



Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

**TÜRKİYE'DE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMALARININ
SANAYİ KURULUŞLARI VE SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ
PROJELERİ AÇISINDAN ETKİNLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Pınar ENGİN

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2018

TÜRKİYE’DE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMALARININ SANAYİ
KURULUŞLARI VE SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİ
AÇISINDAN ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Pınar ENGİN

Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Ankara, 2018

KABUL VE ONAY

ENGLİN, Pınar tarafından hazırlanan "Türkiye'de Enerji Yönetim Sistemi Uygulamalarının Sanayi Kuruluşları Ve Sanayide Enerji Verimliliği Projeleri Açısından Etkinliklerinin Değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, 29 Mayıs 2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Mehmet Baha KARAN (Başkan)



Prof. Dr. Fazıl GÖKGÖZ



Prof. Dr. Aydın ULUCAN



Dr. Öğr. Üyesi Bülent ÇEKİÇ



Doç. Dr. Kazım Barış ATICI (Danışman)

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Musa Yaşar SAĞLAM

Enstitü Müdürü

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin/raporun tamamen kendi çalışmam olduğunu ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt eder, tezimin/raporumun kâğıt ve elektronik kopyalarının Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü arşivlerinde aşağıda belirttiğim koşullarda saklanmasına izin verdiğimi onaylarım:

- ☐ Tezimin/Raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.
- ☐ Tezim/Raporum sadece Hacettepe Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.
- ☒ Tezimin/Raporumun **3 yıl** süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir.

29 Mayıs 2018

Pınar ENGİN

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- **Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.** (Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etseniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, teziniz arama motorlarının ön belleklerinde kalmaya devam edebilecektir)
- **Tezimin/Raporumun 29/05/2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.** (Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir)
- **Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**
- **Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

29/05/2017

Pınar ENGİN


ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu, Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Pınar ENGİN

Sevgili Anneme, Babama ve Abime...

TEŞEKKÜR

Akademik hayatımın dönüm noktası olan bu tez çalışmasını yazarken ve diğer tüm yaşantımda karşılaştığım her zorlukta ve engelde kendi deneyimlerini ve tecrübelerini benden hiçbir şekilde esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum bilgi ve donanımdan her zaman daha fazlasını paylaşan, beni her zaman bir adım ileri taşımak için desteğini her daim hissettiğim, bana iş ahlakı ve disiplinini öğreten ve yaşantım boyunca örnek alacağım çok saygıdeğer yol göstericim Dr. Kubilay Kavak'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca görüş ve bilgileriyle bana yol gösteren, büyük bir sabır ve özveriyle bana rehberlik ederek desteğini benden hiç esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı'ya çok teşekkür ederim.

Sayın Prof. Dr. Aydın Ulucan'a, Prof. Dr. Mehmet Baha Karan'a, Prof. Dr. Fazıl Gökgöz'e ve Dr. Öğr. Üyesi Bülent Çekiç'e tez çalışmama yapmış oldukları değerli yorum ve katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Hayatımdaki her dönemde olduğu gibi yüksek lisans öğrenimim boyunca da ihtiyacım olan her konuda desteklerini daima arkamda hissettiğim canım aileme ve tüm sabır ve gayretiyle her ihtiyacım olduğunda yanımda olan, tez çalışmamın analizlerine bilgisiyle ışık tutan ve çekirdek ailemin bir parçası olan değerli dostum Ceren Dirik'e teşekkür ederim.

ÖZET

ENGİN, Pınar. *Türkiye'de Enerji Yönetim Sistemi Uygulamalarının Sanayi Kuruluşları ve Sanayide Enerji Verimliliği Projeleri Açısından Etkinliklerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2018.

İklim değişikliği ve çevre konusundaki küresel farkındalığın artması, enerji kaynaklarının büyük bir hızla azalmasına rağmen sürekli artan enerji ihtiyacı gibi sebeplerle enerji verimliliği çalışmaları özellikle son yıllarda önemli bir müdahale aracı haline gelmiştir. Enerji verimliliği konusunda stratejiler geliştirilmiş, teşvik mekanizmaları oluşturulmuş ve yaygınlaştırılması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) sanayi kuruluşlarının enerji verimliliğini sürdürülebilir hale getirebilmesi için tüm sistemde sürekli iyileşme hedefiyle fabrika çalışanlarını ve hatta fabrikanın ekosistemini de içine alan dinamik bir yönetim yaklaşımıdır. EnYS yaklaşımı sayesinde sanayi kuruluşlarının kısa vadede yüksek enerji tasarruf miktarına ulaşması ve bu etkin enerji yönetiminin sürdürülebilir olması dolayısıyla EnYS'nin yaygınlaştırılması için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında EnYS uygulaması sonucunda yatırıma dönüştürülen sanayide enerji verimliliği projeleri iki boyutta incelenmektedir. Birincisi projeleri uygulayan sanayi kuruluşları açısından, ikincisi ise sanayide uygulanan enerji verimliliği projeleri açısından. Etkinlik analiz yöntemi olarak parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) tercih edilmiştir. Sanayi kuruluşları için elde edilen etkinlik skorları yıllık enerji tüketimi, ISO 50001 belgesi sahipliği, sektör, KOBİ statüsü gibi kriterlere göre yorumlanmıştır. Uygulanan enerji verimliliği projeleri ise ilk olarak kategorilere ayrılmış daha sonra etkinlik analizine tabi tutulmuştur. İki boyutlu bu analizler sonucunda EnYS sayesinde sanayi kuruluşlarının kısa sürede enerji ve enerji dışı birçok fayda sağladığı sonucuna varılmıştır. Literatürde makro düzeyde sanayide enerji verimliliği konusunda birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat enerji EnYS'yi bünyesine entegre etmek isteyen sanayi kuruluşlarının enerji verimliliği proje önceliklerine ve tercihlerine ışık tutması açısından mikro düzeyde çalışmaya rastlanılmamaktadır. Sanayide uygulanan enerji verimliliği projelerinin veri seti olarak seçildiği bu tez çalışmasının, literatürde eksikliği görülen mikro değerlendirmeler açısından bir örnek olacağı ve EnYS'nin yaygınlaştırılması konusunda katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Sanayide Enerji Verimliliği, Enerji Yönetim Sistemi, Etkinlik Analizi, Veri Zarflama Analizi.

ABSTRACT

ENGİN, Pınar. *Efficiency Evaluation of Energy Management System Practices in Turkey in terms of Industrial Organisations and Energy Efficiency Projects in Industry*, Master's Thesis, Ankara, 2018.

Energy efficiency efforts have recently become an important intervention tool due to the ever-increasing demand for energy despite the rising global awareness on climate change and environment, and the rapid depletion of energy resources. On energy efficiency, strategies and incentive mechanisms have been developed, and efforts made to promote such mechanisms. An Energy Management System (EnMS) is a dynamic management approach encompassing plant workers and even the ecosystem of a plant with the aim of continuous improvement across the system in order to ensure sustainability of energy efficiency in industrial organisations. Owing to the EnMS approach, various strategies have been developed to enable industrial organisations to achieve high rates of energy savings in short-term and sustain such effective energy management, thus scale up the practice of EnMS.

This thesis reviews, in two dimensions, energy efficiency projects in industry which have been turned into investments through EnMS practices. The first dimension refers to industrial organisations, and the second to energy efficiency projects implemented in industry. The Data Envelopment Analysis (DEA), a non-parametric method, has been used as the method for effectiveness analysis. The effectiveness scores derived for industrial organisations have been interpreted on the basis of such criteria as annual energy consumption, holding ISO 50001 certification, sector, SME status etc. Energy efficiency projects have first been categorised, then analysed for effectiveness. Such two-dimensional analyses have led to the conclusion that owing to EnMS, industrial organisations have generated significant energy-related and non-energy-related benefits in short-term. Literature is abundant on macro-level studies in energy efficiency in industry, but scarce in terms of micro-level studies which will provide guidance to industrial organisations which intend to integrate EnMS on setting energy efficiency project priorities and preferences. Having relied on a dataset of energy efficiency projects implemented in industry, this thesis will bridge a gap in the literature by serving as a model for micro-level evaluation studies and contribute to promoting EnMS.

Keywords

Energy Efficiency in Industry, Energy Management System, Efficiency Analysis, Data Envelopment Analysis.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI.....	iii
ETİK BEYANI	iv
ADAMA.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
1.1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR.....	5
1.1.1. Enerji ve Politika.....	5
1.1.2. İklim Değişikliği ile Mücadele.....	6
1.1.3. Enerji Yoğunluğu.....	7
1.1.4. Enerji Verimliliği.....	8
1.1.5. Mevzuatta ve Politika Dokümanlarında Enerji Verimliliği.....	10
1.2. SEKTÖREL ENERJİ VERİMLİLİĞİ.....	12

1.2.1. Ulaşımında Enerji Verimliliği.....	13
1.2.2. Binalarda Enerji Verimliliği.....	14
1.2.3. Sanayide Enerji Verimliliği	14
1.2.3.1. Sanayide enerji verimliliği projeleri.....	16
1.3. ENERJİ YÖNETİMİ.....	17
1.3.1. Enerji Yönetim Sistemi (EnYS).....	18
1.3.2. ISO 50001-Enerji Yönetim Sistemleri Standardı.....	20
1.3.3. Enerji Dışı Faydalar.....	21
2. BÖLÜM: ENERJİ VERİMLİLİĞİNDE ETKİNLİK ANALİZİ.....	23
2.1. ETKİNLİK ANALİZİ.....	23
2.1.1. Veri Zarflama Analizi.....	24
2.1.1.1. Ölçeğe göre sabit getirili modeller (CCR).....	26
2.1.1.2. Süper etkinlik modeli.....	28
2.1.2. Literatür Taraması... ..	29
3. BÖLÜM: SANAYİ KURULUŞLARININ VE SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİNİN ETKİNLİK ANALİZİ.....	33
3.1. SANAYİ KURULUŞLARININ ETKİNLİK ANALİZİ.....	33
3.1.1. Sanayi Kuruluşlarına Dair Genel Bilgiler.....	33
3.1.2. Sanayi Kuruluşlarının Etkinlik Analizi.....	37
3.1.2.1. Girdi değişkenleri.....	37
3.1.2.2. Çıktı değişkenleri.....	38
3.1.3. Sanayi Kuruluşlarının Etkinlik Analizi Sonuçları.....	39
3.2. SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİNİN ETKİNLİK ANALİZİ.....	45
3.2.1. Sanayide Enerji Verimliliği Projelerinin Sınıflandırılması.....	46

3.2.2. Sanayide Enerji Verimliliği Projelerinin Etkinlik Analizi	53
3.2.2.1. Girdi değişkenleri.....	53
3.2.2.2. Çıktı değişkenleri.....	53
3.2.3. Sanayide Enerji Verimliliği Projeleri Etkinlik Analiz Sonuçları.....	54
3.3. EnYS UYGULAMA SONUÇLARINA GENEL BAKIŞ.....	56
4. BÖLÜM: SONUÇ	60
KAYNAKÇA	62
EK 1. Tez Çalışması Orijinallik Raporu	71
EK 2. Tez Çalışması Etik Kurul İzin Muafiyeti Formu	72

KISALTMALAR DİZİNİ

BMDÇS	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
COP	: Conference of the Parties (Taraflar Konferansı)
DHS	: Değişken Hız Sürücüsü
EnYS	: Enerji Yönetim Sistemi
ESCO	: Energy Service Company
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVD	: Enerji Verimliliği Danışmanlık Şirketi
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IEE	: Industrial Energy Efficiency-Endüstriyel Enerji Verimliliği
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli)
PÜKO	: Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem AL
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UETM	: Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi
UEVP	: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
UNIDO	: United Nations Industrial Development Organization-Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı

VAP	: Verimlilik Artırıcı Proje
VZA	: Veri Zarflama Analizi
WCC	: World Climate Conference (Dünya İklim Konferansı)
WMO	: World Meteorological Organization (Dünya Meteoroloji Örgütü)
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. UEVP'ye Göre Yatırımların ve Elde Edilmesi Öngörülen Tasarrufların
Yıllara Göre Değişimi

Tablo 2. Dünyada Enerji Yönetimi Sayesinde Beklenen Tasarruf Oranları

Tablo 3. Enerji Verimliliği Uygulamalarından Sağlanan Enerji Dışı Faydalar

Tablo 4. Girdi Odaklı Primal ve Dual CCR Model

Tablo 5. Çıktı Odaklı Primal ve Dual CCR Model

Tablo 6. Fabrikaların Sektörel Dağılımı

Tablo 7. Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketim Aralıkları

Tablo 8. Sanayi Kuruluşlarına Ait Verilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

Tablo 9. Çıktı Odaklı VZA Sonuçları ve Çıktı Ağırlıkları-Sanayi Kuruluşları

Tablo 10. Etkin Çıkamayan Sanayi Kuruluşlarının Kıyaslama Değerleri

Tablo 11. ISO 50001 Belgesine Göre Ortalama Etkinlik Yüzdesi

Tablo 12. KOBİ Statüsüne Göre Ortalama Etkinlik Yüzdesi

Tablo 13: Etkin Çıkan Sanayi Kuruluşları İçin Süper Etkinlik Skorları ve
Referans Değerleri

Tablo 14. Enerji Verimliliği Projeleri Verilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

Tablo 15. Çıktı Odaklı VZA Sonuçları-Projeler

Tablo 16. Etkin Çıkan Enerji Verimliliği Projeleri İçin Süper Etkinlik Skorları ve
Referans Değerleri

Tablo 17. EnYS Uygulama Sonuçları

Tablo 18. Sektörel Enerji Tasarruf Oranları ve Etkinlik Skorları

ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1. Ülkelere Göre Birincil Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması
- Şekil 2. Sektörel Enerji Tüketimlerinin Yıllar İtibarıyla Değişimi
- Şekil 3. Yıllara Göre İmalat Sanayii Enerji Tüketimleri
- Şekil 4. Fabrika Ölçekleri
- Şekil 5. Sektörlere Göre Ortalama Etkinlik Skorları
- Şekil 6. Enerji Tüketimlerine Göre Sanayi Kuruluşlarının Yüzdesel Etkinlikleri
- Şekil 7. Proje Uygulama Sayıları
- Şekil 8: Tekstil Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 9: İşlenmiş Metal Ürünler Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 10. Kimya Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 11. Taş ve Toprağa Dayalı Sektörde Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 12. Demir-çelik Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 13. Makine Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 14. Çimento Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri
- Şekil 15. Ahşap ve Ahşaba Dayalı Sektörde Projelerin Uygulanma Yüzdeleri

GİRİŞ

Özellikle sanayi devrimi sonrasında artan fosil yakıt kullanımına bağlı olarak yükselen sera gazı emisyonları, yerkürenin ortalama sıcaklık değerini artırmış ve bunun sonucunda da yerküre ve onun üzerinde yaşayan tüm canlılar iklim değişikliği sorunu ile karşı karşıya kalmıştır. Küresel ısınmanın etkileri tüm canlılar tarafından ortak sorun olarak tanımlanmış ve iklim değişikliği ile mücadelenin yolları araştırılarak bu kapsamda bireysel, ulusal ve uluslararası adımlar atılmıştır. Küresel ortalama sıcaklık artışının güvenli seviyede tutulması amacı ile ülkeler çok çeşitli önlemler almış, taahhütlerde bulunmuş ve bu amaçla yasal düzenlemeler yapmıştır.

İklim değişikliğinin yanı sıra 1973 yılında yaşanan petrol krizi sonrasında artan enerji maliyetleri de sanayi kuruluşlarını ve devletleri enerji verimliliği konusunda adım atmaya teşvik etmiştir. Günümüzde üretim kapasiteleri rekor seviyelere ulaşan hidrokarbon kaynakların yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte enerji arzı rekor seviyelere çıkmasına rağmen yaşanan toplumsal ve teknolojik gelişmeler dolayısıyla ihtiyaç duyulan enerji miktarı artmıştır.

Gün geçtikçe daha çok insanın enerjiye erişim ihtiyacı ve artan enerji maliyetleri sebebiyle enerji popüler bir başlık haline gelmiştir. İhtiyacın artmasıyla beraber üretilen her birim enerjinin enerji türüne bağlı olarak farklı oranlarda çevresel bir etkisi bulunmaktadır. Bu etkilerden en kritik olanı ise sera gazı emisyonlarının artmasıyla oluşan sera etkisiyle yerkürenin ısınmasıdır. Hem iklim değişikliği ile mücadele kapsamında hem de artan enerji fiyatlarının etkisiyle devletler enerji politikalarında yasal düzenlemeler yapmış, sanayi kuruluşları ise üretim süreçlerini kontrol altında tutacak önlemler almışlardır.

Sanayide tüketilen enerji miktarının toplam enerji tüketim miktarı içindeki payı bir hayli yüksek olması sebebiyle sanayi sektöründe alınacak her tedbir kritik bir öneme sahiptir. Sanayileşmede yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih ve teşvik edilmesi, sanayi kuruluşlarındaki enerji kullanımının verimli hale getirilmesi gibi müdahaleler, küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından iki önemli tedbir alanı olarak öne çıkmaktadır. Tüm bu itici etkenlerle sanayide enerji verimliliği çalışmaları dünya genelinde ve Türkiye’de önemli bir konu haline gelmiştir.

Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) sanayi kuruluşlarına enerji verimliliği için sürekli iyileşme anlayışıyla sistematik bir yaklaşım sunmaktadır. EnYS satın almadan şirket politikasına kadar tüm faaliyetlerde enerji verimliliği duyarlılığı ile hareket edilen bir sistemdir. Sistem sayesinde tedarikçi, müşteri, üst yönetim ve tüm çalışanlar gibi sanayi kuruluşunun etkileşimde olduğu tüm ekosistemi kapsamasından dolayı artan bilinç ve oluşan farkındalığın yanı sıra enerji maliyetlerinde de ciddi tasarruf imkânı sağlamaktadır. Bu sebeplerle son yıllarda, EnYS yaklaşımı ve endüstriyel tesislerde enerjinin önemli bir girdi olarak yönetilmesine yönelik adımlar, gittikçe daha çok biçimde yaygınlık kazanmaktadır.

Bu tez çalışmasında EnYS uygulaması sonucunda yatırıma dönüştürülen sanayide enerji verimliliği projeleri iki boyutta incelenmektedir. Birincisi projeleri uygulayan sanayi kuruluşları açısından, ikincisi ise uygulanan enerji projeleri açısından. Bu çalışma kapsamında ilk olarak Türkiye’de 8 farklı sektörde faaliyet gösteren, enerji tüketimleri birbirinden farklı düzeylerde olan ve 9 aylık EnYS programını başarı ile tamamlayarak sistemi bünyesine entegre eden 34 sanayi kuruluşunun 2015 verileri baz alınarak bu kuruluşların etkinlikleri değerlendirilmektedir. Etkinlik skorları temel alınarak sanayi kuruluşları; sektörlerine, enerji tüketimlerine, küçük ve orta ölçekli işletme (KOBİ) statülerine ve sektörlerine göre sınıflandırılmaktadır. Etkin çıkan sanayi kuruluşları için süper etkinlik analizi yapılmaktadır. Uygulama kısmının ikinci ayağında ise EnYS uygulama sürecinin sonunda sanayi kuruluşlarının yatırıma dönüştürdüğü toplam 188 enerji verimliliği projesi ilk olarak 16 ana kategoriye ayrılarak standardizasyon sağlanmıştır. Uzman görüşleri ile belirlenen 16 ana kategori genel olarak tüm sanayi kuruluşları tarafından uygulanabilen enerji verimliliği projeleridir. Çalışma, sanayide uygulanan enerji verimliliği projelerinin sınıflandırılması konusunda da literatüre katkı sunmaktadır. Sınıflandırılarak standardizasyonu sağlanan enerji verimliliği projelerine daha sonra etkinlik analizi uygulanmıştır. Analiz yöntemi olarak parametrik olmayan Veri Zarflama Analizi seçilmiştir.

Bu çalışmada sürdürülebilir bir enerji verimliliği vaadi sunan EnYS etkinliğini iki boyutlu analiz edilerek sanayi kuruluşlarının planlama süreçlerine rehberlik etmek amaçlanmıştır. Analiz sonuçları EnYS’nin yaygınlaştırılmasının ve teşvik edilmesinin hem global hem de ulusal hedeflerimiz için faydalı olacağına dair destekleyici bulgular sunmaktadır.

Bu tez çalışmasının ilk bölümünde enerji verimliliği ile ilgili temel kuram ve düzenlemeler açıklanmakta, daha sonra sektörel enerji verimliliği ilgili temel kavramlara değinilmekte

ve son olarak da enerji yönetimi ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde, öncelikle etkinlik analiz yöntemleri ile ilgili genel bilgiler verilmekte daha sonra enerji verimliliği ile ilgili literatürde öne çıkan çalışmalar incelenmektedir. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise enerji verimliliği projeleri iki boyutta analiz edilmekte ve sonuçlar tartışılmaktadır. Dördüncü ve son bölümde ise, bu tez çalışmasının genel değerlendirmesi yapılmaktadır.



1. BÖLÜM

ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Sanayi devriminin ardından fosil yakıtların yoğun biçimde kullanılması ve hızlı kentleşme gibi sorunların sonucu olarak ortaya çıkan küresel ısınma ve iklim değişikliği, tüm devletlerin ve insanlığın ortak sorunu olarak algılanmaktadır. Son yıllarda küresel mücadele için yasal düzenlemeler yapılmış ve devletler küresel ortalama sıcaklık artışının güvenli seviyede tutulması için ortak adımlar atmaya teşvik edilmiştir. Bu yasal düzenlemelerden en önemlileri, 1997 yılında imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü ile 2015 sonunda düzenlenen Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin 21. Taraflar Konferansı'nda (COP 21) ortaya çıkan Paris Anlaşması'dır.

Bu yasal düzenlemelerle birlikte, devletler iklim değişikliğini önlemeye yönelik adımlar atmaya başlamış, bazı devletler enerji politikalarında değişikliğe gitmiş, enerji stratejilerini değiştirmiş ve/veya iyileştirmiştir. Küresel farkındalığın ve alınan bağlayıcı önlemlerin bir sonucu olarak sanayi kuruluşları, iklim değişikliğinin birinci derece sorumlusu olan başta kömür olmak üzere fosil yakıtlara dayalı üretim süreçlerini kontrol altında tutma ve enerjiyi verimli kullanma konularında çevresel, sosyal ve mali açıdan baskı altındadır. Bahsi geçen küresel etkenler dışında sanayi kuruluşlarını enerjiyi verimli kullanmaya teşvik eden diğer bir itici güç ise giderek artan enerji maliyetleridir. Sanayi kuruluşları rekabet edebilirliklerini artırmak için enerji maliyetlerini düşürmek, bunun için de aynı miktar ürünü daha az enerjiyle üretmek için yollar aramaktadırlar.

Nüfus artışı, hızlı kentleşme, refah büyümesi ve gelişen imalat sanayii gibi etkenlerden dolayı Türkiye'de enerji kullanımı kesintisiz biçimde artmaktadır. Türkiye'nin birincil enerji arzı 2000 yılında 80,6 milyon TEP (ton eşdeğer petrol) iken, bu rakam 2015 yılında yıllık %3,2 artışla 129,2 milyon TEP'e ulaşmıştır. Elektrik tüketimindeki artış oranı çok daha yüksektir. 2007-2016 arasındaki on yıllık dönemde elektrik talebi toplam %46 oranında büyümüş ve yıllık ortalama %4,3'lük bir artış göstermiş, toplam elektrik tüketimi de 190 TWh'den (terawatt-saat – milyar kilowatt-saat) 278,4 TWh'e yükselmiştir. Doğal gazda

ise, 2000 yılında yaklaşık 14 milyar metreküp olan tüketim, 2016 yılında 46 milyar metreküpe ulaşmıştır (ETKB, 2017),¹(TEİAŞ, 2017)².

Tüm bu açıklamaların ışığında enerji verimliliği hem Türkiye hem de dünya için kritik ve stratejik öneme sahiptir. Bundan sonraki bölümlerde enerji verimliliği ile ilgili bazı temel kavramlardan bahsedilmektedir.

