İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

SANAYİDE SIFIR KARBONDİOKSİT SALINIMI İÇİN MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE OTOMOTİV ÜRETİM ENDÜSTRİSİNE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmet HABİR

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

SANAYİDE SIFIR KARBONDİOKSİT SALINIMI İÇİN MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE OTOMOTİV ÜRETİM ENDÜSTRİSİNE UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmet HABİR
301121020

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301121020 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi İsmet HABİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "SANAYİDE SIFIR KARBONDİOKSİT SALINIMI İÇİN MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE OTOMOTİV ÜRETİM ENDÜSTRİSİNE UYGULANMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmustur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Nesrin ALTINSOY** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Önder GÜLER** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Dr.Öğr. Üyesi Muharrem EYİDOĞAN Kocaeli Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 3 Mayıs 2019
Savunma Tarihi : 14 Haziran 2019

Eşim Kübra'ya ve beni yetiştiren aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle, yoğun iş hayatımla birlikte sürdürğüm bu tez çalışması boyunca şartlarıma sabır gösteren, her türlü yardımı yapan fedakar eşim Kübra'ya teşekkür ederim. Ayrıca çocukluğumdan itibaren eğitimimi hep ön planda tutan, benim için hep en iyisine çaba gösteren sevgili annem ve babama, bu çalışma boyunca verdiği emekler için saygıdeğer hocam Nesrin Altınsoy'a ve bugüne kadar üzerimde emeği olan tüm öğretmenlerime teşekkür ederim.

Yaptığım çalışmalarda bana kolaylık sağlayan başta Zeynep Keçeci olmak üzere tüm yöneticilerime ve tüm işverenlerime de derin şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2019

İsmet HABİR
Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
1.2 Literatür Araştırması 3
1.3 Tezde İzlenen Yöntem 4
2. İKLİMSEL DEĞİŞİKLİK **7**
2.1 Küresel Isınmada Mevcut Göstergeler 7
2.2 Sera Etkisi 9
2.3 Kyoto Protokolü 10
2.4 Sera Gazları ve Karbondioksit Eşdeğerleri 11
2.5 Karbondioksit 12
2.6 Karbon Ayak İzi 13
2.7 Karbon Borsası 13
3. ENERJİ - SANAYİ - KARBONDİOKSİT SALINIMI İLİŞKİSİ **15**
3.1 Enerji 15
3.2 Sanayileşme ve Enerji İlişkisi 16
3.3 Karbondioksit Salınımının Oluşumu ve Enerji ile İlişkisi 18
3.4 Elektrik Enerjisi Üretim Faaliyetleri 19
3.5 Fosil Yakitlardan Isı Elde Etme Faaliyetleri 20
3.6 Enerjinin Karbondioksit Salınımı Açısından İncelenmesi 21
3.6.1 Fosil yakıtların karbondioksit salınımı eşdeğeri 21
3.6.2 Elektrik enerjisinin karbondioksit salınımı eşdeğeri 22
3.6.2.1 Şebeke odaklı yaklaşım 22
3.6.2.2 Kaynak santral odaklı yaklaşım 22
3.7 Anahtar Performans Göstergeleri 23
4. SIFIR KARBONDİOKSİT SALINIMI İÇİN SÜREKLİ İYİLEŞTİRME MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ **25**
4.1 Sıfır Karbondioksit Yaklaşımı 26
4.1.1 İhtiyacı azalt 27
4.1.1.1 Taşıma israfı 29
4.1.1.2 Stok israfı 29
4.1.1.3 Hareket israfı 30
4.1.1.4 Bekleme israfı 30

4.1.1.5 Aşırı üretim israfı 30
4.1.1.6 Aşırı işlem israfı 31
4.1.1.7 Hata israfı 31
4.1.2 Verimi arttır 32
4.1.2.1 İletim 33
4.1.2.2 Rezerv 33
4.1.2.3 Verimsizlik 34
4.1.2.4 Boşa çalışma 34
4.1.2.5 İhtiyaç fazlası 35
4.1.2.6 Dönüşüm 36
4.1.2.7 Arızalar 36
4.1.2.8 Enerji israflarının karşı önlemleri 36
4.1.3 Yenilenebilir kaynakların entegrasyonu 37
4.2 Problem Çözme Metodolojisi 38
4.2.1 Problemin belirlenmesi 39
4.2.2 Problemi parçalarına ayırma 40
4.2.3 Hedef belirleme 40
4.2.4 Kök neden analizi 41
4.2.5 Karşı önlemler geliştirme 42
4.2.6 Karşı önlemler uygulama 42
4.2.7 Sonuç ve süreçleri izleme 43
4.2.8 Önlem alma, standartlaştırma ve yaygınlaştırma 43
5. GELİŞTİRİLEN MODELİN ÖRNEK TESİSTE UYGULANMASI 45
5.1 Tesis Yapısı 45
5.1.1 Pres tesisi 46
5.1.2 Kaynak tesisi 47
5.1.3 Boya tesisi 48
5.1.4 Plastik tesisi 49
5.1.5 Montaj tesisi 50
5.2 Modellenen Tesisteki Enerji Tüketimi 51
5.2.1 Isıtma 52
5.2.1.1 Sıcak su, kızgın su ve buhar kazanları 52
5.2.1.2 Fırınlar 52
5.2.1.3 Rezistanslar 53
5.2.2 Soğutma 54
5.2.2.1 Soğutma grupları (chiller) 54
5.2.2.2 Soğutma kuleleri 55
5.2.2.3 Motorlu fanlar 55
5.2.2.4 Pompalar 55
5.2.3 Ortam koşullandırma 56
5.2.3.1 Klima santrali (HVAC) sistemleri 56
5.2.3.2 Klimalar 57
5.2.4 Hareket ve taşıma 57
5.2.4.1 Elektrikli makinalar 57
5.2.4.2 Basınçlı hava sistemleri, kompresör ve kurutucular 58
5.2.4.3 Pnömatik ve elektrikli el aletleri 58
5.2.5 Aydınlatma 59
5.2.5.1 Akkor flamanlı ve halojen lambalar 59
5.2.5.2 Floresan ve kompakt floresan lambalar 60
5.2.5.3 Civa buharlı lambalar 60

5.2.5.4 Metal halide lambalar 60
5.2.5.5 LED lambalar 61
5.2.5.6 Diğer verimlilik arttırıcı uygulamalar 61
5.2.6 Elektronik 61
5.2.7 Enerji tüketimi ve karbondioksit salınımı 62
5.2.7.1 Elektrik tüketimi ve ölçülmesi 62
5.2.7.2 Doğalgaz tüketimi ve ölçülmesi 63
5.2.7.3 Tesisteki enerji tüketim payları 63
5.2.7.4 Tesisteki karbondioksit salınımı 65
5.3 Tesisin Enerji Karakterinin Saptanması ve Tahminlerin Yapılması 66
5.3.1 Tesisteki enerji tüketim karakteri 67
5.3.2 Regresyon analizi ile enerji tüketim katsayılarının tespit edilmesi 69
5.3.3 Regresyon sonuçlarının yorumlanması 72
5.4 Hedef Belirleme 75
5.4.1 İncelenen tesis için ara hedeflerin tayini 76
5.4.2 Hedeflerin belirlenmesinde dikkat edilecek hususlar 77
5.4.2.1 Belirlilik 77
5.4.2.2 Ölçülebilirlik 77
5.4.2.3 Başarılabilirlik 77
5.4.2.4 Alakalılık 78
5.4.2.5 Zamana bağımlılık 78
5.5 Önceliklendirme 78
5.5.1 Pareto prensibi 79
5.5.2 Stratejik önceliklendirme 79
5.6 Planlama 81
5.7 Uygulama 82
5.7.1 Enerji yönetim sistemi 82
5.7.1.1 Kayıp kaçak yönetimi 84
5.7.1.2 Üretim dışı tüketim yönetimi 86
5.7.1.3 Anormallik / uygunsuzluk yönetimi 87
5.7.1.4 Öneri sistemi 88
5.7.2 Buharsızlaştırma dönüşümü 90
5.7.2.1 Kazan verimliliği 91
5.7.2.2 İletim hattı verimliliği 93
5.7.2.3 Sonuç 94
5.7.3 Basınçsızlaştırma dönüşümü 94
5.7.3.1 Verim artışı 97
5.7.3.2 Sistemin parçalanması 98
5.7.3.3 Dönüşüm 100
5.7.4 Aydınlatma yönetimi ve LED dönüşümü 101
5.7.5 Motor, pompa ve fan verimliliğinin arttırılması 103
5.7.6 Yenilenebilir enerji kullanımı 107
5.7.6.1 Fotovoltaik 107
5.7.6.2 Solar duvar 109
6. SONUÇ VE TARTIŞMA 111
KAYNAKLAR 117
EKLER 121
ÖZGEÇMİŞ 137

KISALTMALAR

ABD	**:** Amerika Birleşik Devletleri
APG	**:** Anahtar Performans Göstergesi
CSIRO	**:** İngiliz Ulusal Bilim ve Endüstriyel Araştırma Örgütü
dk	**:** dakika
EIA	**:** ABD Enerji Bilgi İdaresi
ESCO	**:** Enerji Hizmet Şirketi
GW	**:** Gigawatt
GWh	**:** Gigawatt-saat
HVAC	**:** Isıtma, vantilasyon ve hava şartlandırma
IEA	**:** Uluslararası Enerji Ajansı
IEC	**:** Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ISO	**:** Uluslararası Standartlar Teşkilatı
İTÜ	**:** İstanbul Teknik Üniversitesi
KPI	**:** Key Performance Indicator (APG)
kW	**:** Kilowatt
kWh	**:** Kilowatt-saat
lm	**:** Lümen
mm	**:** milimetre
MW	**:** Megawatt
MWh	**:** Megawatt-saat
NASA	**:** ABD Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
Nl	**:** Normal Litre
NOAA	**:** ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
ppm	**:** Milyon birimdeki partikül miktarı
PUKÖ	**:** Planla-Uygula-Kontrol et-Önlem al
SET	**:** Spesifik enerji tüketimi
TED	**:** Termal enerji deposu
TEP	**:** Ton eşdeğer petrol
V	**:** Volt
W	**:** Watt

SEMBOLLER

μ	: Verim
CH_4	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
E	: Enerji
g	: yer çekimi ivmesi
H	: Yükeklik
HFCs	: Hidroflorokarbonlar
m^2	: metrekare
N_2O	: Nitrözoksit
P	: Güç
p	: özgül ağırlık
PFCs	: Perflorokarbonlar
Q	: Debi
SF_6	: Kükürt hekzaflorür

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sera gazlarının CO_2 eşdeğerleri. 11
Çizelge 3.1 : Enerji kaynaklarına göre karbon emisyon değerleri..... 20
Çizelge 3.2 : Fosil yakıtların yakılması sonucu salınan CO_2 miktarları..... 21
Çizelge 4.1 : 7 israfın enerji karşılıkları. 32
Çizelge 4.2 : Enerji israfları ve karşı önlem odakları. 37
Çizelge 5.1 : İki değişkenli regresyon analizi verileri. 70
Çizelge 5.2 : Basınçlı hava kaçaklarının etkisi [Nl/dk]. 85
Çizelge 5.3 : Hava kaçaklarının CO_2 salınımı açısından etkisi [$kgCO_2$/yıl]. 85
Çizelge 5.4 : İyileştirme önerileri için kullanılabilcek çevrimler. 89
Çizelge 5.5 : Enerji israflarının basınçlı hava sistemindeki karşılıkları. 96
Çizelge 6.1 : Problem çözme metodunun tez çalışmasına uyarlaması. 113
Çizelge A.1 : Pres tesisi enerji tüketim kırılımı..... 123
Çizelge A.2 : Kaynak tesisi enerji tüketim kırılımı. 124
Çizelge A.3 : Boya tesisi enerji tüketim kırılımı. 125
Çizelge A.4 : Plastik tesisi enerji tüketim kırılımı..... 126
Çizelge A.5 : Montaj tesisi enerji tüketim kırılımı. 127
Çizelge A.6 : Endirekt birimler enerji tüketim kırılımı. 128
Çizelge A.7 : Fabrika geneli toplam enerji üketim kırılımı..... 129
Çizelge B.1 : Üretim hacmi ve HDD'nin elektrik tüketimine etkisi. 131
Çizelge B.2 : Üretim hacmi ve CDD'nin elektrik tüketimine etkisi..... 132
Çizelge B.3 : Üretim hacmi ve HDD'nin doğalgaz tüketimine etkisi. 133
Çizelge B.4 : Üretim hacmi ve CDD'nin doğalgaz tüketimine etkisi. 134
Çizelge B.5 : Üretim hacmi, HDD ve CDD'nin CO_2 salınımına etkisi..... 135

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışma odağı. 5
Şekil 2.1 : Sıcaklık anormalliği. 8
Şekil 2.2 : Deniz seviyesindeki değişim. 8
Şekil 2.3 : Sera etkisi. 9
Şekil 2.4 : Sera gazlarının salınım oranları. 10
Şekil 2.5 : Sera gazı salınımına sebep olan faaliyet gruplarının oranları. 11
Şekil 2.6 : Atmosferdeki karbondioksit seviyesi. 12
Şekil 2.7 : Son 70 yıldaki atmosferdeki karbondioksit seviyesi. 12
Şekil 3.1 : Sanayileşme sürecinde enerji tüketimindeki artış. 17
Şekil 3.2 : Karbondioksit salınımının tarihsel süreci. 17
Şekil 3.3 : Enerji kullanımının faaliyetlere göre dağılımı. 18
Şekil 3.4 : Endüstriyel faaliyetin karbondioksit salınımı 18
Şekil 4.1 : PUKÖ döngüsü (çevrimi). 25
Şekil 4.2 : PUKÖ ve standartlaştırma ilişkisi. 26
Şekil 4.3 : Sıfır karbondioksit salınımı yaklaşımı. 27
Şekil 4.4 : İş süreçlerinde israf yaklaşımı. 28
Şekil 4.5 : Süreçlerde israf analizi, cıvata sıkma örneği. 28
Şekil 4.6 : Problemin tanımı. 39
Şekil 4.7 : Sürekli iyileştirmede hedef belirleme 41
Şekil 5.1 : Örnek üretim tesisindeki süreç şeması. 46
Şekil 5.2 : Pres işlemi tamamlanmış kaporta parçaları. 47
Şekil 5.3 : Punta kaynak robotları 47
Şekil 5.4 : Boya robotları. 48
Şekil 5.5 : Plastik enjeksiyon makinası. 49
Şekil 5.6 : Montaj hattı. 50
Şekil 5.7 : Tesisteki elektrik tüketim dağılımı. 63
Şekil 5.8 : Tesisteki doğalgaz tüketim dağılımı. 64
Şekil 5.9 : Enerji kaynaklarına göre enerji tüketimi. 64
Şekil 5.10 : Tesisteki toplam enerji tüketimi dağılımı. 65
Şekil 5.11 : Tesisteki toplam karbondioksit salınım dağılımı. 65
Şekil 5.12 : Tesisteki toplam karbondioksit salınım miktarları. 66
Şekil 5.13 : Excel data analiz eklentisinden regresyon analizi seçimi. 71
Şekil 5.14 : Regresyon analizinde girdi ve çıktıların seçilmesi. 71
Şekil 5.15 : Regresyon analizi & R^2 testi. 72
Şekil 5.16 : R^2 test sonuçlarının kıyaslanması. 73
Şekil 5.17 : Gerçekleşen elektrik tüketimi (Elk) ile türetilen denkleme göre ortaya çıkan elektrik tüketim eğrisinin (Elk') kıyaslanması. 74
Şekil 5.18 : Gerçekleşen doğalgaz tüketimi (DG) ile türetilen denkleme göre ortaya çıkan doğalgaz tüketim eğrisinin (DG') kıyaslanması. 75
Şekil 5.19 : Toplam salınım azaltımı için hedef belirleme örneği. 76

Şekil 5.20 : Tesisteki karbondioksit salınımı için belirlenen hedefler. 76
Şekil 5.21 : Stratejik öncelik bölgeleri. 80
Şekil 5.22 : Tesisteki enerji yönetim organizasyonu. 83
Şekil 5.23 : Enerji yönetimi etkin işleyiş prensipleri. 84
Şekil 5.24 : Tesisin zamana bağlı enerji tüketim miktarı. 86
Şekil 5.25 : Anormallik sayısı anahtar performans göstergesi. 87
Şekil 5.26 : Anormallik etkisi anahtar performans göstergesi. 87
Şekil 5.27 : Etkin kitlesel katılım unsurları. 89
Şekil 5.28 : Merkezi buhar sistemi kayıp oranı. 94
Şekil 5.29 : Basınçlı hava üretiminde ısıya dönüşme. 95
Şekil 5.30 : Üretilen basınçlı havanın mekanik enerjiye dönüşümü. 96
Şekil 5.31 : Havasızlaştırma yol haritası. 97
Şekil 5.32 : Uygulanabilir tasarruf olanakları pareto analizi. 97
Şekil 5.33 : Basınçlı hava sisteminin dönüşüm stratejisi. 99
Şekil 5.34 : Basınçlı hava sistemi bölgesel dönüşüm örneği. 99
Şekil 5.35 : Dönüşümde lokal kompresörlerin kullanım stratejisi 100
Şekil 5.36 : Aydınlatmanın karbondioksit salınımındaki payı. 101
Şekil 5.37 : Dönüşüme tabi tutulacak armatürlerin CO_2 salınımına etkilerini gösterir Pareto analizi. 102
Şekil 5.38 : Aydınlatma dönüşümünün karbondioksit salınımına etkisi. 102
Şekil 5.39 : 4 kutuplu 50 Hz motor verimlilik sınıfları. 103
Şekil 5.40 : Kocaeli ili aylık ortalama radyasyon dağılımı. 108
Şekil 6.1 : Enerji akış diagramı. 112
Şekil 6.2 : Sıfır karbondioksit salınımlı fabrika dönüşüm stratejisi. 114

SANAYİDE SIFIR KARBONDİOKSİT SALINIMI İÇİN MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE OTOMOTİV ÜRETİM ENDÜSTRİSİNE UYGULANMASI

ÖZET

Bu çalışmanın hedefi endüstriyel üretim faaliyetlerinin çevresel açıdan sürdürülebilirliğinin sağlanması için bir model geliştirilmesidir. Geliştirilen modelde enerji kaynaklı karbondioksit salınımının sıfırlanması amaçlanmış, bu amaç için bir çalışma standardı önerilmiş ve strateji oluşturulmuştur. Model geliştirmede otomotiv endüstrisindeki gelişmiş metotlardan faydalanılmıştır. Tüm endüstriyel tesislere uyarlanabilir genel bir yaklaşım geliştirilmesi ve otomotivin endüstrideki rol model özelliği sayesinde bu çalışmadaki yaklaşımın tüm endüstriyel branşlara yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Modelin ve çalışmaların anlaşılırlığının arttırılması için bir üretim tesisinin yapısı ve yapılabilecek çalışmalarla ilgili örneklere yer verilmiştir.

Enerji üzerine yapılan çalışmalarda, sistemlerin enerji sarfiyatlarının mali eşdeğerlerinin ve önerilen iyileştirmelerin geri ödeme sürelerinin hesaplanmasından yola çıkan yaklaşımlar yaygındır. Literatürde yer alan enerji çalışmalarının çoğunluğunun aksine bu çalışmadaki yaklaşım maliyet odaklı değil; karbondioksit salınımı odaklıdır. Endüstriyel faaliyetlerin ihtiyacı için üretilmiş olan her birim enerjinin bir karbondioksit salınımı eşdeğeri olmasından hareketle, "kWh" gibi enerji birimleri üzerinden yapılan çalışmalar, karar aşamasında yatırım geri ödemelerine göre değil; karbondioksit salınım eşdeğerlerine göre çevresel etkilerine göre değerlendirilecektir. Dolayısı ile endüstri kaynaklı karbondioksit salınımının çözümü de tıpkı enerjinin finansal boyutlarında olduğu gibi, enerji hakkında uzmanlık ve teknik çalışmalar gerektirir. Öte yandan, yaklaşımın maliyet yerine karbondioksit salınımı merkezli olması, karar aşamasında farklı tercihler doğuracaktır. Bu çalışmanın enerji üzerine yürütülen faaliyetlerin birçoğundan ayrıldığı kısım burasıdır.

Terminolojideki en yaygın kullanılan adıyla "yalın", süreçlerdeki israfları ortadan kaldırmayı hedef alan bir sistem, metodoloji veya felsefe olarak tanımlanabilir [1]. Bu yaklaşım, çıkış noktası itibariyle üretim odaklıdır ve en geniş kullanımına da bu alanda ulaşmıştır. Bu nedenle "yalın üretim" olarak bilinirliği yüksektir. Öte yandan ancak yalın yaklaşımın özümsenmesi ile bunun ne bir sektöre ne de bir iş bölümüne sığdırılamayacağı anlaşılabilir. 20'nci yüzyılda ortaya çıkan ve halen günümüz yaşamını şekillendirmekte olan bu devrimsel yaklaşım, günümüzde her iş kolunun her branşına; bunun da ötesinde günlük yaşamımıza dahi ilham kaynağı olabilecek felsefi bir yaklaşım olarak ele alınmalıdır. Devam eden süreçte geliştirilen teknikler, alt metodolojiler ve metotlar ile çok sayıda uygulama ortaya çıkmıştır. Bu sayede yalın, bu yöntemlerin tamamını kapsayan genel bir sistem tanımı halini almıştır.

Bu tez çalışmasında, günümüzdeki iş süreçlerinde yaygın bir şekilde kullanılan yalın yaklaşımın enerji yönetimi ile birleştirilmesi; bu sayede enerji kullanımından

kaynaklanan çevresel etkilerin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Örnek bir endüstriyel tesis analiz edilmiş, tesisin şartları ile tezin önerdiği yaklaşım entegre edilmiştir. Oluşturulan modelin yaygınlaştırılması ile çevresel açıdan sürdürülebilir endüstriyel faaliyet doğasının mümkün kılınması amaçlanmıştır.

Tezin ilk bölümünde, çalışmanın arkasındaki motivasyon açıklanmıştır. Mevcut endüstriyel faaliyetlerin çevresel açıdan sürdürülebilir olmadığına değinilmiştir. Olumsuz etkenlerin etkili bir şekilde ortadan kaldırılmasına ilişkin nasıl bir yaklaşım benimsenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde çevresel bozulmalar hakkındaki araştırmalar yer almaktadır. Ana problem en temel hatlarıyla belirlendikten sonra parçalara ayrılacak ve çalışmaya esas olan karbondioksit salınımı etkeni mercek altına alınacaktır. Bu etkende bugüne kadar yakalanan trendler ve iklimsel değişikliğin ulaştığı noktalar değerlendirilecektir.

Üçüncü bölümde enerji, sanayi ve karbondioksit hakkında temel bilgiler verilmiştir. Bu unsurların birbirleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Dördüncü bölümde bu çalışmanın metodolojisi ifade edilecektir. Üretim süreçlerindeki israflar ve bu israfların enerji sistemlerindeki karşılıkları tanımlanacaktır. Yalın sistemlerin çoğunda kullanılan problem çözme yöntemi ve yöntemin bu çalışmaya uyarlaması açıklanacaktır. Problem çözmenin yol haritasının ifade edilmesinin yanı sıra, her adımda nasıl çalışmaların yapılabileceği konusunda da açıklamalar yapılacak, örnekler verilecektir.

Beşinci bölüm, geliştirilen yaklaşımın örnek bir tesis üzerindeki uygulamaları hakkındadır. Bu tesisteki enerji tüketimi kaynaklı karbon salınımı bir problem olarak tanımlanacak ve metodolojinin önerdiği şekilde bir süreç oluşturulacaktır. Bu bölümün amacı, buraya kadar anlatılan kısımlarla ilgili örnek uygulamaların ve etkilerinin gösterilmesidir. Burada ifade edilen uygulamalar farklı endüstri kolları için farklı konular da olabilir fakat önemli olan yaklaşımın her faaliyete uygulanabilir olmasıdır.

Altıncı ve son bölümde ise tartışma ve genel değerlendirmeler yer almaktadır.

MODEL DEVELOPMENT FOR ZERO CARBON DIOXIDE EMISSION IN THE INDUSTRY AND APPLICATION ON THE AUTOMOTIVE PRODUCTION SECTOR

SUMMARY

The goal of this study is to develop a model for environmental sustainability of industrial activities. Elimination of energy-related carbon dioxide emissions is aimed by the developed model. A work standard has been suggested and a strategy has been established for the target. Inspired by the advanced working methods of the automotive industry while development of the model. It is also aimed that to put forward an approach can be applied any industrial facility and to disseminate it to all branches of the industry with the help of role model identity of the automotive industry. Information about the facilites and examples of possible studies are given in order to increase the comprehensibility of the model and the works.

Financial equivalents of energy consumptions and return of investment calculations are widespread approaches of energy studies. Despite most of the energy studies, the approach of this study focuses on carbon dioxide emissions but financial equivalents of energy. Every unit of energy has an equivalent of carbon dioxide emissions. Thus, it is easy to establish a connection with industrial energy demand and carbon dioxide emission. From this point of view, studies on energy units such as “kWh” will not be evaluated by their return of investments but carbon dioxide emission equivalents and environmental effects.

The solution of the industrial activity related the carbon dioxide emission requires the expertise and technical studies about the energy. The complexity and the scope of works do not have big differences whether work on carbon dioxide emission or cost reduction activities about energy. On the other hand, carbon dioxide emission focussed approach will cause different preferences in the decision phase rather than the cost-focused approach. This is the part where this work is separated from many of the studies carried out on energy.

"Lean" can be defined as a system, methodology or philosophy aimed to eliminate wastes in processes by its most commonly usage in the terminology. This approach is production oriented by its creation point and has reached widespread usage in this area. Therefore it also known as “lean production”. However, it can be seen that, lean cannot be restricted to any sector or a division of business if the philosophy is fully understood.

This revolutionary approach, which emerged in the 20th century and is still shaping today's life, can be adopted to every branch of business; furthermore, it should be considered as a philosophical approach that can inspire even our daily lives. Developed techniques, sub-methodologies and methods have emerged in the ongoing process. In this way, lean has become a general system definition covering all of these practices.

This study aims to minimize the environmental impacts caused by energy use by combining the lean approach with energy management. An industrial facility was analyzed and the approach proposed by this study applied on the facility. Finally, it is aimed to make possible the naturally sustainable industrial activities by expanding the model to every industry.

The motivation behind the study has been expressed in section 1. It has been mentioned that existing industrial activities are not environmentally sustainable. There is also brief information about the strengths, weaknesses, opportunities and threads about the ways of getting to the solution. Financial pressures, competition in the market and irresposibility are emerged as main negative impacts. However, environmental awareness of the community can be assumed as the major opportunity to change the way business work. It is also mentioned that what kind of approach should be adopted to effective elimination of the negative factors.

In the second section of the study, researches about environmental detorioration are included. After the main problem is determined by the most basic lines, it is focused on the carbon dioxide emission factor which is the basis of the study. Trends and climatic changes are showed about the issue. Trends about the earth surface temperature, sea level and carbon dioxide concentration in the atmosphere has demonstrated by using reliable sources of relevant constitutions. The greenhouse effect is picturized as one of the main root cause of the climatic change and one of the main result of the greenhouse gas emissions. Distribution of the greenhouse gas emissions is represented as declared in the Kyoto Protocol. Besides, the validity problems of the Kyoto Protocol reviewed.

In the third section, basic information about energy, industry and carbon dioxide is given. The relations between these elements were examined. World's energy demand and carbon dioxide emission trends are showed and the relation between industrialization investigated. The historical process of industrial evolutions summarized and future projections are shared. It can also be seen in this chapter that the world's energy demand and carbon dioxide emissions are tripled in the past 50 years. Energy consumption distribution between industry, transportation, household, finance and agriculture is pictured. Industrial effect on the energy consumption sembolized as the focus point of this study. Electricity production and fossil fuel consumptions are investigated with the aspect of the environmental effects. Electricity usage from the national grid and burning of natural gas are taken as the two dimensions of the facility's environmental effect. Commonly used key performance indicators (KPI) are mentioned.

In the fourth section, the methodology of this study is expressed. Plan, check, control, act (PDCA) cycle is confirmed as an underlying approach. Additionally, the role of the standardization is emphasized as a key point of sustainable improvements. Demand reduction, efficiency increase and renewable conversion are presented as a three steps of the long-term project. Wastes in production processes and their responses in energy systems defined to understand the improvement points on the first two steps of the project. Moreover, the problem solving method used in the lean production systems will be explained and adopted to this study. In addition to expressing the road map of problem solving, explanations will be given on how each step can be carried out.

The fifth chapter is about the practices of the developed approach on a sample facility. Energy consumption-induced carbon emissions from the facility is defined as a problem and a solution processes are created as suggested by the methodology. The

<purpose of this section is to show the sample practices and effects of the described projects. The practices expressed here may differ for the other industries, but the important point is that the approach is applicable to every industrial facility.

Production line of the facility is introduced and sub-facilities are presented. Major energy consumers are indicated. Energy consumption breakdown of the facilities is clarified and key performance indicators are shared. Environmental effects of the energy consumptions are calculated. Energy consumption characteristic of the facility is brought out by the regression analysis. Steps of the analyses are defined step by step. Then, the results of the analysis commented with r-square tests.

Target setting is defined as the next step of the solution after the energy consumption related carbon dioxide emission identified as a problem and its breakdown showed previously. Key points of the target setting process are clarified. Prioritization is taken as the fourth step of the solution method. Strategical prioritization for energy related works is put forward. Prioritization is followed by planning stage as the fifth step. After that, sample applications are given in the next step. Major applications of zero carbon dioxide emission target are explained in the application stage.

In sixth and the last chapter, discussion and general evaluations are included. Key points of the whole thesis are reviewed briefly. Long term projections evaluated and comments added by considering possible scenarios. It is also indicated that the results or targets may vary according to the energy intensity of the industries.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Herhangi bir mal veya hizmet üretim faaliyetinde, çıktı elde edilebilmesi için enerji girdisine ihtiyaç duyulur. Bu durum beden gücüyle de çalışılsa, makinalar da kullanılsa geçerlidir. Dolayısı ile üretimin artması, enerji ihtiyacının artması anlamına gelmektedir. Bu nedenle sanayileşme ile birlikte artış gösteren en önemli unsurlardan biri enerjiye olan ihtiyaçtır. Sanayi devrimlerinden bu yana dramatik ölçüde tırmanan enerji kullanımı ise, bir takım çevresel sorunları beraberinde getirmiştir. Artan enerji tüketiminin çevresel etkileri her geçen gün daha görünür hale gelirken, enerji ve enerjinin çevresel etkileri konusunda artan farkındalık, problemlerin daha net tanımlanmasını sağlamış, yeni çözümlerin aranmasının gerekliliğini daha hissedilir kılmıştır.

Ülkeler, şirketler ve hatta bireysel açıdan hızla tırmanan farklı konulardaki rekabetler, ekonomik rekabetle de yakın bir korelasyon halindedir. Benzer boyutlardaki rekabetler, endüstriyi, iş dünyasını ve hatta kişisel yönelimleri ekonomik konulara odaklanmaya itmiş ve nihayetinde çevre gibi toplum için hayati öneme sahip gerekliliklerin ihmal edilmesine yol açmıştır [2]. İnsanlığın yüzyıllardır içinde bulunduğu bu yarışın şiddeti, gelişen teknolojiler ile her sene daha da artan bir ivme kazanmaya devam etmektedir. Göz ardı edilemeyecek bir yozlaşmayı beraberinde getiren bu mücadele, halen birçok kurum tarafından bilinçsizce çevrenin tahrip edilmesine yol açmaktadır.

Bu bilinçsiz gidişi durdurma ve tersine çevirme eğiliminde olan aktivistler, politikacılar ve idareciler ise olumlu yönde girişimleri ateşlemeye çalışmaktadır. Ancak dünyanın geldiği konum itibariyle geriye dönüş bazı konularda her geçen gün daha da zor bir hal alabilmektedir. Bu durum çevresel politikaların çok fazla sosyo-ekonomik boyutla etkileşim halinde olmasından kaynaklanmaktadır. Dünyanın sanayi devleri bu konuda kararlar alırken zorlanmaktadır. Örneğin Çin'de sanayinin yoğun olduğu eyaletlerde hava kirliliği, havanın solunmasının zehirli kabul edildiği

mertebelere ulaşmaktadır [3]. Fakat faaliyetleri durdurmak, tesisleri çevreye uyumlu şekilde revize etmek, şehirleri, sanayi bölgelerini ve yaşam alanlarını yeniden tasarlamak olağanüstü ekonomik masraflar ve sosyal problemler doğuracaktır.

Bu nedenle ABD, Çin ve Rusya gibi ülkeler, Paris Anlaşması veya Kyoto protokolü gibi çevresel sorumluluk üstlenecekleri faaliyetlere katılım gösterme konusunda çekingen kalmakta veya katılımı reddetmektedir [4]. Ölçek daha mikro boyuta indirildiğinde de durum benzerdir. Her bir ticari kuruluşun en temel amacı ekonomik kar elde etmektir. Kimisi bu karı elde ederken bazı ilkelere sadık kalsa da bu konuda yeterince ilkeli kalamayacağı bir ekonomik baskı altında olabilir. Bu nedenle çevreye yüksek zararlar veren bir fabrika örneğinde de durum Çin veya ABD örneği ile benzer olacaktır. İdareciler belki tabi oldukları mevzuat sınırları içerisinde kalacaklardır ancak çevre için yapılacak herhangi bir aktivite kendilerine ekonomik avantaj sağlamayacak ise tek bir kuruşu harcamakta bile çekingen davranabileceklerdir.

Çevresel konulardaki gelişmeler elbette sadece olumsuz yönde değildir. Terazinin diğer kefesinde öncelikle her geçen gün artan müşteri bilinci bulunmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe öncelik verilen ilk unsur müşteridir. Fakat buradaki müşterinin alışılandan daha geniş bir tarifi vardır. Sektördeki tanıma göre, müşteri herhangi bir faaliyetten etkilenen kişidir. Otomotivde müşteri dendiğinde sadece arabaları satın alan kullanıcılar kastedilmez. Buradaki yaklaşıma göre bir üretim bandında arabanın ön camını takan personel, bir önceki proseste o camın yapışkanlarını süren personelin müşterisidir. Bir bakım ustası, kendisine tornavida satın alan bir satın alma uzamanının müşterisidir. Bu yaklaşım çevresel müşteri boyutuna uyarlanacak olursa, bir mahalle sakini özellikle yakınındaki bir fabrikanın müşterisi durumundadır. Bu nedenle özellikle modern sürdürülebilirlik çalışmalarında yakın coğrafi bölgelere yapılan sosyal, ekonomik veya çevresel etkiler yakından irdelenmektedir. Tüm müşterileri etkileyecek faaliyetler kesinlikle doğru kalitede, doğru zamanda, doğru içerikte olmalıdır. Müşteri, ancak kendisini etkileyen süreçlerdeki faaliyetler uygun koşullarda ise buradan bir yarar sağlayabilir ve kendisi de olumlu işler yapma fırsatı bulabilir. Fakat bir önceki süreçte yanlış yürütülen bir şey varsa olumlu sonuçlar elde edilmesi gitgide zorlaşacaktır. Müşteri yaklaşımı başka şekillerde adlandırılsa da tüm dünyada artan bir bilinç halini almaktadır. Buna göre vatandaşlar tercih ettikleri markaların, seçtikleri politikacıların, üye oldukları, bağış yaptıkları kurumların müşterileridir. Bu ortamda müşteri bir şeyi elde etmek istiyorsa ve müşteri bilincine erişmişse eninde

sonunda ya tedarikçilerini bu şekilde geliştirecektir ya da isteklerini karşılayacak tedarikçilerini bulacaktır. Çevresel sonuçların görünürlüğünün artması, müşteri tarafında da farkındalığın yükselmesini sağlamış, tedarikçilerin (politikacılar, endüstriyel kuruluşlar vb.) değişimi de bu şekilde başlamıştır. Toplumda artan çevre bilinci, insanların çevreye uyumlu ürünler için daha fazla para vermelerini kabul ettikleri örnekler ortaya çıkarır hale gelmiştir. İsmi ekolojik skandallara karışan markalar her geçen gün daha şiddetli kitlesel boykotlarla karşılaşır hale gelmişlerdir [5]. Bu tezin amacı da müşteri bilinci halini alan çevresel farkndalığın ileride daha kritik bir parametre olacağından yola çıkılarak, tüm endüstriyel kuruluşların bugünden itibaren dönüşüm geçirme ihtiyacının ortaya koyulmasıdır.

1.2 Literatür Araştırması

Literatürde, endüstrileşen ve ekonomik olarak gelişen dünyada çevre kirliliğinin ve karbondioksit salınımının arttığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu durumun boyutunu ifade etmek adına farklı etkenlerin karbondioksit salınımına etkisi üzerine de çalışmalar mevcuttur. Konunun çevre boyutundan bağımsız olarak enerji tüketimini ve bunun mali değerini inceleyen çalışmalar ise diğer yaygın araştırma konularındandır.

Külünk (2018) yaptığı çalışmada Türkiye'nin büyüme ve kişi başı GSYH değerleri ile hava kirliliği arasındaki bağıntıyı incelemiştir. Sera gazı salınımlarının CO_2 eşdeğerleri üzerine yapılan incelemede, kişi başına gelir ile kişi başına düşen karbon salınım oranları arasında uzun süreli tek yönlü bir nedensellik ilişkisi olduğu tespit edilmiştir [6].

Uysal ve Yapraklı (2016) ise kişi başı gelir ile çevre kirliliği arasındaki Kuznets eğrisine dikkat çekmiş, şu ana kadar olan CO_2 salınımının refah düzeyinin artmaya devam ettiği yerlerde azalma eğilimine dönüştüğüne değinmiştir [7].

Karaarslan vd. (2017) yaptıkları çalışmada Türkiye ve OECD ülkelerindeki mevcut CO_2 performans göstergelerini ve enerji kullanımı, büyüme, nüfus artışı, kişi başına düşen milli gelir, yenilenebilir enerji tüketimi ile aralarındaki kısa ve uzun dönemli ilişkileri Panel ARDL modeli ile araştırmıştır. Sonuçta, yenilenebilir enerji tüketimindeki artış ile CO_2 salınımının ters orantılı değiştiği gösterilmiştir [8].

Çoban ve Şahbaz Kılınç (2015) ise yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonu ilişkisini Türkiye değerleri üzerinden detaylı olarak incelemişlerdir. Yapılan regresyon analizinde kişi başı karbon salınımının, kişi başı yenilenebilir enerji tüketimi ile ters; kişi başı GSYH'nin ise doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir [9].

Özer (2015) çalışmasında enerji üretim sistemlerinin karbondioksit salınım eşdeğerlerini incelemiştir. Enerji üretim sistemlerinin kullandıkları enerji kaynaklarına göre ömür boyu salınım değerleri belirtilmiş, yenilenebilir ve nükleer kaynaklar "temiz", "yeşil" ve "sürdürülebilir" olarak tanımlanmıştır [10].

Pekin (2006) çalışmasında ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarını incelemiştir. Küresel ölçekte faydalı sonuçlar elde edilebilmesi için sera gazı salınımlarına yol açan tüm sektörlerin incelendiği ve karşı önlemlerin geliştirildiği çalışmalara ihtiyaç olduğuna dikkat çekmişlerdir [11].

Uylukçuoğlu (2009) ise konuyu enerji tasarrufu ve bunun mali değeri açısından ele almış, örnek bir otomotiv üretim tesisindeki başlıca iyileştirmelere değinmiştir. Buradaki odak noktası enerjinin maliyeti üzerine olup karar aşamasında projelerin mali eşdeğerleri ve yatırım geri ödeme süreleri göz önünde bulundurulmuştur [12].

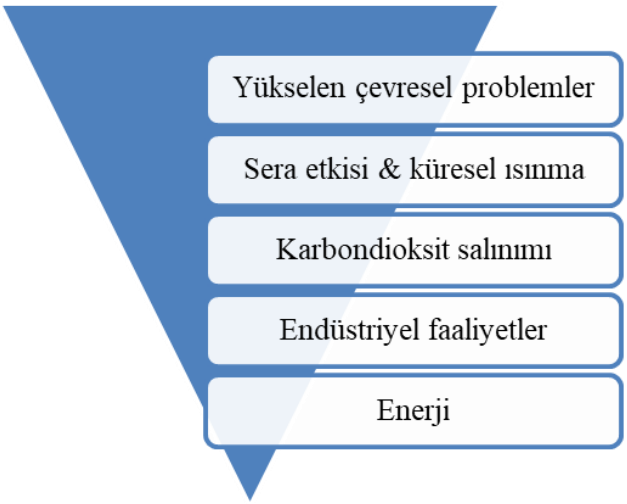
1.3 Tezde İzlenen Yöntem

Ulusal ve uluslararası standart enstitüleri üretim, iş sağlığı ve güvenliği, çevre, enerji gibi farklı konularda yönetim standartları geliştirmektedir. Şirketler, sanayi odaları, çalışma grupları veya benzeri organizasyonlar kurumsal imajları, sosyal sorumluluk bilinçleri veya mevzuata uyum zorunlulukları ile bu standartları uygulamakta ve standartlara katkıda bulunmaktadır. Tüm bu standartların ve çalışmaların ortak noktası ise sürekli iyileştirmeye odaklanmış olmalarıdır. Sürekli iyileştirme sonsuz bir mücadeleyi işaret eder ve döngü genelde diyagramlarla sembolize edilir. Edward Deming'in bugünkü birçok uygulamaya ışık tutan meşhur PUKÖ (Planla – uygula – kontrol et – önlem al) döngüsü 1950'lerde hayatımıza girmiştir ve günümüz iş dünyasında en yaygın kabul gören yaklaşımların başında gelir [13]. Mevcut durumda uygulamada olan birçok yönetim standardı veya kurumların yönetim politikalarına ait dokümanlar Deming Döngüsünü temel alan bir tutum içerisindedir. Bu çalışmada geliştirilmek istenen konuda da, tıpkı herhangi bir uzun soluklu mücadelede

olabileceği gibi, Deming Döngüsü temel alınacaktır. Bu çevrimden yola çıkılarak bir sürekli iyileştirme yaklaşımı temel felsefe edinilecektir.

Büyük ölçekli başarılar yaygın ve sürekli bir şekilde yürütülen çok sayıda küçük faaliyetin birleşmesinden oluşur. Makro başarıların elde edilmesi için geniş perspektifli stratejiler ve buna uyumlu mikro ölçekli faaliyetler gerekir. Yönetim sistemlerinde ve "yalın" gibi yaklaşımlarda da hep benzer bir yapı oluşması hedeflenir. Önemli olan temel amaçların en kılcal unsurlara kadar nüfuz etmesi, herkes tarafından benimsenmesidir. Enerji ile ilgili yapılacak çalışmalardan çevresel problemlere çözüm bulunması da benzer bir yapı kurulabildiğinde mümkün olacaktır.

Bu çalışmada katkıda bulunulmak istenen ana unsur dünyada son birkaç yüzyılda artış trendi yakalayan çevresel problemlerin çözümü üzerinedir. Bu genel problemden spesifik bir çalışma konusuna varış süreci işletildiğinde, yürütülecek özel faaliyetler daha bilinçli seçilmiş olur. Büyük resmin farkında olmak, yürütülecek faaliyetlerdeki motivasyon kaynağı olacaktır. Sürekli olarak ana hedefi göz önünde bulundurmak, uygulama sahası düzeyindeki faaliyetler arasında kaybolmayı veya geri gidişleri engelleyecektir. Bu nedenle bu çalışmanın çıkış noktasından çalışma noktasına olan akış Şekil 1.1'de gösterildiği şekilde seçilmiştir.



Şekil 1.1 : Çalışma odağı.

Çevresel problemler, insanların ve diğer tüm canlıların mutluluğunu, refahını ve bunların da ötesinde varlığını etkileyebilecek problemlerdir. Bu çalışmanın odağı, endüstrideki enerji faaliyetlerinden kaynaklanan karbondioksit salınımına bağlı sera etkisini yok ederek çevresel problemlerin kök sebeplerinden biri olan küresel ısınmanın durdurulmasına katkı sağlamaktır.

2. İKLİMSEL DEĞİŞİKLİK

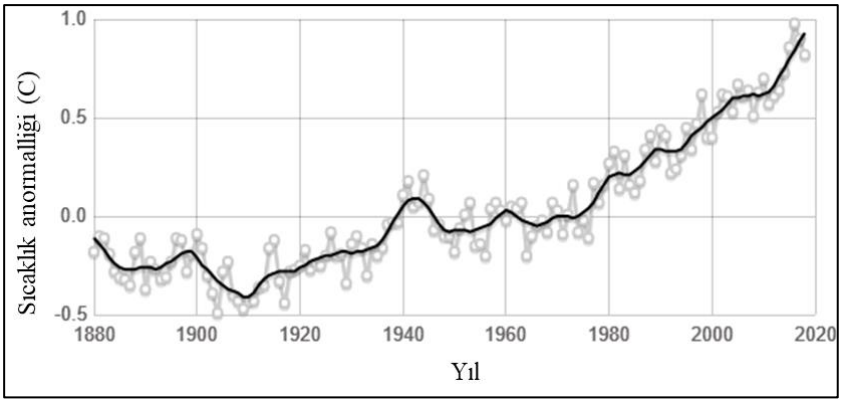
Günümüzde ölçümlenen birçok çevresel anormalliğin kök nedenleri incelendiğinde, sanayileşmenin etkenlerden biri olduğu sonucuna varılır. İnsan hastalıklarındaki trendler veya hayvan ve bitki popülasyonundaki değişimlerden yola çıkan çalışmalar, sıklıkla doğa koşullarındaki değişimi işaret eder [14]. Atmosferik koşullar, sular ve yeryüzü, endüstrileşmeden olumsuz yönde etkilenmekte ve bu da yeryüzündeki canlıları etkilemektedir.

Çevresel problemlerin en büyük avantajı da dezavantajı da herkesin problemi olmasıdır. Herkesin problemi olduğu için herkesin katılımının teşvik edilebilirliği söz konusu iken, spesifik olarak kimsenin bireysel problemi olmadığı için kimi zaman sorumluluğun paylaşılmasından kaçınılmaktadır. Sorumluluğu paylaşmanın artırılması için konu ile ilgili bilgilerin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Mevcut gidişatın ne olduğunun ve bunun sonuçlarının neler olacağının farkındalığı arttıkça çözüm yollarına katılım da artacaktır. Küresel ölçekte iklimsel değişiklik doğrudan ya da dolaylı olarak canlıların sağlığını ve gelecek nesillerini etkileyen bir konu olup, neredeyse tüm çevre problemlerindeki girdilerden biri halini almıştır.

2.1 Küresel Isınmada Mevcut Göstergeler

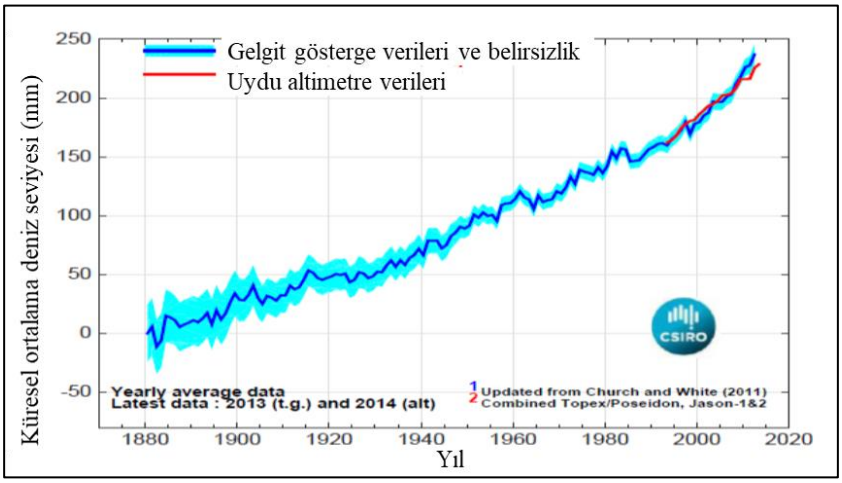
Tarih boyunca tüm canlılar bulundukları bölgelerin şartlarına uyumlu olacak şekilde doğal seleksiyonla bugünlere ulaşmıştır. Canlıların doğal şartlara uyumlu olacak şekilde varlıklarını sürdürmesi ise, insanların doğal şartları hızla değiştirir hale gelmesi nedeniyle tehdit altına girmiştir.[8] Gelinen noktada doğada küresel ölçekte değişikliklere yol açabilecek etkenler her geçen gün daha da dikkate değer hal almaktadır. Bu bağlamda özellikle iklimsel değişiklikler, doğadaki tüm canlıların yaşamını yakından etkilemektedir. İklimsel değişim konusunda birçok devlet, kurum, sivil toplum örgütü ve uluslararası organizasyon çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar değişimle ilgili tespitleri, bunların sonuçlarının neler olabileceği ve sorunların çözümü için nelerin yapılması gerektiğini içerebilmektedir.

Farklı kuruluşlar tarafından yürütülen çalışmalar dünya yüzeyindeki sıcaklık artışları ve eriyen buzullar konusunda örtüşen sonuçlar içermektedir. Özellikle eriyen buzullar ve Antarktika'nın küçülmesi ile ilgili konular popüler hale gelmiştir. Konunun önemini anlamak için rakamsal verilerin incelenmesinde fayda vardır. Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi'nin dünya yüzeyinde belirli noktalardan aldığı düzenli ölçümlere ve tarihsel çalışmalara göre kara ve denizlerdeki ortalama yüzey sıcaklığının 1970'ler sonrasında 1 santigrat derece arttığı tespit edilmiştir [15]. Çalışmada dikkat çekici olan hususlardan biri de, Şekil 2.1'de de görüleceği üzere, ölçülen değerlerin son yüzyılda bir artış trendi yakalaması olmuştur.



Şekil 2.1 : Sıcaklık anormalliği [16].

Artan ortalama sıcaklığın sonuçlarından biri de buzulların erimesidir. Antartika'nın yüzölçümünün küçülmesi ve eriyen buzullar, küresel düzeyde de deniz seviyelerinin yükselmesine sebep olmaktadır [17]. Şekil 2.2'de gösterilen CSIRO'nun Deniz ve Atmosferik Araştırmalarına göre son 150 yıllık süreçte deniz seviyelerinde 25 santimetreye yaklaşan yükselme tespit edilmiştir.

