

**PLASTİK ENJEKSİYON İMALATI YAPAN BİR  
OTOMOTİV YAN SANAYİ  
İŞLETMESİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN VE  
ÇEVRESEL PARAMETRELERİN  
OPTİMİZASYONU: PLASTİK ENJEKSİYON  
ÜRETİM ÖRNEĞİ**

**Merve ŞENGÜNGÖR**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PLASTİK ENJEKSİYON İMALATI YAPAN BİR OTOMOTİV YAN  
SANAYİ

İŞLETMESİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN VE ÇEVRESEL  
PARAMETRELERİN

OPTİMİZASYONU: PLASTİK ENJEKSİYON ÜRETİM ÖRNEĞİ

Merve ŞENGÜNGÖR  
ORCID:0000-0001-8466-8136

Prof.Dr.Taner YONAR  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2021

## TEZ ONAYI

Merve ŞENGÜNGÖR tarafından hazırlanan “PLASTİK ENJEKSİYON İMALATI YAPAN BİR OTOMOTİV YAN SANAYİ İŞLETMESİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN VE ÇEVRESEL PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU; PLASTİK ENJEKSİYON ÜRETİM ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof.Dr.Taner YONAR

**Başkan :** Prof.Dr.Taner YONAR  
Orcid No:0000-0002-0387-0656 İmza  
Bursa Uludağ Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı

**Üye :** Prof.Dr.Melike YALILI KILIÇ  
Orcid No:0000-0001-7050-6742 İmza  
Bursa Uludağ Üniversitesi,Mühendislik Fakültesi,  
Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı

**Üye :** Dr.Öğr.Üyesi AŐkın BİRGÜL  
Orcid No:0000-0002-7718-0340 İmza  
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa  
Bilimleri Fakültesi ,Çevre Teknolojileri Anabilim  
Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**  
.././....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**12/12/2021**

**Merve ŞENGÜNGÖR**

## ÖZET

Yüksek Lisans/Doktora Tezi

PLASTİK ENJEKSİYON İMALATI YAPAN BİR OTOMOTİV YAN  
SANAYİ

İŞLETMESİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN VE ÇEVRESEL  
PARAMETRELERİN

OPTİMİZASYONU; PLASTİK ENJEKSİYON ÜRETİM ÖRNEĞİ

Merve ŞENGÜNGÖR

Bursa Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Taner YONAR

Otomotiv sanayi sektöründeki artan talepler üzerine plastik enjeksiyon üretimi yapan işletme sayısındaki artış, çevre ve enerji sarfiyatı gibi ana parametrelerin olumsuz etkilenmesine neden olmuştur. Gelişen teknolojiye bağlı olarak sanayiler, enerjiyi, en verimli şekilde üretim süreçlerinde kullanarak ayakta kalabilmektedirler. Günümüz teknolojilerine uyarlanan makinelerin kullanımı daha iyi ürün, daha az enerji ve daha çevreci yaklaşımlar gibi konuların ele alındığını savunmaktadır. Ancak ürün çeşitliliği ve çevresel koşullar göz önüne alındığında bu durum değişiklik gösterebilmektedir.

Bu tez kapsamında Bursa'da, plastik enjeksiyon imalatı yapan, otomotiv yan sanayi işletmesinde yer alan, geleneksel hidrolik enjeksiyon ve elektrikli plastik enjeksiyon makinelerinin, ürün kalite, performans, elektrik tüketimi, karbon ayak izi gibi parametreler ölçülerek enerji verimliliğinin ve çevresel parametrelerin optimizasyonu araştırılmıştır. Söz konusu iki makineden elde edilen veriler kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Otomotiv, enerji verimliliği, çevresel parametreler, karbon ayak izi, karbon salınımı