1.1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

1.1.1. Enerji ve Politika

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren, buharın daha yaygın kullanılması ve sanayi devrimiyle birlikte kömürün ticari bir meta hale geldiği izlenmiş, 19. yüzyılın ikinci yarısı petrolün ve 20. yüzyılın ilk yarısı da modern bir ikincil enerji kaynağı olan elektriğin yükselişine sahne olmuştur. 20. yüzyılın son çeyreğinde doğal gaz da küresel ölçekte ticareti yapılan bir enerji hammaddesi haline gelmiştir. Günümüzde üretim kapasiteleri rekor seviyelere erişen hidrokarbon kaynakların yanı sıra modern biyokütle, rüzgar ve güneş gibi yeşil kaynaklarla birlikte enerji arzı çok yüksek bir seviyeye çıkmıştır. İnsanoğlunun son iki asırdır tecrübe ettiği köklü toplumsal ve teknolojik değişimler, hem ihtiyaç duyulan enerji miktarını artırmış, hem de enerji kaynaklarına erişim ve bu kaynakların piyasalara uygun maliyetler ve güvenli güzergahlar üzerinden taşınmasını öncelikli bir konu haline getirmiştir.

Enerji kaynaklarının yol açtığı çevresel sorunlar, doğası gereği dalgalanmalara konu olan petrol ve doğal gaz fiyatlarının yol açtığı belirsizlikler, güvenli enerji temininin bölgesel anlaşmazlıklara bağlı olarak kesintiye uğrayabilmesi, yeryüzünde daha çok insanın modern enerjiye erişim ihtiyacının bulunması ve bunun için gereken finansmanın devasa bir nitelik arz etmesi gibi faktörler, dünya politik gündeminin önemli başlıklarından birinin enerji olmasını beraberinde getirmektedir.

Enerjinin dünya politik gündeminde bu denli yoğun olarak yer almasının bir sebebi de hangi kaynak kullanılırsa kullanılsın üretilen her birim enerjinin az ya da çok oranda bir

¹ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, “Genel Enerji İstatistikleri”. Şu adresten görülebilir: <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>

² TEİAŞ, “Elektrik İstatistikleri”. Şu adresten görülebilir: <https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri>

çevresel etkiye yol açmasıdır. Bu etkilerden en önemlisi olan sera gazı emisyonlarının normal seyrinden farklılaşan bir oranda artması ve meydana gelen sera etkisiyle yerkürenin ısınması, iklim değişikliği sorununu ortaya çıkarmıştır. Bu sorun ile mücadele konusunda küresel boyutta birçok mevzuat düzenlenmiş, söz konusu sorunun etkisini en aza indirmek için çeşitli stratejiler geliştirilmiştir.

1.1.2. İklim Değişikliği İle Mücadele

1972 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Stockholm Konferansı'nda ve sonrasında yayınlanan konferansın çıktısı olan raporda çevrenin korunması ile gelişme kavramı arasındaki ilişki ilk kez kabul edilmiştir. 113 ülkenin katıldığı bu konferans sayesinde devletlere bazı sorumluluklar yüklenmiştir ("Report of the United Nations Conference on the Human Environment", 1972).

1979 yılında ise Dünya Meteoroloji Örgütü (World Meteorological Organization-WMO) tarafından ilk Dünya İklim Konferansı (World Climate Conference-WCC) gerçekleştirilmiştir. Konferansta WMO'nun iklim değişikliği çalışmaları, toplum ve çevre etkilerinin araştırmalarına liderlik eden uzman Birleşmiş Milletler ajansı olmasına karar verilmiştir (World Climate Conference, 1979).

6 Aralık 1988'de düzenlenen 43. Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nda alınan 43/53 numaralı karar ile WMO ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme-UNEP) tarafından Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) kurulmasına karar verilmiştir. (Resolutions adopted on the reports of the Second Committee, 1988, ss.133-134). IPCC, iklim değişikliğinin etkileri ve bu etkileri giderme konusunda araştırma yapmak ve düzenli olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC-BMİDÇS) kapsamında Birleşmiş Milletler'e bulgularını sunmakla yükümlüdür.

İklim değişikliği tehditinin bir vehim değil gerçek olduğu IPCC'nin 1. Değerlendirme Raporu'nda (1990) ortaya konulmuştur. Bunun ardından IPCC'nin birinci çalışma grubu 5. Değerlendirme Raporu'nda (2013), olağan akışın dışındaki bir küresel ısınmanın kesinlikle mevcut olduğu ve 1950'li yıllardan beri iklimde gözlenen değişikliklerin çoğunun bin yıllık bir zaman dönemine kadar daha önce hiç görülmediği belirtilmiştir.

Gene aynı raporda, ortalama yüzey sıcaklıklarının sanayi devrimi öncesine göre 2°C daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 1994 yılında yürürlüğe girmiş ve bunun ardından devletlere daha spesifik ve bağlayıcı yükümlülükler getiren Kyoto Protokolü 1997 yılında imzalanmıştır. Bu yasal düzenlemeler devletlerin iklim değişikliği konusunda gerekli girişimlerde bulunma çabasında olduğunu gösteren ve bir dereceye kadar bağlayıcılığı bulunan önemli politika belgeleridir.

UNFCCC ev sahipliğinde her yıl Taraflar Konferansı (Conderence of the Parties-COP) zirveleri düzenlenmektedir. COP'ların ilki 1995 yılında Berlin'de düzenlenmiştir. Bu konferanslarda ülkeler bir araya gelerek küresel iklim değişikliği ile ilgili meseleleri tartışmakta ve yol haritası belirlemektedir.

2015 yılında düzenlenen COP21'de (UNFCCC'nin 21. Taraflar Konferansı) Kyoto Protokolü'nün taahhüt döneminin bittiği 2020 sonrası yeni iklim rejiminin sınırının belirlenmesi amacı ile Paris Anlaşması ortaya çıkmıştır. Bu anlaşmanın hedefi, ülkelerin yıllık emisyonlarının azaltılması ve böylelikle sanayileşme öncesi döneme kıyasla küresel ortalama sıcaklık artışının 2°C'nin olabildiğince altında tutulmaya çalışılmasıdır.

Yukarıda bahsedilen faaliyetlerin ortak hedefi, iklim değişikliği ile mücadele etmektir. Küresel iklim değişikliğiyle mücadele çabaları çerçevesinde emisyonların azaltılması konusu gündeme geldiğinde, toplam emisyonların en büyük kısmını oluşturan enerji sektörü (enerji üretimi, çevrimi, iletimi ve nihai sektörlerde kullanımı) kaçınılmaz biçimde tartışmanın asli odağını oluşturmaktadır. Emisyonlar açısından enerjinin bu denli önem taşıması, küre genelinde enerjinin verimli kullanılması ve enerji yoğunluğunun düşürülmesi hususlarını ön plana çıkarmaktadır.

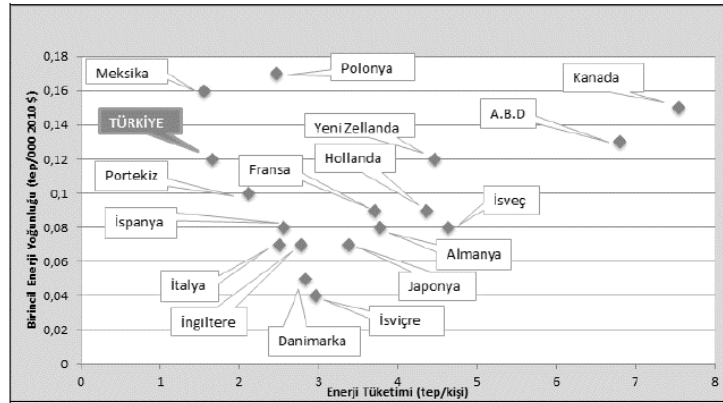
1.1.3. Enerji Yoğunluğu

Enerji yoğunluğu, en genel biçimde gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) ya da bir birim katma değer başına tüketilen birincil enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Enerji verimliliği konusundaki en önemli göstergelerden bir tanesi enerji yoğunluğudur. Ülkelerin enerji yoğunluğu ne kadar düşükse, o ülkede birim hasıla üretmek için harcanılan enerji miktarı da o kadar düşük demektir. Diğer bir anlatımla enerji yoğunluğunun düşük olması enerjinin verimli kullanıldığına işaret etmektedir (Kavak, 2005, s.11).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2016'da yayınladığı Enerji Verimliliği Piyasa Raporu'na göre, küresel enerji yoğunluğundaki iyileşme (azalma) 2015 yılı için %1,8 olarak belirlenmiştir. Fakat iklim değişikliği ile mücadele için enerji yoğunluğundaki küresel iyileşme hedefi 2016 ve 2030 yılları arası için yıllık %2,6 olarak hedeflenmiştir. Bu veriler insanlığın hala iklim hedeflerinden uzakta olduğuna işaret etmektedir (International Energy Agency, 2016, s.13).

Türkiye 2012 yılında yayınladığı Enerji Verimliliği Strateji Belgesi'nde (2012-2023) 2023 yılında Türkiye'de GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedefini temel bir hedef olarak belirlemiştir (Resmî Gazete, 25.02.2012). Bu hedef doğrultusunda tanımlanan 7 stratejik amaçtan ilki, sanayi ve hizmetler sektörlerinde enerji yoğunluğunu ve enerji kayıplarını azaltmak olarak ifade edilmiştir.

Şekil 1. Ülkelere Göre Birincil Enerji Yoğunluğu Karşılaştırması



Kaynak: UEVEP'dan aktarılan Uluslararası Enerji Ajansı (2017)

Şekil 1'de görülebileceği üzere Türkiye'nin kişi başı enerji tüketimi düşük olmakla birlikte birincil enerji yoğunluğu yüksektir. Diğer bir ifade ile birim katma değer başına enerji tüketimi yüksektir. Bu değer hem küresel hem de ulusal bir hedef olan enerji yoğunluğunu azaltmak için enerji verimliliği önlemlerinin hayata geçirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

1.1.4. Enerji Verimliliği

Enerji verimliliği ve enerji tasarrufu birbiriyle çok karıştırılan, zaman zaman birbirinin yerine kullanılan iki kavramdır. Birçok eski kaynakta dönüşümlü ve eşanlamlı olarak

kullanılsa da bu iki kavram farklı durumları tanımlamaktadır. Hepbaşlı (2010), bu iki kavramın arasındaki farkı şöyle açıklamıştır: *“Enerji tasarrufu, fiziksel terimlerle ölçülerek kayda alınan enerji tüketiminde meydana gelen azalmayı ifade etmektedir. Enerji verimliliği ise, çıktıyı, tüketimi veya konfor düzeyini etkilemeden, belirli bir ürün, proses veya üretim alanındaki enerji yoğunluğunun düşürülmesi anlamına gelmektedir”* (Hepbaşlı, 2010, s.4). Diğer bir deyişle enerji verimliliği, aynı faydayı daha az enerji kullanarak gerçekleştirebilme yetisidir.

Çalıkoğlu ise enerji tasarrufunu, enerji tüketimini enerji atıklarının değerlendirilmesi ve enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla en aza indirmek olarak tanımlamıştır (Çalıkoğlu, 2004, s.59). Enerji verimliliği, tasarruf edilen enerji ile bu tasarrufa neden olan gerekli harcamalar arasındaki dengenin ölçütüdür (Hepbaşlı’dan aktarılan Aronsson ve Nilson, 2010). Enerji verimliliği ve enerji tasarrufu arasındaki farkı açıklayan diğer bir tanımlama ise Kavak (2005, s.8) yapmıştır:

“Enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretimden tüketime kadar tüm safhalarda en yüksek etkinlikte değerlendirilmesidir. Enerji tasarrufu ise enerji ve enerji kaynaklarının verimli olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanıcılar tarafından alınan tedbirler sonucunda belirli miktardaki üretimi ve hizmeti gerçekleştirmek için her aşamada harcanan enerji miktarında sağlanan azalmayı anlatmaktadır.”

Bir örnekle açıklamak gerekirse evde kullanılmayan alanlardaki lambaları söndürmek ve bir fabrikada iş üretmeyen motorları kapatmak enerji tasarrufuna yönelik eylemlerdir. Buna karşılık, aynı aydınlatma (lümen) değerini sağlayacak şekilde klasik akkor lamba yerine kompakt floresan veya LED tipi aydınlatma aracı kullanarak tüketilen enerjiyi beşte bire düşürmek bir enerji verimliliği örneğidir. Keza aynı miktar işi üretecek şekilde IE1 sınıfı bir elektrik motorunu daha az enerji tüketen IE3 sınıfı bir motorla değiştirmek veya mevcut bir motora değişken hız sürücüsü takmak enerji verimliliği kapsamında değerlendirilebilecek önlemlerdir.

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı’nda (UEVP) enerji verimliliğinin önemi, enerji maliyetlerinin ekonomiye olan yükünün hafifletilmesi, düşük karbonlu ekonomiye geçiş ve çevrenin korunması gibi birçok ulusal stratejik hedeflerimize ulaşmanın temel etkeni olarak tanımlanmaktadır (Resmi Gazete, 02.01.2018).

Yaklaşık on yıldır yoğun bir şekilde Türkiye'nin enerji gündeminin içinde yer alan enerji verimliliği kavramı, gittikçe artan bir oran ve derinleşen bir içerikle politika düzenlemelerinin içine dercedilmektedir.

1.1.5. Mevzuatta ve Politika Dokümanlarında Enerji Verimliliği

Türkiye 24 Mayıs 2004 tarihinde **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine** taraf olmuştur. Ayrıca uygulama dönemi 2005 yılında başlayan **Kyoto Protokolü**'ne 2009 yılında taraf olmuştur. Türkiye bu iki küresel düzenlemeye taraf olarak iklim değişikliği ve enerji verimliliği ile ilgili ulusal tedbirler almış ve bu tedbirleri kanun, yönetmelik ve strateji belgeleri ile desteklemiştir.

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olmadan önce 2001 yılında 2001/2 sayılı Başkanlık Genelgesi ile İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu'nu (İDKK) oluşturmuştur. Bu kurulun amacı, iklim değişikliği alanında izlenecek politikaların, alınacak önlemlerin ve yapılacak çalışmaların belirlenmesidir. Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne taraf olmasından sonra ise kurul yeniden düzenlenmiştir.

Türkiye 2007'de yürürlüğe giren 5627 numaralı **Enerji Verimliliği Kanunu** ile enerji verimliliği konusunda bir dönüşüm sürecine girmiştir. Kanunun amacı enerji kaynaklarının ve enerji kullanımında verimliliğin artırılması olarak belirlenmiştir (Resmi Gazete, 18.04.2007).

2010 ve 2020 yıllarındaki iklim değişikliği ile ilgili Türkiye'nin stratejisini belirlediği bir diğer doküman ise **Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi**'dir. Belgede enerji verimliliğinin yaygınlaşması, temiz ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması ve iklim değişikliğiyle mücadelede ülkenin kendi özel şartları çerçevesinde aktif katılım sağlanması ulusal vizyon olarak belirlenmiştir (Türkiye Cumhuriyeti Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi 2010-2020, 2010, s.5).

2012 ve 2023 yıllarını kapsayan **Enerji Verimliliği Strateji Belgesi** ise Türkiye'nin ulusal enerji verimliliği hedeflerine ulaşması için yapılması gereken eylemlerin belirlendiği bu konudaki diğer bir önemli dokümandır (Resmi Gazete, 25.02.2012).

1996 ve 2000 yıllarını kapsayan **7. Beş Yıllık Kalkınma Planı**'nda enerji verimliliğinin artması gerektiğine dikkat çekilmiştir (Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 1996 – 2000,

1995, s.138). Daha sonra yayınlanan **8. Beş Yıllık Kalkınma Planı**'nda ise enerji tüketiminin mümkün olan en alt seviyede tutulması, enerjinin en tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005, 2000, s.142).

Ardından 2013 yılında TBMM'de kabul edilen ve Türkiye'nin 2014 ve 2018 yılları arasındaki kalkınma odaklarını kapsayan **10. Kalkınma Planı**'nda öncelikli dönüşüm programları belirlenmiş, bu programlardan beşincisi enerji verimliliğinin geliştirilmesi olarak ilan edilmiştir. Bu programla ilgili yıllarda uygulanması öngörülen enerji verimliliği önlemleri tatat edilmiştir (Onuncu Kalkınma Planı, 2013).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2015-2019 yıllarını kapsayan **Stratejik Planında** enerji verimliliğine yönelik 8 adet tema ve bu temaları besleyen amaç ve hedefler belirlenmiştir (ETKB, 2015-2019 Stratejik Plan, 2014). Söz konusu planda güçlü ve güvenilir enerji altyapısı, optimum kaynak çeşitliliği, etkin talep yönetimi, enerjisini verimli kullanan bir Türkiye, enerji verimliliğine ve tasarrufuna yönelik gelişmiş kapasite olarak belirlenen amaçlar, enerji arz güvenliği, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu temalarını besleyen temel amaçlardır.

Avrupa Birliği'nin 2012/27/AB sayılı Direktifi ile üye ülkeler ulusal enerji verimliliği eylem planlarını hazırlamakla yükümlü tutulmuşlardır.³ Avrupa Birliği (AB) ile uyum kapsamında hazırlanan ve Türkiye'de enerji verimliliği konusundaki en son çıkan politika belgesi 2017 ve 2023 yıllarını kapsayan **Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı**'dır.

Söz konusu eylem planı kapsamında bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular ile ilgili toplam 55 eylem ile Türkiye'nin 2023 yılında birincil enerji tüketimini 2016 yılına kıyasla %14 azaltması hedeflenmiştir. 2023 yılına kadar tasarruf edilmesi planlanan enerji miktarları ve ihtiyaç duyulan yatırım tutarı Tablo 1'de sunulmaktadır.

³ Official Journal of the European Union, Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, L 315/1. Şu adreslerden görülebilir:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0031>
<http://www.buildup.eu/sites/default/files/Energy%20Efficiency%20Directive%202012-27-EU%20en.pdf>.
 2012/27/AB sayılı Direktifte sekiz yıllık bir gerçekleşme zaman çerçevesi ile 2020 için hedefler belirlenmiştir. Direktife göre 2020 yılına kadar %20'lik bir enerji tasarrufu hedefi ortaya konulmuştur. Bu hedefe istinaden üye ülkelere ulusal enerji verimliliği eylem planı hazırlama yükümlülüğü getirilmiştir.

Tablo 1. UEVP'ye Göre Yatırımların ve Elde Edilmesi Öngörülen Tasarrufların Yıllara Göre Değişimi

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

Kaynak: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 (2018, s.2.)

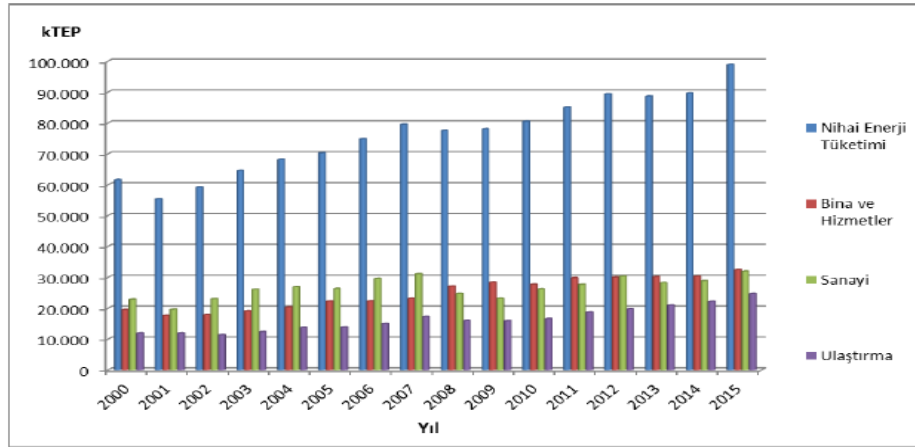
Yukarıda bahsi geçen tüm plan, kanun, yönetmelik, strateji belgesi ve kuruluş stratejik planları çerçevesinde Türkiye'nin enerji verimliliğine yönelik olarak belli bir mesafe katettiği görülmektedir. Bununla birlikte, sektörler itibarıyla farklılaşan uygulamalara ihtiyaç duyulduğu da anlaşılmaktadır. İzleyen bölümde sektörel bazda enerji verimliliği ele alınmaktadır.

1.2. SEKTÖREL ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji tüketiminde sağlanan enerji tasarrufu ve enerji verimliliğini en çok etkileyen üç sektör ulaştırma, bina ve sanayi sektörleridir. 2017 yılında Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yayınlanan Enerji Verimliliği İndeksi (2000-2015) raporunda da söz konusu bu üç sektör değerlendirilmiştir.

Bahse konu raporda her sektöre ait enerji verimliliği konusu ayrı ayrı işlenmiş ve 2000 yılı baz yıl alınarak imalat sanayiinde kümülatif 9,7 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol), konut sektöründe 7,1 milyon TEP ve ulaştırma sektöründe ise 24,6 milyon TEP olmak üzere toplamda 41,5 milyon TEP'lik iyileşme sağlandığı belirtilmiştir (Enerji Verimliliği Endeksi, 2017).

Şekil 2. Sektörel Enerji Tüketimlerinin Yıllar İtibarıyla Değişimi



Kaynak: Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2018, s.7.)

Şekil 2’de de görülebileceği üzere enerji tüketimleri yıllara sari olarak artma eğilimi göstermektedir. Bundan sonraki bölümlerde bahsi geçen sektörlerdeki enerji verimliliği konularına ayrı ayrı değinilmektedir.

1.2.1. Ulaşımında Enerji Verimliliği

Kara, hava ve deniz ulaşım taşıtlarıyla ulaştırma sektörü, iklim değişikliğini en çok etkileyen sera gazı olan karbondioksitin (CO₂) emisyonuna yol açarak küresel ısınmada kritik bir rol oynamaktadır. Artan refah seviyesi ile birlikte kaçınılmaz olarak trafikteki araç sayısı giderek artış gösterme eğilimindedir. 2017 yılı istatistiklerine göre Türkiye’de trafiğe kayıtlı araç sayısı son 10 sene içinde %58’lik bir artış göstererek yaklaşık 22 milyona ulaşmıştır (TÜİK, 2018)⁴. Dolayısıyla hem karbon salımı hem de enerji ihtiyacı eş zamanlı olarak artış göstermiştir.

Ulaştırma sektöründeki enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu petrol ürünleri ile karşılanmaktadır. Petrol kaynaklarının giderek azalması ve bazı ülkelerin sahip olduğu yüksek oranlı dışa bağımlılık, ülkeleri alternatif enerji kaynağı arayışına itmiştir. Dünyadaki önemli petrol ihracatçılarından biri olan Norveç elektrikli ve hibrit araçlara geçiş konusunda sağladığı teşvik ile bu arayışa örnek teşkil etmektedir. Norveç’in 2025 yılına kadar fosil yakıtla çalışan otomobilleri yasaklama kararı almasının ardından

⁴ Son 10 sene içindeki trafiğe kayıtlı araç sayısı şu adresten görülebilir:

<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>

Almanya da aynı kararı 2030 yılı için almıştır. Dünyada toplu taşımanın teşvik edilmesi ve elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması gibi tedbir ve teşviklerle ulaşım sektöründe enerji verimliliğini artırmaya yönelik birçok önlem hayata geçirilmektedir. Türkiye’de ise Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı’nda (2017) ulaştırma sektörü ile ilgili sürdürülebilirliği artırmak ve enerji verimliliğini teşvik etmek amacıyla 9 adet eylem belirlenmiştir.