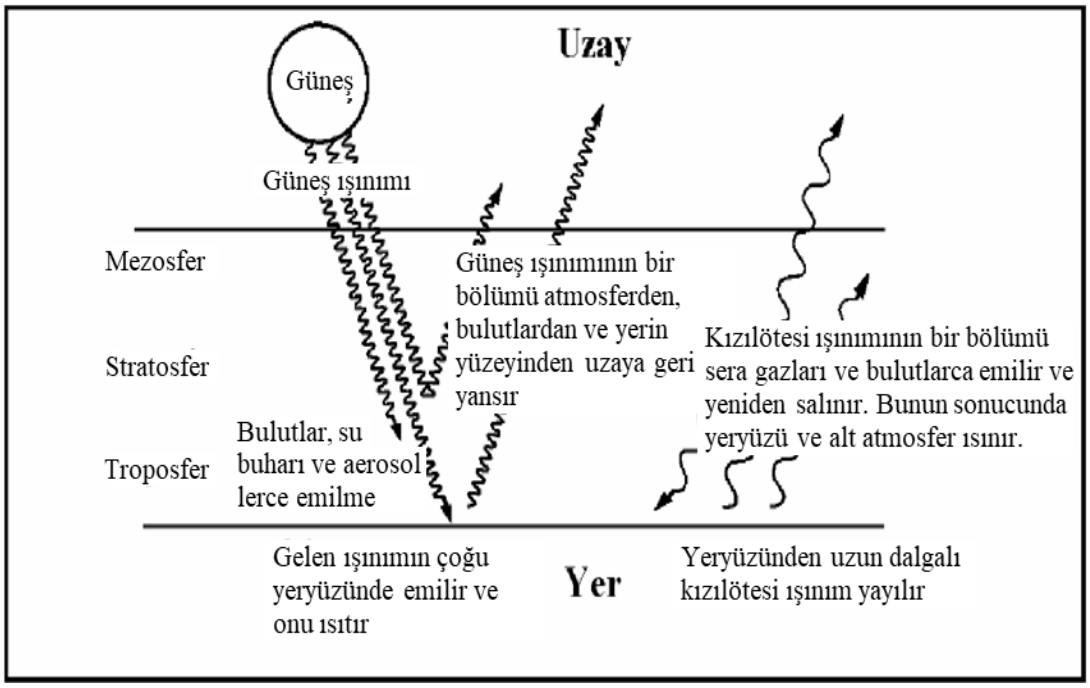


Şekil 2.2 : Deniz seviyesindeki değişim [18].

Bahsedilen çalışmalardan da görüleceği üzere küresel düzeyde bir iklimsel değişim söz konusudur. Çöl alanlarının büyümesi, hayvan ve bitki nüfuslarındaki değişimler gibi çok daha çeşitli veriler incelendiğinde de iklimsel değişimi destekleyici sonuçlara ulaşılacaktır. Küresel ısınmanın başlıca nedeni olarak ise sera etkisi gösterilmektedir.

2.2 Sera Etkisi

Dünya yüzeyinden yansıyan ışınların atmosferdeki su buharı ve gazlar tarafından tutulmasına sera etkisi denir [19]. Sera etkisinin eksikliği dünyada ısının tutulamamasına ve dünyanın buzullarla kaplı bir çöl olmasına sebep olacakken, fazlalığı ise ısının fazla muhafaza edilmesine ve dünya sıcaklığının artmasına sebep olmaktadır [20]. Dünyanın enerji dengesini yakından ilgilendiren sera etkisi, Şekil 2.3'te betimlendiği şekilde meydana gelir.



Şekil 2.3 : Sera etkisi [21].

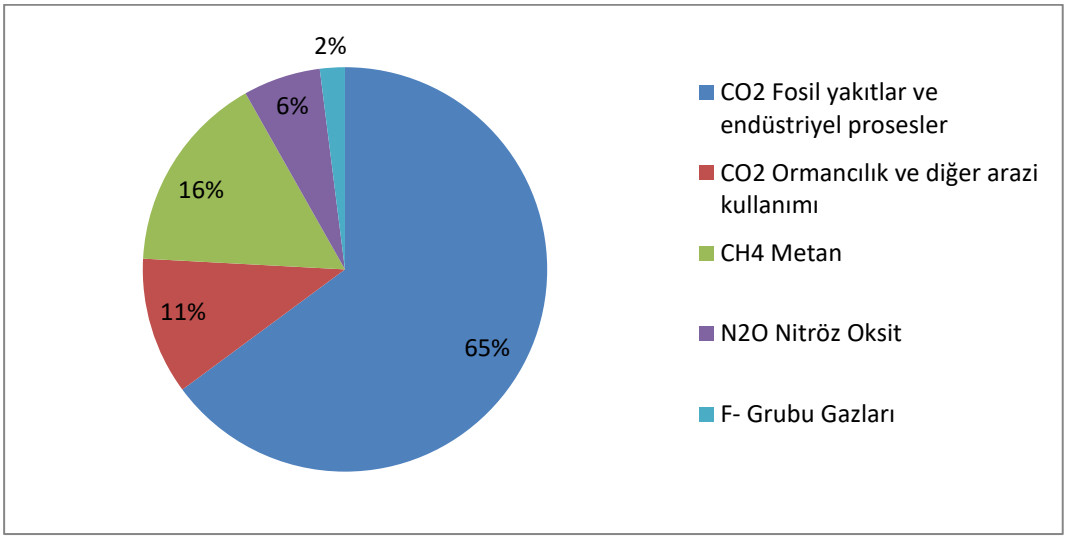
Dünyanın ısı analizleri küresel bir ısınma olduğunu ve bunun büyük ölçüde sera etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. Yapılan çalışmalarla sera etkisinin artmasına sebep olan gazların salınımının azaltılması için önlemler alınmasının gerekliliği ifade edilmektedir. Bu etkiye sebep olan başlıca gazlar ise en kabul gören haliyle Kyoto Protokolü'nde tanımlanmıştır.

2.3 Kyoto Protokolü

Kyoto protokolü, sera etkisi yaratan gazların kontrol altına alınması amacıyla, mevcut durumda 192 ülkenin katıldığı çerçeve bir anlaşmadır. 1992'de imzalanan çerçeve anlaşmadaki ilkelere göre 1997 yılında oluşturulan bu protokolde, sanayileşmiş ülkeler için sera gazı salınım hedefleri belirlenmiştir [22].

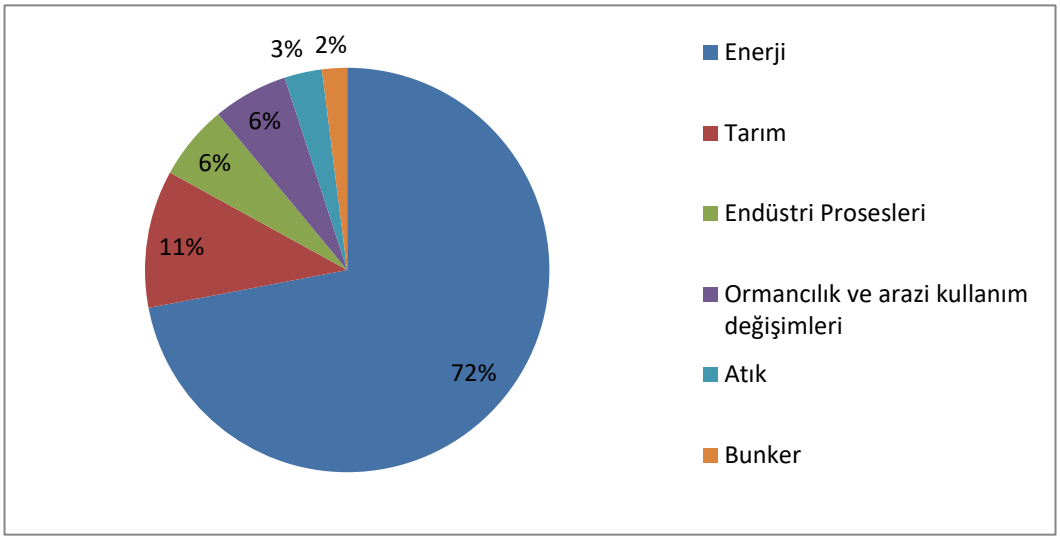
Kyoto protokolünde sera etkisi yaratan 6 adet gaz grubu, Karbondioksit (CO_2), Metan (CH_4), Nitröz Oksit (N_2O), Hidroflorokarbonlar (HFCs), Perflorokarbonlar (PFCs) ve Kükürt hekzaflorür (SF_6) olarak belirlenmiştir. Protokole katılmayı kabul eden ülkeler bu 6 gaz çeşidinde hedefler belirlemiştir [23].

Devletlerarası İklimsel Değişiklik Paneli'nin 5'inci gözden geçirme raporunda sera gazları salınımlarının küresel ısınmaya etkileri arasındaki oransal dağılım Şekil 2.4'teki gibi ifade edilmiştir [24].



Şekil 2.4 : Sera gazlarının salınım oranları.

Şekilde görüldüğü üzere, karbondioksit salınımı toplam %76'lık pay ile sera gazı salınımlarında baskın orana sahiptir. Bu nedenle, sera etkisi yaratan gazların salınımı söz konusu olduğunda en büyük çalışmalar karbondioksit üzerine yapılır. Diğer gazların etkisi ise, karbondioksit eşdeğerleri hesaplanarak kıyaslamaya tabi tutulur. Sera gazı salınımına etki eden faaliyetler, karbondioksit salınımı ve karbondioksit eşdeğer salınımları dikkate alınarak Şekil 2.5'te gösterilmiştir [25].



Şekil 2.5 : Sera gazı salınımına sebep olan faaliyet gruplarının oranları.

Şekil 2.5'de görüldüğü üzere enerji, atmosferdeki sera gazı salınımının %72'lik payını oluşturmaktadır. Bu nedenle, sera gazı salınımı her ne kadar çevresel bir konu olsa da çözümü büyük ölçüde enerji ile ilişkilidir.

2.4 Sera Gazları ve Karbondioksit Eşdeğerleri

Sera etkisindeki en büyük pay karbondioksit salınımı olmasına karşın diğer sera gazları da kütleleri, atmosferde kalma süreleri ve ışınımsal özelliklerine göre birim salınım başına farklı etkiler göstermektedir. Örneğin Nitrözoksit ışınımsal kuvvetine göre Karbondioksit'ten 310 kat daha etkilidir. Nitrözoksit'in doğada kalma süresi 120 yıl iken, Metan'ın 60 yıl, Karbondioksit'in ise 10 yıldır [26]. Sera gazlarının küresel ısınmaya katkısını hesaplamak için kullanılan karbondioksit eşdeğerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Sera gazlarının CO_2 eşdeğerleri [27].

Sera gazı	Küresel ısınma potansiyeli
CO_2	1
CH_4	25
N_2O	298
HFCs	124-14.800
PFCs	7.390-12.200
SF_6	22.800

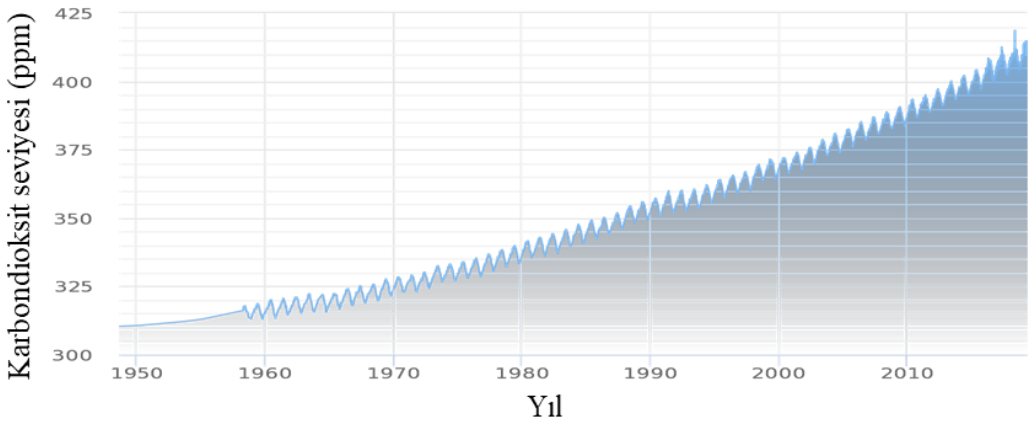
2.5 Karbondioksit

Karbondioksit salınımının azaltılmasına yönelik çalışmalara geçmeden önce, atmosferdeki karbondioksitin tarihsel sürecine de göz atmakta yarar vardır. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu bir milyon birimdeki partikül miktarı (ppm) ile takip edilmektedir. Buzullar üzerinde yapılan çalışmalara göre bugünkü karbondioksit yoğunluğu ile tarihsel veriler arasındaki fark dikkat çekicidir. ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA), 2016 yılındaki ölçümlerinde, karbondioksit miktarında 400 ppm değerinin aşılarak dünya tarihindeki rekor seviyeye ulaşılmış olduğunu açıklamıştır (Şekil 2.6) [28].



Şekil 2.6 : Atmosferdeki karbondioksit seviyesi [29].

Bu verilere göre dünyanın son 400 bin yıllık tarihinde 300 ppm değerinin hiç geçilmediği görülmektedir. Atmosferdeki karbondioksit miktarı rekorunun 1950'li yıllardan sonra hızlı ve sürekli artış ile gerçekleştiği göz önüne alındığında, sanayi devrimlerinin etkisi daha da dikkat çekici bir hal almaktadır. Atmosferik CO_2'nin son 70 yılına bakıldığında ise istikrarlı bir artış göze çarpmaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : Son 70 yıldaki atmosferdeki karbondioksit seviyesi [30].

Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun son yüzyılda başlayan dramatik artışı endüstriyel faaliyetlerin çevresel sürdürülebilirliğini de tehdit eder hale gelmiştir. Bu konuda farkındalığı arttırmak için yürütülen faaliyetlerden biri de karbon ayak izinin hesaplanması ve düşürülmesi üzerinedir.

2.6 Karbon Ayak İzi

Karbondioksit salınımının sınırlandırılması ile ilgili popüler kampanyalardan biri de karbon ayak izi hesaplamalarıdır. Karbon ayak izi, kişi veya kuruluşların tüm faaliyetlerinde direkt veya dolaylı olarak sebep olduğu karbondioksit salınımlarının hesaplanması ile ölçülür [31]. Örneğin evde ısınmak için kombide doğalgaz kullanılması direkt kullanım iken, satın alınmış bir kombinin üretimi aşamasında sebep olunan salınım dolaylı iz bırakmaya örnektir. Tüketilen gıdalar, ulaşım, giyecekler gibi satın alınan veya yapılan her iş karbon ayak izinde bir etkiye yol açar. Karbon ayak izi uygulaması ile bireysel farkındalığın arttırılması sonucunda, tüketim ve seyahat gibi konularda çevreye duyarlı kararların alınmasının teşvik edilmesi hedeflenmektedir.

2.7 Karbon Borsası

Karbon salınımının azaltılmasındaki çalışmaları daha zorlayıcı hale getirmek için ortaya atılan fikirlerden biri de karbon borsasıdır. Karbon borsasındaki amaç, meydana gelen salınımın mali bir karşılığının oluşturulmasıdır. Bu sayede, bir faaliyetin finansal maliyetindeki malzeme, işçilik, enerji, bakım ve yatırım gibi temel kalemler arasına karbon maliyetinin eklenmesi hedeflenmektedir. Ortaya atılan önerideki yapı, bir işletmenin kendisine tanımlanan karbon salınım limitlerinin altında faaliyet göstermesi halinde satılabilir bir emisyon hakkı oluşacak, bir işletmenin tanımlanan limitlerin üstünde salınım yapabilmesi için ise satılabilir emisyonu bulunan bir kurumdan bu hakkı alma zorunluluğu olacaktır [32]. Bu sayede üretici ve tüketici arasındaki serbest piyasa koşullarının oluşturulması hedeflenmektedir. Bu ekonomik yapı sayesinde karbon emisyonunun azaltılması yönünde finansal olarak doğal bir teşvik meydana getirilmiş olacaktır. Günümüzde yasal bir karşılığı olmayan bu organizasyon, gönüllü katılımlar ile sürdürülmektedir. Çevresel açıdan iyileştirme yapmak isteyen devletler ise, henüz böyle bir borsa oluşturmak yerine, yenilenebilir enerji üretimi ve verimli enerji kullanımı konularında farklı yollardan teşvikler uygulamakta, bir takım yasal kolaylıklar veya özel finansal kampanyalar gerçekleştirmektedir.

3. ENERJİ - SANAYİ - KARBONDİOKSİT SALINIMI İLİŞKİSİ

Endüstriyel faaliyet, enerji ve karbondioksit salınımı arasındaki yakın ilişki bilindiği taktirde, yapılacak çalışmaların etkileri de anlaşılabilir hale gelecektir. Bu bölümde enerji, sanayi, karbondioksit salınımı ilişkisi ele alınacaktır.

3.1 Enerji

Enerji, en yaygın kullanılan tanımı itibariyle iş yapabilme yeteneğidir. Sanayide de üretim faaliyetleri için yoğun bir enerji girdisine ihtiyaç duyulur. Enerji ortaya çıkış şekillerine göre mekanik, elektrik, nükleer, kimyasal, manyetik, ısı, ışık ve ses olarak sınıflandırılabilir [33]. Bu çalışmada yanma reaksiyonu ile karbondioksit salınımına sebep olan enerji türleri ele alınmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada kullanılacak olan enerji sınıflandırması kaynaklarına göre enerji çeşitleri üzerinden yapılacaktır. Enerji elde edildiği kaynaklara göre ise birincil ve ikincil olarak iki sınıfa ayrılır. Birincil enerji kaynakları herhangi bir dönüşüme uğramamış kaynaklardır. İkincil enerji kaynakları ise birincil kaynaklardan türetilen enerjilerdir [34]. Birincil enerji kaynaklarına kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar ve güneş, rüzgar, hidrolik gibi yenilenebilir kaynaklarla nükleer kaynaklar örnek gösterilebilir. İkincil enerji kaynaklarına ise başta elektrik olmak üzere benzin mazot gibi dönüştürülmüş fosil yakıtlar da örnek verilebilir. İkincil enerji kaynaklarında dikkat edilmesi gereken en önemli konu, hiçbir enerji dönüşümünün %100 verimle gerçekleşemeyeceği konusudur. Enerji ne kadar çok form değiştiriyorsa o kadar çok kayıp noktası vardır. Enerjinin verimi ne kadar düşerse ihtiyaç duyulan birim iş için salınan karbondioksit miktarı da o kadar artmış olacaktır. Öte yandan bir çok durumda enejiler direkt olarak birincil kaynaklardan kullanılamayacağı için dönüşümlere ihtiyaç duyulur. Burada önemli olan nihai ihtiyaca en az dönüşümle ve en yüksek verimle ulaşılmasıdır.

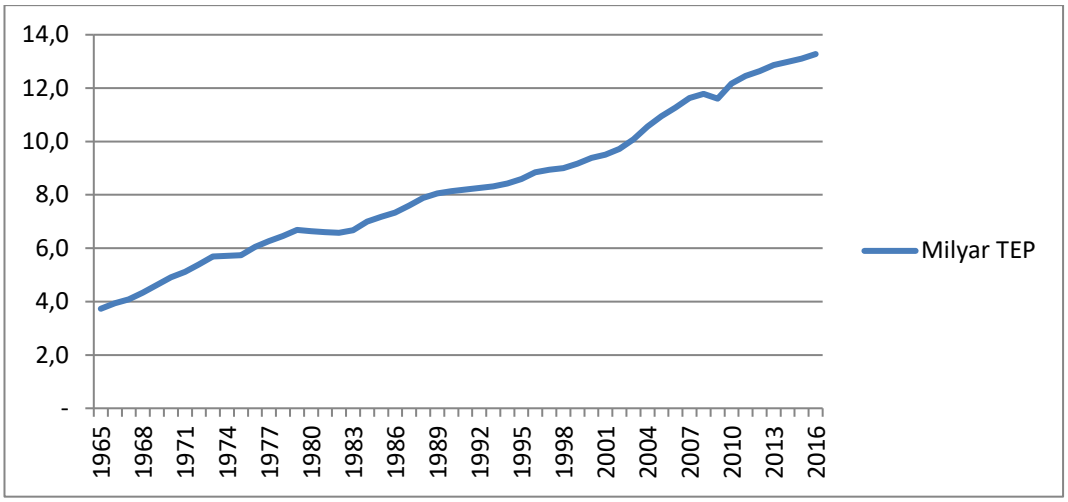
3.2 Sanayileşme ve Enerji İlişkisi

16'ncı yüzyılda, insan nüfusu 500 milyonun üzerine çıkmış ve önemli bir artış trendi yakalanmıştır [35]. Demografik etkenler, önceki yüzyıllardan birikerek gelen sosyal, siyasal ve ekonomik etkenlerle de birleşerek sanayi devriminin altyapısını oluşturmaya başlamıştır. Yükselen nüfus, talep artışına sebep olmuş, ziraatta gelişen teknikler ise tarımda insan gücü ihtiyacını azaltmıştır. Bu sayede iş gücü ucuzlamış ve kentlere göç hız kazanmıştır [36].

Buharlı makinaların icat edildiği 18'inci yüzyıl sanayi devriminin başlangıcı kabul edilir. Buharlı makinalar, devam eden süreçte geliştirilerek, ulaşımda, enerji üretiminde ve demir–çelik, tekstil gibi üretim sektörlerinde kullanılmaya başlanmıştır [37]. Birinci sanayi devrimi, yakın geçmişte tecrübe edilen teknolojik ilerlemelerle kıyaslanmamalıdır. Bu devrim, sadece yeni bir yönelimi ve ilk adımları temsil eder. 19'uncu yüzyıl ise, madenciliğin gelişmesi, elektrik enerjisinin üretilip yaygınlaşması, ulaşım araçlarındaki gelişmeler, kimya, malzeme bilimi, tıp ve tıbbi cihazlardaki ilerlemelerle 2'nci sanayi devrimini oluşturmuştur [38]. 20'nci yüzyıl nüfus patlaması ve teknolojik gelişmelerin daha hızlı hayata geçirilmesi ile birlikte sanayileşme hızında dramatik değişimlere yol açmıştır. Elektronik ve otomasyon desteği ile üretim bantlarının kurulması, 3'üncü sanayi devrimi olarak kabul edilir.

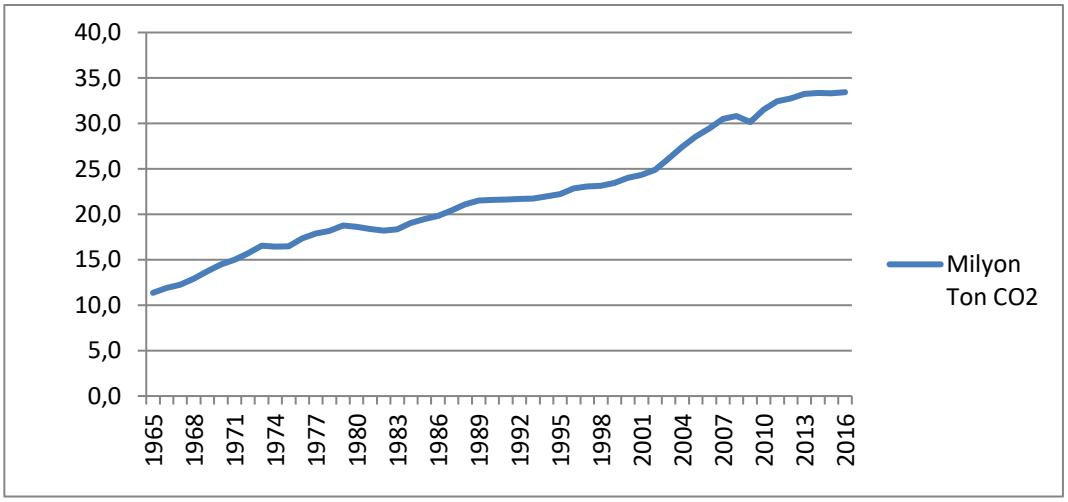
Günümüzde 4'üncü çağını yaşayan sanayileşme, başladığı günden bu yana insanlık tarihinde olduğu kadar çevre üzerinde de olağan üstü değişikliklere sebep olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Özellikle 20'inci yüzyıl, bu etkilerin en büyük ivmeye sahip olduğu dönemi içerir.

Sanayileşmenin artışı, enerjiye olan talebin de hızla artmasına yol açmıştır. Sanayileşme ve enerji arasındaki paralellik, sanayileşmenin enerji talebi ile de ölçülmesine olanak sağlar. 1900'lü yılların ortasında 3,7 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) olan birincil enerji tüketimi, 2016 yılında dünya genelinde 13,3 milyar TEP değerine ulaşmıştır. Şekil 3.1'de de görüleceği üzere, son yarım yüzyıllık dönemde enerji talebinde de önemli bir artış trendi yakalanmıştır. [39]



Şekil 3.1 : Sanayileşme sürecinde enerji tüketimindeki artış.

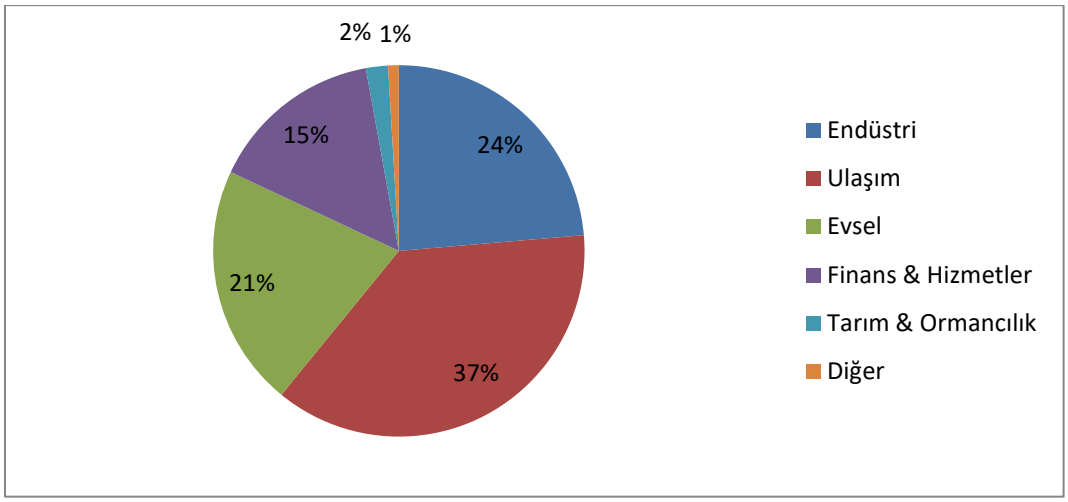
Enerji kaynaklı emisyon değerleri de enerji ile paralellik göstererek 31,5 milyon ton karbondioksit salınımına ulaşmıştır [39]. Şekil 3.2'den de görüleceği üzere karbondioksit salınımında da enerji tüketimine benzer bir trend söz konusudur. Çevreye duyarlı enerji üretme tekniklerindeki gelişmelere rağmen, gerçekleşen büyük talep artışının çevreye etkisinde tatmin edici bir azalış olmadığı görülmektedir.



Şekil 3.2 : Karbondioksit salınımının tarihsel süreci.

Sera gazlarının salınımı ve enerji talepleri üzerine yapılan araştırmalar, sanayi faaliyetlerinin günümüzde geldiği noktanın ve geleneksel yaklaşımların çevresel açıdan sürdürülebilir olmadığını açıkça göstermektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency – IEA) verilerine göre enerji kaynaklarının TEP değerlerine göre kullanım dağılımı Şekil 3.3'te gösterilmiştir [40].

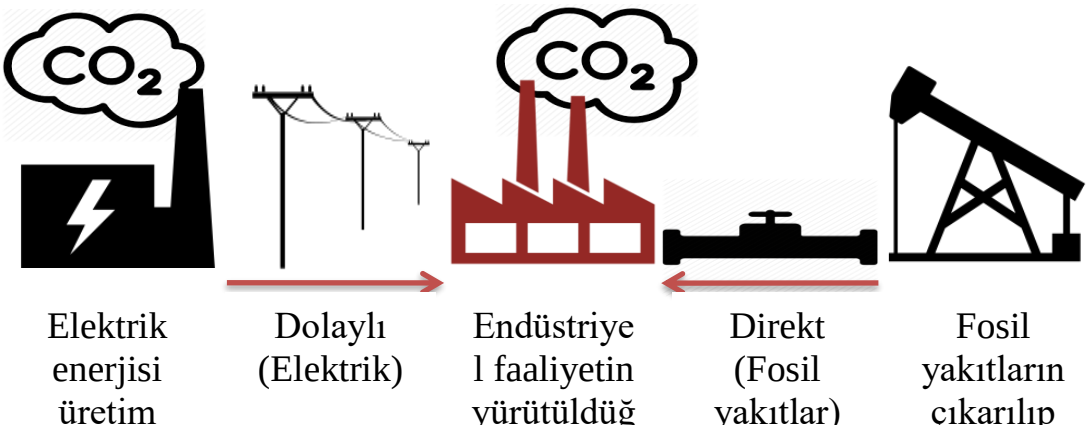


Şekil 3.3 : Enerji kullanımının faaliyetlere göre dağılımı.

Bu dağılımdan da görüleceği üzere, enerjinin %24'lük payı direkt olarak sanayide kullanılmaktadır. Öte yandan, sanayi faaliyetlerinin ulaşım, finans ve hizmetlerle olan ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda, endüstrileşmenin tüm enerji kullanım gruplarıyla bir korelasyon halinde olduğu söylenebilir.

3.3 Karbondioksit Salınımının Oluşumu ve Enerji ile İlişkisi

Birincil enerji kaynakları kullanıldığı noktada, ikincil enerji kaynakları ise üretildiği noktalarda karbondioksit salınımına yol açmaktadır. Dolayısı ile sıfır karbondioksit salınım modeli çalışılırken ikincil enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklı salınım da göz ardı edilemez. Endüstriyel tesislerde genel olarak bu iki tür enerjinin kullanımı da mevcuttur. Bu çalışmada modellenecek tesisin enerji tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımı Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4 : Endüstriyel faaliyetin karbondioksit salınımı.

Fosil yakıtların çıkarılması, işlenmesi ve taşınması gibi faaliyetler için gereken enerji de bir karbondioksit salınımına karşılık gelir. Fakat fosil yakıtın son kullanımı aşamasında ortaya çıkan salınımın yanında düşük düzeydedir. Bu çalışmada fosil yakıtların ön işlemlerindeki salınım hesaplama dışında tutulmuştur.

Tesiste iki enerji türü de kullanıldığı için bunların sebep olduğu karbondioksit salınımının nasıl gerçekleştiğini incelemek gerekir. Böylece iyileştirme yapabilmek için ne tarafa yönelineceği daha iyi anlaşılmış olur. Enerjinin işletme ihtiyacını karşılayacak şekilde kullanıma hazır olarak son noktaya ulaştırılması gerekir. Bu aşamaya kadar geçirdiği dönüşümler, iletim koşulları, depolama ve kullanım sırasında oluşan kayıplar ve en sonunda elde edilen net işin her bir kısmı bir karbondioksit salınımına karşı gelir. Elektrik enerjisinin salınım etkileri için enerji üretim faaliyetleri, direkt kullanımı olan fosil yakıtlar için ise yakıtların yanma reaksiyonları irdelenmelidir.

3.4 Elektrik Enerjisi Üretim Faaliyetleri

Elektrik enerjisinin üretiminde çeşitli dönüşüm ve iletim faaliyetleri vardır. Örneğin bir hidroelektrik santralinde potansiyel enerjiden kinetik enerjiye, kinetik enerjiden de elektrik enerjisine dönüşüm söz konusudur. Bir başka örnek olarak termik santralde önce kimyasal enerjiden ısı enerjisine, ısı enerjisinden potansiyel ve kinetik enerjiye ve son olarak döndürülen bir türbin vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüşüm söz konusudur. Her bir dönüşüm adımı koşullara ve teknolojik gelişmelere göre farklı verimliliklere göre işler. Dolayısı ile her bir dönüşüm üretilen enerjinin toplam verimliliğinde kayıp olarak ortaya çıkar. Öte yandan, enerjinin dönüştürülmeden depolanması ve iletilmesi her zaman mümkün olmayacağı gibi verimli de olmayabilir. Bu nedenle enerji dönüşümünün olmadığı bir kullanım, ancak iletim ve depolama şartları ile birlikte ele alındığında hala avantajlı ise değerlendirilebilir bir seçenektir. Elektrik enerjisinin bu kadar yaygın olması iletim ve kullanım aşamalarında sağladığı kolaylıklardan gelmektedir. Fakat ileride de görüleceği gibi, karbondioksit salınımına etkisi direkt kullanımlara göre çok daha yüksek durumdadır. Örneğin bir ısıtma ihtiyacında yüksek verimli bir yakma işlemi uygulanabilir durumda ise birkaç aşamada enerji dönüşümlerinden geçmiş olan elektrik enerjisi kullanımı çevresel açıdan tercih edilmeyebilir. Elbette bu durum elektrik enerjisinin hangi kaynaklardan elde edildiği ile ilişkilidir.

Elektrik enerjisinin santral çeşitliliğini ve bu santrallerin karbondioksit salınımı açısından anlamını bilmek, elektrik şebekelerinin yorumlanmasını ve enerji tedarikçisi seçilirken nelere dikkat edilmesi gerektiğinin anlaşılmasını olanaklı kılar. Elektrik enerjisinin üretildiği birincil enerji kaynaklarına göre ortalama CO_2 emisyon değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir [41].

Çizelge 3.1 : Enerji kaynaklarına göre karbon emisyon değerleri.

Kaynak	Min. - Maks. Sera Gazı Emisyonu (ton-CO_2/GWh)	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (ton-CO_2/GWh)
Linyit	790 - 1.372	1.054
İthal kömür	756 - 1.310	888
Taş kömürü	756 - 1.310	888
Fuel-oil	547 - 935	733
Doğal gaz	362 - 891	499
Nükleer	2 - 130	66
Jeotermal		38
Biyokütle	10 - 101	26
Hidroelektrik	2 - 237	26
Güneş	13 - 731	23
Rüzgar	6 - 124	10

Bu verilerden de görüleceği üzere yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer kaynaklar CO_2 salınımı açısından en düşük değerlere sahip kaynaklardır.

3.5 Fosil Yakitlardan Isı Elde Etme Faaliyetleri

Birincil enerji kaynaklarının direkt kullanımlarının mümkün olduğu koşullarda fosil yakıtların kullanımı söz konusu olabilir. Bu çalışmada önerilecek modelde birincil kaynaklardan sadece yenilenebilir olanların kullanımı söz konusu olacak olsa bile, kısa ve orta vadede fosil yakıtların kullanımının devam etmesi de gerekecektir. Çünkü eğer elektrik direkt yenilenebilir kaynaklardan elde edilmemişse ve ulusal elektrik şebekelerinden tedarik edilecekse, bir fosil yakıtın direkt yakılmasından daha fazla CO_2 salınımına sebep olacaktır. Çizelge 3.2'de yaygın kullanılan fosil yakıtların direkt yakılması ile elde edilen ısı enerjisi başına ortalama emisyon değerleri verilmiştir [42].

Çizelge 3.2 : Fosil yakıtların yakılması sonucu salınan CO_2 miktarları.

Kaynak	Sera Gazı Emisyonu (ton-CO_2/GWh)
Taş kömürü	354
Bitümlü kömür	318
Linyit	333
Alt bitümlü kömür	332
Fuel oil	250
Benzin (etanolsüz)	243
Propan	215
Doğal Gaz	181

Verilerden de görüleceği üzere fosil yakıtlar arasında çevresel açıdan en az zararlı olanı doğalgazdır. Bu çalışmada da direkt ısı üretimi ihtiyacının devam edeceği orta vadeli sürece kadar doğalgaz kullanımı tercih edilecektir.

3.6 Enerjinin Karbondioksit Salınımı Açısından İncelenmesi

Isı enerjisi ve elektrik enerjisi sanayide başlıca ihtiyaç duyulan enerji türleridir. Isı enerjisi genelde direkt kullanılsa da özellikle elektrik enerjisi daha sonra çeşitli dönüşümlere uğrayıp ve hareket, aydınlatma gibi nihai ihtiyaçları karşılar. İhtiyaç duyulan bu enerjilerin üretilmesi, direkt veya dolaylı yollarda gerçekleşen kimyasal reaksiyonlarından dolayı karbondioksit salınımına sebep olurken; depolanma, iletim ve tüketim süreçleri ise ihtiva ettikleri farklı verimlilik düzeylerine göre enerji israfına ve dolayısıyla gereksiz karbondioksit salınımına yol açmaktadır. Çalışmanın bu kısmındaki odak noktası enerjinin üretilmesi aşamasında gerçekleşen karbondioksit salınımıdır.

3.6.1 Fosil yakıtların karbondioksit salınımı eşdeğeri

Tesisteki brülör ve kazanlarda gerçekleşecek yakma faaliyetleri sonucunda doğaya karbondioksit salınımı gerçekleşecektir. İyi bir yanmada CO salınımının düşük olması ve yanmanın tam olarak gerçekleşerek sadece CO_2 salınması beklenir. Baca gazlarında yapılan ölçümlerde, aynı zamanda zehirli bir gaz olan CO yüksekliğinin tespit edilmesi, yakıtın verimli kullanılmadığını gösterir.

Bu çalışmada fosil yakıtların kimyasal yanma reoksiyonlarında ortaya çıkan CO_2 miktarı değerlendirilirken, yakıtların ortalama kalorifik değerleri ve uygulamadaki

ortalama verim göz önünde bulundurulmuştur. Tesiste kullanılan doğalgazın karbondioksit salınım etkisi ABD Enerji Bilgi İdaresi'nin verilerine göre 0,181 kgCO_2/kWh alınmıştır.

3.6.2 Elektrik enerjisinin karbondioksit salınımı eşdeğeri

Elektrik enerjisi ikincil bir kaynak olduğu için birim elektrik enerjisi başına salınan CO_2 değeri de kullanılan birincil kaynağa göre değişmektedir. Endüstride kullanılan elektrik enerjisinin sebep olduğu salınımın tespiti için 2 farklı yaklaşım söz konusudur.

3.6.2.1 Şebeke odaklı yaklaşım

Elektrik enerjisi ortak şebekelerden tedarik edildiği için birim elektrik tüketimi başına açığa çıkan karbondioksit salınımı da bağlı olunan şebekenin karakterine göre değerlendirilebilir. Bu yaklaşımda şebekeye girdi sağlayan enerji santralleri arasında karbondioksit salınımı düşük olan santrallerin katkı oranı arttıkça şebekenin salınım ortalaması azalacaktır. Temiz enerji konulu çalışmalarda ülkeler ve enerji üretim şirketleri enerji başına birim karbondioksit salınımı konularında karşılaştırmalar yapmakta ve hedefler koymaktadır. Mevcut durumda çeşitli ülke ve bölgelerin enerji üretim karakterleri kıyaslanabilir durumdadır. Elektrik şebekesi karakteri belirlenirken her ülke için ayrı bir hesaplama yapılabileceği gibi, enterkonnekte sistemlerde, şebekeye bağlı olan tüm gruplar için de bir hesaplama yapılabilir. Bu çalışmada kullanılan elektrik enerjisinin CO_2 salınım eşdeğeri 0,478 kg CO_2 / kWh alınmıştır [43].

Bu yaklaşımda endüstriyel bir tesisin elektrik enerjisi tüketiminden kaynaklanan etkisi, tesisin kendisinden başka etkenlerden de beslenir. Bu da bir işletme için kontrol alanının dışında kalan etkenler olduğu anlamına gelir. Enerjinin çevre boyutu üzerine çalışmaların başarısı, ilgili kurumun güç ve kontrol alanı dışındaki diğer oyunculara da bağlıdır. Yeni bir tesis kurma kararı verilirken enerjinin temiz üretildiği bir coğrafya seçilebilir fakat halihazırda kurulu olan tesislerin bu konuda seçme şansının olmaması ise bu yaklaşımın dezavantajıdır. Kullanıcının tedarikçi seçme özgürlüğü olan ikinci yaklaşım bu konuda daha farklı bir bakış açısı sunmaktadır.

3.6.2.2 Kaynak santral odaklı yaklaşım

Bu yaklaşım ise şebekedeki ortalama CO_2 salınımı değeri yerine direkt ticaret yapılan enerji üreticisinin salınım değerlerini baz alır. Bu durum elektrik enerjisi üreticileri ile

tüketiciler arasında serbest ticaretin müsaade edildiği ülkelerde uygulanabilirdir. Böylece yenilenebilir enerji santralleri tercih edilerek sebep olunan CO_2 salınımı düşürülebilir.

Fakat bu durumun etkin katkı sağlayabilmesi için tam serbest piyasa koşullarının uygulanması ve tüketiciler arasında eşit şartların olması gerekir. Eğer arz-talep dengesine göre oluşacak fiyatlar yenilenebilir enerjiyi yeterince teşvik edecek boyutta olmazsa bu yaklaşımın makro ölçekte bir katkısı olmayacaktır veya çok düşük kalacaktır. Örneğin bazı endüstriyel tesisler direkt olarak yenilenebilir enerji santrallerinden alışveriş yaptığında şebekedeki diğer kullanıcıların talepleri bu sefer diğer santrallerle kapanacaktır. Bu durumda örneğin hane halkının enerji ihtiyacının yenilenebilir kaynaklardan karşılanma oranı düşecek, termal santrallerden karşılanma oranı yükselmiş olacaktır. Fakat hane halkı enerji satın alırken bunun çevre boyutlarını göz önünde bulundurarak tedarikçi seçme ve bu seçimi finanse etme konusunda endüstriyel kuruluşlar kadar avantajlara sahip olamayacaktır. Bu nedenle kaynak santral odaklı yaklaşımlar çeşitli özel uygulamalara tabi tutulmadığı sürece CO_2 salınımında sadece sanal bir iyileşme olarak yorumlanmalıdır.

3.7 Anahtar Performans Göstergeleri

Mevcut durum ve istenen durum ne kadar net tespit edilirse problemin tanımı da o kadar açık olur. "Ölçülmeyen yönetilemez" yaklaşımı, dünyadaki enerji durumu ve sera gazı salınımı için de geçerlidir. Ölçülebilir göstergeler, mevcut durumun tespiti, hedefler ve süreç takibi için gereklidir.

Endüstride "anahtar performans göstergeleri (APG)" olarak tanımlanan ölçüm kriterleri, farklı zaman veya yerlerde birebir performans karşılaştırmaları yapmak için kullanılır. Bu sayede bir kurumun zaman içerisindeki ilerlemesi veya farklı kurumlarla kıyaslanması mümkün olur. APG'ler aynı veri grubu üzerinde, takip edilme amaçlarına göre, farklı hesaplama metotlarından meydana gelebilir.

Enerji istatistiklerinde, enerji yoğunluğu, gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) başına enerji tüketimi, birey başına enerji tüketimi, üretilen birim ürün başına enerji tüketimi gibi performans göstergeleri sıkça kullanılmaktadır.

Ülkelerin sanayileşme ve gelişme kıyaslarında bu göstergelerin daha fazla kullanılıyor olmasına rağmen, sanayileşmenin çevresel etkileri incelenirken enerji kaynaklı toplam

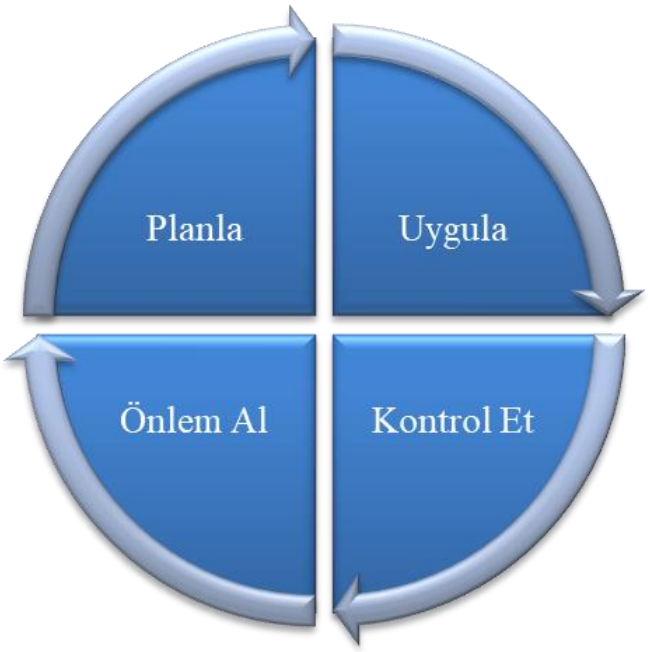
salınım değerlerinin kullanılması tehlikenin boyutuna dikkat çekmektedir. Bu nedenle, toplam salınım değerleri, çevresel hedefler koyan ülkeler ve büyük endüstriyel kuruluşlar tarafından performans göstergesi olarak seçilmektedir. Toplam salınım hedefinin hesaplanması için ise iki enerji performans göstergesi ön plana çıkmaktadır. Bunlardan birincisi toplam enerji tüketimi; ikincisi ise enerji tüketimi başına karbon salınımı katsayılarıdır. Birinci gösterge talepteki değişimi verirken, ikincisi enerjinin üretiminden tüketimine kadarki sürecin CO_2 salınımı açısından verimliliğini ifade eder. Dolayısı ile sanayileşme kaynaklı çevresel hedeflerin tutturulması için hem enerji ihtiyacının azaltılması hedeflenmeli, hem de enerji süreçlerinin verimliliği arttırılmalıdır (azalt ve etkinleştir yaklaşımı). Bu tez çalışmasındaki öneriler de, azalt ve etkinleştir yaklaşımını esas almaktadır.

Endüstriyel tesislerdeki enerji ve çevre APG'leri ise üretim başına düşen elektrik tüketimi, doğal gaz tüketimi, toplam enerji tüketimi veya karbondioksit salınımı olarak örneklendirilebilir.

4. SIFIR KARBONDİOKSİT SALINIMI İÇİN SÜREKLİ İYİLEŞTİRME MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

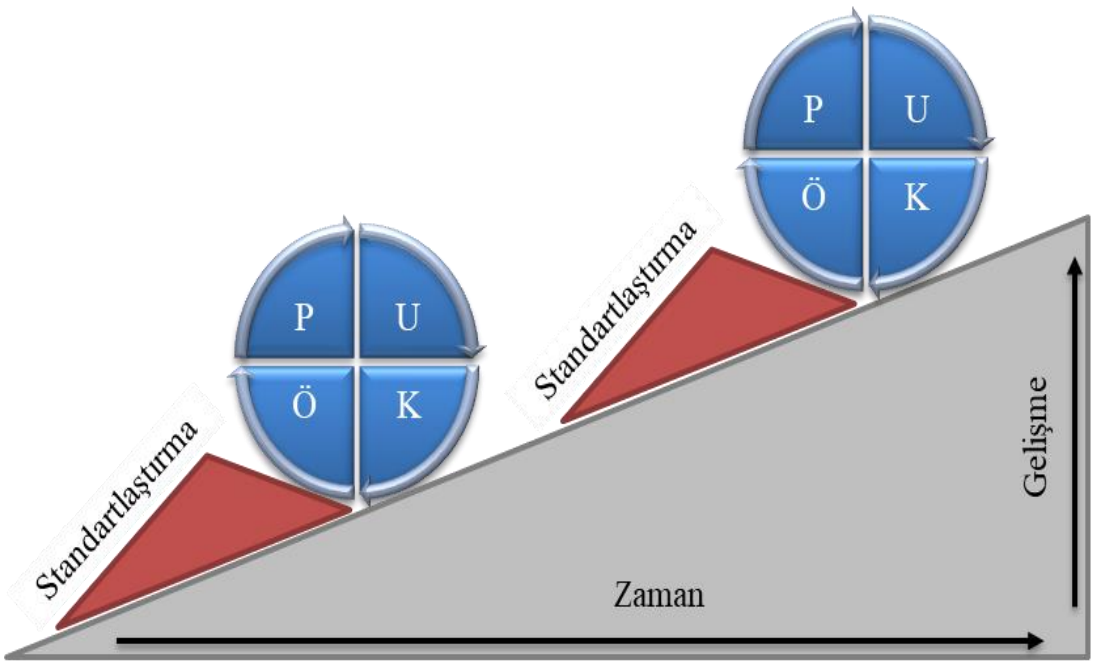
Sahada yürütülecek faaliyetlerin ilkelerini ve temel yaklaşımı baştan belirlemek faaliyetlerin kişilerden ve şartlardan bağımsız olarak devamlılığının sağlanması konusunda büyük önem arz eder. Bu çalışmada önerilen metodoloji de hem otomotiv hem de bir çok diğer kurumsal işletmelerce kabul görmüş adımları barındırmaktadır.

Günümüzde birçok yönetim sisteminin temelinde sürekli iyileştirme yaklaşımı bulunmaktadır. Dünya genelinde yaygın olan sürekli iyileştirme döngüsü 4 temel adımdan oluşur: Planla, uygula, kontrol et, önlem al (Şekil 4.1) [44].



Şekil 4.1 : PUKÖ döngüsü (çevrimi).

PUKÖ olarak kısaltılan bu döngü ile yürütülen her faaliyetin ulaştığı noktada standartlaştırılması ise sürekli iyileştirmenin püf noktası olarak kabul edilir ve birçok yönetim sistemi standardının dayandığı temel yaklaşım halini almıştır (Şekil 4.2) [45].

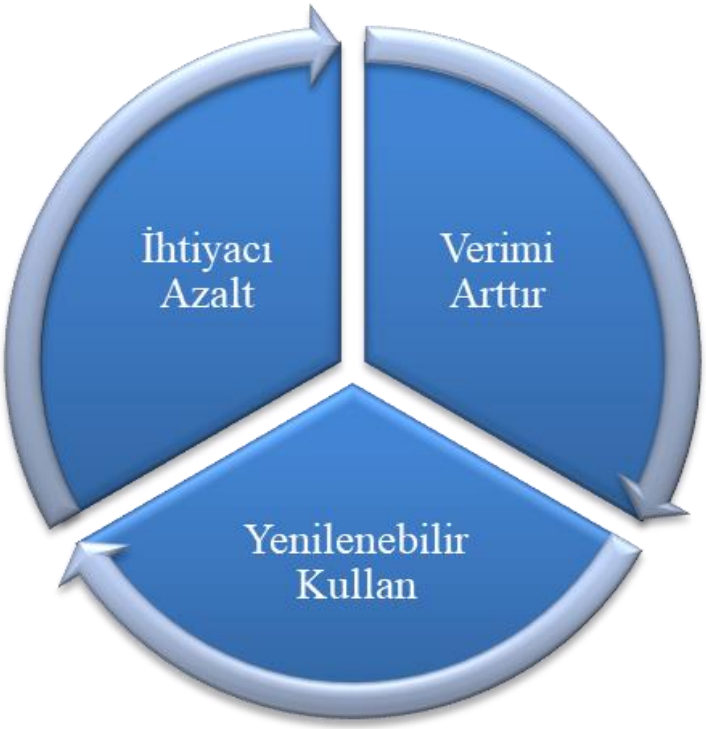


Şekil 4.2 : PUKÖ ve standartlaştırma ilişkisi.