**2021, vii + 55 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis

AN AUTOMOTIVE SUB-INDUSTRY ENGAGED IN THE MANUFACTURE  
OF PLASTIC INJECTION

DETERMINATION OF ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL  
PARAMETERS IN THE ENTERPRISE

OPTIMIZATION; AN EXAMPLE OF PLASTIC INJECTION MOLDING  
PRODUCTION

**Merve ŞENGÜNGÖR**

Bursa Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

**Supervisor:** Assoc Prof. Taner YONAR

The increase in the number of companies engaged in plastic injection production due to the increasing demands in the automotive industry sector has negatively affected the main parameters such as the environment and energy consumption. Depending on the developing technology, industries can survive by using energy in the most efficient way in their production processes. He argues that issues such as the use of machines adapted to today's technologies, better products, less energy and more environmentally friendly approaches are discussed. However, this situation may change when product diversity and environmental conditions are taken into account.

Within the scope of this thesis, the optimization of energy efficiency and environmental parameters was investigated by measuring parameters such as product quality, performance, electricity consumption, carbon footprint of traditional hydraulic injection and electric plastic injection machines, which are located in the automotive supplier industry, manufacturing plastic injection in Bursa. The data obtained from the two machines in question were compared and evaluated.

**Key words:** Automotive, energy efficiency, environmental parameters, carbon footprint, carbon emissions

**2021, vii + 55 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Taner YONAR' a, Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen saygı değer patronlarım Gencay GÜNGÖR, Serkan ATAÇ' a, hayatımın her döneminde manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme, İş hayatımda ve tez çalışma dönemimde yardımlarını esirgemeyen sevgili müdürüm Mehmet GÜNEŞ' e, Tez çalışmamda en büyük desteği gösteren sevgili arkadaşım BüŐra YOLDAŐ PEHLİVAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen benimle beraber araştırmalar yapan otomotiv sektörü çalışma arkadaşlarıma da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Merve ŞENGÜNGÖR

28/11/2021

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	3
2.1.Otomotiv Sanayisinde Plastik Enjeksiyon İmalatı; .....	3
2.2. Sera Etkisi .....	11
2.2.1. Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ) .....	12
2.2.2. Metan(CH <sub>4</sub> ) .....	13
2.2.3. Diazot monoksit (N <sub>2</sub> O) .....	14
2.2.4.Su Buharı (H <sub>2</sub> O) .....	15
2.2.5. Ozon(O <sub>3</sub> ) .....	16
2.2.6. Kloroflorokarbon(CFC) .....	16
2.3. Küresel İklim Değişikliğinin Dünyamıza Etkileri .....	17
2.4. Karbon Ayak İzi Tanımı .....	18
2.4.1.Çevre Mühendisliğinde Karbon Ayak İzinin Önemi .....	18
2.4.2. Karbon Ayak İzi Hesaplamaları .....	23
2.4.3.Karbon Ayak İzi Azaltımı İçin Uygulanabilecek Önlemler .....	24
2.5. Karbon Ayak İzi Hesaplanması İle İlgili Yapılan Çalışmalar .....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	33
3.1. İncelenen İşletmenin Tanıtımı .....	33
3.2. Tesiste Yapılan Enerji Ölçümleri .....	36
3.2.1 Hidrolik makine ölçümleri .....	36
3.2.2 Elektrikli enjeksiyon makine ölçümleri .....	36
3.3. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması .....	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	41
4.1. Enerji Verimliliği Uygulamaları .....	41
4.2. Hidrolik ve Elektrikli Enjeksiyon Makinesinin Karşılaştırılması .....	44
4.3. Karbon Ayak İzinin Azaltımı İçin Yapılabilecek İyileştirme Önerileri .....	48
5. SONUÇ .....	52
KAYNAKLAR .....	56
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>61</b>



