağılımı	37
Şekil 3.7.	Örnek bir otomotiv fabrikasında bölümlerin enerji dağılımı	38
Şekil 3.8.	Örnek bir AC sürücü yapısı	44
Şekil 4.1.	Soğutma suyu prosesi	46
Şekil 4.2.	Debimetrenin aktif olmadığı durum için ölçüm sonuçları	48
Şekil 4.3.	Debimetre ile pompa kontrolü	49
Şekil 4.4.	Debimetre kullanımı öncesi (a) ve sonrasında (b) su tüketim miktarları	49
Şekil 4.5.	Debimetrenin aktif olduğu durum için ölçüm sonuçları	50
Şekil 4.6.	Debimetrenin durumuna göre asenkron motorun yük-güç faktörü-verim ilişkisi	51
Şekil 4.7.	Otomotiv fabrikalarında dikey taşıyıcı asansörler	53
Şekil 4.8.	Matris sürücü iç yapısı	54
Şekil 4.9.	Matris sürücü basitleştirilmiş iç yapısı	55
Şekil 4.10.	Değişken frekanslı sürücü ve matris sürücü karşılaştırması	55
Şekil 4.11.	Dikey asansör çizimleri a) İki boyutlu çizim, b) Üç boyutlu çizim	56
Şekil 4.12.	Asansör çalışma periyodu	59

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Pompa ve motor bilgileri.....	46
Tablo 4.2. Debimetrenin aktif olmadığı durum için ölçüm sonuçları.....	47
Tablo 4.3. Debimetrenin aktif olduğu durum için ölçüm sonuçları.....	50
Tablo 4.4. Debimetre kullanımı sonrasında elde edilen enerji tasarrufu miktarı.....	52
Tablo 4.5. 30 kW'lık motor kullanılmasıyla yatırımın kendini geri ödeme süresi	52
Tablo 4.6. Motor-değişken frekanslı sürücü-asansör çalışma bilgileri.....	57
Tablo 4.7. Motor-matris sürücü-asansör çalışma bilgileri	58



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

φ	: Güç Açısı, (°)
η	: Motor Verimi, (%)
P_o	: Debimetrenin Aktif Olmadığı Durum İçin Çekilen Aktif Güç, (kW)
P_d	: Debimetrenin Aktif Olduğu Durum İçin Çekilen Aktif Güç, (kW)
$P_{gş}$	: Geleneksel Sürücü ile Şebekeden Çekilen Güç, (kW)
$P_{mş}$	: Matris Sürücü ile Şebekeden Çekilen Güç, (kW)
t_f	: Asansör Frenleme Süresi, (saat/yıl)
t_{gs}	: Geri Ödeme Süresi, (yıl)
t_m	: Motor Çalışma Süresi, (saat/yıl)
W_f	: Frenleme Enerjisi, (kWh/yıl)
W_{fm}	: Frenleme Enerjisi Maliyeti (TL/yıl)
$W_{fşk}$	: Matris Sürücü ile Şebekeye Beslenen Frenleme Enerjisi, (TL/yıl)
W_g	: Geleneksel Sürücü ile Motor Yıllık Enerji Tüketimi, (kWh/yıl)
W_{gm}	: Geleneksel Sürücü ile Motor Yıllık Enerji Maliyeti, (TL/yıl)
W_m	: Matris Sürücü ile Motor Yıllık Enerji Tüketimi, (kWh/yıl)
W_{mm}	: Matris Sürücü ile Motor Yıllık Enerji Maliyeti, (TL/yıl)
W_{mt}	: Matris Sürücü Enerji Tasarrufu, (TL/yıl)
W_t	: Debimetre Kullanımı Sonrası Tasarruf Edilen Enerji, (kWh)

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
BIW	: Body In White (Beyaz Gövde)
BTU	: British Thermal Unit (İngiliz Isı Birimi)
COP	: Coefficient of Performance (Performans Katsayısı)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
ED	: Electro Deposition (Elektro Kaplama)
GSYİH	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
HVAC	: Heating, Ventilating and Air Conditioning (Isıtma, Soğutma ve Havalandırma)
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IGBT	: Insulated Gate, Bipolar, Transistor (İzole Kapılı Bipolar Transistör)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
koe	: Kilogram Oil Equivalent (Kilogram Eşdeğer Petrol)
kTEP	: Bin Ton Eşdeğer Petrol
LED	: Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
LPG	: Liquid Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)
PLC	: Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
PVC	: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol

OTOMOTİV FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI

ÖZET

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli bileşenlerinden biri olan enerji, teknolojik gelişmeler ve enerji kaynaklarının hızlı tükenmesiyle birlikte günümüzün en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Tüm sektörlerde, özellikle sanayi sektöründe, işletmelerin giderlerini etkileyen faktörler arasında enerji harcamaları büyük bir paya sahiptir. Sanayi sektöründe tesislerde alınacak bazı önlemler ile enerjiyi daha verimli kullanarak enerji maliyetlerini azaltmak mümkündür. Bu çalışmada; enerji, enerji yoğunluğu, enerji verimliliği ve enerji yönetim sistemleri hakkında genel bilgi verilerek Türkiye'nin mevcut enerji genel durumu incelenmiş ve sektörel enerji analizleri yapılmıştır. Konut, ulaştırma ve sanayi sektörlerinde enerji maliyetlerini en aza indirmek için alınabilecek tasarruf önlemleri ve uygulanabilecek faaliyetler ele alınmıştır. Enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan sanayi sektörü irdelenmiş, enerji verimliliği çalışmaları ve enerji tasarruf yöntemleri belirtilmiştir. Otomotiv fabrikaları ayrı bir başlıkta ele alınarak üretim süreçleri ve enerji kaynaklarının tüketimdeki payları hakkında genel bilgi verilmiştir. Enerji tüketimde yüksek paya sahip olan sistemler incelenmiş, tasarruf potansiyeli bulunan noktalarda yapılabilecek verimlilik çalışmaları belirtilmiştir. Otomotiv fabrikalarında soğutma suyu pompalarında debimetre kullanımı ve asansörlerde matris sürücü kullanımı ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarları hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Enerji Verimliliği, Enerji Yoğunluğu, Otomotiv

ENERGY EFFICIENCY APPLICATIONS IN AUTOMOTIVE FACTORIES

ABSTRACT

Energy, one of the most important components of economic and social development, has become one of the most important problems of today with the technological developments and rapid depletion of energy resources. In all sectors, especially in the industrial sector, energy expenses have a large share among the factors affecting the costs of enterprises. In the industrial sector, it is possible to reduce energy costs by using energy more efficiently with some measures to be taken in the plants. In this study; giving general information about energy, energy density, energy efficiency and energy management systems, Turkey's general state of the existing energy is examined and sector-based energy analyzes had been performed. In order to minimize the energy costs in the residential, transport and industrial sectors, savings measures that can be taken and activities that can be applied have handled. The industrial sector, largest share in energy consumption, has been examined, the energy efficiency studies and energy saving methods have been stated. Automotive factories by handling in a separate title, general information have been given about production processes and share of energy resources in consumption. Systems having a high share in energy consumption have examined, efficiency studies that can be done at points with saving potential have stated. The energy saving amounts that can be obtained by use of flowmeter in the cooling water pumps and use of matrix drive in elevators have been calculated in the automotive plants.

Keywords: Energy, Energy Efficiency, Energy Density, Automotive

GİRİŞ

Yaşam standartlarının iyileştirilmesinde ve yükseltilmesinde önemli bir bileşen olan enerji, ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli unsurlarındandır. Sosyo-ekonomik kalkınmanın sürdürülebilmesi için enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, tükenen kaynaklarla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelişin artması gerektiği tüm dünya tarafından kabul edilen bir gerçektir.

Günümüz dünyasında fosil enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğalgaz) hızla tükenmesiyle birlikte yeni enerji kaynağı arayışları her ülke için ekonomik ve siyasi bir politika haline gelmiştir. Özellikle büyük ülkeler artan nüfusları karşısında enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına bir taraftan mevcut enerji kaynaklarında verimliliği ön planda tutarken bir taraftan da yeni enerji kaynağı arayışlarına yönelmişlerdir.

İş yapabilme gücü olarak adlandırılan enerji birçok alanda ve işletmede farklı uygulamalarda kullanılan zorunlu bir girdi olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretiminden tüketimine kadar birçok süreçten geçen enerjinin, verimli kullanılması ve kayıplarının en az seviyelerde tutulabilmesi ülkelerin ekonomik refahları açısından büyük önem arz etmektedir.

Enerji; elektrik, basınçlı hava, ısı, gaz ve buhar gibi formlarda meydana gelmektedir. Bu formlardaki enerji kayıplarını önleyebilmek adına yapılan enerji verimliliği çalışmaları ve verimlilik artırıcı projeler ise genel olarak; binalarda [1], ulaşımda [2] ve sanayi [3] alanlarında uygulanmaktadır. Gelişmiş ülkelerin çoğunda bu ve buna benzer çalışmalar yapılmakla birlikte, projelerin yaygınlaştırılması için büyük bütçeler ayrılmaktadır.

Dünya genelinde enerji verimliliği ile ilgili en temel gösterge ülkelerin enerji yoğunluğudur. Enerji yoğunluğuna göre dünya ortalamasının altında yer alan ülkemizde¹ enerji verimliliği ile ilgili çalışmaların önemi son dönemlerde anlaşılmaya

¹ OECD Factbook 2015-2016 verileri

başlanmıştır. Son yıllarda enerji verimliliğine yönelik mevzuatlar oluşturulmaya başlanmış ve bu mevzuatlar politika ve stratejiler ile uygulanmaya çalışılmıştır. Enerji Verimliliği Kanunun 2007 yılında yürürlüğe girmesiyle birlikte ilk adım atılmış 25 Şubat 2012 tarihinde Enerji Verimliliği Strateji Belgesi yayımlanmıştır. Bu belge ile Türkiye'nin GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hasıla) başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılına kıyasla en az %20 oranında düşürülmesi amaçlanmıştır [4]. 2013 yılının Temmuz ayında gerçekleşen 10. Kalkınma Planı'nda enerji verimliliği programları ele alınmış olsa da ilk Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2 Ocak 2018 tarihinde yayımlanmıştır. Yayımlanan bu belge, Türkiye'nin enerji verimliliği alanında sahip olduğu vizyonu ortaya koymuştur. Bu eylem planında enerji emisyon değerlerinin düşürülmesi ve enerjide dışa bağıllığın azaltılması hedeflenmiş, bu hedeflerin gerçekleştirilmesiyle ekonomiye olacak katkıları belirlenmiştir. Bu eylem planının hedefleri arasında 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 MTEP enerji tasarrufu yapılması ve sonucunda 8,4 milyon dolar tasarruf edilmesi amaçlanmıştır [5].

Enerji verimliliği, üretimi kısımadan ve kullanıcıların yaşam kalitesini düşürmeden enerji tüketiminin azaltılarak hızla tükenen fosil yakıtların daha etkin şekilde kullanılmasını ifade etmektedir. Daha az birincil kaynak kullanımıyla daha fazla enerji üretimi ve aynı işin daha az enerji harcanarak gerçekleştirilebilmesi için ülkemizde çalışmalar yapılmakta, yeni ve kalıcı stratejiler belirlenmektedir. Bu stratejiler kapsamında Enerji Verimliliği Kanunu yayımlanarak enerjinin daha etkin kullanılması, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün azaltılması ve enerji israfının önlenerek çevremizin daha az zarar görmesi için enerji kaynaklarının kullanımında verimliliğin artırılması hedeflenmiştir.

Enerji yönetim sistemleri ise; kaliteden ve güvenlikten ödün vermeden çevresel konuları da göz önünde bulundurarak aynı işin daha az enerji ile yapılabilirliğini sağlamak için süreç ve sistemlerin oluşturulmasını, uygulanmasını ve sürdürülmesini sağlayan sistemlerdir. Enerji yönetim sistemlerini standart hale getirmek amacıyla oluşturulan ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Standardı, tüm enerji türlerindeki enerji verimliliğini kapsamaktadır. Bu standart, organizasyonların maliyetini azaltarak enerjinin etkin kullanılmasına ve çevreye karşı duyarlılığın artırılmasına olanak sağlamaktadır. ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemleri işletmelerin genelinde belirli bir tüketim değerine göre enerji yöneticisi bulundurulmasını ve enerji birimi kurulmasını zorunlu kılmaktadır. İşletmelerdeki enerji verimliliği ve iyileştirme projelerini yürüten, üst yönetime raporlayan,

denetlemeleri yöneten bu kişi ve birimler şletmelerin enerji maliyetlerini azaltma çalışmalarında etkin bir rol oynamaktadır.

Enerji yönetim sistemleri ile ilgili bu çalışmada; enerji verimliliği ve enerji yoğunluğunun öneminden, ayrıca enerji verimliliği uygulama alanlarından bahsedilerek tüm sektörler irdelenmiş, tüketimde büyük paya sahip olan sanayi sektörü ele alınmıştır. Sanayi sektörü içerisinde ise enerjinin önemli bir kısmının tketicildiği otomotiv montaj fabrikalarının üretim süreçlerinden, bu süreçlerde kullanılan ekipmanlarda ve makinelerde yapılabilecek enerji verimliliği uygulamalarından bahsedilmiştir.

Enerji yönetim sistemleri ile ilgili iyileştirmeler ve projeler her bir otomotiv fabrikasına göre değişiklik gösterse de genel hatlarıyla üretim süreçlerindeki benzerliklerden dolayı bu fabrikalarda yapılabilecek iyileştirme çalışmaları ortak kabul edilmektedir. Otomotiv montaj fabrikaları genel olarak Pres, Gövde, Boyahane ve Montaj olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır. Pres bölümünde aracın iskeletini oluşturacak parçaların (tavan paneli, taban parçaları, aracın sağ ve sol kısımları vb.) imalatı yapılmakta, Gövde bölümünde ise bu parçaların kaynak robotları/makineleri yardımı ile birleştirilmesi sağlanmaktadır. İskeleti oluşturulan araçlar bir sonraki aşamada boyanmak üzere Boyahane bölümüne gönderilmektedir. Boyahanede birçok aşamadan geçerek boyanan araçlar, boya kalitesinin arttırılması için fırınlarda bekletildikten sonra montaj bölümüne transfer edilmektedir. Üretimin son aşaması olan Montaj bölümünde ise araçların motor, tekerlek, koltuk gibi i ve dış ünitelerin montajı yapılmaktadır.

Araçların retim süreci boyunca kullanılan tüm makine ve ekipmanların enerji ihtiyaçları Yardımcı şletmeler bölümü tarafından karşılanmakta, fabrika genel enerji sahasının yönetimi ise yine bu bölüm tarafından sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; özellikle tüketimde büyük bir paya sahip sanayi sektöründe, enerji tasarrufu önlemlerini ve verimlilik arttırıcı çalışmaları gerçekleştirerek enerjide dışa bağımlı olan ülkemizin yüksek enerji giderlerinin azaltılmasını ve enerjinin daha etkin kullanılmasını sağlamaktır. Üretim süreci yukarıda kısaca anlatılan otomotiv montaj fabrikalarının birinde gerçekleştirilmiş olan fizibilite çalışmaları sonucunda enerji tasarruf noktaları saptanarak verimlilik arttırıcı projeler gerçekleştirilmiştir. Otomotiv fabrikalarında pompalarda debimetre kullanımı ile pompa-yk oranının ayarlanması ve araç transferlerinde kullanılan asansörlerin matris sürücü ile kontrol

edilmesi projelerinden elde edilecek tasarruf miktarları hesaplanarak işletmeye faydaları tartışılmıştır.



1. ENERJİ YÖNETİM SİSTEMLERİ VE VERİMLİLİK

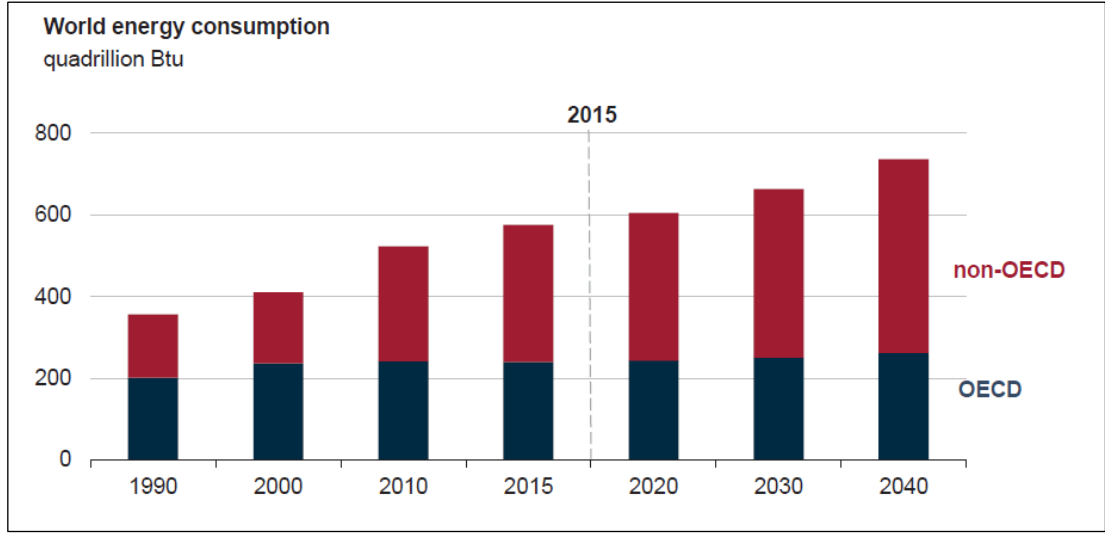
1.1. Enerji ve Enerji Yönetim Sistemleri

Enerji, özellikle 20. yüzyılın başından itibaren ülkelerin güç üstünlüklerini göstermek için kullandıkları en önemli unsurlardan biri olmuştur. Özellikle 2. sanayi devriminden sonra enerjiye olan ihtiyaç artmış, enerjinin önemi gittikçe anlaşılmaya başlanmıştır. Enerjiyi kullanabilen ülkeler her daim teknolojiyi üreten, satan ve dünyada söz sahibi olan ülkeler haline gelmiştir. İçinde bulunduğumuz 21. yüzyılda ise artan nüfus ile birlikte teknolojik yenilikler ve gelişmeler enerji ihtiyacını ve kullanımını daha da arttırmış, üzerinde durulması gereken önemli bir sorun haline getirmiştir.

Enerji kullanımının artması sonucunda ortaya çıkan çevresel sorunlarla birlikte ozon tabakasında incelmeler meydana gelmiş, sera gazı emisyonlarının artması canlı hayatını tehlikeye sokacak boyutlara ulaşmıştır. Bunların yanı sıra dünyadaki doğal enerji kaynaklarından fosil yakıtların hızla tükenmesi tüm devletlerin, bilim insanlarının, aydınların ve akademisyenlerin enerji konusuna daha çok yoğunlaşmalarını neden olmuş, bu konularda daha çok araştırma yapmaya sevk etmiştir. Bu bağlamda tüm dünyada enerji birimleri kurulmaya, yeni ve etkili enerji politikaları oluşturulmaya başlanmıştır.

Hanelerin, sanayi ve ulaşım sektörlerinin enerji ihtiyaçlarının yeni teknolojiler ile birlikte her geçen gün artması ve değişmesi doğal enerji kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmakta, enerji maliyetlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenler sonucunda enerjinin bu denli önem arz ettiği dünyamızda enerji sistemlerinde yönetim, verimlilik ve tasarruf uygulamalarının gerekliliği de zorunlu hale gelmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından her yıl yayımlanan “World Energy Outlook” raporunun 2017 verilerine göre OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü)’ye üye ve üye olmayan ülkeler arasındaki enerji tüketim verileri Şekil 1.1’de gösterilmektedir [6].



Şekil 1.1. 2015 referanslı Dünya enerji tüketimi [6]

IEA 2017 verilerine göre [6];

- 2015 yılı ile 2040 yılı arasında dünya enerji tüketiminin %28 oranında artacağı öngörülmektedir.
- Dünya enerji tüketimi beklentisi, 2015 yılında 575 katrilyon Btu'dan 2030 yılında 663 katrilyon Btu'ya ve 2040 yılında 736 katrilyon Btu'ya yükselmiştir.
- 2015 ve 2040 yılları arasında enerji tüketiminde OECD üyesi ülkelerde % 9'luk artış olması beklenirken, OECD üyesi olmayan ülkelerde ise % 41 oranında artış gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.

Yüksek ekonomik büyümeler enerji tüketimini arttırırken, büyümeye yönelik hizmetler veya üretim yolları ise tüketimi değiştirmektedir. Bu nedenle enerji üretimi için gerekli olan ekonomik kaynakların özel ve yabancı kaynaklardan temin edilmesi gerekmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerji tüketiminin artış göstermesi beklendiğinden, ihtiyaç duydukları yatırımlar için gereken finansmanın temin edilmesi en büyük zorluktur.

Şekil 1.2'de bazı ülkelerin enerji tüketim değerleri ve toplam enerji tüketimindeki yüzdelik oranları gösterilmiştir [7]. Ülkemiz 2015 yılının sonuçlarına göre 19. sırada bulunmakta, toplamda 126,9 MTEP enerji tüketimiyle dünya toplam enerji tüketiminin %1'lik payını oluşturmaktadır.

ÜLKE	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
Çin	2.903,9	2.970,3	3.014,0	22,9%	1
ABD	2.271,7	2.300,5	2.280,6	17,3%	2
Hindistan	626,0	666,2	700,5	5,3%	3
Rusya	688,0	689,8	666,8	5,1%	4
Japonya	465,8	453,9	448,5	3,4%	5
Kanada	335,0	335,5	329,9	2,5%	6
Almanya	325,8	311,9	320,6	2,4%	7
Brezilya	290,0	297,6	292,8	2,2%	8
Güney Kore	270,9	273,1	276,9	2,1%	9
İran	247,6	260,8	267,2	2,0%	10
Suudi Arabistan	237,4	252,4	264,0	2,0%	11
Fransa	247,4	237,5	239,0	1,8%	12
Endonezya	175,0	188,3	195,6	1,5%	13
Birleşik Krallık	201,4	188,9	191,2	1,5%	14
Meksika	188,9	190,0	185,0	1,4%	15
İtalya	155,7	146,8	151,7	1,2%	16
İspanya	134,2	132,1	134,4	1,0%	17
Avustralya	130,7	129,9	131,4	1,0%	18
Türkiye	120,3	123,9	126,9	1,0%	19
Tayland	120,3	123,4	124,9	0,9%	20
Güney Afrika	124,6	128,0	124,2	0,9%	21
Tayvan	109,9	111,4	110,7	0,8%	22
BAE	97,2	99,0	103,9	0,8%	23
Polonya	96,0	92,4	95,0	0,7%	24
Ukrayna	114,7	101,0	85,1	0,6%	25
TOPLAM	12.873,1	13.020,6	13.147,3	100,0%	

Şekil 1.2. Dünya birincil enerji tüketimi (milyon TEP) [7]

Genellikle enerji tüketiminin fazlalığı, ülkelerin nüfus ve gelişmişlikleri ile doğru orantılıdır. Nüfus fazlalığı göz ardı edildiğinde enerji tüketiminin artış göstermesi o ülkenin sanayi sektöründe ileri bir seviyede olması ile dolaylı olarak bağdaştırılabilmektedir. Gelişmiş ülkelerde enerji tüketim maliyetlerinin azaltılması, kayıpların en düşük seviyelerde tutulması ile doğrudan ilişkilidir. Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde ise kayıplar, enerji tüketim maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturduğu için enerji kayıplarını en düşük seviyelere indirmek, maliyetlerinin büyük oranda düşürülmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Enerji yönetim sistemleri, ülkelerdeki bu enerji kayıplarını minimize eden, enerjinin verimli ve tasarruflu kullanılmasını sağlayan, ülkelerin ve işletmelerin enerji maliyetlerini düşüren sistemlerdir. En az maliyet ile en fazla kar elde etmek için enerjinin etkin ve akılcıca kullanımı ile aynı ürün veya çıktıları üretecek biçimde enerji tüketiminin azaltılması amaçlı prosedürleri, sistem entegrasyonunu ve optimizasyonunu kapsayan yönetim biçimidir.

Enerji yönetim sistemlerinin amacı;

- Enerjinin verimli kullanılmasını sağlayarak enerji tüketimini ve maliyetleri azaltmak,
- Enerji kullanım yöntemleri için etkin izleme, raporlama ve yönetim stratejileri geliştirmek ve uygulamak,
- Yapılan çalışmalar ile enerji yatırımlarının ve iyileştirmelerinin sürekli hale getirilmesini sağlamak,
- Tüm kullanıcıların enerji yönetim sistemleri bilincine sahip olmasını sağlamak ve sürekli iyileştirmede etkin rol oynamaya teşvik etmektir.