Sadece çalışma metodunun veya yaklaşımın belirli olması, ele alınan bir konuda iyileştirme yapmak için yeterli olmayacaktır. Çalışılacak konudaki teknik yeterlilik, hem ihtiyacı anlamak hem de faaliyeti yürütmek için gereken bir diğer unsurdur. İşletmenin dinamiklerini, tesis yapısını, enerji tüketen süreç ve ekipmanları bilmek, bu alanlardaki gelişmeye açık noktaların farkında olmak ve bu konuda sürekli bir çare aramak aynı zamanda tüm faaliyetlerin temelidir. Bu bölümde sıfır karbondioksit salınımı hedefi için seçilen yaklaşım ve izlenecek metodun tanıtımı yapılacaktır.

4.1 Sıfır Karbondioksit Yaklaşımı

Sıfır karbondioksit salınımına ulaşmak için bu çalışmanın önerisi 3 temel aşamadan oluşur (Şekil 4.3). Bunlardan birincisi ihtiyacın azaltılmasıdır. Üretim faaliyeti yürütülen bir endüstride, iş süreçleri ne kadar yalın ve sadece gerçek ihtiyaca odaklanmış olursa talep edilen enerji o kadar düşük olacaktır. İkinci aşama ise üretim faaliyetinde ihtiyaç duyulan kaynakların verimli yollarla hazırlanmasıdır. Bu aşama enerjideki verimliliğin arttırılmasını gerektirir. Son aşama ise ihtiyaç duyulan enerji türlerinin sağlandığı ana kaynakların yenilenebilir enerji ile elde edilmesidir. Ancak bu 3 koşul sağlandığında ekonomik ve teknik açılardan sürdürülebilir bir sıfır karbondioksit salınımından bahsedilebilir.



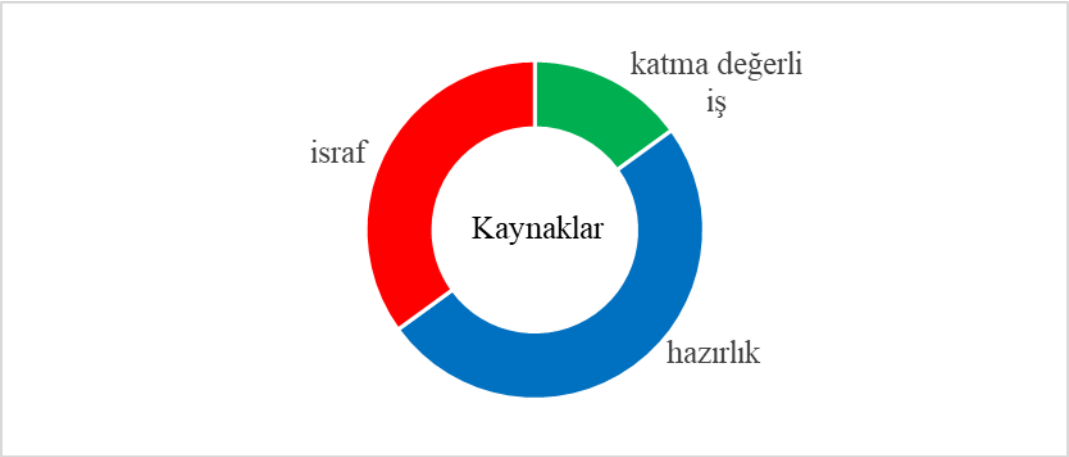
Şekil 4.3 : Sıfır karbondioksit salınımı yaklaşımı.

Sıfır karbondioksit salınım hedefi bu 3 koşulun sürdürüldüğü makro ve mikro planlarla gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada hedefe ulaşmanın 3 ilkesi, önerilen modelin "yaklaşım" kısmını ifade eder. Mikro veya makro ölçekli tüm iş planları ve faaliyetler bu yaklaşımı tamamlayacak şekilde çeşitlendirilmelidir.

4.1.1 İhtiyacı azalt

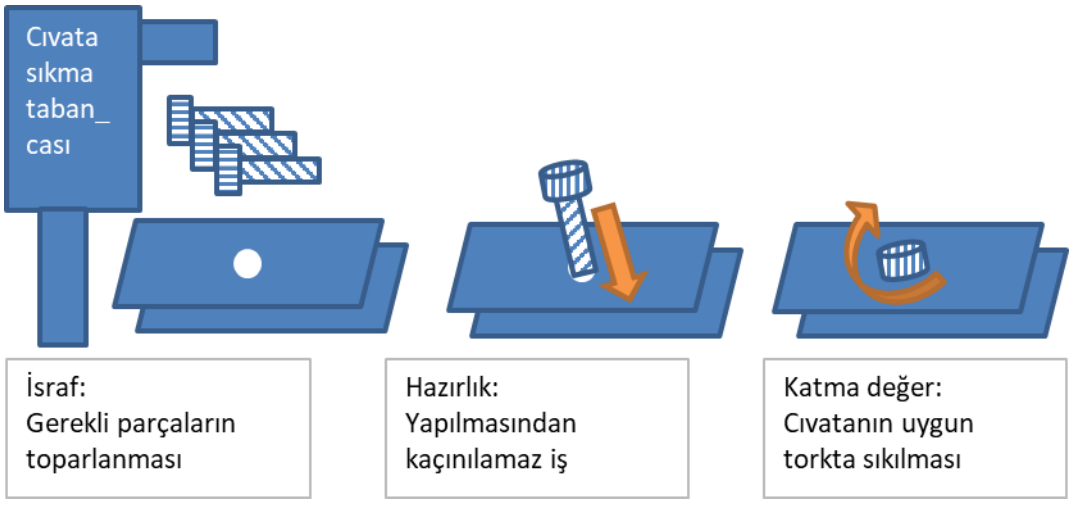
Enerji tüketiminin ve karbondioksit salınımının azaltılmasının bir aşaması iş süreçlerinin yalınlaştırılmasıdır. Endüstriyel faaliyetler ne kadar katma değere odaklı, israflardan uzak ve verimli olursa, karbondioksit salınımı da o ölçüde düşük olacaktır.

Detaylı bir inceleme yapıldığında, zaman, hareket veya iş gücü gibi bazı kaynakların aslında çok küçük bir kısmının katma değere dönüştüğü tespit edilir. Harcanan kaynağın bir kısmı katma değerli iş öncesi kaçınılmaz olan hazırlık süreci içindir. Önemli bir kaynak ise süreçlerdeki israf aşamasına harcanır (Şekil 4.4). Süreçlerdeki israfların engellenmesi ile gereğinden fazla enerji tüketiminin ve karbondioksit salınımının önüne geçilmesi sağlanacaktır.



Şekil 4.4 : İş süreçlerinde israf yaklaşımı.

Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse, bir montaj hattında iki nesneyi birbirine bağlayan cıvatanın sıkılması incelenebilir. Monte edilen parçanın uygun koşullarda birleştirilmesi ve istenen kalitede müşteriye sunulması için cıvatanın doğru bir tork değerinde sıkılması gerekir. Bu cıvatalama işleminde katma değeri sağlayan torklama aşamasıdır. Fakat bu tork aşamasına geçmeden önce cıvatanın ilk dişinden son dişine kadar cıvatalanması gerekir. Bu da katma değerli işten önce yapılması gereken hazırlık aşamasıdır. Cıvatanın monte edilmeye başlamadan önceki tedariği, sıkma tabancasına oturtulması gibi aşamalar ise aslında tamamen bertaraf edilmesi gereken, sürece katkısı olmayan israf aşamasıdır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Süreçlerde israf analizi, cıvata sıkma örneği.

Süreç analizlerinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri, Şekil 4.5'teki örnekte ifade edilen parçaların toparlanması gibi katkısız işlerin de hazırlığın bir parçası

sanılmasıdır. Halbuki işin bu aşamasında harcanan enerji, geçen zaman veya tüketilen kaynak uğruna müşteri para ödemek istemez. Böyle bir işlem için doğaya salınan karbondioksit ise aslında hiçbir şey uğruna yaratılmış bir etki olacaktır. Örneğin kurulan sistem gereği her cıvata sıkılacağında sıkma tabancasının diğer odadan alınıp gelinmesi sırasında geçen zaman, bu zamanda açık kalan ekipmanların harcadığı enerji gibi hususlar tamamen üretim sistemi israfıdır. Dolayısıyla bu gibi durumların tespiti, mümkün olduğu kadar bertaraf edilmesi ve kaynakların sadece doğru faaliyetlere yönlendirilmesi, süreçlerin yalınlaştırılmasını, verimin maksimizasyonunu ve israfın minimize edilmesini sağlayacaktır. Böylece karbondioksit salınımının da düşürülmesi söz konusu olacaktır. İş süreçlerinde karşılaşılan başlıca israflar alt başlıklarda belirtildiği gibidir. Bu israfların ortak özellikleri birbirinden etkilenmeleri ve birbirlerini tetiklemeleridir. Üretim israflarına odaklı çalışmalar genelde israf eliminasyonunda, israf türleri arasında kazan – kazan döngüsü oluşturmaya elverişlidirler.

4.1.1.1 Taşıma israfı

Taşıma israfı malzemelerin bir yerden bir yere götürülmesidir. Bir malzemenin ilk giriş yaptığı noktadan ara stok noktalarına, buradan ilgili süreçlere taşınması ve görülen işlemler sonrası süreçler arasındaki taşımalar kastedilmektedir. Taşıma için kullanılan araçlar ve harcanan enerji nihai ürüne katma değer sağlamadığı için direkt israf anlamına gelmektedir. Burada yapılması gereken tüm süreçlerin malzeme akışlarının analiz edilmesi sayesinde optimum yerleşimin tesis edilmesi ve geçici depolama uygulamalarının mümkün olduğunca ortadan kaldırılmasıdır. Böylece malzemeler, süreçler arasında asgari taşıma gerektirecek şekilde akışa tabi tutularak üretim gerçekleştirilebilir.

4.1.1.2 Stok israfı

Stokların varlığı başta finansal bir yük olarak göze çarpmaktadır. Öte yandan fazla stok genelde taşıma gibi israfları da tetikleyebilmektedir. Ayrıca stok varlığı, bu stoklar için ayrılacak yerleri, binaları, personeli, iş makinalarını ve ısıtma, aydınlatma gibi ek enerji ihtiyaçlarını gerektirecektir. Bu nedenle stoklar da üretim tesislerinde elimine edilmesi gereken israflardan biri halini almıştır. Stoklarını minimize etmiş tesisler de üretim operasyonları açısından verimi yükseltilmiş tesislerdir. Genelde

anormalliklere karşı bir güvence olarak oluşturulan stokların elimine edilmesi için anormalliklerin kök nedenlerinin ortadan kaldırılması önemlidir.

4.1.1.3 Hareket israfı

Hareket ile kastedilen genelde personelin veya kullanılan ekipmanların katma değer üretmeyen konum değiştirmeleridir. Bu durum gereğinden fazla iş gücü istihdamı veya ekipman-saat kaynağı anlamına gelecektir. Süreçlerin hareket israfından elimine edilmesi işçilik maliyetini düşürmenin yanında süreçlerdeki enerji sarfiyatını da azaltacaktır. Örneğin bir montaj hattındaki personel monte edeceği parçaları toplamak için gereğinden fazla hareket etmesi sırasında ortama sağlanan ısıtma, aydınlatma gibi servisler veya kullanılacak ekipmanların açık kaldığı zamanlar için sağlanan basınçlı hava, elektrik gibi kaynaklar direkt israfa hizmet etmiş olacaktır. Ekipmanların hareket israfına ise bir punta kaynak robotunun sıfır konumunun kaynak yaptığı yüzeylere gereğinden uzak seçilmiş olması örnek gösterilebilir. Bu durumda her kaynak operasyonu için gereğinden uzun süren ve fazla enerji tüketen bir faaliyet yürütülecektir. Her yıl milyonlarca kaynak işlemi yapıldığı dikkate alındığında burada operasyon başına düşen her santimetrenin ve saniyenin büyük etkisinin olacağı ortaya çıkacaktır.

4.1.1.4 Bekleme israfı

Üretim sistemleri için süreç çalışmaları yapan endüstri mühendislerinin en temel odaklarından biri kesintisiz (sürekli) bir akış yakalamaktır. Bu akışın önemli unsurlarından biri de beklemelerin olmamasıdır. Hareket, taşıma gibi parametrelerle birlikte bekleme de verimli süreçlerde ortadan kaldırılması gereken israflardandır. Bu bekleme süresince kullanılmayan alanlar, açık veya çalışmaya hazır bekleyen ekipmanlar gereksiz tüketim unsuru olacaklardır.

4.1.1.5 Aşırı üretim israfı

İhtiyaçtan fazla üretim yapılması birim enerji tüketimi en yüksek olan israflardan biridir. İdeal koşullarda sadece müşterinin talep ettiği kadar üretim yapılması, buna göre tüm ara parçaların üretim zamanlarının (takt time) planlanması gerekir. Birim zamanda ihtiyaçtan fazla üretim yapan ve bu nedenle dur-kalk şeklinde çalışan süreçler de hazırda bekleyen (stand-by) veya kalkış ve duruşta ekstra enerji sarfiyatları barındıran sistemlerden dolayı israflar barındırır. Aşırı üretim israfı içeren işletmelerde

gereğinden fazla ekipman, makine, işgücü ve dolayısıyla enerji sarfiyatı söz konusudur.

4.1.1.6 Aşırı işlem israfı

İstenen tasarım, mukavemet veya başka teknik özelliklerin sağlanması için asgari düzeyde işlem yapılması ileri düzey teknik bir problem haline gelebilir. Mevcut durumda belirli kalitelerin sağlanması için yürütülen süreçler bu kalite için bir gereklilik halini almış ve oldukça kanıksanmış olabilir. Halbuki geliştirilecek teknoloji ve teknikler ile bu işin çok daha az operasyonla yapılması mümkün olabilir. Bunların tespit edilmesi ancak etkin üretim geliştirme çalışmaları ile sağlanabilir. Örneğin bazı malzemelerin gelişen malzemelerle değiştirilmesi bir ısıl işlemi devre dışı bırakabilir. Başka bir örnekte ise gelişen ekipman ve sistemler 3-4 süreçte yapılan bir şekillendirme işlemini tek makine ve kalıpta tek seferlik bir pres işlemi ile yapılmasını sağlıyor olabilir. Burada önemli olan geniş bir perspektiften durumları değerlendirebilmek, son kullanıcının nihai ihtiyaçlarını karşılayacak olduktan sonra malzeme, süreç veya tasarım değişikliği yapmaktan çekinmemektir.

4.1.1.7 Hata israfı

Hatalar ile ifade edilenler genelde kalite hatalarıdır. Müşterinin talep ettiği veya müşteriye taahhüt edilen kalitenin sağlanmasını engelleyen veya bu şüpheye sebep olan hatalar bir yeniden çalışmaya, kontrole ve gerekiyorsa tamirata sebep olacaktır. Bazı durumlarda tamirat mümkün olmayabilir ve sarf edilen emek ve enerjinin hurda veya atığa dönüşmesi gerçekleşebilir. Üstelik hurda ve atık işleme süreçleri de kendi başlarına ayrı bir enerji sarf noktalarıdır. Hatalarla ilgili önemli hususlardan biri operatör (personel, çalışan, işçi) hatalarının geçerli bir sebep olarak kabul edilmemesidir. Örneğin bir operatörün işlem yaparken araç boyasını çizme riski veya hatası söz konusu ise, bu işlemin boyadan önce yapılması, boyalı yüzey ile operatörün temasını engelleyici veya boyaya zarar verebilecek ekipmanların değiştirilmesi gibi sistemsel önlemlerin alınması gerekir. Burada odaklanılması gereken operatörler değil, operatörleri hataya iten sebeplerdir ve bunları ortadan kaldırıcı sistemsel geliştirmeler olmalıdır. Bu sayede hataların sürdürülebilir eliminasyonu mümkün olacaktır. Bir işletmenin hatasızlaştırma dönüşümü ise verimlilik artışında büyük etki oluşturabilir ve enerji ihtiyacının azalmasında etkin rol oynayabilir.

4.1.2 Verimi arttır

İhtiyacı azaltıcı nitelikte olan üretim israfları, uygulanma etkinlikleri tartışmaya açık olsa da iş dünyasında bilinirliği yaygın olan konulardır. Enerji tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımının, üretim operasyonlarındaki israfların ortadan kaldırılması sayesinde azaltılmasına paralel yürütülmesi gereken diğer bir faaliyet ise enerji üretim – tüketim sistemlerindeki verimin arttırılması ile enerji sarfiyatının azaltılmasıdır. Yaklaşımın bu adımı enerji yönetim biriminin ana rolü niteliğindedir. Burada üretimin 7 israfının enerji perspektifinden karşılıkları tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : 7 israfın enerji karşılıkları.

Üretim İsrafı		Enerji israfı	
İsraf türü	Anlamı	İsraf türü	Anlamı
Taşıma	Malzemenin bir yerden bir yere taşınması	İletim	Enerjinin bir yerden başka bir yere taşınması
Stok	İhtiyaç fazlası madde stoğu	Rezerv	İhtiyaç fazlası enerji depolanması
Hareket	Operatörün katma değersiz efor sarfetmesi	Verimsizlik	Ekipmanın veya sistemin katma değere dönüşmeyen kayıpları
Bekleme	Operatör ya da süreçlerin beklemesi girdi	Boşa çalışma	Sağlanan enerjinin yapılacak faaliyetleri beklemesi
Aşırı üretim	Müşterinin talep ettiğinden fazla üretmek	İhtiyaç fazlası	Operasyon esnasında ihtiyaç duyulandan fazla enerji sağlanması
Aşırı işlem	Bir işi daha kolay ve direkt yapmak varken gereğinden fazla operasyon yürütmek	Dönüşüm	Nihai ihtiyacı direkt kaynaklardan karşılamak varken dönüşümlere tabi tutmak
Hatalar	Süreçlerdeki kalite hatalarından ötürü yeniden çalışma gerekmesi	Arızalar	Enerji sistemlerindeki hata ve arızalardan ötürü ekstra efor (üretim) gerekmesi

Bu kısmın alt başlıklarında enerji israfları açıklanacaktır. Bu israfların incelenen tesiste nelere karşılık geldiği örneklendirilecek, en sonda ise karşı önlem odak noktaları ifade edilecektir.

4.1.2.1 İletim

Tedarik edilen enerji direkt olarak veya bir takım dönüşümlere uğradıktan sonra madde üzerine aktarılarak iç kullanım noktalarına iletilir. Elektrik, basınçlı hava, sıcak su, buhar gibi enerji içeren unsurların kaynaklardan kullanım noktalarına iletilmesi tam verimle gerçekleşemez. Üstelik iletim arttıkça arıza ve rezerv gibi diğer israflar da tetiklenmiş olacaktır. Enerji etütlerinde iletim konusu ele alınırken üzerine çalışılması gereken konuların başında iletim mesafeleri gelmelidir. Bir enerjinin üretildiği veya dönüşüme uğradığı kaynaktan sonra mümkün olan asgari mesafeyi kat ederek kullanıma verilmesi tasarım aşamasından itibaren dikkat edilmesi gereken hususlardandır. İletim hattı kapasitelerinin uygun tespit edilmesi de yine ilk projelendirme aşamasında özellikle akışkanların iletilmesinde önemle ele alınmalıdır. İşletme aşamasında ise hat izolasyonları kontrol edilmeli, varsa kaçaklar tespit edilmelidir. İletim hattında hasar gören izolasyon veya altyapı büyük kayıplara yol açabilir. Hattın kayıp miktarlarının hesaplanması için termal kameralarla ısı analizi yapılması, elektrik yük taşıma kapasitesi hesabı veya akışkan dinamiğine göre uygun hat çapı seçimi gibi uygulamalar yaygındır. İletim ile ilgili incelenmesi gereken bir diğer konu ise gereksiz iletimlerdir. Değişen üretim şartlarında bazı süreçler taşınmış veya ihtiyaçlar değişmiş olabilir. Kullanım olmayan noktalara iletim için hazır tutulan hatlar yine ilave birer israf noktaları olacaktır. Örneğin basınçlı hava tüketimi ortadan kalkmış bir sürece giden hattın da ilgili branştan itibaren iletim hattından ayrılması gerekir.

4.1.2.2 Rezerv

Üretim sürecindeki stoklar genelde tam iş akışının planlanamadığı veya anormalliklerin engellenemediği durumlar için güvence olarak tutulan malzemelerdir. Bu malzemelerin varlığı kendi başına finansal bir yükken, ilgili depolama için de bir alan açılması gerekir ve bu alanın da kendi maliyetleri olacaktır. Enerjide de rezervlerin durumu benzerdir. Tam zamanında ve yeterli enerjinin sağlanamayacağı durumlar için sıcak veya soğuk hava, sıcak veya soğuk su, buhar, basınçlı hava ve elektrik gibi enerjiler depolarda, basınçlı tanklarda, akülerde veya büyük seçilen iletim hatlarının kendisinde rezerv edilebilir. Bu depolama sistemleri ise tam verimle kaynakları depolayamayacaktır. İzolasyon kayıpları, depolama veya yeniden kullanma aşamasında dönüşümlere harcanan enerji ise israf olacaktır. Belirli bir ihtiyaç anında

hemen sağlanamayacak enerji için ön hazırlıklar yapılması, sistemlerin erken çalıştırılıp belirli bir rezerv enerjiye ulaştırılması da bu kapsamda değerlendirilebilir. Bazı durumlarda ise bu rezervlerin kurulması çevre ve enerji için daha faydalı hale gelebilir. Örneğin güneş enerjisinden her mevsimde aynı etkinlikte yararlanmak mümkün olmayacaktır. Kış mevsiminde ihtiyaç duyulacak bir ısıtmaya doğal gaz kullanılarak anında cevap verilebilir. Fakat eğer güneş enerjisinin ihtiyaç fazlası olduğu yaz aylarında bu enerjinin yer altındaki özel ısı rezervlerine aktarılması söz konusu ise, kışın bu enerji ısı pompaları ile çok daha çevreci bir kullanım oluşturabilir. Bu durumlarda rezervlerin verimliliği, izolasyonu ve ısıl sığaları gibi konulara çalışılması gerekecektir. Her halukarda rezerv etmenin bir israf boyutu vardır ama bu rezervin tamamen kaldırılmasına değil, verimli bir şekilde sürdürülmesine çalışılması gerekebilir. Bu çalışmanın yaklaşımına göre, birincil kaynağı yenilenebilir enerji olan bir rezerv, karbondioksit salınımı oluşturacak bir emre amade sisteme göre tercih sebebidir.

4.1.2.3 Verimsizlik

Üretim hatlarında her bir süreçten ve operatörden beklenen katma değerli ve zorunlu olan bir hazırlık faaliyeti vardır. Bunun dışında kalan tüm eylemler ise hareket israfı olarak değerlendirilir. Enerjide de bir ekipmanın çıkışından talep edilen bir enerji vardır. Bu çıktının üretilmesi esnasında sarf edilen ek efor ise israf olarak değerlendirilir. Sıfır karbondioksit yaklaşımındaki verim artışı ile tüm enerji israfları kastedilmektedir fakat bu kısımda ifade edilen verimsizlik direkt ekipman veya sistem teknolojisi ile alakalıdır. Bir motorun, kompresörün, pompanın, kazanın, klima santralinin veya soğutma kulesinin müstakil olarak verimleri yüksek olmalı, eğer kaçınılmaz olan ısınmalar varsa da bunların atıklara dönüşmesi engellenip geri kazanımları sağlanmalıdır.

4.1.2.4 Boşa çalışma

Üretimdeki bekleme israfı ekipman ya da operatörün belirli bir anda üretime direkt hizmet etmeyen zaman harcamasıdır. İdeal koşulda harcanan zamanın tamamı faaliyetler için geçirilmeli, faaliyet dışı zamanlar ise üretimden tam ayrıştırılarak etkin dinlenme zamanı halini almalıdır. Enerjide de durum benzerdir. Aydınlatma, basınçlı hava, buhar, sıcak su, rezistans, kızılötesi ısıtıcı, motor, pompa gibi kaynaklar çay veya yemek molalarında, mesai geçişlerinde veya tüm operasyon yürütülmeyen anlarda

kapatılmalıdır. Faaliyet yürütülmeyen alanlarda çalışır vaziyette bekleyen herhangi bir enerji kaynağı, kendinden önceki süreci bekleyen personel gibi boşa harcanan bir kaynaktır. İnsansız sitemlerde kesintisiz uzun süreli çalışmalar mümkün olabilir ancak üretim lotları arasında dur – kalk şeklinde çalışması teknik olarak engellenemeyen süreçlerde veya insan barındıran süreçlerde beklemeler veya duruşlar kaçınılmaz olabilir. Bu durumlarda boşa çalışacak enerji sistemi unsurlarının durdurulması gerekir.

4.1.2.5 İhtiyaç fazlası

Üretim süreçlerinde "itme" ve "çekme" olmak üzere iki yaklaşım söz konusudur. İtme yaklaşımında amaç, mevcut kurulu tesisleri azami kapasitelerinde çıktı (ürün) üretimi için kullanmaktır. Bu yaklaşımda üretilen mal veya hizmet için sonradan market aktivitesi yapılması kabul edilebilir karşılanır. Diğer yaklaşım ise günümüz pazar koşullarında daha geçerli bir hal almıştır ve temelde müşteri talebini baz alır. Çekme yaklaşımı talep edilene odaklanır ve talebe göre faaliyet ölçeğini değişken tutar.

Verimli, güvenli ve sürdürülebilir üretim yaklaşımı olan "çekme" modeli, enerji için de uygulanmalıdır. Bir sürece sağlanan ısıtma, soğutma, kinetik enerji gibi kaynakların faaliyet ölçeğine karar vermek için kullanıcı pozisyondaki süreçlerin iyi analiz edilmesi gerekir. Örneğin ortam şartlandırması gereken yerlerde, ortamdaki istenen sıcaklık düzeyi, havadaki partikül miktarı, nem oranı veya oksijen miktarı gibi parametreler kontrol edilmeden ihtiyaç fazlası bir servis sağlanmamalıdır. Benzer şekilde, 60°C sıcaklıkta tutulması gereken bir robotu, hiçbir ek katkı sağlamayacağı halde 40°C'ye soğutacak kadar soğutma kulesi, fan ve sirkülasyon pompası çalıştırılması ihtiyaç fazlası israfıdır. Burada yapılması gereken, kullanım noktasındaki ihtiyaçların netleştirilmesi, belirlenen parametrelerin dinamik takibi ve bu dinamik geri bildirimlere göre faaliyet boyutunun ayarlanmasıdır.

Enerji sistemi faaliyetlerinin ihtiyaca göre yavaşlatılarak "çekme" sistemine getirilmesine motorların frekans konvertörlü sürücülerle hızının düşürülmesi, soğutma kulesi fanının gereksizse kapatılması, paralel çalışan pompalardan bazılarının gidiş – dönüş suyu sıcaklıkları kontrolüne göre kapatılması, kompresör basıncının düşürülmesi, kazan çıkış suyunun sıcaklığının azaltılması gibi faaliyetler örnek gösterilebilir.

4.1.2.6 Dönüşüm

Enerjinin dönüştürülmesi veya farklı maddelere aktarılması bazen çok düşük verimlerde gerçekleşiyor olabilir. Örneğin bir elektrik transformatöründe gerilim dönüşümü aynı tür 2 enerji arasında olduğu için verimde %98'lere ulaşabilir. Elektromekanik enerji dönüşümü yapan bir asenkron motorda da %96 gibi benzer yüksek verimlerden bahsedilebilir. Öte yandan basınçlı hava, buhar gibi maddelere aktarılan enerjide ciddi verim kayıpları meydana gelir. Bazı dönüşümlerde hem ekipman ısınır hem de bu ısınmanın bertaraf edilmesi için ayrı bir soğutma ihtiyacı ortaya çıkar. Dolayısı ile enerji dönüşümleri başlı başına israf noktaları halini alabilir. Eğer güneş ışığı direkt kullanılabiliyorsa aydınlatmalar veya elektrik direkt kullanılabiliyorsa basınçlı havalı sistemler değiştirilmeli, enerji dönüşümü kaynaklı aşırı işlem israfı ortadan kaldırılmalıdır. Bazı durumlarda yerçekimi gibi doğal potansiyeller malzeme taşınmasında kullanılabilir durumda olabilir. Böyle bir durumda ise yine doğal potansiyelden yararlanılmalı, gereksiz kurulan sistemlerle aşırı işlem yapılmamalıdır.

4.1.2.7 Arızalar

Üretim süreçlerindeki kalite hataları, ekipman ve personelin ek bir efor sarfetmesi ile telafi edilir. Bu hatalar azaltıldıkça da sarfedilen emeğin daha büyük kısmı istenen faaliyete aktarılmış olur. Enerji sistemlerinde de arızalar ana amaca hizmet etmeyen tüketimlere ve kaçaklara sebep olacaktır. Bu ekipman veya sistem arızalarının tamir edilmesi, önleyici bakımlarının, yaşlanma ve risk analizlerinin zamanında yapılarak karşı önlemlerinin alınması yine enerji israfını önleyici nitelikte olacaktır. Elektrik sistemindeki harmonik veya reaktif güç değerlerini bozacak filtre ve kompanzasyon sistemi arızası hem elektrikli ekipmanlarda aşırı ısınmaya hem de direkt ekipman arızasına sebep olacaktır. Basınçlı hava kaçakları, izolasyon deformasyonu gibi arızalar da yine hızla müdahale edilmesi gereken arızalaara örnek verilebilir.

4.1.2.8 Enerji israflarının karşı önlemleri

Üretim israflarının enerjiye uyarlanan 7 israfı, birbirleri ile etkileşim içinde olan, duruma göre beraber ortaya çıkıp beraber ortadan kalkabilen israf türleri olabilir. Fakat her biri enerji sistemi genel verimsizliğinin farklı boyutlarıdır. Tesislerde yapılacak

çalışmalarda Çizelge 4.2'de özetlenen israf türlerinin ve genel karşı önlem yaklaşımının farkında olmak gerekir. Bir basınçlı hava sisteminde israfın 7 boyutuna örnek verilecek olursa; kompresörlerin kullanım kaynaklarına çok uzak olması, gereksiz ve uzun boru hatları iletim israfı olacaktır. Basınç regülasyonu için gereğinden fazla basınçlı hava tanklarının doldurulması rezerv kaynaklı israf olacaktır. Kompresör veya soğutucusunun verimsiz çalışması, fazla ısınan kompresör ve bu ısının geri kazanılamaması ekipman – sistem verimsizliğine örnektir. İhtiyaç olmayan zamanlarda kompresör çalışması boşa çalışma israfıdır. Nihai kullanıcı ekipmanlarda daha düşük basınçlar yeterliyken yüksek basınçların üretilmesi ihtiyaç fazlası israfıdır. Direkt elektrik kullanılabilecek ihtiyaçlar için elektrik yerine defalarca enerji dönüşümü içeren basınçlı hava kullanımı dönüşüm israfıdır. Kompresörün kompanzasyon ve filtrelerinin bozulması, yataklama deformasyonu, hat kaçakları, soğutma sistemi arızaları da bir basınçlı hava sistemindeki israfların arıza boyutuna örnektir. Bu örnekten de görüleceği üzere her sistemde israfın farklı boyutları farklı karşı önlemleri gerektirir nitelikte olabilir.

Çizelge 4.2 : Enerji israfları ve karşı önlem odakları.

İsraf türü	Karşı önlem
İletim	Mesafeyi kısalt, atıl hatları iptal et, izolasyonu arttır
Rezerv	Sistemleri geliştir, tam zamanında ihtiyacı karşıla (JIT-just in time) ve rezervleri ortadan kaldır
Verimsizlik	Verimi arttır, geri kazan
Boşa çalışma	Durdur
İhtiyaç fazlası	Yavaşlat, azalt
Dönüşüm	Sistemleri değiştir, direkt kullan
Arızalar	Tamir et, önleyici bakım yap

4.1.3 Yenilenebilir kaynakların entegrasyonu

Sıfır karbondioksit salınımı yaklaşımının üçüncü adımı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıdır. Bu kaynakların üretim tesisinin kendi bünyesinde

kullanılabilir enerji formlarına dönüştürülmesi ilk hedeftir. Eğer tesis kendi sınırları içerisinde güneş, rüzgar veya jeotermal potansiyeller barındırıyorsa bunları azami ölçüde kullanmalıdır. Tesisteki potansiyelin yetersiz kalması durumunda ise başka lokasyonlarda yine benzer uygulamalar geliştirilebilir. Eğer işletme bunu kendi kaynakları ile direkt çözemiyorsa yenilenebilir enerji santrallerinden veya bunların kurulumunu ve işletmesini yapan uzman tedarikçilerden destek alabilir. Bu adımın amacı üretim faaliyetlerinin israflardan arındırılması ve enerji sistemlerinin verimi yükseltilmesi sayesinde belirli düzeylere getirilmiş enerji ihtiyacının tamamının yenilenebilir kaynaklardan karşılanacak hale getirilmesidir.

4.2 Problem Çözme Metodolojisi

Yürütülecek aktivitelerin temel adımlarının belirlenmesi kurumsal bir çalışma kültürünün oluşturulmasına önemli ölçüde katkıda bulunur. Spesifik işlere özel teknik bir çalışmanın bile genel bir anlaşılırlığa ulaşmasını sağlayacak olan bu adımlar zinciri sayesinde, kurum içinde çalışmaların yayılmasına ve bir çalışmanın üzerine yeni bir geliştirmenin daha ilave edilmesine olanak sağlanmış olur.

Birden çok tesiste ve farklı ülkelerde faaliyet gerçekleştiren büyük kurumlar, bu sayede her bir faaliyetin uygulanabilir olan tüm birimlerine yayılmasını sağlayabilir. Bu yayılma olanağının sağlanması ise mikro çalışmaların etkilerinin önemli oranda artarak makro sonuçlar doğurmasını mümkün kılar.

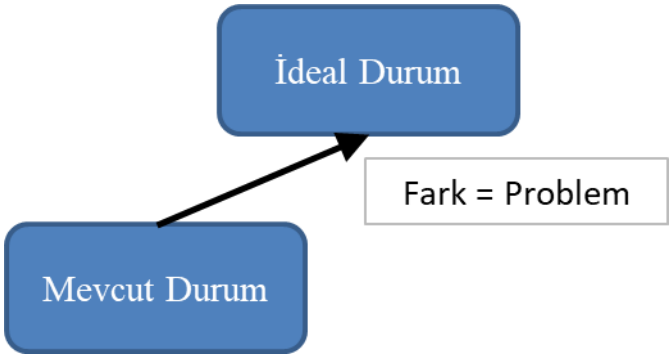
Günümüzde “yalın” adı ile büyük kurumlardan müstakil işletmelere kadar yayılan sürekli iyileştirme felsefesi ile ilgili eğitimler, doğru anlaşılıp uygulandığı taktirde, sektör ve iş farkı gözetmeksizin önemli katkı yapacaktır. Kendi özgün kültürünü oluşturmak isteyen özellikle uluslararası büyük kurumlar bu metodolojilere kendi belirledikleri isimleri koymayı tercih edebilmektedirler. Orta ve küçük ölçekli kuruluşlar ise bu süreçleri yalın yöntemler adı altında parça parça öğrenerek yürütmeye eğilimlidirler. Hangi kuruluşun yöntemi veya hangi eğitmenin dersi olursa olsun, iş yapma yöntemindeki adımlar önemli ölçüde kesişim göstermektedir. Bu belirlenen yöntemlerin zayıf noktası ise uygulamayı yapacak organizasyondaki motivasyonun eksik kalmasıdır. Bir çok çalışan bu metodolojinin otomotiv gibi sadece spesifik birkaç iş dalında çalışabilir olduğunu, kendi işinin ise çok farklı bir doğası olduğunu düşünmeye eğilimlidir. Halbuki burada tanımlanacak iş akışı satıştan satın almaya, bakımdan üretime, kaliteden iş güvenliğine bir çok faklı işte karşılaşılan

problemleri çözmeye uygundur. Bunun gibi metodlar otomotiv sektörünün yanında demir-çelik, elektrik-elektronik üretimi, tekstil, gıda gibi bir çok sektörde de uygulanmaktadır.

Farklı kuruluşlardaki problem çözme sistematiklerinde ön bilgi adımı bazen sürece dahil edilir, bazense edilmez. Genel olarak, bir iyileştirme faaliyetine başlamadan önce konuyla ilgili bir ön bilgiye ihtiyaç vardır. Bu ön bilgi adımı yapılacak işin ve çözülecek problemin altında yatan motivasyonu ifade eder. Daha sonra problemin belirlenmesi ile başlayan bir iş yapış tekniği adım adım takip edilecektir.

4.2.1 Problemin belirlenmesi

Problem istenen (ideal) durum ile mevcut durum arasındaki fark olarak tanımlanabilir (Şekil 4.6). Buradaki ideal durum ve mevcut durum tanımının doğru tespiti çalışmanın başarıya ulaşıp ulaşmaması konusunda kritik öneme sahiptir.



Şekil 4.6 : Problemin tanımı.

Problem belirlenirken kontrol edilebilecek kadar spesifik, büyük resme hizmet edecek kadar da genel bir konu seçilmesi uygun olacaktır. Örneğin bir işletmede ısıtma sistemlerinde sorumlu iseniz tüm kurumun enerji durumundan başlayan bir problem tanımı yapmak çalışmaya odaklanmayı zorlaştırabilir. Öte yandan konunun sadece belirli bir ekipman veya sürece kadar daraltılması çalışmanın neye hizmet ettiğinin anlaşılmasını; çalışılacak konu önceliklendirmesinin doğru yapılıp yapılmadığının görülmesini engelleyecektir. Sadece çok noktasal bir düzeyde problem belirlenmesi, orada yapılacak bir iyileştirme faaliyetinin ilişkili olunan bir başka süreci kötü etkilemesinin gözden kaçırılmasına sebep olabilir. Örneğin sadece tek bir kompresörün enerji tüketimi problem olarak belirlenirse, bu kompresörün soğutma sisteminde yapılacak bir iyileştirme sırasında başka bir sirkülasyon sistemindeki

pompanın enerji tüketiminin artmasına sebep olunabilir. Bu nedenle çalışma alanı kontrol edilebilir düzeyde bir sistemi kapsamalıdır.

4.2.2 Problemi parçalarına ayırma

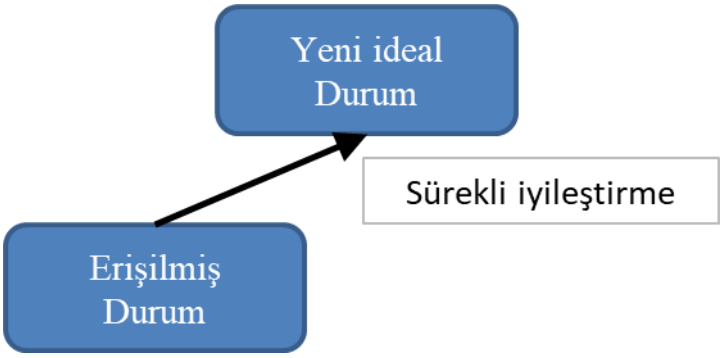
Problem birçok alt unsurdan oluşan nispeten büyük ölçekli bir bileşkedir. Probleme neden olan tüm unsurlar ayrı ayrı ölçülüp etki boyutlarına göre sıralanmalıdır. Bu analiz sayesinde Pareto ilkesine göre bir veya birden çok bileşen çalışma alanı olarak seçilebilir. Pareto ilkesinde belirtildiği üzere etkenlerin %20'si, etkinin %80'ini oluşturur [46]. Bugüne kadar kırılımı yapılan çokça teknik çalışmada buna benzer oranların yakalandığı görülmüştür. Dolayısı ile yapılacak bu kırılım sayesinde önemli azınlıklar ilk olarak ele alınmak üzere görülür hale gelir. Kontrol edilebilecek kadar spesifik, birim faaliyetle azami mesafe kat edecek kadar önemli işler önceliklendirilebilir hale gelmiş olur.

Bu adımın uygulanmasında veri bankasının yeterliliği sağlanmalıdır. Yanlış veya eksik bilgi ile doğru sonuçlar elde etmenin ihtimali çok küçüktür. Bir karar vermeden ve harekete geçmeden önce mutlaka yerinde inceleme yapılmalı, gereken ölçüm sistemleri devreye alınmalı ve yapılacak analizler sayesinde her seferinde doğru önceliklendirme yapılmalıdır. Örneğin başarının yükseltilmek istendiği bir sınavda ilk olarak daha önce elde edilmiş sonuçlara sahip olunmalıdır. Bu sayede bir sonraki adıma geçerken kaybedilen puana en çok etki eden konular ve dersler önceliklendirilebilir hale gelir. Bu analiz için ise nihai sınava benzer sınavlar ölçülmeli ve doğru cevap anahtarları kullanılarak tespit yapılmalıdır. Bu sayede sonraki aşamaya geçmek için hazırlanılmış olur.

4.2.3 Hedef belirleme

Parçalara ayrılmış bir problemde seçilen çalışma konusunda mevcut durum göz önünde bulundurularak bir hedef belirlenir. Hedef belirlemede "SMART" kriterlerine uyulması gerekir. İngilizce kelimelerin akroniminden oluşan bu kelimenin farklı açılımları olsa da yaygın olarak şu şekilde ifade edilebilir: belirli (**s**pecific), ölçülebilir (measurable), başarılabilir (achievable), alakalı (relevant) ve zamanla sınırlı (time-bound). Belirlenen hedefte bu unsurlardan eksikler olması halinde varılan noktalarda yanlışlıklar olması, hedefe varılıp varılmadığının anlaşılamaması, hedefe ulaşılamaması veya işlerin sürüncemelerde kalması söz konusu olabilir.

Hedef seçimindeki bir diğer püf nokta ise hedefin zorlayıcılık optimizasyonunun doğru yapılmasıdır. Seçilen hedef ulaşılamayacak kadar zor olmamalı, bir yandan da yeterli efor sarf etmeden kolaylıkla erişilebilir olmamalıdır. Bu çalışmada sıfır karbondioksit salınımlı bir tesis hedefi konmuştur. Bu hedefe ulaşmak kısa orta ve uzun vadeli bir çok iyileştirmenin yapılması gerekecektir. Burada her bir çalışmada o çalışmanın hedeflerinin tutturulması ve daha sonrasında yeni hedeflerin belirlenmesi gerekir (Şekil 4.7). Dolayısıyla aslında asla bir nihai hedef yoktur, bu da sürekli iyileştirmenin temelidir. Sıfır CO_2 salınımı hedefi yakalandığında çevresel konularda neyin daha iyi yapılabileceğine dair de yeni hedefler geliştiriliyor olacaktır.



Şekil 4.7 : Sürekli iyileştirmede hedef belirleme.

4.2.4 Kök neden analizi

Karşılaşılan problemlere çözüm üretilmesi konusunda karşılaşılan yaygın hatalardan biri de yapılacak işe karar alınmasında aceleci davranılmasıdır. Karar vermeden önce konunun kök nedeninin detaylı bir şekilde incelenmesi birçok kurumsal işletmede sıklıkla tavsiye edilir. Karar verilen bir faaliyetin yürütülmesi şirket kaynaklarından yapılacak bir harcamadır. İnsan gücü ve mali kaynakların yanlış bir aktiviteye harcanması uzun vadede büyük israfların çıkmasına sebep olabilir. Öte yandan bu durum özellikle insan kaynaklarının harcanmasında çoğu zaman ölçülebilir olmadığı için dikkatle ele alınmalıdır.

Kök nedenin doğru analiz edilmesi karbon salınımı probleminde de olduğu gibi, tüm problemlerde önemli bir adım olarak öne çıkar. Kök neden analizi içinse dünyada yaygın olarak kullanılan 5-neden (5 Whys), Balık kılçığı (Fish bone veya Ishıkawa) diagramı gibi yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler kullanılırken yerinde inceleme yapılması, konunun en yakından gözlenmesi kritik öneme sahiptir. Sorunun çıkış noktasına ne kadar yaklaşılır ve ne kadar hakim olunursa harcanacak eforun karşılığı da o kadar yüksek olur.

4.2.5 Karşı önlemler geliştirme

Bir sonraki aşamada, analiz edilen her kök neden için etkili bir karşı önlem geliştirilir. Aktivite kararlarında, etkenlere karşı ağrı kesici etkisi yaratacak tolore edici faaliyetler yerine sorunun kökünü çözebilecek önlemler tercih edilmelidir. Bu sayede sorunun nüksetmesinin önüne geçilebilir ve gerçek bir iyileşmeden bahsedilebilir. Karşı önlemlerin etkili olması için öncelikle tüm paydaşlardan büyük bir fikir akışı sağlanması faydalı olacaktır. Fikir havuzundan yararlanarak mümkün olan çokça önlem geliştirilmeli ve bunlardan etkisi en yüksek olanlar seçilmelidir. Paydaşlarla fikir birliğine varılması ve iyi bir eylem planı oluşturulması gerekir.

Buraya kadarki adımlar problem çözme metodolojisinin, sürekli iyileştirme yaklaşımındaki "Planla" adımına karşılık gelir. Planlamanın tüm adımlarının ciddiyetle yerine getirilmesi, buradan sonraki adımlarda zaman ve maliyet gibi kaynak harcamalarında yüksek verim elde edilmesine olanak sağlar. Planlama sürecinin zaman kaybı olarak değerlendirilmesi sıklıkla karşılaşılan bir yanılgıdır. Buradan sağlanıldığı düşünülen kazanç sonraki aşamalarda daha büyük problemler doğurur. Fakat bu düşünceye sahip olunmasındaki sebeplerden biri de planlamanın nasıl yapılacağına dair yöntemlere hakim olunmamasıdır. Planlama süreci ancak doğru yöntemlerle uygulandığında kazanç sağlayacaktır.

4.2.6 Karşı önlemler uygulama

PUKÖ çevrimindeki uygulama adımına karşılık gelir. Uygulamada işbirliği, sabır, hız ve azim önemlidir. Planlama sürecindeki katılım ne kadar etkili olursa, uygulamada sorumluluk üstlenme de o kadar yüksek olacaktır. Kurumların önemli çoğunluğunda planlama ve karar alma aşaması bir grup yönetici tarafından yürütülür ve daha sonra başka bir uygulama grubuna hiyerarşik kanalla dikte edilir. Bu tip işleyişlerde uygulayıcılar sorumluluk almaz, sadece kendine söylenen kadar iş için bir konfor bölgesi oluşturup, o çizginin ötesine geçmemeye, düşünmemeye ve katılmamaya gayret gösterirler. Bu tarz işletmelerde başarılı işlerin mükafatlarını da planlama ve karar sürecini yürüten birimler toplamaya eğilimlidirler. Halbuki sürdürülebilir ve etkili uygulamaların geliştirilmesi için problemin en başından beri tüm birimlerle ele alınması, yönetimin en başından beri paylaşılması hassas bir konudur. Eğer böyle bir işbirliği sağlanırsa herkes problemin de çözümün de parçası olduğunu kabul edecek ve uygulamalarda sorumluluğu almaya gönüllü olacaklardır.

Bu çalışmada ortaya konan modelde de karbondioksit salınımı problemine karşı geliştirilen uygulamalardan bahsedilecektir. Bu uygulamalar kullanıcı birimlerden yöneticilere kadar bir işbirliği ile kararlaştırılan ve yürütülen faaliyetler olmalıdır.

Uygulama aşamasında süreç doğru olarak raporlanmalıdır. Sürecin durumu ile ilgili doğru bilgi akışı bir sonraki adımda doğru kararlar için veri girişi olacaktır. Gidilen yönle ilgili sürekli veri sağlanması, yoldan sapmanın mesafesi uzamadan toparlanmaya fırsat sağlayacaktır.

4.2.7 Sonuç ve süreçleri izleme

PUKÖ döngüsündeki kontrol etme adımıdır. Çözüm uygulama yolunda giderken faaliyet ve planların uyuşma durumu gözlemlenir. Bu sayede yoldan sapmalar varsa tespit edilmiş olur. Öte yandan izlenen süreçlerdeki gelişmeler de ön plana çıkarılabilir.

Bu adımdaki değerlendirmelerin objektif olması ve önceden belirlenmiş kriterlere göre hesaplanması gerekir. Elde edilen sonuçlar ile hedeflenen sonuçlar kıyaslanmalıdır. İş dünyasındaki genel yanılgılardan biri, çalışma yöntemlerinin "sonuç odaklı" veya "süreç odaklı" olarak kutuplaştırılmasıdır. Halbuki iyi süreçler geliştirmeden elde edilen sonuçlar sürdürülebilir değildir ve hedeflenen sonuca ulaşmayan süreçlerin başarısından bahsedilemez. Dolayısı ile iyi süreçler iyi sonuçlar doğurmalı, iyi sonuçların elde edilmesi için iyi süreçler geliştirilmelidir. Problem çözümünün veya iyileştirmenin önceki aşamalarında iyi bir sürece odaklanılmışken, bu aşamada sonuçlar devreye girer ve oluşturulmuş süreçler için bir geri bildirim haline gelirler. Hedeflenen sonuçlara ulaşılamamışsa bunun objektif bir şekilde başarısız olduğu kabul edilmelidir. Eğer başarı elde edilmişse, bunun sebepleri de en az başarısızlık gerekçeleri kadar dikkatle ele alınmalıdır. Ön plana çıkarmaya değer bulunan tüm gözlemler, başarılar, başarısızlıklar ve kısacası öğrenimler bir sonraki aşama için önemli bilgiler olacaktır.

4.2.8 Önlem alma, standartlaştırma ve yaygınlaştırma

Deming döngüsünün önlem alma aşamasıdır. Bir önceki aşamada elde edilen gözlemler neticesinde bir başarısızlık varsa, bu başarısızlık bir problem olarak işleme alınmalı ve en baştan süreç tekrar işletilmelidir. Eğer sonuçlar hedeflenen başarıya ulaşmışsa, elde edilen iyileştirmenin korunması, standartlaştırılması ve sürdürülmesi

için önlem alınmalıdır. Gerçek başarı, varılan noktadaki kalıcılık ve ilerlemedeki sürdürülebilirliktir.