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	:Derece santigrad
CO <sub>2</sub>	:Karbon dioksit
CO <sub>2</sub> e/kg	:Kilogram karbondioksit eşdeğeri
t CO <sub>2</sub> e	:Ton karbondioksit eşdeğeri
tCO <sub>2</sub> /Tj	:Birim TJ enerji başına düşen ton karbondioksit miktarı
CH <sub>4</sub>	:Metan
Gg	:Gigagram
HFCs	:Hidroflorür karbonlar
kg	:Kilogram
kWh	:Kilowatt-saat
mm	:Milimetre
mton CO <sub>2</sub> eq	: Milyon ton Karbondioksit Eşdeğeri
N <sub>2</sub> O	:Nitröz Oksit
PFCs	:Perfloro karbonlar
ppm:	:Parts Per Million
SF <sub>6</sub>	:Sülfürhekza florid
sn	:Saniye
tJ	:Terajoule
\$	:Dolar

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AB	:Avrupa Birliği
ark	:Arkadaşları
BMİDÇS	:Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Programı
CAT	: Climate Action Tracker
COP 26	:Conference of the Parties
DKE	:Dünya Kaynakları Enstitüsü
EF	:Emisyon faktörü
FV	:Faaliyet verisi
GHG	:Greenhouse gas
GWP	:Global Warming Potential
ISO	:International Organization for Standardization
IPCC	:Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
KIP	:Küresel Isınma Etki Potansiyeli
KP	:Kyoto Protokolü
LNG	:Liquefied Natural Gas
MET	:Mevcut En İyi Teknikler
NIR	: National Inventory Report
NKD	:Net Kalorifik Değer
OECD	:Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
TEP	:Ton eş değer petrol
WRI	:World Resources Institute

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1.Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi Çalışma Prensibi .....	6
Şekil 2. 2. Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi .....	7
Şekil 2. 3. Enjeksiyon Bölümleri .....	8
Şekil 2.4. Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makineleri Çalışma Prensibi .....	9
Şekil 2. 5. Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinesi .....	10
Şekil 2. 6. Elektrikli Plastik Enjeksiyon Üniteleri .....	11
Şekil 2.7.1965-2020 yılları arasında Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevi'nde ölçülen Keeling eğrisi aylık ortalama atmosferik CO <sub>2</sub> birikimindeki değişimler .....	13
Şekil 2.8 Global sera gazı konsantrasyonları .....	15
Şekil 2.9. Karbon ayak izi kapsam detayları .....	24
Şekil 3. 1. Tesise ait genel görünüm .....	34
Şekil 3. 2. Tesis iş akış şeması .....	35
Şekil 4.1. İki tip makine ile üretilen parçaların enerji verimliliği .....	43
Şekil 4.2.Üretim anındaki iki makine tipine göre yıllık karbon salınımı .....	44

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 Antropojenik metan oluşumuna yol açan faaliyetler .....	14
Çizelge 2.2. Climate Trace raporuna göre 2015-2020 yılları arasında sektörel karbon salınımı değerleri.....	22
Çizelge 3.1. İşletmede Yıllara Göre Enerji Tüketim miktarları.....	37
Çizelge 3.2. İpcc Ve Kyoto Protokolüne Göre Sera Gazları ve Kıp Değerleri...39	
Çizelge 3.3. Elektrik tüketimine bağlı karbon ayak izi miktarları ve elektrik kayıpları.....	40
Çizelge 3.4. Dönüşüm Değerleri .....	40
Çizelge 4.1. İki farklı makine ile parça üretim anındaki enerji tüketimleri .....	42
Çizelge 4.2. Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi arasındaki farklılıklar.....	46
Çizelge 4.3. Hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ve elektrikli plastik enjeksiyon makinesi yıllık tüketim miktarları .....	47

## 1. GİRİŞ

Otomotiv sanayi özellikle ÷lkeye yarattığı katma değeri, sağladığı istihdam, ortaya çıkardığı yan sanayi kolları ile ÷lke kalkınmasında büyük rol oynamaktadır. Otomotiv sanayisindeki artış ile beraber plastik parça üretimi de artış göstermektedir. Plastiğın kolay işlenmesi ve maliyetlerinin düşük olması plastik enjeksiyon üretimini arttırmaktadır.