1.2.2. Binalarda Enerji Verimliliği

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı’na (2017) göre, Türkiye’de hızla gelişmekte olan bina sektörünün 2015 yılındaki nihai enerji tüketimi 2000 yılına kıyasla %66 oranında artış göstermiş ve sektörün nihai enerji tüketimindeki payı %32,8’e yükselmiştir (Resmi Gazete, 2018). Artan refah seviyesi ve teknolojinin hızla gelişmesi ile enerji tüketen araçların konutlarda ve diğer binalarda kullanım oranının artması beklenen bir gelişmedir (Kavak, 2005, s.24). Bu artışın diğer önemli sebepleri ise hızlı ve plansız kentleşme ve Türkiye’de hızla gelişen inşaat sektörü olarak gösterilebilir.

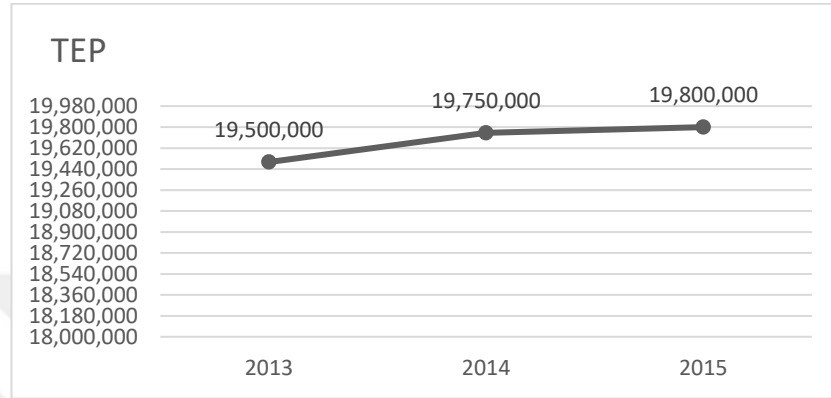
UNFCCC’nin yükümlülükleri arasında binalar ile ilgili verilerin takip ve temin edilmesi de bulunmaktadır. Bu konudaki en önemli yasal düzenleme ise Enerji Verimliliği Kanununu (2007) takiben yayınlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğidir (Resmi Gazete, 2008). Söz konusu yönetmelik, bir binanın bütün enerji kullanımlarının değerlendirilmesini sağlayacak hesaplama kurallarının belirlenmesini, birincil enerji ve karbondioksit (CO₂) emisyonu açısından sınıflandırılmasını, yeni ve önemli oranda tadilat yapılacak mevcut binalar için minimum enerji performans gereklerinin belirlenmesini, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanabilirliğinin değerlendirilmesini, ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünü, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılmasını, binalarda performans kriterlerinin ve uygulama esaslarının belirlenmesini ve çevrenin korunmasını düzenlemektedir. Bina sektörünü oluşturan konutlar, ticari yapılar, kamu ve hizmet binalarının enerji verimli hale dönüştürülmesi ve yeni yapılacak binaların daha verimli olacak şekilde tasarlanması ile enerji verimliliğinin iyileştirilmesi mümkündür.

1.2.3. Sanayide Enerji Verimliliği

2016 yılında GSYH’daki sanayi sektörünün payı %16,6’dır (TÜİK, 2017). Bu oranla hizmetlerden sonra GSYH’daki en yüksek paya sahip olan sanayi sektörü büyümenin

sürükleyici unsurlarından biri durumundadır⁵. UEVEP' e göre 2015 yılında sanayi sektörünün nihai enerji tüketimindeki payı %32,4 ve net elektrik tüketimindeki payı ise %47,6'dır (Resmi Gazete, 2018). Bu da Türkiye'de sanayi sektörünün Türkiye'nin enerji tüketiminde önemli yer tutan bir sektör olduğuna işaret etmektedir.

Şekil 3. Yıllara Göre İmalat Sanayii Enerji Tüketimleri



Kaynak: YEGM (2017, s.20)

Şekil 3'de de görülebileceği üzere Türkiye'de imalat sanayiindeki enerji tüketimi yıllara sari olarak artış gösterme eğilimindedir. Türkiye'nin hem gelişmiş ülkelere kıyasla enerji yoğun bir ülke olması hem de artma eğiliminde olan enerji talebi, sanayide enerji verimliliği çalışmalarına verilen önemi etkileyen unsurlar arasındadır.

Türkiye'de sanayide enerji verimliliği çalışmaları, 1981 yılında ilk olarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi bünyesinde bir birim olarak kurulan, daha sonra 1993 yılında Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi (UETM)'ne dönüştürülen yapı tarafından yürütülmüştür (Kavak, 2005, s.73). Daha sonra UETM içinde yapılan Sanayide Enerji Verimliliği Şubesi, sanayide enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapmıştır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün kapatılmasının ardından enerji verimliliği ile ilgili görevler Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM)'ne geçmiştir. YEGM, Verimlilik Artırıcı Proje (VAP) ve Gönüllü Anlaşmalar gibi çeşitli destek mekanizmaları ile sanayiye enerji verimliliğine teşvik etmek başta olmak üzere sanayide enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik birçok çalışma yürütmektedir.

Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik kapsamında yıllık toplam enerji tüketimi 1000 TEP ve üzerinde olan sanayi

⁵ İmalat sektörünü %11,4 ile toptan ve perakende ticaret ve %8,6 ile inşaat sektörü izlemiştir.

kuruluşlarına bazı sorumluluklar yüklenmiştir. Söz konusu sanayi kuruluşlarında enerji yöneticisi sertifikasına sahip bir çalışanın enerji yöneticisi olarak görevlendirilmesi bu yükümlülüklerden biridir (Resmi Gazete, 27.10.2011). Sanayi kuruluşları için diğer bazı yükümlülükler ise şöyledir;

- Enerji verimliliğini artırıcı önlemleri almak.
- Enerji tasarrufu etütlerini yapmak.
- Enerji tasarrufu planlarını hazırlamak.
- Spesifik enerji tüketimlerini izlemek.
- Fabrikada enerji yönetimi sistemlerini oluşturmak.

Enerji yöneticisi: Enerji yönetimi ile ilgili faaliyetleri yerine getirmekle sorumlu ve enerji yöneticisi sertifikasına sahip kişidir (Resmi Gazete, 2011).

Yukarı bahsi geçen yasal düzenlemelerin ardından 2013 yılında Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi standardı kabul edilmiştir. Standardın detayları ayrı bir başlık altında incelenecektir. Enerji verimliliği ile ilgili en son politika belgesi olan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nda (2018) sanayide enerji verimliliğine yönelik yedi adet eylem tanımlanmıştır (Resmi Gazete, 2018).

Tüm bu düzenlemelerin ötesinde enerji verimliliğine daha mikro ölçekte bakmak gerekirse, sanayi işletmelerinin en önemli maliyet kalemlerinden biri enerji maliyetleridir. Firmaların küresel ve yerel rekabet koşullarında ayakta kalabilmeleri için maliyetlerini düşürmeleri elzemdir. Türkiye'deki endüstriyel alt sektörlerinin önemli bir bölümünü demir-çelik, taş ve toprağa dayalı sanayi (çimento, seramik, cam vb.) gibi enerji yoğun sektörler oluşturmaktadır. Bu sektörlerdeki enerji maliyetlerinin toplam üretim maliyetleri içindeki payı %20 ila %50 mertebesinde (Keskin ve Ünlü, 2010).

Ciddi bir maliyet olan enerjinin verimli kullanılabilmesi noktasında sanayi işletmeleri önemli bir potansiyel barındırmaktadır. Enerji verimliliği yatırımları işletmelere ciddi maliyet avantajı sağlayabilmektedir. Söz konusu enerji verimliliği projeleri belirli şartlar dahilinde devlet kurumları tarafından da belli bir orana kadar sübvans edilebilmektedir. İzleyen bölümde enerji verimliliği projeleri kavramsal boyutta incelenmektedir.

1.2.4. Sanayide enerji verimliliği projeleri

Sanayi işletmelerinde enerji yoğunluğunu düşürecek, diğer bir ifadeyle enerji verimliliğinin artırılması yönünde alınacak her tedbir enerji verimliliği projesi olarak tanımlanabilmektedir. İşletmeler genellikle enerji etüdü yaptırarak bu projeleri, projelerin

maliyetlerini, geri ödeme sürelerini, sağlanacak enerji tasarruf miktarlarını tespit edebilirler. Enerji verimliliği etüdünü firmalar kendi bünyelerindeki enerji yönetim biriminden, enerji yöneticisinden ve/veya dışarıdan Enerji Verimliliği Danışmanlık (EVD) şirketlerinden destek alarak yaptırabilirler. Söz konusu kavramların daha iyi anlaşılması için aşağıda bu kavramlar kısaca açıklanmaktadır.

Enerji etüdü: Enerji Verimliliği Kanunu'nda etüt kavramı enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik imkânların ortaya çıkarılması için yapılan ve bilgi toplama, ölçüm, değerlendirme ve raporlama aşamalarından oluşan çalışmalar olarak tanımlanmıştır (Resmi Gazete, 2007). Enerji etüdü, etüde tabi tutulan sanayi kuruluşunun veya binanın anlık enerji verimliliği tasarruf potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu potansiyellerin hayata geçirilip tasarruf sağlanması için yatırıma dönüşmesi gerekmektedir. Genel olarak bir enerji etüt raporu enerji verimliliği projelerine ilişkin sağlanması planlanan enerji tasarruf miktarı, CO₂ emisyonu azalma oranı, yatırım maliyeti, geri ödeme süresi gibi bilgiler içermektedir (YEGM, 2018)⁶.

Enerji verimliliği danışmanlık şirketi: Türkiye'deki EVD şirketlerinin, dünyada yaygın olan ESCO'lardan (Energy Service Company) farklı bir işlevi vardır (Katsigris, 2016). ESCO'lar hazırlanan enerji verimliliği projelerinin finansmanını da sağlarlar. Türkiye'deki EVD şirketlerinin böyle bir fonksiyonu bulunmamaktadır. Türkiye'de faaliyet gösteren EVD şirketleri genel itibarıyla eğitim, enerji etüdü, danışmanlık, proje hazırlama ve uygulama faaliyetlerini yürüten kurum ve kuruluşlardır. Bu kurumların söz konusu faaliyetleri gerçekleştirmek için YEGM'den yetki belgesi alma zorunluluğu bulunmaktadır. Sanayi sektöründe yetki belgesine sahip 14 adet EVD şirketi bulunmaktadır (YEGM, 2018)⁷.

1.3. ENERJİ YÖNETİMİ

Artan çevre bilinci ve enerji maliyetleri gibi sebeplerle enerjinin nasıl daha verimli kullanılabilirliğine yönelik araştırmalar artmıştır. Bu araştırmaların ilk işaret ettiği kavram ise enerji yönetimidir. Enerji yönetimi, sanayide enerji verimliliğinin artırılması kavramı ile ayrı düşünülemez. Enerji yönetimi literatürde birçok farklı şekilde tanımlanmıştır. Lee ve

⁶ Örnek Sanayi Enerji Verimliliği Etüdü Raporu Formatı şu adresten görülebilir:
http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/document/Ornek_Sanayi_Etut_Formati.doc

⁷ Sanayide yetkilendirilmiş EVD listesi. Şu adresten görülebilir:
http://www.eie.gov.tr/verimlilik/y_yetki_b_a_d_sirketler.aspx

diğerleri (2011) enerji yönetimini, enerji kullanımının optimizasyonu olarak tanımlamıştır. Diğer bir tanım ise, karları maksimize etmek ve rekabet konumlarını artırmak için, enerjiyi akılcı ve etkin kullanmak şeklindedir (Hepbaşı, 2010, s.8).

Enerji yönetimi, sanayi kuruluşunun enerji performansını sürekli iyileştirmek ve sağlanan bu iyileştirmeleri sürdürmek amacıyla enerjiye sistematik olarak dikkat edilmesi anlamına gelmektedir (“Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması İçin Pratik Rehber”, 2014, s.3). Enerji yönetimi, şirketlerin verimliliklerini ve ürünlerinin kalitesini artırmalarına yardımcı olmaktadır (Doty, S., ve Turner, W. C., 2013, s.5).

Enerji yönetimi sadece sanayi kuruluşları için değil bina ve ulaşım sektörü için de önemli bir kavramdır. Kurumlar enerjilerini verimli bir şekilde yöneterek ciddi tasarruf imkanları yakalayabilmektedir. Kuruluşların yatırım maliyetlerine bağlı olarak sağlayabilecekleri ortalama tasarruf miktarları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Dünyada Enerji Yönetimi Sayesinde Beklenen Tasarruf Oranları

Yatırım Maliyeti	Geri Ödeme Süresi	Sağlayacağı Tasarruf Oranı
Düşük Maliyetli	1 -2 yıl	% 5 - 15
Ortalama Maliyetli	3 - 5 yıl	% 15 - 30
Yüksek Maliyetli	5 yıldan fazla	% 30 - 50

Kaynak: Doty ve Turner (2013, s.5)

Tablo 2’de de görüldüğü üzere enerji yönetimi işletmeler için kısa dönemde ayakta kalabilmeleri ve uzun dönemde ise başarıları için kritik bir etkidir. Enerji yönetiminin tek getirisi elbette ki düşen enerji maliyetleri değildir. Daha sonraki bölümlerde enerji dışı faydaların neler olduğu açıklanmaktadır. İzleyen bölümde ise etkin ve sürdürülebilir bir enerji yönetimi için olmazsa olmaz bir kavram olan Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) irdelenmektedir.

1.3.1. Enerji Yönetim Sistemi (EnYS)

Enerji Yönetim Sistemi (EnYS), sürdürülebilir enerji iyileşmeleri için sistematik ve sürekli bir yaklaşımdır (Javied vd., 2015, s.157). EnYS’nin kısa tanımı ise enerji verimliliğinin sürekli hale getirilmesidir. Bu da sürekli iyileştirme için Planla – Uygula – Kontrol Et – Önlem Al (PUKÖ) şeklindeki Deming döngüsünü enerji yönetimi için esas alan sistematik bir yaklaşım benimsenerek sağlanabilir (UNIDO, 2014, s.3).

EnYS, ISO 50001 kalite sistemini esas alan bir yönetim sistemidir. Fakat, EnYS uygulayan her kuruluş ISO 50001 kalite sertifikasına sahip değildir, bunun tersi de doğrudur. ISO 50001 kalite sertifikasına sahip olan her kuruluşun EnYS'ni hakkıyla uyguladığı sonucunu çıkarmak yanıltıcı olabilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmanın kapsamında EnYS, ISO 50001 kalite standardını esas alarak yapılandırılmış ve uygulandığı kuruma sürdürülebilir bir enerji yönetimi sağlayan ve ISO 50001 standardını da kapsayan bir kavram olarak ele alınmaktadır.

EnYS ile hem sanayi işletmelerinde hem de konutlarda yatırım maliyeti ile orantılı olarak önemli derecede enerji ve maliyet avantajı sağlanabilmektedir. EnYS, bir sanayi kuruluşunda anlık uygulanabilecek bir kavram değildir. Enerji verimliliğinin sürdürülebilir hale gelmesi ve bir kültür olarak işletmeye yayılabilmesi için bir sistemin oluşması ve bu sistemin tüm işletme çalışanları tarafından özümsemişi gerekmektedir.

Bir sanayi kuruluşunda EnYS'nin kurulma süresi işletmenin büyüklüğü, üst yönetimin taahhüdü, değişime olan direnç gibi konulara bağlı olarak kabaca 6 ila 9 aylık bir periyodu kapsamaktadır. Sistemin oluşturulması sürecinde tüm işletmedeki kişilerin belli görevleri bulunmaktadır. Fakat, uygulama kısmındaki en önemli görev daha önceki bölümde kısaca bahsedilen enerji yöneticisi ve enerji yönetim birimidir. Enerji yöneticisi, üst yönetim ile diğer birimler arasında köprü vazifesi görmektedir. Buradaki önemli başarı kriteri, üst yönetimin enerji yönetimi konusundaki taahhüdü ve enerji yöneticisine sağladığı hareket kabiliyeti olarak gösterilmektedir. Üst yönetimin çalışanlar dahil tüm kaynakları ile enerji yöneticisini desteklemesi, sistemin kalitesini ve uygulama hızını artırabilen önemli kriterlerdendir (Hepbaşlı, 2010, s.104).

EnYS'nin kuruluşlara sağladığı faydalar konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Thollander ve diğerleri (2007)'e göre enerji verimliliği programlarının uygulanması ile enerji performansında %16 ila %40'lık bir iyileşme sağlanabilmektedir. Bu iyileşmenin tüm EnYS uygulayan sanayi kuruluşlarında aynı oranda gerçekleşmesi gibi bir durum söz konusu değildir. Örneğin, Bonacina ve diğerlerinin EnYS uygulayan firmalarla yapmış olduğu anket çalışmasının sonuçlarına göre, ankete katılan 65 firmadan EnYS'ni nispeten kısa vadede uygulayan firmaların %5'in üzerinde enerji tasarrufu sağladıkları gözlenmiştir (2015). Bu konudaki diğer bir görüş ise enerji yönetimi uygulayan sanayi kuruluşlarının toplam enerji tüketimlerinde %40'a kadar tasarruf sağlanabileceği yönündedir (Caffal, 1995).

Elde edilen enerji tasarruf oranı sistemin ne ölçüde uygulandığına da bağlı olarak değişebilmektedir. Ateş ve Durakbaşı (2012) demir-çelik, kağıt, seramik ve tekstil sektörlerinde yürüttükleri vaka çalışmalarında sanayi kuruluşlarının sadece %22'sinde enerji yönetim prensiplerinin uygulandığını gözlemlemişlerdir. Bu konudaki diğer bir benzer çalışma ise Thollander ve Ottosson (2010)'un İsveç'teki dökümhaneler ve kağıt üreticileri ile yaptığı çalışmadır. Bu sektörlerde enerji yönetim prensiplerini uygulama oranı sırası ile %25 ve %40 oranındadır. Jovanovic ve diğerlerinin (2017) Sırbistan için yapmış olduğu benzer çalışmada bu oran %59 olarak kaydedilmiştir.

EnYS'den sağlanabilecek tasarruf oranını belirleyen birçok parametre olabilir. Bu parametrelere örnek olarak sanayi kuruluşunun ait olduğu sektör, büyüklüğü, konumu, makine parkının teknolojik düzeyi, EnYS prensiplerini uygulama oranı ve başarısı gibi faktörler verilebilir. Kısaca, EnYS'nin başarısı sistemin doğru uygulanması ve sürekliliğine paralel olarak değişebilmektedir.

1.3.2. ISO 50001- Enerji Yönetim Sistemleri Standardı

Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (United Nations Industrial Development Organization-UNIDO) kalkınmakta olan ülkelerde ve geçiş ekonomilerinde sürdürülebilir endüstriyel kalkınmayı desteklemesi amacı ile kurulmuş olan bir Birleşmiş Milletler ajansıdır. UNIDO'nun, Endüstriyel Enerji Verimliliği (IEE) programı ile sanayide enerji verimliliğinin iyileştirilmesine yönelik çalışmaları bulunmaktadır. Bu kapsamda UNIDO, EnYS ve standartları konularında çeşitli yapılandırma çalışmaları yürütmektedir. EnYS'nin standartlaştırılmasında UNIDO'nun talebi etkili olmuş ve ISO (Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu) bünyesinde 2008 yılında enerji yönetim komitesi kurulmuştur.

ISO, uluslararası standartlar geliştirip yayınlayan ve 162 ulusal standart kuruluşunun dünya çapında federasyonu olarak kabul edilen bir kuruluştur (ISO, 2018). Enerji Yönetim Sistemleri Standardı'nın (ISO 50001'in) amacı kuruluşların enerji performanslarını iyileştirmesi için sistem ve proseslerin oluşturulmasını standartlaştırmaktır (ISO 50001, 2011). Enerji verimliliği potansiyelini sistematik bir şekilde kullanarak enerji maliyetlerini ve karbon salımlarını azaltmayı amaçlayan ISO 50001, stratejik enerji hedefleri belirleyerek bunları eylem planları ile operasyonel hale getirmek için yönlendirmektedir (Franz vd., 2017).

ISO 50001 standardı hammadde tedarikinden nihai ürün aşamasına kadar geçen tüm proseslerde enerjinin verimli kullanılmasını esas almaktadır. Standart sadece sanayi kuruluşları için değil, aynı zamanda binalar için de enerji verimliliği konusunda bir rehber niteliğindedir. Standart, bir önceki bölümde de kısaca bahsedildiği üzere PUKÖ çevrimini kullanmaktadır. Bir sanayi kuruluşunun azalan enerji maliyetleri dışında ISO 50001 belgesine sahip olmasının getirdiği birtakım avantajlar bulunmaktadır. Belgeye sahip olması o kurumun çevre dostu olduğu imajı için basit bir kanıt olarak değerlendirilebilir. Bu sayede kurumun marka değerine pozitif bir etki yapılabilir.

ISO 50001 belgesinin yaygınlaştırılması ve doğru uygulanması konusunda devletin sağlayacağı teşvik mekanizmaları Türkiye'nin enerji yoğunluğunu azaltarak enerji verimliliğini artırma hedefi için hızlandırıcı bir etkiye sahip olabilecektir. ISO 50001 belgesine sahip olan kuruluşlara vergi avantajı sağlanması bahsi geçen teşviklere bir örnek olabilir.

1.3.3. Enerji Dışı Faydalar

Bir sanayi kuruluşunda yapılan etüt sonucu ortaya çıkan enerji verimliliği projelerinin beklenen etkisi, enerji ve karbon salımından tasarruf edilmesidir. Fakat çoğunlukla enerji verimliliği projelerinin ikincil etkilerinin değeri birincil sonuçlara göre daha yüksektir (Gudbjerg vd., 2014). Bu ikincil etkiler Enerji Dışı Faydalar (Non-Energy Benefits – NEBs) olarak adlandırılmaktadır. Bir sanayi kuruluşundaki 1000 saat ömürlü halojen ampuller 25000 saat ömürlü LED aydınlatmalar ile değiştirildiğinde elde edilen enerji tasarrufunun yanısıra bakım, satın alma ve montaj maliyetlerinden sağlanacak olan tasarruflar Enerji Dışı Faydalar'a örnek olarak verilebilir (Gudbjerg, 2017).

Yukarıda paylaşılan örnek dışında enerji verimliliği projelerinden Enerji Dışı Faydalar kapsamına giren birçok ikincil fayda sağlanmaktadır. Worrel ve diğerleri endüstriyel verimlilik faydalarına odaklanan vaka incelemelerine göre Enerji Dışı Faydalar için 5 ana kategori belirlemişlerdir (2003). Bu kategorilerin dışında diğer başlığı altında bir kategori daha ekleyerek Enerji Dışı Faydaları toplam 6 kategoriye ayırmışlardır.