Hem başarısız sonuçlar hem de başarılı sonuçların tüm organizasyonlarda paylaşılması ise kurumsal gelişimin önemli bir parçasıdır. Özellikle bazı uluslar arası şirketler düzenledikleri rutin toplantılarda başarısızlıklarını, hataları ve problemleri paylaşarak bir başka şirket üyesinin benzer bir hatayı yapmasını önleyebiliyorlar. Aynı şekilde yapılan geliştirme faaliyetleri de diğer birimlere yaygınlaştırılabiliyor. Bu paylaşım kültürünü oluşturan şirketler, yılların kazandırdığı birikimleri her geçen gün katlanarak ileri götürdükleri için, her alanda mevcut veya müstakbel rakiplerine fark atarak ilerleme fırsatı buluyorlar.

Çevre ve enerji konularındaki durum ise biraz daha farklıdır. Endüstriyel işletmelerin büyük çoğunluğunda yürütülen faaliyetin ekonomik hacmi üretim için kullanılan malzemelerde yoğunlaşmıştır. Enerji ile ilgili geliştirmeler tüm hacimde ekonomik olarak büyük etkiler yaratmasa da yapılacak yatırıma göre çok kısa geri ödeme sürelerine sahip olabilmektedirler. Özellikle bazı sektörlerdeki şirketler arası finansal rekabette enerji kalemlerinin rekabet unsuru olmayacak düzeyde olması ise paylaşım adımı için bir avantaj haline dönüşmüştür. Konunun çevre boyutunun da olması sebebiyle enerji iyileştirmeleri, ekonomik getirilerin ötesinde bir sosyal sorumluluktur. Tüm kurumların bulundukları topluma ve faaliyet yürüttükleri doğaya karşı sahip olmaları gereken bu sorumluluk sayesinde, şirketler arası kıyaslama (benchmark) aktivitelerindeki paylaşım bir çok konuya göre daha yüksektir. Öte yandan, bu sorumluluktaki devletler, enerji ve çevre iyileştirmeleri konusunda yarışmalar düzenlemekte, yaygınlaştırma ile ilgili farkındalığı arttırmaya çalışmakta ve bunu ödüllendirmektedir. Bu çalışmanın hedefine ulaşmasındaki en kritik adımlardan biri, elde edilebilecek sıfır karbondioksit salınımlı bir tesis modelinin, tüm geliştirmeleri, başarıları ve başarısızlıkları ile birlikte diğer endüstriyel tesislere yaygınlaştırılmasıdır. Bu paylaşım oldukça makro boyuttaki ilerleme katlanarak hızlanacak ve gelecek nesiller için çevresel açıdan daha sürdürülebilir endüstriyel faaliyetler miras bırakılacaktır.

5. GELİŞTİRİLEN MODELİN ÖRNEK TESİSTE UYGULANMASI

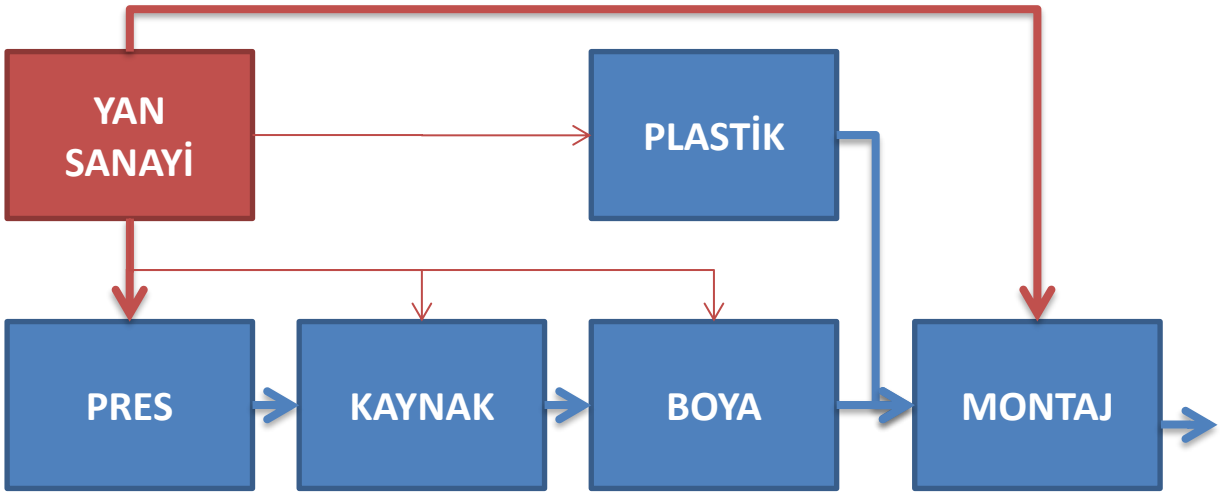
Bu bölümde, bir önceki bölümde geliştirilen yaklaşımın örnek bir tesise uygulanması ele alınacaktır. Uygulamaların anlaşılabilirliğinin arttırılması için öncelikle tesis yapısı hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra, bu tesisteki enerji ihtiyaçları sınıflandırılacak ve bu enerji kullanımının yol açtığı karbondioksit salınımları ve iyileştirme süreçleri incelenecektir. Burada yapılan incelemede genel bir otomotiv tesisinin yapısı, tüketim noktaları ve gelişim olanakları incelenmiş olup; şirketlerin gizlilik kuralları gereği hiçbir işletmenin gerçek verileri kullanılmamıştır. Çalışmanın bu bölümünün, CO_2 salınımı için belirlenen yaklaşımın nasıl hayata geçirilebileceği ile ilgili yol gösterici olması hedeflenmiş, projenin başarılabilirlik potansiyelinin ne olabileceği konusunda göstergeler sunması amaçlanmıştır.

Tezin bu kısmında konunun ele alınış şekli, tıpkı bir önceki bölümde tanıtılan problem çözme metodundaki gibi olacaktır. İlk bölümde ön bilginin verilmesi ile başlayacak süreç daha sonra problemin 8 iş adımında ele alınması ile ilerleyecektir.

5.1 Tesis Yapısı

Aracın üretildiği ana tesise mal ve hizmet sağlayan yan sanayiler genel olarak dış kaynaklar (outsource) olarak adlandırılır. Otomotiv üretimi, yan sanayilerle yoğun etkileşim halinde olan bir üretim disiplinidir. Tipik bir otomotiv tesisinde aracın şasisi ile ilgili ana süreçler ve montaj süreçleri bulunur. Şasi üretimi, rulo sacların belirlenen ölçülerde kesilip şekillendiği pres işlemleri ile başlar. Hazırlanan metal parçaların birleştirildiği kaynak süreçleri, aracın şasi ve kaportasının oluşturulduğu bölümdür. Hazırlanan araç gövdesi bu aşamalardan sonra boya süreçlerine geçer. Son olarak ise üretimin montaj aşamasına geçilir. Bu genel 4 aşamalı işleyiş, otomobil, otobüs, kamyon gibi binek, ticari veya toplu taşıma araçları için benzer yapıdadır. İşletmeler, ölçeklerine göre bu süreçlerden daha fazlasını veya daha azını kendi bünyelerinde yapabilirler. Örneğin büyük tesislerde, montajda kullanılacak bazı parçalar tesis bünyesinde üretilirken, kimi tesislerde ana süreçlerin bir kısmı da dış kaynaklardan

karşılanabilir. Bu çalışmada incelenen tesisin ana üretim süreci Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Örnek üretim tesisindeki süreç şeması.

Enerji ve karbondioksit salınımı ele alınırken pres, kaynak, boya, montaj ve plastik gibi ana süreçlere ek olarak, idari işler, satış, satınalma, personel, ar-ge, lojistik vb. faaliyetlerin yürütüldüğü ofis binaları, sosyal binalar, laboratuvarlar gibi diğer enerji tüketim noktaları da dikkate alınmalıdır. Ayrıca, ana süreçlere bakım, iş makinası, lojistik, arıtma, havalandırma, enerji vb. hizmetleri veren yan birimler de bulunabilir. Bu çalışmada pres, kaynak, boya, montaj, plastik parça üretimi, kalite kontrol, yan işletmeler, idari ve sosyal binalardan oluşan bir tesis üzerinde çalışılacaktır.

Kurumlar ve bu kurumların bünyesindeki enerji veya çevre çalışma grupları ancak bağımsız karar alabilecekleri alanlarda etkili olabilirler. Bu nedenle çalışma kapsamını belirlerken bağımsız karar alınabilecek etki alanı sınırları içinde kalmak, dış kaynakların süreçlerini kapsam dışında bırakmak faydalı olacaktır. Öte yandan dış kaynakların kendi bünyelerinde de benzer faaliyetleri yürütmesi için teşviklerin yapılması, süreçler ve sonuçların kontrol edilmesi yaygınlaştırma açısından önemlidir.

5.1.1 Pres tesisi

Otomotiv üretimi için önemli bir yarı mamul girdisi olan çelik, belirli kalınlıklardaki rulo saclar halinde alınır. Bu saclar pres makinalarında tasarlanan ölçülere göre kesilir, delinir ve kalıplarda şekillendirilerek tasarlanan formuna getirilir. Tesisin bu bölümlerinde büyük hidrolik preslerin kullanımı yaygındır. Şekil 5.2'de rulo sacdan üretilen kaporta parçaları gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Pres işlemi tamamlanmış kaporta parçaları [47].

5.1.2 Kaynak tesisi

İrili ufaklı parçalar halinde hazırlanmış çelik parçaların birbirleri ile birleştirildiği bölümdür. Aracın iskeleti olan şasi burada oluşturulur. Ayrıca kaporta parçaları, kaporta ile şasi arasındaki bağlantı kısımları da gerekli şekillerde şasiye veya kaportaya kaynatılarak sabitlenir. Kaynak işlemi bant hızının düşük olduğu otobüs, traktör veya kamyon gibi üretim tesislerinde daha çok insan gücüne dayalı bir süreç olabilir. Üretim bantlarının hızlı olduğu otomobil ve motosiklet üretimi gibi tesislerde ise otomasyona bağımlılık oranları genelde daha yüksektir. Bu tesislerde kaynak robotları ile işlem yapılır ve böylece işlem daha verimli, kaliteli, standart ve hızlı hale getirilmiş olur (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Punta kaynak robotları [48].

Kaynak robotlarındaki hızlı ve yoğun işleyiş ise kaynak noktalarında sürekli ısınmaya yol açar. Makina ve teçhizatı kullanılabilir tutmak, arızalardan kaçınmak ve kullanım ömrünü uzatmak için yoğun olarak soğutmaya ihtiyaç duyulur. Bu tesislerde olduğu gibi kaynak robotlarının bulunduğu sistemlerde soğutma ihtiyacı için harcanan enerji yüksektir. Kaynakta ortaya çıkan ısının geri kazanımı ve soğutma süreçlerinde yenilenebilir kaynakların kullanımı karbondioksit salınımının azaltılması konusunda odak noktaları olabilir.

5.1.3 Boya tesisi

Hazırlanan araç gövdesi bir sonraki aşamada boya sürecine tabi tutulur. Pres ve kaynak süreçlerinde üzerinde toz ve yağ biriken gövdelerin öncelikle iyice temizlenmesi gerekmektedir. İyi temizlenmemiş bir gövdeye yapılacak boya, ileride boyanın kabarmasına veya noktasal olarak kalkmasına sebep olacaktır. Araç gövdeleri sürekli ısıtılan, farklı metotlarla filtrelemeye tabi tutulan, sürekli devridaim eden kimyasallı sularla hazırlanmış havuzlarda temizlenir. Aracın üzerindeki tozlar çözülüp süpürülür ve filtre sistemlerinde çöktürülerek sistemden uzaklaştırılır. Temizleme işlemlerinden sonra boya öncesinde gereken astarlamanın yapıldığı, sonrasında boyanın ve boya koruyucularının uygulandığı havuzlar ve boyama robotları bulunur (Şekil 5.4). Gövdeye kaplanan astar ve boyalar ise daha sonra fırın süreçlerine tabi tutulur.



Şekil 5.4 : Boya robotları [49].

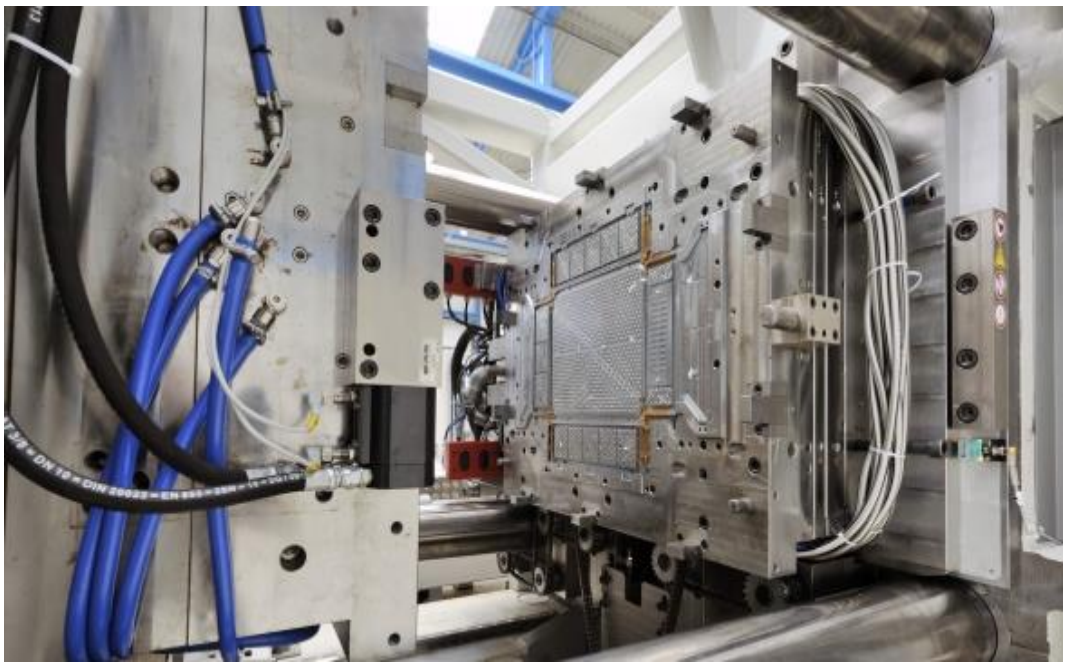
Tüm bu temizleme ve kaplama havuzlarında hem ısıtma hem de sirkülasyon için önemli ölçüde enerji tüketimi söz konusudur. Ayrıca fırınlarda da ısıtma için yoğun miktarda enerji tüketimi vardır. Aracın bir bant veya konveyör sisteminde sürekli

hareket halinde olması nedeniyle ve dar alanda yüksek hızlı üretim dolayısı ile ısıtılan araçların üzerindeki ısıtma tam olarak geri kazanılmadan araçlar bir sonraki sürece geçiyor olabilir. Genelde de bu aşamada araçların soğuması sırasında araç ısısı önemli ölçüde atmosfere aktarılarak kaybedilir. Ayrıca her ne kadar kapak sistemleri uygulansa da fırınların giriş ve çıkışlarında da ısı kayıpları yüksektir.

Boya tesisleri, bir otomotiv üretim tesisindeki toplam enerji tüketiminin yarısından fazlasını oluşturabilir. Bu nedenle tesisteki çalışmalar için önceliklendirme yapılırken boya bölümleri ön planda tutulmalıdır.

5.1.4 Plastik tesisi

Aracın tampon, ön konsol ve kapı içi kaplamaları gibi bölgelerinde kullanılan parçaların yapıldığı tesislerdir. Plastik enjeksiyon ve pres makinaları kullanım olarak çoğunluktadır (Şekil 5.5). Bu tesislerde üretilen malzemeler direkt olarak montaja gidebilir veya boya tesislerinde boyama ve fırınlama işlemlerine tabi tutulabilir. Hem enjeksiyon hem de pres makinaları özel ısıtma ve soğutma sistemlerine sahiptir. Burada da hem hidrolik ve pnömatik sistemler için elektrik enerjisi tüketimi hem de enjeksiyon, pres ve fırınlama gibi işlemler için ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Ayrıca kullanılan kalıpların, makinaların veya üretilen mamullerin soğutulma ihtiyacı da söz konusudur.



Şekil 5.5 : Plastik enjeksiyon makinası [50].

5.1.5 Montaj tesisi

Boya süreci tamamlanmış olan araç gövdelerinin diğer tüm araç parçaları ile donatıldığı süreçtir (Şekil 5.6). Montaj tesisi, ana araç gövdesine direkt yapılan montaj bandına ek olarak, tali hatlar da içerir. Bu tali hatlarda oluşturulan setler ana hattın uygun noktasında araca tek bir proseste dahil edilir. Örneğin, ana bantta akan aracın ön konsolunun monte edileceği noktayla eş zamanlı olarak çalışan bir ön konsol hazırlama bandı bulunabilir. Bu bantta aracın gösterge paneli, multimedya sistemi, hava yastığı ve direksiyonu için ara montaj işlemi yürütülür, birleştirilmiş ürün ana banttaki akışa hazır hale getirilir. Aynı yan montaj süreçleri motor, aks – dingil, süspansiyon ve fren gibi diğer sistemler için de yapılabilir. Bu yan bantlar daha küçük ve ana akışa entegre süreçlerdir.



Şekil 5.6 : Montaj hattı [51].

Montaj tesisi, hem fabrika içindeki diğer iç tesislerden hem de yan sanayiden gelen sürekli bir parça akışı ile desteklenir. Aracın son halini alması için gelen tüm bu parçalar uygun noktaya taşınır ve sabitlenir. Dolayısı ile bir montaj sürecinin temel enerji tüketim noktaları, ortam şartlandırma veya aydınlatma gibi genel tüketim unsurlarına ek olarak hareket ve taşıma gibi faaliyetlerle ilgilidir. Taşıma için bantlar, konveyörler, raylı sistemler, kaldırma ekipmanları ve tekerlekli araçlar kullanılır. Hareket gerektiren işler ise genelde vidalama araçları gibi montaj için gereken sabitleme süreçleridir. İnsan gücünün ağırlıklı kullanıldığı montaj fabrikalarında insan gücü de önemli bir enerji girdisi olarak değerlendirilebilir fakat insan faaliyetleri çalışma kapsamının dışında tutulmuştur.

5.2 Modellenen Tesisteki Enerji Tüketimi

Enerji tüketimini detaylı olarak anlamak ve çalışma alanlarını belirlemek için iki farklı açıdan sınıflandırma yapılabilir. Bu sınıflandırmalardan biri süreç odaklı sınıflandırmadır. Süreç odaklı sınıflandırmada, araç üretimi için yürütülmesi gereken faaliyetlerdeki ihtiyaçlara göre sınıflandırma yapılır. Bu durumda süreçlerde birden fazla disiplinde ekipmanlar olabilir ve aynı tür ekipman farklı süreçlerde de bulunabilir. Bu yaklaşımın avantajı, şirket içi organizasyonlarda birbirinden farklı ekiplerle çalışan bölümler kendi süreçlerine odaklanarak iyileştirmeler yapabilirler. Bu yaklaşımın dezavantajı ise, bir konuda yapılan teknik bir çalışmanın diğer bölümlere de yaygınlaştırılması kısmında yaşanabilir. Örneğin montaj sürecindeki kompresörlerde kısa ve orta vadeli projeler yürütülürken boya bölümünde aynı model bir kompresör grubu için farklı stratejiler geliştirilmiş olabilir.

Diğer sınıflandırma yaklaşımı ise enerji tüketen ekipmanlara göre sınıflandırmadır. Bu yaklaşımda da enerji tüketen ekipmanların verimliliğinin artırılması daha spesifik şekilde çalışılabilir. Bu sürecin avantajı tesis geneli için merkezi bir çalışma grubunun geliştirilmesi olabilir. Bu ekip tesis geneli çalışmalar yaparak ortak stratejiler geliştirilmesi konusunda daha etkin olabilir. Bu yaklaşımın dezavantajı ise her sürecin şartlarının farklı olmasıdır. Bir ekipman bir süreç için değiştirilebilir durumda iken diğer bir süreçte değiştirilmesi iş sağlığı ve güvenliği veya teknik risk düzeyi gibi birtakım etkenlerden dolayı değiştirilemez olabilir. Merkezi bir ekibin bütün tesislere hakim olması da zorlayıcı olacak bir diğer kısımdır.

Sıfır karbondioksit salınımı hedefi için iki tür sınıflandırmaya göre de yaklaşımda bulunmak gerekir. Bu tez çalışmasında, her iki yaklaşımı dikkate alarak nihai sıfır karbondioksit hedefine gitmeyi öneren uzun vadeli bir strateji geliştirilmesi hedeflenmiştir. Süreç odaklı sınıflandırmaya göre süreçlerde sadeleştirme sağlanabilecektir. Ekipman odaklı sınıflandırmada ise ekipmanlar ve makina sistemleri spesifik olarak incelenecek ve verimlilik artışı başarılabilecektir. Bu iki yaklaşıma göre çalışmaya geçmeden önce modelleme yapılan tesisteki süreç ihtiyaçları ve bu ihtiyaçlar için kullanılan makina, ekipman ve sistemler hakkında bilgi verilecektir.

5.2.1 Isıtma

Bazı üretim süreçlerinde faaliyetin yürütülmesi için ısı girişine ihtiyaç duyulur. Bu ihtiyaç bazen direkt olarak üretim hattında kullanılan ekipmanda karşılanırken bazen de merkezi bir ısıtıcıda elde edilen ısı, üretim hattındaki sisteme aktarılır. Bir boya kurutma fırını ısıtmanın direkt yerinde yapıldığı bir sisteme örnek olarak verilebilir. Buhar ve sıcak su kazanları ise ısının merkezi bir noktadan üretilip ihtiyaç duyulan noktalara gönderilmesine örnektir. Bir otomotiv üretim tesisinde süreçlerin ısıtılması için kullanılan başlıca ekipmanlar, diğer endüstriyel tesislerde de yaygın kullanılan ekipmanlardır.

5.2.1.1 Sıcak su, kızgın su ve buhar kazanları

Sıcak su kazanları, ısıtma suyunun sıvı fazda kalacağı seviyeye kadar ısıtma yapan kazanlardır. Basınçlı kızgın su kazanları ise suyun buharlaşma seviyelerinin üzerinde ısıtıldığı fakat basınçla sıvı fazda kalınan sistemlerdir. Sıcak su kazanlarında maksimum sıcaklık nispeten sınırlı olduğu için uzun mesafelere ısı iletilmesi hususunda kapasitelerin yeterliliği konusunda sorun yaşanabilir. Öte yandan dış ortam sıcaklığı ile aradaki sıcaklık farkının fazla olmadığı durumlarda iletim kayıplarının düşük olması sağlanabilir.

Buhar ile ısı taşınan sistemlerde ise buhar kazanları sayesinde daha yüksek derecelere kadar ısıtma yapılabilir. Örneğin, kazan çıkışındaki buhar sıcaklığının 200°C mertebesine ulaştığı durumda yüksek ısılı buhar, yüksek kapasitesi sayesinde ısıtılacak geniş bölgeler için işletme kolaylığı sağlayabilir. Ancak sıcak su kazanlarının aksine, hem kazan verimlilikleri daha düşük hem de iletim kayıpları daha yüksek olabilir.

Direkt fosil yakıt tüketimi yapan bu kazanlar sıfır karbondioksit salınımı hedefinde aşılması gereken başlıca engellerdendir. Orta vadeli planlarda kazanların verimliliği veya dönüşümleri hesaba katılırken, uzun vadeli planlarda mümkün olduğunca kazanların tamamen kaldırılması hedeflenmelidir. Bu çalışmada da kazanlarla yapılan ısıtma işlemleri için orta ve uzun vadeli stratejiler geliştirilecektir.

5.2.1.2 Fırınlar

Araç gövdesinin veya parçalarının boyama süreçlerinde yoğun kullanılan fırınlar, enerji tüketimi ve karbon salınımında önemli yere sahip sistemlerdir. Fırınlar, tüketim boyutlarının yüksek olmasının yanında, eski teknolojili olması durumunda ya da

verimli yanmanın kontrol edilmediği durumlarda daha da olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Araç şasi ve kaportasındaki astar ve boya kurutmalarında kullanılan fırınlar aynı zamanda tampon gibi plastik parçalara ait süreçlerde de kullanılırlar.

Fırınlar da tıpkı kazan örneğinde olduğu gibi çoğunlukla direkt fosil yakıt tüketen ve direkt karbon salınımına sebep olan süreçlerdendir. Uzun vadeli projelerde tamamen temiz enerji kaynaklarına dönüştürülmesi veya kullanımlarının minimize edilmesi hedeflenmelidir. Öte yandan kısa ve orta vadeli projelerde verimliliğin arttırılması üzerine çalışılabilir.

Örnek tesiste doğalgaz brülörlü fırınlar incelenmiştir. Bu fırınlarda verimli yanmanın sağlanması önemli unsurlardan biridir. Verimli yanma sayesinde doğalgaz ve oksijenin tam kullanımı sağlanarak atmosfere karbonmonoksit gibi tam yanmamış bileşiklerin salınımı azaltılmış olur. Tam yanmanın arttırılması ile daha az kaynak tüketilmesi ve mali tasarruflar da sağlanmış olacaktır. Bu durumun kontrolü için baca gazı ölçümleri önemli bir yere sahiptir. Verimli doğalgaz yanmasında baca gazındaki oksijen oranının %3'ün altında, karbonmonoksit oranının ise 100 ppm'in altında olması beklenir.

Özellikle uzun süredir kullanılmakta olan, nispeten eski teknolojili fırın sistemlerindeki başlıca problemlerden biri de yalıtım problemidir. İdeal şartlarda üretilen ısının sadece katma değerli faaliyet olan araç yüzeyindeki boyaya gitmesi hedeflenir. Bu yüzey dışında ısınan her nokta israf olarak değerlendirilmelidir. Özellikle fırın gövdesi üzerinden veya kapak gibi bölgelerden çevreye yayılan ısının tespiti ve ortadan kaldırılması sıfır karbondioksit mücadelesinin önemli parçalarındadır. Günümüzde bu amaç için temiz kaynaklardan elde edilen elektrikle çalışan, vakum izolasyonlu fırınlar ile soğutma ısısının geri kazanımı konularında gelişmeler yaşanmaktadır.

5.2.1.3 Rezistanslar

Genelde bazı sistemlerin parçası olarak kullanılan rezistanslar elektrik enerjisini direkt olarak ısı enerjisine çeviren ekipmanlardır. Günümüzdeki tesislerde elektrikle ısıtma işlemi doğalgaza göre daha maliyetli olduğu için rezistans kullanımı fazla yaygın değildir. Özellikle önemli enerji tüketicisi olan bir süreçte mali kriterler göz önüne alındığında doğalgaz kullanan ekipman tercihi daha yaygın olmaktadır. Öte yandan, bu çalışmanın odak yaklaşımı çevresel etki olduğu için, temiz kaynaklardan elde

edilmiş elektriği kullanan rezistanslar, özellikle küçük ihtiyaçlar için su ısıtma gibi ihtiyaçlarda tercih edilebilir.

5.2.2 Soğutma

Birçok süreç ve ekipmanda faydalı faaliyete dönüşemeyen kayıpların başında ısınma kayıpları gelir. Bu durumdaki istenmeyen ısı enerji boyutuyla ele alındığında kayıp olarak değerlendirilirken, malzeme boyutuyla ele alındığında arıza kaynağı olarak değerlendirilir. Ekipman verimliliğini arttırarak giren enerjinin faydalı faaliyete dönüşme oranının arttırılması, dolayısı ile ısı açığa çıkışının azaltılması önemli bir çalışma konusudur. Bu konu makine ve sistem üreticileri tarafından yürütülen teknolojik gelişmelerle de ilişki içindedir. Endüstriyel bir tesisteki odak noktalarından biri ise, teknolojik olarak engellenemeyen ısı açığa çıkışının soğutulması üzerinedir.

Özellikle sürekli üretim yapan, aralıksız çalışan sistemlerde açığa çıkan ısılar insan ve makina sağlığı açısından kısa sürede tehlikeli boyutlara ulaşabilir. Hem iş güvenliği açısından hem ekipman sağlığı açısından bu ısının ortamdan hızla uzaklaştırılması ve bunun için de sürekli bir soğutma yapılması gerekir. Punta kaynak makinaları bu duruma örnek olarak verilebilir. Kaynak noktalarında iki metalin birbirine kaynaklanması sırasında giren enerjinin bir kısmı kaynatılacak araç parçalarına aktarılırken önemli bir kısmı ekipman üzerinde ısı olarak kalır veya ortama salınır. Bu nedenle kaynak uçlarının ve ekipmanın bozulmaması için etkin bir soğutma sisteminin kurulması gerekir. Bu gibi ekipmanların bulunduğu süreçler için ayrı bir soğutma sistemi kurulur. Bu sistemler soğutma çevrim prensiplerine göre çalışan ana soğutuculardan ve soğukluğu ilgili ısı kaynaklarına taşıyan sirkülasyon gruplarından oluşur. Hem soğutmanın gerçekleşmesi hem de aktarılması enerji tüketimi yüksek süreçlerdir.

5.2.2.1 Soğutma grupları (chiller)

Chiller'lar kompresör, evaporatör, kondenser, fan, soğutma kulesi, pompa gibi bölüm ve ekipmanlarla birlikte çalışan sistemlerdir. Isının atıldığı ortama göre sınıflandırıldığında su soğutmalı ve hava soğutmalı olmak üzere iki çeşidi vardır. Termodinamik çevrim yasalarına göre kapalı sistem gaz çevrimleri yapan bu sistemde bir tarafta soğutma sağlanırken diğer tarafta ısınma geçekleşir. Dolayısı ile hem soğutma için hem de ısının sistemden uzaklaştırılması için iki farklı enerji tüketimi söz konusudur.

Sistemin soğuk tarafında kapalı çevrim su bulunur. Bu su sistemden soğuk olarak çıkar, gittiği noktada yaptığı ısı alışverişi neticesinde ısınarak chiller'a geri döner. Bazı durumlarda bu soğutma suyu bir kaynak robotunun elektroduna kadar ulaşırken bazı durumlarda hava eşanjörleri vasıtasıyla direkt ortam soğutmasında kullanılabilir.

5.2.2.2 Soğutma kuleleri

Soğutma kuleleri Chiller ve klima santrali gibi sistemlerin bir parçası olarak çalıştığı gibi, kompresör gibi ekipmanların soğutulmasında tek başına da kullanılabilir. Dış ortamın yeterince soğuk olduğu durumlarda soğutma kulesi, soğutma sisteminin diğer elemanlarına ihtiyaç duymadan tek başına da yeterli soğutmayı sağlayabilir. Soğutma kulesinin tek başına yeterli olabileceği durumlarda klima santrali ve chiller kullanımının minimize edilmesi operasyonel enerji tasarrufu önerilerinin başında gelir.

5.2.2.3 Motorlu fanlar

Fanlar hava aracılığıyla ısının iletildiği farklı noktalarda kullanılırlar. Soğutma kulelerinde dönen suyun soğutulması da, hava eşanjörlerindeki ısının bertaraf edilmesi için de fanlara ihtiyaç duyulabilir. Öte yandan dahili ortamlarda da sıcak veya soğuk havanın eşanjör veya radyatörlerden uzaklaştırılarak arzu edilen bölgeye ulaştırılmasında da fanlar kullanılır. Ortamdan atılması gereken havanın emilip bacaya verilmesi de yine fanların kullanıldığı yerlere örnek olarak gösterilebilir.

Fanların ihtiyaç duyulmadığı durumlarda kapatılması enerji tasarruf önlemlerinin başında gelir. Örneğin dış hava yeterince soğuksa bir soğutma kulesinde havalanan suyun ek bir fanla soğutulmasına gerek duyulmayabilir. Öte yandan motorların doğru boyutta seçilmesi ve sürücülü motorların kullanılması da fanların istenen işi yapması için yeterli olacak kadar enerji sarf etmesi konusunda önem taşır. Fanların gereksiz durumlarda çalışmamasının veya sürücü kontrolü ile yeterli oranlarda çalıştırılmasının sağlanması için otomasyon sistemlerinin kurulması önemlidir. Örneğin soğutma sistemlerindeki gidiş – dönüş sıcaklıklarının takibi veya soluma ortamlarındaki partikül oranlarının takibi ile fan çalışma kararları otomatik olarak verilirse işletmeyi yapan personelden bağımsız bir standart işleyiş gerçekleştirilmiş olur.

5.2.2.4 Pompalar

Otomotiv üretim tesislerindeki pompalar genelde soğutma sistemlerindeki su çevrimlerinde veya atık suların yönetildiği arıtma süreçlerinde kullanılırlar. Sürekli

sirkülasyon gerektiren sistemlerde kullanılan pompalar enerji tüketiminde büyük payı oluştururlar. Genelde santrifüj pompa kullanılan bu tip tesislerde debi kontrolünün vanalarla veya aç-kapa yöntemiyle yapılması yerine hız kontrolü metotlarıyla yapılması enerjinin verimli kullanılması için gereklidir.

Özellikle yüksek güçlü ve sürekli işletmede kalacak pompalarda güç ve debi ihtiyaçlarının doğru belirlenmesi, sürücülü pompaların kullanılması, pompaların çalışma eğrilerinin ve verimlerinin doğru ele alınması önemlidir. Pompa gücü ihtiyacının yüksek olduğu durumlarda yüksek verimlilik koşulu da ele alındığında tedarikçi sayısı azalmakta, fiyatlar ise artmaktadır. Pompaların hız sürücüleri ile kontrol edilmesi durumunda ise mekanik yıpranmalar artış gösterebilmektedir. Hem üretici azlığı, hem yüksek yatırım ve bakım maliyetlerinden ötürü pompa verimliliği karar vericiler için zor bir sürece dönüşebilmektedir.

5.2.3 Ortam koşullandırma

Ortam koşullandırma hem çalışan sağlığı hem de ürün kalitesi için yapılır. Operatörlerin çalışma ortamında insan vücudu için uygun olan bir havada çalışması gerekir. İncelenen tesiste çalışma ortamlarındaki konfor sıcaklıkları iş türüne göre değişiklik göstermektedir. Personelin hareket halinde olduğu, fiziksel efor sarf edilen iş bölgelerinde ısıtma ihtiyacı olan dönemlerde ortam sıcaklığının 18 - 20°C aralığına yükseltilmesi hedeflenmektedir. Soğutma ihtiyacı olan dönemlerde ise 24 - 28°C bandında ortam sıcaklığı sağlanmasına çalışılmaktadır. Hareketsiz veya az hareketli çalışılan ofis ortamlarında yakalanması hedeflenen değerler ise kış aylarında 26°C; yaz aylarında 24°C'dir.

Benzer şekilde ürünün sağlığı için de bu şartlar sağlanmalıdır. Örneğin bir aracın boyama süreçlerindeki ortamın belirli bir sıcaklık ve nem oranında tutulması mevsimlerden bağımsız olarak boya kalitesinin standart olması için gereklidir.

5.2.3.1 Klima santrali (HVAC) sistemleri

Ortam koşullandırması için yapılan temel ayarlar sıcaklık ve nemlilik üzerinedir. Bu nedenle HVAC sistemleri ile ısıtma, soğutma, nemlendirme ve kurutma işlemleri yapılır. HVAC sistemleri farklı rollerdeki elemanlardan oluşur. Isıtma için gaz yakıcı brülörler, soğutma için ise chiller kullanımı temel iki elemanı oluşturur. Sistem bununla beraber pompa, fan, soğutma kulesi gibi elemanları da barındırır. Endüstriyel

tesislerle berbaer, hastane, avm gibi büyük yapılarda da kullanılan bu sistemlerin verimliliği ve doğru kullanımı, büyük tüketimlere sebep oldukları için önemlidir. Klima santrallerinin çalıştırılmasında ortamlarda yeterli olacak doğru standartların belirlenmesi ve bu standartlara uygun tam otomasyonun sağlanması önemlidir.

5.2.3.2 Klimalar

Oda, ofis veya büyük salon gibi ortamlarda kullanılan bu klimalar çalışma prensiplerine göre split (ayrık) veya invertörlü (eviricili) olarak iki gruba ayrılırlar. Merkezi sistemlerle yapılan ısıtma veya soğutmalar genel olarak daha verimli olsa da, bunun uygulanamadığı yerlerde ana sistemlerden bağımsız klima kullanımları da mevcuttur. Merkezi sistemlerden bağımsız çalışması gereken ısıtma soğutma ihtiyaçları için klima alınması gereken durumlarda, koşullandırılacak ortamdaki ısınma veya soğutma ihtiyacının miktarına göre çalışma oranını kontrol edebilen invertörlü klimalar tercih edilebilmektedir. Bunun yanında verimlilik sınıfları da dikkat edilmesi gereken unsurlardan biridir. Kullanım aşamasında ise ortam koşullarının standardize edilmesi, cihazların aşırı kullanımlarının önüne geçilmesi gerekir. Tozlu dış ortamlarda ise klimaların dış ünitelerinin periyodik temizlenmesi verimlilik açısından önemlidir.

5.2.4 Hareket ve taşıma

Üretim halinde olan araç ve bu araçta kullanılması gereken malzemeler genel bir taşınma gereksinimi duyarlar. Bu malzemelerin taşınmasının yanında, vidalama gibi bazı temel montaj faaliyetleri de bir hareket enerjisine ihtiyaç duyar. İhtiyaç duyulan hareketlere örnek olarak araç taşıma bant ve konveyörlerinden, elektrikli veya pnömatik sıkma el aletlerinden bahsedilebilir.

5.2.4.1 Elektrikli makinalar

Elektriğin üretilmesi, dönüştürülmesi ve tüketilmesi için kullanılan elektrik makinaları jeneratörler, transformatörler ve motorlar olarak sınıflandırılır. Nispeten büyük güçlü sayılabilecek jeneratör ve transformatörler genelde tek başlarına ayrı bir eleman olarak bulunurken özellikle motorların pompa, fan, kompresör, konveyör, asansör gibi birçok sistemin parçaları olarak kullanımı yaygındır. Bu nedenle içinde motor barındıran ekipman alımlarında motor özelliklerinin ayrıca ele alınması gerekmektedir.

Transformatörlerin kayıp kaçak oranları ve jeneratör verimleri kullanım yerlerine göre büyük önem arz etse de otomotiv tesisinde bu ekipmanların verimliliğinin toplam enerji tüketimindeki iyileşmeye payı düşük sayılabilecek mertebede olacaktır. Özellikle jeneratör kullanımının az olduğu, transformatör verimlerinin de genelde yüksek olduğu varsayılabilir.

Öte yandan motor tüketimi önemli pay içeren ekipman alımlarında, ekipmanın ömür boyu maliyetinin hesaplanması, motor verimliliğinin göz önünde bulundurulması gerekir. Alınan motorların doğru seçimi, doğru oranda kullanımı ve uygun şekilde bakımlarının yapılması önemlidir. Motorun kendi veriminin yanında, beraberinde kullanıldığı konveyör, bant, asansör gibi mekanik sistemlerin de sürtünme gibi kayıplarının az olacağı şekilde tasarlanması ve uygun bakımların yapılması gerekir.

5.2.4.2 Basınçlı hava sistemleri, kompresör ve kurutucular

Kompresörler enerji tüketimine hem mekanik hem de elektrik yapıları ile etki ederler. Havanın sıkıştırılması için elektrik motor kısmı ile bu motora bağlı olan mekanik aksamın verimi enerji tüketimi ve karbondioksit salınımında önemli etkiye sahiptir. Öte yandan basınçlı havanın kullanılması fazla enerji dönüşümü gerektiren ve verimi düşük bir uygulamadır. Bu süreçte bir takım elektromekanik dönüşümlerden elde edilmiş olan elektrik kullanılırken, bu elektrik önce motorda mekanik enerjiye dönüşür. Hareket iletim aksamları ile kompresörün hava sıkıştırma aksamlarına (piston veya vida) enerji aktarılır. Buradaki kinetik enerji emilen havayı sıkıştırmak için kullanılır ve hatlardaki basınçlandırılmış havaya aktarılır. Ancak sadece bu sırada bile hem ekipmandaki ısınmalar hem hava sıkıştırmanın düşük verimli bir işlem olması önemli kayıplara sebep olur. Sürecin devamında, hatlardaki sızıntılar yine önemli kayıp noktaları olabilir. Kullanım noktasına ulaşan basınçlı hava, ilgili pnömatik sürecin veya el aletinin verimliliğine bağlı olarak yine hareket enerjisine dönüştürülür. Ekipmana giren basınçlı hava, enerjisinin bir kısmını ekipmana aktardıktan sonra yeniden havaya karışır.

5.2.4.3 Pnömatik ve elektrikli el aletleri

Pnömatik el aletlerinin üretim süreçlerinde kullanımları yaygındır. Hava ile çalışan ekipmanları elektriklilerden ayıran en önemli hususların başında ise güvenlik gelir. Örneğin çalışma gerilimi 220 V olan bir el aletinde yaşanacak bir sorun, gerekli koruma sistemleri bulunmadığında veya bu sistemler çalışmadığında aleti kullanan

personelde ciddi yaralanmalara ve hatta can kaybına sebep olabilir. Düşük gerilim veya hem düşük gerilim hem de doğru akımla çalışan ekipmanlar ise satın alma, işletme ve bakım maliyetleri konusunda önemli dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle günümüzde havalı ekipmanların kullanımı yaygındır. Öte yandan, hava kullanımı hem ekipman boyutunda hem de tüm basınçlı hava sistemi göz önünde bulundurulduğunda verimliliği düşük uygulamalardan oluşur. Bu nedenle iş güvenliği endişelerini bertaraf edecek özelliklerdeki elektrikli el aletleri ucuzladıkça tesislerin "havasızlaştırma" projeleri yürütülüp ekipman dönüşümleri sağlanabilir olacaktır.

5.2.5 Aydınlatma

Çalışma ortamları, yürütülen faaliyetin çeşidine göre belirli bir aydınlık düzeyinde olmalıdır. El işçiliği yapılan bölgeler, yürüme yolları veya ofis ortamları gibi bölgeler için şart koşulan aydınlık düzeyleri TS EN 12464-1 (2013) standardında tanımlanmıştır. Elektrik Mühendisleri Odası'nın ilgili mevzuatlarında tanımlanmıştır. Bu düzeyler hem iş sağlığı ve güvenliği için hem de yapılan işin kalitesi için sağlanmalıdır. Bir iş kazası veya kalite hatası yaşandığında yerinde yapılan incelemelerde ilk bakılan unsurlardan biri de aydınlık düzeyleridir. İstenen aydınlatma koşullarının sağlanması için direkt güneş ışığından da yararlanılabilir fakat güneşsiz zamanlarda da gerekli koşulun sağlanabileceği bir aydınlatma altyapısı olmalıdır.

Aydınlatma konusu, enerji verimliliği hakkında ilk akla gelen konulardan biridir. Fark etmesi ve anlaması kolay, uygulama için gereken teknik altyapı ihtiyacı nispeten daha azdır. Konunun teknik detayında ise aydınlatma teknolojilerinin güncel yeterliliği, uygulamaların ekonomik boyutu ve ürün çeşitliliği gibi konular söz konusudur.

5.2.5.1 Akkor flamanlı ve halojen lambalar

Akkor Flamanlı (enkandesan) lambalar, düşük güçlü lambalar arasında üretimi devam eden en eski teknolojili ve verimliliği en düşük olandır. Işıksal verimi 16 lm/W düzeyinde olan bu lambaların kullanımı hem endüstriyel tesislerde hem de diğer alanlarda git gide azalmaktadır. Sürekli aydınlatma ihtiyacı duyulan bölümlerde eski tip lambaların verimli lambalarla değiştirilmesi mali açıdan da uygun olacaktır.

Halojen lambalar ise akkor flamanlıya göre daha gelişmiş bir lamba türüdür. İki türde de aynı şekilde tungsten flaman bulunur fakat halojen lambada ampulün içinde halojen gazlar bulunur. Daha küçük yapıda, yüksek basınçlı ve daha güçlü cam tüpler içindeki

lambalar, farklı tasarımlara kolay uygulanabilirler. Bu tür lambalar da yine enerji verimliliği düşük sınıftadır ve ışıksal verimleri 25 lm/W düzeylerindedir.

5.2.5.2 Floresan ve kompakt floresan lambalar

Tüp veya kompakt tip olmak üzere 2 çeşittir. Yakın geçmişte özellikle düşük güçlü iç aydınlatma bölgelerinde akkor flamanlı ve halojen lambaların yerini almış teknolojidir. Genel olarak 90 lm/W ışıksal verim düzeylerindeki bu lambalar halen birçok alanda yaygın kullanım halindedir.

Yakın zamana kadar LED lambalarla değiştirilmeleri durumunda sağlayacağı tasarruf için uzun süreli geri ödeme süreleri ortaya çıkmaktaydı. LED teknolojisinin yeni olması, kendini kanıtlamış marka-modellerin bulunmaması ve uzun süreli ürün garantileri olmaması nedeniyle yakın zamana kadar floresanların LED'lerle değiştirilmeleri üzerine yeterince proje geliştirilememekteydi. Ancak LED'in ucuzlaması, teknolojisinin gelişmesi ve eski tip lambaların yerine direkt montaj yapılabilecek tasarımların gelişmesi sayesinde floresanlar için de kullanım yaygınlığının giderek azalacağı öngörülmektedir

5.2.5.3 Civa buharlı lambalar

Genelde orta ve büyük güçlü lambaların uygulama alanlarında kullanılırlar. Fabrika genel iç ve dış aydınlatmalardaki kullanımları yakın bir geçmişe kadar yaygındı fakat daha verimli çözümlerin geliştirilmesi ile tercih edilmeleri gitgide seyrekleşmektedirler. 60 lm/W düzeyindeki aydınlatma verimleri ile orta ve yüksek güçlü lambalar arasında günümüzdeki en düşük sınıftadırlar.

5.2.5.4 Metal halide lambalar

Genelde düşük ve orta güçlü lambalar olarak kullanılırlar. Bu alanlarda floresan lambalara yakın verimlilik düzeylerine sahiptirler. Genelde kapalı ortamlarda kullanılırlar. Fabrika gibi tesislerde kullanımları vardır fakat teknik açıdan hassas yapıları ve yüksek maliyetleri gerekçesi ile tercih edilmedikleri durumlar da olmuştur. Özellikle enerji kalitesinin düşük olduğu bölgelerde kullanım ömürleri önemli ölçüde düşer.

5.2.5.5 LED lambalar

Işık yayan diot (light emitting diode) anlamına gelen LED teknolojisi, günümüzdeki en gelişmiş aydınlatma teknolojilerindendir. 2010'lu yıllarda ticarileşmesi ivmelenmeye başlayan bu teknoloji, bugün geldiği haliyle çok geniş ihtiyaçlara verimli çözümler sunabilmektedir. Endüstriyel tip yüksek güçlü armatürlerde 140 lm/W değerleri aşılır hale gelmiştir. Hemen hemen her enerji etüdünde projelerin bir kısmını eski armatürlerin LED'lere dönüşümü oluşturmaktadır. Verimlilik arttırıcı projelere LED dönüşümleri eklenerek devlet teşviklerinden yararlanılmaktadır. Bu teşvikler alınmasa dahi kısa sürede yatırım geri dönüşü elde edilebilmektedir. Bu dönüşümlerin CO_2 salınımının düşürülmesine katkısı da azımsanmayacak boyutlardadır.

5.2.5.6 Diğer verimlilik arttırıcı uygulamalar

Bu konudaki önemli uygulamaların başında doğru zamanda doğru miktarda aydınlatma uygulamaları gelmektedir. Aydınlatma armatürlerindeki yeni teknolojilere dönüşüm başta verimsizlik israfını elimine etmeye yönelikken; kurulacak otomasyon sistemleri ile boşa çalışma, ihtiyaç fazlası veya dönüşüm israfları da önlenebilir. Armatürlerin loşlaştırıcı (dimmer / kıyıcı) ile sürülerek şartlara göre şiddetlerinin ihtiyaç kadar ayarlanması "ihtiyaç fazlası"nı, hareket algılayıcılar sayesinde sadece faaliyet olan bölgelerde çalışıp, faaliyetsiz bölgelerde kapanması "boşa çalışma"yı, direkt güneş ışığıyla aydınlatma sağlayan ışık tüpü (veya gün ışığı tüpü) teknolojisi ise enerji dönüşümleri içermeden direkt aydınlatma sağlayarak "dönüşüm" israfını ortadan kaldırabilir.

5.2.6 Elektronik

Bilgisayarlar, servis sağlayıcıları, monitörler elektronik eşyalara örnek olarak verilebilir. Direkt üretimde kullanılmayan elektronik eşyalar tüketim olarak küçük bir orana karşılık gelir. Öte yandan tıpkı aydınlatma gibi popülerliği yüksektir. Kullanım zamanları dışında ışıkların ve elektronik cihazların kapatılması ofislerde sürdürülen aktivitelerden biridir. Tüm işletmenin bu faaliyetlere katılımı için bu gibi aktiviteler faydalıdır fakat teknik personelin daha derine inen daha kompleks problemlere çözüm bulması beklenir.

5.2.7 Enerji tüketimi ve karbondioksit salınımı

Tesisteki enerji tüketimleri, türlerine, kullanım yerlerine ve kaynaklarına göre ne kadar detaylı tespit edilirse, hedefleri koymak ve bu hedeflere giden süreçleri yönetmek de o kadar kolay olacaktır. Bu nedenle öncelikle detaylı ve doğru ölçümlerin elde edilmesi gerekmektedir.

Bir üretim tesisinin genel olarak iki çeşit enerji girdisi vardır. Bunlardan birincisi kimyasal enerji (yanma) için gereken fosil yakıt girdisi, diğeri ise direkt veya endirekt kullanım için elektrik girdisidir. Düşük maliyeti, servis ve kullanım kolaylığı göz önünde bulundurulacak olursa günümüzde fosil yakıt olarak doğal gaz kullanımı yaygındır. Modellenen tesiste de elektrik ve doğal gaz olmak üzere iki çeşit enerji kaynağı kullanılmaktadır. Bu iki farklı tüketim, enerji tedarikçileri (elektrik veya doğalgaz dağıtım şirketleri vb.) tarafından tesis bütünü için ölçülmektedir. Öte yandan, büyük endüstriyel tesislerin tüketimlerinde ölçüm hataları kurumları ciddi zarara uğratabilir. Bu nedenle işletmeler, tedarikçinin ölçümlerine ek olarak kendi sistemlerini kurup doğrulama yapmayı tercih edebilirler. Buna ek olarak tesisin iç tüketim dağılımlarının tespit edilmesi için bu ölçüm noktalarının yaygınlaştırılması gerekir.

5.2.7.1 Elektrik tüketimi ve ölçülmesi

Bir tesisteki soğutma ihtiyacı, ortam şartlandırması ve proseslerdeki ekipmanların soğutulması olmak üzere iki farklı amaca hizmet etmektedir. Soğutma ihtiyacı genel olarak direkt elektrik enerjisi kullanımı ile sağlanır. Hava veya suyun bir tahrik sistemi olmaksızın soğutmada kullanıldığı durumlar da vardır.