Tüm endüstri kolları gibi plastik enjeksiyon üretimi aşamasında birçok hammadde ile birlikte enerji sarfiyatı ve çevresel kirlilikler ortaya çıkmaktadır. Bunun yanı sıra proses sırasında kullanılan hammaddeler girdi olarak kullanılırken katı, sıvı ve gaz atık oluşmaktadır. Söz konusu atıkların bir kısmı tehlikeli atık olarak bertaraf yöntemleriyle giderilmekte, bir kısmı da makinelerin elektrik tüketimine bağılı olarak karbon salınımına neden olmaktadır.

Endüstriyel devrim sonrası, günümüzde tüketimlere bağılı olarak üretimlerin artış göstermesi nedeni ile atmosfere verilen karbon miktarı da artmaktadır. Atmosfer üzerinde artış gösteren karbon miktarı küresel ısınmaya ve çevre krizlerinin yaşanmasına neden olmaktadır. Ülkemizde ve dünyanın diğeri coğrafyalarında yaşanan normal olmayan doğa olaylarının ve afetlerin ana nedeni de karbon salınımı artışı nedeniyle iklimde meydana gelen değışikliklerdir. Diğeri taraftan sera gazları bir çevre sorunu olarak varlığını sürdürmektedir ve bu gazların azaltımına yönelik araştırmaların gerekliliğini gözler önüne sermektedir.

Enerji kaynaklarının giderek azalması ile özellikle fosil yakıtların yerine geçebilecek yenilenebilir enerji kullanımı ya da küresel sorun haline gelen karbon salınımının azaltılması için araştırmalar yapılmaktadır. Enerji ihtiyaç talebinin giderek artış gösterdiği, ancak enerji kaynaklarımızın devamlı azalmaya başladığı bir ortamda ihtiyacımız olan enerjinin verimli olarak kullanılması ciddi önem kazanmaktadır(Wikstroem ve diğeri 2007). Genel bir tanımla enerji verimliliğı; gaz, ısı, hava, buhar ve kullanılan elektrikteki enerji kayıplarını önleyebilmek, kullanım sonrası oluşacak olan atıkların yeniden kullanılarak geri kazanılması ve

değerlendirilmesi veya gelişmekte olan teknolojik fırsatlar ile üretimi düşürmeden enerji ihtiyacının azaltılması, daha etkili enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel prosesler, kojenerasyon yöntemlerinin kullanılarak enerji geri kazanımları sağlayarak enerji veriminin artırılması olarak ifade edilir. Enerji verimliliği gelişmiş ülkelerin politikalarında ciddi anlamda önemli bir yere sahiptir. Aynı zamanda sera etkisine neden olacak CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltarak çevresel faydaları da artırmaktadır (Patterson 1996).

Dolayısıyla otomotiv yan sanayiden ana sanayiye kadar tüm proseslerde çevreye olumsuz etki edebilecek olan parametrelerin detaylandırılarak minimize edilmesi gerekmektedir.

Artan plastik enjeksiyon üretimi ile beraber çevresel ve enerji sarfiyatı koşullarında da artış olmasından dolayı daha iyi ürün ortaya koyan, daha az enerji sarfiyatı yapan ve daha çevreci makinelerin geliştirilmesine özen gösterilmektedir.

Çevresel-ekonomik perspektifler son zamanlarda işletmelerdeki makinelerin performans analizinde dikkate alınan bir konu olarak, giderek ivme kazanmakta, ancak çok az sayıda araştırma bu olgunun çok boyutlu doğasını dikkate almaktadır.