Tablo 3. Enerji Verimliliği Uygulamalarından Sağlanan Enerji Dışı Faydalar

Atık	Emisyon	Operasyon ve Bakım
Atık yakıt, ısı ve gaz kullanımı	CO, CO ₂ , NO _x , Sox emisyonlarının azalması	Mühendislik kontrolleri ihtiyacının azalması
Ürün atığının azalması		Düşük soğutma gerekliliği
Atık suyun azalması		Tesis güvenliğinin artması
Tehlikeli atıkların azalması		Ekipman ve makinelerdeki aşınma ve yıpranmanın azalması
Malzeme kullanımının azalması		İşgücü gereksinimlerinin azalması
Üretim	İş Çevresi	Diğer
Artan ürün çıktı ve getirileri	Azalan kişisel koruyucu ekipman ihtiyacı	Azalan yükümlülük
Artan ekipman performansı	Gelişmiş aydınlatma	Gelişmiş firma imajı
Azalan işlem çevrim süreleri	Azalan ses seviyesi	Azalan sermaye harcamaları
Artan ürün kalitesi	Gelişmiş ses seviyesi	Ek alan
Artan üretim güvenliği	Gelişmiş hava kalitesi	Artan çalışan morali

Kaynak: Ruth vd. (2003, s.1083)

Bu konuda yapılan bir diğer çalışma ise Hall ve Roth (2003)'ün 74 görüşme ile gerçekleştirdikleri Enerji Dışı Faydalar araştırmasıdır. Araştırmaya dahil edilen ve görüşmeye katılan katılımcılar tarafından verilen cevaplar ışığında sağlanan faydaların önem sıralarına göre listesi aşağıda paylaşılmaktadır (Hall ve Roth, 2003, s. 700)

1. Bakım maliyetleri
2. Çalışan tatmini ve morali
3. Ekipman ömrü
4. Atık üretimi
5. Verimlilik Enerji dışı operasyon maliyeti
6. Satış
7. Personel ihtiyaçları
8. İncinme ve hastalıklar
9. Hata oranları

Yukarıdaki örneklerden de görülebileceği üzere, enerji verimliliği projelerin sağladıkları enerji tasarrufu dışında da birçok pozitif ikincil faydaları da bulunmaktadır. Türkiye enerji konusunda dışa bağımlılığı yüksek olan bir ülkedir. Taahhüt ettiğimiz tasarruf oranları, tüketilen enerjinin çevreye olan etkisi, enerji maliyetleri gibi kavramları göz önünde bulundurduğumuzda tasarruf edilen her bir TEP enerjinin faydası göz ardı edilemeyecek bir ve hatta birden çok etkiye sahiptir. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda birbirinden ayrı düşünölemeyecek iki kavram olan enerji verimliliği ve enerji yönetimin gün geçtikçe önem kazanması kaçınılmaz bir gerçektir. İzleyen bölümde Etkinlik (efficiency) Analizi yöntemleri tartışılarak enerji verimliliği konusunda yapılmış çalışmalara yönelik literatür irdelenmektedir.

2. BÖLÜM

ENERJİ VERİMLİLİĞİNDE ETKİNLİK ANALİZİ

Çalışmanın birinci bölümünde, sanayi kuruluşlarına etkin enerji yönetim ilkeleri ile bir sistem yaklaşımı sunan EnYS ve onun ayrılmaz bir parçası olan enerji verimliliği konusunun önemi irdelenmekte bu konudaki yasal düzenlemeler açıklanmaktadır.

Son yıllarda enerji verimliliği konusundaki önemiyetinin giderek artması sebebi ile bu konuda yapılacak olan tüm yatırımların ve atılacak olan tüm adımların maksimum faydayı sağlayacak şekilde planlanması gerekmektedir. Sanayi kuruluşları için enerji verimliliği konusunda en etkin yöntem olarak görülen EnYS'nin etkinliğinin analiz edilmesi bu konudaki atılacak olan adımlara ışık tutması ve yol göstermesi açısından önemlidir. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde etkinlik analiz yöntemlerinden ve enerji verimliliği konusunda literatürde öne çıkan çalışmalardan bahsedilmektedir.

2.1. ETKİNLİK ANALİZİ

Etkinlik ve verimlilik birbiri ile çok karıştırılan ve zaman zaman birbiri yerine kullanılan iki kavramdır. Bir sanayi kuruluşu açısından verimlilik, elde bulunan kaynaklardan maksimum çıktının sağlanması, etkililik ise, üretim girdilerinin hedefler doğrultusunda ne denli etkin kullanıldığını gösteren bir değerdir. Bu değer her zaman girdi değerlerine odaklanmamaktadır. Bir sanayi kuruluşu için etkinlik değeri üretim çıktılarının ne oranda girdi kullanılarak elde edildiğini de gösterebilmektedir. Diğer bir ifade ile etkinlik analizi, girdi odaklı veya çıktı odaklı olarak iki farklı perspektifle değerlendirilebilir.

Etkinlik analizi yöntemleri temelde oran analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemler olarak üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Oran Analizi

Yöntemlerden ilki olan oran analizi; performans ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan en basit yöntemdir. Oran analizini en genel ifade ile tek bir girdi ile bir çıktının birbirine

oranlanması olarak tanımlamak mümkündür. Her yöntemin olduğu gibi oran analizinin de avantajları ve dezavantajları vardır. Uygulaması kolay bir yöntem olmasına rağmen birden fazla girdi veya çıktı olması durumunda oran analizi etkinlik değerlendirmede yetersiz kalabilmektedir. Birden fazla girdi veya çıktı olması durumunda etkinlik analizi için birçok oran elde edilmektedir. Bu oranların topluca değerlendirilmesi hem zor hem de yanıltıcı olabilmektedir.

Parametrik Yöntemler

Parametrik yöntemler, etkinlik analizi yapılacak olan girdi ve çıktılar arasında fonksiyonel bir ilişki bulunduğu ve bu fonksiyonun analitik bir yapıda olduğu varsayımına dayanmaktadır. Analiz ile bu fonksiyonun parametreleri belirlenmektedir. Diğer bir ifade ile parametrik yöntem, aralarında neden-sonuç ilişkisi olduğu varsayılan girdi ve çıktıların, yani bağımlı ve bağımsız değişkenlerin arasındaki ilişkinin yapısını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. En çok tercih edilen parametrik yöntem ise regresyon analizidir. Bu yöntemde de birden çok girdi veya çıktı olması durumunda çoklu regresyon analizi kullanılacağından burada karşılaşılabilecek olumsuzluklar etkinlik analizi için de geçerli olacaktır. Parametrik yöntemler arasında yer alan diğer bir uygulama ise Stokastik Sınır Analizi'dir. 1977 yılında Aigner ve diğerleri, tarafından geliştirilen yöntem sadece teknik etkinsizliği değil ayrıca üreticinin kontrolü dışında gelişen ve çıktıları etkileyebilecek rastgele durumları da dikkate almaktadır.

Parametrik Olmayan Yöntemler

Parametrik olmayan yöntemlerle yapılan etkinlik analizi; yalnızca etkin ve etkin olmayan girdi ve çıktıları değil, aynı zamanda etkinlik sınırına olan uzaklığın doğrusal programlama tabanlı yöntemlerle ölçülmesine de olanak vermektedir. Parametrik olmayan yöntemlerden en yaygın kullanılanı ise Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemidir. Çalışmanın analiz metodu olarak seçilen Veri Zarflama Analizi ilerleyen alt bölümde detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.1.1. Veri Zarflama Analizi

Veri Zarflama Analizi, birden fazla girdi ve/veya çıktının analiz edilmesi gereken durumlarda karar vericiye karar verme birimlerinin etkinlik skorları ve referans değerleri

ile detaylı bilgi sunan, parametrik olmayan ve matematiksel programlama tabanlı etkinlik ölçüm yöntemidir. Veri Zarflama Analizi'nde farklı birimlerdeki girdi ve çıktıların bir arada analiz edilebilmesi, yöntemin kapsayıcılığını artıran bir özelliktir. Karar verme birimleri birbirini ile benzer girdi ve çıktı değerlerine sahip olan bankalar, okullar, hastaneler, kütüphaneler ve fabrikalar gibi hem kâr amacı güden hem de kar amacı gütmeyen kuruluşlar olabilir (Cooper vd., 2006).

Veri Zarflama Analizi'nin temelleri, 1957 yılında Farrell'in "The Measurement of Productive Efficiency" adlı makalesinde yer alan ve literatürde ilk defa ele alınan "üretim sınırı" kavramı ile atılmıştır. Daha sonra Farrell'in makalesini referans alarak 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından yayınlanan makalede, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki okulların etkinliklerinin hesaplanması için ilk defa Veri Zarflama Analizi kullanılmıştır. Makalede etkinlik analizi için kullanılan Veri Zarflama Analizi, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı ile uygulanmış ve yönteme yazarların soy isimlerinin baş harfleri kısaltılarak CCR modeli adı verilmiştir (Charnes vd., 1978).

Banker, Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında yayınlanan diğer makalede ise ölçeğe göre değişken getiri varsayımı kullanılarak Veri Zarflama Analizi'nin diğer bir temel modeli olan BCC modeli literatüre girmiştir. Bu iki temel model ile yapılan etkinlik analizi hem girdi hem de çıktı odaklı olarak modellene bilmektedir. Girdi odaklı modellerde, çıktıları en etkin şekilde üretebilmek için en uygun girdi bileşenlerinin nasıl ve ne oranda olması gerektiği araştırılır. Çıktı odaklı modellerde ise, sabit girdilerden elde edilebilecek maksimum çıktıların oranını araştırılır. Diğer bir ifade ile modeller, belirli kısıtlar altında amaç fonksiyonun maksimizasyonunu veya minimizasyonunu hedefler.

Veri Zarflama Analizi'nin diğer bir artısı ise, etkin olmayan karar verme birimleri için etkin duruma gelme hedefleri gösterip odaklanılması gereken işlemler hakkında yol gösterebiliyor oluşudur.

Yukarıda da bahsedildiği üzere Veri Zarflama Analizi, temelde ölçeğe göre sabit getirili model olan CCR ve ölçeğe göre değişken getirili model olan BCC olarak iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Bu modeller ile oluşturulan doğrusal programlama problemi girdi odaklı veya çıktı odaklı olabileceği gibi primal (çarpan) veya dual (zarflama) model olarak formülize edilebilir. Herhangi bir doğrusal programlama problemi primal olarak tanımlanırken ikizi dual olarak adlandırılır. Dual ve primal modellerin çözümü aynı sonucu vermektedir.

Bu çalışma kapsamında ele alınan hem sanayi kuruluşlarının hem de sanayide enerji verimliliği projelerinin çıktısı olarak belirlenen enerji ve karbon tasarruf oranlarının artırılmasının, girdilerin azaltılmasına kıyasla daha kritik bir öneme sahip olduğu düşünülerek çıktı odaklı CCR modelin kullanılmasına karar verilmiştir.

2.1.1.1. Ölçeğe göre sabit getirili modeller (CCR)

Ölçeğe göre sabit getirili modelde girdideki bir birimlik değişimin, tüm karar verme birimleri için çıktıyı sabit oranda artırdığı varsayılmaktadır. Charnes ve diğerleri tarafından geliştirilen çıktı odaklı CCR modeli aşağıdaki gibidir (1978). Model 1 literatürde çarpan veya primal model olarak da bilinmektedir.

j : Karar Verme Birimi (KVB)	$j = 1, 2, \dots, n$
i : Girdiler	$i = 1, 2, \dots, m$
r : Çıktılar	$r = 1, 2, \dots, q$
e_o : (KVB) _o 'nin göreceli etkinliği,	
x_{io} : (KVB) _o 'nin i . girdisi,	x_{ij} : j . KVB'nin i . girdisi
y_{ro} : (KVB) _o 'nin r . çıktısı,	y_{rj} : j . KVB'nin r . çıktısı,
v_i : i . girdinin ağırlığı,	u_r : r . çıktının ağırlığı,

$$\text{Min } e_o = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}{\sum_{r=1}^q u_r y_{ro}} \quad (1)$$

öyle ki

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^q u_r y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, v_i \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, q; i = 1, 2, \dots, m$$

Yukarıdaki kesirli programlama setinin doğrusal programlama modeli haline getirilebilmesi için amaç fonksiyonunun paydası 1'e eşitlenerek modelin kısıtlarına eklenir. Bu doğrultuda elde edilen model 2 aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } e_0 = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^q u_r y_{r0} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^q u_r y_{rj} \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, q; i = 1, 2, \dots, m$$

Model 2'de verilmiş olan çarpan modelin dualinin alınmasıyla zarflama modeli elde edilmektedir. Çarpan ve zarflama modelinin çözümüyle elde edilecek olan etkinlik skorları aynı olmakla beraber çarpan modelin değişkenleri olan girdi ve çıktı ağırlıklarından yararlanarak virtual değerlere, zarflama modelin değişkenleri olan lamdalardan yararlanarak da etkin olmayan karar verme birimlerinin etkin hale gelebilmesi için önerilecek referans seti ve hedef değerlere ulaşılabilir. Tablo 4 ve 5'de ise girdi ve çıktı odaklı CCR çarpan ve zarflama modelleri verilmektedir.

Tablo 4. Girdi Odaklı Primal ve Dual CCR Model

Girdi Odaklı CCR Primal (çarpan) Model	Girdi Odaklı CCR Dual (zarflama) Model
<u>Amaç fonksiyonu</u>	<u>Amaç fonksiyonu</u>
$\text{Max } \sum_{r=1}^q u_r y_{r0}$	$\text{Min } \theta$
öyle ki	öyle ki
$\sum_{r=1}^q u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$	$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} \quad r = 1, \dots, q$
$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n$	$-\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + \theta x_{i0} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m$
$u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, q$	$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$
$v_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$	$\theta: \text{serbest}$

Tablo 5. Çıktı Odaklı Primal ve Dual CCR Model

Çıktı Odaklı CCR Primal Model	Çıktı Odaklı CCR Dual Model
<u>Amaç fonksiyonu</u>	<u>Amaç fonksiyonu</u>
$\text{Min} \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$	$\text{Max } \varphi$
öyle ki	öyle ki
$-\sum_{r=1}^q u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$	$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} \quad i = 1, \dots, m$
$\sum_{r=1}^q u_r y_{r0} = 1$	$-\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + \varphi y_{r0} \geq 0 \quad r = 1, \dots, q$
$u_r \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, q$	$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n$
$v_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$	$\varphi: \text{serbest}$

2.1.1.2. Süper etkinlik modeli

Veri Zarflama Analizi'nin temel iki modeli olan CCR ve BCC modelleri etkin karar verme birimlerinin etkinlik değerlerini 1 bulurken, etkin olmayan karar verme birimlerini modelin yönelimine göre 1'den küçük (girdi odaklı) veya 1'den büyük (çıktı odaklı) değerler belirlemektedir. Fakat bu modeller etkin olan karar verme birimleri arasında bir sıralama yapmamaktadır.

Söz konusu ihtiyacı karşılamak üzere Andersen ve Peterson (1993) etkin olan karar verme birimleri arasında karşılaştırma yoluyla sıralama yapmaya imkan tanıyan süper etkinlik modelini literatüre kazandırmıştır. Değerlendirilen karar verme biriminin referans setinden çıkarılmasıyla elde edilen veri zarflama modeli süper etkinlik modeli olarak adlandırılır (Zhu, 2014). Süper etkinlik modeli değerlendirilen karar verme birimlerini diğer birimlerin doğrusal kombinasyonlarıyla karşılaştırmaktadır. En yüksek etkinlik değerine sahip birim birinci sırada olmak üzere tüm birimler süper etkinlik skorlarına göre sıralanmaktadır.

Çıktı odaklı CCR süper etkinlik modeli model 3'de gösterilmektedir.

$$\max \varphi^{super}$$

öyle ki

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - \varphi^{super} y_{r0} \geq 0 \quad r = 1, \dots, q$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad j \neq 0$$

Girdi odaklı CCR süper etkinlik modeli ise model 4'de gösterilmektedir.

$$\min \theta^{super}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - \theta^{super} x_{i0} \leq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} \quad r = 1, \dots, q$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad j \neq 0$$

2.2. LİTERATÜR TARAMASI

Veri Zarflama Analizi çok çeşitli konulardaki etkinlik analizleri için uygulanabildiği gibi enerji ve çevre konularında da çok tercih edilen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde enerji ve çevre konularında yapılan etkinlik analizlerinden sanayi kuruluşlarına kadar geniş bir yelpazede uygulamalarla karşılaşılmaktadır. Bu bölümde literatürdeki bazı çalışmalara yer verilmektedir.

Enerji sektörü üzerine yapılan birçok yayın analiz yöntemi olarak Yöneylem Araştırması tekniklerini tercih etmiştir (Atıcı ve Ulucan, 2009). Literatürde Enerji ve çevre konularında etkinlik analiz yöntemi olarak Veri Zarflama Analizi'nin tercih edildiği çalışmalar son yıllarda belirgin bir artış göstermiştir (Zhou vd., 2008).

Hem makro hem de mikro düzeyde yapılan enerji verimliliği değerlendirmelerinde, Veri Zarflama Analizi çok kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. 2006 ve 2015 yılları arasında enerji verimliliği konusundaki yüksek puanlı 45 dergide yayınlanan 144 makalenin değerlendirildiği bir çalışmada, Veri Zarflama Analizi modellerinin enerji verimliliği konusunda iyi bir değerlendirme aracı olduğu sonucuna varılmıştır (Mardani vd., 2017).

Zhou ve diğerleri (2008) literatürde enerji ve çevre konularında yapılan ve analiz yöntemi olarak Veri Zarflama Analizi kullanılan 100 adet çalışmanın uygulama alanlarını dört ana gruba ayırmıştır. Bu kategoriler ise elektrik üretim ve dağıtım birimlerinin performansı, çevresel performans ölçümü, enerji verimliliği ölçümü ve izlemesi ve son olarak enerji alt sektörlerinin üretim etkinliğidir. Çalışmaların en çok yoğunlaştığı grubun elektrik üretim ve dağıtım birimlerinin performansı olduğu belirtilmiştir (Zhou vd., 2008).

Enerji verimliliğinin ölçülmesi küresel farkındalığın artması ile beraber giderek gelişen bir alan olarak literatürde yerini almaktadır. Sueyoshi ve diğerlerinin 1980 ve 2010 yılları arasında enerji ve çevre konularında Veri Zarflama Analizi (VZA) uygulayan 693 makaleyi kapsayan literatür taraması çalışmalarında, enerji verimliliği ve enerji tasarrufu konularında 140 adet çalışma olduğu tespit edilmiştir (2017). Enerji verimliliği ve enerji tasarrufu konularındaki 140 çalışmanın çoğunun özellikle 2000'li yıllardan sonra yapılmış olması çalışmanın bir diğer önemli bulgusudur.

Bölgesel veya ülkelerin enerji performansını ölçen makro düzeydeki çalışmalarda sermaye birikimi, işgücü ve enerji tüketimi girdi olarak, gayri safi milli hasıla ise çıktı olarak kullanılmaktadır (Ulucan ve Atıcı, 2010).

Zhang ve diğerleri, (2011) 23 gelişmiş ülkenin 1980 ve 2005 yılları arasındaki toplam faktör enerji verimliliğini ölçmüştür. Cui ve diğerleri, (2014) ise 2008 ve 2012 yılları arasında 9 ülkenin enerji verimliliğini analiz ettikleri çalışmalarında, teknoloji endeksleri ve yönetimin enerji verimliliği için en önemli faktörler olduğu sonucuna varmışlardır.

Makridou ve diğerleri, (2016) 23 Avrupa Birliği ülkesinde 2000-2009 dönemine ait beş enerji yoğun sektörün enerji verimliliği eğilimini değerlendirmişlerdir. Jebali ve diğerleri (2017), 24 Akdeniz ülkesinin 2009-2012 yılları arasındaki enerji verimliliğini VZA ile değerlendirmiştir.

Bu çalışmalar; literatürde karşılaşılan makro ölçekli, uygulama alanı enerji verimliliği olarak seçilen ve analiz yöntemi olarak VZA'nın belirlendiği makalelere örnek olarak verilebilir.

Literatürde, VZA kullanılarak gerçekleştirilen enerji verimliliği etkinlik analizi yapılan çalışmalarda, Çin'in uygulama alanı olarak en çok seçilen ülke olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak aşağıdaki makaleler verilebilir.

Wang ve diğerleri, (2013) Çin'deki 22 bölgeyi enerji ve emisyon verimliliği açısından değerlendirmişlerdir. Hu ve Wang (2006), 1995 ve 2002 yılları arasında Çin'deki 29 idari bölgenin toplam faktör enerji verimliliğini analiz etmişlerdir. Shi ve diğerleri, (2010) Çin'deki 28 idari bölgeyi endüstriyel enerji verimliliği açısından incelemişlerdir. Wu ve diğerleri, (2014) Çin'deki 30 farklı bölgenin 2006 ve 2009 yılları arasındaki verimlilik değişimlerini belirlemek için enerji verimliliğini ölçmüşlerdir.

Wu ve diğerleri, (2016) Çin'in endüstriyel sektörlerindeki enerji verimsizliğinin araştırılması için ayrıştırma modeli sunarak enerji verimliliğini değerlendirmişlerdir. Wei ve diğerleri, (2007) 1994 ve 2003 yılları arasında Çin'deki demir-çelik sektörünün enerji verimliliğini araştırmışlardır. Çalışmanın önemli bir bulgusu ise söz konusu yıllar arasında demir-çelik sektörünün enerji verimliliğinin %60 artışı ve bunun temel sebebinin teknik verimlilik artışından ziyade teknik ilerlemeye bağlı olduğudur. Son olarak, 1997 ve 2008 yılları arasında kapsayan ve Çin'deki 28 il için yapılan endüstriyel sektörlerin enerji verimliliği performans etkinliğinin değerlendirildiği çalışmada, enerji tüketiminin yıllık %18,4 oranında azaltılabileceği sonucu çıkarılmıştır (Wu, vd., 2012).

Meng ve diğerleri, (2016) 2006-2015 yılları arasında Çin'in bölgesel ve enerji ve karbon emisyon verimliliğini VZA kullanarak ölçen çalışmaları araştırmış ve konu ile ilgili 46 makaleyi analiz etmişlerdir. Bu alanda yayınlanan makalelerin 2012 yılından itibaren ivme kazandığı ve çoğunun makro ölçekte değerlendirme yaptığı gözlenmiştir.

Özkara ve Atak (2015), 2003 ve 2012 yılları arasında Türkiye'deki 26 bölgede imalat sanayiinin verimlilik ve toplam faktör enerji verimliliği puanlarını 4 farklı VZA modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çalışma Türkiye özelinde makro düzeydeki çalışmalara örnek olarak verilebilir.

Enerji verimliliği konusundaki mikro ölçekteki çalışmalara örnek olarak şu makaleler verilebilir: Onut ve Soner (2006), VZA ile Antalya'daki 32 beş yıldızlı otelin göreceli enerji etkinliğini araştırmışlardır. Mandal ve Madheswaran (2011), VZA ile Hindistan'daki

çimento fabrikalarının enerji kullanım verimliliğini tahmin etmiş, daha sonra ise verimlilik puanlarını karşılaştırmışlardır.

Literatürde sanayide enerji verimliliği projeleri ile ilgili de birçok çalışma bulunmaktadır. Sanayi kuruluşlarının sürdürülebilirliklerini artırmaları için enerji verimliliği projeleri arasından seçim yapma sürecine odaklanan diğer bir çalışma ise Süße ve diğerlerine (2018) aittir. Spesifik olarak enerji verimliliği projelerinden aydınlatma projelerine yönelik olarak yapılan çalışmada ise ölçme maliyet minimizasyonu modeli önerilmiştir (Ye vd., 2013). Hehler ise (2018) enerji verimliliği projelerinden basınçlı hava projesi ve projenin getirdiği enerji dışı faydalara odaklanmaktadır.

İsveç kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinde enerji verimliliğinin artırılmasında firma karakteristikleri ve enerji yönetiminin etkisini araştırdığı diğer bir çalışma ise Lawrence ve diğerleri, (2018) tarafından yapılmıştır.

Enerji verimliliği projelerinin uygulanmasının önündeki problemlerden biri olan finansal kaynakların sınırlılığını konu olan diğer bir çalışma ise Roychaudhuri ve diğerlerine, (2017) aittir. Çalışma kapsamında bağımsız projeler arasında uygun seçim için finansal nakit akışlarını içerecek yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

Weeber ve diğerleri, (2018) sanayide enerji verimliliği önlemlerinin değerlendirilmesi için bir metodoloji önermiştir. Bu metodoloji enerji verimliliği önlemlerinin yayılma etkilerini ve sağladıkları enerji dışı faydaları ölçmeye imkan vermektedir.

Teknolojilerin proje düzeyinde karbon emisyonu azaltma verimliliğini değerlendirmek için VZA kullanan diğer bir çalışma ise Wang ve diğerlerine (2018) aittir. Aynı çalışmada politika yapıcıların enerji sektörü için düşük karbonlu kalkınma yolunu seçmeleri yönünde öneriler sunulmuştur.