Isıtma için elektrik kullanımı, yüksek maliyeti nedeniyle yaygın değildir. Fakat elektrik rezistansı içeren bazı proseslerde ısıtma için elektrik kullanımı gerçekleşebilir. Öte yandan gelişen teknolojilerle birlikte ısı depolarından ısı enerjisinin aktarılması veya ısı pompaları da gelecekte ısıtmada elektrik kullanımının payını arttıracaktır. Mevcut durumda ortam şartlandırması veya operatörün uygun sıcaklığının sağlanması için kullanılan infrared ısıtıcı gibi elektrikli ekipmanlar, ısınma ihtiyacında doğal gaz tüketiminin yanında ihmal edilecek düzeyde kalır.

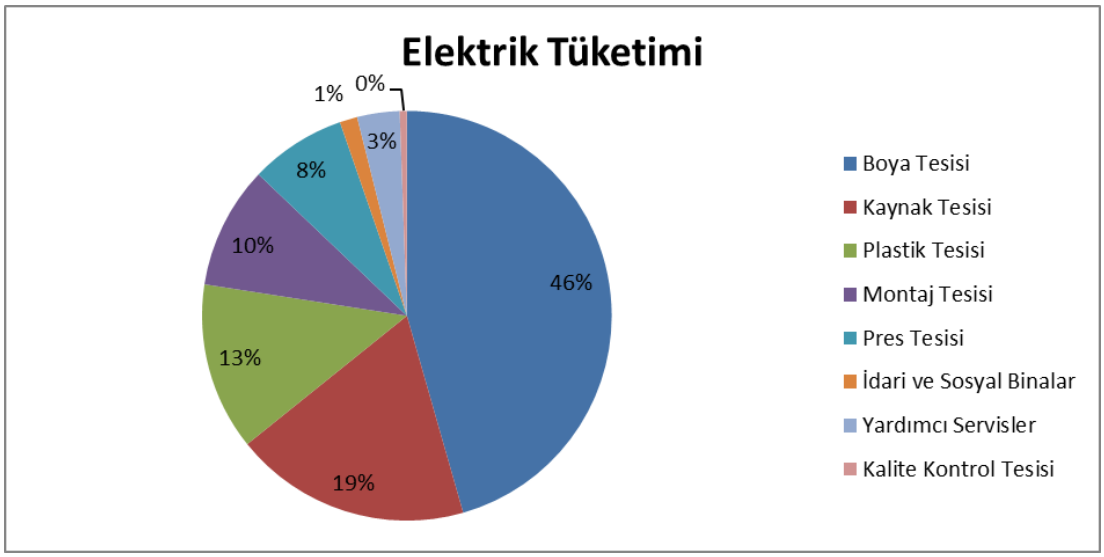
Genelde orta gerilim veya yüksek gerilim aboneleri olan işletmeler, dağıtım şirketinin ölçüm aldığı sayaçları yedek sayaçlarla kontrol ederler. Ayrıca, dağıtım panolarında enerji analizörü yaygınlaştırılması ile iç tüketim dağılımı elde edilir.

5.2.7.2 Doğalgaz tüketimi ve ölçülmesi

Bir tesiste ısıtma ihtiyacı, ortam şartlandırması ve proses kullanımı olmak üzere iki temel gereksinim içindir. Her bir şart için standart sıcaklıklara ulaşmak gerekir. Mevsimsel şartlar, faaliyetlerde ve çalışma ortamında standart sıcaklıkların yakalanması için ne kadar enerji sarf edileceğini etkiler. Faaliyet miktarı ise mevsimsel etkiden arındırıldığında birim etkinlik başına ne kadar enerji sarf edileceğini belirler. Tıpkı elektrikte olduğu gibi bu kullanım da iç tesislerdeki kırılımlarına kadar ayrıntılı şekilde ölçülmelidir. Özellikle önemli enerji kullanıcısı kabul edilen ekipman veya süreçlerin önüne mutlaka doğalgaz sayaçları takılmalıdır.

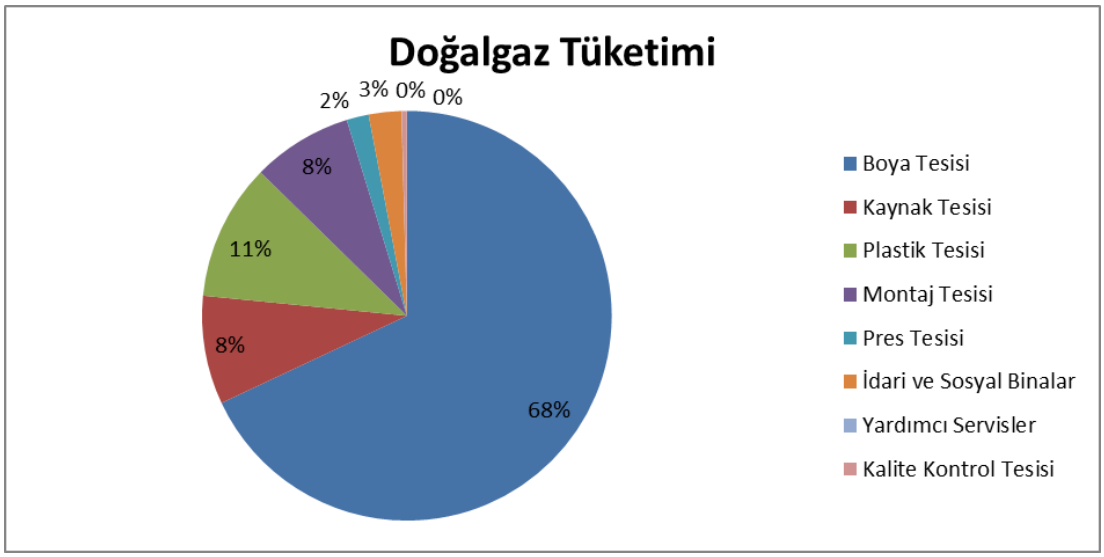
5.2.7.3 Tesisteki enerji tüketim payları

İncelenen tesisteki ekipman ve süreçlerin 1 yıllık döneme ilişkin enerji tüketim payları pres, kaynak, boya, plastik, montaj tesisleri ve endirekt tesisler için EK-A'da verilmiştir. Tüketim verileri incelendiğinde enerji tüketim paylarının elektrik için dağılımı Şekil 5.7'de verilmiştir.



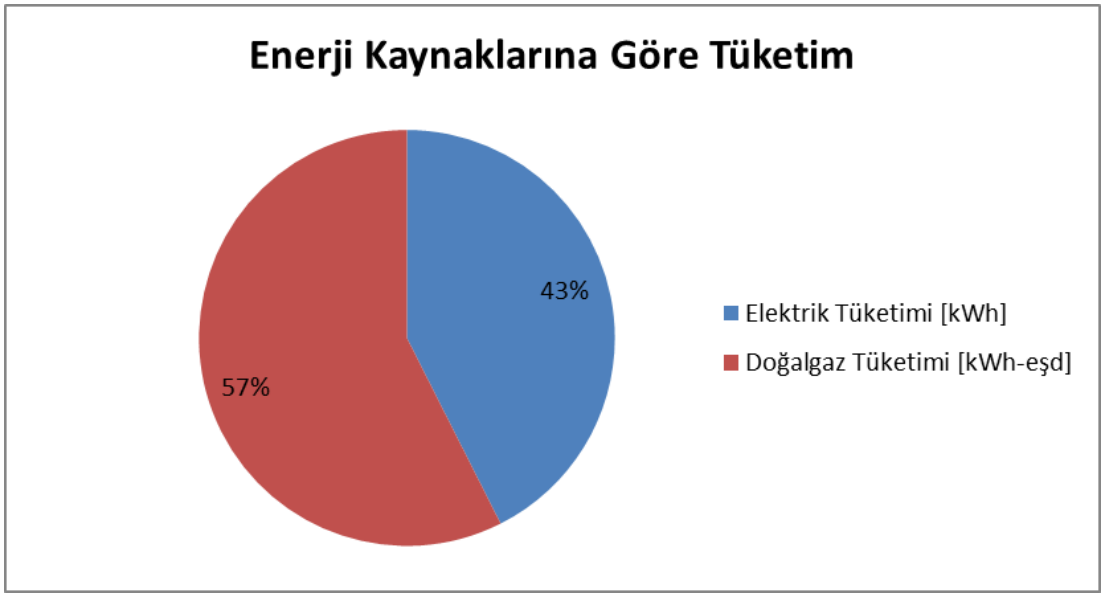
Şekil 5.7 : Tesisteki elektrik tüketim dağılımı.

Toplam enerji tüketiminde ilk sırada olan boya tesisinin elektrik tüketiminde de önemli bir paya sahip olduğu görülmektedir. Bu tesisi sırasıyla kaynak, plastik, montaj ve pres tesisleri takip etmektedir. Geri kalan tüketim ise %4'e karşılık gelmektedir. Doğalgaz tüketiminin dağılımı ise Şekil 5.8'de verilmiştir.



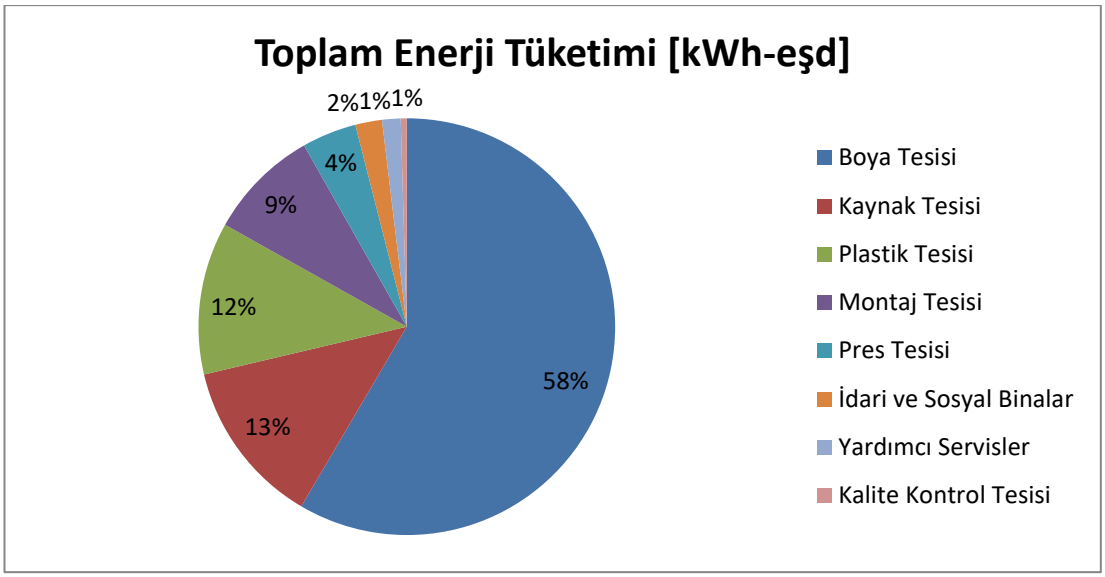
Şekil 5.8 : Tesisteki doğalgaz tüketim dağılımı.

Doğalgaz tüketimi incelendiğinde ise fırın ve kaplama havuzlarının bulunduğu boya tesisinin baskın olduğu görülmektedir. Diğer tesislerdeki doğalgaz tüketimi, üretim süreçlerinden çok ortam ısıtması ile ilgilidir. Tesisteki enerji türlerine göre tüketim ise Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 : Enerji kaynaklarına göre enerji tüketimi.

Doğal gaz tüketiminin daha yüksek olmasından hareketle tesiste ısıtma ihtiyacının da soğutmaya göre daha ağırlıklı olduğu sonucuna varılabilir. Elektrik ve doğalgaz tüketimlerinin toplandığı toplam tüketim ise Şekil 5.10'da verilmiştir.

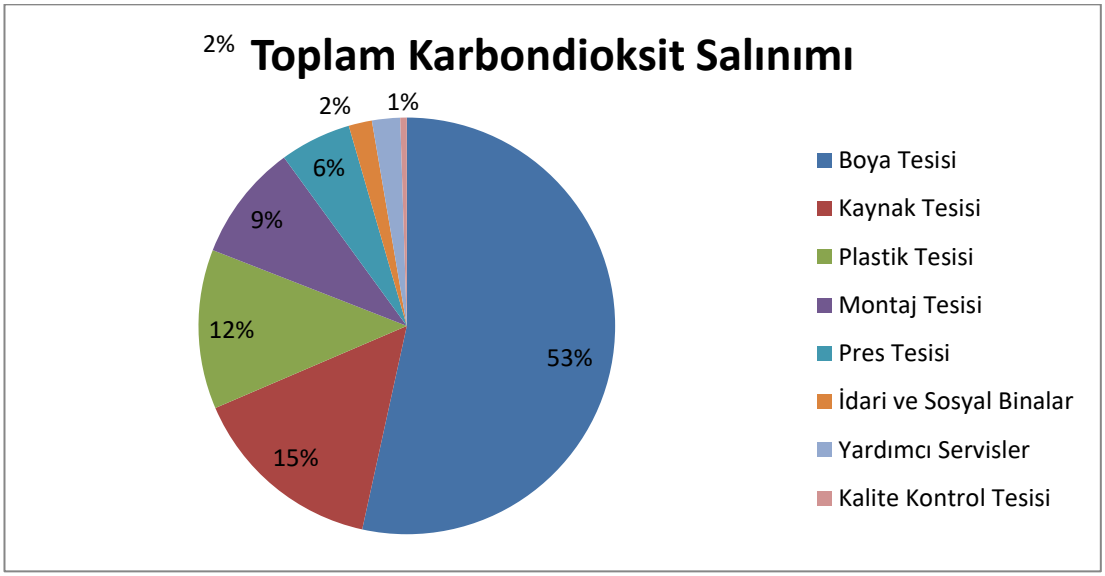


Şekil 5.10 : Tesisteki toplam enerji tüketimi dağılımı.

Toplam kWh eşdeğerleri üzerinden yapılan analizde ise boya tesisi yine ilk sırayı almaktadır. Boya tesisini sırası ile kaynak, plastik, montaj ve pres tesisleri ile endirekt tüketiciler takip etmektedir.

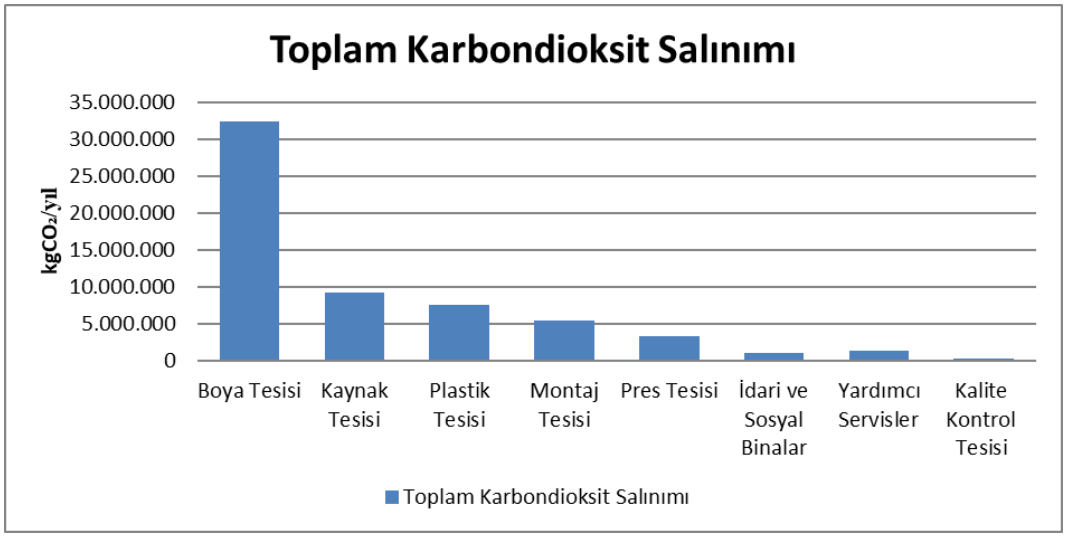
5.2.7.4 Tesisteki karbondioksit salınımı

Tüketimin enerji türlerine göre karbondioksit salınım eşdeğerleri göz önünde bulundurulduğunda ise tesislerin emisyon payları Şekil 5.11'deki gibi ortaya çıkmaktadır. Yürütülecek tez çalışmasında bu salınım değerleri performans göstergesi olarak takip edilecektir.



Şekil 5.11 : Tesisteki toplam karbondioksit salınım dağılımı.

Kullanılan elektrik ve doğalgazın etki dereceleri farklı olduğu için CO_2 salınım dağılımı toplam enerji kullanımından farklı çıkmıştır. Oranlar farklı olsa da burada da yine boya tesisinin büyük payı aldığı görülmektedir. Her bir tesis için CO_2 salınım değerleri ise mevcut durumda Şekil 5.12'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.12 : Tesisteki toplam karbondioksit salınım miktarları.

Bu durum göz önünde bulundurularak her tesisin kendi iç hedefleri süreç boyunca takip edilecektir. İç tesislerdeki yönetim birimleri ile merkezi enerji ve çevre yönetim biriminin burada koordinasyon halinde faaliyet yürütmesi ve uzun vadeli hedeflere uyum göstermesi gerekecektir. Hem üretim süreçlerindeki hem de enerji sistemlerindeki israfların ortadan kaldırılması ile yenilenebilir kaynak entegrasyonunun etkileri tesislerce takip edilmeli, APG'lere yansıtılmalıdır. Örneğin mevcut durumda boya tesisinin çalışmaya konu olan araç başına karbondioksit salınım APG'si 165 kg CO_2/araç'tır.

5.3 Tesisin Enerji Karakterinin Saptanması ve Tahminlerin Yapılması

Çalışma yapılacak sistemle ilgili verilerin yeterli, detaylı ve doğru olması, analiz sonuçlarının da doğru olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle halihazırda yeterli miktarda, detayda ve doğrulukta veri bulunmayan kuruluşlarda öncelikle ölçüm sistemlerinin kurulup geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu sistemler yenilendikten sonra bir yıllık veri toplanması bile birçok analizin yapılması olanağını sunacaktır. Öte yandan ölçüm sistemlerinin kurulması, yaygınlaştırılması, uygun zamanlarda kalibrasyon veya doğrulamalarının yaptırılması çok ciddi ve zorlu bir iştir. Örneğin bir doğalgaz

sistemine sayaç eklemek uzun sayılabilecek sürelerde faaliyet duruşu gerektireceği gibi hem teknik hem de iş güvenliği gibi konularda hassas ve uzmanlık isteyen bir iştir.

Çalışmanın bu bölümünde, toplanmış olan 1 yıllık veriler üzerinden yapılacak olan analiz tarif edilecektir. Burada gösterilecek metot sayesinde aynı analiz daha farklı yıllardaki verilere de uygulanabilecektir. Böylece yıllar arasındaki tüketim karakterinin değişimleri de gözlemlenmiş olacaktır.

5.3.1 Tesisteki enerji tüketim karakteri

Bir tesisin enerji tüketimi sayılamayacak kadar çok parametreden etkilenir. Çalışanların davranışları, karşılaşılan arıza sayısı, dış hizmet alımları gibi birçok değişken enerji tüketimi üzerinde minör veya majör etkiye sahiptir. Bir tesisin enerji tüketim karakterini ifade etmek için temel etkenlerin tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada regresyon analizi kullanılarak karbondioksit salınımına etki eden parametrelerin etki derecelerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Yukarıda bahsedilen temel etkenlerin belirlenmesi için farklı değişkenlerle denemeler yapılabilir. Örneğin bir tesisin enerji tüketimi ile yağan yağmur miktarı, satılan dondurma sayısı veya döviz kurları arasındaki ilişki ölçülebilir. Bu konuda önemli olan, direkt etkiyi yapan ana parametrelerin tespit edilmesidir. Ana etki parametreleri bilinmeyen sistemler için bu analiz farklı periyotlar için tek tek yapılmalıdır. Devamında bu periyotlardaki sonuçlar kıyaslanmalı, parametre değişimlerinin mantıksal gerekçelerinin olup olmadığı sorgulanmalıdır. Bu mantıksal gerekçeler, iki farklı dönem arasında değişen tesis yapısı, üretim disiplini veya kurulan yeni sistemler olabilir. Yapılabilecek bir diğer doğrulama ise, bir periyot için elde edilen katsayıların, bir sonraki periyottaki değerlere uygulanarak test edilmesi olabilir. Yine burada da ortaya çıkan farkların yorumlanması gerekir.

Bu çalışmada incelenen tesis için enerji tüketimini etkileyen temel etkenler faaliyet ölçeği (üretim hacmi) ve mevsimselliktir (iklimsel koşullar). Bahsedilen iki değişkenden anlaşılacağı üzere tesisin enerji tüketimini belirleyen parametrelerden biri tesisin direkt faaliyeti ile ilişkiliyken, diğer etken tesisin kontrolü dışında olan bir değişkene bağlıdır. Ayrıca iki değişkene ek olarak, tesislerin bir de bazal (sabit) tüketimi bulunur. Sonuçların anlamlı olduğu inceleme periyodu ise bir yıldır. Bu gibi üretim faaliyetlerinin yürütüldüğü diğer endüstriyel tesislerdeki enerji etütlerinde de bu iki değişken üzerinden yıllık enerji karakterlerinin çıkarılması yaygındır.

Regresyon hesapları ile formüller türetilirken, tesisteki ısıtma ihtiyacının salt çoğunlukla kimyasal enerji (fosil yakıt yakma) ile karşılandığı; soğutma ihtiyacının ise salt çoğunluğunun elektrik enerjisinden sağlandığı göz önünde bulundurulmuştur. Tesis verilerinde de görüleceği üzere; dış ortam soğudukça elektrik tüketimi düşer, doğal gaz tüketimi artar; hava ısındığında ise bu durumun tersi meydana gelir. Sıcaklığın yüksek ve düşük olduğu durum birbirinden farklı tüketim karakterine etki ettiği için; elektrik ve doğalgaz tüketim karakterinin belirlenmesinde de birbirinden farklı değişkenlerle farklı formüller türetilmelidir.

Dış ortamın, tüketim üzerine etkisini ölçmek için ortam sıcaklığının doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Böylece mevsim normallerinden farklı seyreden dönemlerde kurumun enerji performansı ile mevsim etkisi ayrıştırılabilir hale gelir. Isıtma ve soğutma ihtiyacı için iklim şiddetinin ölçümünde "ısıtma derece gün" (heating degree day, HDD) ve "soğutma derece gün" (cooling degree day, CDD) sayıları kullanılır. İklim şiddetinin hesaplanması için farklı ülkelerde farklı metotlar kullanılsa da, ortak bir kullanım oluşturulması adına Avrupa Birliği İstatistik Ofisi (Eurostat) tarafından önerilen Denklem 5.1 ve 5.2 yaygın olarak kullanılmaktadır [52]. Türkiye'de de Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kullanılan bu değerler için, kurumun web sitesinden HDD ve CDD sayılarına ulaşılabilir. Bu çalışmada da bu denklemlerle hesaplanmış olan değerler kullanılmıştır.

$$HDD(T_h) = \sum_{i}^{N} (T_h - T_0) \quad \{sadece\ T_h > T_0\ olan\ günler\ için\} \tag{5.1}$$

$$CDD(T_h) = \sum_{i}^{M} (T_0 - T_c) \quad \{sadece\ T_0 > T_C\ olan\ günler\ için\} \tag{5.2}$$

Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency, EEA) ısıtma ihtiyacının 15.5°C ve altında gerekli olduğunu, soğutma ihtiyacının ise 22°C ve üzerinde gerekli olduğunu kabul etmiştir. Dolayısı ile Denklem 5.1 ve 5.2'de verilen T_h=15.5°C, T_c=22°C eşik değerlerini alır. T_0 ise incelenen günün ortalama sıcaklığıdır. Isıtma derece gün sayısı hesaplanırken ısıtma ihtiyacı olmayan günler; soğutma derece gün sayısı hesaplanırken soğutma ihtiyacı olmayan günler toplama dahil edilmez.

Çıkarılacak enerji karakterinde mevsimsel etki HDD ve CDD sayıları ile veri haline getirilecektir. Faaliyet ölçeği ise üretilen araç sayısını göstermektedir. Bu değer de

üretim hacmi (ÜH) verisi olarak hesaplamaya dahil edilecektir. Mevsimsellik ve faaliyetten bağımsız olan sabit (bazal) tüketim de hesaba katıldığında elektrik tüketimi (E_{elk}) ve doğalgaz tüketimi (E_{dg}) için enerji tüketim karakteri Denklem 5.3 ve Denklem 5.4 ile ifade edilir.

$$E_{elk} = k_{elk-bazal} + \text{Ü}Hxk_{elk-\text{ü}retim} + CDDxk_{elk-so\breve{g}utma} \quad (5.3)$$

$$E_{dg} = k_{dg-bazal} + \text{Ü}Hxk_{dg-\text{ü}retim} + HDDxk_{dg-ısıtma} \quad (5.4)$$

Buradan da anlaşılacağı üzere hem elektrik hem de doğalgaz tüketim karakterinde 3'er tane katsayı hesaplanacaktır. $k_{elk\text{-}bazal}$ ve $k_{dg\text{-}bazal}$ katsayıları faaliyetten ve mevsimden bağımsız sabit tüketimlerin; $k_{elk\text{-}üretim}$ ve $k_{dg\text{-}üretim}$ birim araç başına tüketilecek enerjinin, $k_{elk\text{-}soğutma}$ ve $k_{dg\text{-}ısıtma}$ ise mevsimsel koşullara göre enerji tüketiminin katsayılarını oluşturacaktır. Bu katsayıların her dönemde periyorik olarak tekrar tekrar hesaplanması ile enerji performansındaki değişiklikler takip edilebilir hale gelecektir.

Bu katsayıların belirlenmesi bir işletmenin mevcut durumunun ortaya çıkarılması için kritik önem taşır. Üretim hacmi ve iklim şartları enerji ve çevre yönetiminde kontrol dışı unsurlar olarak kabul edilebilir. Fakat bazı ender durumlarda enerji veya çevresel çıktılar dikkate alınarak üretim hacminin ayarlanması da söz konusu olabilir. Çin'de havadaki karbondioksit miktarının belirlenen limitleri aştığı dönemlerde veya enerji tedarikinde kıtlık yaşanan dönemlerde üretimin yavaşlatılması bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Bu değişkenlerin kontrol dışı kabul edilip edilmemesinden bağımsız olarak yapılması gereken şey değişkenlerin etki derecelerinin düşürülmesidir. İhtiyaç dışı enerji tüketiminin yönetimindeki iyileştirmeler sabit (bazal) tüketimin; üretim proseslerindeki yalınlaştırma ve teknoloji iyileştirmeleri faaliyete bağlı (ÜH) katsayıların; yalıtım, ısıtma ve soğutma sistemlerindeki iyileştirmeler ise mevsimselliğe bağlı (CDD & HDD) katsayıların iyileştirilmesini sağlar.

5.3.2 Regresyon analizi ile enerji tüketim katsayılarının tespit edilmesi

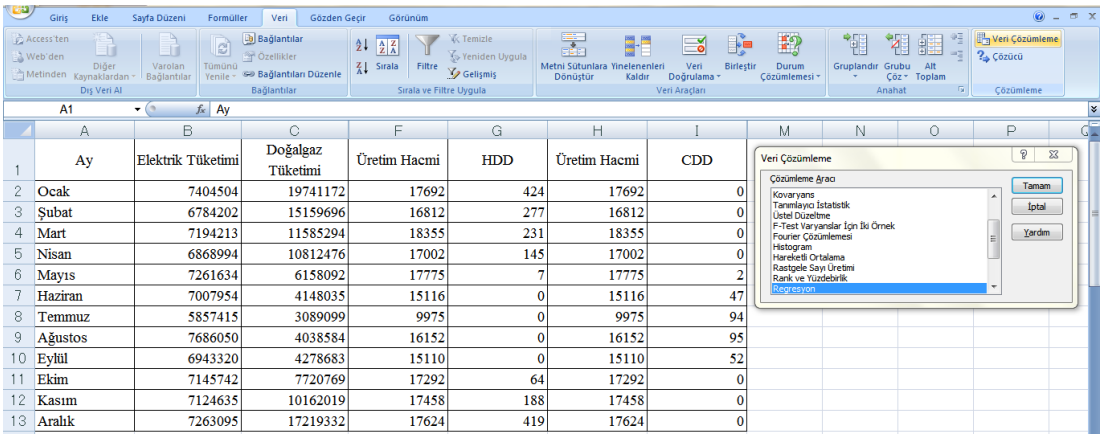
HDD ve CDD sayıları hava sıcaklığı verileri kuruluş bünyesinde kurulacak sistemlerle kaydedilerek elde edilebilir. Öte yandan, meteorolojik ölçümler yapan kurumlar da bu verileri paylaşmaktadır. İncelenen tesis için Çizelge 5.1'de verilen değerler kullanılmıştır. Bu çizelgedeki HDD ve CDD değerleri meteorolojik ölçümlerden yola çıkılarak hesaplanan değerleri göstermektedir.

Çizelge 5.1 : İki değişkenli regresyon analizi verileri.

Ay	Elektrik Tüketimi [kWh]	Doğalgaz Tüketimi [kWh]	Üretim Hacmi [adet]	HDD	CDD
Ocak	7.404.504	19.741.172	17.692	424	0
Şubat	6.784.202	15.159.696	16.812	277	0
Mart	7.194.213	11.585.294	18.355	231	0
Nisan	6.868.994	10.812.476	17.002	145	0
Mayıs	7.261.634	6.158.092	17.775	7	2
Haziran	7.007.954	4.148.035	15.116	0	47
Temmuz	5.857.415	3.089.099	9.975	0	94
Ağustos	7.686.050	4.038.584	16.152	0	95
Eylül	6.943.320	4.278.683	15.110	0	52
Ekim	7.145.742	7.720.769	17.292	64	0
Kasım	7.124.635	10.162.019	17.458	188	0
Aralık	7.263.095	17.219.332	17.624	419	0

Excel data analiz eklentisinden regresyon analizi Şekil 5.13'te gösterildiği gibi seçilir. "Regresyon analizi" seçeneği işaretlenip "tamam" butonuna tıklandıktan sonra çıkan ekranın girdi kısmına değişkenler, çıktı kısmına ise ilişkisi ölçülecek olan parametreler girilir.

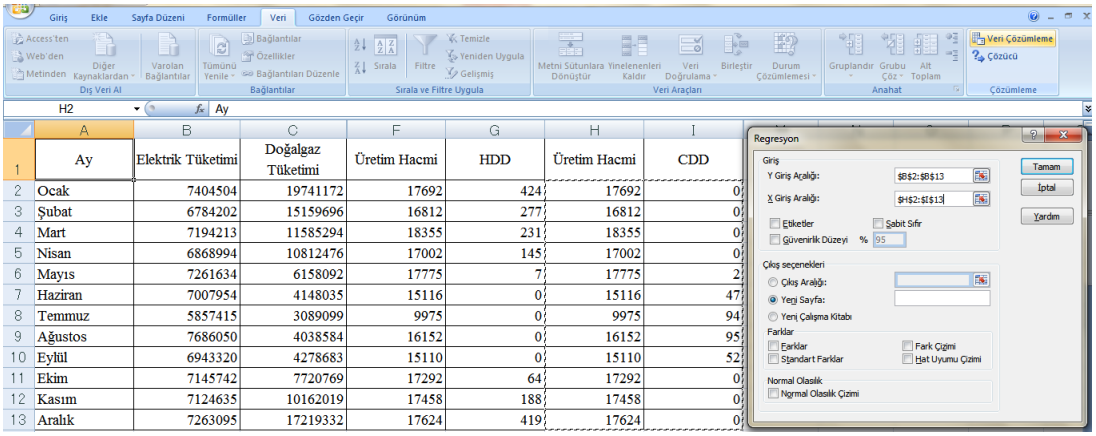
Bu işlemlerin yapılabilmesi için data analiz eklentisinin yüklü olması gerekmektedir. Eklenti yüklü değilse uygulama sağlayıcısının web adresindeki yüklemelerden yararlanılabilir.



	A	B	C	F	G	H	I
1	Ay	Elektrik Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi	Üretim Hacmi	HDD	Üretim Hacmi	CDD
2	Ocak	7404504	19741172	17692	424	17692	0
3	Şubat	6784202	15159696	16812	277	16812	0
4	Mart	7194213	11585294	18355	231	18355	0
5	Nisan	6868994	10812476	17002	145	17002	0
6	Mayıs	7261634	6158092	17775	7	17775	2
7	Haziran	7007954	4148035	15116	0	15116	47
8	Temmuz	5857415	3089099	9975	0	9975	94
9	Ağustos	7686050	4038584	16152	0	16152	95
10	Eylül	6943320	4278683	15110	0	15110	52
11	Ekim	7145742	7720769	17292	64	17292	0
12	Kasım	7124635	10162019	17458	188	17458	0
13	Aralık	7263095	17219332	17624	419	17624	0

Şekil 5.13 : Excel data analiz eklentisinden regresyon analizi seçimi.

Ölçümlerin alındığı bir dönemde, üretim hacmi, CDD ve HDD ile elektrik ve doğal gaz tüketimleri arasındaki ilişkinin bulunması isteniyorsa, girdi ve çıktı kombinasyonları Şekil 5.14'te gösterildiği üzere tek tek denenir.



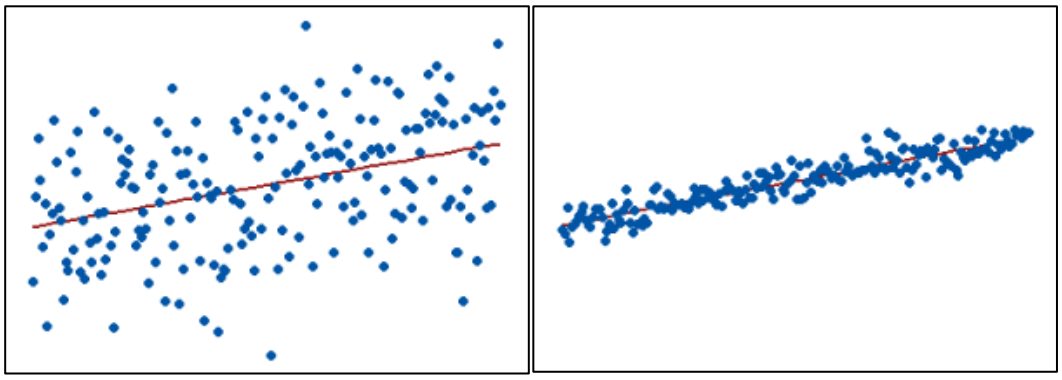
	A	B	C	F	G	H	I
1	Ay	Elektrik Tüketimi	Doğalgaz Tüketimi	Üretim Hacmi	HDD	Üretim Hacmi	CDD
2	Ocak	7404504	19741172	17692	424	17692	0
3	Şubat	6784202	15159696	16812	277	16812	0
4	Mart	7194213	11585294	18355	231	18355	0
5	Nisan	6868994	10812476	17002	145	17002	0
6	Mayıs	7261634	6158092	17775	7	17775	2
7	Haziran	7007954	4148035	15116	0	15116	47
8	Temmuz	5857415	3089099	9975	0	9975	94
9	Ağustos	7686050	4038584	16152	0	16152	95
10	Eylül	6943320	4278683	15110	0	15110	52
11	Ekim	7145742	7720769	17292	64	17292	0
12	Kasım	7124635	10162019	17458	188	17458	0
13	Aralık	7263095	17219332	17624	419	17624	0

Şekil 5.14 : Regresyon analizinde girdi ve çıktıların seçilmesi.

Regresyon analiz çıktıları EK B'de verilmiştir. Girdilerin ÜH ve HDD, çıktının doğal gaz tüketimi olduğu analiz, tesisin doğalgaz tüketim katsayılarını verir. Girdilerin ÜH ve CDD, çıktının elektrik tüketimi olması halinde ise tesisin elektrik tüketim karakteri tespit edilmiş olur. Eğer girdiler arasında HDD seçilip, çıktı elektrik seçilirse veya girdilerden biri CDD iken çıktı doğal gaz seçilirse analiz sonucunda katsayılar anlamsız çıkacaktır. Bu anlamsızlık, bazı katsayıların negatif çıkması şeklinde de gerçekleşebilir. Tesisin doğalgaz tüketim karakterinin tespiti için ise 3 değişkenli analiz yine EK B'de verilmiştir.

5.3.3 Regresyon sonuçlarının yorumlanması

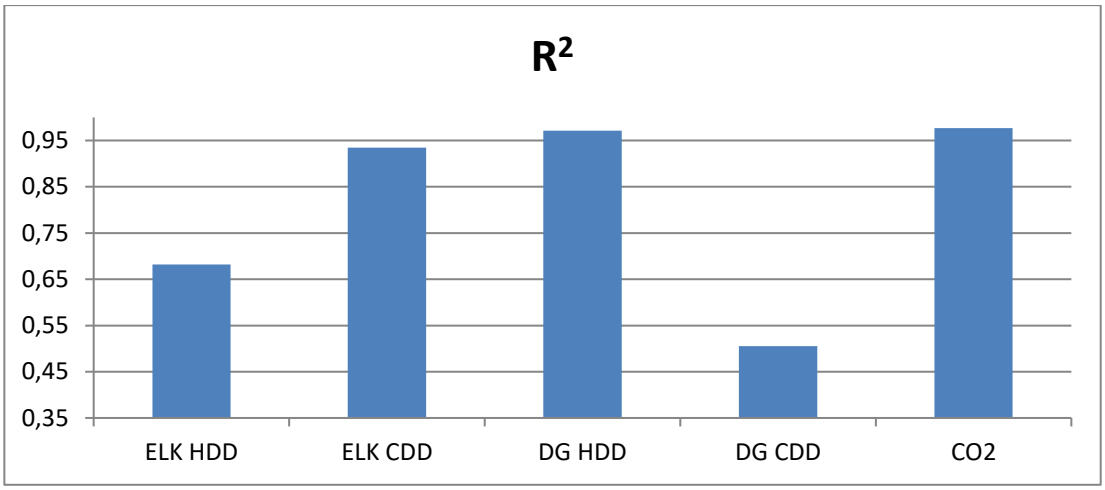
Regresyon analizi, elde edilmiş olan datalara en yakın grafiği çizebilecek denklemin tespit edilmesi analizidir. Bu durum birinci dereceden bir denklem için Şekil 5.15'teki gibi gösterilebilir. Her veri grubu için böyle bir doğru üretilmesi mümkündür. Öte yandan önemli olan bir unsur ise bu doğrunun data grubunu ne kadar ifade ettiğidir. Eğer datalar birbirinden alakasız noktalarda ise ve aralarında yakın bir ilişki bulunmuyorsa, bu datalara yakın çizilecek bir doğrunun denklemi hem gelecek tahmininde hem de belirli bir anda datalara uzak sonuçlar verecektir. Bu konuda yapılabilecek önemli testlerden biri R^2 (R-kare) analizidir. R^2 analizi her bir datanın, türetilen denkleme uzaklığını test eder.



Şekil 5.15 : Regresyon analizi & R^2 testi [53].

Eğer çizilen eğri veya doğru tüm noktalardan geçiyorsa R^2 testinin sonucu 1 olur. Test sonucu 1'e ne kadar yakınsa üretilmiş olan denklem gerçeklere o kadar yakın olacaktır. Eğer sonuç 1'den uzaklaşıyorsa bu data grubu için ortak bir denklem üretmek anlamlı olmayabilir ve doğru parametreler üzerinde çalışılıp çalışılmadığı konusunu incelemek gerekir. Yine birinci dereceden denklem için durum örneklenecek olursa Şekil 5.15'te soldaki grafiğin R^2 test sonucu çok düşük çıkacakken, sağdakinin 1'e yakın olması beklenir.

Birden fazla bağımsız değişkenle yapılan analizlerde formüldeki pay kısmı giderek yükseldiği için R^2 testi sonuçları giderek 1'e yaklaşır. Bu durumun yanıltıcılığının ortadan kaldırılması için çok değişkenli regresyon analizlerinde ayarlanmış R^2 testi kullanılır. Bu çalışmada yapılan analizler için R^2 test sonuçları Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16 : R^2 test sonuçlarının kıyaslanması.

Elektrik tüketimi ile faaliyet ölçeği ve ısıtma ihtiyacının etkileşimi incelendiği analizde R^2 testinden de görüleceği üzere sapmalar yüksek çıkmış, ortaya çıkan denklemin gerçekleri yansıtmaktan uzak olduğu belirlenmiştir. Öte yandan denklem katsayılarına bakıldığında ısıtma ihtiyacının tüketime katkısının negatif olduğu sonucu çıkmaktadır. Hava sıcaklığı azaldıkça elektrik tüketiminin de azalması arasında bir korelasyon olması elektrik tüketiminin bundan direkt etkilendiğini göstermemektedir. Buradan çıkarılacak sonuç ise ısıtma ihtiyacı ile elektrik tüketiminin direkt etkileşiminin incelemeye değer olmadığıdır.

Elektrik tüketiminin faaliyet ölçeği ve soğutma ihtiyacı ile etkileşimi incelendiği durumda ise R^2 testinin sonucu 0,935 olmuştur. Dolayısı ile tesisin elektrik enerjisi tüketim karakteri Denklem 5.5'teki gibi ifade edilebilir:

$$E_{elk} = 1960084 + 296 * ÜH + 10263 * CDD \quad (5.5)$$

Doğalgaz tüketimi ile soğutma ihtiyacı arasındaki ilişkinin incelendiği regresyon analizinde de düşük R^2 ve negatif etki katsayısı bulunmaktadır. Doğalgaz tüketimi ve ısıtma ihtiyacı arasındaki ilişkinin incelendiği verilerde ise R^2 testi 0,971 sonucunu vermiştir. Dolayısı ile doğalgaza bağımlı kimyasal enerji tüketimi için Denklem 5.6 elde edilmiştir.

$$E_{dg} = 344531 + 275 * ÜH + 31891 * HDD \quad (5.6)$$

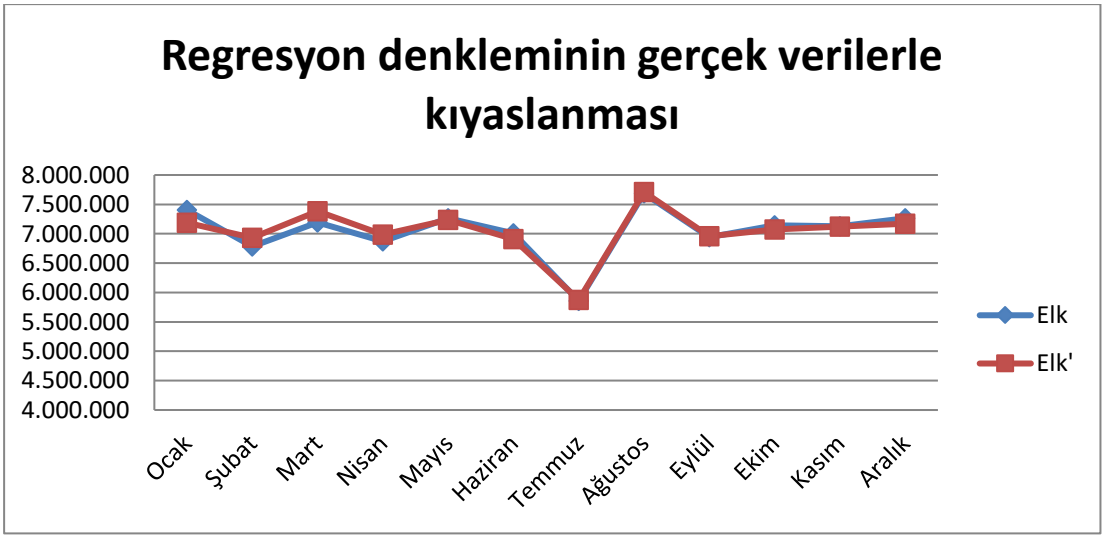
Sistemdeki toplam enerji tüketiminin karakteri ise Denklem 5.5 ve Denklem 5.6'nın toplanması ile Denklem 5.7'de gösterilmiştir.

$$E_{top} = 2304616 + 571 * \text{ÜH} + 10263 * CDD + 31891 * HDD \quad (5.7)$$

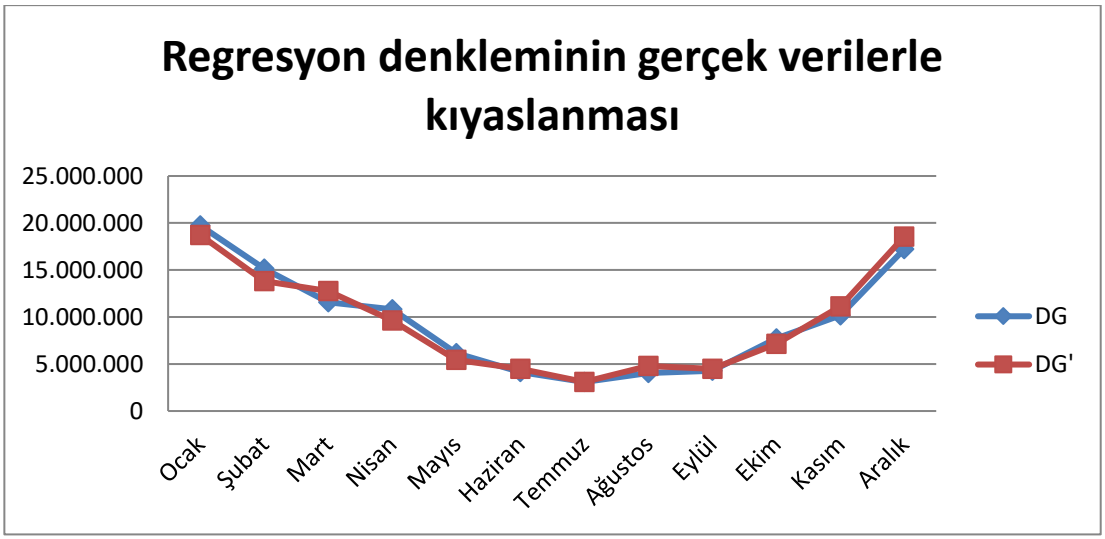
Bu formüle alternatif olarak direkt toplam enerji tüketiminin veya karbondioksit salınımının da regresyon analizleri yapılabilir. Fakat bazı durumlarda hem ayarlı R^2 değerinde düşüş yaşanabilir hem de elektrik ve doğalgaz karakterinin spesifik etkileri ayrı ayrı incelenemez hale gelecektir.

Bu analizde mevsimsel şartlar ve üretim hacmi bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir. Benzer denemeler farklı parametreler ve zaman periyotlarında da yapılarak anlamlı olup olmadığı çalışılabilir. Genel olarak, mevsimsel değişkenliklerden etkilenen parametrelerde inceleme periyodunun 1 yıl olması mantıklı olacaktır. Daha kısa süreli incelemelerde mevsimsel döngü tamamlanmayacağı için üretilen katsayılar doğruluktan uzaklaşacaktır. Doğru katsayılara yakınlık için gereken bir diğer şart ise çalışma kondisyonunun benzer olduğu bir periyodun incelenmesidir. Örneğin, bir tesis, inceleme dönemi içinde ürün ve proseslerde ciddi değişiklikler yapmış, çalışma vardiya sayısı değişmiş veya uzun dönemli sıra dışı duruşlar yaşamışsa katsayılar yanıltıcı olabilir. Bu şartlar gerçekleştiğinde iki farklı dönemin direkt katsayılarının kıyaslanması doğru bir yöntem olmayabilir.

Son bir kontrol olarak, regresyonla üretilmiş verilere göre çizilen grafikler ile gerçek verilerden çizilen elektrik ve doğalgaz grafikleri üst üste bindirildiğinde Şekil 5.17 ve 5.18'deki görünümler ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.17 : Gerçekleşen elektrik tüketimi (Elk) ile türetilen denkleme göre ortaya çıkan elektrik tüketim eğrisinin (Elk') kıyaslanması.

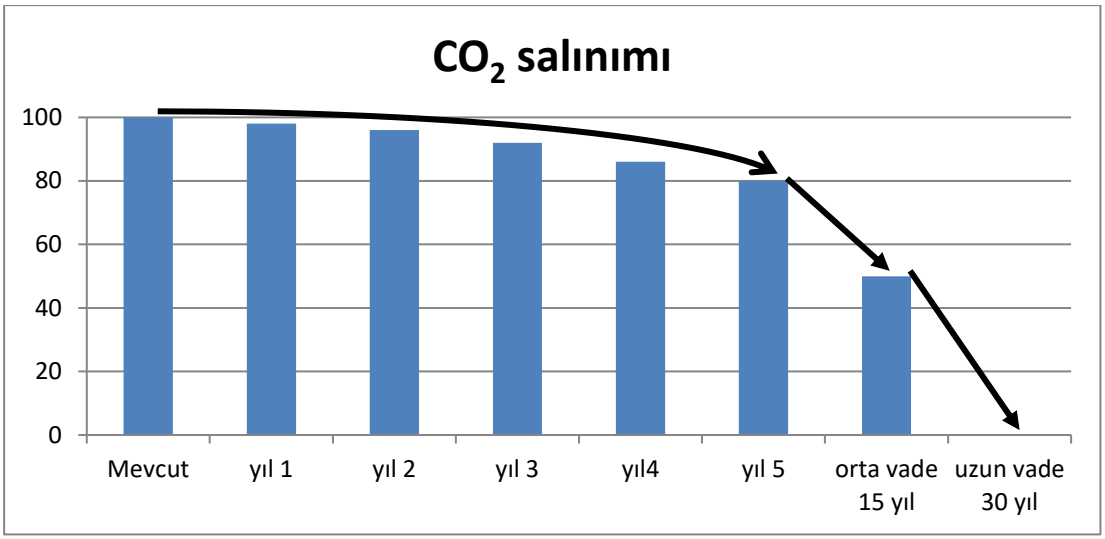


Şekil 5.18 : Gerçekleşen doğalgaz tüketimi (DG) ile türetilen denkleme göre ortaya çıkan doğalgaz tüketim eğrisinin (DG') kıyaslanması.