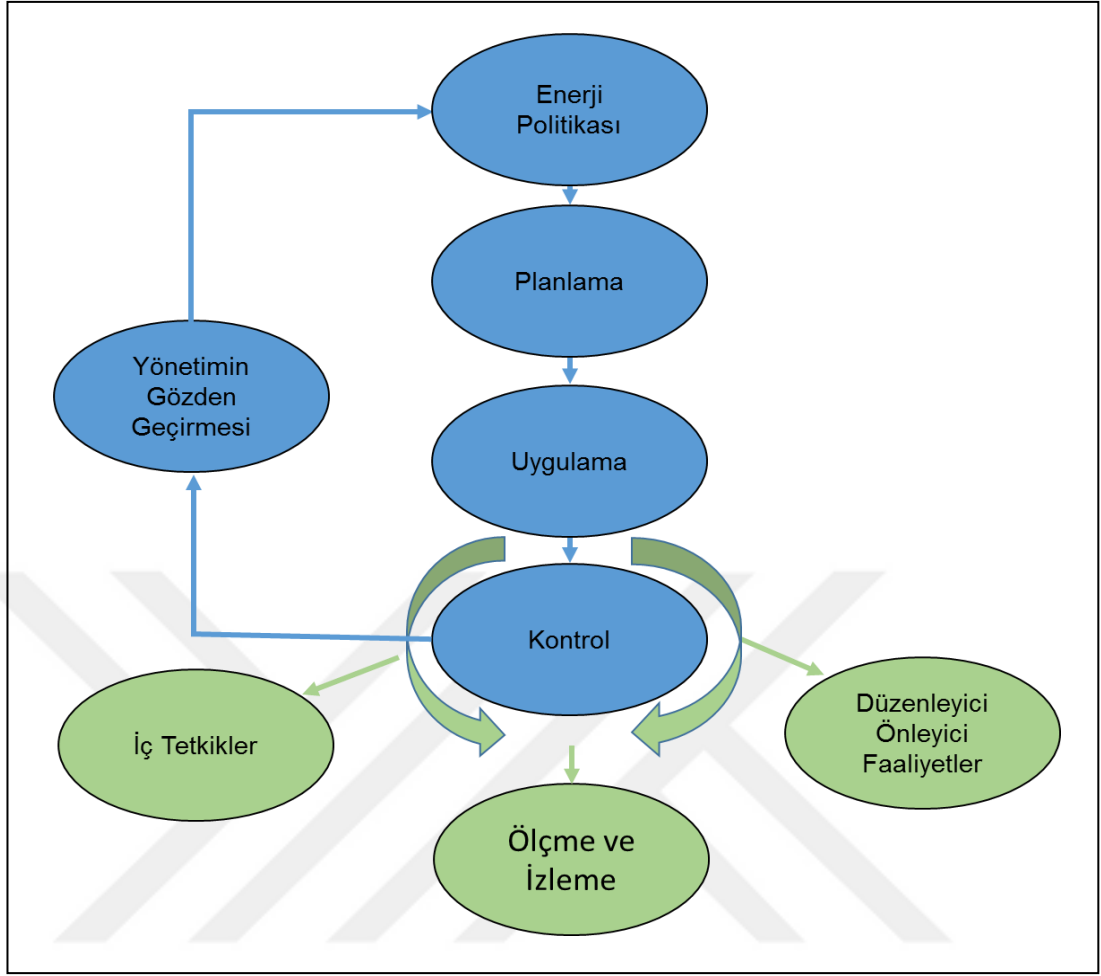
“ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ” ise ülkelerin en son ve en yeni uygulamalarını temsil eden mevcut enerji yönetim standartlarının üzerine inşa edilmiş, birçok ülke tarafından kullanılan standarttır. Bu standart, tesislere ait enerji tüketimlerinin anlaşılmasını sağlayacak süreçlerin uygulanmasına yardımcı olmakla birlikte, aksiyon planlarının oluşturulmasını sağlayarak tüketimi azaltmak için hedef belirlemeyi ve enerji performans göstergelerini oluşturmayı; enerji performansını geliştirmek için ise iyileştirme fırsatlarını belirlemeyi ve kayıt altına almayı sağlamaktadır.

ISO 50001 Enerji Yönetim Standardının amaçları arasında;

- Kuruluşlarda enerjinin verimliliğini, kullanımını, tüketimini ve yoğunluğunu içeren enerji performans göstergelerini geliştirmek için gerekli sistemleri ve süreçleri kurmalarına yardımcı olmak,
- Enerjinin sistematik yönetimini sağlamak; enerji maliyetlerinin, sera gazı emisyonlarının ve diğer olumsuz çevre etkilerinin azaltılması sağlamak,
- Enerji yönetim sisteminin şartlarının belirlenerek işletme için yasal şartları ve önemli enerji kullanımına ait bilgileri de göz önüne alarak;
 - Enerji politikasını oluşturmak, iyileştirmek ve uygulamak,
 - Amaçları, hedefleri ve faaliyet planlarını oluşturmak,
 - Gerekli iç tetkikler ve önleyici faaliyetler yaparak yönetimin gözden geçirmesini sağlamak.

gösterilmektedir [8].

Enerji yönetim sistemleri oluşturulurken işletme/kuruluş tarafından beklenenler Şekil 1.3'te PUKÖ (Planla, Kontrol et, Uygula, Önlem al) metodu kullanılarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Enerji yönetim sistemlerinde PUKÖ döngüsü

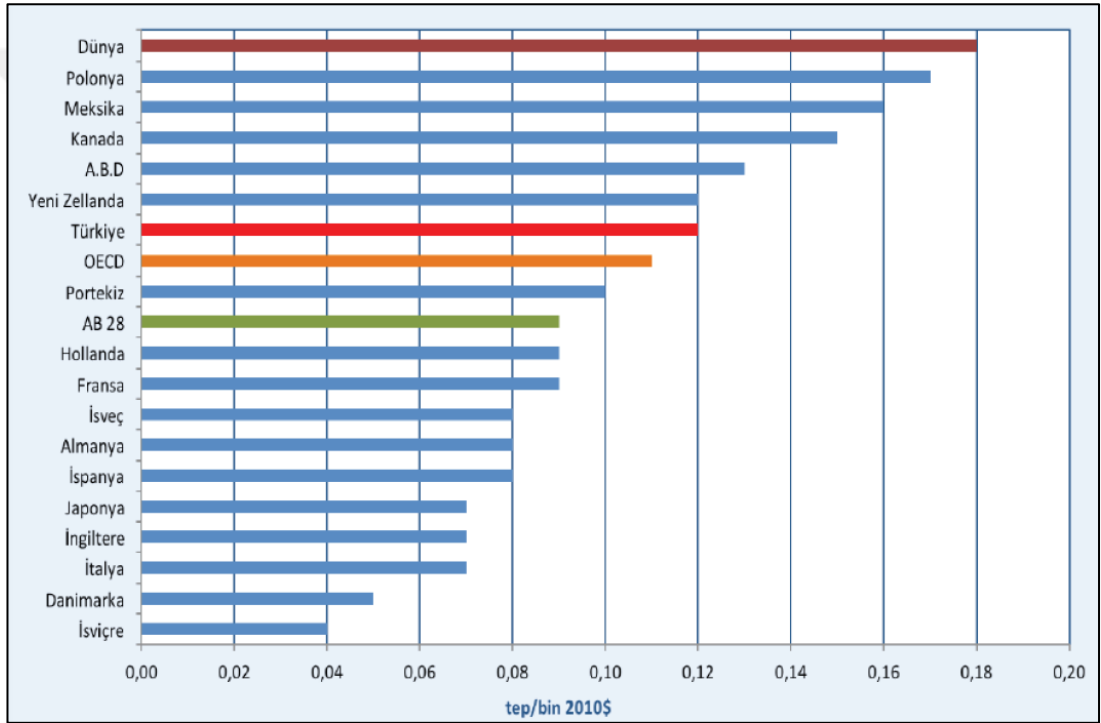
1.2. Enerji Yoğunluğu ve Yönelimler

Enerji yoğunluğu, enerji verimliliğinin önemli göstergelerinden biri olup, GSYİH (Gayri Safi Yurt İçi Hasıla) başına tüketilen birincil enerji miktarını temsil eden ve tüm dünyada kullanılan önemli bir kavramdır. Enerji yoğunluğu göstergesi için TEP (Ton Eşdeğer Petrol) miktarı çok tercih edilmekte ve uluslararası yayınlarda sıklıkla kullanılmaktadır. TEP, çeşitli enerji kaynaklarının miktarlarının tanımlanmasına olanak sağlayan (kg, m³, ton, kWh), genellikle 1000\$'lık hasıla için tüketilen, farklı birimleri aynı düzlemde ifade etmeye yarayan 1 ton petrolün yakılmasıyla elde edilecek enerjiye tekabül eden bir kavramdır.

Birincil enerji tüketiminin GSYİH'ye oranlanması sonucunda birincil enerji yoğunluğu, nihai enerji tüketiminin GSYİH'ye oranlanması sonucunda ise nihai enerji yoğunluğu hesaplanmaktadır. Birincil ve nihai enerji yoğunluğu birimi TEP/1000\$ (2010 yılı sabit fiyatı) olarak alınmaktadır.

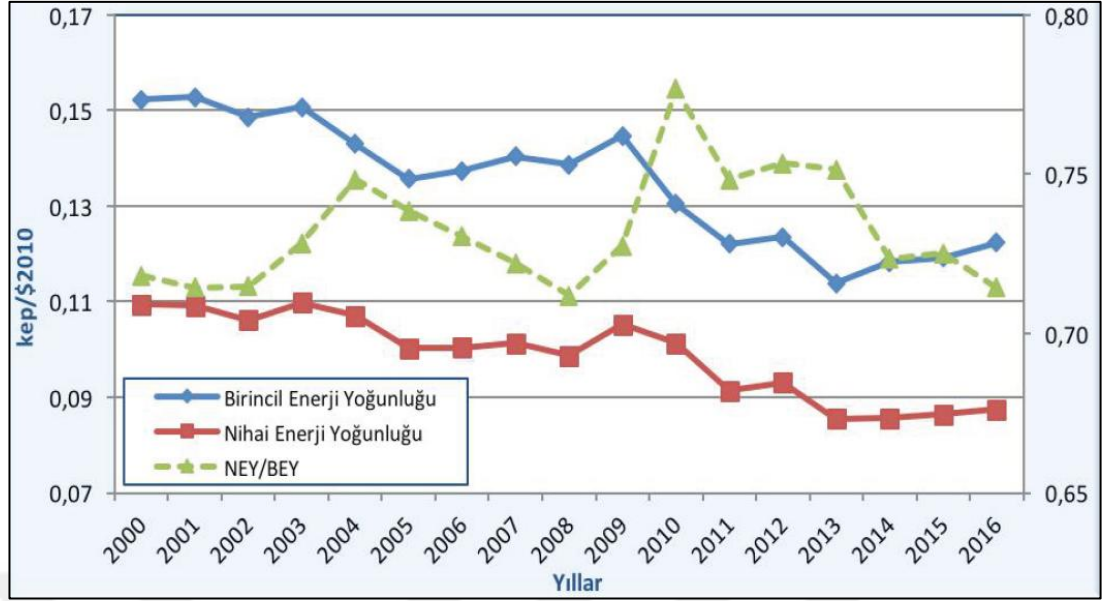
“Birincil enerji yoğunluğu bölgesel ve ülkeler bazında bir birim GSYİH yaratabilmek için ne kadar enerji gerektiğini ölçen bir enerji verimliliği göstergesidir. Söz konusu göstergenin düzeyi ülkelerin veya bölgelerin ekonomik yapısı, enerji tüketim yapısı, iklimsel koşulları ve teknik enerji verimliliğini göstermektedir. Enerji yoğunluğu eğilimi; ekonomi ve sanayideki yapısal değişiklikler, enerji tüketim yapısındaki değişimler ve nihai kullanıcıların kullandıkları ekipman ve sektörlerdeki verimliliklerden etkilenmektedir” [9].

Ülkelerin enerji yoğunlukları incelendiğinde, Şekil 1.4'te belirtilen verilere göre Türkiye, 0,12 tep/bin 2010\$'lık değerle çoğu gelişmiş ülkelerin gerisinde yer almaktadır. Ancak ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesinde enerji yoğunluğu tek başına bir gösterge olmayıp kişi başına enerji tüketim değerlerinin de dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 1.4. Ülkelerin birincil enerji yoğunlukları (2015) [10]

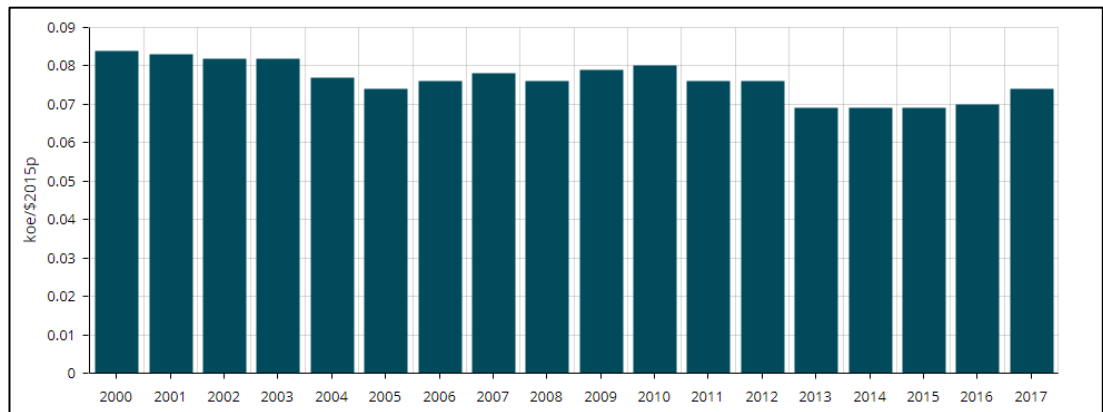
Şekil 1.5'te 2000-2017 yılları arasında Türkiye'nin birincil ve nihai enerji yoğunlukları (iklim düzeltmeli) gösterilmiştir. İklim düzeltmesi; birincil ve nihai enerji yoğunluğunun yanı sıra enerji verimliliği göstergeleri hesaplanırken yapılan bir düzeltme işlemi olarak ifade edilmektedir. Kış aylarının ılık veya sert geçmesi gibi iklim farklılıklarının etkisini azaltmak amacıyla enerji tüketimlerinde iklim düzeltmesi yapılarak normal iklim düzeyine getirilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1.5. Birincil ve nihai enerji yoğunluğu (İklim düzeltmeli) [10]

“Ülkemizin 2000-2017 döneminde birincil enerji yoğunluğu indeksi yıllık bazda ortalama %1,3, nihai enerji yoğunluğu indeksi ise %1,4 oranında azalma göstermiştir. Birincil enerji yoğunluğu bir önceki yıla göre %1,0 azalırken nihai enerji yoğunluğunda %0,9'luk azalma kaydedilmiştir. 2000 yılına göre bir karşılaştırma yapıldığında 2017 yılında birincil enerji yoğunluğu indeksinde %20,5, nihai enerji yoğunluğu indeksinde ise %20,8 oranında iyileşme söz konusudur” [9].

“Global Energy Statistical Yearbook 2018” enerji yoğunluğu verilerine göre Türkiye’nin enerji yoğunluğu değişimi Şekil 1.6’da gösterilmiştir. Bu verilere göre 2017 yılı itibari ile Türkiye’deki enerji yoğunluğu 0,074 koe/2015\$p olarak gerçekleşmiştir.



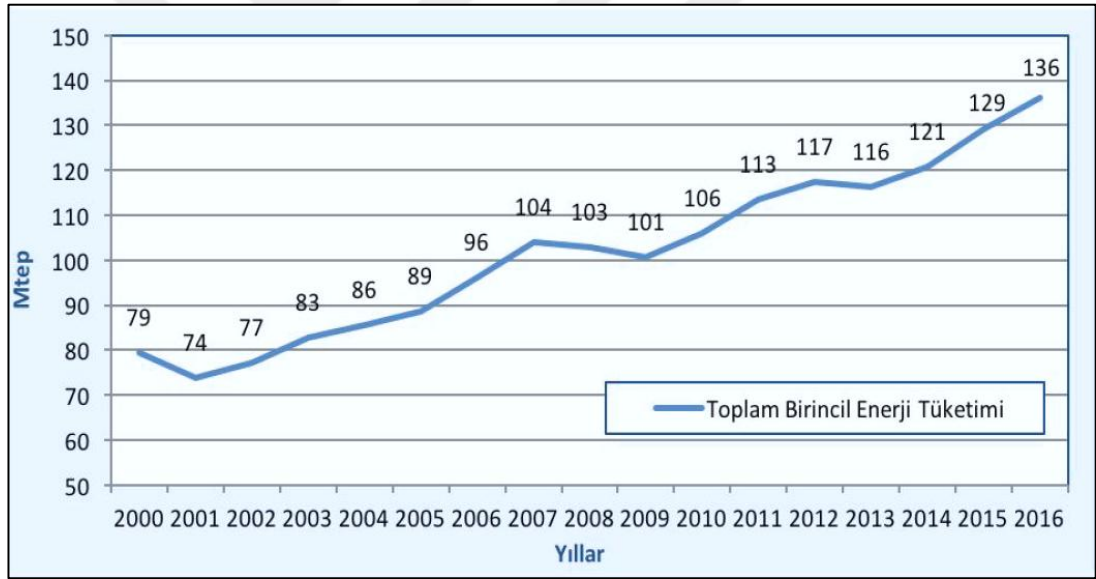
Şekil 1.6. Türkiye 2000-2017 yılları enerji yoğunluğu [11]

Türkiye’nin enerji yoğunluğunun yıllar içerisindeki dağılımına bakıldığında enerji yoğunluğunun yıllar içerisinde dalgalanarak düştüğü görülmektedir. Enerji

yoğunluğunun düşük olması ülkeler açısından iyi bir gösterge olsa da ülkelerin gelişmişlik seviyelerini belirlemede tek başına yeterli bir gösterge değildir.

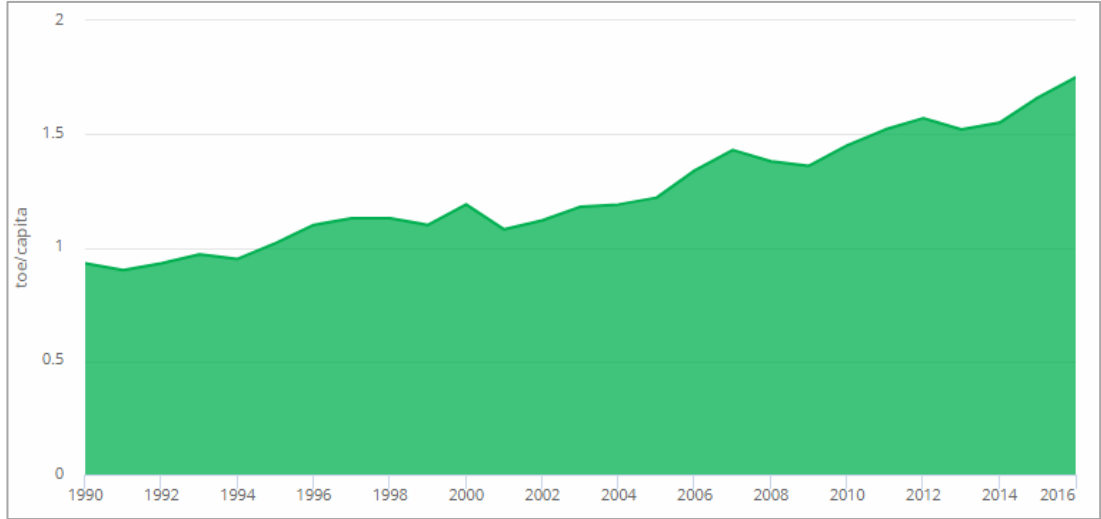
“Bir ülkenin gelişmişlik düzeyi, enerji açısından iki temel göstergeyle izlenebilir. Bunlardan biri kişi başına enerji tüketimidir, diğeri ise enerji yoğunluğudur. Kişi başına enerji tüketiminin yüksek olması, hem ülkedeki ekonomik faaliyetlerin canlılığını, hem de (ulaşım araçlarının çokluğundan elektrikli aletlerin yaygınlığına ve yüksek konforlu barınma imkânlarına kadar geniş bir alanda) refah düzeyinin yüksekliğini gösterir. Enerji yoğunluğunun düşüklüğü ise, aynı miktar enerjiyle daha çok katma değer üretilmesini simgeler. Bu durumda bir ülkede enerji açısından gelişmişliğin ideal şartı, kişi başı enerji tüketiminin yüksek ve enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır” [12].

Türkiye’nin birincil enerji tüketim verileri incelendiğinde 2016 yılındaki tüketim 2000 yılına göre %71,5 oranında artış göstererek 136,2 MTEP’e ulaşmıştır. 2000~2016 yılları arasındaki 16 senelik süreçte birincil enerji tüketimindeki yıllık ortalama artış %3,4 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi 2001, 2008, 2009 ve 2013 yılları haricinde birincil enerji tüketiminde sürekli bir artış söz konusudur.



Şekil 1.7. Türkiye toplam birincil enerji tüketimi [10]

Şekil 1.8’de ise Türkiye’de 1990 ~ 2016 yılları arasındaki kişi başına enerji arzı değerleri gösterilmiştir. Türkiye’nin kişi başına enerji arzı değerlerine bakıldığında yıllar içerisinde enerji arzının arttığı görülmektedir. 2000 yılında 1,19 tep/kişi olan enerji tüketim değeri yıllar içerisinde dalgalı bir yükseliş göstererek 2016 yılında 1,75 tep/kişi değerine ulaşmıştır. Özellikle son zamanlardaki bu yükseliş trendi, teknolojik gelişmeler ve sanayide atılan adımlar ile bağdaştırılabilmektedir.

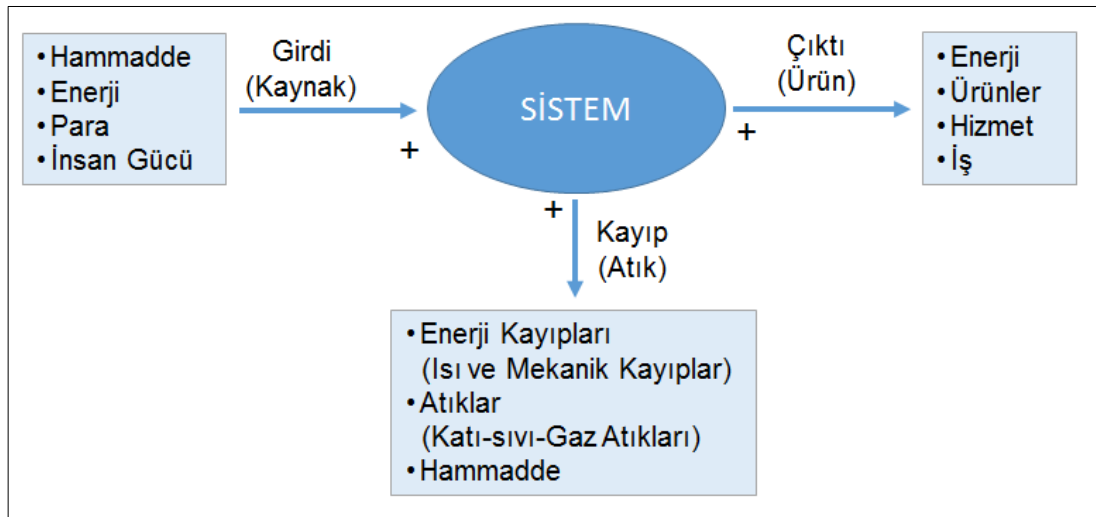


Şekil 1.8. Türkiye kişi başına birincil enerji arzı [13]

2000~2016 yılları arasındaki süreç değerlendirildiğinde enerji yoğunluğundaki düşüş ile birlikte kişi başına birincil enerji arzı miktarındaki artış Türkiye'nin sosyo – ekonomik yönden bu süreçte geliştiğini göstermektedir.

1.3. Enerji Verimliliği

En az kaynak girdisi ile en fazla çıktıyı elde etmek anlamına gelen verimlilik, genel tanım olarak; bir sistemdeki çıktı ile bu çıktıyı oluşturmak için gerekli olan girdi arasındaki ilişkidir. Enerji, sermaye, hizmet ve malzeme gibi kaynakların etkin kullanımı olarak da ifade edilebilir.



Şekil 1.9. Sistemlerdeki girdi-çıkıtı-kayıp ilişkisi

Şekil 1.9'da gösterilen sisteme ait girdi - çıktı - kayıp ilişkisine bakıldığında verimlilik; sistemdeki kayıpları en az seviyeye düşürerek elde edilecek ürün miktarını arttırmak olarak da tanımlanabilmektedir.

Enerji verimliliği ise, üretimi kısımadan ve kullanıcıların yaşam kalitesini düşürmeden enerji tüketiminin azaltılmasını, hızla tükenen fosil yakıtların etkin şekilde kullanılmasını ifade etmektedir. Daha az birincil kaynak kullanımıyla daha fazla enerji üretimi ve aynı işin daha az enerji tüketilerek yapılması için enerji verimliliği çalışmaları gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır.

Kaynaklara erişimdeki ulaşım/coğrafi zorluklar ve kaynakların kısıtlı olması enerji maliyetlerinin artışına neden olmaktadır. Bu durum enerji krizlerinin oluşmasına ve dünya ülkeleri arasında enerji savaşlarının çıkmasına sebebiyet vermektedir. Birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi özellikle de petrol kaynaklarının azalması ve buna bağlı olarak yüksek bedeller gerektirmesi günümüzde yaşanan ekonomik krizlerin temelinde yer almaktadır.

Bu ve benzeri gelişmeler ile birlikte, enerji tüketiminde ülkelerin yeni stratejiler ve politikalar geliştirmesinin ve bu stratejilerin yasalar ile desteklenmesinin gerekliliği açıkça anlaşılmıştır.

“Enerji verimliliği; enerjide arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin azaltılması, enerji maliyetlerinin sürdürülebilir kılınması, iklim değişikliği ile mücadelenin etkinliğinin artırılması ve çevrenin korunması gibi ulusal stratejik hedefleri tamamlayan ve bunları yatay kesen bir kavramdır. Sürdürülebilir kalkınmanın önemini gittikçe daha çok anlaşıldığı günümüzde, enerji verimliliğine yönelik çabaların değeri de aynı oranda artmaktadır. Bu çerçevede; enerji üretimi ve iletiminden nihai tüketime kadarki bütün aşamalarda enerji verimliliğinin geliştirilmesi, bilinçsiz kullanımın ve israfın önlenmesi, enerji yoğunluğunun gerek sektörler bazında gerekse makro düzeyde azaltılması ulusal enerji politikamızın öncelikli ve önemli bileşenlerindendir” [4].