Enerji Yönetim Sistemlerinin sanayi kuruluşları üzerindeki direkt faydasını araştıran çalışmalara örnek olarak şu çalışmalar verilebilir: Thollander ve diğerleri, 20117; Bonacina ve diğerleri, 2015; Caffal, 1995; Ateş ve Durakbaşı, 2012; Thollander ve Ottosson, 2010 ve Jovanovic, 2017. EnYS'nin endirekt faydasını diğer bir ifade ile enerji dışı faydalarını konu alan çalışmalara Hall ve Roth, 2003; Worrel ve diğerleri, 2003 örnek olarak verilebilir.

Çalışmanın izleyen bölümünde analize tabi tutulan sanayi kuruluşları ve sanayide enerji verimliliği projeleri ile ilgili genel bilgiler verilecek olup analiz sonuçları paylaşılmaktadır.

BÖLÜM 3

SANAYİ KURULUŞLARININ VE SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİNİN ETKİNLİK ANALİZİ

Çalışmanın daha önceki bölümlerinde enerji verimliliği ile ilgili kavramsal çerçeve açıklanmış ve daha sonra etkinlik analiz yöntemleri ve literatürde enerji verimliliği ile ilgili öne çıkan çalışmalardan bahsedilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde ise EnYS uygulayan sanayi kuruluşlarının yatırıma dönüştürdüğü enerji verimliliği projeleri iki ayrı boyutta incelenmekte ve etkinlik analiz sonuçları paylaşılmaktadır.

Bu çalışmada EnYS'nin etkinliği hem uygulayan sanayi kuruluşları açısından hem de süreç boyunca sanayi kuruluşlarının yatırıma dönüştürdüğü enerji verimliliği projeleri açısından değerlendirilmiştir. Üzerinde çalışılan problem her iki boyutta da çok çıktılı bir yapıya sahip olması sebebiyle her iki yaklaşımda da yer alan faktörler arasında fonksiyonel ilişkinin kurulmasının anlamlılığı açısından parametrik yöntemlerden çok parametrik olmayan Veri Zarflama Analizi'in uygulanması daha doğru bulunmuştur. Ayrıca, etkinliğin göreceli olarak ölçülebilmesi açısından avantaj sağlamakta, ortalama performansa değil göreceli olarak en iyi performansın analiz edilebilmesine imkan sağlamaktadır.

3.1. SANAYİ KURULUŞLARININ ETKİNLİK ANALİZİ

Çalışmanın ilk boyutunda EnYS uygulayan sanayi kuruluşları, yatırıma dönüştürdükleri enerji verimliliği projeleri açısından etkinlik analizine tabi tutulmuştur. İlerleyen bölümde ilk olarak EnYS'yi başarı ile bünyesine entegre etmiş sanayi kuruluşlarının genel özelliklerinden bahsedilecek ve daha sonra göreceli etkinlik skorları analiz edilecektir.

3.1.1. Sanayi Kuruluşlarına Dair Genel Bilgiler

Küresel Çevre Fonu (GEF) tarafından fonlanan, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ve Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO) tarafından müştereken yürütülen Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi kapsamında 140 sanayi

kuruluşuna Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) Uzman Seviye Eğitim Programı'na katılmaları için davet mektubu gönderilmiştir. Sanayi kuruluşlarına davet mektubu gönderilirken herhangi bir ölçek ve/veya sektör kriteri belirlenmemiş, bu sayede geniş bir yelpazede sanayi işletmesinin eğitime katılması amaçlanmıştır. Söz konusu 140 sanayi kuruluşundan 36'sı EnYS uzman seviye eğitimlerine katılmak istediklerini bildirmişlerdir.

9 ay süren bir eğitim periyodunun ardından 34 sanayi kuruluşu süreci başarı ile tamamlamıştır. Süreç boyunca tüm sanayi kuruluşları yerel ve uluslararası EnYS danışmanları tarafından saha ziyaretleri, eğitimler, online toplantılar ve oluşturulan bilgi paylaşım portalı (Basecamp) yoluyla yakından izlenmiştir. Bu sayede her fabrika için EnYS kurulum süreci boyunca tüm sanayi kuruluşlarına teknik destek sağlanmıştır.

9 aylık EnYS uzman seviye eğitim programını başarı ile tamamlayan sanayi kuruluşlarından sürecin sonunda bir final raporu hazırlamaları talep edilmiştir. Sanayi kuruluşlarının hazırladıkları final raporlarında aşağıdaki bilgiler yer almaktadır.

- Firma hakkında genel bilgiler
- EnYS temel parametreleri
- Süreç boyunca uygulanan enerji verimliliği projeleri ve detayları
- Sağlanan enerji dışı faydalar

Söz konusu enerji verimliliği projeleriyle ilgili fabrikalardan istenilen bilgiler aşağıdaki gibidir.

- Enerji verimliliği projesinin adı
- Projenin kazandırdığı enerji tasarrufu (TEP)
- Projenin maliyeti (TL)
- Projenin sağladığı parasal getiri (yıllık)
- Projenin sağladığı karbon emisyonu tasarrufu (ton)

TEP (Ton Eşdeğer Petrol): Enerji kaynaklarının arz ve tüketimi $m^3\text{-ft}^3$ (doğal gaz), ton (kömür, fuel-oil), varil (petrol), litre (benzin), kWh (elektrik) çok çeşitli ağırlık, hacim ve diğer ölçülerle ifade edilebilmektedir. Keza faydalı (işe dönüştürülmüş) enerji tüketimleri de kcal, joule, BTU, kWh/GWh, beygir gücü gibi çok farklı metriklerle gösterilebilmektedir. Birbirlerinden son derece farklı olabilen bu birim ve metriklerden dolayı anlamlı mukayeseler yapmak çoğu kez zorlaşmaktadır. Bu zorluğu aşabilmek için ortak bir birime dönüştürme işlemi yapılması tercih edilmektedir. Anglo-Sakson dünyada BTU

kullanılmakta ise de, IEA (International Energy Agency-Uluslararası Enerji Ajansı) tarafından daha çok toe/TEP (tonne of oil equivalent/ton eşdeğer petrol) metriği tercih edilmektedir. Enerji kaynaklarının tek birim ile ifade edilmesini sağlayan ve 10 milyon kCal karşılığı enerji birimi olan TEP, Türkiye enerji sektöründe de diğer metriklerle oranla çok daha yaygın kullanılan bir birimdir. Tüm enerji kaynaklarının TEP'e dönüşüm katsayıları 27 Ekim 2011 tarihinde Resmî Gazete'de yayınlanan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik ile belirlenmiştir (Resmi Gazete, 27.10.2011). Bu çalışmada tüm enerji birimleri TEP cinsine dönüştürülerek kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında istenen raporun dışında sanayi kuruluşlarını sınıflayabilmek için onlardan rapor dışında bazı bilgiler istenmiştir. Bu bilgiler aşağıdaki gibidir.

- Üretilen ürünler ve sektör
- Çalışan sayısı
- KOBİ (küçük ve orta ölçekli işletme) olup olmadıkları
- ISO 50001 belgesine sahip olup olmadıkları
- 2015 yılı için tüketilen toplam enerji miktarları (TEP cinsinden)

Çalışma kapsamındaki 34 sanayi kuruluşu ürettikleri ürünlere göre 8 sektöre ayrılmıştır. Sektörler ve her sektördeki fabrika sayısı Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Fabrikaların Sektörel Dağılımı

Sektörler	Fabrika Sayısı
Tekstil	7
İşlenmiş metal ürünler	6
Kimya	5
Taş ve toprağa dayalı	4
Demir-çelik	4
Makine	3
Çimento	3
Ahşap ve ahşaba dayalı	2
TOPLAM	34

Uygulama kapsamına giren sanayi kuruluşlarının sektörlerine ilişkin kapsamlar aşağıda daha detaylı açıklanmaktadır.

Tekstil sektörü: Havlu, kıyafet ve halı üreten tüm fabrikalar bu sektör kapsamında değerlendirilmiştir.

İşlenmiş metal ürünler: Beyaz eşya, kablo, tel ve kombi üretim fabrikalar bu sektör içinde değerlendirilmiştir.

Kimya sektörü: Kimya ve petro-kimya fabrikaları bu sektöre dahil edilmiştir.

Taş ve toprağa dayalı ürünler: Çimento fabrikaları ayrı bir sektör olarak değerlendirilmiş, bu sektöre dahil edilmemiştir. Cam, seramik ve alçı fabrikaları bu sektör kapsamına dahil edilmiştir.

Demir-çelik sektörü: Döküm, metal şekillendirme fabrikaları bu sektöre dahil edilmiştir.

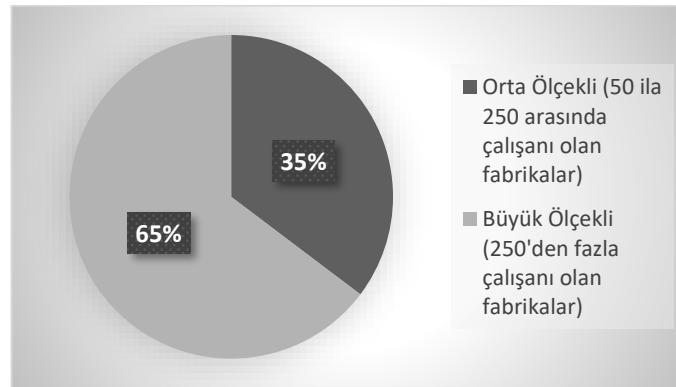
Makine sektörü: Otomotiv, otomotiv yan sanayi bu sektör kapsamında ele alınmıştır.

Çimento sektörü: Çimento fabrikaları bu sektöre dahil edilmiştir.

Ahşap ve ahşaba dayalı sektör: Mobilya ve parke fabrikaları bu sektöre dahil edilmiştir.

Sanayi kuruluşları çalışan sayılarına göre de ölçeklendirilmiştir.

Şekil 4. Fabrika Ölçekleri



Yukarıdaki şekilde de görülebileceği üzere çalışma kapsamındaki 34 sanayi kuruluşunun %35'ni temsil eden 12 sanayi kuruluşu orta ölçekli, geri kalan %65'i, diğer bir ifade ile 22 sanayi kuruluşu ise büyük ölçekli fabrikalardan oluşmaktadır.

Orta ölçekli 12 fabrikadan 6 tanesi yıllık satış geliri belli bir gelirin altında olduğu için KOBİ kapsamında yer almaktadır. Toplam 34 sanayi kuruluşunun sadece 12 tanesinin ISO 50001 belgesine sahip olduğu tespit edilmiştir. ISO 50001 belgesine sahip olan firmalar

toplamın içinde yaklaşık olarak %35'lik bir paya sahiptir. Sanayi kuruluşlarının yıllık enerji tüketimleri Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketim Aralıkları

Fabrikaların Enerji Tüketim Aralıkları (TEP)	Fabrika Sayısı
$x < 1000$	6
$1000 < x < 5000$	13
$5000 < x < 50000$	10
$x > 50000$	5

3.1.2. Sanayi Kuruluşlarının Etkinlik Analizi

Araştırma kapsamında önceki bölümlerde tanımlayıcı özellikleri açıklanan, 9 aylık EnYS eğitim sürecini başarı ile tamamlamış, EnYS'yi bünyesine entegre etmiş 34 sanayi kuruluşunun 2015 verileri kullanılmıştır. Her sanayi kuruluşunun sektörüne, ürettiği ürünün çeşitliliğine göre uyguladığı enerji verimliliği projeleri farklı enerji türlerinden tasarruf sağlamaktadır. İlk olarak standardizasyon sağlamak amacıyla tüm enerji türleri her sanayi kuruluşu için TEP cinsine çevrilerek ortak birim oluşturulmuştur. Daha sonra enerji verimliliği projelerinin maliyetleri, sağladıkları enerji ve karbon tasarrufları ve finansal getirileri her sanayi kuruluşu için ayrı ayrı hesaplanarak nihai veri setine ulaşılmıştır. Oluşturulan veri seti parametrik olmayan etkinlik analiz yöntemi olan Veri Zarflama Analizi ile değerlendirilmiştir. Analiz çıktı odaklı CCR modeli kullanılarak MS Excel uygulamasıyla yapılmıştır.

VZA uygulamasındaki kritik aşamalardan biri girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi olarak değerlendirilebilir. Sanayi kuruluşlarının etkinliklerinin değerlendirildiği bu bölümde belirlenen girdi ve çıktı değişkenleri aşağıdaki gibidir.

3.1.2.1. Girdi değişkenleri

Sanayi kuruluşları için yapılan VZA için seçilen girdi değişkenleri enerji tüketimi, proje maliyetleri ve uygulanan proje sayısı olarak belirlenmiştir.

1) Enerji tüketimi: Sanayi kuruluşları için enerji tüketimleri ne kadar enerji yoğun bir kuruluş olduğunu belirleyen önemli bir kriterdir. Enerji verimliliği konusunda yapılan

birçok VZA çalışmasında enerji tüketimi girdi değişkeni olarak kullanılan önemli bir değişkendir. Bu çalışmanın sanayi kuruluşları analizi kısmında girdi değişkenlerinden biri olarak belirlenen enerji tüketimi, sanayi kuruluşlarının 2015 yılındaki toplam enerji tüketimlerini TEP cinsinden ifade eden bir değerdir. Enerji türü ne olursa olsun sanayi kuruluşunun 2015 yılı içindeki tüm enerji türlerindeki tüketimi kapsamaktadır. Elektrik, doğal gaz, termal enerji, sıvılaştırılmış doğal gaz, petrol ve kömür söz konusu sanayi kuruluşlarında kullanılan enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir.

2) Proje maliyetleri: İkinci girdi değişkeni olarak belirlenen proje maliyetleri, sanayi kuruluşlarının beyan ettikleri tüm enerji verimliliği projelerinin firmaya olan toplam maliyetini temsil etmektedir. Bir sanayi kuruluşu için uyguladığı tüm enerji verimliliği projelerinin maliyetleri toplanarak nihai veri setine ulaşılmıştır. Tüm harcama beyanları Türk Lirası (TL) cinsindendir.

3) Uygulanan proje sayısı: Son girdi değişkeni olarak belirlenen uygulanan proje sayısı, bir sanayi kuruluşu için o dönemde toplam kaç tane enerji verimliliği projesi uygulandığını ifade etmektedir.

Uygulanan proje sayısının modelde girdi değişkeni olarak yer alması, çok sayıda proje uygulayan birimleri görece olarak dezavantajlı duruma getirebileceği sorunu akla gelebilir. Ancak, çok sayıda proje uygulayan birimlerin daha fazla finansal getiri, enerji ve karbon tasarrufu yapmasının beklenmesi olağandır. Bu durumun, etkinlik skorlarını etkilememesi için uygulanan proje sayısının da bir girdi değişkeni olarak modele eklenmesine karar verilmiştir. Bu aynı zamanda yüksek enerji tüketimine sahip karar verme birimlerin dezavantajlı konuma düşmesini engelleyebilecek bir değişken olarak da modele katkı sağlamaktadır. Enerji tüketimi çok yüksek olan ancak az proje uygulayan bir firma aynı çıktıyı daha az proje ile sağladığı için aynı enerji tüketimi büyüklüğüne sahip bir birime göre avantajlı duruma gelebilecektir ki bu da uygulanan proje sayısının bir değişken olarak modelde yer alması ile mümkündür.

3.1.2.2. Çıktı değişkenleri

Sanayi kuruluşları için yapılan VZA için seçilen çıktı değişkenleri ise; toplam tasarruf edilen enerji, projenin sağladığı toplam finansal getiri ve projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu olarak belirlenmiştir.

1) Toplam tasarruf edilen enerji: Sanayi kuruluşlarının uyguladığı enerji verimliliği projeleri yoluyla tasarruf ettiği toplam enerji miktarını temsil eder. Tasarruf edilen enerjinin türünden bağımsız olarak bütün enerji kaynaklarını kapsamaktadır. Her sanayi kuruluşu için uyguladığı tüm enerji verimliliği projesinden elde ettiği toplam enerji tasarruf miktarları toplanarak nihai veri setine ulaşılmıştır. Beyan edilen tüm enerji birimleri ortak birim olan TEP'e çevrilerek toplanmıştır.

2) Projenin sağladığı toplam finansal getiri: Her enerji verimliliği projenin kazandırdığı enerji tasarrufu farklı enerji türlerindendir. Her enerji türünün maliyeti ise birbirinden farklıdır. Söz konusu enerji verimliliği projelerinin uygulanmaması durumunda sanayi kuruluşunun 1 yıl boyunca katlanmak durumunda kalacağı enerji maliyeti firma analizleri için çıktı değişkeni olarak belirlenmiştir. Ayrıca, projenin sağladığı toplam finansal getiri veri seti ile tasarruf edilen enerji miktarı veri seti arasında bir ilişki olup olmadığı korelasyon analizi ile test edilmiş ve aralarında bir ilişki bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu sayede seçilen faktörlerin uygunluğundan emin olunmuştur. Tüm değerler TL cinsindendir.

3) Projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu: Tüm enerji türleri farklı oranlarda karbon salımına etkide bulunur. Örnek vermek gerekirse kömür kullanımı sonucu ortaya çıkan karbon salımı çok yüksekken, doğal gaz kullanımı sonucu oluşan salım görece daha az orandadır. Söz konusu çıktı değişkeni, bir firma için uyguladığı tüm enerji verimliliği projeleri sonucunda daha az enerji tüketimini, dolayısı ile toplam karbon emisyonu tasarrufunu temsil etmektedir. Değerler ton cinsindendir.

3.1.3. Sanayi Kuruluşlarının Etkinlik Analizi Sonuçları

34 sanayi kuruluşunun 3 girdi ve 3 çıktı değişkeninden oluşan veri seti için VZA çıktı odaklı olarak uygulanmıştır. Analizin çıktı veri seti olarak seçilen tasarruf edilen enerji miktarı, sağlanan finansal getiri ve tasarruf edilen karbon emisyonu maksimize edilmek istenen kavramlar olması sebebi ile çıktı odaklı VZA modeli tercih edilmiştir.

Sanayi kuruluşları için yapılan modellemede kullanılan her bir değişken için tanımlayıcı istatistikler Tablo 8'de verilmektedir.

Tablo 8. Sanayi Kuruluşlarına Ait Verilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

	Ortalama	Standart sapma	Minimum değer	Maksimum değer
Girdi değişkenleri				
Enerji tüketimi (TEP)	50.192,6	155.818,9	156,0	847.400,0
Proje maliyetleri (TL)	2.046.772,4	4.812.333,0	27.787,0	27.668.150,0
Uygulanan proje sayısı	6,6	2,7	2,0	12,0
Çıktı değişkenleri				
Tasarruf edilen toplam enerji (TEP)	943,7	2235,4	0,3	12.266,1
Projenin sağladığı toplam finansal getiri (TL)	1.001.091,4	1.442.096,8	17.920,0	67.97.176,0
Projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu (ton)	4.652,6	13.689,5	0,3	78.849,5

Sonuçlar sunulurken sanayi kuruluşlarının isimleri ve onlara ait diğer bilgiler veri gizliliği sebebi ile gizli tutulmuştur. Sanayi kuruluşlarının isimleri kodlanarak sunulmaktadır.

Tablo 9. Çıktı Odaklı VZA Sonuçları ve Çıktı Ağırlıkları-Sanayi Kuruluşları

Sanayi kuruluşu	Sanayi kuruluşlarının sektörleri	Etkinlik skoru	Toplam tasarruf edilen enerji (TEP)	Projenin sağladığı toplam finansal getiri (TL)	Projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu (ton)
SK1	Çimento	40,95%	0,00%	62,00%	38,00%
SK2	Çimento	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
SK3	Çimento	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%
SK4	Kimya	100,00%	0,00%	53,00%	47,00%
SK5	Kimya	99,43%	100,00%	0,00%	0,00%
SK6	Kimya	22,16%	52,00%	48,00%	0,00%
SK7	Kimya	100,00%	19,00%	0,00%	81,00%
SK8	Kimya	100,00%	0,00%	34,00%	66,00%
SK9	İşlenmiş metal ürünler	63,30%	0,00%	74,00%	26,00%
SK10	İşlenmiş metal ürünler	75,01%	0,00%	64,00%	36,00%
SK11	İşlenmiş metal ürünler	19,97%	7,00%	57,00%	37,00%
SK12	İşlenmiş metal ürünler	43,89%	0,00%	90,00%	10,00%
SK13	İşlenmiş metal ürünler	41,94%	0,00%	53,00%	47,00%
SK14	İşlenmiş metal ürünler	52,88%	21,00%	66,00%	13,00%
SK15	Demir-çelik	76,37%	0,00%	42,00%	58,00%
SK16	Demir-çelik	100,00%	0,00%	90,00%	10,00%
SK17	Demir-çelik	20,97%	0,00%	100,00%	0,00%
SK18	Demir-çelik	56,35%	0,00%	100,00%	0,00%
SK19	Makine	70,95%	6,00%	94,00%	0,00%
SK20	Makine	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%
SK21	Makine	28,28%	0,00%	100,00%	0,00%
SK22	Ahşap ve ahşaba dayalı	100,00%	0,00%	66,00%	34,00%
SK23	Ahşap ve ahşaba dayalı	35,99%	0,00%	51,00%	49,00%
SK24	Taş ve toprağa dayalı	99,03%	47,00%	53,00%	0,00%
SK25	Taş ve toprağa dayalı	23,50%	52,00%	48,00%	0,00%
SK26	Taş ve toprağa dayalı	100,00%	44,00%	56,00%	0,00%
SK27	Taş ve toprağa dayalı	16,65%	30,00%	70,00%	0,00%
SK28	Tekstil	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%
SK29	Tekstil	41,05%	44,00%	56,00%	0,00%
SK30	Tekstil	100,00%	25,00%	75,00%	0,00%
SK31	Tekstil	40,90%	40,00%	60,00%	0,00%
SK32	Tekstil	16,61%	33,00%	67,00%	0,00%
SK33	Tekstil	48,60%	48,00%	52,00%	0,00%
SK34	Tekstil	81,15%	24,00%	76,00%	0,00%

Tablo 9'da sanayi kuruluşlarının etkinlik skorları ve skorları etkileyen çıktı değerleri gösterilmektedir. Örneğin, ikinci sanayi kuruluşunun etkin olmasındaki en etkin çıktı

%100 oranında projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu çıktısı olarak yorumlanabilir. Diğerlerini de aynı şekilde yorumlamak mümkündür. Sanayi kuruluşlarının ortalama etkinlik skoru ise **%64,17**'dir.