Öte yandan, farklı zamanlarda farklı koşullar altında yürütülen faaliyetler için regresyon analizi yapıldığında, denklemin sabit kısmı ve bağımsız değişken katsayıları çok farklı çıksa da bu denklemlerden geleceğe dönük tüketim projeksiyonları yapılırken yine de yakın sonuçlar elde edilebilmektedir. Dolayısı ile, bir tesisin, bir dönem için hesaplanan değeri ile o dönemde gerçekleşen performans toplam değerler üzerinden kıyaslandığında iyileşme veya kötüleşme olup olmadığı yine de kısmen tespit edilebilir. Tabii ki bu değişim enerji üzerine gerçekleştirilen spesifik projelerden olabileceği gibi değişen üretim disiplininden de kaynaklanabilir. Örneğin bir işletmenin tek vardiyalı çalışmadan 2 vardiyaya geçtiği iki dönem kıyaslanırken, sadece bekleme sürelerinin kısalması veya üretim lotu başına devreye alma (start-up) sayılarının azalması faaliyet başına tüketilen enerji katsayısında ve sabit tüketim katsayısında iyileşme etkileri oluşturacaktır. Bunun gerçek bir enerji veya salınım iyileştirmesi olup olmadığı tartışmaya açıktır.

5.4 Hedef Belirleme

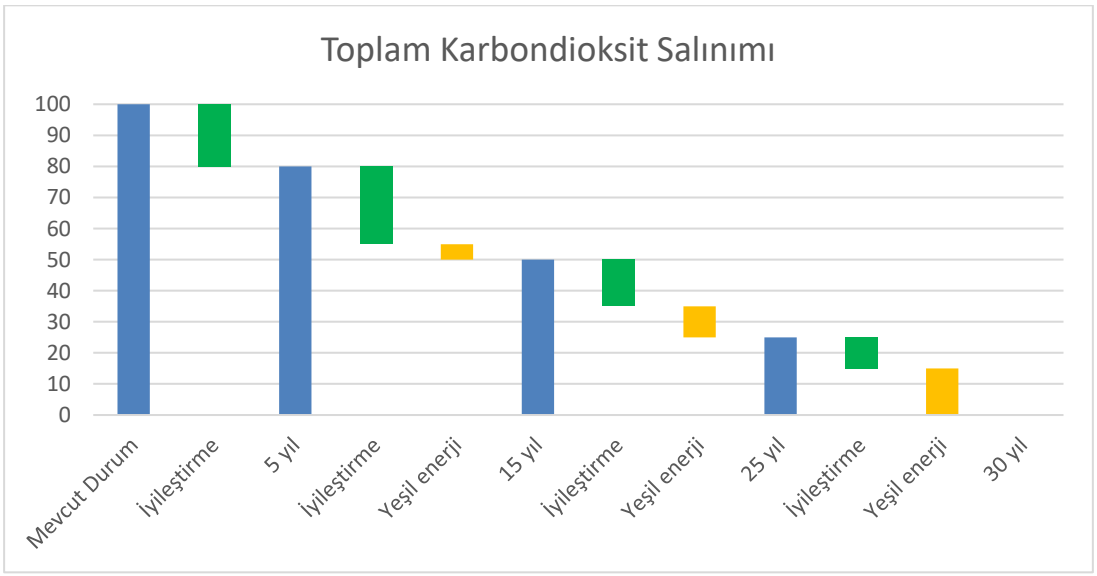
Hedefler kısa vadeli, orta vadeli ve uzun vadeli olmak üzere 3 grupta incelenebilir. Örneğin uzun vadeli hedef olarak, 30 yılda karbondioksit salınımının sıfıra indirilmesi seçilebilir. Bu durumda sürenin yarısında hedefin %50-60 arasında gerçekleştirilmesi uygun bir orta vadeli hedef olarak kabul edilebilir. Bu ara hedeflere ulaşmak için de 1-5 yıllık hedefler oluşturulabilir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19 : Toplam salınım azaltımı için hedef belirleme örneği.

5.4.1 İncelenen tesis için ara hedeflerin tayini

Bu çalışmadaki kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerin gerçekleştirilmesinin 2 ana unsuru vardır. Birincisi enerji tüketimi esnasındaki karbondioksit salınımı üzerine yapılacak iyileştirmelerdir. Bu iyileştirmeler süreçlerin yalınlaştırılmasından ve enerji verimliliğinin arttırılmasından oluşur. İkinci unsur ise faaliyetler için üretilmesi gereken enerjinin temiz (yeşil) olmasıdır. Bu da yerinde yenilenebilir kaynaklardan üretim ve yeşil enerji satın alınmasından oluşur. Bu iki parametreye göre 30 yıllık bir projeksiyon Şekil 5.20'deki gibi ifade edilir.



Şekil 5.20 : Tesisteki karbondioksit salınımı için belirlenen hedefler.

Buradan da görüleceği üzere uzun dönemli çalışmalarda etap etap yapılacak işler vardır. Örneğin yenilenebilir (yeşil) enerji katkısı için 5 yıl sonra kurulacak bir fotovoltaik tesis, ekonomik ömrünü tamamlamaya yaklaştığında gelişecek teknolojilerle değiştirilmesi durumunda 25-30 yıl sonra daha fazla katkı yapabilir hale gelecektir.

5.4.2 Hedeflerin belirlenmesinde dikkat edilecek hususlar

Hedef belirleme aşamasında SMART – Specific (belirli) , measurable (ölçülebilir), achievable (başarılabilir), relevant (alakalı), time bound (zamana bağlı) kriterlerinin uygulanması önemlidir. Bu çalışmadaki karbondioksit salınımının düşürülmesi hedeflerinde ancak aşağıdaki şartları sağlayan hedeflerle ulaşılabilir. Bu şartların herhangi birinin eksik olduğu hedefler anlamlı sonuçlar vermeyecektir.

5.4.2.1 Belirlilik

"Isıtma sistemlerindeki karbondioksit salınımı" gibi bir hedef bir tesis ölçeğindeki çalışmada fazla genel bir konu olabilir. Bu nedenle "buhar kazanında verimli yanmanın sağlanması" veya "basınçlı hava işletme basıncının düşürülmesi" gibi daha spesifik projeler seçmek daha sağlıklı olacaktır.

5.4.2.2 Ölçülebilirlik

Yakılan doğalgazın, tüketilen elektriğin ölçülmesi, baca gazı analizinin yapılması gibi hususlar karbondioksit salınımının takip edilebileceği boyutlardır. Hedef belirlenirken, üzerinde çalışılacak sistem veya ekipmanda ilgili ölçüm sistemlerinin bulunması gerekir. Bu boyutlarda mevcut durumlar tespit edilmeli, yapılan çalışma sonuçları takip edilmelidir.

5.4.2.3 Başarılabilirlik

Belirlenen hedefler optimum bir zorlukta olmalıdır. Hem gerçekçi hem zorlayıcı hedefler konulurken şirketin imkanları ve teknolojik gerçekler göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin basınçlı hava kullanımının ortadan kaldırılması kısa vadeli bir proje için çok zorlayıcı olacaktır. Bu konu hem bir takım pilot çalışmalar gerektiren hem de önemli ölçüde yatırımlara ihtiyaç duyan bir projedir. Bu konuda konulacak hedefler için kademeli dönüşümler daha başarılı olacaktır. Montaj

hattındaki “fren diski ön montaj prosesinin basınçlı hava - elektrik dönüşümü” kısa vadeli bir proje için daha başarılabilir bir hedeftir.

5.4.2.4 Alakalılık

Seçilen hedefler amaçlar ile alakalı olmalıdır. Karbondioksit salınımının azaltılması ile yeterli düzeyde alakası olan projeler seçilmeli, bu projeler makul yerlerde, uygun kişilerle, doğru zamanlarda yürütülecek şekilde planlanmalıdır. Hedefler her boyutuyla bir anlam bütünlüğünde olmalıdır. Eğer alakasız bir boyut varsa organizasyon, mutabakat ve yürütme aşamalarında krizlerle karşılaşılır.

5.4.2.5 Zamana bağımlılık

Her hedef bir süre ile zaman sınırına bağlanmalıdır. Ana hedefteki karbondioksit salınımının sıfırlanması için 30 yıllık bir hedef konmuştur. Buna göre ara hedefler de yine zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Böylelikle süreç boyunca başarıya ulaşılıp ulaşılamayacağı takip edilebilir olacaktır.

5.5 Önceliklendirme

Önceliklendirme konusunda yapılması gereken ilk iş gerçek faaliyetlere yönelik doğru bir yaklaşım üretmektir. Üretim süreçlerinde yapılacak iyileştirmeler veya enerji verimliliği üzerinde yürütülecek faaliyetler hem beceri hem de kaynak isteyen zorlu ve zahmetli işlerdir. Sıfır karbondioksit projesinin nihai hedefe ulaşması ise öncelikle işin bu zor kısmının doğru yürütülmesine bağlıdır. İşin diğer bir ayağı olan yerinde enerji üretimi veya temiz kaynaklardan enerji tedariki karmaşıklığın daha az olduğu kısımdır. Bu nedenle günümüzde kısa sürede sonuca gitmek isteyen birçok çalışmada yapılan ilk faaliyetlerden biri yeşil enerji tedariki olmaktadır. Bu yüzden yenilenebilir kaynaklardan üretim yapan enerji santrallerine talep de her geçen gün artmaktadır. Arz – talep dengesinin enerji tedarikçisinin lehine kayması ise, stratejiyi yanlış belirleyen işletmeler için ileride ya giderek yükselen bir maliyete ya da salınım değerlerinde kısa sürede yakalandığı sanılan iyi sonuçlardan geriye dönüşlere neden olacaktır. Örneğin, 5 yıllık hedefinde karbondioksit salınımını %10 düşürmeyi hedefleyen bir işletme bu orana karşılık gelen elektrik enerjisi miktarını direkt bir rüzgar santralinden karşılarsa aslında kendi süreçlerine yönelik hiçbir gerçek iyileştirme faaliyeti yapmış olmaz. Fakat

tek bir hamle ile kağıt üzerindeki hedeflerini tutturmuş gibi görünebilir. Öte yandan salınım azaltımı konusunda hedefleri olan diğer işletmeciler de benzer taleplere yöneldiği için yeşil enerjinin değeri artmaya devam edecektir. Günümüzde yeşil enerji santrallerinden alınan enerjinin değeri standart şebeke elektrik enerjisinden az farkla daha pahalı duruma gelmiştir. Bu durum ileride bu enerjinin finanse edilememesi durumunda eski salınım oranlarına dönülmesiyle sonuçlanabilir. Böylece geçen süre boyunca kayda değer bir iyileştirme yapılmamış olur.

5.5.1 Pareto prensibi

Önceliklendirme analizlerinde göz önünde bulundurulan unsurlardan biri de Pareto prensibidir. Pareto'ya göre etkenlerin %20'si etkinin %80'ini oluşturur [54]. Etkili azınlıklar olarak da nitelenebilecek bu etkenler sıfır CO_2 salınımının yakalanmasında da kullanılmalıdır. Bu yaklaşımda belirtilen oranlar temsili olsa da, yaklaşık olarak benzer değerlerdedir. Örneğin sahada tespit edilen 100 uygunsuzluğun yaklaşık 20 tanesi tespit edilen CO_2 salınımının %80'ine sebep olacaktır.

5.5.2 Stratejik önceliklendirme

Üretim endüstrisinin mevcut enerji tüketimi göz önüne alındığında, karbon salınımı etkisinin sıfıra indirilmesi için tamamının yenilenebilir kaynaklardan beslenebileceği bir enerji arzı mümkün değildir. Dünyada yenilenebilir kaynaklardan üretimin en yüksek olduğu Almanya'da bile bu oran %40'tır [55]. Dolayısı ile hem makro boyutta hem de spesifik bir işletmede yapılması gereken ilk iş tüketimin düşürülmesidir.

Bu kısımda alınması gereken ilkesel karar belirli bir süre boyunca yeşil enerji tedarikinin yapılmaması yönünde olmalıdır. Orta ve uzun vadeli hedeflerde ise yavaş yavaş artan bir yeşil enerji tedariki veya üretimi planlanmalıdır. Bunun da ilk kısmı yerinde üretim ile yeşil enerji olmalı, ancak son aşamada, teknik olanakların sınırlandığı noktada yeşil alıma yönelinmelidir. Endüstriyel tesislerdeki karar koyucuların bu yönde bir strateji belirlemeleri kendi ekipleri için daha zorlayıcı olacak fakat uzun vadede çok daha kazançlı olacaktır.

Tüketimin düşürülmesi kısmında süreçlerin yalınlaşması ve verimin arttırılması konularında yapılacak faaliyetlerden biri potansiyellerin belirlenmesidir. Hangi

projeden ne kadar salınım düşümü elde edilebileceğinin tespit edilmesi, projelerin "etki" kısmını belirler. Projelerin yatırım maliyetleri, tahmini tamamlanma süreleri, neden olacakları üretim duruş süreleri, ihtiyaç duyulan personel sayısı, projeye katılacak tedarikçi sayısı ve nitelikleri, gelecekte beklenen teknolojik gelişmeler gibi diğer teknik karmaşıklıklar ise "zorluk/karmaşıklık" boyutunu oluşturur. Zorluk boyutunun tespit edilmesi için kuruluşların ilgili teknik personelleri kurum dinamiklerine ve iş niteliğine göre bir değerlendirme kriter listesi oluşturabilir ve buna göre derecelendirme yapabilir. Daha sonra bu potansiyel ve karmaşıklık analizleri yapılan projeler Şekil 5.21'deki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 5.21 : Stratejik öncelik bölgeleri.

Belirlenen ana ve ara hedefleri yakalayabilmek için ihtiyaç duyulan etkiler belirlenmelidir. Bu etkiyi oluşturabilecek projeler faaliyete alınabilme süreleri başta olmak üzere karmaşıklık derecelerine göre kolaydan zora sırayla devreye alınabilir. Seçilen projeler planlara aktarılırken en az hedeflenen CO_2 salınım düşümünü sağlayacak etkide olmalıdır. Fakat iyileşme potansiyeli yüksek projeler karmaşıklık boyutunda uygulanabilir (feasible) derecede ise belirlenen ara hedeflerin aşılmasından çekinilmemelidir. Neticede CO_2 salınım düşümünün zamana göre grafiği çizilecek olursa büyük etkiler ne kadar erken faaliyete geçirilirse toplam salınım düşümünün integrali de o kadar büyük çıkacak ve toplam fayda daha yüksek olacaktır. Etkisi yüksek ve uygulaması kolay projeler Acil hayata geçirilmesi gereken sınıfa girer. Bu gruptaki çalışmaların bir an önce uygulamaya alınması gerekir. Yapılan analizlerde zorluk kriterlerine göre değerlendirmesi karmaşık boyutta kalan fakat beklenen etkisi yüksek olan projeler

“Stratejik”tir. Çünkü bu projelerin ne zaman, kimlerle, nasıl yapılacağı gibi konular çok fazla paydaşla enine boyuna düşünülerek karar verilmesi gereken; öte yandan etkisi itibariyle mutlaka yapılması gereken projelerdir. Etkisi nispeten düşük olan ama yapması da kolay olan çalışmalar ise “Dağıt” bölgesindedir. İş gücünün etkin bir şekilde kullanılması adına zamana yayılarak yürütülmesi gerekir. Acil ve Stratejik boyuttaki çalışmaları engellemeyecek şekilde daha kısıtlı iş gücü ayrılarak ve mümkünse daha küçük çalışma gruplarına dönem dönem paylaştırılarak ilerlenmesi gereken çalışmalardır. Dolayısı ile bu gruptaki çalışmalar hem zamana, hem de işgücü veya finans gibi kaynaklara dağıtılmalıdır. Hem etkisi düşük hem uygulaması zor olan çalışmalar ise “Ertele” bölgesidir. Diğer çalışmalar zaman içerisinde yürütülürken gelinen seviyenin hedefleri yakalamak için yeterli olup olmadığı gözden geçirilmelidir. Eğer sıfır CO_2 salınımının yakalanması için yine de 4’üncü bölge faaliyetlerine ihtiyaç duyulacaksa, bu faaliyetler bir zaman sonra tekrar değerlendirmeye alınmalı, zorluk kriterlerinde yeni gelişmeler olup olmadığı gözden geçirilmeli ve bu aşamadan sonra hayata geçirilmesi için planlamaya dahil edilmelidir.

5.6 Planlama

Planlama aşamasında, hedefler ve önceliklendirme analizine ek olarak, teknolojik gelişmelerin yakından takip edilmesi de önemlidir. Bir projenin karbondioksit salınımını azaltmaya etkisi yüksek olmasına ve zorluk analizine göre daha erken yapılması gerekiyor gibi görünmesine rağmen teknolojik trendler bu kararın ertelenmesine sebep olabilir. Benzer şekilde, ilk bakışta çok sonralarda yapılması ön görülen bir proje de öne çekilebilir. Burada yapılması gereken yorum projenin teknolojik süreçten ne kadar etkileneceği hakkındadır. Teknolojik gelişmelerin 10-15 yıl içerisinde ekipman verimliliği ve satınalma maliyetinde önemli değişiklik yapması beklenen projeler, uzun vadeli hedefin sonraki aşamalarında devreye alınabilir. Öte yandan bu proje ile kurulacak sistemin ekonomik ömrü 20-25 yıl civarında ise hem orta vadeli plana konulup hem de uzun vadeli plan için bir yenileme projesi planlanabilir. Dolayısı ile bu kararları verirken projenin maliyeti, ömrü, katkısı gibi konularda geçmiş yıllarda yaşanan ve öngörülen gelişmeler dikkatle analiz edilmelidir. Bu durumda piyasaya yeni çıkan her teknolojinin direkt

kullanıma alınmaması veya kontrollü olacak şekilde küçük parçalar halinde alınması, konunun bir süre olgunlaşmasının beklenmesi mantıklı olabilir.

5.7 Uygulama

Çalışmanın bu bölümü harekete geçme aşamasıdır. Uygulama kısmında, modellenen tesiste gerçekleştirilecek projelerden örnekler verilerek katkı dereceleri analiz edilecektir. Yapılabilecek çalışmalar endüstriyel tesisin faaliyetine göre farklılık gösterebilir fakat önemli olan süreçlerin uygulama esaslarının nasıl olacağının belirlenmesidir. Sıfır karbondioksit salınımlı endüstriyel tesislerin gerçekleştirilmesi her tesisin kendine has gelişime açık noktalarını belirlemesinden geçecektir. Tüm bu uygulama adımının sürdürülmesinin temeli enerji tüketiminin minimize edilmesi, sahada yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin maksimize edilmesi ve en sonunda varsa kalan kısmın yeşil kaynaklardan tedarik edilmesi ile sonuçlanacaktır.

Enerji yönetim sisteminin güçlü bir organizasyon haline getirilmesi tüm çalışmalarda sürdürülebilirliğin ve etkinliğin temel faktörü olduğu için bu bölümde ilk olarak enerji yönetim sisteminin kuruluş esaslarından bahsedilecektir. Devamındaki kısımlarda ise karbondioksit salınımı azaltıcı örnek uygulamalara yer verilecektir.

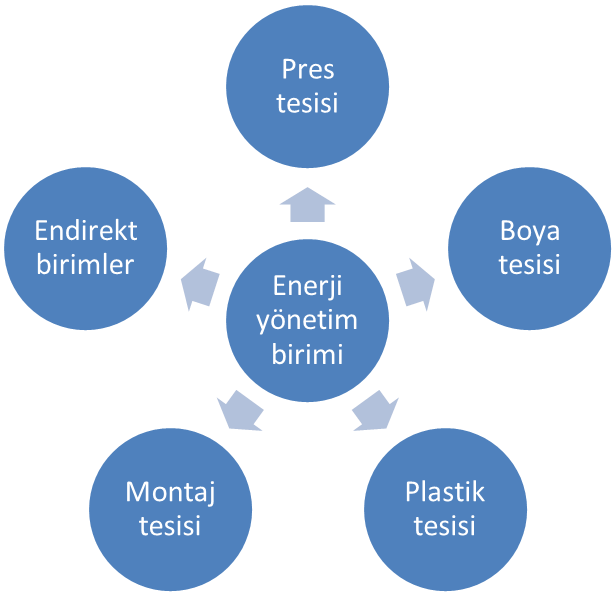
5.7.1 Enerji yönetim sistemi

Enerji tüketimi kaynaklı karbondioksit salınımının düşürülmesi konusunda sürdürülebilir bir iyileştirme yapısının kurulması kritik bir rol oynar. Dünya genelinde bu konunun önem kazanmaya başlaması 1970'lerde yaşanan enerji krizine dayanır [56]. Bu dönemde enerji ile ilgili şirketler enerji tasarrufu için branşlar açmaya başlamış, bazı danışmanlık şirketleri kurulmaya başlamıştır. Daha sonra, enerji hizmet şirketi (ESCO - Energy Service Company) adıyla anılan bu kuruluşlar çalışma odaklarını zamanla enerji tasarrufundan verimliliğe, çevresel sürdürülebilirliğe ve uzun süreli strateji oluşturmaya dönüştürmüşlerdir. Enerji tüketen fabrika veya binaların kendi bünyelerinde enerji çalışma grupları oluşturmaları ise ilk versiyonu 2011'de yayınlanan ISO 50001 – Enerji Yönetim Sistemi Standardı ile hız kazanmıştır. Son versiyonu 2018'de yayınlanan ISO 50001 standardı işletmelerdeki enerji iyileştirmelerinin sürekliliğinin sağlanmasını

amaçlamaktadır. Son yayınla birlikte risk odaklı yaklaşım ve liderlik gibi konularda gelişme yaşanmıştır [57].

ISO 50001 standardının yaygınlaştırılması Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Avrupa Birliği gibi kuruluşlarca da desteklenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesindeki Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 2009 yılından bu yana sanayide enerji verimliliğini artırıcı projeleri finansal destek sağlayarak desteklemekte ve buna katılım şartlarından biri olarak kuruluşların ISO 50001 sertifikasyonunu şart koşmaktadır.

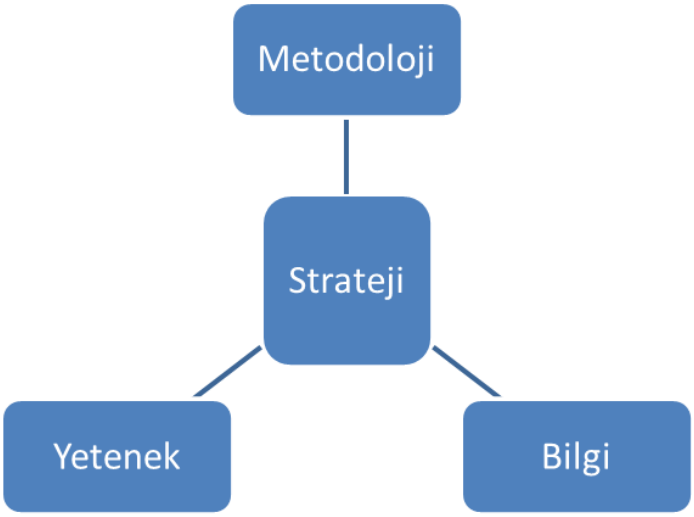
Devlet teşviki veya ISO standardı koşullarının ötesinde motivasyonu yüksek ve etkin bir yönetim organizasyonunun kurulması bu çalışma ile önerilen en önemli hususlardan biridir. Enerji yönetim sistemi ile kurulacak ekipler yürütülen iyileştirme projelerinin ve yatırımlarının yönetilmesine ek olarak yaptıkları genel yönetimsel faaliyetlerle de önemli katkı sağlayabilirler. Endüstriyel faaliyetin yürütülmesi sırasında işletme koşulları, arızalar, altyapı durumu gibi konularda genel bir denetleyicilik ve yöneticilik rolü üstlenebilirler. Bu çalışmada önerilen enerji yönetim sistemi organizasyonu ana bir yönetici ekip ve her bir iç tesisteki sorumlu personeller aracılığıyla sağlanacaktır. Buna göre organizasyon Şekil 5.22'deki gibi kurulabilir.



Şekil 5.22 : Tesisteki enerji yönetim organizasyonu.

Buradaki enerji yönetim birimi ISO 50001'de bahsedilen yönetim temsilcisi ve yasal mevzuatta zorunlu koşulan enerji yöneticisini içermelidir. İç tesislerdeki

temsilciler ise merkezi organizasyonla koordinasyon halinde çalışmalıdır. Etkin bir işleyişin 3 temel prensibi ise Şekil 5.23'te gösterilmiştir.



Şekil 5.23 : Enerji yönetimi etkin işleyiş prensipleri.

Burada bahsedilen metodoloji bu çalışmada bir önceki bölümde bahsedilen problem çözme ve süreç iyileştirme metotlarıdır. Bilgi konusu ise hem merkezi yönetim ekibinden hem de tesis temsilcilerinden büyük katkı beklenen kısımdır. Yeni teknolojilere, mevcut süreç bilgilerine ve potansiyel noktalara olan hakimiyet büyük önem taşır. Yetenek ile kastedilen ise temelde ölçüm ve analiz yetenekleridir. İyileştirmenin temeli olan tespit ve fizibilite çalışmalarının yapılması için yetkin personel ve ekipman ihtiyacı söz konusudur.

Uygun bir enerji yönetim sistemi ile yürütülebilecek idari konular, proje iyileştirmeleri ve yatırımlara göre çok daha kısa sürede etki edebilen faaliyetlerdir. Bunlardan başlıca konular bu kısımdaki alt başlıklarda örneklendirilmiştir. Enerji israf noktalarına odaklanılarak başka benzer uygulamalar da geliştirilebilir.

5.7.1.1 Kayıp kaçak yönetimi

Hiçbir faydalı faaliyete dönüşmeyen kaçaklar gereksiz enerji israfına ve dolayısı ile karbondioksit salınımına yol açan unsurlardandır. Üretilmiş bir buharın veya basınçlı havanın hatlardaki yetersiz izolasyon, hatalı montaj veya hasarla oluşan deliklerden havaya karışması sıkı kontrole tabi tutulması gereken konuların başında gelir. Öte yandan ısıtılan bir binanın veya ortamın kapısının açık kalması, endüstriyel araç giriş – çıkış yerlerindeki yetersiz uygulamalar veya bina izolasyon

eksiklikleri gibi hususlar yine bu duruma örnek olarak verilebilir. Bu duruma enerji yönetim sistemi ile önlem almak adına kaçak tespit cihazlarının temin edilmesi ve kaçak tespiti için etkin işleyen devriye ekiplerinin kurulması gerekir. Termal kameralar veya basınçlı hava tespit cihazları bu konuda gereklidir.

Kayıp – kaçakların etkilerine basınçlı hava üzerinden bir örnek olarak Çizelge 5.2'deki değerler incelenebilir. Buna göre, hattaki küçük bir delik bile yıllık büyük bir gereksiz karbondioksit salınımına sebep olabilir.

Çizelge 5.2 : Basınçlı hava kaçaklarının etkisi [Nl/dk] [58].

		Kaçak delik çapı [mm]					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Hava basıncı [bar]	3	9	36	81	145	226	325
	4	11	45	102	181	282	407
	5	14	54	122	217	339	488
	6	16	63	142	253	395	569
	7	18	72	163	289	452	651
	8	20	81	183	325	508	732

Örneğin 7 bar işletme basıncındaki bir hattaki 1mm'lik bir delik ele alınacak olursa; günün 24 saati ve yılın 300 günü üretimde olan bu tesis için yıllık kaçak 72x60x24x300/1000= 31.104 Nm^3/yıl çıkacaktır. Tesisteki ölçümlerde yıllık ortalama birim basınçlı hava üretim katsayısı 0,174 kWh/Nm^3 bulunmuştur. Buna göre yıllık ek enerji sarfiyatı 5.412 kWh/yıl bulunacaktır. Elektriğin birim CO_2 salınımı göz önünde bulundurulduğunda ise bu kaçağın yıllık salınım etkisi 2.587 $kgCO_2$/yıl olarak hesaplanacaktır. Benzer hesaplama diğer değerlere de uygulandığında, basınçlı hava sızıntılarının karbondioksit salınımına etkisi Çizelge 5.3'teki gibi bulunur.

Çizelge 5.3 : Hava kaçaklarının CO_2 salınımı açısından etkisi [$kgCO_2$/yıl].

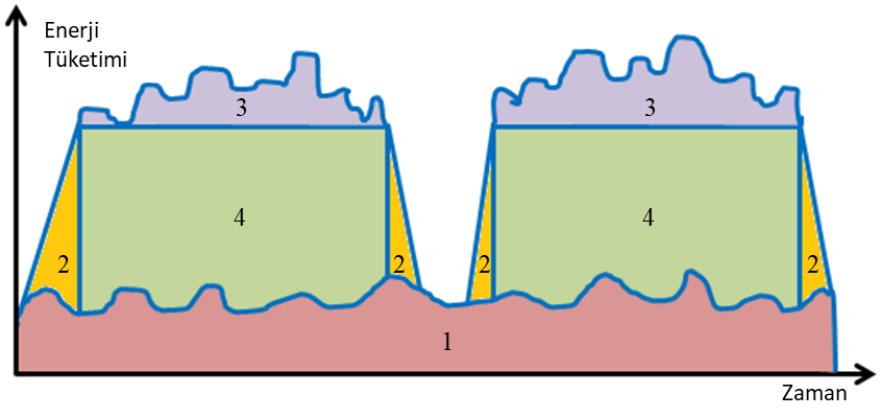
		Kaçak delik çapı [mm]					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Hava basıncı [bar]	3	323	1.293	2.910	5.210	8.120	11.677
	4	395	1.617	3.665	6.503	10.132	14.624
	5	503	1.940	4.383	7.797	12.180	17.534
	6	575	2.264	5.102	9.090	14.192	20.444
	7	647	2.587	5.857	10.384	16.240	23.391
	8	719	2.910	6.575	11.677	18.253	26.301

Bu örnekten de görüleceği üzere kayıpları önlemek için rutin kontrol devriyeleri kurmak ve bu arızaların tamir edilmesini sağlamak küçük masraflarla hızlı ve etkin çözümler sunacaktır.

5.7.1.2 Üretim dışı tüketim yönetimi

İdeal koşullarda kullanılan enerjinin sadece ilgili katma değerli faaliyet için olması arzu edilir. Fakat uygulama şartlarında bunun böyle olmadığı görülmektedir. Bunun tespit edilmesi halinde ise hangi konularda geliştirme fırsatı olduğu açığa çıkarılabilir.

Standart bir üretim işleyişini baz alan enerji tüketim grafiği Şekil 5.24'te gösterildiği gibidir. Burada 4 temel bölge göze çarpmaktadır. 1'inci bölge üretimden bağımsız olan, tesisin bazal tüketimini ifade eder. 2'inci bölge, üretim faaliyetinin başlayışını veya bitişini gösteren kalkış (start-up) ve duruş sırasındaki geçiş sürecini ifade eder. 3'üncü bölge faaliyetin hızına veya boyutuna bağlı değişken tüketim bölgesidir. Son olarak 4'üncü bölge ise üretim halindeki asgari enerji ihtiyacını gösterir.



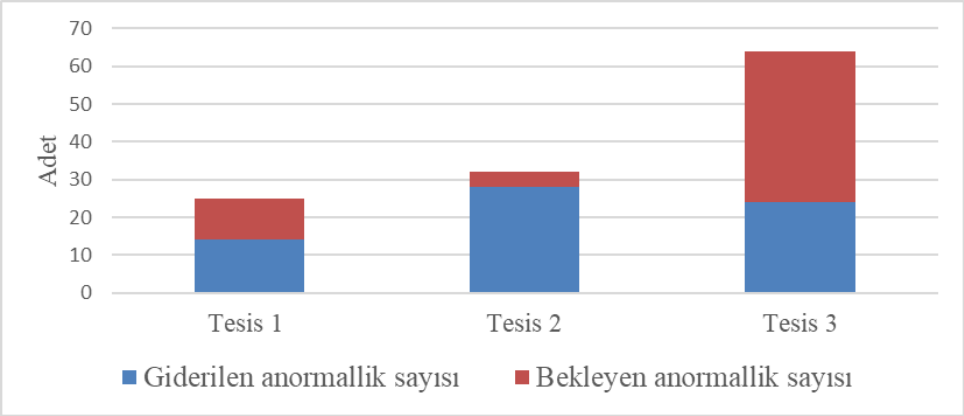
Şekil 5.24 : Tesisin zamana bağlı enerji tüketim miktarı.

Yürütülecek her faaliyet farklı tüketim tiplerindeki karbondioksit salınımını azaltıcı nitelikte olabilir. 1'inci ve 2'nci bölgenin minimizasyonuna yönelik uygulamaların yapılması enerjinin sadece üretime aktarılması konusuna hizmet ederken; 3 ve 4'üncü bölgeye yönelik çalışmalar verimliliğin artırılmasını ifade eder. Yatırım ve proje çalışmaları ile birlikte bir takım yönetimsel önlemlerin alınması da bu 4 tipteki tüketimlerde iyileştirme sağlayabilir. Ortam ve süreç ısıtma buharı, basınçlı hava, aydınlatma gibi ihtiyaçlara hitap eden kaynakların sadece gerekli zamanda, gerekli yerde ve gerekli miktarda sağlanması bu konudaki en popüler

uygulamalardandır. Aynı anda çalışmayan bölgelerin sistemsel olarak birbirinden ayrılması, vardiyalar arası geçiş veya mola sürelerinin yönetimi gibi aktiviteler buna örnek verilebilir.

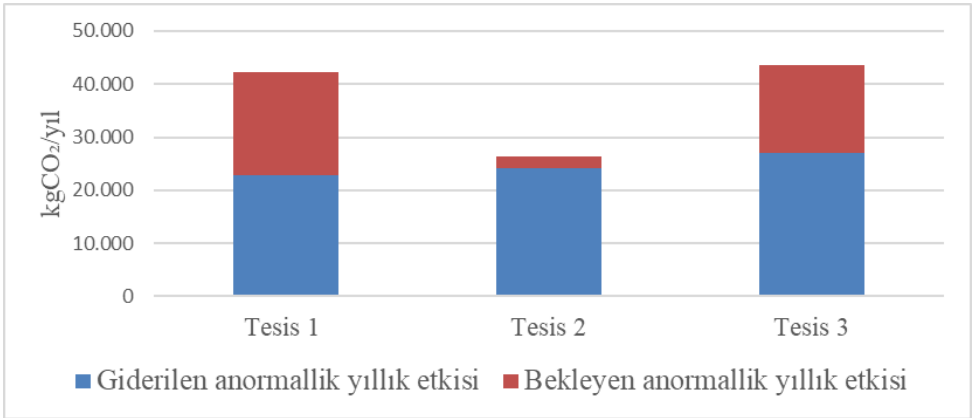
5.7.1.3 Anormallik / uygunsuzluk yönetimi

Yapılan sürekli enerji ölçümleri ve saha devriyeleri anormallik tespitlerinin temelini oluşturur. Sıradan olmayan geçici veya kalıcı tüketim artışları, üzerine düşülmesi gereken anormallikleri işaret eder. Öte yandan saha devriyelerinde tespit edilen israflar, kayıplar ve verimsizlikler bir anormallik olarak kayıt altına alınmalıdır. Anormallik tespit işleyişi enerji yönetim sisteminde sürdürülmesi gereken aktivitelerin başında gelir. Bunun için her bir sorumluluk bölgesindeki kayıtlar bir performans göstergesi olarak takip edilebilir (Şekil 5.25).



Şekil 5.25 : Anormallik sayısı anahtar performans göstergesi.

Tespit edilen anormalliklerin etki derecesi, giderilme zamanı gibi daha detaylı tespitlerin yapılabildiği durumlarda bu performans göstergeleri Şekil 5.26'da olduğu gibi daha detaylı olarak da takip edilebilir.



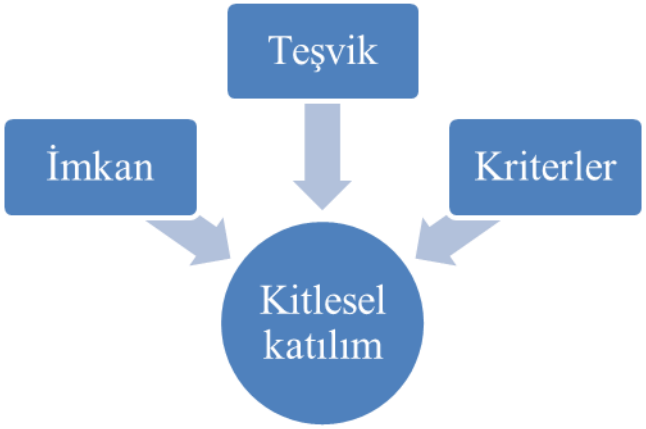
Şekil 5.26 : Anormallik etkisi anahtar performans göstergesi.

Şekil 5.25 ve 5.26'daki örnekler kıyaslandığında, işlem görmeyi bekleyen anormallik sayısında 3 numaralı tesis öndeyken, anormalliklerin etkisi incelendiğinde 1 numaralı tesisin daha büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu verilere bakıldığında anormallik başına etki derecesinde de 1 numralı tesisin önde olduğu tespit edilmektedir. Eğer bir önceliklendirme yapılacak olursa bu analizin göz önünde bulundurulması gerekir. Dolayısı ile, anormalliklerin karbondioksit salınımına etkisinin direkt ölçülebildiği bir kayıt sistemi daha etkili sonuçlar doğuracaktır.

5.7.1.4 Öneri sistemi

Yönetim sistemlerinin başarılı olması ancak tüm paydaşların katılım göstermesiyle mümkündür. Bu durum şirketler için ve enerji yönetim sistemi için geçerli olduğu gibi tüm kitlesel oluşumlar ve diğer yönetim sistemleri için de geçerlidir. Hiyerarşik düzende üstten alta giden direktiflerin olduğu kuruluşlarda değil, tabandan veya sahadan başlayıp yönetim kademelerini yönlendiren kuruluşlarda gerçek bir liderlik ortamından bahsedilebilir. Bu bağlamda, enerji yönetim sisteminin yöneticilerinin en büyük görevleri, iyileşme olanaklarını direkt yürütmekten ziyade, bu olanakları kendiliğinden yapmak isteyecek veya rapor edebilecek katılım ortamını oluşturmaktır.

Etkili bir kitlesel katılımın sağlanmasının 3 kriteri vardır. Amaca yönelik katılım için hem imkan sunulması, hem teşvik hem de odak gerekir. İş hayatında karşılaşılan en yaygın uygulamalardan biri "öneri şikayet" kutuları veya sistemleridir. Bunun gibi uygulamalarda çalışanların veya paydaşların katılım gösterme imkanı vardır. Fakat bu sistemlerin etkinliği üzerinde genelde az durulur. Çalışanların katılımı ya göz ardı edilir ya da çalışanlara nicel hedefler konularak katılım varmış havası oluşturulur. Halbuki katılımın sınırlı kriterlere bağlanması, teşvik ve ödül sisteminin metrik ölçümlere dayandırılması gibi unsurlar etkin bir öneri sisteminin püf noktasıdır. Dolayısı ile imkan sunulması tek başına yeterli değildir. Hem imkanın hem de teşvikin olduğu uygulamalarda kriterlerin belirlenmemiş olması da benzer sorunları beraberinde getirecektir. Etkin kitlesel katılımın kriterlerini gösteren model Şekil 5.27'de ifade edilmiştir.



Şekil 5.27 : Etkin kitlesel katılım unsurları.

Dolayısıyla, öneri sisteminde katılım imkanının sağlanmasının yanında sadece enerji ve CO_2 salınımına odaklı hesaplama ve ödül kriterleri belirlenmelidir. Değerlendirme kriterlerinin yıllık CO_2 salınımı odaklı olarak belirlenmesine ek olarak katılımın sağlıklı olması için, hesaplama metodlarına dair eğitimlerin de verilmesi gerekir. Konu ile ilgili oluşturulacak dokümantasyonda hesaplamaya yol gösterici bilgiler bulunmalıdır. Çizelge 5.4'teki gibi bir değer tablosu iyileştirme formlarındaki "öncesi-sonrası" kıyaslarında kullanılabilir. Buradaki bazı değerler referans alınan kaynağa veya kurumdaki sistemlerin durumuna göre değişebilir.

Çizelge 5.4 : İyileştirme önerileri için kullanılabilcek çevrimler.

Enerji & Çevre Çevrimleri						
1	kWh	Elektrik	=	0,478	kg	CO_2
1	kWh	Doğalgaz	=	0,181	kg	CO_2
1	Nm^3	Doğalgaz	=	10,64	kWh	Enerji
1	Nm^3	Doğalgaz	=	1,926	kg	CO_2
1	mm^2	delik @ 7 bar	=	4,32	Nm^3/sa	Basınçlı hava
2	mm^2	delik @ 7 bar	=	17,34	Nm^3/sa	Basınçlı hava
3	mm^2	delik @ 7 bar	=	39,06	Nm^3/sa	Basınçlı hava
1	Nm^3	Basınçlı hava	=	0,174	kWh	Elektrik
1	Nm^3	Basınçlı hava	=	0,083	kg	CO_2
1	adet	Ağaç	=	21,6	kg/yıl	CO_2-tüketim
45,2	kWh	Elektrik	=	1	adet/yıl	Ağaç
119,3	kWh	Doğalgaz	=	1	adet/yıl	Ağaç

Katılımla ilgili bir diğer husus ise, sadece şirket çalışanlarının değil, kuruluşla ilişki içinde olan müşteri veya tedarikçi gibi paydaşlara da katılım imkanı ve teşviği sunulmasıdır.

5.7.2 Buharsızlaştırma dönüşümü

Nihai sıfır karbondioksit hedefine ulaşmak için direkt fosil yakıt tüketen sistemlerin tamamen kullanımdan kaldırılması hedeflenmelidir. Öte yandan doğalgaz hem mali açıdan avantajı hem de kullanım kolaylığı nedeniyle günümüzdeki ısıtma sistemlerinde yaygınlıkla tercih edilmektedir. Üstelik fuel-oil veya kömür gibi alternatif yakıtlara göre daha temiz bir yakıt türüdür.

Sıfır karbondioksit hedefine ulaşma sürecinde doğalgaz tüketen ekipmanların iki aşamalı dönüşümü söz konusu olacaktır. Bunlardan ilki merkezi sistemlerin lokalleştirilmesi aşamasıdır. Mevcut durumda şebeke elektriğinden faydalanmak direkt doğalgaz tüketmekten daha çok karbondioksit salınımına neden olmaktadır. Bunun sebepleri elektrik üreten termik santrallerin yüksek oranda salınıma neden olması ile birlikte, tüm enerji çevrim süreçlerindeki verimsizlikler ve son kullanıcı ekipmanların verimsizlikleridir. Öte yandan mevcut durumdaki tüm ihtiyacın yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması da kısa sürede mümkün olmayacaktır. Tesiste kurulacak yenilenebilir enerji sistemlerinin hazır olmasının zaman alacağı, direkt yeşil enerji alımının ise maliyetinin yüksek olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısı ile finansal ve teknik kısıtların göz önünde bulundurulmasıyla birlikte orta vadeli planlarda doğalgaz kullanımının daha verimli olan küçük parçalara ayrılarak çözümlenmesi daha sonraki adımda yönetilebilir dönüşüm süreçlerinin oluşturulmasını mümkün kılacaktır. Isıtma sistemlerinin verimli lokal sistemlere dönüştürülmesine paralel olarak bir yandan tesisteki "yerinde temiz enerji" projesi ilerlemeye devam edecek bir yandan da jeotermal çözümler, ısı depoları veya ısı pompaları gibi alternatif çözümlerin teknolojileri gelişmeye devam edecektir. Enerji ihtiyacının sürekli olarak düşürüldüğü, yenilenebilir elektrik enerjisi kaynaklarının arttığı, ekipman verimliliklerinin arttığı ve gelişen teknoloji ile birlikte yatırım maliyetlerinin daha da düştüğü bir dönemde dönüşümün ikinci aşamasının başlaması mümkün olacaktır. Yeni bir orta vadeli plan dahilinde daraltılmış bölgelerin tek tek temiz enerji dönüşümleri gerçekleştirilerek direkt doğalgaz tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüşümü sağlanabilir. Buharsızlaştırma dönüşümü bu iki aşamalı iyileştirmenin ilk kısmını oluşturur.

Bu aşamada merkezi buhar kazanlarının, ihtiyaç duyulan bölgelerde daha verimli lokal sıcak su kazanlarına dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Böylece hem kazan

verimlilikleri yükseltilecek hem de iletim kayıpları azaltılacaktır. Bu dönüşüm sürecinin karbondioksit salınımı açısından fizibilite çalışması yapılırken öncelikle mevcut durumdaki salınım ve verim değerleri incelenmelidir. Ortam ve proses ısıtması için kullanılan doğalgaz yılda 20.654.500 kg CO_2 salınımına sebep olmaktadır. Kazan ve ısı iletim sisteminde yapılacak değişiklik ile elde edilecek verim artışı, buhar üretimi için tüketilen doğal gaz kullanımını azaltacaktır. Isı iletim sistemlerindeki iyileşmenin iki boyutu vardır. Bunlardan biri boru hattının içindeki sıcaklıkla dış ortam sıcaklığı arasındaki farkın azalmasıdır. Bu azalma hem hattaki akışkanın kızgın buhar yerine sıcak suya dönüştürülmesi ile sağlanacaktır hem de merkezi ısıtmalarda açık havada bulunan tesisler arasındaki iletim hatlarının tesis içi iletim hatlarına dönüştürülmesi ile sağlanacaktır. Azalan bu fark sayesinde yüzeylerdeki ısı kaybında düşüş olacaktır. Öte yandan hat boylarının kısalması da yine iletim kayıplarında düşüş sağlayacaktır.

5.7.2.1 Kazan verimliliği

Kazan verimliliğinin hesaplanmasında direkt ve endirekt olmak üzere iki tür hesap yapılmaktadır. Eğer kazana giren yakıt ve ham suyun enerjisi ile kazandan çıkan su ve buharın miktarı, sıcaklığı ölçülebiliyorsa enerji analizleri yapılarak Denklem 5.8'deki direkt hesap formülü kullanılabilir. Çıkan buhar veya suyun debisinin akış ölçer (flowmetre) ile ölçülmesi ile miktar tespit edilirken, ölçülen sıcaklıklarla akışkanların enerjisi hesaplanabilir.

$$\mu_{kazan} = \frac{E_{çıkış}}{E_{giriş}} \tag{5.8}$$

μ_{kazan}: kazan verimi

$E_{giriş}$: giren enerji

$E_{çıkış}$: çıkan enerji

Direkt ölçümün gerektirdiği sistem ve hesaplamaların uygalanamaması durumunda ise dolaylı (endirekt) kazan verimi Denklem 5.9'da ifade edildiği gibi uygulanır. Direkt hesaplamanın gerektirdiği sistemler ve hesaplama tekniklerini karşılamak zor olduğu için endirekt analizler yaygındır. Bu hesaplamada kazana giren yakıtın kalori değerinden kazan kayıpları çıkartılarak kazandan kullanıma aktarılan buharın enerjisi hesaplanır.

$$\mu_{kazan} = \frac{E_{giriş} - K_{kazan}}{E_{giriş}} \quad (5.9)$$

K_{kazan}: kazan kaybı

Kazanlardaki başlıca kayıpları yüzey izolasyon (radyasyon ve konveksiyon) kayıpları, baca gazı kayıpları, tam yanmanın sağlanmamasından kaynaklanan kayıplar ve blöf kayıpları oluşturur. Dolayısı ile kazandaki kayıpların formülü Denklem 5.10'daki gibi ifade edilir.

$$K_{kazan} = K_{kbg} + K_{nbg} + K_{tyk} + K_{blöf} + K_{r\&k} \quad (5.10)$$

K_{kbg}: kuru baca gazı kaybı

K_{nbg}: nemli baca gazı kaybı

K_{tyk}: tam yanmanın sağlanmamasından kaynaklı kayıp

$K_{blöf}$: blöf kayıpları

$K_{r\&k}$: radyasyon ve konveksiyon kayıpları

Burada giren enerji yakıtın kalori değerinden ve kullanılan yakıt miktarından hesaplanır. Yapılan analizlere göre doğalgaz kalitesinin üst kalorifik değere yakın olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle Denklem 5.11 ve Denklem 5.12'de doğalgaz için 9.155 kCal/m³ veya 10,64 kWh/m³ değerlerine göre işlem yapılmıştır.

$$E_{giriş} = 9155\ [kCal/m^3]\ x\ yakıt\ miktarı\ [m^3] \quad (5.11)$$

veya

$$E_{giriş} = 10{,}64\ [kWh/m^3]\ x\ yakıt\ miktarı\ [m^3] \quad (5.12)$$

Kazan kayıplarının tespit edilmesi için enerji etütlerinde baca gazı analizleri yapılmış, termal kamera, ısı ve sıcaklık ölçerlerle incelemelerde bulunulmuştur. Otomasyon sistemindeki blöf sayıları da kontrol edilmiştir. Baca gazı analizörleri sayesinde baca gazının sıcaklığı, nem oranı, atılan gazdaki oksijen, sülfür, karbonmonoksit ve karbondioksit miktarlarının tespit edilmesi mümkündür. Böylece bacadan kaybedilen direkt ısı enerjisi ile birlikte verimli yanmanın

sağlanmaması durumları da tespit edilmiş olur. Termal kameralarla ve ısı ölçüm sistemleriyle de izolasyon ve radyasyon kayıpları kontrol edilmiştir.

İncelenen sistemde baca gazı atılmadan önce buhar kazanının su beslemesinde ön ısıtıcı olarak değerlendirilir. Bu sayede geri kazanım gerçekleştirilmiş, sistem verimliliği arttırılmış olur. Yapılan uzun süreli ölçümlerde kazan çıkışındaki baca gazı sıcaklığının ekonomizer sonrasında 60-65°C arasında düşürüldüğü gözlenmiştir. Kazandan çıkan baca gazının ısısından ekonomizerdaki suya aktarılan ısı, yapılan ölçümlere göre yıllık ortalama %3,8'lik verim artışı ile yaklaşık 710 MWh enerjinin geri kazanılmasını sağlamakta ve 130 ton CO_2 salınımını önlemektedir.

Kısa vadeli kazanımların tespiti için bir yandan mevcut buhar kazanının çalışma koşulları incelenirken, diğer yandan da mevcut sistemin tüm verim durumu analiz edilmiştir. Büyük güçlü buhar kazanlarından küçük güçlü ve yüksek verimli sıcak su kazanlarına geçişte, kazan verimliliğinde yaşanacak artışın buhar üretim sisteminde ortalama %8 verim artışı sağlayacağı tespit edilmiştir. Uzun vadeli planlarda direkt doğalgaz kullanımının ortadan kaldırılmasına da hizmet edecek olan bu dönüşüm sayesinde orta vadeli planlarda yıllık 739 ton CO_2 salınımı engellenmiş olacaktır.