Araştırma iki farklı önemi bünyesinde barındırmaktadır. Birincisi yükselen enerji maliyetleri karşısında işletmelerin birim ürün başına daha az enerji sarfiyatı yapan makinelerin kullanımına dikkat çekmek, ikinci önemi ise sürekli artan çevre sorumluluğu bilinci hususunda firmalarda farkındalık oluşturarak ve küresel ısınma sorununun önemli nedenlerinden biri olan CO<sub>2</sub> salınımının en aza indirilmesine katkı sağlayacaktır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1.Otomotiv Sanayisinde Plastik Enjeksiyon İmalatı;**

Plastik hammaddenin yüksek sıcaklıkta eritilerek bir kalıp içerisine enjekte edilebilmesi ile gerçekleşen üretim yöntemine plastik enjeksiyon denilmektedir. Plastik enjeksiyon üretimi için 3 ana teçhizat gerekmektedir.

- Plastik enjeksiyon makineleri
- Plastik malzeme
- Enjeksiyon kalıpları

Yaşamımızı sürdürdüğümüz çevrede pek çok plastik parça bu imalat yöntemi ile üretilmektedir. Plastiklerin kullanım alanları olarak ambalaj, sağlık, ulaşım, elektrik ve elektronik ile otomotiv sektörü olarak sıralanabilir. Otomotiv sanayisinde kullanılan plastik parçalar aracın tavan aydınlatmasında, yakıt hortumlarında, kontrol panellerinde, tampon bölümlerinde ve torpido kısmında plastik parçaların hakim olduğu görülmektedir.

Plastik enjeksiyon makineleri bilgisayar sistemleriyle bütünleşik olarak kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Otomotiv sanayisinde artan talepler doğrultusunda otomobillerde sürücülerin beklentileri;

- Yüksek performans,
- Yüksek güvenlik ve güvenilirlik,
- Üstün konfor beklentisi,
- Yakıt tasarrufunda üstün beklenti,
- Estetik stil,
- Daha uygun olan fiyat beklentisi ile beraber, yaşamış olduğumuz çevreye zarar veremeyecek teknolojilerin kullanılmasıdır.

Bu beklentiler birbirine zıt düşmekte fakat üreticiler bu ihtiyaçları plastik parça ile karşılayabilmektedir. Plastiklerin araç üretiminde kullanılması, sürücü beklentileri ve birbirine zıt düşen talepleri en uygun hale getiren üstün özellikleri şunlardır(Anonim,2016);

- Hafif ve güçlü olması,
- Yüksek güvenlik sağlayarak güvenilir olması, (Plastik parçalar, hafiflik ve güvenlik dengesini sağlamaktadır. Plastiklerin kullanılmadığı durumda, bugün otomobillerinin 200 kilo daha ağır olacağı ve bu neden ile birlikte yakıt tüketiminin artış göstereceği düşünülmektedir.)
- Araçta kullanılan plastikler yüksek performans sağlayarak, araç üretim ve kullanım maliyetlerinin azaltılması,
- Plastiklerin her alanda kullanım özelliği ile beraber tasarım kolaylığının sağlanması,
- Üstün konfor beklentisini karşılayabilecek taleplere uygun olması
- Otomotiv sanayi sektörünün beklentisi olan estetik, yüksek konfor ,yakıt tüketim verimi, güvenlik gibi mühendislik beklentilerini karşılaması,
- Geri dönüşüm imkanı sağlayabilmesi ile beraber çevreye olumsuz etkileri azaltabilmesidir.