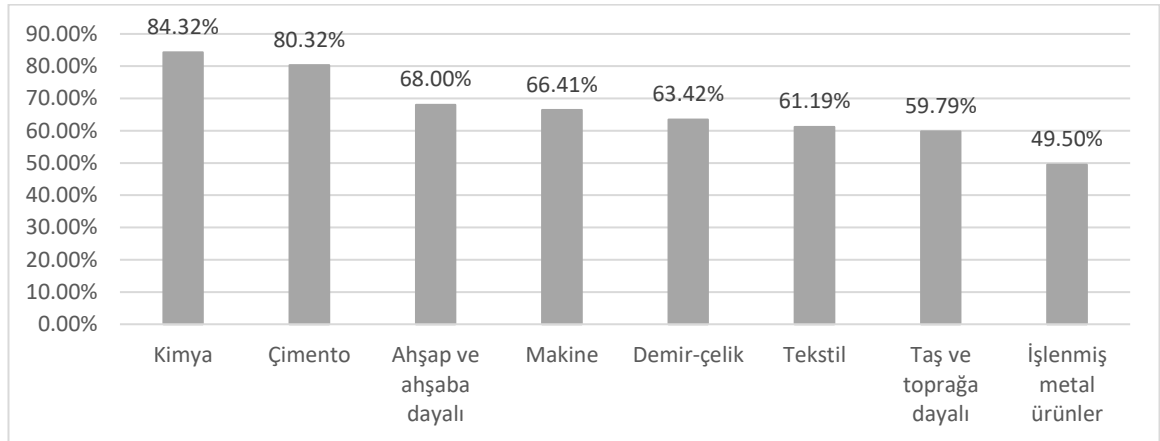
Tablo 10. Etkin Çıkamayan Sanayi Kuruluşlarının Kıyaslama Değerleri

Sanayi kuruluşu	Kıyaslama
SK1	3 (0,41) 7 (0,26) 22 (0,81) 28 (1,40)
SK5	3 (0,90) 7 (0,48)
SK6	7 (0,81) 22 (0,08) 26 (0,28) 28 (1,18)
SK9	2 (0,01) 7 (0,56) 28 (1,52)
SK10	7 (0,03) 20 (0,47) 26 (0,33)
SK11	4 (0,04) 7 (0,10) 26 (0,01) 28 (0,21)
SK12	7 (0,35) 16 (0,06) 20 (0,30) 28 (0,81)
SK13	4 (0,07) 7 (0,72) 22 (0,02) 28 (1,20)
SK14	4 (0,85) 7 (0,03) 22 (0,06) 26 (0,13) 28 (0,46)
SK15	4 (0,44) 7 (0,25) 22 (0,00) 28 (0,16)
SK17	4 (0,18) 22 (0,20) 28 (0,04)
SK18	4 (0,76) 22 (0,08) 28 (0,11)
SK19	7 (0,03) 16 (0,20) 20 (1,33) 28 (0,02)
SK21	4 (0,21) 22 (0,02) 28 (0,12)
SK23	4 (0,11) 7 (0,01) 28 (0,01)
SK24	7 (0,05) 22 (0,01) 26 (1,03) 28 (0,37)
SK25	7 (0,71) 22 (0,01) 26 (0,54) 28 (1,16)
SK27	4 (0,25) 26 (0,26) 28 (0,18)
SK29	4 (0,08) 26 (0,44) 28 (0,00)
SK31	4 (0,31) 26 (0,55) 28 (0,05)
SK32	7 (0,10) 22 (0,03) 28 (0,56) 30 (0,03)
SK33	7 (0,21) 22 (0,07) 26 (0,91) 28 (0,60)
SK34	4 (0,17) 26 (0,00) 28 (0,02)

Etkin çıkmayan sanayi kuruluşları için hesaplanan kıyaslama değerleri Tablo 11'deki gibidir. Örneğin SK1 kodlu sanayi kuruluşu SK3'ü %41, SK7'yi %26, SK22'yi %81 ve SK28'i %140 oranında örnek almalıdır şeklinde yorumlanabilir.

Şekil 5'de sanayi kuruluşlarının faaliyet gösterdikleri sektörlere göre ortalama etkinlik skorları gösterilmektedir.

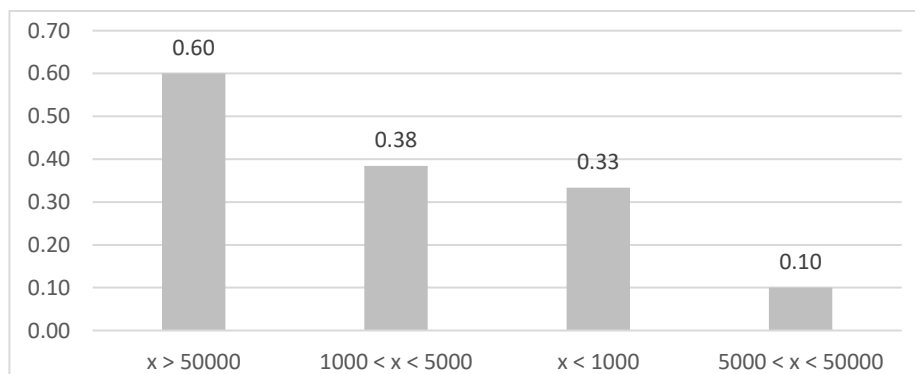
Şekil 5. Sektörlere Göre Ortalama Etkinlik Skorları



Şekil 5'de görüldüğü üzere etkinlik skorları diğerlerine göre görece yüksek olan sektör kimya sektörüdür. Kimya sektörü ortalama etkinlik skoruna en yakın olan diğer bir sektör ise çimento sektörüdür. Çimento ve kimya sektörü enerji yoğun bir prosese ve üretim maliyetleri içerisinde enerji maliyetlerinin büyük paya sahip olmasının, bu sektörlerde faaliyet gösteren sanayi kuruluşlarının enerji yönetimi konusunda daha etkin olmalarına yol açmıştır.

Sanayi kuruluşlarının enerji tüketimlerine, ISO 50001 belgesine sahip olup olmamasına ve KOBİ statüsünde olup olmama durumlarına göre ortalama etkinlik skorları takip eden tablolarda sunulmaktadır.

Şekil 6. Enerji Tüketimlerine Göre Sanayi Kuruluşlarının Yüzdesel Etkinlikleri



Şekil 6'da görülebileceği üzere yıllık enerji tüketimi 50000 TEP ve üzerinde olan 5 sanayi kuruluşundan 3 tanesi etkin çıkmıştır. Dolayısı ile bu kategorideki sanayi kuruluşlarının %60'ının etkin olduğu sonucu çıkarılabilir. Bu sonuç enerji tüketimi yüksek olan sanayi kuruluşlarının enerji maliyetlerini kontrol altında tutabilmek için EnYS'i uygulamada daha etkin oldukları şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 11. ISO 50001 Belgesine Göre Etkinlik Yüzdesi

ISO 50001 belgesine sahiplik durumu	Etkinlik yüzdesi
Sahip	% 27,27
Sahip değil	% 72,73

Tablo 11'ye göre etkin olan sanayi kuruluşlarından sadece 3 tanesinin ISO 50001 belgesi bulunmaktadır. Diğer bir ifade ile etkin sanayi kuruluşlarının sadece %27,27 'si belgeye sahiptir. % 72,73'e tekabül eden ve etkin durumda olan 8 adet sanayi kuruluşunun ISO 50001 belgesi bulunmamaktadır. Bu sonuçlar ISO 50001 belgesine sahip olan sanayi kuruluşlarının EnYS uygulamada daha etkin olabilir algısının yanıltıcı olabileceğini desteklemektedir.

Tablo 12. KOBİ Statüsüne Göre Etkinlik Yüzdesi

KOBİ statüsü	Ortalama etkinlik skoru
KOBİ	% 18,18
KOBİ değil	% 81,82

Tablo 12'de ise etkin çıkan sanayi kuruluşlarından sadece %18,18'inin KOBİ statüsünde olduğu gözlenmektedir.

Süper etkinlik skorları:

VZA ile etkinlik skorları belirlenen enerji verimliliği projelerini kendi aralarında sıralamak amacı ile süper etkinlik ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 13'de sunulmaktadır.

Tablo 13: Etkin Çıkan Sanayi Kuruluşları İçin Süper Etkinlik Skorları ve Referans Değerleri

Sanayi Kuruluşları	Sanayi Kuruluşlarının Sektörleri	Referans değerleri	Süper Etkinlik Skoru
SK7	Kimya	16	463,24%
SK22	Ahşap ve ahşaba dayalı	12	230,72%
SK3	Çimento	2	218,91%
SK28	Tekstil	21	202,30%
SK2	Çimento	1	185,81%
SK20	Makine	3	176,86%
SK16	Demir-çelik	2	157,75%
SK4	Kimya	12	146,37%
SK8	Kimya	0	118,78%
SK26	Taş toprağa dayalı	11	114,63%
SK30	Tekstil	1	104,63%

Etkin çıkan sanayi kuruluşları için uygulanan süper etkinlik skorları sonuçlarına göre, kimya sektöründe faaliyet gösteren SK 7 kodlu sanayi kuruluşunun diğerlerine nazaran yüksek bir süper etkinlik skoruna sahip olduğu gözlenmektedir. Etkin çıkan sanayi kuruluşlarının büyük çoğunluğunun kimya sektöründe olması da diğer bir önemli husustur. Kimya sektöründe faaliyet gösteren toplam 5 sanayi kuruluşundan 3 tanesinin etkin olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen diğer bir bulgu ise etkin çıkan sanayi kuruluşlarının etkin olmayanlara kaç kere referans verildiği değeridir. SK 28 kodlu sanayi kuruluşuna 21 kere referans verilmiştir.

3.2. SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİNİN ETKİNLİK ANALİZİ

Çalışmanın ikinci boyutu olan bu bölümde EnYS uygulayan sanayi kuruluşlarının süreç içerisinde uyguladıkları enerji verimliliği projelerinin etkinlikleri analiz edilmiştir. İlk olarak uygulanan tüm projeler uygulama alanlarına ve çeşitlerine göre kategorilere ayrılmıştır. Dolayısıyla her proje kategorisi, birden çok enerji verimliliği projesini kapsamaktadır. İlgili kategorilerdeki tüm enerji verimliliği projeleri uygulama neticesinde farklı enerji türlerinde tasarruf sağladığı için tüm enerji türleri ortak birim olan TEP cinsine dönüştürülmüştür. Standardizasyonu sağlanan tüm birimler toplanarak veri seti oluşturulmuştur. İzleyen bölümde ilk olarak sınıflandırılan enerji verimliliği projelerine ait detaylar paylaşılmış daha sonra tercih edilen enerji verimliliği projeleri sektörel olarak ayrılarak incelenmiş son olarak da etkinlik analiz sonuçları sunulmuştur.

3.2.1. Sanayide Enerji Verimliliği Projelerinin Sınıflandırılması

Final raporlarında beyan edilen sanayi kuruluşları tarafından uygulanan toplam 188 enerji verimliliği projesi standardizasyon sağlamak amacıyla 16 ana kategori altında toplanmıştır. Kategoriler belirlenirken ve projeler kategorize edilirken projeyi uygulayan ilgili firmanın enerji yöneticisi ve uzman görüşleri alınmıştır. Çalışmanın ikinci boyutu olan karar verme birimlerinin sanayide uygulanan enerji verimliliği projeleri olduğu bu analizde söz konusu ana kategoriler her sanayi kuruluşu için benzer niteliktedir. Örneğin, sektöre veya bir sanayi kuruluşuna özel olan projeler veri setine dahil edilmemiştir. Dolayısıyla her biri benzer nitelikte enerji verimliliği projesinden oluşan ana kategorilerin veri setleri homojendir. Kategoriler ve ilgili açıklamaları aşağıda sıralanmaktadır.

1. **LED aydınlatma:** Ampullerin enerji verimli LED ampuller ile değiştirilmesi.
2. **Motorların değiştirilmesi:** Prosesteki motorların enerji verimli motorlarla değiştirilmesi.
3. **Değişken hız sürücüsü (DHS) kullanımı:** Motorların değişken yükte daha etkin çalışmaları için DHS ile donatılması
4. **Enerji verimli pompa yatırımı:** Enerji verimli pompa kullanılması.
5. **İzolasyon:** Kazanlarda ısı kaybını önlemek amacıyla yapılan izolasyon. (Fırınlarda yapılan izolasyon ayrı bir madde olarak değerlendirilmiştir.)
6. **Atık ısı geri kazanımı:** Isı kaybının olduğu proseslerde ısının geri kazanılıp başka proseslerde kullanılması.
7. **Periyodik önleyici bakım:** Düzenli aralıklarla tüm enerji kullanıcılarının bakımının yapılması.
8. **Farkındalık eğitimi:** Fabrika çalışanlarına verilen enerji verimliliği eğitimleri. Önemli enerji kullanıcılarının operatörlerine ve/veya tüm fabrikaya verilebilir.
9. **Proses yatırımları:** Üretim hatları ve proseslerdeki tüm iyileştirme çalışmaları.
10. **Fan sistemlerinde iyileştirme:** Fanların optimal verimle çalışmaları için yapılan düzenlemeler.
11. **Basınçlı hava uygulamaları:** Basınçlı hava sistemlerinde yapılan tüm iyileştirme uygulamaları bu başlık altında toplanmıştır.
12. **Verimli kazan ve buhar uygulamaları:** Kazan rehabilitasyonları, hat yalıtımları, buhar ceketi uygulamaları, valf değişimleri, blöf ayarları bu başlık altında toplanmıştır.
13. **Soğutma-chiller sistemlerinde iyileştirme:** Soğutma grubu, soğutma kulesi ve chiller'lerdeki iyileştirme çalışmaları.

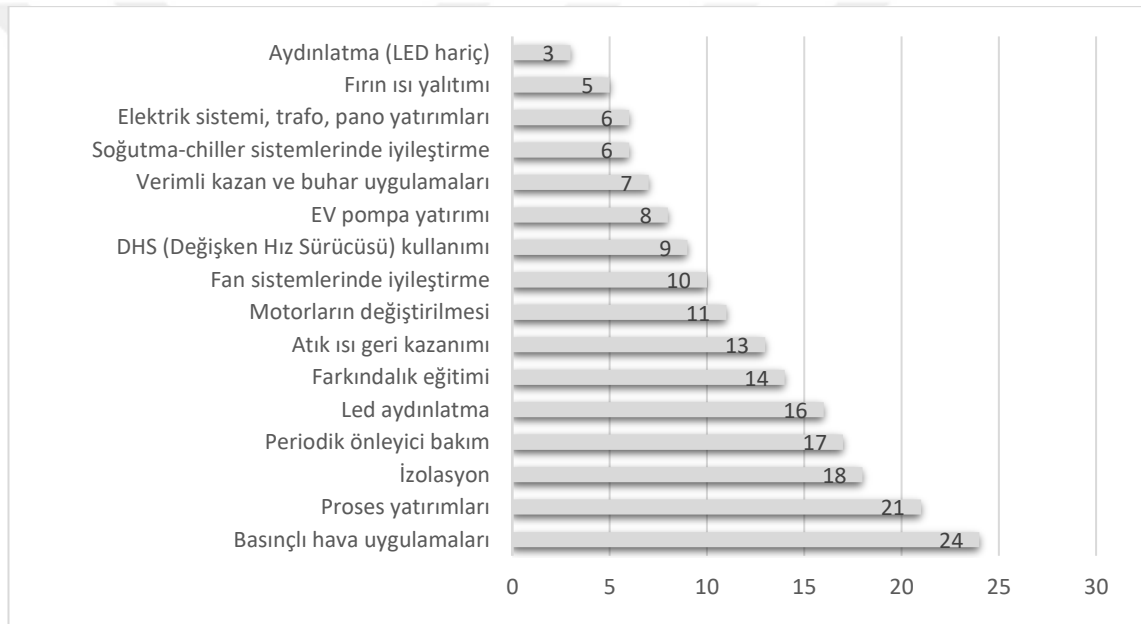
14. Fırın ısı yalıtımı: Fırınlarda yapılan ısı yalıtımı.

15. Aydınlatma: LED ampul uygulamaları hariç tüm aydınlatma yatırımları bu maddeye dahil edilmiştir. Örneğin doğal aydınlatma yatırımları.

16. Elektrik sistemi, trafo, pano yatırımları: Fabrikanın elektrik tesisatıyla ilgili tüm iyileştirmeler, kontrol-kumanda ayarları, akıllı izleme sistemleri bu başlık altında toplanmıştır.

Sanayi kuruluşlarından gelen tüm enerji verimliliği projeleri, ilgili ana kategoriler altında sınıflandırılarak standardizasyon sağlanmıştır. Hangi proje kategorisi altında kaç adet enerji verimliliği projesi olduğu Şekil 7’de gösterilmektedir.

Şekil 7. Proje Uygulama Sayıları

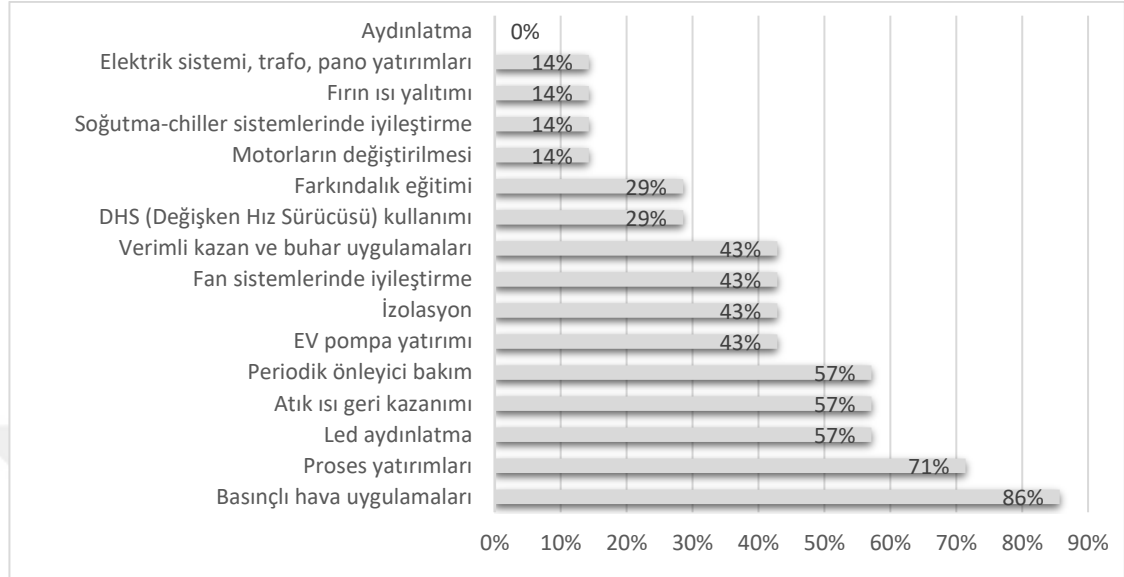


Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere çalışma kapsamındaki fabrikaların en fazla tercih ettiği projeler basınçlı hava projeleridir. En az tercih edilen enerji verimliliği projesinin ise LED aydınlatma projelerini içermeyen diğer aydınlatma projeleri olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca, proje sayıları sektörlere göre ayrıştırılarak hangi sektörde hangi projenin daha fazla tercih edildiği incelenmiştir.

Tekstil sektörü:

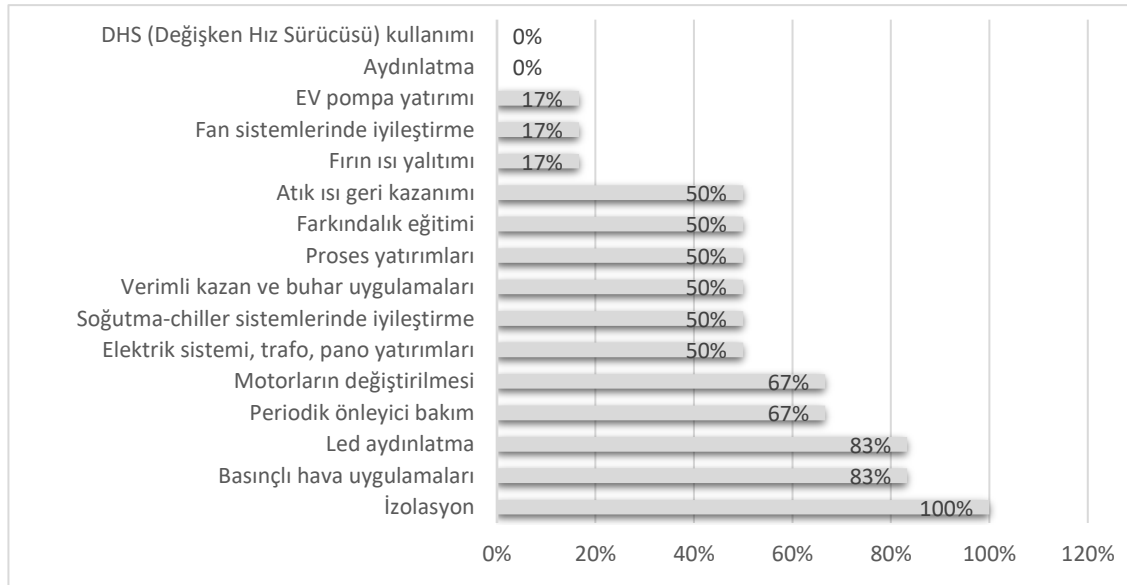
Şekil 8. Tekstil Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Tekstil sektöründeki 7 sanayi kuruluşunun en fazla tercih ettiği enerji verimliliği projesinin basınçlı hava uygulamaları olduğu gözlenmiştir. Proses yatırımları ise bir diğer çok tercih edilen proje alanı olmuştur. Ayrıca hiçbir tekstil firmasının aydınlatma yatırımı yapmadığı tespit edilmiştir.

İşlenmiş metal ürünler sektörü:

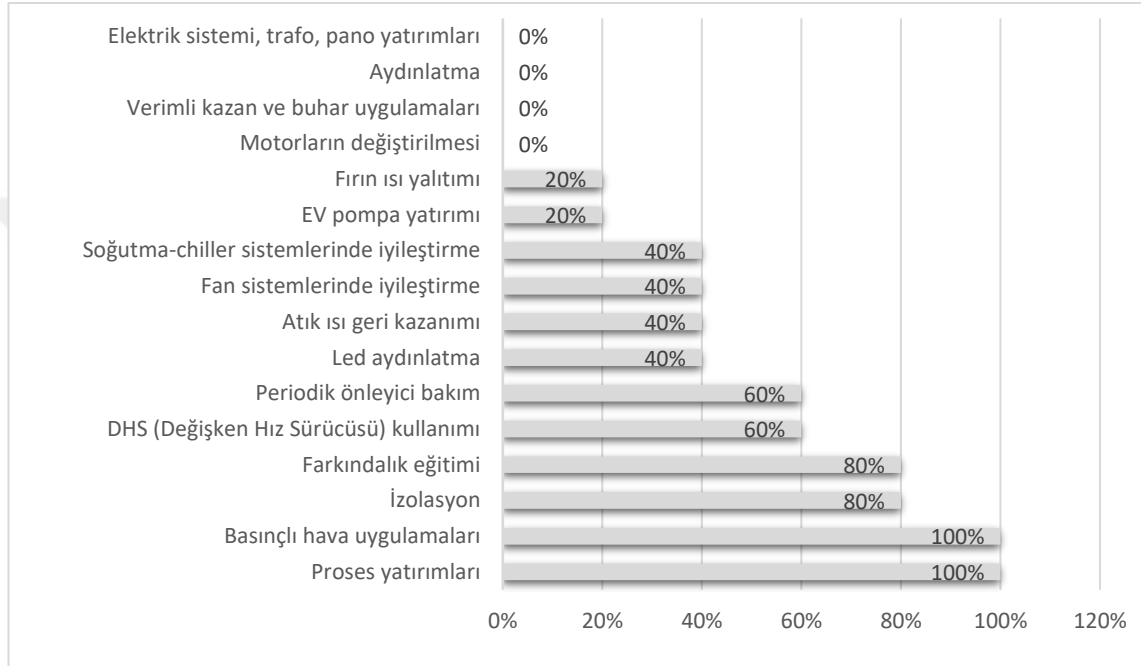
Şekil 9. İşlenmiş Metal Ürünler Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



İşlenmiş metal ürünler sektörü kapsamındaki 6 sanayi kuruluşunun en fazla tercih ettiği enerji verimliliği projesinin izolasyon yatırımı olduğu ve bunu basınçlı hava uygulamaları ve LED aydınlatma projelerinin izlediği gözlenmiştir. Bu sanayi kuruluşlarının aydınlatma ve DHS kullanımı konusundaki projeleri tercih etmediği ise diğer bir önemli bulgudur.