5.7.2.2 İletim hattı verimliliği

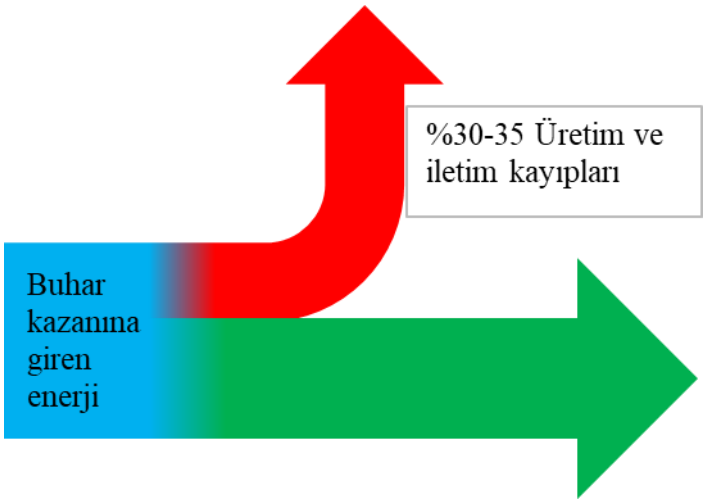
Mevcut durumda tesiste uzun mesafelere buhar taşınması için harici ve dahili boru hatları bulunmaktadır. İç ortamdaki kayıpların kış ayları için ihmal edilmesi gerektiği düşünülebilir çünkü bu kayıplar ortam ısıtma ihtiyacına katkıda bulunacak yönde etki etmektedir. Yaz aylarında ise özellikle ısıtma ihtiyacının devam ettiği süreçlerdeki buharlı hatların kayıp ve kaçakları, ortamda gereksiz ısınmaya sebep olarak iç ortamın soğutma sarfiyatını artırıcı etki oluşturmaktadır. Üstelik soğutma sistemlerinin verimleri daha düşük olduğu için yaz aylarındaki hat kayıplarının birkaç misli etkisi olacağı değerlendirilir. Bu hesaplamada mevsim farkı ve soğutma ihtiyacı boyutu ayırt edilmeksizin hat kayıpları incelenmiştir.

Yapılan fizibilitede yerinde üretim dönüşümünün sağlanması ile birlikte hat uzunluklarında %30'a varan kısalma ön görülmektedir. Bu hatların büyük bir bölümü harici ortamda olduğu için iletim kayıplarındaki düşüş ile toplam sistem

kaybında %15'i aşan azalma beklenmektedir. İletim kayıplarının düşmesi ile yıllık 1.386 ton CO_2 salınım azaltımı sağlanmaktadır.

5.7.2.3 Sonuç

Hem kazan verimlilikleri hem de iletim kayıplarının değişmesi ile bu projede orta vadeli salınım düşümü sağlanmış olacaktır. Mevcut durumdaki buhar sisteminin kayıpları Şekil 5.28'de gösterildiği üzere %30-35 mertebesindedir.



Şekil 5.28 : Merkezi buhar sistemi kayıp oranı.

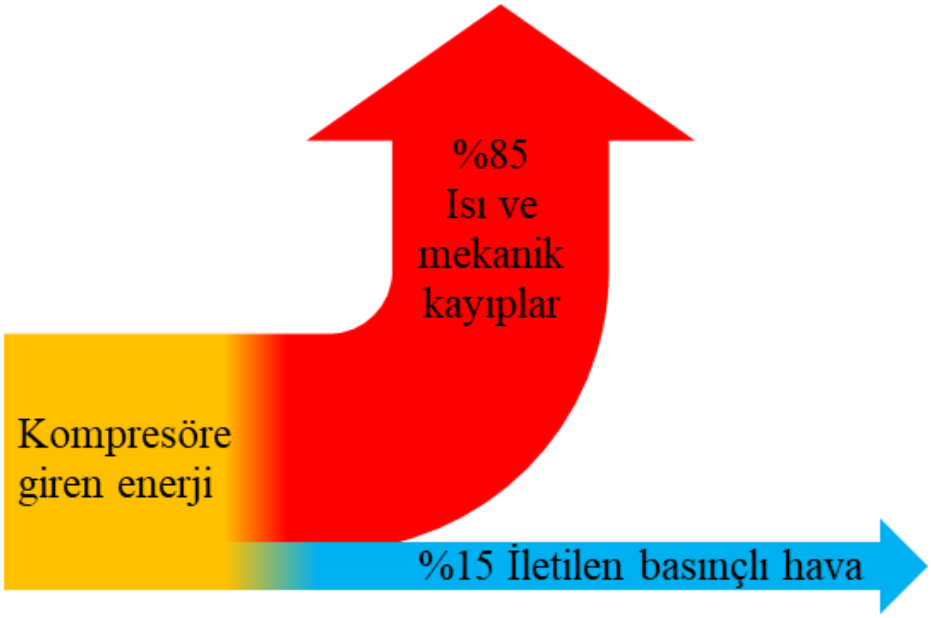
Merkezi buharla ısıtma sisteminin lokal sıcak su ile ısıtma sistemine dönüştürülmesi süreci tamamlandığında ilgili süreçte %23 verimlilik artışı öngörülmektedir. Bunun karbondioksit salınımına olumlu etkisi yıllık 2.125 ton CO_2 olacaktır. Bu azalma sayesinde toplam salınımın %3,5'i; doğalgaz tüketimi kaynaklı salınımın ise %10,1'i ortadan kaldırılmış olacaktır. Tesiste yüksek sıcaklıkta buhar ihtiyacının olduğu noktalarda ise sıcak su kazanları ihtiyacı karşılayamamaktadır. Uzun vadeli projeksiyonda bu noktalarda direkt yakma teknolojilerinden yararlanılması öngörülmektedir. Direkt yakma teknolojilerinde ise bioyakıt kullanımı sayesinde direkt fosil yakıt tüketimine göre çevreci bir yaklaşım benimsenecektir.

5.7.3 Basınçsızlaştırma dönüşümü

İncelenen basınçlı hava kullanım uygulamalarında, yapılan 1 kWh iş için 7-8 kWh arasında enerji tüketildiği bir çok çalışma tarafından ortaya konulmuştur [59]. Bu durum kullanılan makine ve sistemlerin verimlilik durumuna ve basınç mertebesine göre farklı değerlere erişebilmektedir. Netice itibariyle basınçlı havanın üretilip

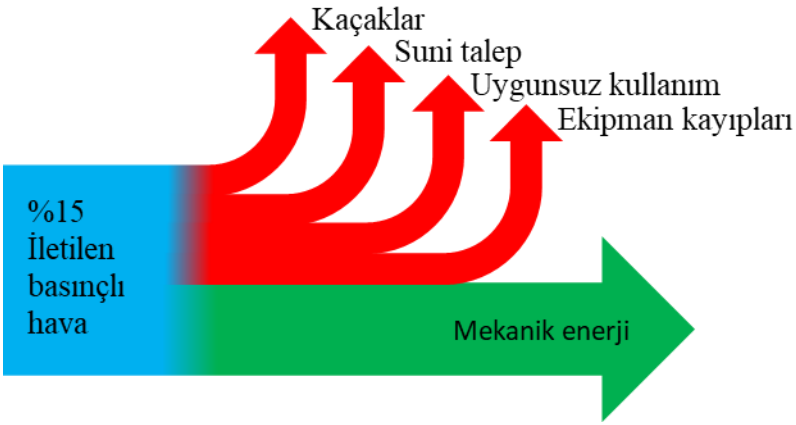
kullanılması çevreye büyük olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca işletmeler için de önemli kullanım maliyetlerine sebep olmaktadır. Öte yandan pnömatik sistemlerin dayanıklılığı, servis, montaj ve bakım kolaylığı, yanma veya patlama riski içermemesi ise bugüne kadarki süreçte basınçlı hava sistemlerini yaygın kullanır hale getirmiştir [60].

Kompresörün basınçlı hava üretim sırasında tükettiği enerjinin %85'inin ısıya dönüşmesi söz konusudur (Şekil 5.29) [61]. Kompresör, kurutucu ve soğutma sistemi birlikte incelendiğinde ise enerjinin %94'ünün ısıya dönüştüğü tespit edilmiştir. Bu ısının ise %6'sı sıkıştırılan havaya aktarılırken %94'ünün teorik olarak geri kazanımı mümkündür [62]. Öte yandan uygulamada %75'in geçilmesi pek mümkün olamamaktadır [63].



Şekil 5.29 : Basınçlı hava üretiminde ısıya dönüşme.

Hatta iletilebilen basınçlı havada ise kayıplar devam etmektedir. Bu kayıpların başında kaçaklar gelir. Uygulama kısmında operatörlerin basınçlı havayı temizlik veya serinleme gibi amaç dışı kullanımları da ayrı bir israf noktası oluşturmaktadır. İhtiyaç fazlası basınç üretilmesi ise suni talep olarak isimlendirilebilir. Kullanım aşamasındaki bu kayıplar üretilen enerjinin yarısının israfa dönüşmesine yol açabilir [64]. Bu kayıplara bir de kullanım noktasındaki pnömatik ekipmanların kayıpları eklendiğinde kullanılan elektrik enerjisinin ihtiyaç olan mekanik enerjiye dönüşümünün %7,5'e kadar inmesi söz konusu olabilir (Şekil 5.30).



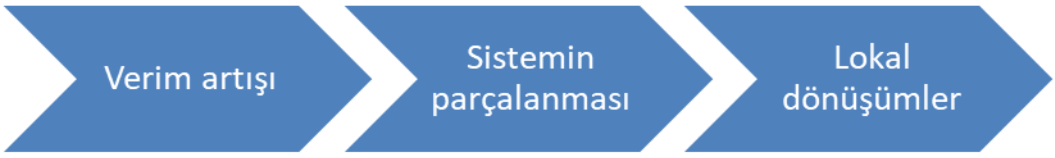
Şekil 5.30 : Üretilen basınçlı havanın mekanik enerjiye dönüşümü.

Basınçlı hava sistemi bütün olarak ele alındığında enerji israf türlerinin tümünü azımsanmayacak ölçülerde barındırabilen ender kompleks sistemlerdendir. Üretim tesisindeki süreçlerin basınçlı hava gereksinimini ortadan kaldırarak yapılacak "basınçsızlaştırma dönüşümü" sayesinde kompresörden kullanım noktasına kadar olan tüm iletim, rezerv, verimsizlik, boşa çalışma, ihtiyaç fazlası, dönüşüm ve arıza israflarında önemli düşüş ön görülmektedir. Elimine edilmesi öngörülen israflar ve buna karşılık gelen örnekler Çizelge 5.5'te ifade edilmiştir.

Çizelge 5.5 : Enerji israflarının basınçlı hava sistemindeki karşılıkları.

İsraf türü	Basınçlı hava sistemi örnekleri
İletim	Akışkanın uzun veya yetersiz çaptaki basınçlı hava hatlarındaki sürtünme ve türbülans kayıpları
Rezerv	Tüm hatların, basınçlı hava tanklarının, genleşme tanklarının, küçük kullanımlar için dahi hazır basınçlı tutulmasının gerekmesi, tam zamanında tedarik (JIT) olanağının düşük olması
Verimsizlik	Kompresör, kurutucu, sirkülasyon pompası, soğutma kulesi, kompanzasyon veya harmonik filtre sistemi ve son ekipman verimsizlikleri
Boşa çalışma	Üretim zamanı dışında basınç tedariğinin devam etmesi, tamamen kapatma yapılamaması, amaç dışı kullanımlar
İhtiyaç fazlası	Tek hattan beslenen birden fazla ekipman olduğunda basıncın en büyük ihtiyaca göre belirlenmesi, birçok ekipmana gerçek ihtiyacının üstünde basınç sağlanması
Dönüşüm	Elektrikten nihai kullanım noktasındaki mekanik enerjiye dönüşümün ara kademelerinde, elektrik, mekanik, ısı, kinetik ve potansiyel enerjiler arasında defalarca dönüşüm söz konusudur.
Arızalar	Basınçlı hatlarda, hatların veya ekipmanların bağlantı noktalarında kaçaklar olması, kompresör, motor veya sistem içindeki yataklama arızaları kaynaklı israflar oluşması

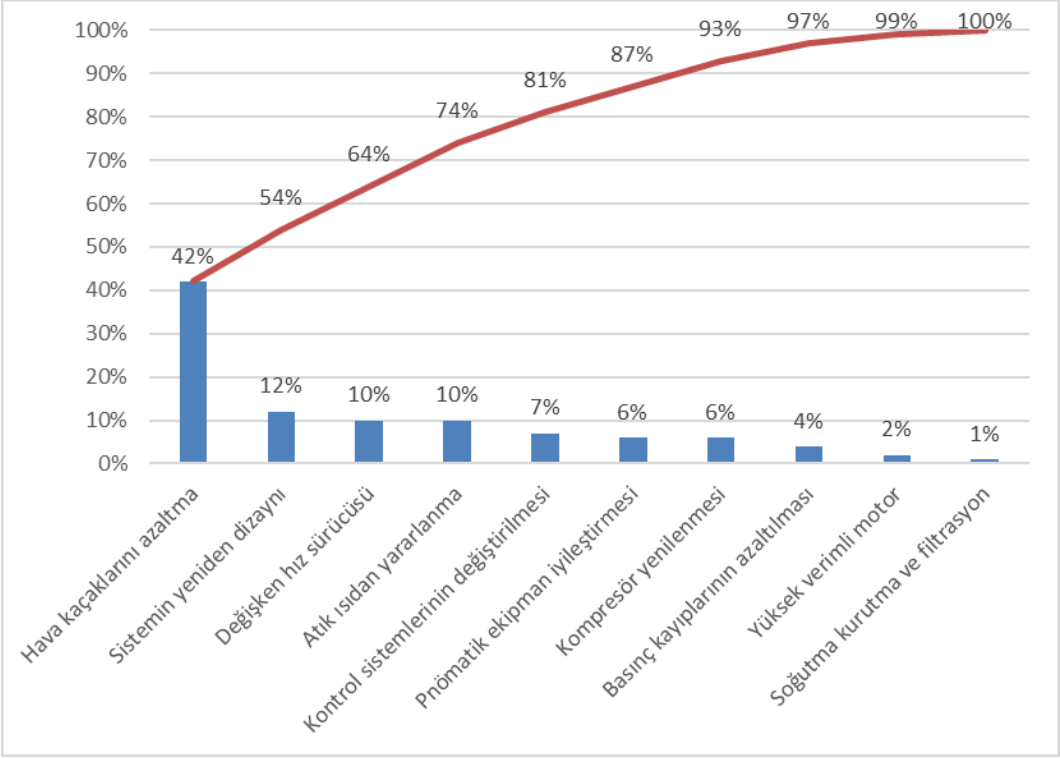
Basınçsız fabrikaların tesis edilmesi uzun dönemli bir süreç iken kısa vadeli ilk aşamada mevcut sistemlerin verimlilik artışı, orta vadeli ikinci aşamada sistemin bölünüp küçük parçalara ayrılması, uzun vadeli son aşamada ise lokal dönüşümler hedeflenmektedir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 : Havasızlaştırma yol haritası.

5.7.3.1 Verim artışı

Havasızlaştırma yol haritasında belirtilen adımlardan ilki olan verim artışını incelemek için kayıplara odaklanılması gerekir. AB normlarına göre uygulanabilir tasarruf olanakları Şekil 5.32'de gösterildiği gibidir. Burada ifade edilen kayıpların nihai elektrik dönüşümü gerçekleşinceye kadarki süreçte yakından takip edilmesine devam edilmelidir.



Şekil 5.32 : Uygulanabilir tasarruf olanakları pareto analizi.

Basınçlı hava sistemlerindeki kayıp noktalarının tespiti bir çok çalışmada değinilen ve sahadaki enerji etütlerinde ilk olarak odaklanılan konuların başında gelir. Hava kaçakları ile birlikte doğru hat basıncının belirlenmesi veya doğru hat basıncına dönüşüm, motor ve kompresör verimliliğinin yükseltilmesi, kompresör işletmesinin vidalı veya turbo kompresörler arasında optimize edilmesi gibi konular benzer çalışmalarda sıklıkla gündeme gelmektedir.

5.7.3.2 Sistemin parçalanması

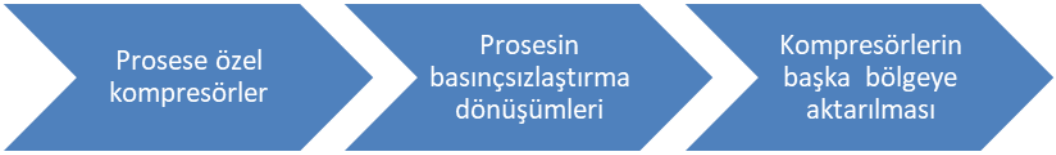
Dönüşümün orta vadeli ikinci aşaması merkezi sistemlerin parçalanarak lokalleştirilmesidir. Bunun başlıca faydalarından birisi uygun hat basınçlarının ilgili süreçlere özel olarak, yeteri kadar üretilecek olmasıdır. Bir diğer fayda kısmi ihtiyaçlar için bile tüm sistemin basınçlandırılmasından kaçınılacak olunmasıdır. Son olarak da bu sayede uzun vadeli basınçsızlaştırma faaliyetleri yönetilebilir parçalara ayrıştırılmış olacaktır.

Pnömatik bölümler içeren ekipmanların çalışma basınçları büyük farklılıklar gösterebilir. Örneğin bir havalı tork tabancası 6.3 bar basınçta çalışırken, robotik bir sistem için 8 bar gerekiyor olabilir. Bu durumda merkezi bir kompresörün üreteceği basıncın, hat kayıpları ve toleranslar da göz önünde bulundurularak, en yüksek gereksinime göre seçilmesi gerekir. Bu da bu örneğe göre 8-9 bar aralığında bir basınç üretilmesi anlamına gelir. Halbuki basınç yükseldikçe tüketim artar. Bu sistemlerde küçük basınçlı ekipmanlar için basınç regülatörü olarak genleşme vanaları kullanılır. Bu ara noktalardaki basınç düşürme işlemi büyük israf anlamına gelir. Dolayısı ile daha küçük basınca ihtiyaç duyan ekipmanlara yeteri kadar basınç üreten kompresörlerin kullanılması enerji tüketiminin ve dolayısı ile karbondioksit salınımının azaltılmasındaki faydaların başında gelir.

Bir üretim tesisinde bazı prosesler sürekli devrede olmayabilir. Bazen de üretim faaliyeti dışında bakım, onarım, temizlik gibi operasyonlar sürdürülür. Böyle bir durumda basınçlı havaya ihtiyaç duyulması halinde yine tüm sistemin basınçlandırılması gerekebilir. Bunu kısmen azaltmak için mevcut durumda yapılan uygulamalardan biri hatların vanalarla bölümlere ayrılmasıdır. Bu sayede ihtiyaç duyulmayan bazı büyük bölümlerin basınçlı hava tesisatı branşların girişlerindeki vanalardan kapatılarak basınçlandırılmaması sağlanabilir. Fakat bu durum uygulamada çok verimli olmamaktadır. Bir çok operasyonlarda bütün ana arterlerin

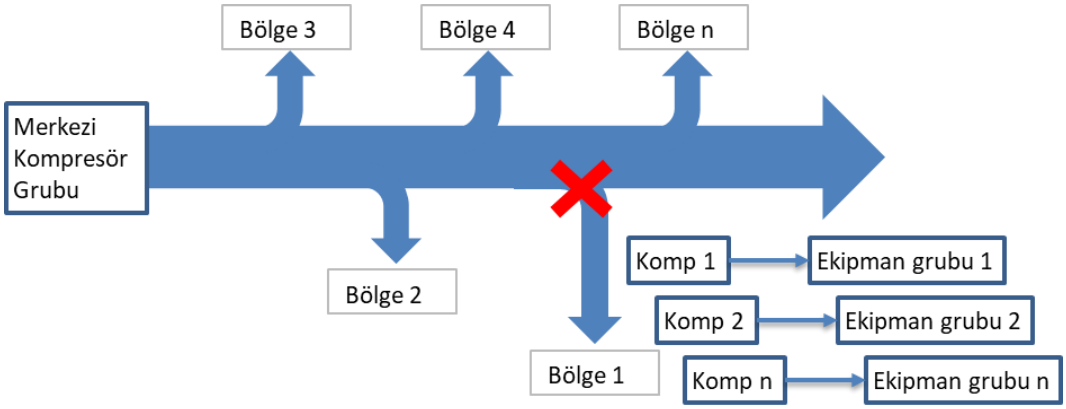
basınçlandırılmasına gereksinim duyulmaktadır. Merkezi sistemlerin parçalanması, sadece ihtiyaç duyulan bölgelere özel basınçlı hava üretimini mümkün kılacaktır.

Orta vadeli hedefin son katkısı ise sonraki aşamaya olanak sunmasıdır. Tesisin direkt elektrik ile çalışan ekipmanlarla değiştirilmesi ancak her bir prosese özel çalışmaların yapılması ile mümkün olacaktır. Lokalleştirilmiş kompresörlerin tüm üretim tesisi için alınması büyük bir finansal yük getireceği için yol haritası şekil 5.33'teki gibi belirlenmiştir.



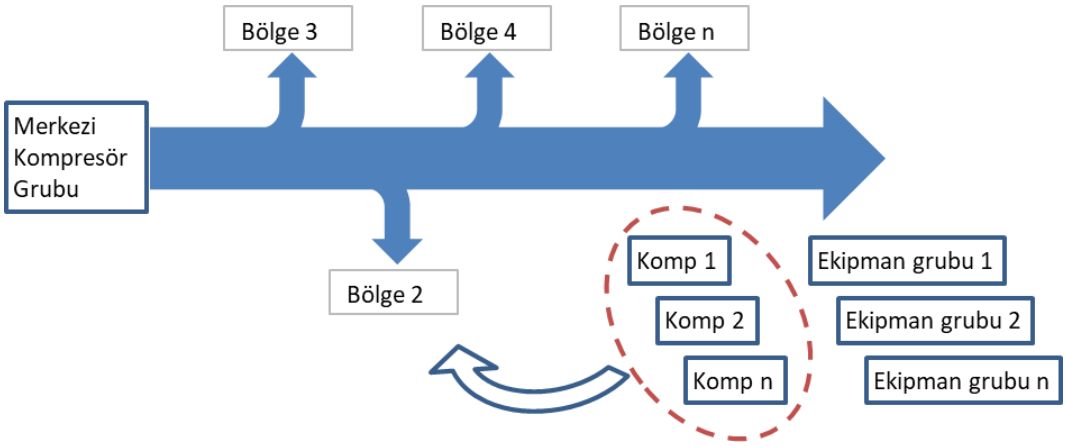
Şekil 5.33 : Basınçlı hava sisteminin dönüşüm stratejisi.

Bu stratejiye göre ana hattan beslenen tali bir bölge seçilir. İlk aşama olarak bu bölgenin lokal kompresörlere göre tasarımı yapılır. Ana hattan ayrılan bölge daha spesifik olarak basınçsızlaştırma dönüşümüne tabi tutulur (Şekil 5.34).



Şekil 5.34 : Basınçlı hava sistemi bölgesel dönüşüm örneği.

Bölge 1'deki ekiman gruplarının direkt elektrik tüketen veya başka alternatif ekipmanlara dönüşümü tamamlandıktan sonra buradaki lokal kompresörler boşa çıkacaktır. Böylece boşa çıkan kompresörler bir sonraki bölge için kullanılabilir hale gelecektir (Şekil 5.35).



Şekil 5.35 : Dönüşümde lokal kompresörlerin kullanım stratejisi.

Bu sayede her bir bölge, daha az yatırım maliyeti ile ve daha kontrol edilebilir şekilde dönüştürülmüş olur. Bölgelerin ihtiyaç duyduğu ana hava beslemesi ortadan kalktıktan sonra merkezi kompresör grubu tamamen devre dışı kalabilir. Eğer hava ihtiyacı sıfırlanamamış, bazı süreçlerde dönüşüm gerçekleştirilememişse de lokal kompresör kullanımı ile faaliyet sürdürülebilir.

5.7.3.3 Dönüşüm

Yapılacak bu dönüşüm sayesinde tüketilen enerjinin gerçek işe dönüşme oranının %90'ın üzerine çıkarılması hedeflenmektedir. Elektrikli ekipmanların yüksek verimleri, ilave dönüşüm, iletim, ihtiyaç fazlası, boşa çalışma ve kaçak gibi arıza israflarının düşük olması önemli avantajlar sağlayacaktır. Elektrikli ekipmanların dur-kalk çalışmalarda sadece tüketim anında sarfiyata dönüşmesi ve bu sayede basınçlı olarak hazır bekletilmesi gereken hava hatları gibi unsurlar barındırmayarak rezerv israfının düşük olması da sistem sarfiyatının düşürülmesine hizmet edecektir. Kablolu ve alternatif akımla çalışan ekipmanlar için verim çok daha yüksekken iş güvenliği gereği bazı durumlarda düşük gerilimli doğru akım veya akülü kullanım gerekecektir. Bunlarda basınçlı havadaki kadar olmasa da yine dönüşüm ve akü teknolojisine bağlı olarak rezerv israflarından bahsedilebilir.

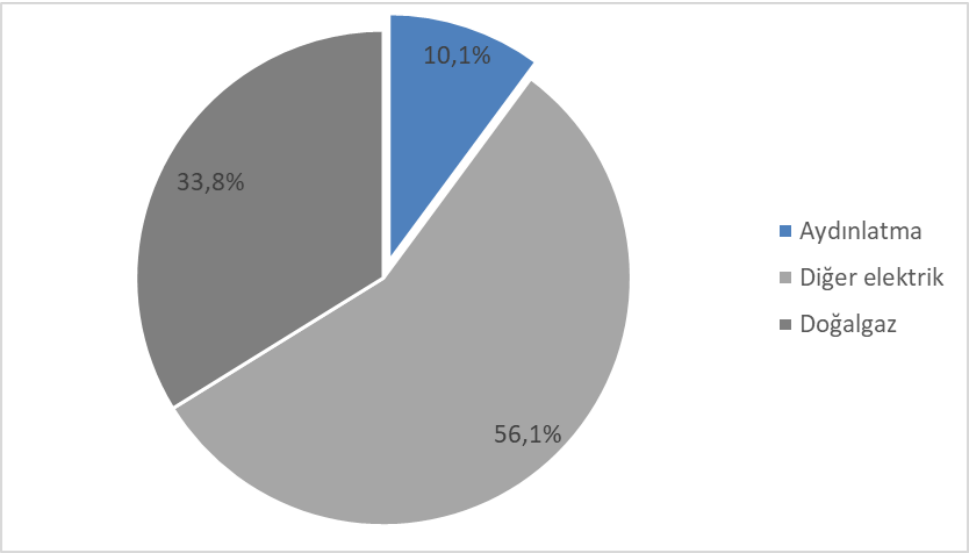
Bu dönüşüm, incelenen tesisin büyük bölümünde uygulanabilir durumda iken, bazı özel bölümlerde yangın ve patlama riski dolayısı ile patlamaya ve kıvılcım üretmeye karşı korunmuş (exproof) ürün kullanımı gerekmektedir. Örneğin havalı karıştırıcı veya havalı pompa kullanılan, yanıcı kimyasal içeren süreçlerde direkt elektrikli ekipman kullanımı teknik olarak incelenmeye devam edilmektedir. Eğer

test edilmiş uygun bir teknoloji bulunamazsa tesiste hava kullanımı uzun vadede de tamamen sıfıra indirilemeyebilir.

Mevcut durumda basınçlı hava kaynaklı karbondioksit salınımı 5.438 ton CO_2/yıl iken, dönüşüm sayesinde verim %77 düzeyinde yükselecektir. Yapılan fizibiliteye göre, basınçsızlaştırma dönüşümü sayesinde salınımın 544 ton CO_2/yıl mertebesine düşürülmesi öngörülmektedir. Bu uzun vadeli proje sayesinde üretim tesisindeki toplam salınımda %8,0'lık azalma sağlanması imkanı vardır.

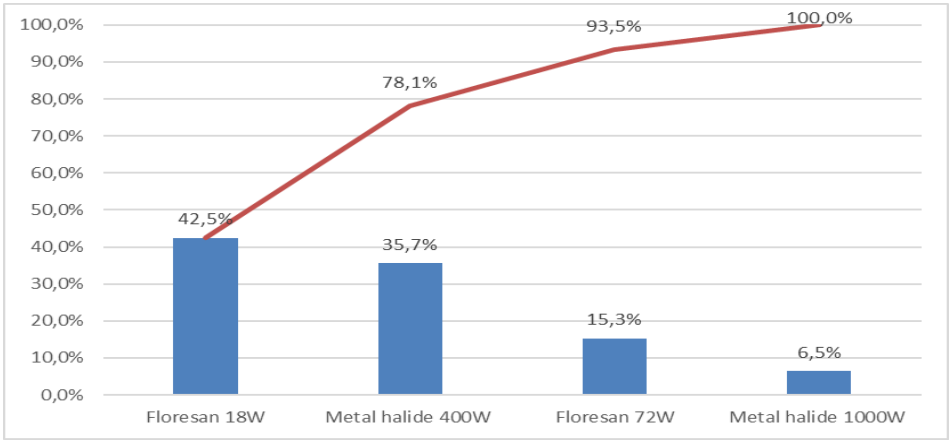
5.7.4 Aydınlatma yönetimi ve LED dönüşümü

Aydınlatma kaynaklı enerji tüketimi, endüstriyel üretim yapan tesisler için kısmen küçük sayılabilecek oranlara karşılık gelse de ofis çalışması ağırlıklı iş merkezlerinde güç tüketiminde büyük paylar alabilirler. İncelenen tesiste ise konvansiyonel tekniklerle yapılan aydınlatmanın, direkt elektrik kullanımının %15,3'lük kısmını oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu da toplam enerji tüketiminin %6,5'ine denk gelmektedir. Öte yandan karbondioksit salınımına etkisi azımsanmayacak boyuttadır. Yapılan çalışmaya göre aydınlatma ihtiyacı kaynaklı yıllık karbondioksit salınımı 6.182.877 kg CO_2'dir ve toplam salınımın %10,1'ine karşılık gelir (Şekil 5.36). Yapılacak iki boyutlu iyileştirmenin biri doğru zamanda doğru yerin yeteri kadar aydınlatılması ile israfın önlenmesi olacaktır. İkinci boyut ise armatürlerin verimli yeni teknolojilerle değiştirilerek tüketimin azaltılmasıdır. Ayrıca, aydınlatma çalışmaları herkes tarafından görünür bir uygulama olduğu için tüm personele mesaj vermesi açısından da önemlidir.



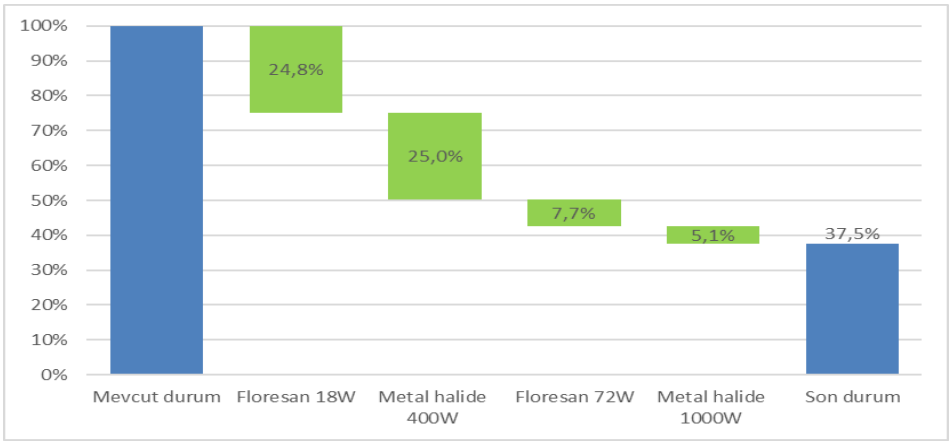
Şekil 5.36 : Aydınlatmanın karbondioksit salınımındaki payı.

Aydınlatma armatürü çeşitlerine göre yapılan inceleme sonucunda yükün büyük bölümünün yaygın kullanımı olan küçük güçlü kapalı ortam lambalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu lambaları büyük güçlü yüksek tavan aydınlatma armatürleri takip etmektedir. Lambaların türlerine göre bir önceliklendirme yapılacak olursa Şekil 5.37'deki tüketim boyutları yol gösterici olacaktır.



Şekil 5.37 : Dönüşüme tabi tutulacak armatürlerin CO_2 salınımına etkilerini gösterir Pareto analizi.

Konvansiyonel aydınlatma armatürlerinin aynı ışık akısını sağlayacak LED armatürlere dönüştürülmesi sayesinde 1000W gücündeki metal halide lambalar 225W LED lambalar ile; 400W'lık metal halide lambalar ise 120W LED lambalar ile değiştirilecektir. Ofis ortamında kullanılan 72W floresan armatürler 30W LED; muhtelif yerlerde kullanılan 18W kompakt floresan veya floresan lambalar ise 9W LED lambalarla değiştirilecektir. Yapılan fizibiliteye göre, mevcut durumda salınıma etkisi ikinci sırada olan 400W armatürlerin dönüşümünde elde edilecek salınım azaltımı diğerlerinden yüksek çıkmıştır (Şekil 5.38).

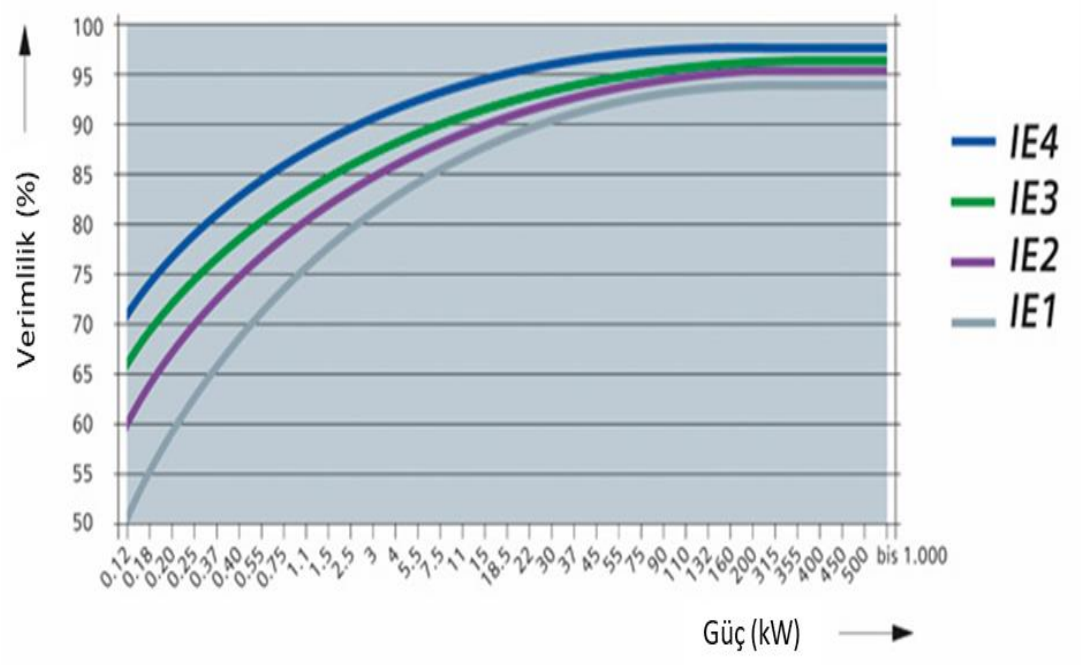


Şekil 5.38 : Aydınlatma dönüşümünün karbondioksit salınımına etkisi.

Şekil 5.38'de gösterildiği üzere, konvansiyonel aydınlatmanın LED'e dönüştürülmesindeki potansiyel salınım azalımı 3.862 ton CO_2 / yıl 'dır. Bu da fabrikanın toplam salınımının %6,3'üne karşılık gelmektedir.

5.7.5 Motor, pompa ve fan verimliliğinin arttırılması

Dünya genelinde elektrik enerjisinin %43 - 46'sı elektrik motorları tarafından tüketilmektedir. Endüstriyel elektrik enerjisi kullanımının ise %69'luk kısmını elektrik motorları oluşturmaktadır [65]. Pompaların ise motor kaynaklı elektrik tüketiminin %25-30'luk kısmını oluşturduğu tahmin edilmektedir [66]. Pompa ve elektrik motorlarının verimlilik dönüşümleri ile küresel enerji tüketiminin önemli ölçüde düşürülmesi ve bunun da büyük ölçüde CO_2 salınım azaltımı sağlaması söz konusudur. Bu nedenle elektrik motorlarının gerek direkt kullanımları gerekse bir sistem ile birlikte kullanımları konusunda verimlilikleri önemle dikkate alınmalıdır. Artan farkındalık sayesinde motor verimlilikleri konusundaki standartlar da geliştirilmektedir. Bir önceki versiyonunda 3 verimlilik sınıfı barındıran IEC 60034-30:2008 standardının yürürlükten kalkıp yayınlanan yeni versiyonunda 4'üncü verimlilik sınıfını tanımlaması bu bağlamda önemlidir [67]. Bu standarda göre motor verimlilikleri Şekil 5.39'da olduğu gibi belirlenmiştir.



Şekil 5.39 : 4 kutuplu 50 Hz motor verimlilik sınıfları [68].

Motor verimliliğinin önemi mali açıdan da incelemeye değerdir. Bir elektrik motorunun ömür boyu maliyeti incelendiğinde yapılan harcamanın %2'sinin satınalma maliyeti, %2'sinin bakım ve tamir maliyeti olduğu ortaya çıkmaktadır. Geriye kalan %96'lık maliyeti motorun kullanılırken tükettiği enerji oluşturmaktadır [69]. Maliyet açısından bakıldığında da motor verimliliğinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın odak noktası olan karbondioksit salınımı incelendiğinde ise tesisteki motor kullanımı CO_2 salınımının %35,5'lik kısmına karşılık gelmektedir.

Yapılacak iyileştirmeler ise motorların kullanım şekillerine göre tespit edilmiştir. Sürekli devrede olan ve nominal yükünde çalışan motorlar için en önemli olan husus verimliliğin yüksek olmasıdır. Tesisteki bazı sirkülasyon pompalarının motorları veya sadece motor olarak çalışan konveyör sistem motorları buna örnek olarak verilebilir. Boya tesisindeki yıkama suları, endüstriyel su hazırlama tesisindeki sular, arıtma tesisindeki sular veya kaynak tesisinin soğutma sistemindeki sular sürekli çalışma halinde olan pompa motorlarıyla yönetilmektedir. Burada pompa verimliliği pompa ve motor olarak bir bütün halinde incelenebilir fakat bazı durumlarda pompanın sadece tahrik motorları da değiştirilebilmektedir. Montaj ve boya tesislerindeki konveyör motorları da yine üretim operasyonu boyunca aralıksız çalışan motorlara örnektir. Bu motorların verimliliği, ihtiyaca göre devreye giren motorlara göre daha öncelikli durumdadır.

Verimlilik değerleri motorun kullanım süresine, geçirdiği bakım ve sarım işlemlerine göre farklılık gösterebilir. Örneğin, sargıları yandığı için yeniden sarım yaptırılmış motorlarda verimliliğin yaklaşık %2-3 dolaylarında düştüğü gözlemlenmektedir. Yapılan bir denemede, sarım öncesi verimliliği %95,9 olan 315kW gücündeki bir motorun, tamir sonrası veriminin %93,9 olduğu tespit edilmiştir. Bu motorun yılda 300 gün 24 saat çalışması durumunda sebep olacağı ilave salınım 25,3 ton CO_2/yıl olacaktır. Bu nedenle özellikle tamire gönderilmiş bir motorun mutlaka kalibre edilmiş test cihazlarında verimlilik testleri yaptırılmış olmalıdır.

Motor verimliliği çıkıştaki mil gücünün girişteki elektrik gücüne bölünmesi ile Denklem 5.13'te olduğu gibi hesaplanır. Bu iki güç arasındaki başlıca kayıplar ise Denklem 5.14'te belirtildiği üzere stator kayıpları, rotor kayıpları, demir kayıpları, sürtünme ve vantilasyon kayıpları ile düşük oranda kaçak akı kayıplarıdır. Genelde

stator sargıları yandığı için sarılan motorlarda verim düşüşünün başlıca sebebi de stator kayıplarıdır. Bu kaybı rotor ve sürtünme kayıpları takip eder.

$$\mu_{motor} = \frac{P_{mil}}{P_{elk}} \tag{5.13}$$

μ_{motor}: Motor verimi

P_{mil}: Mil (çıkış) gücü

P_{elk}: Elektrik (giriş) gücü

$$P_{mil} = P_{elk} - P_{Cu} - P_{rotor} - P_{Fe} - P_{srtv} - P_{ka} \tag{5.14}$$

P_{cu}: Stator (bakır/sargı) kayıpları

P_{rotor}: Rotor kayıpları

P_{Fe}: Demir kayıpları

P_{srtv}: Sürtünme ve vantilasyon (fan) kayıpları

P_{ka}: Kaçak akı kaybı

Pompalar elektrik motoru ile tahrik edilen mekanik sistemlerdir. Bir pompa sistemi hem motor verimliliği hem de pompa verimliliğinden etkilenir. Pompalar ise motora göre daha fazla mekanik sürtünme içerdiği için verimlilikleri daha düşüktür. Pompalardaki verimlilik hesaplanırken çıkıştaki hidrolik gücün pompa miline aktarılan güce oranı Denklem 5.15'te belirtildiği şekilde hesaplanır.

$$\mu_{pompa} = \frac{P_{hidr}}{P_{mil}} \tag{5.15}$$

μ_{pompa}: pompa verimi

P_{hidr}: hidrolik (çıkış) gücü

P_{mil}: Elektrik motorundan çıkan şaft gücü

Bu verim hesabından da anlaşılacağı üzere bir pompa sistemi için hem elektrik motorunun verimi hem de pompanın verimi söz konusudur. Dolayısı ile yapılan enerji analizinde motor ve pompa kısmı birlikte incelenmiştir. Pompanın çıkışındaki hidrolik gücün hesabı ise suyun yoğunluğu, debi, basma yüksekliği ve

yerçekimi sabitine bağlıdır. Pompanın çıkışındaki güç Denklem 5.16'da gösterildiği gibi hesaplanabilir.

$$P_{hidr} = Q * H * p * g \tag{5.16}$$

Q: debi

H: basma yüksekliği

p: özgül ağırlık

g: yerçekimi ivmesi

Motor, pompa ve fanlarda verimli ekipman alımından başka yapılacak bir diğer iyileştirme konusu hız sürücülerinin kullanılmasıdır. Ekipman verimliliği bir çok sistem için büyük öneme sahipken bazı durumlarda hız kontrolü çok daha önemli olabilmektedir. Nominal yükünde sürekli çalışmayan motorların ihtiyaçtan fazla çalıştırılması veya motorların dur-kalk yaptırılarak çalıştırılması veya motorlar tam yükte çalıştığı halde sistemlerdeki bir takım mekanik engeller ile çıkış gücünün ihtiyaca göre düşürülmesi büyük verimsizliklere sebep olur. Böyle durumlar için frekans konvertörlü hız sürücüleri önerilmektedir. Bu sürücüler motorun elektriksel enerji girdisini kısarak çıkış gücünü kontrol ederler.

Örneğin tesisteki bir soğutma suyu sirkülasyon sisteminde 4 adet pompa kullanılmaktadır. Bu pompalardan 3 tanesi yaz aylarında sürekli devrede, 1 tanesi ise kış aylarında sürekli devrede kalmaktadır. Bunların haricindeki 1 adet pompada ise hız sürücüsü bulunmaktadır. Bu sürücü, sistemdeki gidiş – dönüş suyunun sıcaklıklarını kontrol ederek ihtiyaç oranında devreye girmektedir. Bu sayede verimli pompa – motor kullanımına ek olarak ihtiyaç kadar tüketimin sağlanması ile büyük tasarruf sağlanabilmektedir.

Yapılan analizde motorların verimli olan serilerle değiştirilmesi ve frekans konvertörlü sürücülerle hız kontrolüne tabi tutulmasının sağlayacağı fayda incelenmiştir. Motorlarıyla birlikte ele alınan pompa sistemlerde verimliliklerin önemli bir bölümün %25-50 verimlilik aralığında çalıştığı tespit edilmiştir. Nispeten daha iyi durumda olan sistemlerde ise verimliliklerin %60-65 dolaylarında olduğu tespit edilmiştir.

Verimliliği %60 altında olan pompa sistemleri iyileştirme kapsamına alınmıştır. Fan motolarında ise verimliliği %65 altında olan sistemler çalışma kapsamına alınmıştır. Hareket sistemlerinde kullanılan ve üretim esnasında sürekli çalışma halinde olan motorlarda ise motor verimlilik sınıfı IE2'yi sağlamayan ve sarım gördüğü için verimi düşmüş tüm büyük güçlü motorlar çalışma kapsamına alınmıştır.

Tesiste pompa, fan ve hareket sistemlerinde kullanılan 24 motorda ve bağlı oldukları sistemde yapılan çalışmaya göre yıllık 2.241.080 kWh iyileştirme olanağı tespit edilmiştir. Bu sayede 1.071 ton CO_2 / yıl salınım azaltımı mümkündür.

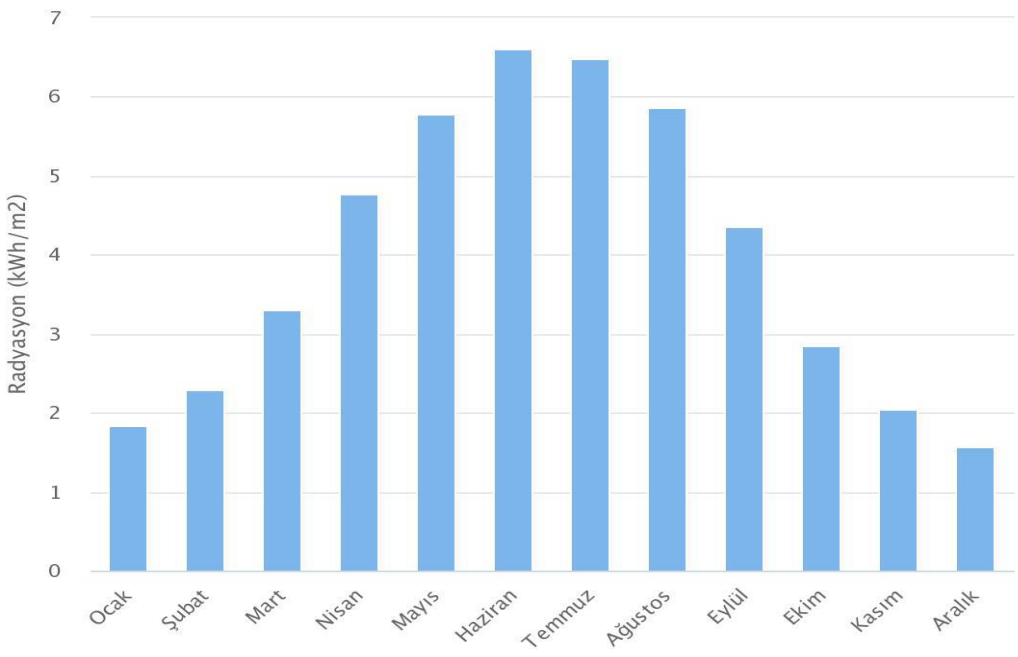
5.7.6 Yenilenebilir enerji kullanımı

Enerji ihtiyacının minimize edilmesine ve enerji sistemlerindeki iyileştirmelere paralel yürütülmesi gereken yenilenebilir enerjilerin entegrasyonu süreci, sıfır karbondioksit yaklaşımının 3'üncü boyutunu oluşturur. Bu kapsamda yapılacak fizibiliteler ve çizilecek yol haritasına göre entegrasyon etap etap ilerletilmelidir. Bu çalışma kapsamında rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji kaynakları incelenememiştir. Fakat uygulamanın ilerideki aşamalarında rüzgar ve jeotermal potansiyelin de incelenerek projeksiyona dahil edilmesi söz konusu olabilir.

5.7.6.1 Fotovoltaik

Modellenen faaliyet ölçeğindeki tesisin 650.000 m^2 üzerine kurulu olacağı varsayılmıştır. Üstü kapatılamayacak yollar, yeşil alanlar, çatılarda taşıma kapasitesinin yeterli olmadığı veya gölgede kalan alanlar elverişli olmayan alanlar olarak değerlendirilecektir. Öte yandan otopark gibi bölgelerin, daha sonra inşa edilecek çelik konstrüksiyonlar ile çatısı olan binalara dönüştürüleceği ve fotovoltaik kurulumuna elverişli hale getirileceği kabul edilmiştir.

Kurulum müsaitlik faktörleri göz önüne alındığında kurulu alanın yaklaşık %55'inin fotovoltaik panel kurulumuna elverişli olacağı varsayılmıştır. Böylece fotovoltaik panel kurulum yapılabilecek alan 357.500 m^2'ye karşılık gelmektedir. Fizibilite yapılacak bölgede güneş potansiyelinin değerlendirilmesi sonucu yıllık radyasyon değerleri Şekil 5.40'da verilmiştir [70].



Şekil 5.40 : Kocaeli ili aylık ortalama radyasyon dağılımı.

Radyasyon ile birlikte spesifik alanların güneşlenme süreleri ve panel kurulum açısı da dikkatle ele alınmalıdır. Eğik yüzeylerde güneşlenme hesaplamaları yapılarak enerji ile maliyet arasında optimum veya enerji çıktısının ihtiyacı karşılayacak düzeye ulaşacağı çözümlere karar verilmelidir.

Kocaeli ilinin düz yüzeydeki yıllık ortalama güneş radyasyonunun 1.332 kWh/m^2 olduğu tespit edilmiştir [71]. Mevcut durumda kullanılması ön görülen panellerin verimliliği %18.8'dir. Öte yandan 3'üncü nesil fotovoltaik teknolojilerinde 2030 sonrasında %30-40' bandında verimliliklerin yakalanması beklenmektedir [72] [73] [74]. Yatırım geri dönüş süresinin minimum olacağı yerleşim düzenine göre 54 MW kurulu gücünde yılda 65 GWh enerji elde edilmesi öngörülmektedir. Fakat bu değer tesisin enerji ihtiyacını karşılamaya yetmeyeceği için ikinci öneri panellerin eğim açılarının azaltıldığı doğu-batı yerleşimidir. Böylece birim alana düşen panel sayısı artarak toplam enerji üretimi artırılacaktır. Fakat bu durumda panel başı enerji üretimi düşeceği için finansal geri ödeme daha uzun çıkacaktır.

Toplam kurulum alanındaki enerji üretiminin maksimize edilmesi durumunda 78 MW kurulu güce ulaşılması ve yılda 87 GWh enerji elde edilmesi mümkün olacaktır. Hem fotovoltaik sistemlerden elektrik enerjisinin elde edilmesi hem de tesisin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyacı yıl içinde değişkenlik göstermektedir. Bu

nedenle bu projeden elde edilecek enerjinin uygun koşullarda saklanması, dönüştürülmesi ve ulusal elektrik şebekesi ile alışveriş içinde olması gerekecektir.