Enerji verimliliği stratejilerine bakıldığında en önemli başlığın enerji tasarrufu olduğu görülmektedir. Enerji tasarrufu, enerjide sıkılaştırma tedbirleri olarak algılanmakta ancak daha geniş tedbirleri içermektedir.

“Halk arasında genellikle enerjinin az kullanılması, iki ampulden birinin söndürülmesi şeklinde algılanmakta olan enerji tasarrufu, aslında enerji atıklarının değerlendirilmesi ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, kalite ve performansı düşürmeden enerji ihtiyacının en aza indirilmesidir” [12].

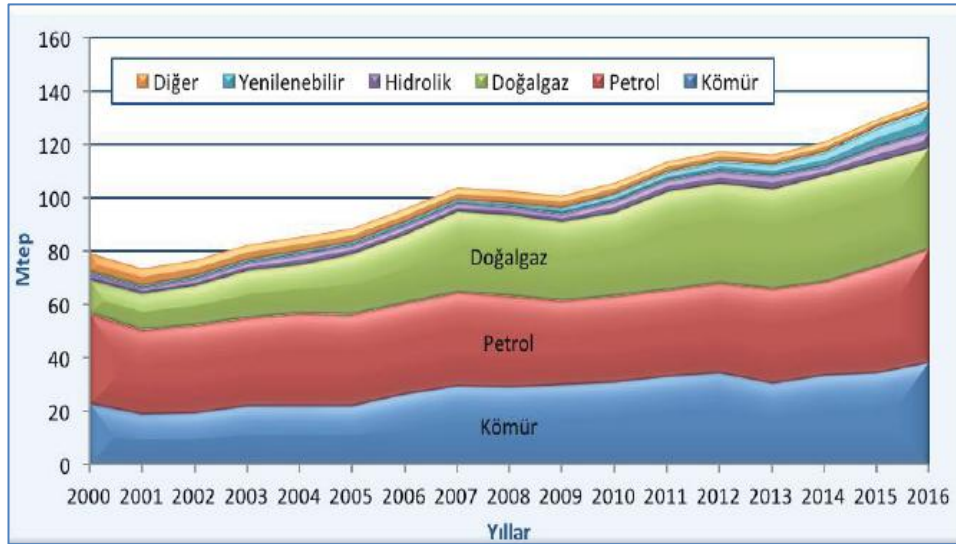
Enerji tasarrufu ile enerji verimliliği kavramları birbirini karşılayan terimler olup enerji verimliliği, enerjinin üretiminden tüketimine kadar tüm safhalarda kaliteden ödün vermeden enerjinin etkin kullanılmasını; enerji tasarrufu ise enerji kaynaklarında

verim sağlamak amacıyla, alınan tedbirler sonrasında enerji tüketimindeki azalmayı ifade etmektedir.

Enerji verimliliğini gerçekleştirmeye yönelik yapılan çalışmalarda hem nihai hem de arz tarafındaki önleyici yaklaşımlar ele alınmaktadır. Nihai kullanımda, HVAC (Isıtma, Soğutma, Havalandırma) ve aydınlatma gibi ekipmanların iyileştirilmesine odaklanılmakta; arz tarafında ise verimli enerji üretimi, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve enerji geri kazanımları gibi iyileştirme konuları ele alınmaktadır.

Enerji verimliliği çalışmalarının gittikçe önem kazandığı günümüzde, birçok verimlilik artırıcı çalışmalar yapılmakta ve bunlar politikalar ile sürekli hale getirilmektedir. Özellikle, gelişmekte olan ülkelerde sanayi ve yeni ekipmanların artması enerji verimliliğinde yüksek bir potansiyelin olduğunu göstermektedir.

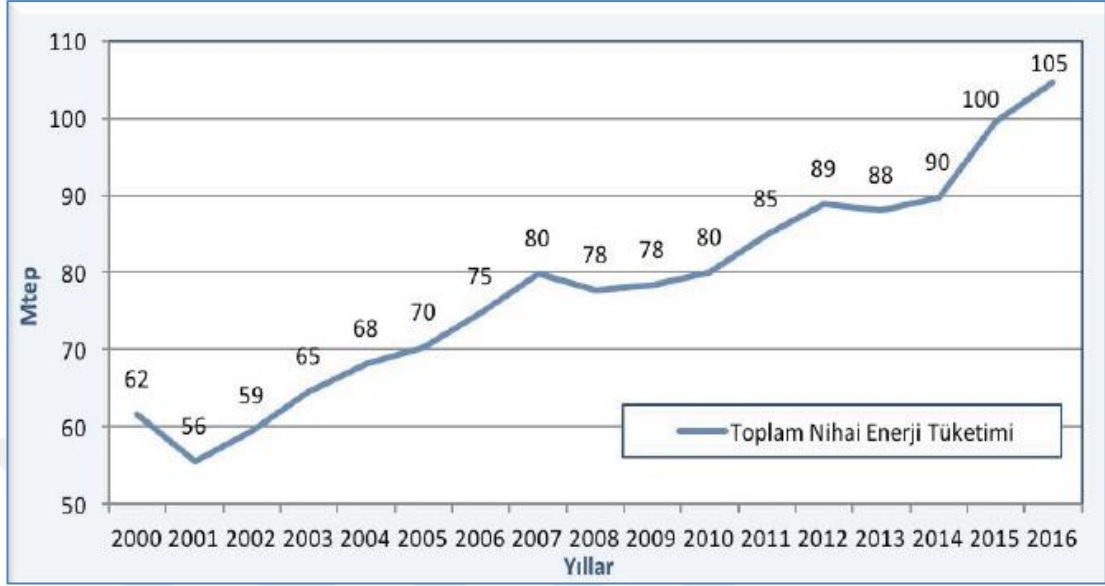
Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'nin birincil enerji tüketimi kaynak bazında incelendiğinde petrol, doğalgaz ve kömür kaynaklarının daha fazla tüketildiği görülmektedir. Bu üç kaynağın birincil enerji tüketimindeki toplam payı 2016 yılı için %87,3'tür. Şekil 1.10'dan da anlaşılabacağı üzere 2000~2016 yılları arasında kömür ve petrolde düşüş, doğalgaz da ise artış söz konusudur. Yenilenebilir enerji de ise yıllık bazda artış görülmektedir.



Şekil 1.10. Kaynak bazında birincil enerji tüketimi [10]

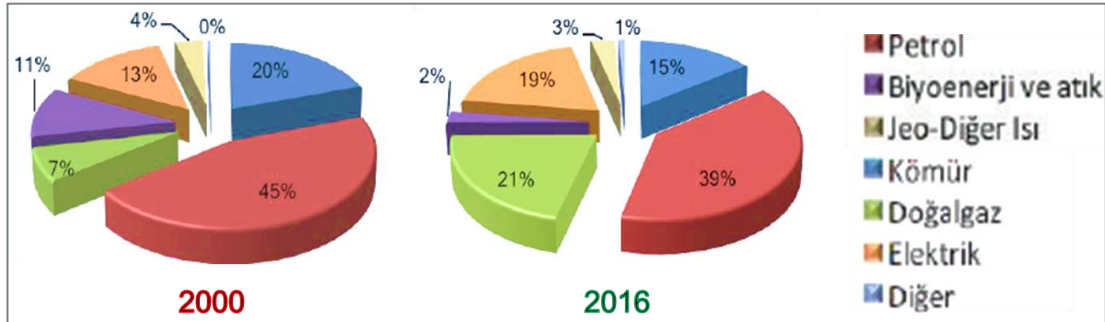
“Ülkemizin 2016 yılı toplam nihai enerji tüketimi 104,6 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Enerji dışı tüketim hariç tutulduğunda ise Türkiye'nin 2016 yılı toplam nihai enerji tüketimi 2000 yılına kıyasla %69,3 oranında artmış ve 97,3 Mtep mertebesine ulaşmıştır. 2000-2008 döneminde toplam nihai enerji tüketimi yılda ortalama %3 oranında artış gösterirken, 2008-2016 döneminde ise daha hızlı bir artış sergileyerek yılda ortalama %3,8'lik bir artış kaydedilmiştir. 16 yıllık döneme bakıldığında ise ortalama artış hızı %3,4 olarak gerçekleşmiştir” [10].

Şekil 1.11'de Türkiye'nin 2000~2016 yılları arasında toplam nihai enerji tüketim değerleri gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Türkiye toplam nihai enerji tüketimi [10]

Türkiye'nin toplam nihai enerji tüketimine kaynak bazlı bakıldığında Şekil 1.12'de elektrik, kömür, petrol ve doğalgaz kaynaklarının kullanımının ön planda olduğu, 2000 yılına kıyasla toplam nihai enerji tüketimlerinin %85'den %94'e yükseldiği görülmektedir. 2000~2016 yılları arasında doğalgaz tüketimi yıllık bazda %10,7 oranında artış ile %7' den %21 oranına yükselmiştir. Aynı şekilde, elektrik tüketimi yıllık bazda % 5,6 artış ile % 13 oranından % 19 değerlerine yükselmiştir. Kömür ve petrol kaynaklarının toplam nihai enerji tüketimleri ise yıllar içerisinde düşüş göstererek petrol kaynaklarının tüketimi %39'a, kömür tüketimi ise %15 oranlarına gerilemiştir.



Şekil.1.12. Türkiye'nin kaynak bazında toplam nihai enerji tüketim dağılımı [10]

Enerji kaynaklarının azalması, refah düzeyinin yükselmesi, hizmet sektörünün güçlenmesi, sanayileşmenin ve nüfusun artışı gibi etkilere bağlı olarak birincil enerji

arzında ithal enerji kaynaklarının oranı son yıllarda %75,9 seviyelerine yükselmiştir. Tüm bu sebeplerden dolayı enerji verimliliği çalışmaları özellikle ülkemiz için kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu bağlamda, 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu yayınlanarak yeni bir dönüşüm sürecine girilmiştir. 2012 yılında ise Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nin yayınlanması ile birlikte 2023 yılı enerji verimliliği hedefleri belirlenmiş ve "Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı" hazırlanmıştır. Türkiye, bu süreçte enerji verimliliğinde istenen hedeflere ulaşmak amacıyla 2015 yılında Enerji Verimliliği Kanunu'nda değişikliğe giderek kamu ve özel teşebbüslerin denetimlerini arttırmış, firmaların enerji verimliliği etüt çalışmaları yapmalarını kanun ile zorunlu hale getirmiştir.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, ülkemizin mevcut ihtiyaçlarının belirlenmesiyle ve gelişmiş ülkelerdeki faydalı uygulamaların değerlendirilmesiyle hazırlanmıştır. Bu plan, enerji verimliliği ile ilgili eylemlerin uygulama adımlarını, temel performans göstergelerini, çıktıları ve muhtemel etkilerini nasıl ortaya koyacağını göstermektedir.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'na göre; 2017~2023 yılları arasında toplamda 6 kategoride (enerji, sanayi ve teknoloji, ulaştırma, bina ve hizmetler, tarım ve yatay konular) 55 eylem ile ülkemizin birincil enerji tüketiminin %14 oranında azaltılması amaçlanmıştır. Şekil 1.13'te gösterildiği gibi Türkiye'nin 2017~2023 yılları arasında toplamda 10,9 milyar ABD Doları yatırımı ile kümülatif olarak 23,9 MTEP enerji tasarrufu öngörülmüştür. Yapılacak yatırım ile birlikte 2017~2033 yılları arasında öngörülen kümülatif tasarruf miktarı ise 30,2 milyar ABD Doları'dır. Eylemlerin ve yatırımların geri ödeme sürelerinin de ortalama 7 yıl olduğu hesaplanmıştır.

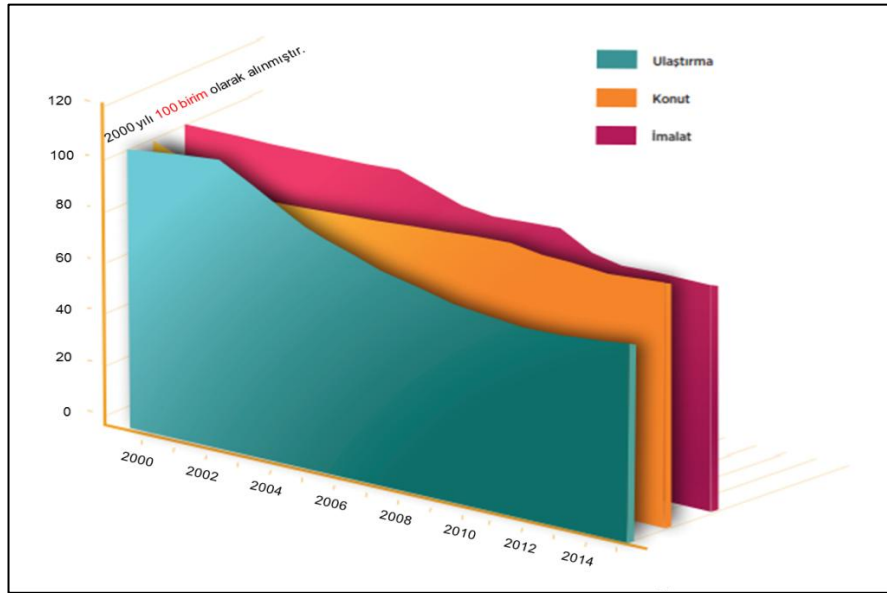
İhtiyaç Duyulan Toplam Yatırım Tutarı (Milyon ABD Doları)																					
2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		TOPLAM							
958		1.279		1.593		1.681		1.748		1.824		1.846		10.928							
Enerji Tasarrufu																					
2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023		Kümülatif							
(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)						
577	202	1.630	571	2.493	872	3.378	1.182	4.298	1.504	5.264	1.842	6.261	2.191	23.901	8.365						
Enerji Tasarrufu																					
2024		2025		2026		2027		2028		2029		2030		2031		2032		2033		Kümülatif 2017-2033	
(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)	(kTEP)	(M\$)
6.261	2.191	6.261	2.191	6.261	2.191	6.261	2.191	6.248	2.187	6.248	2.187	6.248	2.187	6.216	2.175	6.216	2.175	86.369		30.228	

Şekil 1.13. Yatırımların ve öngörülen tasarrufların yıllara göre değişimi [5]

"Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile enerji verimliliğinde destek modellerinin daha etkin hale getirilmesi, sürdürülebilir finansman mekanizmalarının geliştirilmesi, sürdürülebilir satın alma, kamu ve özel sektörde enerji verimliliği kültürünün, farkındalığının ve bilincinin geliştirilmesi, yerinde üretim ve tüketimin özendirilmesi, akıllı şehirlerin ve akıllı şebekelerin enerji verimliliği açısından konumlandırılması, sanayide, ulaşımda ve tarımda enerji verimliliğinin artırılması, bölgesel ısıtma sistemlerinin yaygınlaştırılması, alternatif yakıt ve kaynakların enerji verimliliği çerçevesinde kullanımının çoğaltılması, sürdürülebilir çevre dostu yapıların yaygınlaştırılması ve mevcut yapıların daha verimli hale getirilmesi kapsamında tüm sektörlerde enerji verimliliği etkinliğinin artırılması çalışmaları yürütülecektir" [5].

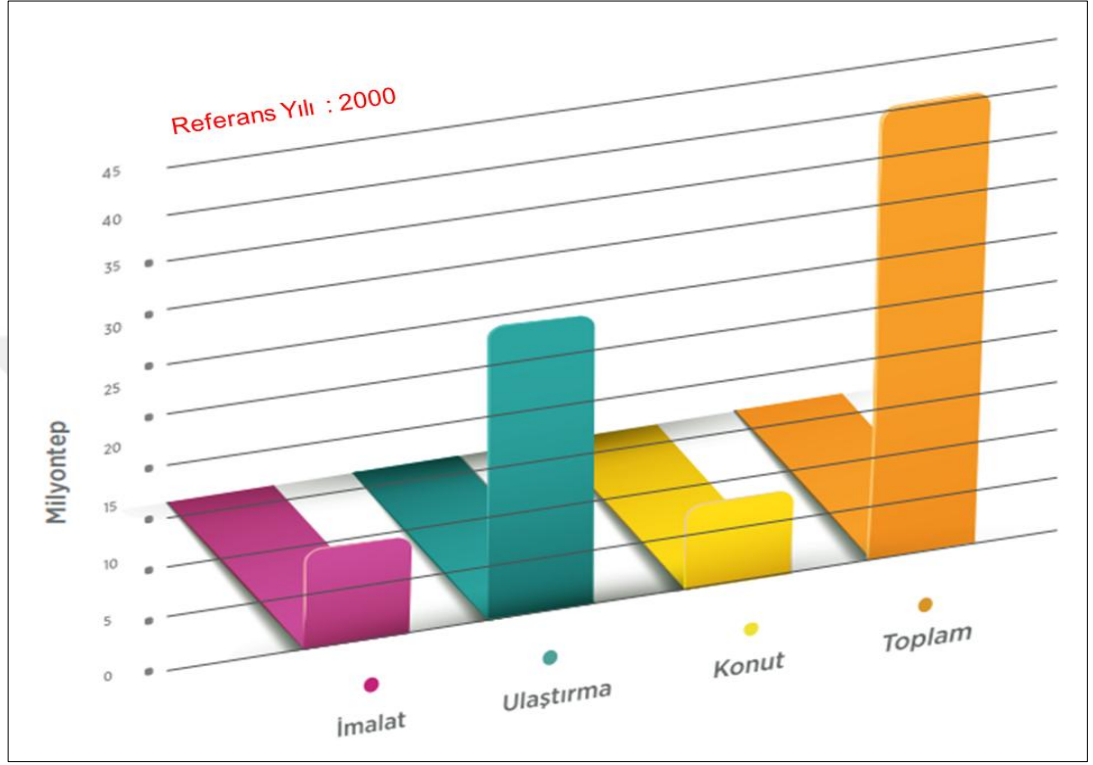
Sanayi, ulaşım ve konut sektörlerinde enerji verimliliği alanında büyük bir potansiyele sahip olan Türkiye, enerji verimliliği çalışmalarının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için öncelikle kamu ve özel sektörde enerji verimliliği bilincini oluşturulmalı ve verimlilik artırıcı projelerin uygulanmasını teşvik etmelidir. Bu çalışmaların sürekli hale gelmesi için de siyasi ve ekonomik politikalar ile desteklemelidir.

Birincil ve nihai enerji tüketiminde elde edilen enerji tasarrufu ve verimliliğin bir göstergesi olan enerji verimliliği endeksi özellikle sanayi, konut ve ulaştırma sektörlerinde ekonomiye sağlanan faydanın belirlenmesinde önemli bir göstergedir. Şekil 1.14'te 2000~2015 yılları arasında enerji verimliliği endekslerine bakıldığında sanayi sektöründe yıllık bazda %1,8 oranında, konut sektöründe %1,9 ve ulaştırma sektöründe ise %2,7 oranında enerji tasarrufu sağlanmıştır. Toplam enerji verimliliği ise yıllık bazda ortalama %2,1 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 1.14. Yıllara göre sektörel bazda enerji verimliliği endeksi [14]

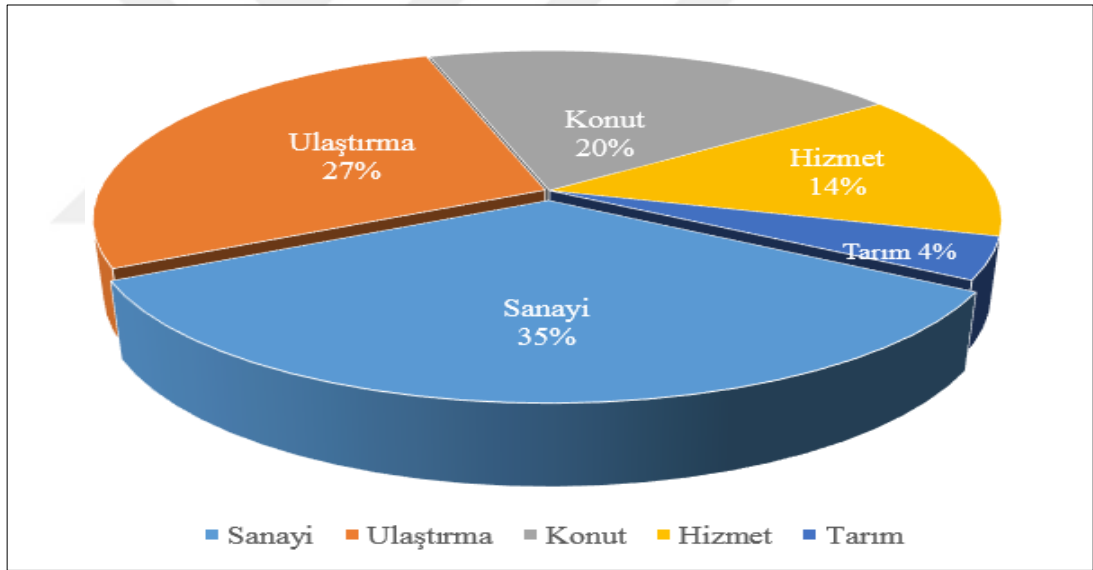
Şekil 1.15'te görüldüğü gibi enerji verimliliği tedbirleri ile 2000~2015 yılları arasında kümülatif olarak sanayi sektöründe 9,7 MTEP, konut sektöründe 7,1 MTEP ve ulaştırma sektöründe 24,6 MTEP enerji tasarrufu elde edilmiştir. Toplamda ise 41,5 MTEP enerji tasarrufu sağlanmıştır.



Şekil 1.15. Türkiye 2000~2015 dönemi kümülatif enerji tasarrufu [14]

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMA ALANLARI

Enerji verimliliği, enerjinin üretiminden tüketimine kadar tüm alanları kapsayan geniş bir tasarruf kavramıdır. Konutlarda, sanayide, ulaşımda ve birçok alanda özellikle de genel enerji dengesi içinde önemli bir yere sahip olan alanlarda ele alınması elzem bir konudur. Şekil 2.1’de sektörlerin enerji tüketimindeki payları gösterilmektedir. Bu verilere göre; enerjinin büyük çoğunluğunun %35’ine sahip olan sanayi sektöründe tüketildiği görülmektedir. Sanayi sektörünü sırasıyla %27’lik pay ile ulaştırma sektörü, konut, hizmet ve tarım sektörleri takip etmektedir. Sanayi sektöründe, yıllar içerisinde enerji tüketim oranında düşüşler olsa da bu düşüşler sektörler arasında en yüksek enerji tüketen sektör olması durumunu değiştirmemiştir.



Şekil 2.1. Türkiye sektör bazlı birincil enerji tüketimi (2016)

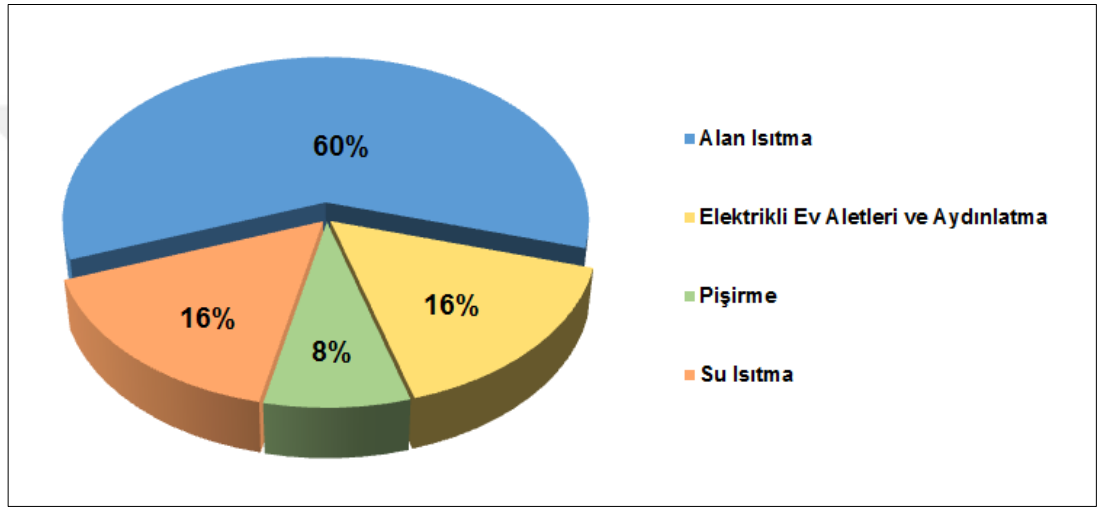
Bu bölümde gerek ülke ekonomisi gerekse ülke refahı açısından önemli bir gösterge olan enerji verimliliği uygulama alanları belirtilmiştir. Bu uygulama alanlarının Türkiye’deki genel durumları ele alınmış, mümkün olduğunca dünya ortalaması ile kıyaslaması yapılmış ve tasarruf yapılabilecek sistemler belirtilmiştir.

2.1. Konutlarda Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği uygulama alanlarının başında gelen sektörlerden biri de konutlarda enerji verimliliğidir. Türkiye’de binalarda tüketilen enerjinin büyük çoğunluğu ısıtma,

soğutma ve havalandırma amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle verimli enerji kullanımlarında ısınma konusuna özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Binaların doğru biçimde yalıtılması ile daha az yakıt kullanılarak aynı etkide ısınmayı sağlamak mümkündür.

Şekil 2.2’de konutlarda nihai enerji tüketiminin kullanım alanlarına göre payları gösterilmektedir. Buna göre; konutlarda tüketilen enerjinin %60’ı alan ısıtması, %16’sı su ısıtması, %8’i pişirme ve %16’sı da elektrikli ev aletleri ve aydınlatma alanlarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.2. Konutlarda nihai enerji tüketiminin dağılımı

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de konutlardaki enerji tüketiminin çoğu ısıtma alanlarında gerçekleştiği için konutlarda ısıtma yönünde büyük bir enerji tasarrufu potansiyeli olduğu görülmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı konutlarda ısıtmaya yönelik yapılacak enerji verimliliği çalışmalarında etkin bir sonuç elde edilebileceği ispatlanmıştır.