Kimya sektörü:

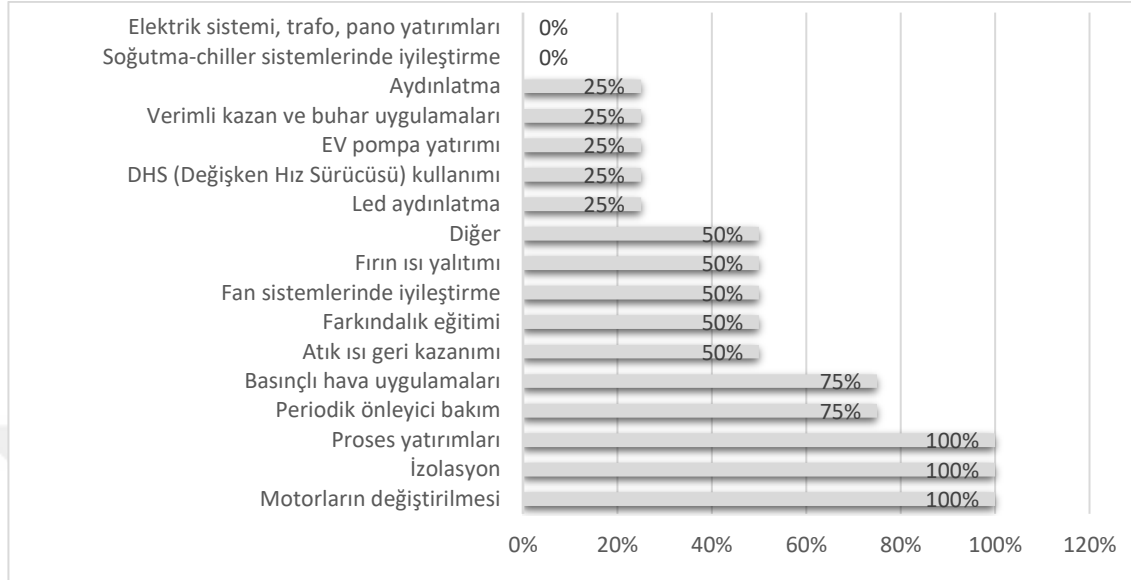
Şekil 10. Kimya Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Kimya sektörü kapsamındaki 5 firmanın en çok tercih ettiği projeler proses yatırımları ve basınçlı hava uygulamalarıdır. Motorların değiştirilmesi, verimli kazan ve buhar uygulamaları, aydınlatma ve elektrik sistemi, trafo, pano yatırımları ise bu sektör için tercih edilmeyen projeler olmuştur.

Taş ve toprağa dayalı sektör:

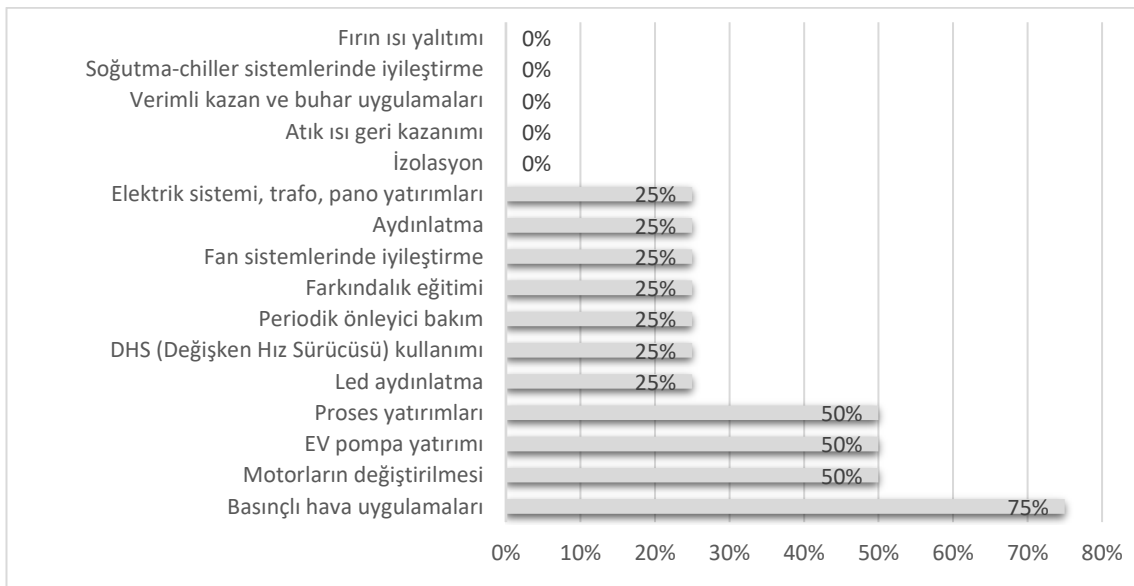
Şekil 11. Taş ve Toprağa Dayalı Sektörde Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Taş ve toprağa dayalı sektör kapsamındaki 4 sanayi kuruluşunun tamamı izolasyon, proses yatırımları ve motor değişimi projelerini tercih etmiş, buna mukabil elektrik sistemi, trafo, pano yatırımları ile soğutma-chiller sistemlerindeki iyileştirmelere ilgi göstermemişlerdir.

Demir-çelik sektörü:

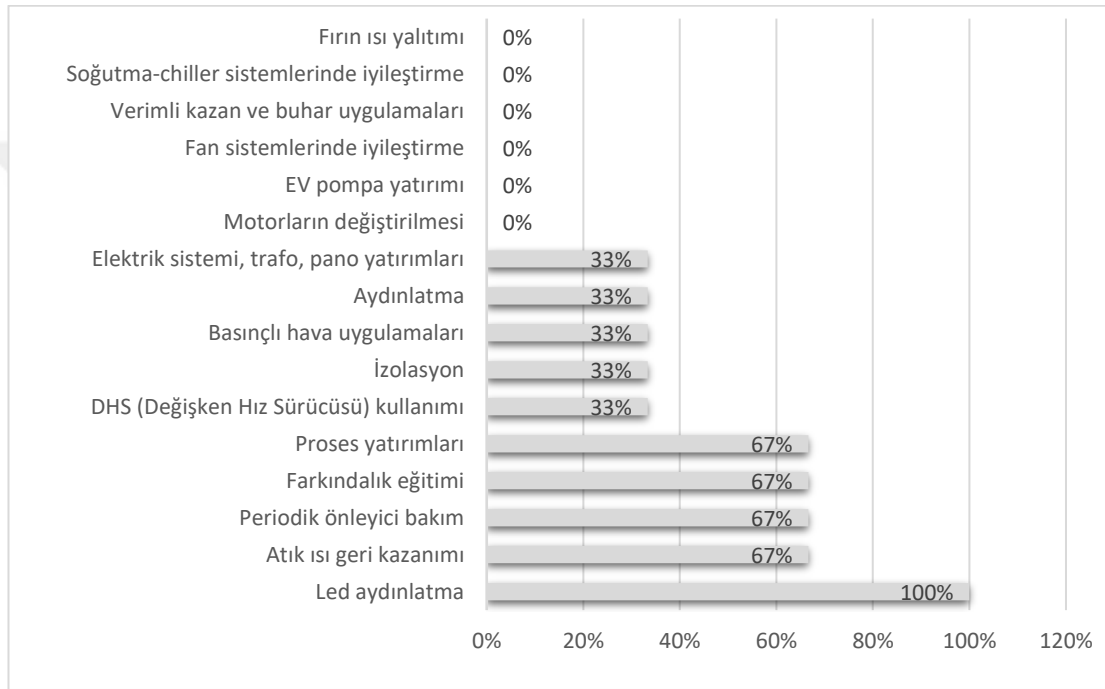
Şekil 12. Demir-çelik Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Demir-çelik sektörü kapsamına giren 4 sanayi kuruluşunun en çok uyguladığı proje basınçlı hava uygulamalarıdır. İzolasyon, atık ısı geri kazanımı, verimli kazan ve buhar uygulamaları, soğutma-chiller sistemlerinde iyileştirme ve fırın ısı yalıtımı projeleri bu sektör için tercih edilmemiştir.

Makine sektörü:

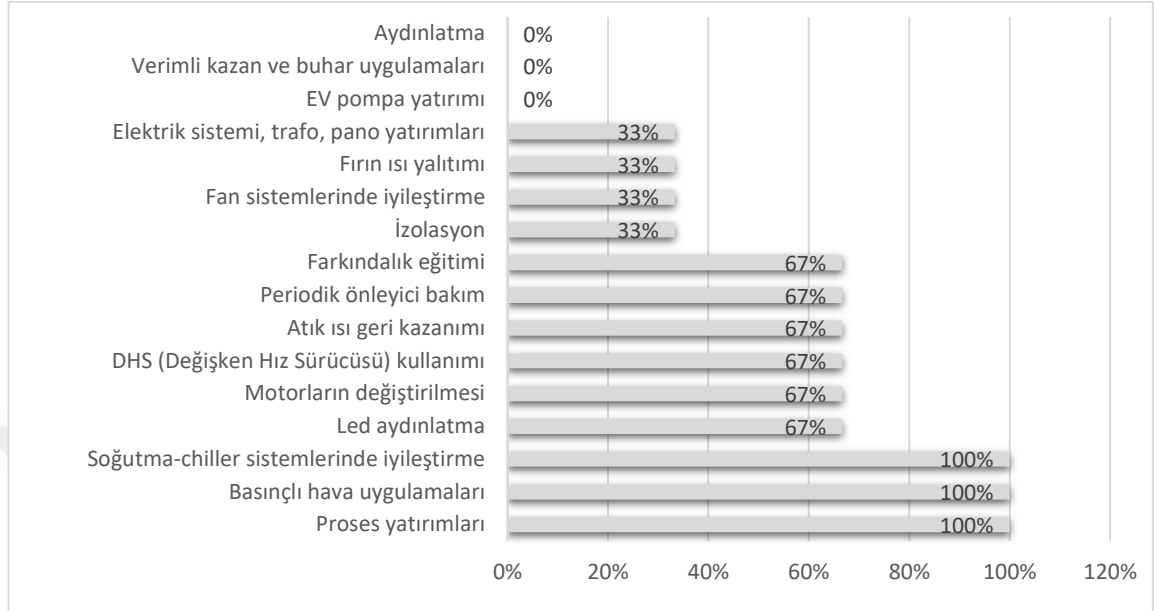
Şekil 13. Makine Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Makine sektörü kapsamındaki 3 firmanın tamamı LED aydınlatma projelerine yatırım yaparken motorların değiştirilmesi, EV pompa yatırımı, fan sistemlerinde iyileştirme, verimli kazan ve buhar uygulamaları, soğutma-chiller sistemlerinde iyileştirme ve fırın ısı yalıtımı projeleri bu sektör için tercih edilmemiştir.

Çimento sektörü:

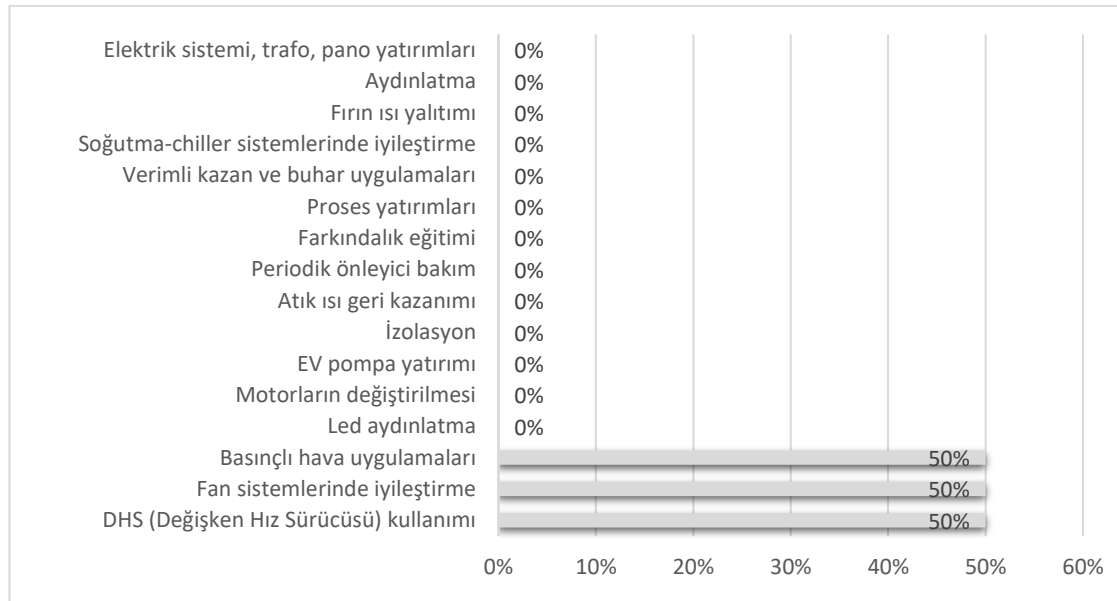
Şekil 14. Çimento Sektöründe Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Çimento sektöründeki 3 fabrikanın tamamı proses yatırımları, basınçlı hava uygulamaları ve soğutma-chiller sistemlerinde iyileştirme projelerine yatırım yapmışlardır. EV pompa yatırımı, verimli kazan ve buhar uygulamaları ve aydınlatma yatırımları bu sektör için tercih edilmemiştir.

Ahşap ve ahşaba dayalı sektör:

Şekil 15. Ahşap ve Ahşaba Dayalı Sektörde Projelerin Uygulanma Yüzdeleri



Ahşap ve ahşaba dayalı sektör kapsamındaki 2 firma DHS kullanımı, fan sistemlerinde iyileştirme ve basınçlı hava uygulamaları projelerini tercih etmiş, diğer enerji verimliliği projelerini tercih etmemişlerdir.

3.2.2. Sanayide Enerji Verimliliği Projelerinin Etkinlik Analizi

Bu çalışmanın ikinci boyutu olan enerji verimliliği projelerinin etkinlik analizi kapsamında yukarıda detayları paylaşılan 34 sanayi kuruluşunun EnYS kuruluş sürecinin sonunda uyguladığı enerji verimliliği projelerinin etkinlikleri VZA yöntemi ile analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında uygulanan enerji verimliliği projelerinin sağladıkları enerji ve karbon emisyonu tasarrufları karşılaştırılarak firmaların etkinlikleri VZA yoluyla ölçülmüştür. Analiz için belirlenen girdi ve çıktı değişkenleri aşağıdaki gibidir.

3.2.2.1. Girdi değişkenleri

Enerji verimliliği projeleri için yapılan VZA kapsamında seçilen girdi değişkenleri, proje maliyetleri ve projeyi uygulayan firma sayısı olarak belirlenmiştir.

1) Proje maliyetleri: Tüm sanayi kuruluşlarında uygulanan her enerji verimliliği projesi için toplam maliyeti temsil etmektedir. Örneğin, LED aydınlatma projesi uygulayan 16 sanayi kuruluşunun bu proje için harcadığı toplam maliyet, söz konusu girdi değişkenini daha iyi açıklamak için örnek olarak verilebilir. Tüm birimler (TL) cinsindendir.

2) Projeyi uygulayan firma sayısı: Her projenin kaç tane sanayi kuruluşu tarafından uygulandığını gösteren projeyi uygulayan firma sayısı, girdi değişkeni olarak belirlenmiştir.

3.2.2.2. Çıktı değişkenleri

Projeler için yapılan VZA kapsamında seçilen çıktı değişkenleri; toplam tasarruf edilen enerji, projenin sağladığı toplam finansal getiri ve projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu olarak belirlenmiştir.

1) Toplam tasarruf edilen enerji: Her proje için tüm firmaların tasarruf ettikleri toplam enerji miktarı, projeler için seçilen çıktı değişkenidir. Örneğin, atık ısı geri kazanımı

projesini uygulayan 13 sanayi kuruluşunun bu projeden sağladığı toplam enerji tasarrufu bir çıktı değişkenidir. Diğer değişkenlerde olduğu gibi bu değişkende de enerji türü fark etmeksizin tüm enerji tasarrufu dikkate alınmıştır. Verilerin hepsi TEP cinsindendir.

2) Projenin sağladığı finansal getiri: Söz konusu çıktı değişkeni, her proje için tüm firmaların sağladığı toplam finansal getiriyi temsil etmektedir. Motorların değiştirilmesi projesini uygulayan 11 sanayi kuruluşunun bu proje sayesinde toplamda ne kadar finansal getiri sağladığı örnek olarak verilebilir. Veriler TL cinsinden toplanmıştır.

3) Projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu: Her proje uygulaması sonucunda kazanılan toplam karbon emisyonu miktarı, bu analizin son çıktı değişkenidir. Bu değişkende de tasarruf, enerji türüne bağlı olarak farklı çarpanlarla hesaplanmış toplam karbon emisyonu tasarrufunu ton cinsinden temsil etmektedir.

3.2.3. Sanayide Enerji Verimliliği Projelerinin Etkinlik Analiz Sonuçları

Yukarıda detayları verilen enerji verimliliği projeleri, sınıflandırmanın ardından etkinlik analizine tabi tutulmuştur. 16 adet enerji verimliliği projesinin 2 girdi ve 3 çıktı değişkeninden oluşan veri seti analizi için VZA çıktı odaklı olarak uygulanmıştır. Söz konusu veri setine ait tanımlayıcı istatistikler aşağıdaki gibidir.

Tablo 14. Enerji Verimliliği Projeleri Verilerinin Tanımlayıcı İstatistikleri

	Ortalama	Standart Sapma	Minimum Değer	Maksimum Değer
Girdi Değişkenleri				
Enerji maliyetleri (TL)	1.990.783,0	2.282.209,3	18.650,9	81.77.056,0
Projeyi uygulayan firma sayısı	11,8	6,1	3,0	24,0
Çıktı Değişkenleri				
Tasarruf edilen toplam enerji (TEP)	1.981,5	3.410,6	11,9	13.788,4
Projenin sağladığı toplam finansal getiri (TL)	1.239.463,5	978.003,0	41.913,9	2.995.846,3
Projenin sağladığı toplam karbon emisyonu tasarrufu (ton)	3.370,1	3.650,4	71,8	13.968,4

Tablo 15. Çıktı Odaklı VZA Sonuçları-Projeler

Projeler	Etkinlik skoru	Tasarruf Edilen Toplam Enerji (TEP)	Projenin Sağladığı Toplam Finansal Getiri (TL)	Projenin Sağladığı Toplam Karbon Emisyonu Tasarrufu (ton)
Led aydınlatma	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%
Motorların değiştirilmesi	57,73%	0,00%	100,00%	0,00%
DHS (Değişken Hız Sürücüsü) kullanımı	100,00%	2,00%	98,00%	0,00%
EV pompa yatırımı	31,85%	0,00%	100,00%	0,00%
İzolasyon	100,00%	11,00%	0,00%	89,00%
Atık ısı geri kazanımı	100,00%	70,00%	0,00%	30,00%
Periyodik önleyici bakım	62,42%	17,00%	0,00%	83,00%
Farkındalık eğitimi	70,82%	50,00%	0,00%	50,00%
Proses yatırımları	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Fan sistemlerinde iyileştirme	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%
Basınçlı hava uygulamaları	92,40%	0,00%	96,00%	4,00%
Verimli kazan ve buhar uygulamaları	77,85%	0,00%	95,00%	5,00%
Soğutma-chiller sistemlerinde iyileştirme	100,00%	97,00%	3,00%	0,00%
Fırın ısı yalıtımı	49,33%	27,00%	0,00%	73,00%
Aydınlatma	42,45%	0,00%	100,00%	0,00%
Elektrik sistemi, trafo, pano yatırımları	45,37%	0,00%	94,00%	6,00%

Tablo 15’de sanayide uygulanan enerji verimliliği projelerinin etkinlik skorları ve skorları etkileyen çıktı değerleri gösterilmektedir. Örneğin, led aydınlatma projesinin etkin olmasındaki en etkin çıktı %100 oranında projenin sağladığı toplam finansal getiridir şeklinde yorumlanabilir. Diğerlerini de aynı şekilde yorumlamak mümkündür. Sanayide uygulanan enerji verimliliği projelerinin ortalama etkinlik skoru ise **%76,89**’dır. Sanayi kuruluşları tarafından en çok tercih edilen proje olan basınçlı hava uygulamaları projesinin etkin olmadığı görülmektedir.

VZA ile etkinlik skorları belirlenen enerji verimliliği projelerini kendi aralarında sıralamak amacı ile süper etkinlik ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 16’da sunulmaktadır.

Tablo 16. Etkin Çıkan Enerji Verimliliği Projeleri İçin Süper Etkinlik Skorları ve Referans Değerleri

Projeler	Referans değerleri	Süper etkinlik skorları
Fan sistemlerinde iyileştirme	5	263,64%
Atık ısı geri kazanımı	2	202,63%
Soğutma-chiller sistemlerinde iyileştirme	3	178,92%
Proses yatırımları	3	134,12%
İzolasyon	2	115,62%
DHS (Değişken Hız Sürücüsü) kullanımı	3	111,81%
Led aydınlatma	3	106,69%

Süper etkinlik skorlarına göre diğer karar verme birimlerine nazaran görece en etkin olan enerji verimliliği projesi fan sistemlerinde iyileştirme projesidir. Fan sistemlerinde yapılan iyileştirme prosesin tümünü etkilediği için çarpan etkisi yapmaktadır. Dolayısı ile fan sistemlerinde yapılan iyileştirme projelerinin diğerlerine nazaran daha etkin olması beklenen bir sonuçtur. Elde edilen diğer bir bulgu ise etkin çıkan enerji verimliliği projelerinin etkin olmayanlara kaç kere referans verildiği değeridir. Fan sistemlerinde iyileştirme projesi 5 kere referans verilmiştir. Diğerlerini de aynı şekilde yorumlamak mümkündür.

3.3. EnYS UYGULAMA SONUÇLARINA GENEL BAKIŞ

34 adet sanayi kuruluşuna sağlanan EnYS uygulama teknik desteğinin neticesinde enerji ve karbon tasarrufu gibi direkt ve enerji dışı faydaları da içinde barındıran endirekt birçok sonuca ulaşılmıştır. EnYS uygulama konusunda sağlanan teknik desteğin ardından sanayi kuruluşlarının enerji tasarruf oranları, sektörleri, VZA etkinlik skorları ve diğer tanımlayıcı bilgileri Tablo 17’de görülebilir.

Tablo 17. EnYS Uygulama Sonuçları

Sanayi kuruluşu	Sanayi kuruluşlarının sektörleri	KOBİ statüsü	ISO 50001	Enerji tasarruf oranı %	Etkinlik skoru
SK1	Çimento	0	1	0,01	40,95%
SK2	Çimento	0	1	0,04	100,00%
SK3	Çimento	0	0	0,03	100,00%
SK4	Kimya	0	0	0,05	100,00%
SK5	Kimya	0	1	0,01	99,43%
SK6	Kimya	0	0	0,04	22,16%
SK7	Kimya	0	0	0,26	100,00%
SK8	Kimya	1	0	0,37	100,00%
SK9	İşlenmiş metal ürünler	0	1	0,06	63,30%
SK10	İşlenmiş metal ürünler	1	0	0,15	75,01%
SK11	İşlenmiş metal ürünler	0	0	0,04	19,97%
SK12	İşlenmiş metal ürünler	0	1	0,06	43,89%
SK13	İşlenmiş metal ürünler	0	1	0,05	41,94%
SK14	İşlenmiş metal ürünler	0	1	0,01	52,88%
SK15	Demir-çelik	0	1	0,07	76,37%
SK16	Demir-çelik	0	0	0,27	100,00%
SK17	Demir-çelik	0	0	0,01	20,97%
SK18	Demir-çelik	0	1	0,01	56,35%
SK19	Makine	1	0	0,22	70,95%
SK20	Makine	1	1	0,29	100,00%
SK21	Makine	0	1	0	28,28%
SK22	Ahşap ve ahşaba dayalı	0	1	0,01	100,00%
SK23	Ahşap ve ahşaba dayalı	0	0	0,13	35,99%
SK24	Taş ve toprağa dayalı	1	0	0,42	99,03%
SK25	Taş ve toprağa dayalı	0	0	0,06	23,50%
SK26	Taş ve toprağa dayalı	0	0	0,37	100,00%
SK27	Taş ve toprağa dayalı	1	0	0,11	16,65%
SK28	Tekstil	0	0	0,08	100,00%
SK29	Tekstil	0	0	0,1	41,05%
SK30	Tekstil	0	0	0,05	100,00%
SK31	Tekstil	0	0	0,04	40,90%
SK32	Tekstil	0	0	0,01	16,61%
SK33	Tekstil	0	0	0,06	48,60%
SK34	Tekstil	0	0	0,02	81,15%

Enerji Tasarrufu: Sanayi kuruluşları sürecin sonunda toplamda **33.160,39** TEP enerji tasarrufu elde etmiştir. Yüzdesel olarak ise ortalama **%10**'luk bir enerji tasarrufu söz konusudur. Etkin çıkan sanayi kuruluşlarının ortalama enerji verimliliği **%16,55** iken etkin

olmaya sanayi kuruluşlarının ortalama enerji tasarruf %7,35'dir. Elde edilen tasarruf oranlarının sektörlere göre ortalamaları Tablo 19'de görülebilir.