Yapılan projeksiyonda ise 30 yıl sonraki fotovoltaik üretim ihtiyacının 75 GWh olacağı öngörülmektedir. Fotovoltaik teknolojisindeki verimin geleceği nokta ve tesisin enerji ihtiyacının azaltılabileceği seviye zaman geçtikçe daha iyi kestirilebilir hale gelecektir. Buna göre fotovoltaik panel kurulumu konusunda doğu-batı veya kuzey-güney yerleşimine sürecin ilerleyen kısımlarında daha net karar verilebilir. Yapılacak optimizasyona göre yatırım maliyetinin düşürülmesi imkanı vardır.

5.7.6.2 Solar duvar

Fizibilitesi yapılan bir diğer yenilenebilir enerji entegrasyonu çalışması da solar duvardır. Patentli bir ürün olan bu teknoloji sayesinde güneş enerjisinin direkt ısıya çevrilmesi mümkündür. Güneşten elde ettiği enerjiyi taze hava kullanarak ortama veya prosese aktaran solar duvar ile ortam ısıtması, soğutması, proses ısısı ve kullanım sıcak suyu sağlanması mümkündür [75].

Bu teknolojinin en önemli avantajlarından biri de enerji daha az enerji dönüşümü veya aktarımı içermesidir. Güneş enerjisi direkt olarak ısıya aktarılıp taze hava beslemesinde havaya aktarılır. Böylece mevcut durumda gaz yakıcılar ile ısıtılmakta olan süreçte yakma faaliyetinin küçültülmesine olanak sağlar. Buradaki enerji sistemi israfının başında ise ekipman/sistem verimsizliği ile taşıma gelir. Dönüşüm israfını asgari düzeyde barındırması sayesinde ise güneşten direkt yararlanma konusunda önemli avantajlara sahiptir. Markanın kendi araştırmalarına göre ekipmanın verimi %80'e varmaktadır [76].

Sistem, hava ısıtmanın yanında, yaz aylarında bina cephesine gölgelenme sağladığı için ve ayrıca dış cephede ek bir izolasyon katkısı sağladığı için de avantaj sağlama potansiyeline sahiptir. Ancak buradaki hesaplamada sadece hava ısıtma katkısı incelenmiştir.

Yapılan incelemeye göre tesisin 200m^2'lik bir güney cephesinin bu çalışmaya uygun olması halinde yıllık 76 MWh'lik bir enerji tasarrufu söz konusudur. Bu hesaplamaya, yaz aylarında ısıtma ihtiyacı olmayacağı varsayılarak, Haziran, Temmuz, Ağustos aylarındaki sıcak hava beslemesi dahil edilmemiştir. Öte yandan bu aylardaki dış cephe gölgelenme katkısı da ihmal edilmiştir. Sistem veriminin

%72 olacağı varsayılmış, Kocaeli ili için yıllık düşey ortalama ışınım 866 kWh/m^2 alınmıştır. Bu sayede gaz yakma paylarının düşürülerek, bu ölçekteki bir uygulama ile yıllık salınım azalımının 13,7 ton CO_2'yi aşması beklenmektedir. Öte yandan daha fazla cephenin müsait olması ile uygulama yaygınlaştırılabilir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Otomotiv sektörü politik, ekonomik, sosyal, teknolojik, yasal ve çevresel dış faktörlerden etkilenmeye açık bir iş dalıdır. Bu konularda yaşanan değişimler tesislerin üretim hacimlerini de kısa sürede büyük ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir. Kuruluşlar her ne kadar bu etkenlerden etkilenmemek için proaktif tutuma sahip olsalar da tesislerin üretim hacimleri ile ilgili çok uzun süreli tahminler yapılamamaktadır. Bu nedenle çalışmanın sonuçları değerlendirilirken tesisin faaliyet ölçeğinin 30 yıl sonra da aynı kalacağı varsayılmıştır.

Bu çalışmada örneklenen uygulamaların hızlıca hayata geçirilmesi sayesinde CO_2 salınımında %23,4 düşüş elde edilebilecektir. Kalan salınıma sebep olan enerji tüketimlerinin ise yıllık 59.055 MWh elektrik ve 102.487 MWh doğalgaz olacağı tespit edilmiştir. Kuruluşların sürekli iyileştirme yaklaşımından ve teknolojik gelişmelerden gelen enerji performanslarındaki iyileşmenin bugüne kadarki trendler göz önünde bulundurulduğunda yıllık %1,5 olarak devam edeceği varsayılmıştır. Mevcut enerji kaynaklarının kullanımına devam edilmesi durumunda tesisin 30 yıl sonraki enerji ihtiyacının 37.527 MWh elektrik ve 65.126 MWh doğalgaz olması öngörülmektedir. Bu durumda tesisin regresyon analizi sonuçlarının ulaşacağı değerler ise elektrik için Denklem 6.1, doğalgaz için Denklem 6.2'de verilmiştir.

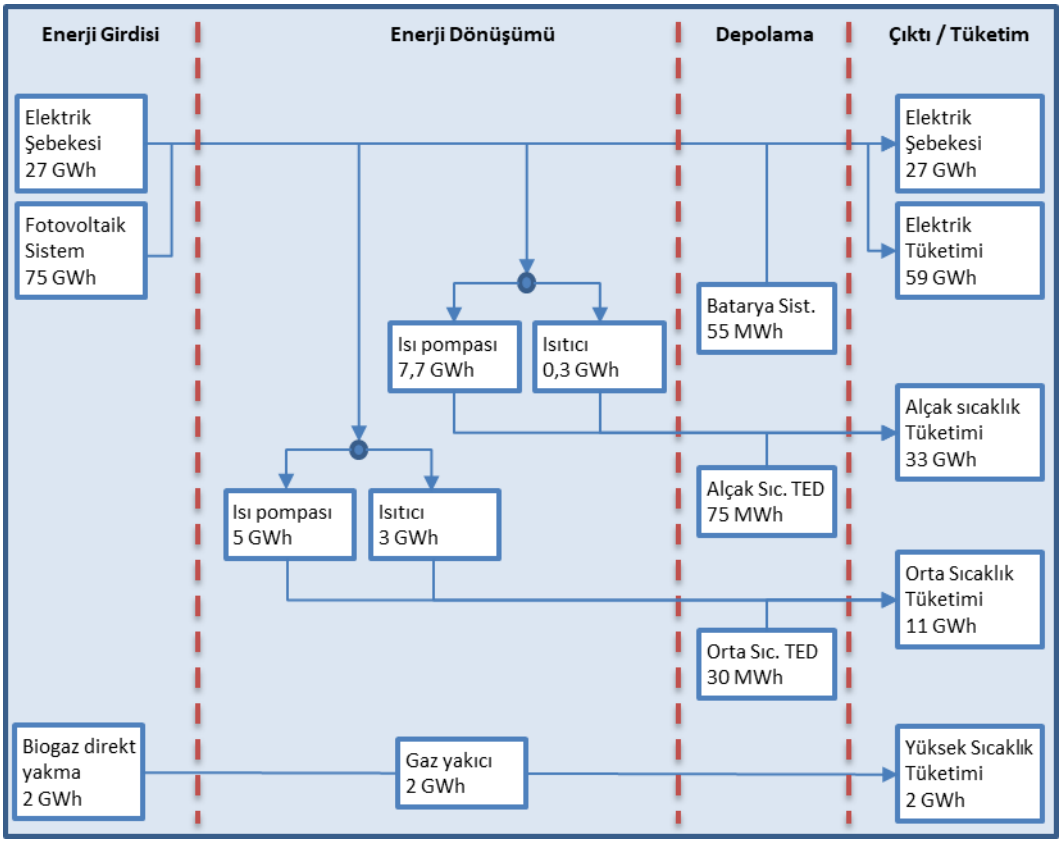
$$E_{elk}[kWh] = 870052 + 131 * ÜH + 4556 * CDD \quad (6.1)$$

$$E_{dg}[kWh] = 196630 + 157 * ÜH + 18200 * HDD \quad (6.2)$$

Öte yandan, planlanan dönüşümde yenilenebilir kaynakların entegrasyonu ile termal enerji depoları, ısı pompaları, bataryalar sürece dahil edilecektir. Güneş enerjisinden elde edilecek enerji bazı dönemlerde şebeke elektriği ile desteklenerek, bazı dönemlerde ise elektrik ihraç ederek sistemin enerji ihtiyacını optimum şekilde karşılayacaktır. Nihai hedef alınan elektrik kadarının iade edilmesi ve yıllık net

alışverişin sıfıra ulaştırılmasıdır. Mevcut fotovoltaik teknoloji ve sahadaki kurulum şartları göz önüne alındığında ihtiyaç duyulan enerjinin kabaca %84,8'inin karşılanabileceği öngörülmektedir.

İlerleyen süreçte ise fotovoltaik panellerdeki verim artışlarının yaşanması, ısı pompası teknolojileri ile yenilenebilir enerji kullanımının da entegrasyonu sayesinde ihtiyaç duyulan enerjiden daha fazla üretim potansiyeline ulaşılması söz konusudur. Bu durumda fotovoltaik panel yerleşimi gibi konularda farklı ekonomik optimizasyonlar da yapılabilir hale gelecektir. Tesiste yapılan 30 yıl projeksiyonuna göre enerji akışının şekil 6.1'deki gibi olması beklenmektedir.



Şekil 6.1 : Enerji akış diagramı.

İfade edilen enerji akış diyagramı teknolojik gelişmelere göre esneklik gösterebilecektir. Mevcut teknolojide yüksek ısı ihtiyacı duyan süreçler için alternatif bir metot bulunmadığından yakma işleminin sıfırlanamayacağı ön görülmektedir. Dolayısı ile bu tesis için güncel teknoloji ile mutlak sıfır karbondioksit emisyonundan bahsedilemez. Öte yandan fotovoltaik sistemlerin salınım katkısının diğer alternatiflere göre düşük olması, direkt yakma ihtiyacının %1,5 mertebesinde kalması ve bu direkt yakmanın bioyakıtlardan karşılanması

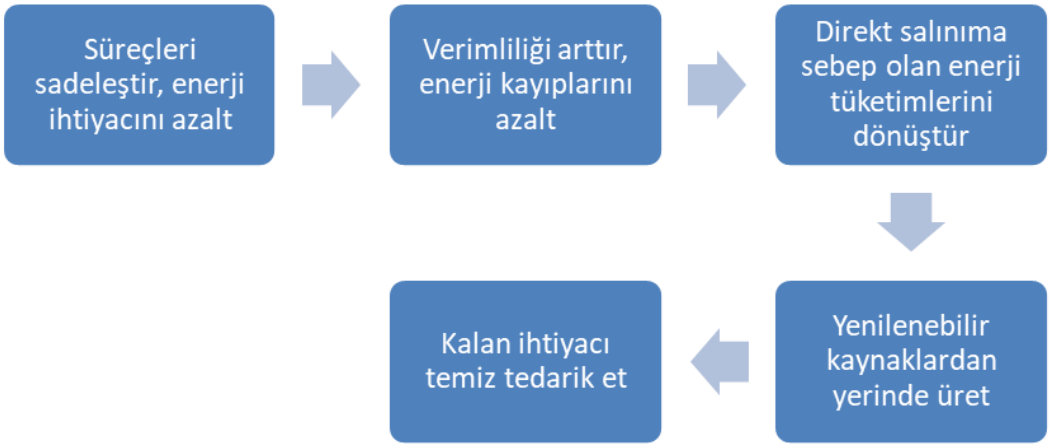
mevcut sürecin çevresel etkilerinin minimize edilmesi konusunda büyük önem taşımaktadır.

Her endüstriyel tesisin tüketimleri, karbondioksit salınım noktaları, fırsatları, tehditleri, zayıf ve güçlü noktaları farklıdır. Bir tesisin kurulu olduğu noktada rüzgar potansiyeli yüksekken, diğerinde güneş, diğerinde jeotermal kaynakların varlığı söz konusu olabilir. Öte yandan bazı endüstrilerin enerji tüketimi düşükken, bazı endüstriler enerji yoğun işler icra etmektedir. Burada önemli olan doğaya verilen zararın farkında olunması, doğru bir strateji belirlenmesi ve süreçlerin sonuçlara götürülmesi konusunda sebat gösterilmesidir. Bu çalışmada çevre motivasyonu, problemlerin çözülme metodolojisi ifade edilmiş, örnek projelerle sıfır salınıma ulaşma stratejisi örneklenmiştir. Çalışmanın konu akışında da tanımlanan problem çözme metodolojisi takip edilmiştir. Benzer metot her tesise uygulanabilir fakat bazı endüstrilerde ulaşılabilir olabilecek farklı hedeflerin konulması gerekecektir. Takip edilmesi tavsiye edilen metot adımlarının çalışmaya uyarlanışı Çizelge 6.1'de açıklanmıştır.

Çizelge 6.1 : Problem çözme metodunun tez çalışmasına uyarlaması.

	Problem Çözme Adımı	Sıfır CO_2 Salınım Çalışması Karşılığı
P	Problemin belirlenmesi	CO_2 salınımına sebep olan enerji tüketim unsurları belirlenmiş, tesisteki salınımın sıfır olmaması problem olarak tanımlanmıştır.
	Problemi parçalarına ayırma	Enerji tüketiminin bölümlere ve süreçlere göre dağılımı yapılmıştır.
	Hedef Belirleme	Hem toplam salınım için kısa, orta ve uzun vadeli; hem de üretilen projelerin her biri için CO_2 salınımı azaltma hedefleri belirlenmiştir.
	Kök neden analizi	Her bir enerji kullanım unsurunun salınıma sebep olan faaliyetinin sebepleri araştırılmış, üretim ve enerji israfları tespit edilmiştir.
	Karşı önlemler geliştirme	Tespit edilen unsurlarda yapılacak iyileştirmeler veya dönüşümler geliştirilmiştir. Planlara son hali verilmiştir.
U	Karşı önlemleri uygulama	Uygulamalar seçilmiş, harekete geçilmiştir. Başlanan uygulamalardan örnekler verilmiştir.
K	Sonuç ve süreçleri izleme	Uygulama sonuçlarının ne olmasının beklendiği tanımlanmıştır, henüz tamamlanmamış projelerde de süreç yürütülürken bu sonuçlar takip edilmeye devam edecektir.
Ö	Önlem alma, standartlaştırma, yaygınlaştırma	İstenmeyen sonuçlarla karşılaşıldığında problemin belirlenmesi ile başlayan süreç en başından tekrar yürütülecektir. Beklentiyi karşılayanlarda ise standartlaştırma yapılacaktır. Öğrenimlerin hem benzer süreçlere hem de diğer endüstrilere yayılması için çaba sarf edilmesi kitlesel bir fayda için gereklidir.

Fabrikaların sıfır karbondioksit salınımlı hale dönüştürülmesi için bu çalışmada ifade edilen strateji Şekil 6.2'de özetlenmiştir. Buradaki yaygın hatalardan biri doğrudan temiz kaynaklardan enerji tedariki veya karbon salınım hakkının satın alınması gibi uygulamalara geçilmesidir. Bu durumda hiçbir gerçek katkı yapılmadan, temiz enerji veya karbon salınım hakkı pazarındaki kısıtlı arza karşılık talep arttırılmış olacaktır. Bu durum da sıfır karbondioksit salınımlı fabrikalar projesinin yaygınlaştırılması konusunda engel oluşturacaktır. Çünkü finansal gücü nispeten daha küçük olan işletmelerin benzer uygulamalara girmesi zorlaşacaktır. Özellikle küresel boyutta iş yapan, finansal yapısı güçlü sanayicilerin gerçek faaliyetlere yönelmesi hem pazardaki bilgi birikiminin (know-how) artmasına hem de uygulamaların ilişki içinde olunan diğer müşteri ve tedarikçilere yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacaktır.



Şekil 6.2 : Sıfır karbondioksit salınımlı fabrika dönüşüm stratejisi.

Sıfır karbondioksit salınımının sağlanmasında bir diğer tartışma konusu da sanayicilerin uzmanlık alanlarının dışına çıkması gerekliliğidir. Her bir endüstriyel kuruluş, hiçbir tedarikçi – müşteri ilişkisi içinde olmaksızın kendi enerji tüketimini tamamen kendi bünyesindeki yenilenebilir enerji santrallerinden karşılayacak hale gelirse, endüstriyel faaliyet kaynaklı salınım kitlesel bir şekilde sıfırlanmış olacaktır. Bir endüstriyel tesis kendi bünyesindeki uygulamalarla karbondioksit salınımını sıfırlayamazsa, bu hedefe ulaşmak için tesis dışındaki lokasyonlarda yenilenebilir enerji santrallerine yatırım yapma ihtiyacı duyacaktır.

Bu çalışmada değerlendirme kriteri karbondioksit salınımı olduğu için çalışılan projelerde yatırımların mali analizlerine değinilmemiştir. Öte yandan, kuruluş

bünyesinde çalışılan finansal hesaplamalarda, proje yatırımlarının basit geri ödeme süreleri aydınlatma, pompa & motor projeleri için 2 yılın altında çıkmıştır. Fotovoltaik enerji üretim tesisi kurulması, buharsızlaştırma ve basınçsızlaştırma dönüşümleri için ise 7-10 yıl arasında basit geri ödeme süreleri tespit edilmiştir. Hesaplamalarda yatırım ve enerji birim fiyatları Avro para biriminden hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, bu tez çalışması ile sanayide öncü rolü olan otomotiv üretim endüstrisinden örnek bir tesis incelenerek 30 yıl sonrası için sıfır karbondioksit salınımının başarılabilirliğe yakın olduğu tespit edilmiştir. Tesisin enerji ihtiyaçlarının tamamının yenilenebilir kaynaklara dönüştürülmesi hedeflenebilir durumdadır. Geliştirilen modelin diğer sanayi kollarına uygulanması halinde endüstriyel faaliyetlerin çevresel açıdan sürdürülebilirliğine de katkı sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Url-1: https://lean.org.tr/yalin-uretim-metodolojisi/. [Erişildi: 30 04 2019].

[2] O. Bal, «Çevresel Faktörlerin Küresel Ekonomiye Etkileri ve Öneriler,» *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi,* 2013.

[3] Y. Zeng ve diğ., Air Pollution Reduction In China: Recent Success But Great Challenge For The Future, 2019.

[4] A. Gupta, Climate Change and Kyoto Protocol: An Overview, 2016.

[5] B. Laurance, Boycotts are a Crucial Weapon to Fight Environment-Harming Firms, 2014.

[6] İ. Külünk, «Türkiye'de Ekonomik Büyüme ve Karbon Salınımı İlişkisi: Engle-Granger Eşbütünleşme Analizi (1960 - 2013),» *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi,* 2018.

[7] D. Uysal ve H. Yapraklı, «Kişi Başına Düşen Gelir, Enerji Tüketimi ve Karbondioksit (CO2) Emisyonu Arasındaki İlişkinin Yapısal Kırılmalar Altında Analizi: Türkiye Örneği,» *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi,* 2016.

[8] A. Karaaslan, H. Abar ve S. Çamkaya, «CO2 Salınımı Üzerinde Etkili Olan Faktörlerin Araştırılması: OECD Ülkeleri Üzerine Ekonometrik Bir Araştırma,» *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 2017.

[9] O. Çoban ve N. Şahbaz Kılınç, «Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi: TR Örneği,» *13. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Konferansı*, 2012.

[10] F. Şenbağcı Özer, «Renewable Energy For More Ethical Development,» *1. Uluslararası Avrasya Enerji Sorunları Sempozyumu*, 2015.

[11] M. A. Pekin, Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları, 2006.

[12] Ö. E. Uylukçuoğlu, Otomotiv Sanayinde Enerji Verimliliği ve Enerji Tasarruf Olanaklarının Belirlenmesi, 2009.

[13] N. Skhmot, Using the PDCA Cycle to Support Continuous Improvement (Kaizen), 2017.

[14] M. Türkeş ve diğ, Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri, 2000.

[15] Url-2: Climate.nasa.gov. [Erişildi: 30 04 2019].

[16] Url-3: https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/. [Erişildi: 30 04 2019].

[17] A. Memin ve diğ, Snow -and Ice- Height Change in Antarctica from Satellite Gravimetry And Altimetry Data, 2014.

[18] Url-4: https://research.csiro.au/slrwavescoast/sea-level/. [Erişildi: 30 04 2019].

[19] G. North, Climate And Climate Change | Greenhouse Effect Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition).

[20] Url-5: https://climatechange.boun.edu.tr/?page_id=1527. [Erişildi: 30 04 2019].

[21] M. Türkeş ve diğ., Küresel İklim Değişikliği Ve Olası Etkileri, 2000.

[22] Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü, 1998.

[23] Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü Ek-A, 1998.

[24] IPCC, Working Group III Report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", Cambridge University Press, 2014.

[25] Climate Analysis Indicators Tool, World Resources Institute, 2017.

[26] K. P. Shine ve diğ, Radiative forcing of climate. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment, 1990.

[27] M. Brander, Greenhouse Gases, CO2, CO2e, and Carbon: What Do All These Terms Mean, 2012.

[28] Url-6: https://www.theguardian.com/environment/2016/jun/16/antarctic-co2-hits-400ppm-for-first-time-in-4m-years. [Erişildi: 30 04 2019].

[29] Url-7: https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/. [Erişildi: 30 04 2019].

[30] Url-8: https://www.co2levels.org/. [Erişildi: 30 04 2019].

[31] Url-9: http://www.karbonayakizi.com/whatIsCarboonFootPrint.html. [Erişildi: 30 04 2019].

[32] C. Türe, «Karbon borsası sunumu».

[33] Url-10: https://www.enerji.gen.tr/enerji-turleri.html. [Erişildi: 30 04 2019].

[34] E. Koç ve K. Kaya, «Enerji Kaynaklari–Yenilenebilir Enerji Durumu,» 2015.

[35] C. McEvedy ve R. Jones, «Atlas of world population history,» 1978.

[36] M. Küçükkalay, «Endüstri Devrimi ve Ekonomik Sonuçlarının Analizi,» 1997.

[37] Url-11: https://www.history.com/topics/industrial-revolution. [Erişildi: 30 04 2019].

[38] J. Mokyr. [Çevrimiçi]. Available: The Second Industrial Revolution, 1870-1914. [Erişildi: 30 04 2019].

[39] BP Statistical Review of World Energy, 2017.

[40] Url-12: https://www.iea.org/Sankey/#?c=IEA%20Total&s=Final%20consumption. [Erişildi: 30 04 2019].

[41] Url-13: https://www.enerjiatlasi.com/haber/elektrik-uretiminde-karbon-salinimi. [Erişildi: 30 04 2019].

[42] Url-14: https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=73&t=11. [Erişildi: 30 04 2019].

[43] EIA, Emission Factors, 2018.

[44] W. E. Deming, The New Economics for Industry, Government, and Education, MIT Press, Cambridge, 2000.

[45] M. Sokovic ve diğ, «Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS,» 2010.

[46] Url-15: https://betterexplained.com/articles/understanding-the-pareto-principle-the-8020-rule/. [Erişildi: 30 04 2019].

[47] Url-16: https://cleantechnica.com/2019/03/31/a-look-inside-teslas-fremont-automotive-factory-cleantechnica-exclusive/. [Erişildi: 30 04 2019].

[48] Url-17: http://kgrobotics.com/tr/gallery.html#. [Erişildi: 30 04 2019].

[49] Url-18: https://mbusi.com/factory/paint-shop. [Erişildi: 30 04 2019].

[50] Url-19: https://easchangesystems.com/application/plastic-injection-molding/. [Erişildi: 30 04 2019].

[51] Url-20: http://www.blogcdn.com/green.autoblog.com/media/2009/12/think-production-2-630.jpg. [Erişildi: 30 04 2019].

[52] Url-21: https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gun-derece.aspx. [Erişildi: 30 04 2019].

[53] Url-22: https://statisticsbyjim.com/regression/interpret-r-squared-regression/. [Erişildi: 30 04 2019].

[54] Url-23: https://betterexplained.com/articles/understanding-the-pareto-principle-the-8020-rule/. [Erişildi: 30 04 2019].

[55] Url-24: https://www.reuters.com/article/us-germany-power-renewables/renewables-overtake-coal-as-germanys-main-energy-source-idUSKCN1OX0U2. [Erişildi: 30 04 2019].

[56] M. Yang ve X. Yu, Energy Efficiency: Benefits for Environment and Society, 2015.

[57] ISO 50001:2018 – Energy Management System.

[58] H. Eminçe, «İşletmelerde Verimsiz Pnömatik Sistemler/Hatlar ve Maliyetlere Etkisi».

[59] R. Stuhlman, «Compressed Air: Your Most Expensıve Utility,» 2008.

[60] E. Soylu, «Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verımliliği,» 2017.

[61] Url-25: https://www.airbestpractices.com/technology/air-compressors/heat-recovery-and-compressed-air-systems. [Erişildi: 30 04 2019].

[62] M. A. Karataş, «Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği: Bir Çelik Fabrikasının Basınçlı Hava Denetleme Çalışması,» 2012.

[63] S. Sapmaz ve D. Kaya, «Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi,» 2017.

[64] Url-26: https://www.air-compressor-guide.com/articles/the-cost-of-compressed-air/. [Erişildi: 30 04 2019].

[65] Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems, IEA, 2011.

[66] L. Szychta, «Energy Consumption of Water Pumping for Selected Control Systems,» 2015.

[67] IEC 60034-30-1.

[68] Url-27: https://anahtar.sanayi.gov.tr/tr/news/elektrik-motorlari-ve-enerji-verimliligi/7381. [Erişildi: 30 04 2019].

[69] M. Benhaddadi, «Premium Efficiency Motors,» 2011.

[70] Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması, Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

[71] Url-28: http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/41.aspx. [Erişildi: 30 04 2019].

[72] S. Cebeci, «Türkiyede Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi,» 2017.

[73] G. Conibeer, «Third Generation Photovoltaics,» 2007.

[74] W. C. Sinke, «Development of Photovoltaic Technologies for Global Impact,» 2019.

[75] Url-29: https://solarwall.com.tr/solarwall-nedir.html. [Erişildi: 30 04 2019].

[76] Url-30: https://solarwall.com.tr/neden-solarwall.html. [Erişildi: 30 04 2019].

EKLER

EK A: Tesisin enerji tüketim dağılımları

EK B: Regresyon analizi çıktıları

EK A: Tesisin enerji tüketim dağılımları

Çizelge A.1 : Pres tesisi enerji tüketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Pres Tesisi	Elektrik	kWh	450.311	423.214	446.196	421.013	445.807	400.484	316.095	436.316	385.465	412.405	402.333	437.924	**4.977.563**
	Basınçlı hava	Nm³	855.294	708.645	873.794	826.591	809.610	760.730	558.678	616.373	378.383	478.415	723.744	650.508	**8.240.764**
	Isıtma buharı	Ton	516	587	109	130	0	0	0	0	0	78	263	563	**2.244**
	Basınçlı hava elektrik	kWh	139.413	116.926	141.555	138.867	139.253	132.367	105.031	114.029	68.487	86.115	128.826	113.188	**1.424.058**
	Isıtma buharı doğalgaz	Nm³	43.423	48.171	9.614	10.547	0	0	0	0	0	5.928	20.372	49.119	**187.174**
	Isıtma buharı elektrik	kWh	2.269	2.687	533	625	0	0	0	0	0	584	1.348	2.566	**10.611**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**591.993**	**542.828**	**588.284**	**560.505**	**585.060**	**532.851**	**421.126**	**550.344**	**453.952**	**499.103**	**532.507**	**553.678**	**6.412.232**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**462.023**	**512.535**	**102.295**	**112.216**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**63.077**	**216.753**	**522.630**	**1.991.528**
	Toplam Enerji	**kWh**	**1.054.016**	**1.055.363**	**690.579**	**672.721**	**585.060**	**532.851**	**421.126**	**550.344**	**453.952**	**562.180**	**749.260**	**1.076.307**	**8.403.760**

Çizelge A.2 : Kaynak tesisi enerji tüketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Kaynak Tesisi	Elektrik	kWh	1.176.694	1.097.761	1.182.665	1.128.549	1.180.650	1.158.609	1.030.018	1.250.915	1.118.711	1.003.982	1.084.072	1.131.478	**13.544.103**
	Basınçlı hava	Nm³	986.326	1.004.950	1.043.919	1.006.289	1.118.389	1.011.376	734.666	1.128.217	1.154.952	1.255.090	1.152.167	993.880	**12.590.221**
	Isıtma buharı	Ton	1.820	1.371	119	644	0	0	0	0	0	84	646	1.117	**5.801**
	Proses buharı	Ton	199	112	76	221	176	107	51	144	121	64	168	187	**1.626**
	Proses doğalgaz	Nm³	25.448	22.658	29.937	32.342	28.261	21.419	13.195	21.177	35.805	22.163	24.695	19.609	**296.708**
	Basınçlı hava elektrik	kWh	160.771	165.817	169.115	169.057	192.363	175.979	138.117	208.720	209.046	225.916	205.086	172.935	**2.192.922**
	Isıtma buharı doğalgaz	Nm³	153.264	112.543	10.500	52.425	0	0	0	0	0	6.444	50.024	97.488	**482.688**
	Isıtma buharı elektrik	kWh	8.009	6.278	583	3.104	0	0	0	0	0	634	3.309	5.092	**27.010**
	Proses buharı doğalgaz kullanım	Nm³	16.750	9.211	6.722	17.983	14.138	9.285	6.572	12.952	11.185	4.915	13.020	16.312	**139.045**
	Proses buharı elektrik	kWh	875	514	373	1.065	1.029	917	939	1.354	1.709	484	861	852	**10.973**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**1.346.349**	**1.270.370**	**1.352.735**	**1.301.774**	**1.374.042**	**1.335.505**	**1.169.074**	**1.460.990**	**1.329.466**	**1.231.016**	**1.293.328**	**1.310.357**	**15.775.008**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**2.079.717**	**1.536.551**	**501.764**	**1.093.260**	**451.120**	**326.682**	**210.318**	**363.132**	**499.974**	**356.668**	**933.540**	**1.419.475**	**9.772.201**
	Toplam Enerji	**kWh**	**3.426.066**	**2.806.921**	**1.854.500**	**2.395.034**	**1.825.162**	**1.662.187**	**1.379.392**	**1.824.121**	**1.829.440**	**1.587.685**	**2.226.868**	**2.729.832**	**25.547.209**

Çizelge A.3 : Boya tesisi enerji tüketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Boya Tesisi	Elektrik	kWh	2.961.250	2.661.775	2.850.674	2.728.815	2.887.059	2.686.618	2.205.294	2.982.542	2.718.681	2.879.063	2.875.863	2.942.309	**33.379.942**
	Basınçlı hava	Nm³	2.410.263	2.372.411	2.524.769	2.352.346	2.378.241	2.411.758	1.482.010	2.429.379	2.375.410	2.747.068	2.647.906	2.491.186	**28.622.747**
	Isıtma buharı	Ton	461	296	210	82	0	0	0	0	0	25	131	302	**1.507**
	Proses buharı	Ton	3.784	3.392	2.995	2.131	2.288	1.343	776	1.208	1.142	1.312	2.002	3.418	**25.791**
	Proses doğalgaz	Nm³	744.026	591.572	518.338	462.026	268.166	185.503	131.349	193.885	182.871	476.103	464.812	743.739	**4.962.391**
	Basınçlı hava elektrik	kWh	392.873	391.448	409.013	395.194	409.057	419.646	278.618	449.435	429.949	494.472	471.327	433.466	**4.974.499**
	Isıtma buharı doğalgaz	Nm³	38.781	24.331	18.547	6.711	0	0	0	0	0	1.935	10.143	26.356	**126.804**
	Isıtma buharı elektrik	kWh	2.027	1.357	1.029	397	0	0	0	0	0	190	671	1.377	**7.048**
	Proses buharı doğalgaz kullanım	Nm³	318.583	278.519	265.022	173.461	183.474	116.977	99.992	108.825	105.486	100.242	154.944	298.434	**2.203.959**
	Proses buharı elektrik	kWh	16.648	15.537	14.703	10.271	13.360	11.550	14.292	11.378	16.120	9.867	10.250	15.588	**159.565**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**3.372.798**	**3.070.118**	**3.275.419**	**3.134.678**	**3.309.476**	**3.117.814**	**2.498.204**	**3.443.354**	**3.164.750**	**3.383.592**	**3.358.111**	**3.392.740**	**38.521.054**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**11.718.797**	**9.516.655**	**8.532.296**	**6.832.987**	**4.805.444**	**3.218.389**	**2.461.465**	**3.220.839**	**3.068.118**	**6.152.900**	**6.702.123**	**11.369.147**	**77.599.159**
	Toplam Enerji	**kWh**	**15.091.595**	**12.586.773**	**11.807.715**	**9.967.665**	**8.114.920**	**6.336.202**	**4.959.670**	**6.664.193**	**6.232.868**	**9.536.492**	**10.060.234**	**14.761.887**	**116.120.214**

Çizelge A.4 : Plastik tesisi enerji tüketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Plastik Tesisi	Elektrik	kWh	801.895	789.823	844.971	778.859	862.435	865.487	650.598	960.480	832.627	814.541	760.302	770.898	**9.732.915**
	Basınçlı hava	Nm³	626.221	616.772	640.247	655.754	699.238	615.863	820.661	516.967	651.564	731.565	731.261	673.862	**7.979.974**
	Isıtma buharı	Ton	844	590	488	322	0	0	0	0	95	165	269	673	**3.446**
	Proses buharı	Ton	779	815	947	1.212	713	394	193	230	221	424	571	823	**7.323**
	Proses doğalgaz	Nm³	29.722	23.122	25.100	20.559	16.509	15.403	7.456	14.269	27.313	18.954	21.219	25.312	**244.939**
	Basınçlı hava Elektrik	kWh	102.074	101.767	103.720	110.167	120.269	107.160	154.284	95.639	117.933	131.682	130.164	117.252	**1.392.111**
	Isıtma buharı doğalgaz	Nm³	71.029	48.446	43.197	26.234	0	0	0	0	8.765	12.609	20.794	58.769	**289.843**
	Isıtma buharı elektrik	kWh	3.712	2.703	2.397	1.553	0	0	0	0	1.339	1.241	1.376	3.070	**17.390**
	Proses buharı doğalgaz kullanım	Nm³	65.565	66.901	83.852	98.691	57.170	34.323	24.805	20.756	20.451	32.423	44.188	71.829	**620.955**
	Proses buharı elektrik	kWh	3.426	3.732	4.652	5.844	4.163	3.389	3.545	2.170	3.125	3.191	2.923	3.752	**43.913**
	Toplam Elektrik	kWh	**911.107**	**898.025**	**955.739**	**896.423**	**986.866**	**976.037**	**808.428**	**1.058.289**	**955.025**	**950.655**	**894.765**	**894.972**	**11.186.330**
	Toplam Doğalgaz	kWh	**1.769.611**	**1.473.312**	**1.618.868**	**1.547.958**	**783.942**	**529.093**	**343.252**	**372.667**	**601.475**	**680.806**	**917.172**	**1.658.885**	**12.297.040**
	Toplam Enerji	kWh	**2.680.718**	**2.371.337**	**2.574.607**	**2.444.380**	**1.770.808**	**1.505.129**	**1.151.680**	**1.430.956**	**1.556.500**	**1.631.461**	**1.811.937**	**2.553.857**	**23.483.370**

Çizelge A.5 : Montaj tesisi enerji tüketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Montaj Tesisi	Elektrik	kWh	569.603	495.048	520.129	489.685	488.002	556.162	513.845	613.177	517.482	500.164	500.587	574.869	**6.338.753**
	Bakım Elektrik	kWh	33.291	33.519	36.574	34.502	33.407	31.485	30.145	36.095	27.058	32.293	34.480	31.974	**394.824**
	Basınçlı hava	Nm³	829.111	627.403	683.238	634.232	672.433	579.762	394.432	656.626	711.222	774.877	693.776	765.414	**8.022.525**
	Isıtma buharı	Ton	2.868	1.563	206	882	0	0	0	0	0	180	969	1.381	**8.049**
	Proses doğalgaz	Nm³	1.824	1.350	1.700	1.271	770	168	636	154	329	705	994	1.349	**11.250**
	Isıtma doğalgaz	Nm³	39.961	25.987	22.240	14.029	969	0	0	0	8	8.611	22.216	34.095	**168.117**
	Basınçlı hava Elektrik	kWh	135.145	103.522	110.684	106.551	115.659	100.879	74.153	121.476	128.731	139.478	123.492	133.182	**1.392.951**
	Isıtma buharı Doğalgaz	Nm³	241.522	128.362	18.254	71.770	0	0	0	0	0	13.724	74.968	120.575	**669.174**
	Isıtma buharı Elektrik	kWh	12.621	7.161	1.013	4.250	0	0	0	0	0	1.351	4.959	6.298	**37.652**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**750.661**	**639.249**	**668.400**	**634.988**	**637.067**	**688.526**	**618.144**	**770.747**	**673.271**	**673.286**	**663.518**	**746.323**	**8.164.181**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**3.014.380**	**1.656.634**	**448.941**	**926.433**	**18.503**	**1.789**	**6.771**	**1.639**	**3.588**	**245.145**	**1.044.613**	**1.660.042**	**9.028.477**
	Toplam Enerji	**kWh**	**3.765.041**	**2.295.883**	**1.117.341**	**1.561.421**	**655.570**	**690.315**	**624.915**	**772.386**	**676.859**	**918.431**	**1.708.131**	**2.406.365**	**17.192.658**

Çizelge A.6 : Endirekt birimler enerji tüketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Kalite Kontrol Tesisi	Elektrik	kWh	69.818	66.548	54.955	30.144	36.778	23.791	23.160	26.970	28.830	20.504	21.816	71.235	**474.549**
	Proses Doğalgaz	Nm³	5.541	4.006	3.213	2.911	1.430	1.877	1.958	2.547	3.026	2.538	3.170	4.639	**36.857**
	Isıtma Doğalgaz	Nm³	2.116	1.002	562	267	0	0	0	0	416	316	497	1.218	**6.395**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**69.818**	**66.548**	**54.955**	**30.144**	**36.778**	**23.791**	**23.160**	**26.970**	**28.830**	**20.504**	**21.816**	**71.235**	**474.549**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**81.465**	**53.287**	**40.166**	**33.817**	**15.215**	**19.973**	**20.835**	**27.099**	**36.628**	**30.375**	**39.020**	**62.314**	**460.193**
	Toplam Enerji	**kWh**	**151.283**	**119.835**	**95.121**	**63.961**	**51.993**	**43.764**	**43.994**	**54.070**	**65.458**	**50.879**	**60.836**	**133.548**	**934.742**
Yardımcı Servisler	Elektrik	kWh	34.127	28.507	29.266	26.900	27.004	28.602	35.740	35.016	28.166	25.842	27.158	29.289	**355.617**
	Su Tesisleri Elektrik	kWh	170.992	150.595	151.513	138.599	140.878	128.904	120.794	139.344	127.886	135.156	139.661	147.592	**1.691.914**
	İş Makina Elektrik	kWh	37.131	24.562	28.006	57.590	81.778	87.927	58.304	93.842	89.518	100.246	101.024	21.998	**781.927**
	Isıtma doğalgaz	Nm³	1.200	320	71	134	0	0	0	0	0	0	61	788	**2.574**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**242.250**	**203.663**	**208.785**	**223.089**	**249.661**	**245.432**	**214.839**	**268.202**	**245.570**	**261.243**	**267.843**	**198.879**	**2.829.457**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**12.766**	**3.408**	**754**	**1.431**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**644**	**8.380**	**27.383**
	Toplam Enerji	**kWh**	**255.017**	**207.071**	**209.539**	**224.520**	**249.661**	**245.432**	**214.839**	**268.202**	**245.570**	**261.243**	**268.487**	**207.259**	**2.856.841**
İdari ve Sosyal Binalar	Elektrik Yemekhane	kWh	87.059	69.488	69.210	63.080	61.695	63.657	75.793	74.760	61.523	57.934	63.177	67.509	**814.884**
	Elektrik İdari Bina	kWh	32.469	23.912	20.686	24.313	20.989	24.341	28.648	32.393	30.931	68.408	29.571	27.401	**364.062**
	Isıtma doğalgaz Yemekhane	Nm³	24.423	16.747	14.385	11.375	4.830	3.619	3.146	3.616	3.501	7.827	11.984	23.812	**129.264**
	Isıtma doğalgaz İdari Bina	Nm³	32.195	21.535	17.589	13.473	3.053	1.279	1.221	1.384	2.974	10.199	16.978	24.915	**146.795**
	Toplam Elektrik	**kWh**	**119.528**	**93.400**	**89.896**	**87.393**	**82.683**	**87.997**	**104.441**	**107.153**	**92.454**	**126.342**	**92.748**	**94.911**	**1.178.945**
	Toplam Doğalgaz	**kWh**	**602.413**	**407.314**	**340.210**	**264.374**	**83.869**	**52.109**	**46.458**	**53.208**	**68.900**	**191.798**	**308.154**	**518.461**	**2.937.269**
	Toplam Enerji	**kWh**	**721.941**	**500.715**	**430.105**	**351.767**	**166.552**	**140.107**	**150.898**	**160.361**	**161.354**	**318.140**	**400.901**	**613.372**	**4.116.214**

Çizelge A.7 : Fabrika geneli toplam enerji üketim kırılımı.

Tesis	Boyut	Birim	Dönem												
			Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	**Toplam**
Fabrika Toplam	Elektrik	kWh	6.424.641	5.864.753	6.234.843	5.922.049	6.266.481	6.056.067	5.088.434	6.681.849	5.966.879	6.050.537	6.040.043	6.254.476	**72.851.053**
	Basınçlı hava Elektrik	kWh	930.276	879.480	934.086	919.836	976.601	936.031	750.204	989.299	954.147	1.077.663	1.058.896	970.024	**11.376.542**
	Isıtma buharı Elektrik	kWh	28.638	20.186	5.554	9.929	0	0	0	0	1.339	4.000	11.662	18.402	**99.711**
	Proses buharı Elektrik	kWh	20.950	19.783	19.729	17.180	18.553	15.856	18.777	14.902	20.954	13.542	14.034	20.192	**214.451**
	Isıtma buharı Doğalgaz	Nm³	548.019	361.853	100.111	167.688	0	0	0	0	8.765	40.639	176.301	352.307	**1.755.683**
	Isıtma buharı Doğalgaz	kWh	5.830.926	3.850.111	1.065.179	1.784.199	0	0	0	0	93.258	432.401	1.875.841	3.748.551	**18.680.465**
	Proses buharı Doğalgaz	Nm³	400.899	354.632	355.597	290.135	254.781	160.585	131.368	142.534	137.122	137.580	212.151	386.575	**2.963.958**
	Proses buharı Doğalgaz	kWh	4.265.562	3.773.284	3.783.550	3.087.035	2.710.869	1.708.627	1.397.758	1.516.557	1.458.978	1.463.848	2.257.290	4.113.158	**31.536.518**
	Isıtma Doğalgaz	Nm³	99.894	65.591	54.847	39.278	8.851	4.897	4.366	5.001	6.900	26.954	51.736	84.828	**453.144**
	Isıtma Doğalgaz	kWh	1.062.876	697.887	583.572	417.920	94.178	52.109	46.458	53.208	73.416	286.789	550.468	902.571	**4.821.452**
	Proses Doğalgaz	Nm³	806.561	642.708	578.289	519.109	315.136	224.370	154.594	232.032	249.345	520.463	514.889	794.648	**5.552.144**
	Proses Doğalgaz	kWh	8.581.807	6.838.414	6.152.993	5.523.322	3.353.045	2.387.298	1.644.883	2.468.819	2.653.032	5.537.730	5.478.420	8.455.052	**59.074.816**
	Elektrik Toplam	kWh	7.404.504	6.784.202	7.194.213	6.868.994	7.261.634	7.007.954	5.857.415	7.686.050	6.943.320	7.145.742	7.124.635	7.263.095	**84.541.757**
	Doğalgaz Toplam	Nm³	1.855.373	1.424.783	1.088.843	1.016.210	578.768	389.853	290.329	379.566	402.132	725.636	955.077	1.618.358	**10.724.930**
	Doğalgaz Toplam	kWh	19.741.172	15.159.696	11.585.294	10.812.476	6.158.092	4.148.035	3.089.099	4.038.584	4.278.683	7.720.769	10.162.019	17.219.332	**114.113.251**
	Enerji Toplam	kWh	27.145.676	21.943.898	18.779.507	17.681.470	13.419.726	11.155.988	8.946.514	11.724.633	11.222.003	14.866.511	17.286.654	24.482.427	**198.655.008**
	Elektrik Toplam APG	kWh/araç	419	404	392	404	409	425	587	476	460	413	408	412	**430,54**
	Doğalgaz Toplam APG	kWh/araç	1.116	902	631	636	346	270	310	250	283	446	582	977	**581,13**
	Enerji Toplam APG	kWh/araç	1.534	1.305	1.023	1.040	755	695	897	726	743	860	990	1.389	**1.011,67**

EK B: Regresyon analizi çıktıları

Çizelge B.1 : Üretim hacmi ve HDD'nin elektrik tüketimine etkisi.

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,82559327
R Kare	0,681604248
Ayarlı R Kare	0,610849636
Standart Hata	278631,5148
Gözlem	12

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	2	1,49578E+12	7,4789E+11	9,63335439	0,005798994
Fark	9	6,9872E+11	77635521061		
Toplam	11	2,1945E+12			

	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*	*Düşük 95,0%*	*Yüksek 95,0%*
Kesişim	4175403,648	671950,8398	6,213852861	0,000156248	2655345,246	5695462,05	2655345,246	5695462,05
X Değişkeni 1	180,489676	43,23405246	4,174711036	0,002394811	82,68745471	278,2918972	82,68745471	278,2918972
X Değişkeni 2	-572,4109173	601,3614878	-0,95185829	0,36603043	-1932,785112	787,9632769	-1932,785112	787,9632769

Çizelge B.2 : Üretim hacmi ve CDD'nin elektrik tüketimine etkisi.

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,966841061
R Kare	0,934781637
Ayarlı R Kare	0,920288668
Standart Hata	126104,7804
Gözlem	12

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	2	2,05138E+12	1,02569E+12	64,49897206	4,62024E-06
Fark	9	1,43122E+11	15902415639		
Toplam	11	2,1945E+12			

	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*	*Düşük 95,0%*	*Yüksek 95,0%*
Kesişim	1960084,798	482549,9496	4,061931411	0,002833724	868480,9751	3051688,621	868480,9751	3051688,621
X Değişkeni 1	295,5970668	27,46054023	10,76443014	1,93189E-06	233,4770091	357,7171244	233,4770091	357,7171244
X Değişkeni 2	10263,49124	1635,915523	6,273851614	0,000145438	6562,793233	13964,18925	6562,793233	13964,18925

Çizelge B.3 : Üretim hacmi ve HDD'nin doğalgaz tüketimine etkisi.

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,985503612
R Kare	0,97121737
Ayarlı R Kare	0,96482123
Standart Hata	1049142,783
Gözlem	12

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	2	3,3427E+14	1,67135E+14	151,8442959	1,16436E-07
Fark	9	9,90631E+12	1,1007E+12		
Toplam	11	3,44177E+14			

	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*	*Düşük 95,0%*	*Yüksek 95,0%*
Kesişim	344531,1043	2530124,328	0,13617161	0,894682865	-5379007,755	6068069,964	-5379007,755	6068069,964
X Değişkeni 1	275,0571374	162,7909684	1,689633891	0,125361566	-93,20161707	643,3158918	-93,20161707	643,3158918
X Değişkeni 2	31890,50302	2264,331317	14,08385018	1,94767E-07	26768,22972	37012,77632	26768,22972	37012,77632

Çizelge B.4 : Üretim hacmi ve CDD'nin doğalgaz tüketimine etkisi.

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,710674421
R Kare	0,505058132
Ayarlı R Kare	0,395071051
Standart Hata	4350572,973
Gözlem	12

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	2	1,73829E+14	8,69146E+13	4,591976843	0,042217632
Fark	9	1,70347E+14	1,89275E+13		
Toplam	11	3,44177E+14			

	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*	*Düşük 95,0%*	*Yüksek 95,0%*
Kesişim	9744799,203	16647812,73	0,585350121	0,572694515	-27915169,54	47404767,95	-27915169,54	47404767,95
X Değişkeni 1	131,3849331	947,3795026	0,138682474	0,892754578	-2011,73639	2274,506256	-2011,73639	2274,506256
X Değişkeni 2	-98701,65287	56438,54132	-1,748834229	0,114253077	-226374,5031	28971,19738	-226374,5031	28971,19738

Çizelge B.5 : Üretim hacmi, HDD ve CDD'nin CO_2 salınımına etkisi.

ÖZET ÇIKIŞI

Regresyon İstatistikleri	
Çoklu R	0,988361527
R Kare	0,976858509
Ayarlı R Kare	0,968180449
Standart Hata	195068,3001
Gözlem	12

ANOVA

	df	*SS*	*MS*	*F*	*Anlamlılık F*
Regresyon	3	1,285E+13	4,28334E+12	112,5664708	6,9921E-07
Fark	8	3,04413E+11	38051641689		
Toplam	11	1,31544E+13			

	Katsayılar	*Standart Hata*	*t Stat*	*P-değeri*	*Düşük %95*	*Yüksek %95*	*Düşük 95,0%*	*Yüksek 95,0%*
Kesişim	1745900,132	750654,7682	2,325836331	0,04847575	14887,13401	3476913,13	14887,13401	3476913,13
X Değişkeni 1	151,9816022	42,49196818	3,576713641	0,007222731	53,99494794	249,9682564	53,99494794	249,9682564
X Değişkeni 2	5605,326133	466,0839644	12,02642992	2,10822E-06	4530,534585	6680,117682	4530,534585	6680,117682
X Değişkeni 3	1495,675367	2801,483758	0,53388686	0,607931074	-4964,557757	7955,908492	-4964,557757	7955,908492

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İsmet HABİR

E-posta: ismethabir@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2012, İTÜ, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018 – Halen Çolakoğlu Metalurji (Elektrik Teknik Satınalma Uzmanı)
- 2016 – 2018 Toyota Türkiye (Elektrik Bakım Mühendisi)
- 2013 – 2016 Güral Elektrik Malzemeleri (Üretim Mühendisi)

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Habir İ., Kocabaş D.A., Gülbahçe M.O., 2012. Finite elements analysis of a small power eddy current brake. *Mechatronika 15th International Symposium*, 5-7 Aralık, 2012 Parg Çek Cumhuriyeti.