Konutlarda yalıtımların daha verimli olabilmesi için birçok yöntem ve malzemeden yararlanılmaktadır. Örneğin; pencere ve dış kapı gibi açıklıkların büyüklükleri, çatı ve zemin yalıtımı, dış duvarların yalıtımı, duvarlarda strafor benzeri ısı yalıtım maddelerinin kullanılması, çift cam uygulaması gibi yöntemler konutlarda enerji verimliliği sağlanmasında etkin rol almaktadır. Evler ve binalar verimli ve doğru bir şekilde yalıtıldıkları takdirde enerji verimi artacağından dolayı parasal olarak da tasarruf sağlanmış olacaktır. Ayrıca bina boyunca sıcaklık dağılımı da daha homojen olacağından, ısınma amacı ile yakılan yakıttan çevreye atılan zararlı atık gaz geçişi azalmış olacaktır.

Isı yalıtımında kullanılan malzemelerin başında cam yünü, taş yünü, ekspande polistiren, ekstrüde polistiren, poliüretan, fenol köpüğü, cam köpüğü, ahşap lifli levhalar, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş mantar; tesisatlarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin başında ise benzer şekilde cam yünü, taş yünü, elastomerik kauçuk, cam köpüğü, kalsiyum silikat, ekstrüde polistiren, poliüretan, ekspande polistiren, polietilen köpük, fenolik köpük gelmektedir.

Konutlarda en fazla enerji tüketimine yol açan sebeplerden bir diğeri de ısıtma ve soğutma sistemleridir. Bu nedenle enerji tüketimini azaltmak için atılacak en basit adımlardan birisi de bu sistemlerin programlanabilir bir termostat ile yönetilmesidir. Aynı şekilde su ısıtmak için de fazla miktarda enerji tüketilmektedir. Kontrollü su akışı sağlayan duş başlıkları ya da muslukların kullanılması, daha az sıcak su ve dolayısıyla da daha az enerji harcanmasını sağlamaktadır. Evlerde kullanılan eski model musluk ve duş başlıklarının enerji tasarrufu sağlayan yenileriyle değiştirilmesi ya da su ısıtıcılarının ve sıcak su borularının yalıtılması da enerji verimliliği için önemli adımlardan sayılmaktadır.

Konutlarda aydınlatma için tüketilen enerji ise yine büyük bir tüketim oranını kapsamaktadır. Aydınlatmada enerji tasarrufu, görsel konfordan ödün vermeden, gerekli en az aydınlık şiddetlerinin sağlanması ile elde edilir. Bunun için öncelikle düşük verimli ışık kaynakları yerine yüksek verimli ışık kaynakları kullanılmalıdır. Örneğin; klasik bir ampulü az enerji kullanan bir ampulle değiştirmek enerji tüketimini %80 civarında azaltabilmektedir. Kompakt flüoresan lambalar ev ve işyerleri için uygun kabul edilmektedir. Aynı şekilde bir akkor flamanlı lamba yerine kompakt flüoresan lamba veya LED (Light Emitting Diode) lamba kullanılması ve kullanılan lambaların temiz tutulması da enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Elektrikli ev aletlerindeki enerji verimliliğinin sağlanması da konuttaki toplam enerji verimliliğinin sağlanmasında önemli bir alan kaplamaktadır. Bu nedenle ülkemizde satılan birçok ürün için de artık “daha az enerji tüketimi” çok önemli bir özelliktir. Buzdolaplarından, elektrik motorlarına kadar birçok ürün, enerji tüketim miktarına göre piyasada talep görmekte ve diğer ürünlere karşı rekabet etmektedir. Bu durum yavaş yavaş tüm dünyada fazla enerji tüketimi gerektiren ürünlerin piyasadan çekilmesine yol açmakta ve ülkelerin enerji standartlarını gözden geçirmelerini sağlamaktadır.

Evlerin çevre düzenlemesi esnasında yapılacak harcamalarda da enerji verimliliği sağlamak mümkündür. Proje başında yapılan bu harcamalar ile 8 yıldan daha az bir zaman içerisinde elde edilecek tasarruflar sayesinde yapılan bu harcamaların geri kazanıldığı da kanıtlanmıştır. Bahçeye yaklaşık 2,5 metre boyunda bir ağaç dikilmesi ile yazın evlerin serin kalması sağlanırken, kışın da güneşten yararlanıldığı ve ısı kaybının biraz azaldığı gözlemlenmiştir.

Ağaçlar, çitler ya da doğal jeolojik birtakım yapılar evleri korumak için bir rüzgar kalkanı görevi de yapabilmektedir. Yapılan araştırmalar binaların kuzey, batı ve doğu cephelerinde bulunan rüzgar kalkanlarının ya da rüzgar engelleyicilerinin yakıt tüketimini ortalama %40 oranında azalttığını göstermektedir. Uzmanlar da kış aylarında düşük açıyla gelen güneş ışınlarını alabilen, yaz aylarında ise görece yüksek açı ile gelen güneş ışıklarından korunaklı ve kış rüzgarlarının soğutucu etkisini en aza indiren bir binanın, iyi planlanmış bir bina olduğu konusunda hemfikirdirler.

2.2. Ulaştırma Enerji Verimliliği

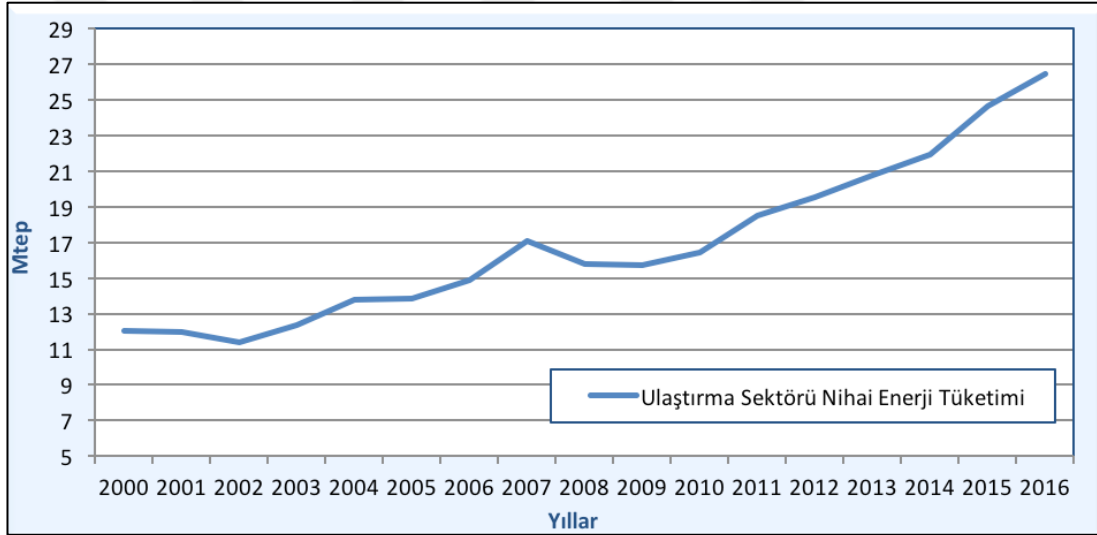
Enerji verimliliği çalışmalarının giderek önem kazandığı günümüzde ulaştırma sektörü tasarruf potansiyeli açısından büyük paya sahip sektörlerimizdendir. Ulaştırma sektöründe ekonomik büyümenin ve buna paralel olarak enerji tüketiminin azaltılması ile çevrenin de korunmasına yönelik çalışmalar, birçok ülkenin stratejileri ve politikaları arasında ilk sıralarda yerlerini almaktadır. Bu stratejileri gerçekleştirmek ve sürdürülebilir bir ulaşımı sağlamak adına dünyadaki birçok kuruluş tarafından da çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Ulaştırma enerji verimliliği çalışmalarını gerçekleştirmeden önce verimlilik çalışmalarını etkileyen faktörleri belirlemek, çalışmaların doğruluğunu artırması açısından önem arz etmektedir. Ulaştırma enerji verimliliğini etkileyen dört ana faktör mevcuttur. Bunlar sırasıyla; ihtiyacın niteliği, taşıma şekli, aracın karakteristiği ve sürücünün kullanım şeklidir. İhtiyacın niteliği; taşınan/taşınacak olan maddenin ürün veya yolcu olması ile ilişkilidir. Taşınacak maddenin zamanında teslimatı, şehir planları ve yol durumları gibi yan faktörler de etkilidir. İkinci faktör olan taşıma şekli ise; yükün veya yolcunun ne tür bir araç ile taşınacağıdır. Üçüncüsü ise aracın karakteristiğini belirleyen; araç modeli, yakıt cinsi, tüketim miktarı, motor performansı ve gücü gibi faktörlerdir. Dördüncü son ana faktör olan sürücünün

kullanım şekli ise yakıt tüketimini etkileyecek olan faktörleri kapsamaktadır. Bunlar; kısa, engebesiz ve hızlı yollarının seçimi, ani duruş ve kalkışlar gibi faktörlerdir.

Ulaştırma sektörünün geçmişine bakıldığında genellikle birincil enerji kaynağı olan petrole dayalı yakıt türlerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu yakıtların çok da verimli olmamalarına rağmen gün geçtikçe nüfusun artması ile birlikte araç sayılarındaki artış da ulaşımdaki birincil enerji kaynaklarının kullanımını arttırmış ve günümüzde çok yüksek boyutlara ulaşmasına sebep olmuştur.

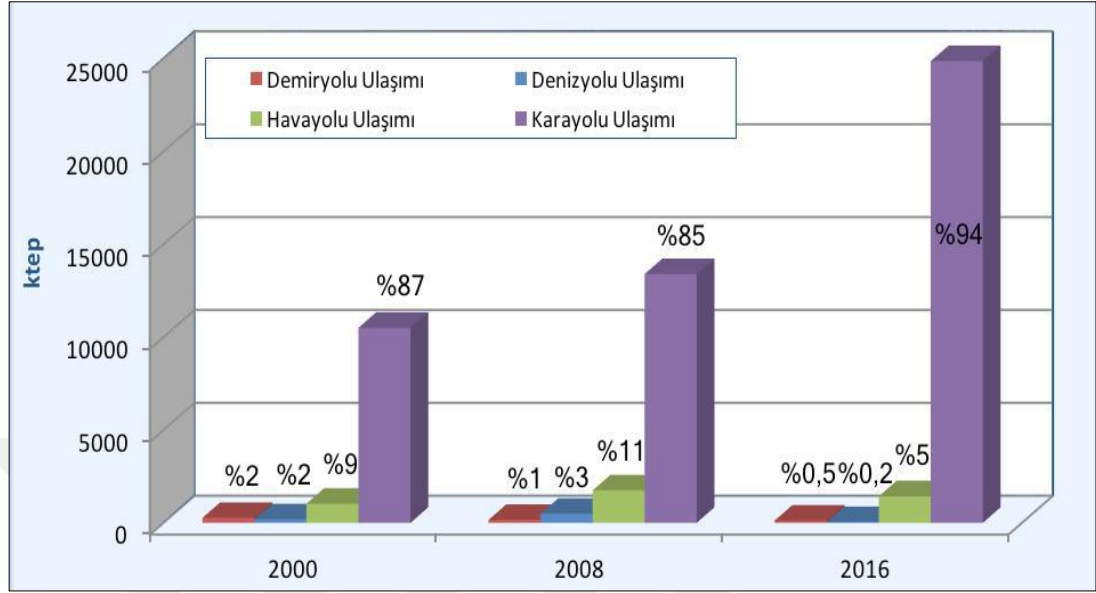
Şekil 2.3'te ulaştırma sektöründe 2000~2016 yılları arasında nihai enerji tüketimindeki değişimler gösterilmiştir. Bu verilere göre; 2000 yıllarında 12 MTEP seviyelerinde olan enerji tüketimi 2016 yılında %120'nin üzerinde artış göstererek 26,5 MTEP seviyelerine ulaşmıştır.



Şekil 2.3. Ulaştırma sektörü nihai enerji tüketimi [10]

Ulaştırma sektöründe, ulaşım türlerinin 2016 yılı enerji tüketimindeki payları Şekil 2.4'te görüleceği üzere en yüksek tüketim %94'lük payla karayollarında gerçekleşmiştir. 2000 yılında %87'lik paya sahip olan karayolu, havayolu ulaşımındaki artışlardan dolayı 2008 yılında %85 seviyelerine gerilemiş ancak sonrasında yükseliş göstererek artışına devam etmiştir. Havayolları ise 2000 yılında %9'luk paya sahipken 2008 yılına kadar yükselişini devam ettirerek %11 seviyelerine ulaşmış ancak gerçekleşen kriz ile birlikte 2016 yılını %5 seviyelerinde kapatmıştır. Demiryolu ulaşımına bakıldığında, 2000 yılında %2'lik paya sahipken yıllar içerisinde düşüş göstererek 2016 yılında %0,5 seviyelerine düşmüştür. Denizyolu ulaşımında ise, aynı şekilde 2000 yılında %2'lik bir paya sahipken 2008 yılında %3 seviyelerine yükselmiş ancak bu yükselişini yıllar içerisinde

koruyamayarak 2016 yılında %0,2 değer ile ulaşım türleri arasında en az paya sahip ulaşım türü olarak yerini almıştır.



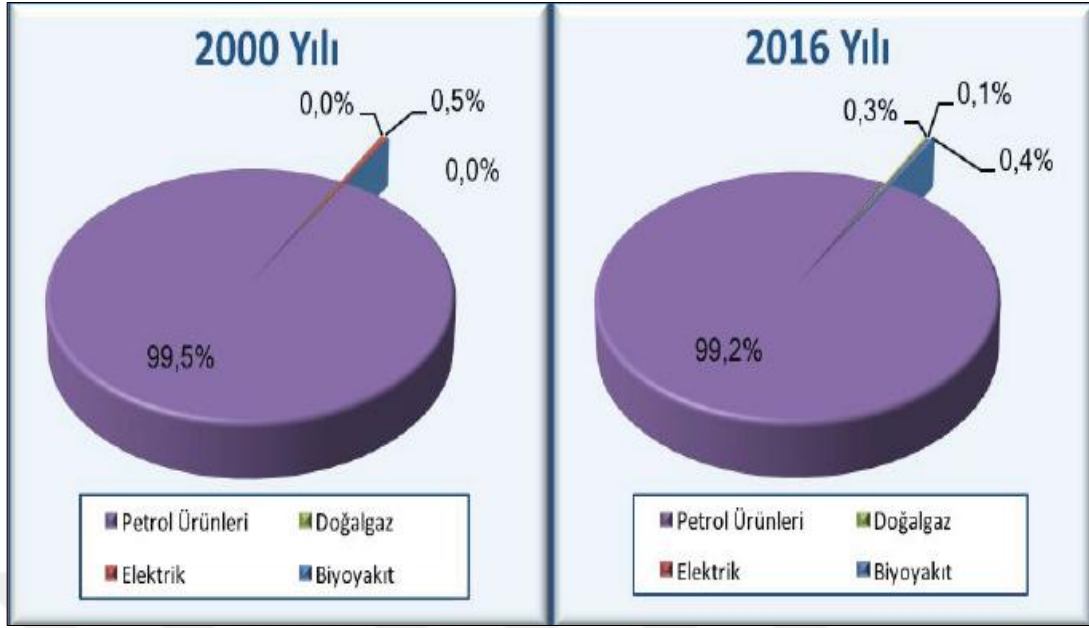
Şekil 2.4. Ulaşım türlerinin enerji tüketimindeki payları [10]

Birincil enerji tüketiminde yüksek bir paya sahip olan ulaştırma sektörünün çoğunluğunu petrol ürünleri oluşturmaktadır. Petrol ürünlerinin kullanımının karayolunda bu denli yüksek olmasının sebepleri arasında dizel ve LPG araçlardaki artışlar gösterilmektedir. 2016 yılında motorlu karayolu araç sayısının %29,1'ini benzinli, %49'unu dizel araçlar ve %21,5'ini de LPG'li araçlar oluşturmaktadır [10].

Şekil 2.5'te 2000 ve 2016 yıllarındaki enerji tüketimlerinin yakıt türlerine göre dağılımları gösterilmektedir. Bu verilere göre; 2000 yılında %99,5 paya sahip olan petrol ürünleri yeni yakıt türlerinin geliştirilmesiyle (biyoyakıt, elektrik, vs.) zaman içerisinde az da olsa düşüş göstererek %99,2 seviyelerine gerilemiştir. Kalan %0,8'lik oranı ise elektrik, doğalgaz ve biyoyakıt oluşturmaktadır.

AB üye ülkelerde ise 2015 yılı verilerine göre tüketilen enerjinin %93,7'si petrol ürünleri, %3,9'u biyoyakıt ve %1,5'i de elektrik enerjisinden oluşmaktadır.

Ulaştırmada enerji verimliliğini ve yakıt tüketimini etkileyen faktörlerden bir tanesi de araçların ortalama yaşlarıdır. Türkiye'de trafiğe kayıtlı araçların ortalama yaşı AB ülkeleri ile kıyaslandığında daha yüksek çıkmaktadır. Ortalama araç yaşı arttıkça araçların yıpranma oranı da artacağından dolayı yakıt tüketimindeki verimsizlik de artacaktır.



Şekil 2.5. Ulaştırma sektörü enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı [10]

Dünyanın pek çok ülkesinde araçlar üzerinde motor verimlerinin ve yakma oranlarının iyileştirilmesi yönünde enerji verimliliği çalışmaları devam etmektedir. Ancak bu çalışmalar, sadece motor üzerine yapılan araştırmalarla sınırlı kalmayıp hafif malzemeleri kullanmaya ve mukavemeti arttırmaya yönelik araç gövde teknolojileri, düşük sürtünme direncine sahip tekerlek yüzeyleri gibi malzeme ve tasarımlar üzerindeki çalışmaları da kapsamaktadır.

Birincil enerji kaynaklarının kısıtlı olması ve petrol rezervlerinin giderek azalmasından dolayı araçlarda yenilenebilir yakıt türlerine yönelimler artmaktadır. Bu yönelimlerin başında hidrojen ve elektrikli araçlar yer almaktadır.

Uzun yıllardır üzerinde çalışmalar yapılan elektrikli taşıtlar, pil teknolojilerinin iyileştirilmesiyle gün geçtikçe daha da yaygınlaşmaktadırlar. Bu bağlamda, öncü olarak gösterilebilecek otomotiv markalarının başında Toyota ve Tesla gelmektedir. Gerek hibrit araç gerekse saf elektrik ile çalışan araçların üretimine öncelik veren bu firmalar, dizel araç üretimini azaltmayı hedefleyerek doğayı korumaya yönelik politikalarını sürdürmektedirler. Bu politikalar sayesinde hibrit araç teknolojisi ile piyasaya sürülen araçlar, pil teknolojisinin gelişmesiyle yerlerini giderek saf elektrikli araçlara bırakarak doğadaki karbon salınımı azaltılmış olacaktır. Amerika, Avrupa ve Uzak Doğu ülkelerinde hibrit ve elektrikli araçlar çok yaygınken Türkiye’de halen istenilen seviyelere ulaşamamıştır. Ancak, elektrik şarj istasyonlarının yaygınlaşması ile birlikte elektrikli araçlara yönelimin de artacağı öngörülmektedir.

Enerji verimliliği çalışmalarının yoğunlaştığı bir diğer ulaşım türü ise demiryoludur. Raylı sistemler üzerinde yapılan çalışmaların başında elektrikli hızlı trenler yer almaktadır. Bu trenler genelde eski sistemle döşenmiş olan raylarda 200 km/s altında, yüksek hıza uygun hızlı tren raylarında ise 200 km/s üzeri hızda seyredebilme kabiliyetine sahiptirler.

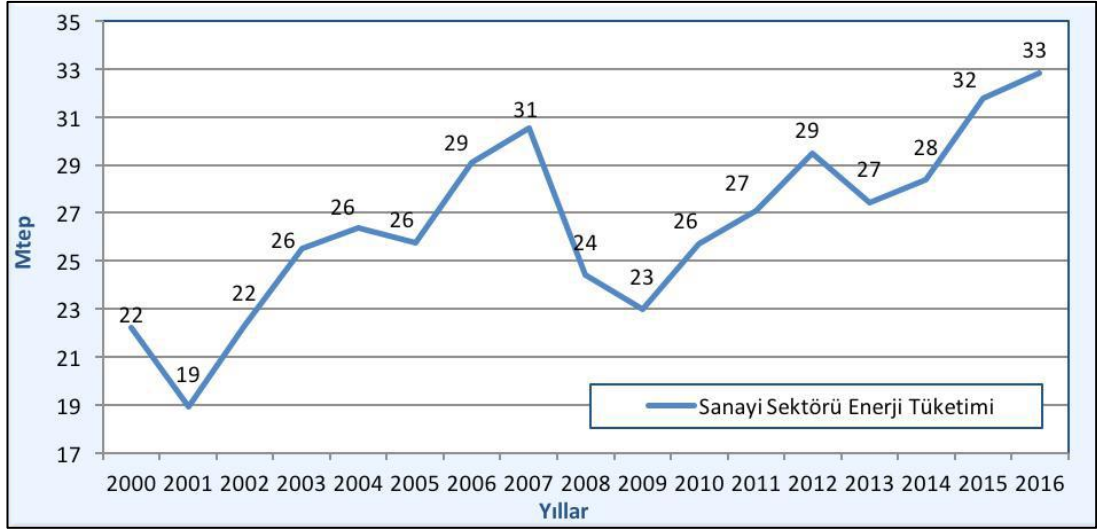
Hızlı tren ağının gün geçtikçe arttığı ülkemizde teknolojik çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Raylı sistemler ve toplu taşıma alanında sürdürülen politikalar ülkemizde toplu taşıma kültürünün yaygınlaşmasında büyük etkiye sahiptir. Toplu taşımanın yaygınlaştırılması ile birlikte enerji tasarruflarında artış eğilimi görülecek ve buna paralel olarak karbon salınımı da azalmış olacaktır.

2.3. Sanayide Enerji Verimliliği

Türkiye'deki sanayi kuruluşlarının enerji verimliliği konusunda başarılı bir grafik çizebilmesi hem ulusal hem de uluslararası pazardaki rekabet açısından çok önemlidir. Bir sanayi kuruluşu, üretim kalitesini ve verimini değiştirmeden sadece enerji kayıplarını ve bu konudaki gider kalemlerini düşürebildiği takdirde pazardaki yerini koruyabilmektedir. Bu sebepten dolayı sanayi kuruluşları için enerjiyi verimli kullanarak elde edilecek kazançlar doğrudan kar olarak düşünülebilmektedir.

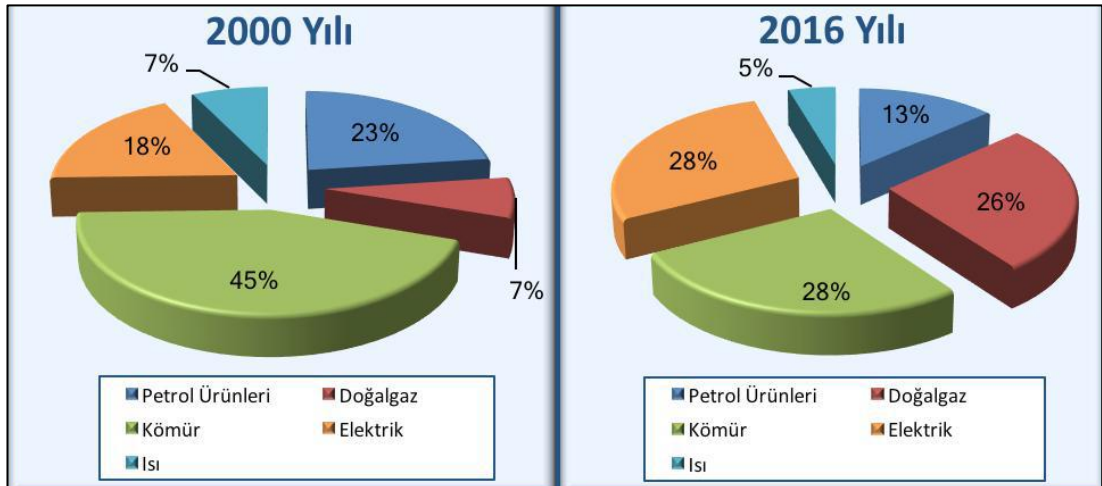
Birincil enerji tüketiminde %35'lik pay ile ilk sırada yer alan sanayi sektöründe yapılan enerji denetleme çalışmalarında ortaya çıkan tablo sonucunda sanayi tesislerinin ve endüstriyel işletmelerin %95'inde %5 - %40 arasında enerji tasarrufu yapılabileceğinin mümkün olduğu görülmüştür. Sanayi tesislerinde ve endüstriyel işletmelerde yatırım yapılmadan veya az yatırım yapılarak gerekli önlemlerin alınması ile asgari %10 seviyelerinde enerji tasarrufu sağlanması mümkün görülmektedir. Bu oran enerji tüketimine ve enerji tasarrufuna verilmesi gereken önemi bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Şekil 2.6'da Türkiye'nin 2000~2016 yılları arasında sanayi sektörünün nihai enerji tüketim değerleri gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında 2008 ve 2009 yıllarında meydana gelen küresel ekonomik krize rağmen sanayi sektöründeki enerji tüketimi yıllık bazda sürekli olarak artmış ve 2016 yılında 33 MTEP değerine ulaşmıştır.