Tablo 18. Sektörel Enerji Tasarruf Oranları ve Etkinlik Skorları

Sektörler	Sektörel ortalama enerji tasarruf oranı %	Sektörel etkinlik skorları
Taş ve toprağa dayalı	24%	59,79%
Makine	17%	66,41%
Kimya	15%	84,32%
Demir-çelik	9%	63,42%
Ahşap ve ahşaba dayalı	7%	68,00%
İşlenmiş metal ürünler	6%	49,50%
Tekstil	5%	61,19%
Çimento	2%	80,32%

Tablo 18'de görülebileceği üzere sektörel etkinlik skorları ortalamasının sonuçlarına göre en etkin ikinci sektör olan çimento sektörü, ortalama enerji tasarruf oranı sıralamasında sonuncu sıradadır. Enerji tüketimi ve dolayısıyla maliyeti diğer sektörlere kıyasla çok yüksek olan çimento sektöründe yapılacak olan küçük bir enerji tasarrufu sanayi kuruluşunun enerji maliyetlerini ciddi oranda etkilemektedir. Bu tablodaki ortalama %2'lik enerji tasarrufu çimento sektörü için büyük bir tasarruf miktarını ifade etmektedir. Enerji tasarrufu hesaplamalarında aşağıdaki dönüşüm katsayıları dikkate alınmıştır

- 1 TEP = 11.625 kWh
- 1000 m³ doğal gaz = 0,825 TEP
- 1 m³ doğal gaz = 9,59 kWh (Isıl değer 8250 kcal/m³ kabul edilirse)
- 1 TEP = 41,800,000 kJ

Karbon Emisyonu Tasarrufu: Sürecin sonunda tasarruf edilen toplam karbon emisyonu **175.486** tondur.

Enerji Dışı Faydalar:

Yukarıdaki direkt faydaların yanı sıra sanayi kuruluşları süreç içerisinde birçok endirekt fayda sağlamışlardır. Sanayi kuruluşlarından istenen final raporlarında öne çıkan ve EnYS sayesinde elde edilen enerji dışı faydalar aşağıda listelenmiştir.

- Artan kalite
- Artan farkındalık
- Artan ekipman ömrü
- Artan kurumsal itibar
- Artan iklim değişikliği ve çevre farkındalığı
- Azalan bakım maliyetleri
- Azalan arızalar ve arızalardan dolayı oluşan üretim kesintileri
- Azalan kayıp kaçaklar
- Doğal kaynakların verimli kullanılması

Hiç şüphesizdir ki tüm bu faydaların dışında kazanılan en büyük enerji dışı fayda, azalan karbon salımıdır.



SONUÇ

Enerji konusundaki dışa bağımlılık, taraf olunan uluslararası antlaşmalar dolayısıyla taahhüt edilen çevresel hedefler, artan enerji maliyetleri ve talebi gibi sebeplerle enerji verimliliği konusu Türkiye’de ve dünyada önemli bir başlık olmuştur. Bu kapsamda ülkeler karbon salımlarını azaltmak için uluslararası antlaşmalara taraf olarak taahhütlerde bulunmuş, sanayi, binalar ve ulaşım sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması için birçok yasal düzenleme yapmış, stratejiler belirlemiş ve teşvik mekanizmaları oluşturmuşlardır. Enerji tüketiminde büyük paya sahip olan sanayi sektörü enerji verimliliği konusunda önemli bir potansiyel barındırmaktadır.

Sanayi kuruluşlarının anlık enerji verimliliği potansiyeli hakkında bilgi veren enerji etütlerinde önerilen enerji verimliliği projelerinin çok azı gerçek yatırımla sonuçlanmıştır. Buna rağmen geçmişte belirlenen stratejiler genelde enerji etüdü konusuna yoğunlaşmıştır. Enerji etütlerinin aksine EnYS, üretim hatlarındaki yapısal değişikliklerin ve iyileşmelerin sürekli hale getirilmesiyle sanayi kuruluşları için sürdürülebilir enerji verimliliği sağlayan dinamik ve bütünsel bir yaklaşımdır. EnYS programı çerçevesinde sınırlı sürede elde edilen yüksek miktardaki enerji tasarrufu ile hükümet enerji verimliliği stratejilerini EnYS’nin yaygınlaştırılması üzerinde yoğunlaştırmıştır. 2017 ve 2023 yılları için hazırlanan ve temel hedefin birincil enerji tüketiminde 23,9 MTEP’lik azaltım olarak belirlendiği UEVEP’de EnYS’nin kurulması ve etkinliğinin artırılması ilk eylem olarak belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında EnYS uygulaması sonucunda yatırıma dönüştürülen sanayide enerji verimliliği projeleri iki boyutta incelenmiştir. Birincisi projeleri uygulayan sanayi kuruluşları açısından, ikincisi ise uygulanan enerji projeleri açısından. Bu iki ayrı boyutta kapsamlı değerlendirmeler yapılmıştır. Etkinlik analiz yöntemi olarak parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) tercih edilmiştir. Analiz kapsamında farklı sektörlerde faaliyet gösteren 34 sanayi kuruluşu ve kurulum süresi sonucunda bu sanayi kuruluşlarının uyguladıkları 16 kategoriye ayrılan enerji verimliliği projeleri etkinlik analizine tabi tutulmuştur. Sanayi kuruluşlarının beyan ettiği 188 enerji verimliliği projesi uzman görüşleriyle 16 ana kategorilere ayrılarak hemen hemen tüm sanayi kuruluşunda uygulayabilecek ana kategorilere ulaşılmıştır. Bu çalışma hem sanayi kuruluşlarının enerji verimliliği konusundaki planlama süreçlerine hem de enerji verimliliği projelerinin sınıflandırılması konusunda katkı sunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre ise EnYS’nin teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılmasının hem makro hem de mikro ölçekli hedeflerimiz

doğrultusunda faydalı olacağı ve sistemin enerji ve enerji dışı birçok faydası olduğu yönünde destekleyici bulgulara ulaşılmıştır.

Çalışmanın sanayi kuruluşları analizi ayağında ulaşılan sonuçlara göre kimya ve çimento sektöründe faaliyet gösteren sanayi kuruluşlarının diğerlerine göre daha etkindir. Bu sektörlerin enerji yoğun sektörler olması ve üretim maliyetleri arasında enerjinin ciddi bir kalem olması bu sanayi kuruluşlarının enerji yönetimi konusunda daha etkin olmalarına yol açmıştır. Sonuçlara göre ulaşılan diğer bir bulgu ise ISO 50001 belgesine sahip sanayi kuruluşlarının diğerlerine kıyasla daha etkin olduğudur. KOBİ statüsünde olan ve olmayan sanayi kuruluşlarının etkinlik skorları arasında çok fark bulunmamaktadır.

Çalışma kapsamında kimya sektöründe faaliyet gösteren 5 adet sanayi kuruluşunun 3 tanesi etkin çıkmıştır. Daha sonra etkin çıkan tüm sanayi kuruluşlarına uygulanan süper etkinlik analizi sonuçlarına göre en etkin olan sanayi kuruluşu gene kimya sektöründe faaliyet göstermektedir.

Çalışmanın sanayide enerji verimliliği projeleri analizi ayağında ise, sanayi kuruluşları tarafından en çok tercih edilen proje olan basınçlı hava projelerinin VZA sonuçlarına göre etkin olmadığı gözlemlenmiştir. 16 adet enerji verimliliği projesinin 7 tanesi etkin çıkmıştır. Yapılan süper etkinlik skorlarına göre ise en etkin proje fan sistemlerinde iyileştirme kategorisidir. Fan sistemlerinde yapılan iyileştirmenin tüm prosesi etkilemesinden dolayı çarpan etkisi yapması söz konusu projenin etkin çıkmasının en önemli sebebidir. Diğer sanayide enerji verimliliği projelerine göre etkinliği en düşük proje ise enerji verimli pompa yatırımı projesidir.

Sürecin sonunda sanayi kuruluşlarının toplamda 33.160 TEP enerji ve 175.486 ton karbon emisyonu tasarrufu yaptıkları tespit edilmiştir. Sanayi kuruluşlarının ortalama enerji tasarruf oranı %10, ortalama etkinlik skorları ise %65'dir.

Bu direkt faydaların dışında sanayi kuruluşları birçok enerji dışı fayda sağlamışlardır. Yukarıda bahsedilen direkt ve endirekt tüm faydalar EnYS uygulamasının kısa vadede ulaşılan sonuçlarıdır. Enerji ve çevre konularındaki artan farkındalık, kültür değişimi ve sürdürülebilir enerji verimliliği EnYS'nin uzun vadedeki kalıcı faydaları arasında yer almaktadır.

KAYNAKÇA

- Aigner, D., Lovell, C. K. ve Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.
- Andersen, P. ve Petersen, N. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39, 1261–1264.
- Ates, S. A. ve Durakbaşı, N. M. (2012). Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. *Energy*, 45 (1), 81-91.
- Atıcı, K. B. ve Ulucan, A. (2009). Enerji projelerinin değerlendirilmesi sürecinde çok kriterli karar verme yaklaşımları ve türkiye uygulamaları. *H. Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 161-186.
- Banker, R. D., Charnes, A. ve Cooper, W. W. (1984) Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Bonacina, F., Corsini, A., Propris, L. D., Marchegiani, A. ve Mori, F. (2015). Industrial energy management systems in italy: state of the art and perspective. *Energy Procedia*, 82, 562-569.
- Caffal, C. (1995). *Energy Management in Industry. In: Analysis Series vol 17.* Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET), The Netherlands: Sittard.
- Charnes, A., Cooper, W. W. ve Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M. ve Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses.* New York: Springer.

Cui, Q., Kuang, H., Wu, C. ve Li, Y. (2014). The changing trend and influencing factors of energy efficiency: The case of nine countries. *Energy*, 64, 1026-1034.

Devlet Planlama Teşkilatı. (1995). *Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 1996-2000*, Devlet Planlama Teşkilatı Yayını. Ankara.

Devlet Planlama Teşkilatı. (2000). *Uzun Vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005*, Devlet Planlama Teşkilatı Yayını. Ankara.

Devlet Planlama Teşkilatı. (2013). *Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018*, Devlet Planlama Teşkilatı Yayını. Ankara.

Doty, S. ve Turner, W.T. (2013). *Energy Management Handbook-Eighth Edition*. United States of America:The Fairmourt Press,Inc.

Elektrik İstatistikleri. (2017, 26 Temmuz). Erişim adresi: <https://www.teias.gov.tr/tr/elektrik-istatistikleri>

Enerji Denge Tabloları. (2017, 26 Temmuz). Erişim adresi: <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>

Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik (2011, 27 Ekim). *Resmi Gazete* (28097). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/10/20111027-5.htm>

Enerji Verimliliği Kanunu. (2007, 02 Mayıs). *Resmi Gazete* (26510). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/05/20070502-2.htm>

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023. (2012, 25 Şubat). *Resmi Gazete* (28215). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>

Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023. (2012, 25 Şubat). *Resmi Gazete* (28215). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/02/20120225-7.htm>

Farrell, M. J. (1957) The Measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120, 253-290.

Franz, E., Erler, F., Langer, T., Schlegel, A., Stoldt, J., Richter, M., ve Putz, M. (2017). Requirements and tasks for active energy management systems in automotive industry. *Procedia Manufacturing*, 8, 175-182.

Gudbjerg, E. (t.y.) *Non-Energy Benefit Culture-Behavior*. European Union.

Gudbjerg, E., Dyhr-Mikkelsen, K. ve Andersen, C. M. (2014). Spreading the word – an online non-energy benefit tool. *European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE)*.

Hall, N. P. ve Roth, J. A. (2003). Non-energy benefits from commercial and industrial energy efficiency programs: energy efficiency may not be the best story. *Energy Program Evaluation Conference*. Seattle. 689-702.

Hepbaşlı, A. (2010). *Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi*. İstanbul: Esen Ofset

Hu, J. ve Wang, S. (2006). Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, 34, 3206-3217.

İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu. (2010, 18 Ağustos). *Resmi Gazete* (27676). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/08/20100818-12.htm>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (1990). *Climate Change the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge. Erişim adresi: https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_i/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013 the Physical Science Basis*. Cambridge. http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf

- International Energy Agency. (2016). *Energy Efficiency Market Report 2016*. France. Erişim adresi: https://www.iea.org/eemr16/files/medium-term-energy-efficiency-2016_WEB.PDF
- Jebali, E., Essid, H. ve Khraief, N. (2017). The analysis of energy efficiency of the Mediterranean countries: A two-stage double bootstrap DEA approach. *Energy*, 134, 991-1000.
- Jovanovic, B., Filipovic, J. ve Bakic, V. (2017). Energy management system implementation in Serbian manufacturing - plan-do-check-act cycle approach. *Journal of Clean Production*, 162, 1144-1156.
- Katsigris, E. (2016). *Bridging the Gaps in Policies, Programs, and Strategies to Promote Industrial Energy Service Providers in Turkey's Energy Efficiency Market*. Improving Energy Efficiency in Industry Project. Ankara.
- Kavak, K. (2005). *Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*. (Uzmanlık tezi, Yayın no:2689). Devlet Planlama Teşkilatı/İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim adresi: <http://www3.kalkinma.gov.tr/DocObjects/Download/3226/enerji.pdf>
- Keskin, M. Ü. ve Ünlü, H. (2010). *Türkiye'de enerji verimlilięim durumu ve yerel yönetimlerin rolü*. Heinrich Böll Stiftung Derneęi Türkiye Temsilcilięi. İstanbul:Sena Offset.
- Lawrence. A., Karlsson. M. ve Thollander, P. (2018). Effects of firm characteristics and energy management for improving energy efficiency in the pulp and paper industry. *Energy*, 153, 825-835.
- Makridou, G., Andriosopoulos, K., Doumpos, M. ve Zopounidis, C. (2016). Measuring the efficiency of energy-intensive industries across European countries. *Energy Policy*, 88, 573-583.

- Mandal, S. K. ve Madheswaran, S. (2011). Energy use efficiency of Indian cement companies: a data envelopment analysis. *Energy Efficiency*, 4, 57-73.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A. ve Khoshnoudi, M. (2017). A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1298-1322.
- Meng, F., Su, B., Thomson, E., Zhou, D. ve Zhou, P. (2016). Measuring China's regional energy and carbon emission efficiency with DEA models: A survey. *Applied Energy*, 183, 1-21.
- Nehler, T. (2018). Linking energy efficiency measures in industrial compressed air systems with non-energy benefits- a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 72-87.
- Official Journal of the European Union (L 153/13). (2010). *Directive 2010/31/Eu Of The European Parliament And Of The Council Of 19 May 2010 On The Energy Performance Of Buildings*. Erişim adresi: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
- Official Journal of the European Union (L 315/1). (2012). *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on Energy Efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*. Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>
- Önüt, S. ve Soner, S. (2006). Energy efficiency assessment for the Antalya region hotels in Turkey. *Energy and Buildings*, 38, 964-971.
- Örnek Sanayi Enerji Verimliliği Etüdü Raporu Formatı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2018). Erişim adresi:

http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/document/Ornek_Sanayi_Etut_Formati.doc

Özkara, Y. ve Atak, M. (2015). Regional total-factor energy efficiency and electricity saving potential of manufacturing industry in turkey. *Energy*, 93, 495-510.

Roychaudhuri. P. S., Kazantzi. V., Foo, D. C. Y., Tan, R., R. ve Bandyopadhyay, S. (2017). Selection of energy conservation projects through financial pinch analysis. *Energy*, 138, 602-615.

Sanayide Yetkilendirilmiş EVD Listesi, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2018) Erişim adresi: http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/y_yetki_b_a_d_sirketler.aspx

Shi, G. M., Bi, J. ve Wang, J. N. (2010). Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs. *Energy Policy*, 38, 6172-6179.

Sueyoshi, T., Yuan. Yan. ve Goto, M. (2017). A literature study for DEA applied to energy and environment. *Energy Economics*, 62, 104-124.

Süße, M., Stoldt, J., Schegel, A. ve Puts, M. (2018). Decision support for planning techniques in energy efficiency projects. *Procedia CIRP*, 69, 306-311.

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2010). *Türkiye Cumhuriyeti Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi 2010-2020*. Ankara.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2017). *Enerji Verimliliği İndeksi 2000-2015* Ankara.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2014). *2015-2019 Stratejik Planı*. Ankara Erişim adresi: https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Planı.pdf

Thollander, P. ve Ottosson, M. (2010). energy management practice in Swedish energy-intensive industries. *Journal of Clean Production*, 18, 1125-1133.

- Thollander, P., Danestig, M. ve Rohdin, P. (2007). Energy policies for increased industrial energy efficiency: evaluation of a local energy programme for manufacturing SMEs. *Energy Policy*, 35 (11), 5774-5783.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2017). *Yıllık Gayrisafi Yurtiçi Hasıla, 2016*. Erişim adresi: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27817>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2018). *Motorlu Kara Taşıtları, Kasım 2017*. Erişim adresi: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27639>
- Türkiye Standartları Enstitüsü. (2011). TS EN ISO 50001.
- Ulucan, A. ve Atıcı, K. B. (2010). Enerji ve çevre konularında parametrik olmayan etkinlik analizi ve türkiye elektrik sanayii uygulaması. *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 28 (1), 173-203.
- Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. (2018, 02 Ocak). *Resmi Gazete* (30289-Mükerrer). Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180201M1-1.htm>
- UNFCCC. (2015). *Adoption of the Paris Agreement*. (Rapor No. FCCC/CP/2015/L.9. /Rev.1). Paris, France. Erişim adresi: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- UNIDO. (2014). *Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması İçin Pratik Rehber*. Ankara.
- United Nations. (1972). *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm. Erişim adresi: <http://www.un-documents.net/aconf48-14r1.pdf>
- United Nations. (1988). *Resolutions adopted on the reports of the Second Committee*. Erişim adresi: http://www.un.org/en/development/desa/policy/cdp/ldc2/gadec43_431.pdf
- United Nations. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto. Erişim adresi: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>

- Wang, K., Wei, Y. ve Zhang, X. (2013). Energy and emissions efficiency patterns of Chinese regions: A multi-directional efficiency analysis. *Applied Energy*, 104, 105-116.
- Wang, N., Chen, J., Yao, S. ve Chang, Y. C. (2018). A meta-frontier DEA approach to efficiency comparison of carbon reduction technologies on project level. *Renewable and sustainable Energy Reviews*. 8, 2606-2612.
- Weeber, M., Ghisi, E. ve Sauer, A. (2018). Applying energy building simulation in the assessment of energy efficiency measures in factories. *Procedia CIRP*, 69, 336-341.
- Wei, Y. M., Liao, H. ve Fan. (2007). an empirical analysis of energy efficiency in china's iran and steel sector. *Energy*, 32, 2262-2270.
- World Meteorological Organization. (1979). *Proceedings of the World Climate Conference a Conference of Experts on Climate and Mankind*. Geneva. Erişim adresi https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_537_en.pdf
- Worrell, E., Laitner, J. A., Ruth, M. ve Finman, H. (2003). Productivity benefits of industrial energy efficiency measures. *Energy*, 28, 1081-1098.
- Wu, A., Cao, Y. Y. ve Liu, B. (2014). Energy efficiency evaluation for regions in China: an application of DEA and Malmquist indices. *Energy Efficiency*, 7(3), 429-439.
- Wu, F., Fan, L. W., Zhou, P. ve Zhou, D. Q. (2012). Industrial energy efficiency with CO₂ emission in China: A nonparametric analysis. *Energy Policy*, 49, 164-172.
- Wu, F., Zhou, P. ve Zhou, D. Q. (2016). Does there exist energy congestion? Empirical evidence from Chinese industrial sectors. *Energy Efficiency*, 9(2), 371-384.
- Ye, X., Xia, X. ve Zhang, J. (2013). Optimal sampling plan for clean development mechanism energy efficiency lighting projects. *Applied Energy*, 112, 1006-1015.

- Zhang, X. P., Cheng, X. M., Yuan, J. H. ve Gao, X, J. (2011). Total-factor energy efficiency in developing countries. *Energy Policy*, 39, 644-650.
- Zhou, P., Ang, B. W. ve Poh, K. L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, 189, 1-18.
- Zhu, J. (2014). *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking: Data Envelopment Analysis with Spreadsheets* (Vol. 213). New York: Springer.



EKLER

EK 1. Tez Çalışması Orijinallik Raporu

 HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA
Tarih: 11/06/2018
Tez Başlığı: TÜRKİYE'DE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMALARININ SANAYİ KURULUŞLARI VE SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİ AÇISINDAN ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler ve d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 70 sayfalık kısmına ilişkin, 11/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda işaretlenmiş filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 9'tür. Uygulanan filtrelemeler: 1- ☒ Kabul/Onay ve Bildirim sayfaları hariç 2- ☒ Kaynakça hariç 3- ☐ Alıntılar hariç 4- ☒ Alıntılar dâhil 5- ☒ 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim. Gereğini saygılarımla arz ederim.
Adı Soyadı: Pınar Engin Öğrenci No: N14124945 Anabilim Dalı: İşletme Anabilim Dalı Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Tarih ve İmza 11.06.2018 
DANIŞMAN ONAYI UYGUNDUR.  Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı (Unvan, Ad Soyad, İmza)

EK 2. Tez Çalışması Etik Kurul İzin Muafiyeti Formu

 HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ TÜRKİYAT ARAŞTIRMALARI ENSTİTÜSÜ TEZ ÇALIŞMASI ETİK KURUL İZİN MUAFİYETİ FORMU		
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ TÜRKİYAT ARAŞTIRMALARI ENSTİTÜSÜ İŞLETME ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA		
Tarih: 11/06/2018		
Tez Başlığı / Konusu: TÜRKİYE'DE ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİ UYGULAMALARININ SANAYİ KURULUŞLARI VE SANAYİDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ PROJELERİ AÇISINDAN ETKİNLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ		
Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmam: 1. İnsan ve hayvan üzerinde deney niteliği taşımamaktadır, 2. Biyolojik materyal (kan, idrar vb. biyolojik sıvılar ve numuneler) kullanılmasını gerektirmemektedir. 3. Beden bütünlüğüne müdahale içermemektedir. 4. Gözlemsel ve betimsel araştırma (anket, ölçek/skala çalışmaları, dosya taramaları, veri kaynakları taraması, sistem-model geliştirme çalışmaları) niteliğinde değildir.		
Hacettepe Üniversitesi Etik Kurullar ve Komisyonlarının Yönergelerini inceledim ve bunlara göre tez çalışmamın yürütülebilmesi için herhangi bir Etik Kuruldan izin alınmasına gerek olmadığını; aksi durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.		
Gereğini saygılarımla arz ederim.		
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 70%;"> Adı Soyadı: Pınar Engin Öğrenci No: N14124945 Anabilim Dalı: İşletme Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr. </td> <td style="width: 30%; text-align: right; vertical-align: top;"> Tarih ve İmza 11.06.2018  </td> </tr> </table>	Adı Soyadı: Pınar Engin Öğrenci No: N14124945 Anabilim Dalı: İşletme Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.	Tarih ve İmza 11.06.2018 
Adı Soyadı: Pınar Engin Öğrenci No: N14124945 Anabilim Dalı: İşletme Programı: Üretim Yönetimi ve Sayısal Yöntemler Statüsü: ☒ Y.Lisans ☐ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.	Tarih ve İmza 11.06.2018 	
<u>DANIŞMAN GÖRÜŞÜ VE ONAYI</u> UYGUNDUR.  Doç. Dr. Kazım Barış Atıcı		
Telefon: 0-312-2976771 Faks: 0-3122977171 E-posta: turkiyat@hacettepe.edu.tr		