Şekil 2.6. Türkiye sanayi sektörü nihai enerji tüketimi [10]

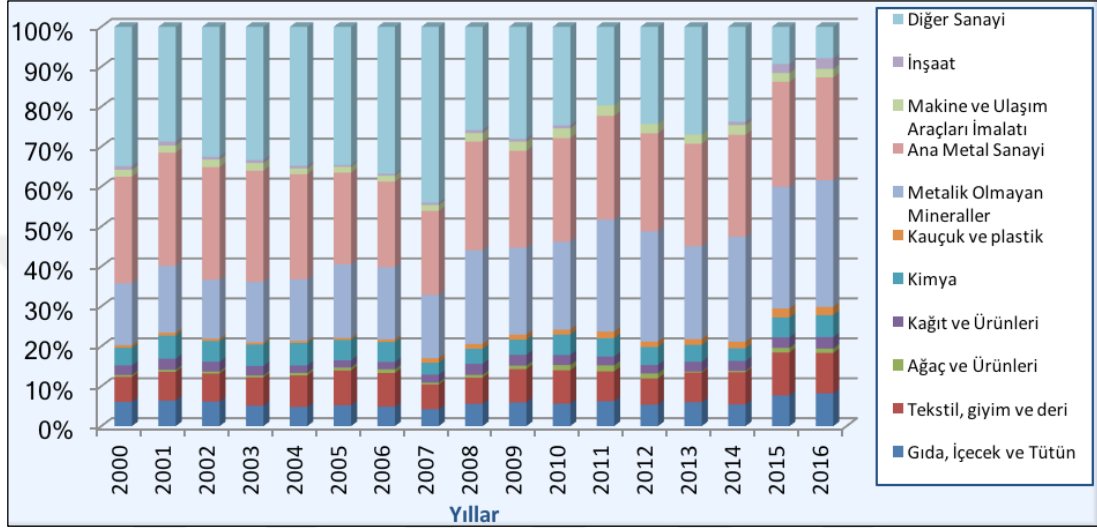
Sanayi sektöründe tüketilen enerjinin yakıt türündeki dağılımı ise Şekil 2.7’de gösterilmiştir. 2000 yılında 9,88 MTEP (%45) yakıt tüketimi ile en yüksek paya sahip olan kömür, birinciliği 2016 yılında enerji tüketimindeki payı %27,9 olan (9,17 MTEP) ikincil enerji kaynağı olan elektriğe bırakmıştır. Elektrik tüketimini sırasıyla; kömür, doğalgaz, petrol ürünleri ve ısı kaynakları takip etmektedir. 2000 yılında son sıralarda yer alan doğalgaz ise diğer yakıt türlerine kıyasla bu dönemde en yüksek artışı göstererek 2016 yılında sanayide yakıt tüketiminde üçüncü sıraya yükselmiştir. Petrol ürünlerinin ve ısı kaynaklarının tüketimdeki payları ise yıllar içerisinde azalarak son sıralara gerilemişlerdir.



Şekil 2.7. Sanayi sektörü enerji tüketiminin yakıt türüne göre dağılımı [10]

Sanayi sektöründe tüketilen enerji alt sektörler bazında incelendiğinde; gerek ekonominin gerekse sanayinin gelişmesi ile birlikte 2000~2016 yılları arasında tüm

alt sektörlerin enerji tüketimlerinde artış olduğu görülmektedir. Şekil 2.8'deki verilerden de anlaşılacağı üzere, tüm alt sektörler içerisinde toplamda %56'lık enerji tüketimiyle ana metal sanayi ve metalik olmayan minerallerin üretimi (cam, seramik, çimento) sektörleri en yüksek paya sahip sektörlerdir. Sanayi sektöründe bu iki alt sektörü sırasıyla tekstil, gıda, kimya, makine ve ulaşım araçları üretimi, kağıt sektörü ve ağaç sektörleri takip etmektedir.



Şekil 2.8. İmalat sanayi alt sektörlerinde enerji tüketim endeksi [10]

Endüstriyel istihdamın üçte birini barındıran tekstil endüstrisinin başı çektiği Türkiye'de; yüksek enerji tüketen ve gelişmekte olan demir-çelik sektörü, çimento sektörü, gelişen ihracatta büyük pay sahibi olan otomotiv sektörü ile gelişmekte olan gıda, kimya ve kâğıt sektörleri en önemli sektörler arasındadır.

Sanayide enerji verimliliği çalışmaları sektörlerle ve işletmelere özel olsa da süreç ve metotların benzerliğinden dolayı enerji iyileştirme projeleri çoğu sektör için ortaktır. Sanayi sektöründe enerji tasarrufu adına yapılabilecek çalışmalardan bazıları şunlardır:

Yüksek verimli motorların kullanılması, kompresör emiş havasının soğutulması ve dış ortamdan alınması, basınçlı hava sistemlerindeki hava kaçaklarının giderilmesi, baca gazından ısı geri kazanım uygulamalarının yapılması, kazanlardan elde edilen kondensin kazanlara tekrar beslenmesi, borularda ısı kaybını önlemek için verimli yalıtımların yaygınlaştırılması, boşa çalışma sürelerinin azaltılarak verimliliğin artırılması, fanlar, pompalar ve motorların frekans kontrolü ile değişken hızlarda sürülmesi, kazan yüzeyindeki ısı kayıplarının azaltılması ve blöf miktarının en aza indirgenmesi, aydınlatma sistemlerinin iyileştirilmesi, işletmelerdeki elektrik güç

faktörünün düzeltilmesi, fırın ve buhar sistemlerinde iyileştirmeler yapılması, kazanlardaki brülörlerin hava/gaz oranının ayarlanması gibi enerji verimliliği çalışmaları yapılabilmektedir.

Bu çalışmaların içerisinde en yaygın kullanılanlar motor verimlerinin iyileştirilerek verimlerinin artırılmasıdır. Bilindiği gibi yeni ve iyileştirilmiş motorların verimleri eski motorlara kıyasla daha yüksektir. Bu tarz motor iyileştirme ve yenileme çalışmalarından elde edilecek enerji tasarrufları yüksek olmakla birlikte amortisman süreleri de oldukça düşüktür.

Diğer enerji verimliliği çalışmalarından biri de değişken yük uygulamalarının bulunduğu alanlarda motorların frekans değişkenli sürücülerle hızlarının kontrol edilmesidir. Frekans-güç değişimi küp katı oranında değiştiğinden frekansta meydana gelecek bir düşüş güçte de küpü oranında bir düşüşe neden olacaktır. Bu iyileştirme çalışması sayesinde ise işletmeye %20 - %40 arasında bir tasarruf sağlanabilmektedir.

Basınçlı hava en pahalı enerji olduğundan dolayı tasarruf çalışmaları ön planda tutulması gereken sistemlerdir. Basınçlı hava sistemlerinde bakım azlığı ve tesisat eksikliğinden dolayı enerji kaybı artmakta ve bu kayıplar kompresörün harcadığı enerjinin yarısına ulaşabilmektedir.

Gelişen teknoloji ile birlikte kazan sistemlerinde yapılan iyileştirme çalışmaları kazanlardaki verimliliği arttırmıştır. Kazanlardaki baca gazı sıcaklığının yüksek olması verimliliği olumsuz etkilediğinden dolayı hava ön ısıtıcıları geliştirilerek verimlilik artırılmıştır. Kazan sistemlerinde yapılacak verimlilik artırıcı çalışmalardan biri ise ekonomizer adı verilen eşanjör sistemleri ile baca gazı sıcaklığının kullanımı ile atık enerjiden ısının geri kazanılabilmesidir.

Aydınlatma sistemlerinde verimliliği düşük lambalar yüksek verimli lambalar ile değiştirilmesi enerji verimliliği çalışmalarının başka bir uygulama alanlarındandır. Flüoresan ve cıva buharlı lambalar yerine daha verimli olan LED'ler kullanılabilmektedir.

Tesislerde alan ısıtması yerine kısmi ısıtma yapmak için radyant ısıtıcılar tercih edilebilmektedir. Sıcak kondensi kazanlara geri besleyerek, enerji ve su tüketiminde önemli tasarruflar sağlanabilmektedir.

Sanayi sektöründe enerji tasarrufunun sağlanmasında en büyük etkilere biri de çalışanların katkısıdır. Verimlilik artırıcı çalışmalarının başarılı olabilmesi için üst yönetimden sahada çalışan personellere kadar bütün çalışanlarda enerji tasarrufu bilinci oluşturulmalıdır. Enerji verimliliği ve tasarrufunun önemi hakkında geniş bilgi verilerek eksiklikler eğitimler ile giderilmeli, tüm işletme tarafından felsefe olarak benimsenmelidir.

Enerji verimliliği danışmanlık firmaları enerji tasarrufunun sağlanmasında büyük bir paya sahiptirler. Her ne kadar işletmelerde enerji yöneticileri bulunsalar da işletmelerdeki rutin çalışmalardan dolayı bir süre sonra “mesleki körlük” diye adlandırılan olumsuzlukları ve tasarruf potansiyellerini görememe durumları ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı tecrübeli, tarafsız ve uzman bir danışman veya danışmanlık firması işletme için büyük önem arz etmektedir.

3. OTOMOTİV FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Tüm sanayileşmiş ülkelerde ekonominin lokomotiflerinden biri olan otomotiv sanayisi, motorlu karayolları taşıtlarının üretildiği ana sanayi ve bu ana sanayinin belirlediği teknik dokümanlara uygun orijinal ya da eş değer aksam ve sistemleri üreten yan sanayinin tümünü kapsayan büyük bir sanayi koludur. Ayrıca, demir-çelik, petro-kimya gibi temel sanayi dallarının başlıca alıcısı ve bu sanayilerdeki teknolojik gelişmelerin sürükleyicisidir.

Türkiye’de otomotiv sanayi 1960’lı yıllardan itibaren önemli gelişmeler kaydederek 1990’lı yıllarda ihracata yönelik rekabetçi bir nitelik kazanmıştır. Dünyanın önde gelen otomotiv firmaları, Türk işbirlikçileri ile kurdukları tesislerle Türkiye’yi yabancı otomotiv firmalarının ihracat merkezi haline getirmişlerdir.

Otomotiv sanayi, tüm bu nedenlerden dolayı gerek ülke ekonomisi gerekse işletmeler için önemli oranda maliyet azalımı sağladığı için bu sektörde enerji verimliliği çalışmaları büyük önem arz etmektedir. Ancak otomotiv sanayi, birçok alt sektörün birleşmesiyle oluştuğu için tüm otomotiv sanayisini enerji verimliliği konusunda incelemek çok zordur. Bundan dolayı enerji verimliliği çalışmalarında otomotiv montaj fabrikaları ele alınarak enerji verimliliği uygulama alanları irdelenmiştir.

3.1. Üretim Süreçleri

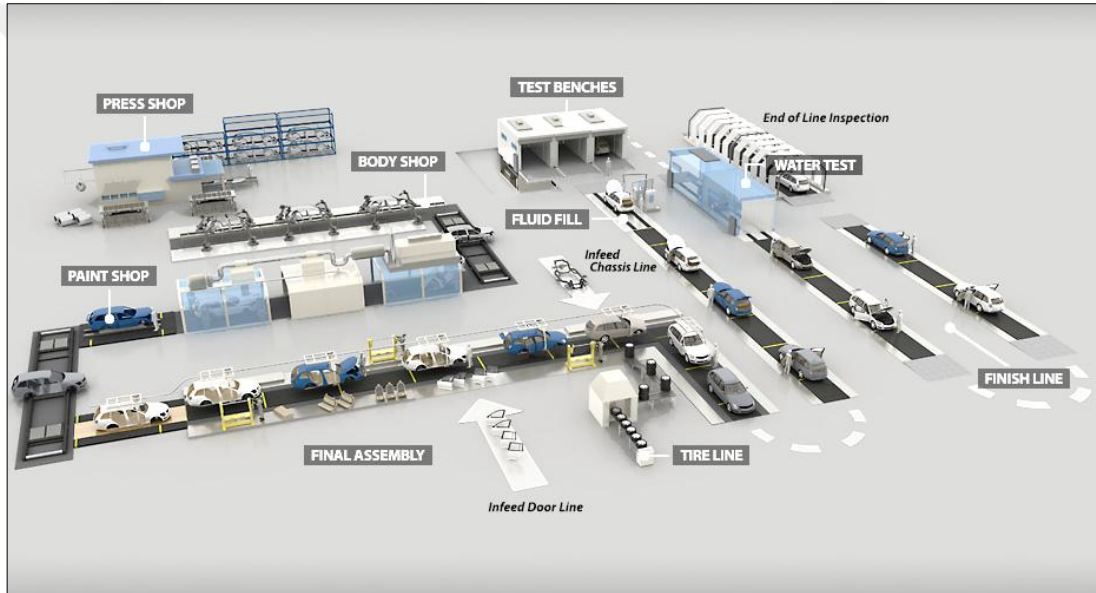
Otomotiv fabrikalarında araç üretim süreçleri görünürde çok karmaşık bir yapıya sahip olsa da genel olarak dört ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- Pres Bölümü
- Gövde Bölümü (Kaynak Bölümü)
- Boyahane Bölümü
- Montaj Bölümü

Ülkemizde otomotiv sanayinde %100 yerli hammadde ve parçalarla araç üretimi olmayıp daha çok araçların gövde imalatı yapılmakta, aracın motor ve diğer aksamalarının birleştirilmesiyle araç üretimi gerçekleştirilmektedir.

Verimlilik çalışması yapılan örnek işletmede, iç ve dış aksamaların birçoğu yan sanayi tarafından imal edilmektedir. Araç gövdesinin iskeletini oluşturan çelik sac, motor ve şanzıman gibi önemli aksamalar ise yurt dışından getirilmektedir. İç ve dış aksesuarlar için ise petrol ve türevi malzemelerden elde edilen plastik ve fiberglas ürünler kullanılmaktadır.

Şekil 3.1’de örnek bir araç üretim süreci gösterilmektedir. Pres bölümünde parça halinde olan araçlar gövde bölümünde şekil kazanarak boyahanede boyandıktan sonra montaj bölümünde iç ve dış aksesuarların montajının gerçekleştirilmesiyle tamamlanmaktadır. Montaj işlemleri sonrasında test işlemlerine tabi tutulan araçlar stok alanına gönderilmektedir.



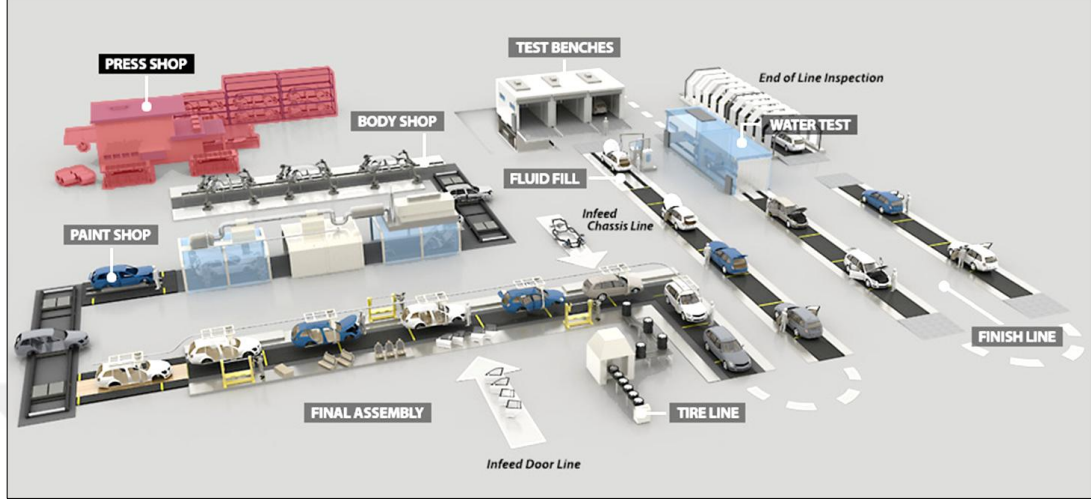
Şekil 3.1. Araç üretim süreci genel şema [15]

3.1.1. Pres bölümü

Pres bölümü araç üretiminin başlangıç noktası olup, aracın gövdesini, BIW (Body in White), oluşturmak için gereken parçaların şekillendirildiği kısımdır. Bu bölümde, üretilen her araç modeli için kalıplar bulunmaktadır. Bu kalıplar sayesinde çelik saclar kullanılarak tavan paneli, sağ-sol kısımlar, kapıların iç ve dış kısımları, taban parçaları gibi aracın iskeletini oluşturacak parçalar farklı ağırlıklardaki pres hatlarından geçirilerek şekillendirilmektedir. Temsili bir pres hattı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Üretim süresince, kalıpların yukarı aşağı hareketini sağlayan büyük güçte asenkron motorlar ile presler arasında parçaların transferini gerçekleştiren robotlar

bulunmaktadır. Ayrıca farklı model araçların parçalarının imalatı için preslerde bulunan kalıplar büyük güçlü taşıyıcı vinçler yardımı ile belirli aralıklarla değiştirilmektedirler.

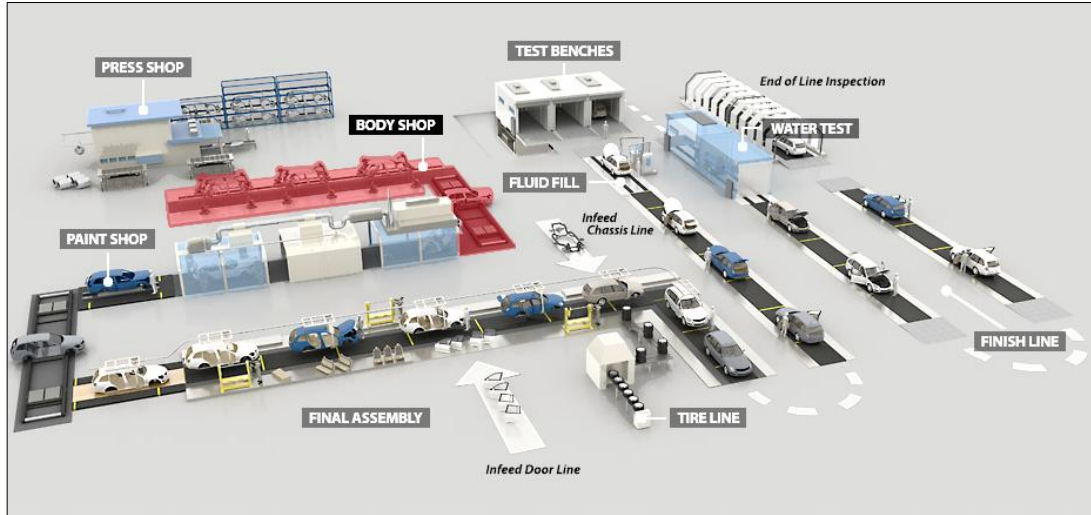


Şekil 3.2. Araç üretim süreci genel şema - Pres bölümü [15]

3.1.2. Gövde bölümü

Gövde bölümünde pres hatlarında şekillendirilmiş parçalar bir araya getirilerek aracın iskeleti oluşturulmaktadır. Bu sürecin ilk aşamasında, parçalar kendi istasyonlarında tek bir parça haline getirilmekte ve aracın iskeletini oluşturmak üzere birleştirilmektedirler. Araçların şase sağlamlığını arttırmak amacıyla sonraki istasyonlarda aracın eksik kalan kaynakları tamamlanmaktadır. Ayrıca parçaların birleştirilmesi esnasında ses ve su yalıtımını sağlamak amacıyla parçalar arasında farklı türlerde yalıtım malzemeleri de eklenmektedir. Kaynak ve yalıtım süreçleri tamamlanan araçlar kalite kontrolünden geçirilerek boyahaneye gönderilmektedirler. Gövde bölümünün genel hatları ve istasyonları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Gövde bölümünde, araç gövdesinin oluşturulması süresince kaynak işlemini ve diğer prosesleri gerçekleştiren birçok robot kullanılmakta, istasyonlar arası transferleri sağlayan konveyörler bulunmaktadır. Ayrıca aracın iskeletinin oluşturulması işlemi öncesinde parçaların tek bir bütün haline getirilmesini sağlayan birçok ekipman ve makine bulunmaktadır. Bu makinelerde asenkron motorlar, sürücüler, kontrol kartları gibi birçok elektrikselsel ve mekanik üniteler bulunmaktadır. Araçların farklı hatlara ve bölümlere transferi ise elektrik motorları tarafından sürülen asansörler ve taşıyıcılar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Ayrıca robotların kaynak çenelerini soğutmak için yüksek güçlerde pompalar kullanılmaktadır.

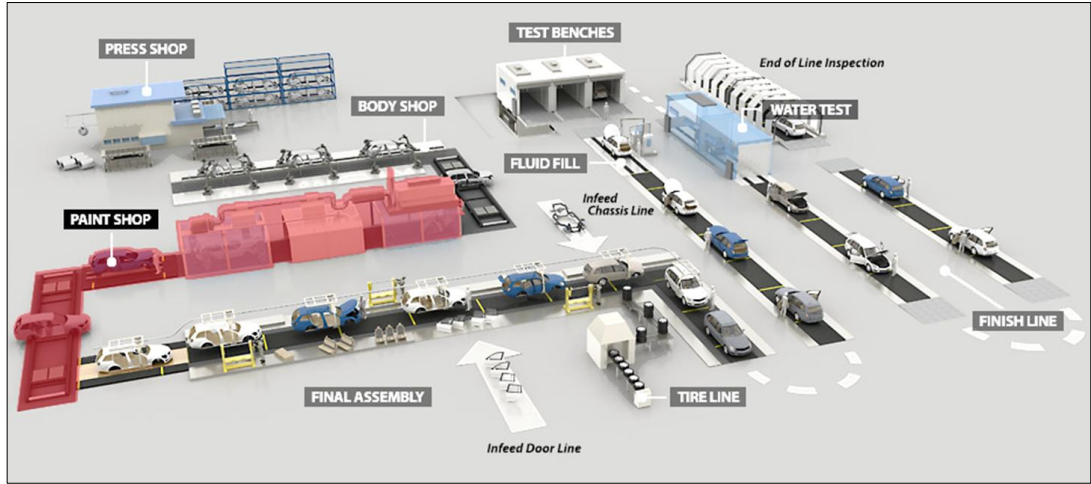


Şekil 3.3. Araç üretim süreci genel şema - Gövde bölümü [15]

3.1.3. Boyahane bölümü

Boyahaneye gelen BIW araçlar için ilk aşamada boyanın sac yüzeylerine daha iyi tutunmasını sağlamak amacıyla ön temizlik işlemleri gerçekleştirilmektedir. Sac yüzeyleri temizlenen araçlar daha sonra ED (Electro Deposition) hattına araç üzerine negatif elektrik uygulanması için gönderilmektedir. Burada boyanın homojen dağılımı sağlanmakta ve bu sayede korozyona karşı iyi bir koruma gerçekleştirilmektedir. Boyanın kurutulması için fırınlara gönderilip bekletilen araçlar, ses yalıtımı ve korozyona karşı dayanımı arttırmak amacıyla PVC uygulamalarına tabi tutulmaktadır. Araç boyalarının ultraviyole güneş ışınlarına dayanımını arttırmak amacıyla ise bir sonraki istasyonda ilk kat boyama işlemi gerçekleştirilmektedir. Fırınlarda bekletilen araçlar son kat boyama işleminden sonra tekrar fırınlara gönderilerek kurutulmakta ve boyama süreci tamamlanmaktadır. Şekil 3.4'te boyahane bölümü temsili olarak gösterilmiştir.

Boyama süresince, araçların transferinde asenkron motorlar tarafından sürülen konveyörler ve asansörler yer almaktadır. Boyama kabinlerinde ise boya robotları ve ortam havasının istenilen değerde tutulabilmesi için hava şartlandırıcı fanlar bulunmaktadır. Boya kabinlerinde önemli bir faktör olan sıcaklık değerleri ise, kazanlardaki eşanjörlerde oluşan ısının fanlar yardımı ile kabinlere basılması sonucunda uygun aralıklarda tutulabilmektedir. Büyük fan motorları ve sürücülerinin sayesinde ortam ısısının kontrol edilmesi boyanın kalitesi için oldukça önemli bir durumdur.

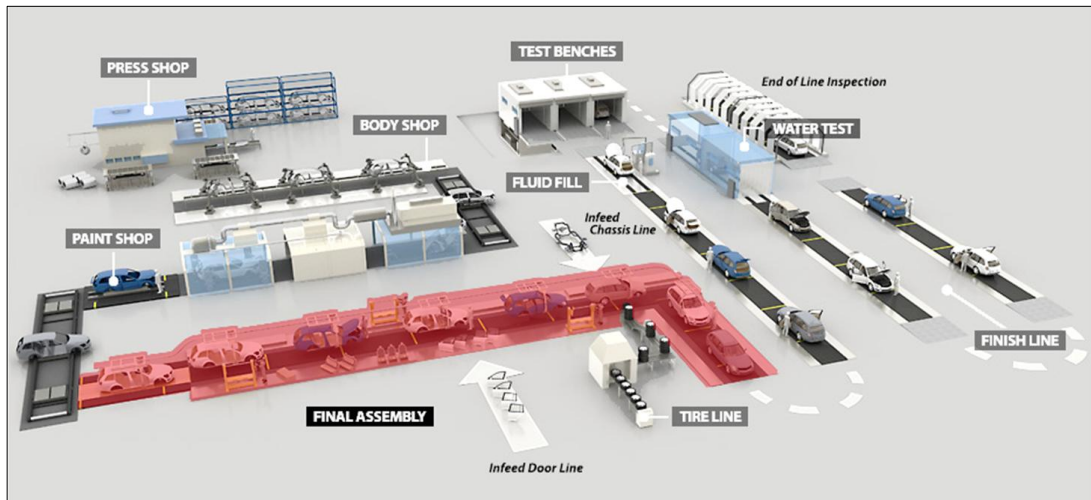


Şekil 3.4. Araç üretim süreci genel şema - Boyahane bölümü [15]

3.1.4. Montaj bölümü

Üretim aşamasının son bölümü olan montaj bölümünde ise, boyama işlemleri yapılan araçların gövdeleri üzerine aks sistemleri, güç sistemleri, süspansiyon ve motor gibi iç ve dış tüm aksamalarının montajı yapılmaktadır. Araç parçalarının montajı, araçlar hareket halindeyken gerçekleşmekte ve eş zamanlı olarak alt parçaların gövde ile birleşimi yapılmaktadır. Tüm iç ve dış aksamaların montajı tamamlanan araçlar test süreçlerinden geçirilerek stok alanına gönderilmektedir. Montaj bölümüne ait temsili üretim hattı Şekil 3.5'te belirtilmiştir.

Montaj bölümünde araçların transferi genel olarak araç taşıyıcı ünitelerin bulunduğu konveyörler yardımı ile gerçekleşmektedir. Çoğunlukla manipülatör denilen yardımcı kollar yardımı ile de araç parçaları ve aksesuarlarının montajı yapılmaktadır.

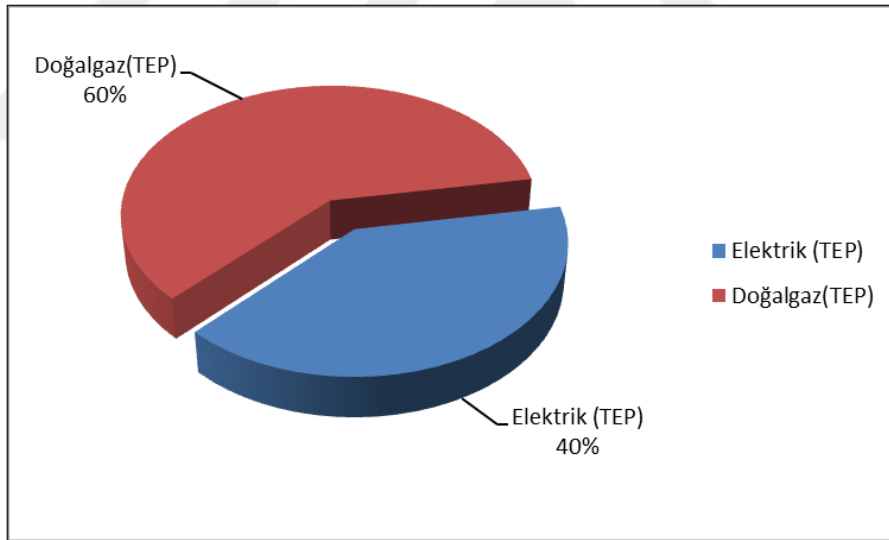


Şekil 3.5. Araç üretim süreci genel şema - Montaj bölümü [15]

3.2. Otomotiv Fabrikalarında Enerji Verimliliği Uygulama Alanları

Enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan otomotiv fabrikalarında enerji verimliliği çalışmaları çok büyük önem arz etmektedir. Günümüzde rekabetin çok fazla olduğu firmalarda katma değer sağlayacak maliyet azaltma çalışmaları firmaların sektördeki yerlerini korumaları açısından çok önemlidir.

Kompleks yapılarından dolayı otomotiv fabrikalarında birçok enerji kaynağı kullanılmaktadır. Bunlar; doğal gaz, elektrik, buhar ve basınçlı havadır. Buhar oluşumu için doğal gaz, basınçlı hava için ise elektrik enerjisi kullanıldığı için fabrikalarda çoğunlukla doğal gaz ve elektrik enerjisi tüketimi söz konusudur. Şekil 3.6'da tüketim verileri örnek bir otomotiv fabrikası için alınan yaklaşık değerler gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere otomotiv fabrikalarının birincil enerji tüketim miktarları değerlendirildiğinde, üretim kapasitelerine göre farklılık göstermekle birlikte, tüketimin büyük çoğunluğunu (%55 - %70) doğal gaz enerjisi, kalan kısmını ise (%30 - %45) elektrik enerjisi oluşturmaktadır.

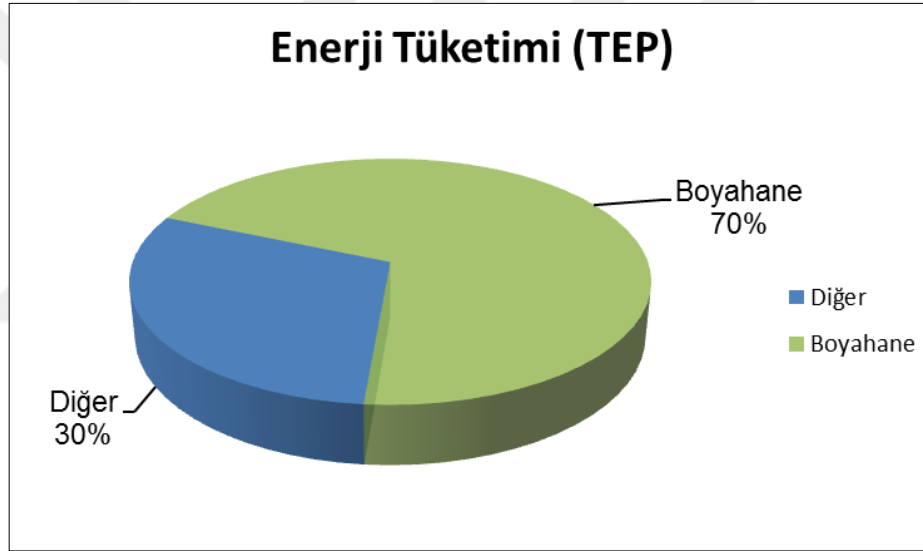


Şekil 3.6. Örnek bir otomotiv fabrikasının enerji dağılımı

Enerji tüketim değerleri incelendiğinde, otomotiv montaj fabrikalarında büyük bir paya sahip olan yakıtların kullanımının daha çok buhar üretiminde, alan ısıtmasında ve boya kurutma fırınlarında gerçekleştiği görülmektedir. Motor üretim tesisini de içeren otomotiv fabrikalarında ise yakıtlar, motor üretimi ve diğer parçaların imalatı için dökümhanelerde kullanılmaktadırlar. Basınçlı hava üretici olan kompresörlerde, HVAC (Isıtma, Soğutma, Havalandırma) sistemlerinde, aydınlatmada, robotlarda, pres hatlarındaki sac şekillendirmelerinde, boyama sistemlerinde ve malzeme

transferleri gibi üretimin her sürecindeki çeşitli uygulamalarında ise elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Ancak nihai enerji tüketiminin dağılımı her işletmenin çalışma şartlarına, üretim miktarına ve uygulama alanlarına göre değişmektedir.

Enerji tüketim analizleri sonucunda, otomotiv fabrikalarında enerjinin büyük bir kısmının boyahane bölümünde tüketildiği saptanmıştır. Almanya'da bu değerin %50 - %60 oranlarında olduğu, Türkiye'de ise daha büyük oranlarda olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.7'de Türkiye'deki otomotiv fabrikalarının boyahane bölümünde tüketilen ortalama enerji miktarının yaklaşık değerleri gösterilmektedir. Örnek bir otomotiv fabrikası adı altında gösterilen bu değerler herhangi bir işletmeye ait olmayıp Türkiye'deki tüm otomotiv fabrikalarının yaklaşık ortalama değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Örnek bir otomotiv fabrikasında bölümlerin enerji dağılımı

Otomotiv fabrikalarında enerji verimliliği açısından büyük bir potansiyele sahip olan boyahane bölümünde yapılacak olan iyileştirme çalışmaları ile işletmelerin tüketim giderlerinde büyük bir tasarruf sağlanması beklenmektedir. Ayrıca, araç montaj tesislerinde sadece boyahane ile sınırlı kalmayıp gereksiz enerjinin tüketildiği tüm alanlarda, işletmenin üretim miktarını ve performansını düşürmeden tasarruf çalışması yapılabilecek birçok iyileştirme fırsatı bulunmaktadır.

Otomotiv fabrikalarında yapılabilecek enerji verimliliği çalışmalarının belirlenebilmesi için örnek bir otomotiv fabrikası incelenmiş, yüksek enerji tüketimine sahip sistemler öncelikli olarak ele alınmıştır. Bu sistemler, ayrı başlıklar altında toplanarak enerji verimliliği çalışmaları ve alınabilecek tasarruf önlemleri açıklanmıştır.

3.2.1. Basınçlı hava

Otomotiv sektöründe enerji tüketiminde büyük paya sahip olan basınçlı hava üretici olan kompresörler, girişlerindeki gücün sadece %10'luk kısmını işe aktarabildiklerinden dolayı enerji verimliliği yönünden verimsiz ve bir o kadar da pahalı sistemlerdir. Bu sebeplerden dolayı, aynı işi sağlayabilecek elektrikli ve buharlı türdeki alternatifleri daha çok tercih edilmektedir.

Hava kaçakları, verimsiz motor kullanımı, kompresör hava basıncının sistem ihtiyacına göre yüksek olması, kompresör odalarının sıcak ve emiş havasının yeterince soğuk olmaması gibi etkenler basınçlı hava sistemlerinde verimliliği etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Bu tür enerji sarfiyatlarının önlemesi için; hava kaçaklarının belirli sürelerde ultrasonik cihazlarla ölçülerek kontrolünün yapılması, sistemin hava basıncının ihtiyaçları belirlenerek kompresör basıncının düşürülmesi, kompresörlerde verim sınıfı yüksek motorların tercih edilmesi, kompresör odalarının kuzey cephelere konumlandırılmasıyla veya emiş havasının soğutulmasıyla verim artışının sağlanması gibi iyileştirme çalışmaları yapılabilmektedir.

Kompresörlerin çalışma prensiplerinden dolayı emilen havanın sıkıştırılmasıyla giriş gücünün yaklaşık %80 - %90'ı civarında atık ısı oluşmaktadır. Elde edilen bu atık ısı ekonomizer yardımıyla eşanjörlerden geçirilerek suyun veya başka bir mahal alanın ısıtılması için kullanılabilir.

Otomotiv sektöründe basınçlı havanın kullanım alanları incelendiğinde; güvenli ve temiz bir enerji olduğundan dolayı valflerde, silindirlerde, havalı motor ve tabancalarda, boya robotları ve spreylere gibi pek çok alanda kullanılabildiği görülmektedir.

Otomotiv fabrikalarındaki basınçlı hava sistemlerinde hava kaçaklarının düzenli kontrolü ve kompresör yük durumunun sistem ihtiyacına göre ayarlanması ile yatırım bedeli olmadan büyük bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

3.2.2. Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemleri (HVAC)

HVAC üniteleri ortam havasının istenilen sıcaklıkta ve nem değerlerinde tutulmasını sağlayan sistemlerdir. Isıtma, soğutma ve havalandırma işlemi fancoiller, konveksiyonel ve radyant ısıtıcılar, klimalar, fanlar, chillerler vb. cihazlar tarafından yapılmaktadır. Bu tür cihazlar ortam iklimlendirmesi için sürekli olarak

kullanıldıklarından dolayı enerji tüketimleri oldukça yüksektir. Dolayısıyla bu tür cihazlarda enerji tasarrufu çalışmaları büyük önem arz etmektedir.

Otomotiv fabrikalarında birçok alanda kullanılan HVAC sistemleri daha çok boyahane bölümünde kullanılmaktadır. Boya odalarında ve kabinlerinde kaliteli bir boyama işleminin gerçekleşebilmesi için ortam havasının nem ve sıcaklık değerlerinin uygun şekilde iklimlendirilmesi gerekmektedir. Kabinlerde iklimlendirme görevi gören HVAC üniteleri, dışarıdan alınan temiz havanın fanlar yardımıyla sirküle edilmesini ve ortamdaki küçük parçacıkların boya kabinlerinden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Fanlar yardımı ile içeri gönderilen taze hava filtreledikten sonra ihtiyaca göre kontrol üniteleri sayesinde ön ısıtma veya soğutmaya tabi tutulmaktadır. Kabindeki nemlendirme işlemi ise suyu atomize eden su püskürtücüler tarafından sağlanmaktadır.

Otomotiv fabrikalarında özellikle boyahane için kalite ve üretim açısından büyük görev üstelenen HVAC sistemlerinde yapılan iyileştirme çalışmaları büyük oranda tasarruf sağlamaktadır. Enerji verimliliği sağlayabilecek iyileştirme çalışmaları aşağıda belirtilmiştir.

Basınç farkı ile hava akışını kontrol eden, sıcak ve soğuk havanın dengeli şekilde dağılımını sağlayan fanların yüksek verimli seçilmesi enerji tasarrufunda büyük rol oynamaktadır. Ayrıca ortamdaki havanın anlık kontrolü ile fan motor devirlerinin frekans kontrollü sürücülerle yönetilmesi büyük ölçüde verimlilik sağlayan çalışmalardır. Kabinlerde nemlendirme için kullanılan su püskürtücülerinin suyu en iyi şekilde atomize edebilecek biçimde seçilmesi, suyu basan pompaların motor devirlerini düşürebilmektedir. Bu sayede pompanın daha verimli çalışması sağlanmaktadır.

Soğutma sistemleri, kabinlere giren dış havanın sıcaklığının düşürülmesinde kullanılmaktadır. Giren havanın belirli değerlerin üstünde olması durumunda araçların boya kalitesi etkileneceğinden dolayı havanın soğutulması gerekmektedir. Bu soğutma işlemi soğuk su üretici olan Chillerler ve soğutucular tarafından gerçekleştirilmektedir. Soğutma sistemlerinde enerji verimliliği için önemli bir gösterge olan COP (Coefficient of Performance) değeri soğutma cihazlarının seçiminde büyük bir etkiye sahiptir. Soğutulacak ortama uygun, COP değeri yüksek cihazların kullanımı ile enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Ayrıca soğutma cihazlarında kullanılan kompresörlerin tipi de enerji verimliliğine etki etmektedir.

Soğutulacak alana uygun türde hermetik, vidalı ve santrifüj tip kompresörler seçmek verimliliği arttırmak için olumlu çalışmalardır.

Chiller ünitelerinde yapılabilecek enerji verimliliği çalışmaları arasında; soğutma kapasitelerinin uygun seçilmesi, kompresör, yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı sistemlerin bakımlarının tam ve zamanında yapılması, soğutucu akışkan hızının artırılması gösterilebilmektedir. Chiller ünitelerindeki yoğunlaştırıcı ve buharlaştırıcı sistemlerin ısı transfer yüzey alanlarının temiz tutulması, soğutucu akışkan sızıntılarının en aza indirgenmesi, chiller cihazlarının uygun kapasitelerde çalıştırılması ve chiller odalarının kuzey cephelere kurulması da soğutma sistemlerinde verimi olumlu etkilemektedir. Ayrıca, chillerlerde kullanılan kompresörlerin değişken yüklerde çalışması durumunda frekans kontrollü sürücüler ile hız ayarı yapılabilmekte ve verim artırılabilir.

3.2.3. Fırınlr

Fırınlr, araç üzerine uygulanan yaş boyanın kalitesini ve işlevini arttırmak amacıyla boyanın kurutulmasını sağlayan ünitelerdir. Araçlar üzerindeki boyanın içerisindeki suyun ve solventin iyice buharlaşabilmesi için yüksek ısılara ihtiyaç olduğundan dolayı fırınlarda doğal gaz ile çalışan brülörler bulunmaktadır.

Fırınlarda enerji verimliliği çalışmaları kapsamında yapılabilecek en verimli çalışmaların başında baca gazı atık ısının geri kazanımı gelmektedir. Baca gazındaki atık ısının değerlendirilerek reküperatör yardımıyla fırın yakma havasının ön ısıtılmasıyla doğal gaz tüketiminin düşürülmesi veya aynı şekilde baca gazı atık ısının ekonomizer ile sıcak su kazanlarına beslenmesiyle yakıt tüketiminin azaltılması enerji verimliliği sağlayacak iyileştirmelerdir.

Fırınlarda baca gazı analizlerinin düzenli olarak yapılması da enerji verimliliği çalışmaları arasındadır. Baca gazındaki karbon-oksijen oranına göre brülörün hava - yakıt oranı uygun seviyelere ayarlanarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

3.2.4. Pompalar

Pompalar, içine çektiği akışkana kinetik ya da potansiyel enerji kazandırarak bir yerden başka bir yere göndermeye yarayan makinelerdir. İşletmelerde enerji tüketiminde büyük paya sahip olan pompalarda enerji verimliliği çalışmaları işletmeler için çok önemli iyileştirmelerdendir.

Otomotiv fabrikalarında birçok uygulamada kullanılan pompalar genellikle; kompresör soğutma suyunun soğutma kulesinden transferi, boya kabinlerinde nemlendirmeyi sağlayan püskürtücülere su gönderilmesi, HVAC sistemlerinde alan ısıtması veya soğutması için gereken suyun sirkülasyonu, şebeke suyunun proseslere ve kullanım alanlarına gönderilmesi, buhar kazanlarına besleme suyunun sağlanması, kaynak robotlarına veya makinelerine soğutma suyu transferi gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar.

Pompaların verim analizlerinin yapılmasıyla verimsiz pompaların daha verimli olan, yeni nesil pompalar ile değiştirilmesi enerji verimliliği açısından faydalı çalışmalardır. Ayrıca, sistemin ve makinelerin soğutma suyu ihtiyacının belirlenmesiyle pompaların debi miktarları frekans kontrollü sürücülerle azaltılabilmektedir. Bu sayede de işletmelerde iyi bir enerji verimliliği çalışması gerçekleştirilmektedir.

3.2.5. Su ve buhar kazanları

Kazanlar işletmelerde sıcak su ve buhar ihtiyacını karşılamak için kullanılan cihazlardır. Enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olan kazanlarda enerji verimini etkileyen faktörler arasında; su buharı sebebiyle baca gazında meydana gelen ısı kaybı, uygun olmayan hava - yakıt oranından dolayı oluşan eksik veya fazla yanma, baca gazı sıcaklığı, yakıt türü, brülör verimi, kazan yüzeyindeki ısı kayıpları gösterilebilmektedir.

Otomotiv fabrikalarında sıcak su ve buhar; HVAC ünitelerinde, kapalı ve mahal alanların ısıtılmasında ve bazı boya proseslerinde kullanılmaktadır. Buhar; fosfat tankı, ön yağ alma tankı, metal tozu ayırma sistemleri gibi boyama proseslerinde ve boya kabinlerinde sıklıkla kullanılan HVAC sistemlerinde kullanılmaktadır. Sıcak su ise fancoillerde kullanılarak; ofislerin, sosyal tesislerin, idari binaların ve tüm mahal alanların ısıtılmasını sağlamaktadır.

Kazanlarda baca gazı analizlerinin belirli aralıklarla düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Bu sayede baca gazındaki karbon-oksijen oranının ölçülerek brülörün yakıt-hava oranının ayarlanmasıyla ciddi bir enerji verimliliği çalışması yapılabilmektedir. Ayrıca, kazanların egzoz gazı sıcaklıklarına göre ekonomizer kullanılıp kullanılmayacağına karar verilebilmektedir. 180°C ve üzerindeki sıcaklıklarda ekonomizer kullanımı ile kazan besleme suyunun ön ısıtmadan geçirilmesiyle iyi bir enerji verimliliği çalışması yapılabilmektedir.

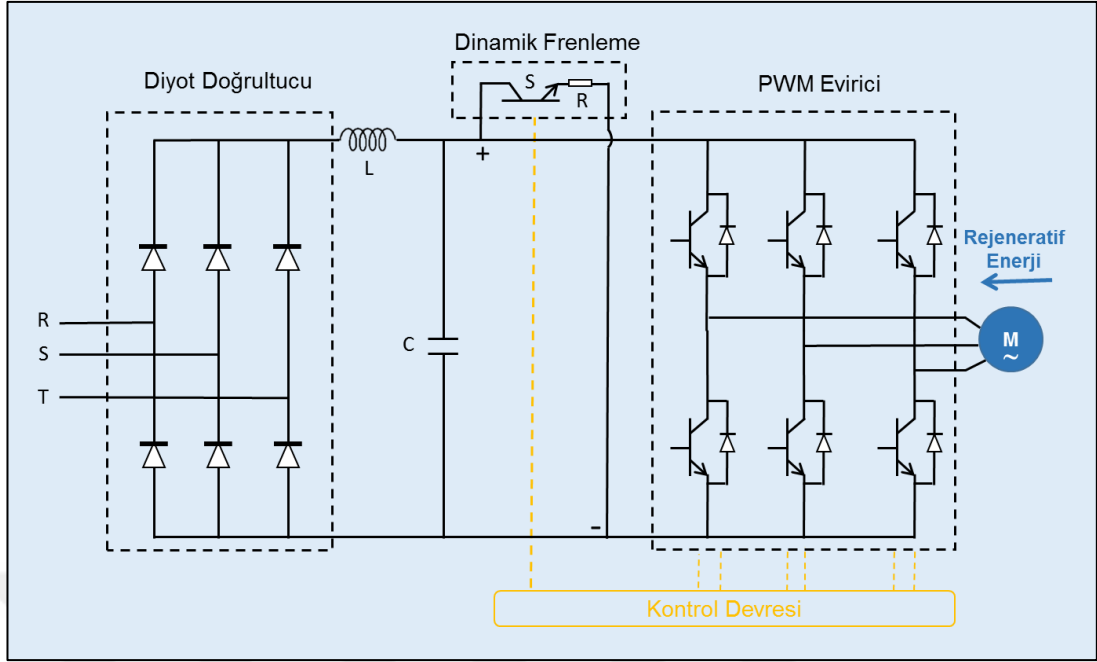
3.2.6. Elektrik motor sürücüleri ve dinamik frenleme üniteleri

Elektrik motorları, sanayide otomasyon veya güç uygulamaları gibi birçok alanda kullanılan önemli makinelerdir. Diğer motorlara göre bakımı daha kolay ve daha sağlam olan asenkron motorlar bu özellikleriyle en çok tercih edilen elektrik motorlarıdır.

Asenkron motorlar otomotiv fabrikalarında birçok prosesin temelinde yer almaktadır. HVAC ünitelerindeki fanlar ve pompalarda, asansörlerde, döner ve lineer ünitelerde ve daha birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bu motorların hız, pozisyon veya moment kontrolü ise sürücüler tarafından yapılmaktadır. Sürücüler, motor kontrolünün verimini ve üretkenliğini artırırken aynı zamanda enerji verimliliği de sağlamaktadır. Motor sürücü sistemlerinin gün geçtikçe gelişmesiyle birlikte sürücü sistemlerinin kullanımı daha fazla yaygınlaşmakta ve bu durum enerji verimliliği için büyük önem arz etmektedir.

Sürücü sistemleri, AC (Alternating Current) ve DC (Direct Current) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte DC sürücüler yerlerini büyük oranda AC sürücülere bırakmıştır. Gün geçtikçe iyileştirilen AC sürücü sistemleri genel olarak üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar; doğrultucu, doğru akım barası ve eviricidir. Üç fazlı belli frekanstaki AC gerilim, doğrultucular yardımı ile DC gerilime dönüştürüldükten sonra bu DC gerilim kondansatör ve endüktanslardan oluşan DC barada filtre edilir. Daha sonra PWM (Pulse Width Modulation) vb. yöntemler kullanılarak eviriciler (invertör) yardımı ile motor fazlarına farklı gerilim ve frekanslar uygulanarak motor hızı kontrol edilir.

Elektrik motorlarının hızlı bir şekilde durması veya istenilen hızlara düşürülebilmesi için içerisinde uygun değerlerde dirençlerin bulunduğu motor frenleme üniteleri kullanılmaktadır. Enerjisi kesilen motor kendi ataleti ile dönmeye çalıştığında stator ve rotor arasındaki döner alan farklılığından dolayı motor jeneratör gibi çalışır ve ters yönde şebekeyi besler. Ters yöndeki AC gerilim, eviricideki yarı iletken konvertörlerin yardımı ile DC gerilime dönüştürülerek fren ünitelerinde bulunan uygun güçteki dirençler üzerinden ısı enerjisi olarak atılır ve bu sayede DC bara üzerinde oluşabilecek aşırı yüklenme önlenmiş olur. Şekil 3.8'de örnek bir AC sürücü iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek bir AC sürücü yapısı

Otomotiv fabrikalarında asenkron motorlar ile ilgili yapılabilecek en iyi enerji verimliliği çalışmalarından bir tanesi motorların sürücülerle kontrol edilmesidir. Sürücü kontrolü sayesinde uygulama alanlarına göre değişmekle birlikte %50'ye varan enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Özellikle değişken yüklerin bulunduğu alanlar, boyahane HVAC üniteleri, gövde taşıyıcı sistemler, kompresörler, pompalar, fanlar gibi birçok proseste sürücü iyileştirmeleri sayesinde yüksek oranlarda tasarruf sağlanabilmektedir.

Boyahane kabin havalandırmalarında kabin içerisine basılan havanın yönlendirilmesini sağlayan büyük güçteki asenkron motorların sürücüler yardımı ile kontrol edilmesi de ciddi bir enerji verimliliği çalışmasıdır. Aynı şekilde pres hatlarındaki büyük güçlü asenkron motorlarda, gövde bölümündeki kıvrıma makineleri, asansörler, robot soğutma suyu pompalarında, konveyörlerde, montaj yer ve havai konveyörlerinde ve birçok alanda asenkron motorların AC sürücüler ile kontrol edilmesi işletmeye yine büyük oranda enerji tasarrufu sağlayabilmektedir.

AC sürücülerde yapılabilecek bir diğer enerji tasarrufu çalışması ise rejeneratif frenleme ünitelerinin kullanılmasıdır. Rejeneratif enerji, yükteki bir motorda rotor döner alanının stator döner alanından daha hızlı olduğu durumlarda motor tarafından üretilen ters yönlü fazla enerjidir. Bu fazla enerji, rejeneratif fonksiyonlar sayesinde şebekeye elektrik enerjisi olarak geri beslenebilmektedir.

4. ÖNERİLEN ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI

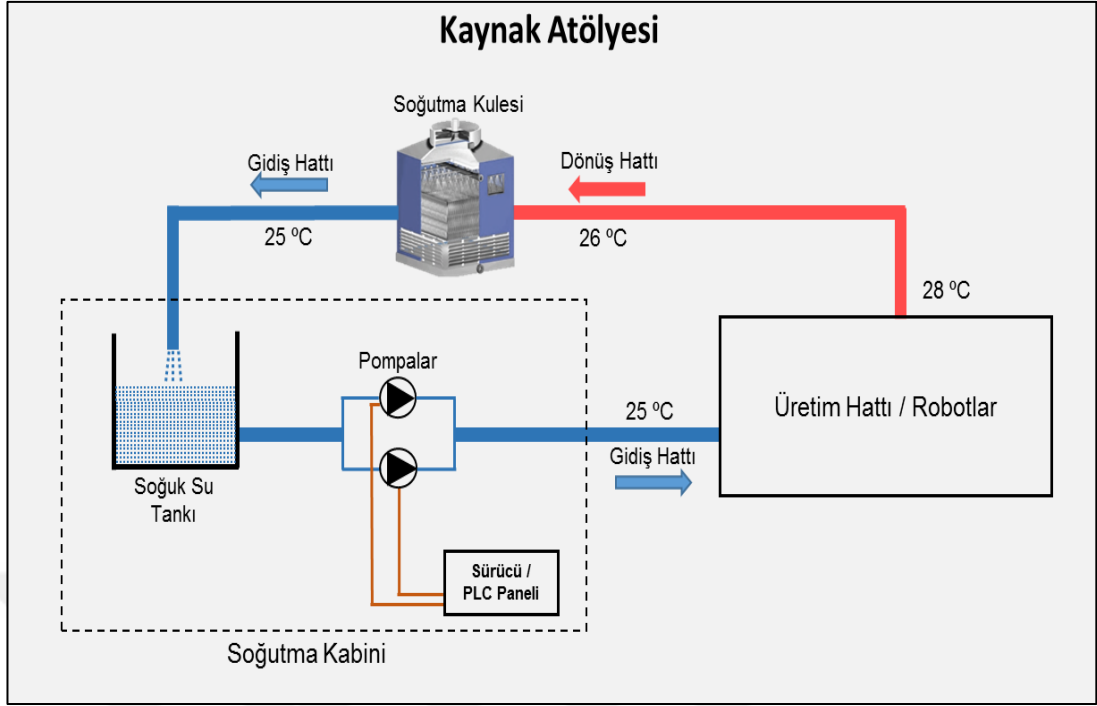
Otomotiv fabrikalarındaki enerji verimliliği çalışmaları, artan ürün maliyetleri ve piyasa rekabetiyle gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Maliyetleri azaltmak için ise işletmelerdeki enerji tüketim giderlerinin düşürülerek enerji tasarrufu çalışmalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu bölümde; Türkiye’de bulunan bir otomotiv montaj fabrikasında, yüksek enerji tüketimine sebep olan sistemlerden bazıları incelenerek enerji tüketim değerleri analiz edilmiş ve yapılabilecek iyileştirme çalışmaları ile yatırımın kendini geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda amortisman süresi düşük olan verimlilik çalışmaları devreye alınarak işletmeye faydaları belirtilmiştir.

4.1. Debimetre ile Pompa Kontrolü

Enerji tüketiminde yüksek bir paya sahip olan pompaların otomotiv fabrikalarındaki önemi “3.2.4. Pompalar” bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışma yapılan otomotiv fabrikasında gerçekleştirilen enerji ölçüm analizleri sonucunda; kaynak atölyesinde bulunan 250’den fazla kaynak robotunun kaynak prosesleri esnasında robot uçlarının araca yapışmasını önlemek için kullanılan soğutma suyu pompalarının akış kontrolünün olmadığı saptanmıştır.

Robotların ve ekipmanların ilk kurulduğu dönemdeki teknolojik şartlar ve ihtiyaçlar gereğince kaynak makinelerinin, kaynak trafolarının ve robot çenelerinin soğutulması soğutma suyu ile yapılmaktaydı. Ancak teknolojinin gelişmesi ile birlikte kaynak makineleri ve trafo ünitelerinin zaman içerisinde yenilenmeleri ile su tipi soğutma yerine hava tipi soğutma tercih edilmiştir. Bu yenileme çalışmaları sonucunda, kaynak atölyesindeki soğutma suyunun sadece robotlar için kullanıldığı tespit edilmiş ve pompaların verimsiz bir şekilde tam yüke yakın değerlerde çalıştığı belirlenmiştir.

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi soğuk su tankındaki su, pompalar yardımı ile hatlardaki robotlara kaynak esnasında oluşan ısıyı düşürmek için gönderilmektedir. Kaynak sonrasında ısınan su ise tekrar soğutma kulesine gönderilip soğutulduktan sonra soğuk su tankına aktarılmaktadır.



Şekil 4.1. Soğutma suyu prosesi

Tesiste yapılan incelemeler sonucunda pompa motorlarına ait etiket bilgileri Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, soğutma suyu için Gamak marka 2 adet pompa kullanılmaktadır. Bunlardan biri ana pompa, diğeri ise hem ana pompanın yedeği olarak hem de gelecekte olası bir kapasite artışı durumu için kullanılmaktadır.

Tablo 4.1. Pompa ve motor bilgileri

Pompalar	Motor Gücü (kW)	Frekans (Hz)	Akım (A)	Gerilim (V)	cosφ	Verim (η)	Devir (dev/dk)	Debi (m ³ /s)
Pompa-1	75	50	140	380	0,87	94,0	1475	350
Pompa-2	90	50	168	380	0,87	94,3	1475	370

Pompaların çıkışında herhangi bir ölçüm cihazı bulunmadığından dolayı hatlara beslenen su miktarı ölçülememektedir. Bu nedenle soğutma suyu pompasına konulacak debimetre sayesinde, robotların kaynak prosesi esnasında robot uçlarının araç parçasına yapışmasını önlemek ve olası bir kalite sorununun önüne geçmek için kullanılan soğutma suyu ihtiyacı belirlenebilecektir.

Robotların kaynak prosesi esnasında oluşan ısıyı soğutmak için ihtiyaç duydukları su miktarı robotlarda bulunan su debimetreleri yardımıyla ölçülebilmektedir. Bu debimetrelerin robot bazlı ihtiyaca göre minimum değerlere ayarlanmasıyla su pompasındaki elektrik enerjisi tüketiminde büyük oranda enerji tasarrufu sağlanacağı öngörülmüştür.

Sistem için uygun görülen Krohne marka debimetrenin montajı yapılarak debimetrenin aktif olduğu ve aktif olmadığı durumlar için enerji analizörü yardımıyla gerekli ölçümler yapılmış ve matematiksel olarak bu ölçümler doğrulanmıştır.

Tablo 4.2. Debimetrenin aktif olmadığı durum için ölçüm sonuçları

Pompa	Akım (A)	Gerilim (V)	cosφ	Frekans (Hz)
Pompa-1	86,8	397,4	0,76	50

Pompa-1’de enerji analizörü (FLUKE marka) ile debimetrenin aktif olmadığı durum için motor girişinden alınan gerilim, akım, frekans, ve güç katsayısı değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 4.2’de belirtilmiştir. Bu değerlere göre pompanın tükettiği aktif güç;

$$P_o = \sqrt{3} \times E \times I \times \cos\phi \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)’deki formül ile hesaplanmaktadır. Tablo 4.2’deki değerler formülde yerine yazıldığında;

$$P_o = \sqrt{3} \times 397,4 \times 86,8 \times 0,76 \quad (4.2)$$

şebekeden çekilen aktif güç Denklem (4.2)'den 45,39 kW olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, enerji analizöründeki güç ölçüm fonksiyonu yardımıyla doğrulanmış ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Debimetrenin aktif olmadığı durum için ölçüm sonuçları

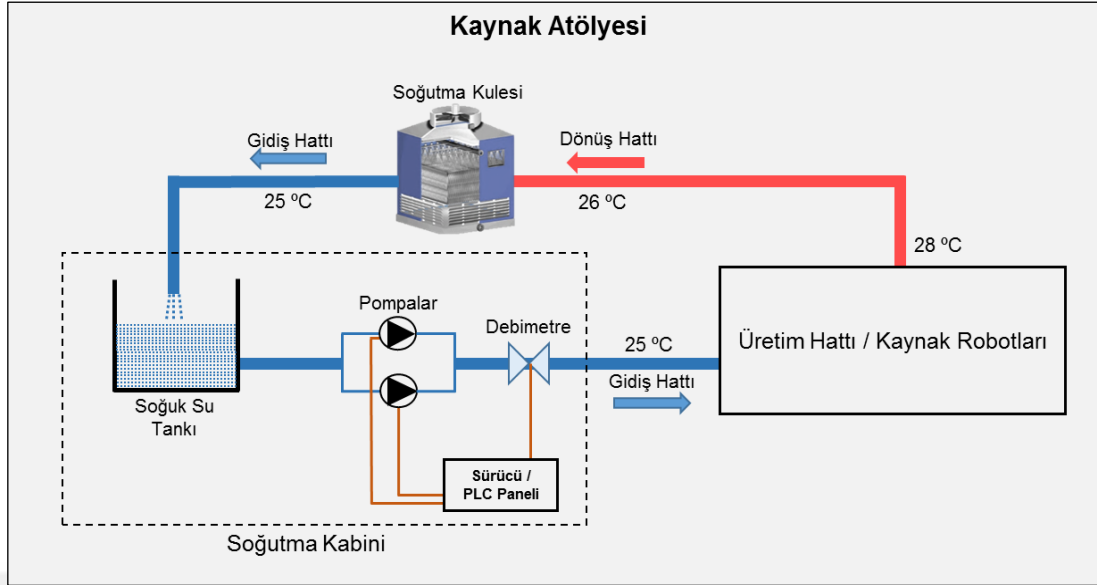
Debimetrenin aktif olmadığı durum için motor girişinden hesaplanan aktif güce göre pompanın yüklenme oranı Denklem (4.3)'teki formül ile;

$$\text{Yük} = (\text{Giriş Gücü} \times \text{Motor Verimi} / \text{Çıkış Gücü}) \times (\%100) \quad (4.3)$$

$$\text{Yük} = (45,39 \times 0,94 / 75) \times (\%100) \quad (4.4)$$

Denklem (4.4)'de %56,9 oranında yük altında çalıştığı hesaplanmıştır.

Şekil 4.3'te ise önerilen ultrasonik debimetre cihazı ile kontrol edilen pompaların ve soğutma sisteminin akış şeması gösterilmiştir. Sisteme ilave edilen debimetre cihazı direkt olarak pompayı süren PLC ile haberleşmekte, motor ise PLC tarafından sürücü yardımıyla kontrol edilmektedir. Bu sayede, sistemde ihtiyaç duyulan su miktarına göre pompa hızları belirlenen değerlere ulaştığında daha düşük devirlerde çalıştırılabilmektedir.



Şekil 4.3. Debimetre ile pompa kontrolü

Debimetre montajı yapıp robotlar minimum su miktarı tüketecek ve kalite problemi yaratmayacak şekilde birer birer ayarlandıktan sonra pompadan alınan ölçümler sonucunda tüketilen su miktarının $150,3 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ten $109,8 \text{ m}^3/\text{h}$ 'e düştüğü Şekil 4.4'ten görülmektedir.



Şekil 4.4. Debimetre kullanımı öncesi (a) ve sonrasında (b) su tüketim miktarları

Benzer şekilde, debimetre aktif durumdayken robotların su tüketim miktarları en düşük seviyelere ayarlandıktan sonra enerji analizörü ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Debimetrenin aktif olduğu durum için ölçüm sonuçları

Pompa	Akım (A)	Gerilim (V)	cosφ	Frekans (Hz)
Pompa-1	63,4	327,6	0,63	39,51

Tablo 4.3'te gösterilen değerlere göre pompanın tükettiği aktif güç yine Denklem (4.1) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$P_d = \sqrt{3} \times 327,6 \times 63,4 \times 0,63 \quad (4.5)$$

Tüketilen aktif güç Denklem (4.5)'ten 22,66 kW olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer, enerji analizöründeki güç ölçüm fonksiyonu yardımıyla Şekil 4.5'te doğrulanmıştır.

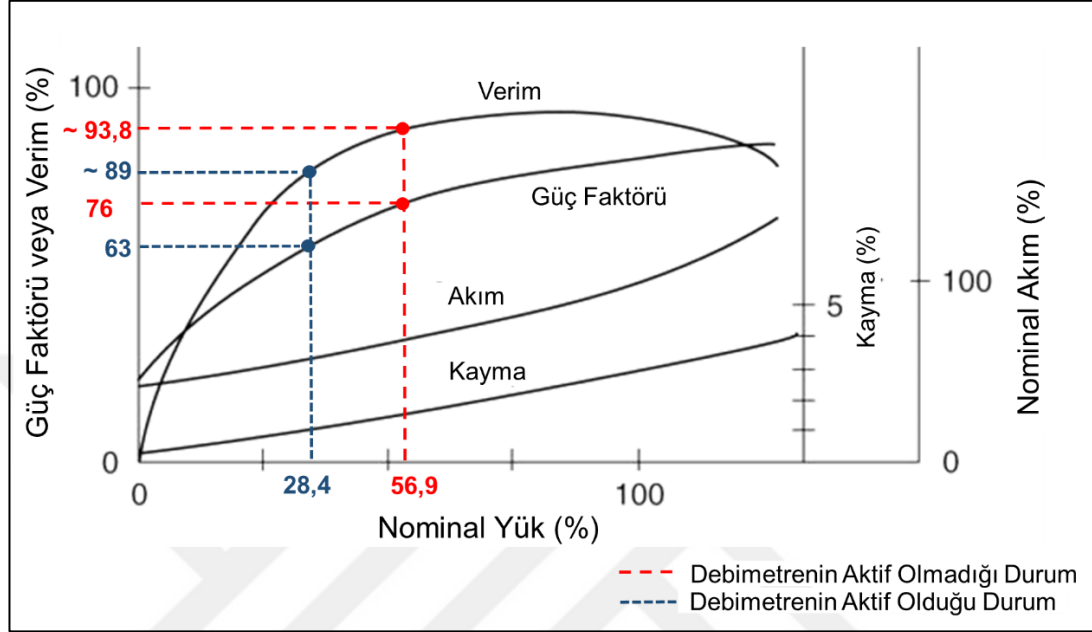


Şekil 4.5. Debimetrenin aktif olduğu durum için ölçüm sonuçları

Yapılan ölçümler sonucunda; debimetre devreye alınmadan önce pompa tarafından tüketilen aktif gücün saatte 45,39 kW olduğu, debimetrenin devreye alınıp robotların birer birer ayarlanması ile de aktif gücün saatte 22,66 kW'a kadar düştüğü görülmektedir. Motor besleme frekansının da 50 Hz'den 39,51 Hz'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Debimetrenin aktif olduğu durum için motor girişinden hesaplanan aktif güce göre pompanın yüklenme oranı ise Denklem (4.6)'dan %28,4 olarak hesaplanmıştır.

$$\text{Yük} = (22,66 \times 0,94 / 75) \times (\%100) \quad (4.6)$$



Şekil 4.6. Debimetrenin durumuna göre asenkron motorun yük-güç faktörü-verim ilişkisi [16]

Şekil 4.6'da pompa motorundaki yük - güç faktörü - verim ilişkisi sabit frekanslı (nominal frekans) bir çalışmaya göre belirtilmiştir. Bu çalışmadan görüleceği üzere motorun %70 - %80 yük altında çalışması durumunda maksimum verime ulaşacağı anlaşılmaktadır. Debimetrenin aktif olmadığı durumda motorun %56,9 oranında yük altında çalıştığı ve buna bağlı olarak %76 oranında güç faktörüne sahip olduğu, verimin ise yaklaşık olarak %93,8'e karşılık geldiği görülmektedir. Debimetrenin devreye alınmasıyla birlikte motorun %28,4 oranında yük altında çalıştığı ve buna bağlı olarak %63 oranında güç faktörüne sahip olduğu, verimin ise yaklaşık olarak %89'a karşılık geldiği görülmektedir. (Frekans değişiminin etkisi dahil edilmemiştir.) Sonuçta yük oranı düştükçe motor güç faktörünün de düştüğü görülmüştür.

Debimetrenin kullanılmasıyla birlikte elde edilecek enerji tasarrufu miktarı Denklem (4.7)'den;

$$W_t = 45,39 \text{ kWh} - 22,66 \text{ kWh} = 22,73 \text{ kWh} \quad (4.7)$$

olarak hesaplanmaktadır. Otomotiv fabrikasının yıllık çalışma saati ise ilgili yıl için 6000 saat olarak yönetim tarafından belirlenmiştir. Yıllık çalışma saati ve enerji birim

fiyatı da dikkate alındığında elde edilecek elektrik enerjisi tasarrufu miktarı Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4. Debimetre kullanımı sonrasında elde edilen enerji tasarrufu miktarı

Debi metre (m ³ /h)	Motor Gücü (kW)	Tüketilen Aktif Güç (kW)	Motor Yük Oranı (%)	Tasarruf Edilen Miktar (kWh)	Çalışma Süresi (saat/yıl)	Enerji Tasarruf Miktarı (kWh/yıl)	Elektrik Birim Fiyat (TL/kWh) (€/kWh)	Enerji Tasarrufu (TL/yıl) (€/yıl)	Yatırım (TL) (€)	Geri Ödeme Süresi (Ay)
Yok	75	45,39	56,9	22,73	6.000	136.380	0,40 TL (0,0606 €)	54.552 TL (8.265 €)	30.000 TL (4.545 €)	~ 7
Var	75	22,66	30,2							

* 1 € : 6,60 TL (30.05.2019)

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi, soğutma suyu pompalarında debimetre kullanımı sonrasında elde edilecek enerji tasarruf miktarı çok yüksektir. Buna göre, pompalarda debimetre kullanılması durumunda bu proje için yılda 54.552 TL (8.265 €) enerji tasarrufu sağlanması söz konusudur. Debimetrenin maliyetinin de hesaba katılmasıyla, yatırımın kendini geri ödeme süresi ise yaklaşık 7 ay olarak hesaplanmıştır.

İncelemeler sonrasında pompa motorunun yüklenme oranının çok düşük olduğu ve yük-verim eğrisinde verimsiz alanda çalıştığı saptanmıştır. Yük-verim eğrisinde motorların en verimli çalıştığı alan %75 yük oranıdır. Debimetre montajı sonrasında tüketilen güce göre 75 kW'lık motor yerine 30 kW'lık bir motorun kullanılmasıyla yatırımın kendini geri ödeme süresi Tablo 4.5'te görüldüğü gibi yaklaşık 8 ay olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.5. 30 kW'lık motor kullanılmasıyla yatırımın kendini geri ödeme süresi

Yeni Pompa Motoru Bilgileri						Debimetre Fiyatı (TL) (€)	Debimetre Fiyatı (TL) (€)	Enerji Tasarrufu (TL/yıl) (€/yıl)	Geri Ödeme Süresi (Ay)
Motor Gücü (kW)	Akım (A)	Gerilim (V)	cosφ	Verim (η)	Fiyat (TL) (€)				
30	55	380	0,85	92,6	6.460 TL (979 €)	30.000 TL (4.545 €)	36.460 TL (5.524 €)	54.552 TL (8.265 €)	~ 8

* 1 € : 6,60 TL (30.05.2019)

Yapılan hesaplamalar ve ölçümler sonucunda, otomotiv fabrikalarında kaynak robotları ve diğer ekipmanlar için kullanılan soğutma suyunun sirkülasyonunu

sağlayan pompalarda debimetre uygulaması sayesinde pompa motor hızlarının düşürülebileceği ve şebekeden çekilen aktif gücün azaltılabileceği görülmüştür. Bu sayede yüksek miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabileceği saptanmıştır.

4.2. Rejeneratif Matris Sürücü ile Asansör Kontrolü

Otomotiv fabrikalarında asansörler (dikey taşıyıcılar) genellikle araçların bir bölümden başka bir bölüme ya da stok alanlarına transferlerinde kullanılmaktadırlar. Asansörlerin hareketinde büyük öneme sahip olan asenkron motorlar ise sürücüler ile kontrol edilmekte ve çalıştırılmaktadırlar. Örnek bir otomotiv fabrikasına ait dikey yönlü asansör Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

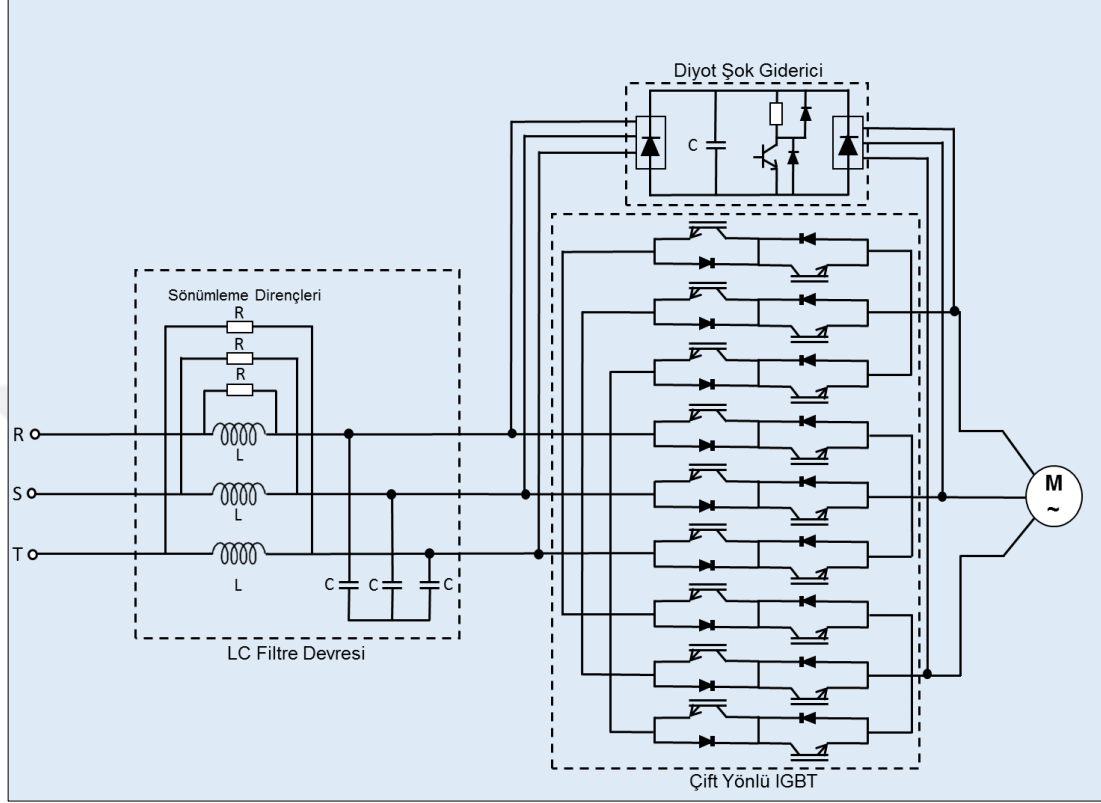


Şekil 4.7. Otomotiv fabrikalarında dikey taşıyıcı asansörler [17]

Sürücülerin elektrik motorları açısından önemi “3.2.6. Elektrik motor sürücüleri ve dinamik frenleme üniteleri” bölümünde detaylı olarak belirtilmiş, AC motor sürücülerinin yapıları ve rejeneratif frenleme üniteleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Önceki bölümden farklı olarak bu bölümde, yeni bir teknoloji olan matris sürücü yapısı incelenmiş ve fizibilite çalışması yapılmıştır.

Matris teknolojisini kullanan bir sürücü, geleneksel sürücülerden farklı olarak; üç fazlı bir AC giriş voltajını doğrudan üç fazlı bir AC çıkış voltajına dönüştürmek için bir matriste düzenlenen dokuz çift yönlü anahtarlı bir sistem kullanır. Matris teknolojisi, geleneksel AC sürücü eviricilerinde bulunan bir doğrultma devresine ve DC yumuşatma devresine olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

Matris sürücü iç yapısı Şekil 4.8’de gösterilmiştir. İçerisinde 9 adet çift yönlü IGBT (Insulated Gate, Bipolar, Transistor) barındıran matris sürücüler bu sayede ters yönde elektrik akışına imkan sağlamaktadır.

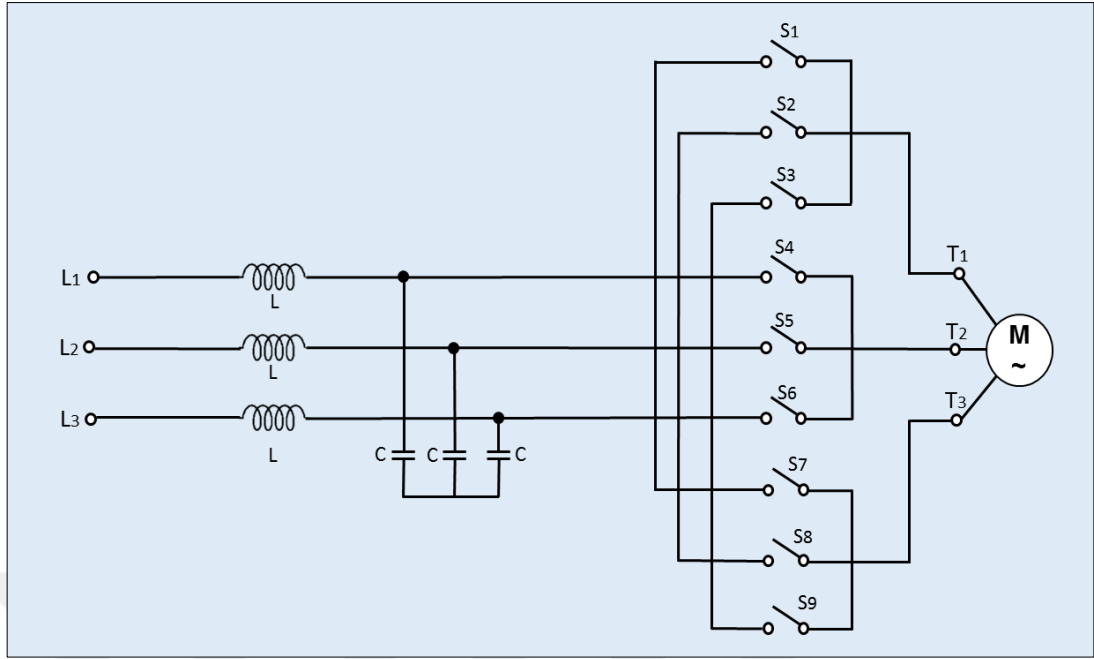


Şekil 4.8. Matris sürücü iç yapısı

Görüldüğü gibi matris sürücüler; LC filtre devresi, şok giderici ve çift yönlü 9 adet IGBT’den oluşmaktadır. Motorun rejeneratif çalışması durumunda çift yönlü IGBT’ler üzerinden ters yönde enerji akışı sağlanarak LC filtre sayesinde iyi bir sinüzoidal dalga formu elde edilmektedir.

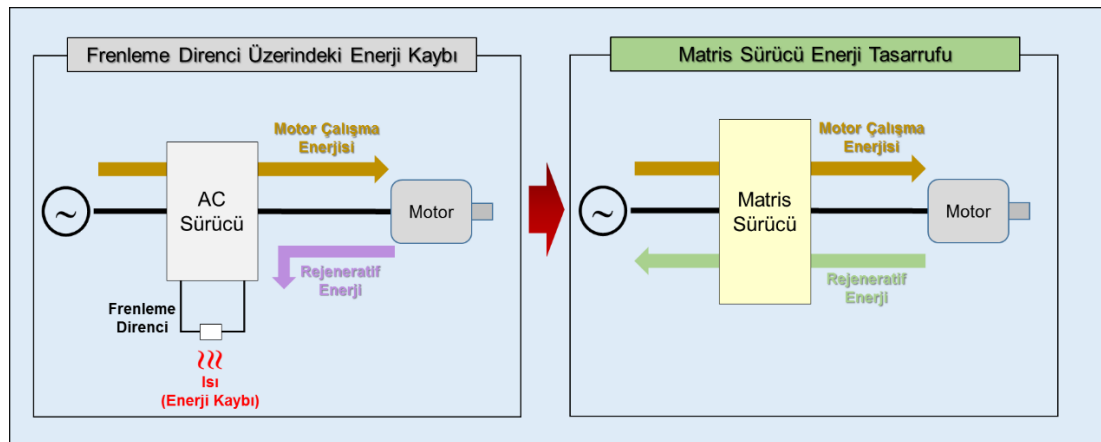
Matris sürücünün giriş gerilimleri ile anahtarlama elemanları arasındaki ilişki Denklem (4.8)’de belirtilmiş olup ve Şekil 4.9’da ise iç yapısının basitleştirilmiş hali gösterilmektedir.

$$\begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 \times S_1 + L_2 \times S_2 + L_3 \times S_3 \\ L_1 \times S_4 + L_2 \times S_5 + L_3 \times S_6 \\ L_1 \times S_7 + L_2 \times S_8 + L_3 \times S_9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} S_1 & S_4 & S_7 \\ S_2 & S_5 & S_8 \\ S_3 & S_6 & S_9 \end{pmatrix} \quad (4.8)$$



Şekil 4.9. Matris sürücü basitleştirilmiş iç yapısı

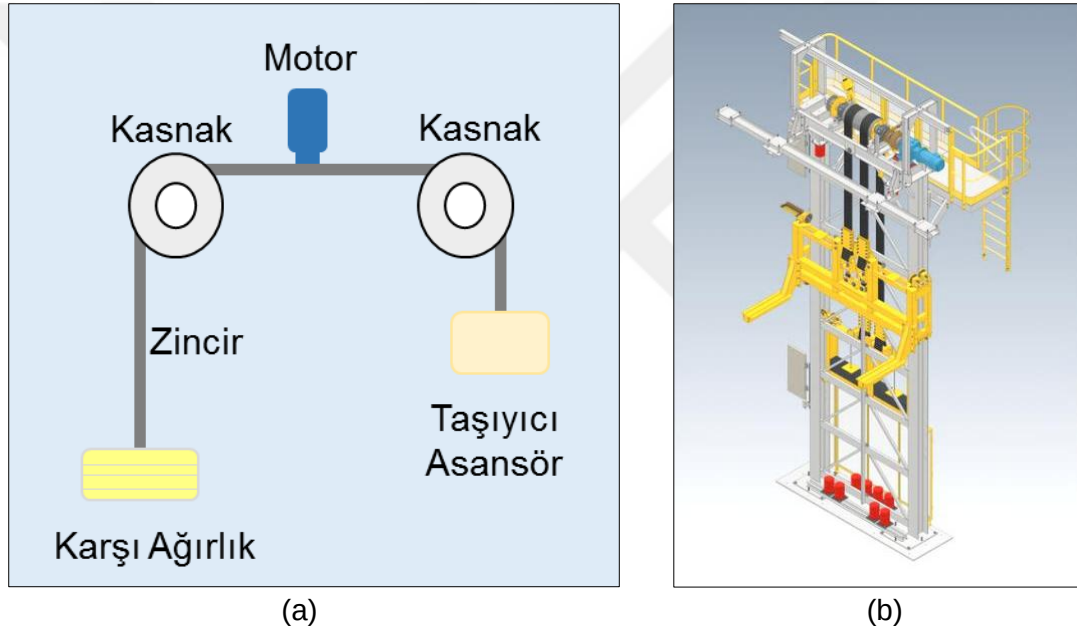
Matris sürücüler, çıkış voltajını ve giriş akımını kontrol etmek için darbe genişliği modülasyonunda (PWM) üç giriş fazını kullanmaktadır. Ayrıca rejeneratif motor kontrol işlemini de sağlamaktadır. Bu rejeneratif kontrol, motor yavaşladığında yani rotor döner alanın stator döner alanından küçük olduğu zamanlarda yapılmaktadır. Bu sayede matris sürücüler frenleme dirençleri üzerinde ısı olarak kaybedilen enerjiyi, güç dağıtım sistemine tekrar ters yönde dönüştürerek hat üzerindeki diğer ekipmanlara geri kazanılmasını sağlamaktadır. Şekil 4.10'da değişken frekanslı sürücü ve matris sürücü karşılaştırılması yapılmış olup frenleme direnci üzerinde harcanan enerji kaybı gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Değişken frekanslı sürücü ve matris sürücü karşılaştırması

Rejeneratif sürücü uygulama alanları daha çok motorun jeneratör olarak çalıştığı; iniş konveyörleri, asansörler, vinçler, kaldıraçlar gibi yükteyken motor frenlemesine ihtiyaç duyulan uygulamalardır. Bu bölümde otomotiv fabrikalarında araçların transferlerinde kullanılan dikey taşıyıcılar ele alınmış ve asansörlerde matris sürücü uygulaması için ön çalışma yapılmıştır.

İncelenen otomotiv fabrikasında her bölümde birden fazla araç taşıyıcı asansör bulunmaktadır. Bunlar genellikle bir tonluk yükü kaldırabilecek şekilde tasarlanmış olup 5,5 kW'lık motorlar tarafından sürülmektedir. Ayrıca her dikey asansörde yük ağırlığına eşit karşı ağırlık bulunmaktadır. Dikey asansör ile ilgili detaylar ve genel çizim Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Dikey asansör çizimleri a) İki boyutlu çizim, b) Üç boyutlu çizim [18]

Ele alınan tesiste; araç başına üretim süresinin 120 saniye, asansörün toplam çalışma periyodunun ise 39 saniye olduğu ölçülmüştür. 10 saniyede yüksüz bir şekilde yukarı çıkan asansör, 15 saniye bekledikten sonra araç transferini gerçekleştirmekte ve yüklü bir şekilde 14 saniyede aşağı inmektedir. Aracın aşağı inme sürecinde motor tarafından frenleme yapılarak ters yönde enerji akışı sağlanmaktadır. Üretilen bu enerji sürücü frenleme dirençleri üzerinden ısı olarak atılmaktadır.

İşletmedeki mevcut sistemde motor sürücüsü olarak güç faktörü düşük, değişken frekanslı eski bir sürücü kullanılmaktadır. Asansör sisteminde kullanılan motor bilgileri, sürücü bilgileri ve asansör çalışma süreleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Motor-değişken frekanslı sürücü-asansör çalışma bilgileri

MOTOR				SÜRÜCÜ (DEĞİŞKEN FREKANSLI)			ASANSÖR		
Güç (kW)	Akım (A)	Gerilim (V)	Verim (%)	Güç (kW)	Verim (%)	Frenleme Direnci (kW)	Çalışma Periyodu (saniye)	Motor Çalışma Süresi (saniye)	Frenleme Süresi (saniye)
5,5	11,3	380	85	7,5	94	1,5	120	10	14

Tablo 4.6'da gösterilen verilere göre; geleneksel sürücü kullanımı sonrasında asansör motoru tarafından şebekeden çekilen güç Denklem (4.9)'da gösterilmiştir.

$$P_{gş} = 5,5 / (0,85 \times 0,94) = 6,88 \text{ kW} \quad (4.9)$$

Yıllık çalışma süresi 6.000 saat olan işletmede ilgili asansör motorunun yıllık çalışma süresi (t_m) Denklem (4.10)'da, yıllık enerji tüketimi (W_g) Denklem (4.11)'de ve yıllık enerji maliyeti (W_{gm}) ise Denklem (4.12)'de hesaplanmıştır.

$$t_m = (10 / 3.600) / (120 / 3.600) \times 6.000 = 500 \text{ saat/yıl} \quad (4.10)$$

$$W_g = 6,88 \times 500 = 3.440 \text{ kWh/yıl} \quad (4.11)$$

$$W_{gm} = (3.440 \text{ kWh/yıl}) \times (0,4 \text{ TL/kWh}) = 1.376 \text{ TL/yıl} \quad (4.12)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda dikey yönlü çalışan asansörün yıllık enerji tüketiminin 1.376 TL olduğu görülmüştür.

Ayrıca frenleme esnasında harcanan enerjiyi bulmak için frenleme süresi Denklem (4.13)'te hesaplanmıştır.

$$t_f = (14 / 3.600) / (120 / 3.600) \times 6.000 = 700 \text{ saat/yıl} \quad (4.13)$$

Frenleme direnci üzerinde harcanan enerji ve maliyeti ise sırasıyla Denklem (4.14)'te ve Denklem (4.15)'te hesaplanmıştır.

$$W_f = 1,5 \text{ kW} \times 700 = 1.050 \text{ kWh/yıl} \quad (4.14)$$

$$W_{fm} = (1.050 \text{ kWh/yıl}) \times (0,4 \text{ TL/kWh}) = 420 \text{ TL/yıl} \quad (4.15)$$

Tablo 4.7’de belirtilen matris sürücülerin kullanılmasıyla birlikte frenleme süresince kaybedilen ısı enerjisi şebekeye tekrar kazandırılacağı için toplam enerji tüketim maliyeti de azalacaktır. Rejeneratif enerji kullanımının yanı sıra, yüksek güç faktörü sayesinde ayrıca bir enerji tasarrufu daha sağlanmaktadır.

Tablo 4.7. Motor-matris sürücü-asansör çalışma bilgileri

MOTOR				SÜRÜCÜ (MATRİS SÜRÜCÜ)			ASANSÖR		
Güç (kW)	Akım (A)	Gerilim (V)	Verim (%)	Güç (kW)	Verim (%)	Frenleme Direnci (kW)	Çalışma Periyodu (saniye)	Motor Çalışma Süresi (saniye)	Frenleme Süresi (saniye)
5,5	11,3	380	85	7,5	98	-	120	10	14

Güç faktörü 1’e yaklaşan Yaskawa marka matris sürücünün kullanılmasıyla şebekeden çekilecek güç Denklem (4.16) yardımıyla;

$$P_{mş} = 5,5 / (0,85 \times 0,98) = 6,38 \text{ kW} \quad (4.16)$$

olarak bulunmaktadır. Denklem (4.17)’de matris sürücü kullanımı sonrasında tüketilen enerji, Denklem (4.18)’de ise enerji maliyeti hesaplanmıştır. Ayrıca, matris sürücünün veriminin de dikkate alınmasıyla frenleme esnasında şebekeye beslenen enerji kazancı ($W_{fşk}$) Denklem (4.19)’da gösterilmiştir.

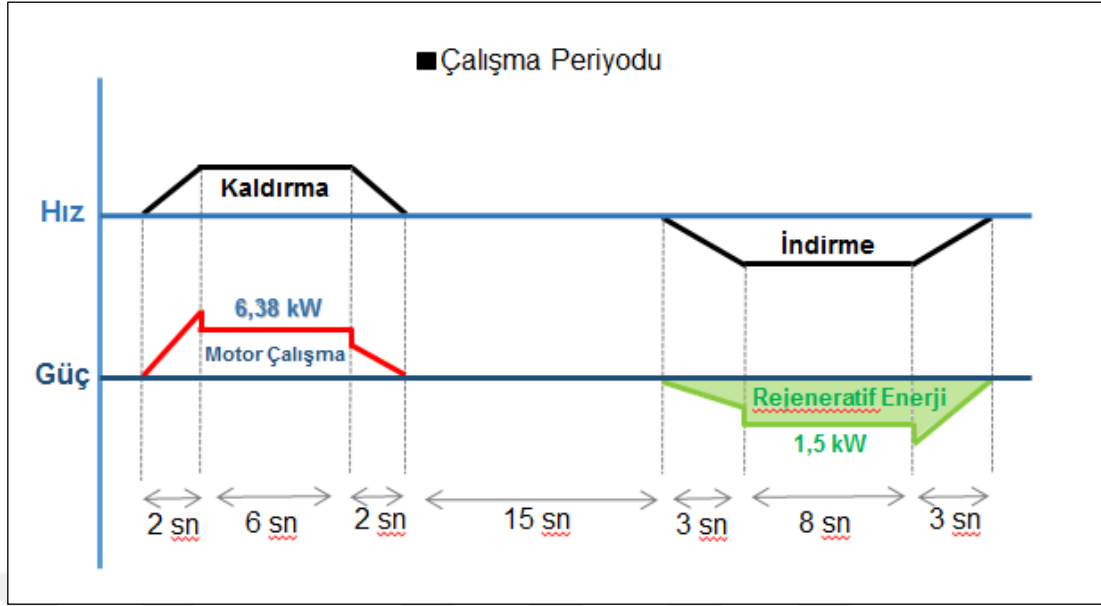
$$W_m = 6,38 \times 500 = 3.190 \text{ kWh/yıl} \quad (4.17)$$

$$W_{mm} = (3.190 \text{ kWh/yıl}) \times (0,4 \text{ TL/kWh}) = 1.276 \text{ TL/yıl} \quad (4.18)$$

$$W_{fşk} = (1.050 \text{ kWh/yıl}) \times (0,98) \times (0,4 \text{ TL/kWh}) = 411,6 \text{ TL/yıl} \quad (4.19)$$

Matris sürücünün asansör sisteminde kullanılması halinde; hem rejeneratif enerji hem de yüksek güç faktörü ve düşük harmonikler sayesinde tasarruf edilebilecek enerji tutarı Denklem (4.20)’de hesaplanarak 511,6 TL (77,5 €) olarak bulunmuştur.

$$W_{mt} = (1.376 - 1.276) + (411,6 \text{ TL}) = 511,6 \text{ TL/yıl} \quad (4.20)$$



Şekil 4.12. Asansör çalışma periyodu

Şekil 4.12’de matris sürücü kullanımı sonrasında çalışma periyotları içerisinde tüketilen güçler gösterilmiştir. Matris sürücü kullanımı sonrasında Yaskawa marka 5,5 kW’lık matris sürücü fiyatı da dikkate alındığında (13.000 TL $\cong$ 2.000 €) bu uygulamanın kendini geri ödeme süresi Denklem (4.21)’de 25 yıl olarak hesaplanmıştır.

$$t_{gs} = (13.000 \text{ TL/yıl}) / (511,6 \text{ TL}) \cong 25 \text{ yıl} \quad (4.21)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda matris sürücülerin günümüz şartlarında maliyetlerinin yüksek olması sebebi ile otomotiv fabrikalarında asansör uygulamalarında kullanılmasının katkı sağlamadığı açıkça görülmüştür. Gelişen teknoloji sayesinde ilerleyen dönemlerde maliyetlerin düşmesi ile birlikte veya rejeneratif çalışma süresinin yüksek olduğu uygulamalarda matris sürücü kullanımının işletmeye faydalı olacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerjinin büyük bir kısmının ithal edildiği ülkemizde enerji verimliliği çalışmalarının önemi gelişen teknoloji ve stratejik adımlar sayesinde kurumlar ve işletmeler tarafından daha yeni anlaşılmaya başlanmış, verimlilik arttırıcı çalışmalara ve uygulamalara bu sayede hız verilmiştir.

Gelişmişlik göstergesi olarak kullanılan enerji yoğunluğu ve kişi başına tüketilen enerji, ülkemiz açısından değerlendirildiğinde ortaya çok da olumlu sonuçlar çıkmadığı görülmüştür. Bu sonuçlar neticesinde, Türkiye'nin enerjiyi ithal eden değil üreten ülke olması ve mevcut enerji kaynaklarını daha iyi yönetmesi gerektiği gerçeği ortaya çıkmıştır.

Enerji, birincil enerji kaynaklarındaki azalma ve buna paralel enerji maliyetlerindeki artış sebebi ile günümüzün en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir. Özellikle enerji tüketiminin yüksek olduğu sanayi kuruluşlarında, enerji giderlerinden dolayı enerji tasarrufu çalışmaları işletmeler için büyük önem taşımaktadır. İşletmelerde bu tür enerji maliyetlerini azaltmak için enerji tasarrufu önlemleri almak, enerji yönetim sistemleri kurmak ve uygulamak zorunlu hale gelmiştir.

Bu çalışmada; dünyanın birincil enerji kaynaklarındaki genel durumu, ülkelerin enerji tüketimindeki payları, Türkiye'nin enerji yoğunluğu ve enerji tüketimindeki payı, sektörlerin enerji tüketimindeki payları ve alınabilecek tasarruf yöntemleri ele alınmıştır. Toplam enerji tüketimi içerisindeki payı %35 olan sanayi sektörü irdelenmiş ve verimlilik arttırıcı projeler ile enerji maliyetlerinin düşürülebileceği saptanmıştır. Otomotiv montaj fabrikalarındaki üretim süreçleri, birincil enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payları ve uygulanabilecek enerji tasarrufu yöntemleri hakkında genel bilgi verilerek enerji verimliliği boyutları araştırılmıştır. Örnek bir otomotiv montaj fabrikası incelenerek verimlilik arttırıcı uygulamalar ve enerji tasarrufu çalışmaları yapılmıştır.

Otomotiv fabrikasında yapılan tasarruf ve verimlilik arttırıcı çalışmalar sonucunda; kaynak atölyesinde kullanılan soğutma suyu pompalarının daha verimli çalışabilmesi için debimetre kullanımının gerekliliği saptanmıştır. Debimetre kullanımı ile ihtiyaç duyulan soğutma suyu ve enerji miktarının doğru bir şekilde ayarlanması sonucunda

%50'lere varan oranda enerji tasarrufu yapılabileceği görülmüştür. Bu proje sayesinde debimetre uygulaması ile yıllık olarak 136.380 kWh (54.552 TL) tasarruf yapılmıştır. Yatırımın kendini geri ödeme süresi ise 7 ay olarak hesaplanmıştır. Ayrıca pompa motorunun düşük yüklerde verimsiz çalışmasından dolayı düşük güçlü 30 kW'lık motorun kullanılmasıyla veriminin artacağı görülmüştür. Motor değişimiyle birlikte yatırımın kendini geri ödeme süresi 8 ay olarak hesaplanmıştır.

Otomotiv montaj fabrikalarında araçların transferlerinde kullanılan asansörlerde frekans değişkenli sürücüler yerine matris sürücü kullanımının enerji verimliliği açısından avantajları da değerlendirilmiştir. Matris sürücü fizibilite çalışması sonucunda; gerek sürücü fiyatlarının yüksek olması gerekse otomotiv fabrikalarında dikey yönlü çalışan asansörlerin çalışma sürelerinin kısa olması ve karşı ağırlıklı olarak imal edilmeleri matris sürücü uygulamalarının günümüz şartlarında otomotiv fabrikalarında verimli olmayacağını göstermiştir. Yapılan fizibilite çalışmaları sonucunda ilgili otomotiv fabrikasında asansörlerde matris sürücü kullanımı sonrasında yıllık 511,6 TL enerji tasarrufu yapılabileceği öngörülmüş ve yatırımın kendini geri ödeme süresi ise 25 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sürenin, sürücü fiyatlarındaki düşüşün de etkisiyle rejeneratif çalışma süresinin yüksek olduğu uygulamalarda daha da düşebileceği ve matris sürücülerin otomotiv fabrikalarında kullanımının önümüzdeki yıllarda işletmeye faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca otomotiv fabrikalarında matris sürücünün kullanılabileceği bir diğer alan ise kalıpların taşınmasında kullanılan vinçlerdir. Yüksek güce sahip olan bu vinçlerde, çalışma sürelerinin sürekli ve uzun olması durumunda matris sürücü kullanımı ile verim sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Ancak incelenen tesiste vinçlerin çok kısa sürelerde çalıştıkları gözlemlenmiştir. Bu sebepten dolayı enerji verimliliği hesabı yapılmamış, ilgili otomotiv fabrikası için vinçlerde matris sürücü uygulamasının enerji verimliliği açısından verimli olduğu ancak yatırımın kendini geri ödeme süresinin yeterli olmadığı saptanmıştır.

Otomotiv fabrikalarında gerçekleştirilen yukarıdaki tasarruf çalışmalarının yanında enerji verimliliği açısından yapılabilecek birçok çalışmanın olması enerji verimliliğinin sanayi sektörü ve diğer tüm sektörlerde ne kadar önemli olduğunu bir kez daha göstermiştir. Enerji kaynaklarındaki düşüş ve buna paralel olarak artan enerji maliyetleri tüm dünya ülkelerindeki sanayi tesislerinde, kamu kurumlarında, ulaştırmada, hanelerde ve enerjinin kullanıldığı tüm alanlarda verimlilik artırıcı çalışmaların gerçekleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kılıçlı A., Binalarda Enerji Verimliliği:UBE Binası Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir, 2012, 304820
- [2] Yeşil Z.C., Şehir İçi Ulaşımında Enerji Verimliliği ve Çevre Kirliliği Açısından Elektrikli Otobüs Kullanımının Araştırılması: İzmir Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir, 2018, 542815
- [3] Kaya M., Sanayide Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Basınçlı Hava Sistemlerinde Verimlilik, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2012, 333052
- [4] Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023, *Yüksek Planlama Kurulu Resmi Gazete*, Sayı **28215**, 1-7, 2012.
- [5] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017 – 2023, *Yüksek Planlama Kurulu Resmi Gazete*, Sayı **30289**, 1-3, Kasım 2017.
- [6] International Energy Outlook 2017, *U.S. Energy Information Administration (EIA)*, IEO2017, 9-10, September 2017.
- [7] Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı*, Sayı **15**, 6, Ocak 2017.
- [8] Pekaçar M., ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi, Elektrik Mühendisleri Odası, http://www.emo.org.tr/ekler/1e9a35c8a1d9357_ek.pdf (Ziyaret tarihi: 3 Aralık 2018).
- [9] Birincil ve Nihai Enerji Yoğunluğu (2000-2017), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, [http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/document/Birincil ve Nihai Enerji Yoğunluğu.pdf](http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/document/Birincil%20ve%20Nihai%20Enerji%20Yoğunluğu.pdf) (Ziyaret tarihi: 22 Ocak 2019).
- [10] 2000 - 2016 Türkiye Enerji Verimliliği Gelişim Raporu 2018, *Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü Enerji Verimliliği Dairesi Başkanlığı Ölçme ve Değerlendirme Grubu*, **EV-2018-01-V1**, (5-8,14-15,19-21,38,40-41,43), 2018.
- [11] Global Energy Statistical Yearbook 2018, Enerdata, <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html> (Ziyaret tarihi: 25 Ocak 2019).
- [12] Kavak K., Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi, *Devlet Planlama Teşkilatı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü*, **DPT: 2689**, (8,12), Eylül 2005.

- [13] Total Primary Energy Supply (TPES) per Capita Turkey 1990-2016, International Energy Agency, <https://www.iea.org/statistics/?country=TURKEY&year=2016&category=Energysupply&indicator=TPESbyPop&mode=chart&dataTable=INDICATORS> (Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2019).
- [14] Enerji Verimliliği İndeksi (2010-2015), *T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü*, **Revizyon 00**, 3-4, Mayıs 2017.
- [15] <https://www.rexnord.com/industry-solutions/process-motion-control/automotive> (Ziyaret tarihi: 18.02.2019).
- [16] <http://electricalacademia.com/induction-motor/three-phase-induction-motor-performance/> (Ziyaret tarihi: 05.04.2019)
- [17] http://sjpjm.koreasme.com/eng/business/business02_a.html (Ziyaret tarihi: 18.04.2019)
- [18] <https://grabcad.com/library/vertical-drop-lift-1> (Ziyaret tarihi: 19.04.2019)

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **Kılınç G.**, Otomotiv Fabrikalarında Enerji Verimliliği, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Adıyaman'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adıyaman'da tamamladı. 2008 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2012 yılında Onur öğrenciliği derecesiyle Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2012-2013 yılları arasında askerlik hizmetini subay statüsünde tamamladıktan sonra özel sektörde iş hayatına başladı. Türkiye'deki otomotiv montaj fabrikalarının birinde iş hayatına devam ederken aynı zamanda 2016 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini sürdürmektedir.