Kaynak kullanım ihtiyacını minimuma indirecek olan plastikler, otomotiv sanayisinde ve aracın tasarımında kullanımı, çevreye olan etkilerinin en aza indirilmesine ve kaynak kullanım ihtiyacının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Otomotiv sanayisi ile beraber plastik tedarikçileri için kullanım artışı, sadece maliyet/performans ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp beraberinde kolay de montaj ve geri kazanıma olanak sağlayarak yeni donanımların geliştirilmesine imkan sağlamaktadır. Böylelikle yeni yapılan araç tasarımlarında daha fazla geri kazanım teknikleri düşünülerek yapılmaktadır. Aynı zamanda, plastik parçaların araç üzerinde kullanımı ile beraber ağırlık tasarrufu elde edilmektedir. Otomobil üzerinde yaklaşık 100 kg plastik, 200 ile 300 kg malzemenin yerini almaktadır. Ağırlık tasarrufu yapıldığı durumda ortalama bir aracın yakıt tüketim ihtiyacını 150.000 kilometrelik ömürde 750 litre oranında azaltmaktadır. Bu durumda Batı Avrupa’da petrol tüketimini yılda 12 milyon ton ile beraber CO<sub>2</sub>’ i yılda 30 milyon ton azaltmaktadır (Anonim 2016).

Plastiklerin geri dönüştürülerek tekrar kullanılabilme özelliği ve dolayısıyla doğal kaynakların azaltılmadan kullanılması ve sürdürülebilir gelişime sağladığı katkı nedeni ile imalatçılar tarafından kullanımı daha çok tercih edilmektedir.



## **Hidrolik plastik enjeksiyon makinesi**

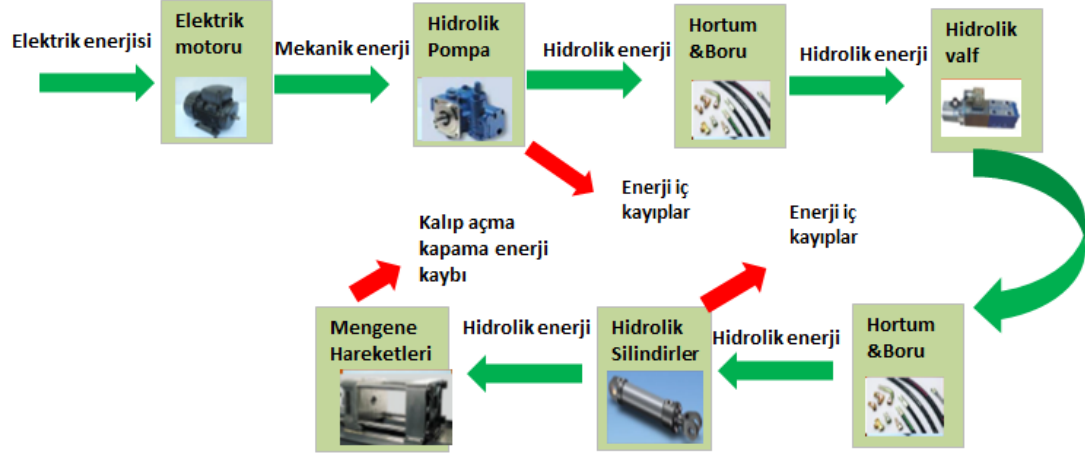
Termoplastik malzemelerin enjeksiyon yöntemiyle kalıplanmasında kullanılan makinelere enjeksiyon makineleri denir. (Anonim 2006)

Plastik enjeksiyon makinaları kalıp bölümü, mengene bölümü ve enjeksiyon bölümlerinden meydana gelmektedir.

Plastik hammaddenin hidrolik ile üretilen yüksek basınç altında sıkıştırıldığı bölüme Mengene denmektedir. Bu kısımda erkek ve dişi kalıp olmak üzere 2 kalıp bulunmaktadır. Granül halde bulunan hammadde enjeksiyon ünitesi içerisinde bulunan haznede yer almaktadır. Yüksek sıcaklığa elektrikli ısıtıcılar tarafından ulaşan hammadde, eriyerek mengene bölümünde bulunan kalıp bölümüne ulaştırılır. Bu itme işlemi ile beraber kalıp içerisine eriyik haldeki hammadde dolarak enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Kalıbı dolduran plastik hammadde, giriş noktasından geriye doğru kaçmaya çalışır. Bu durum üretilen malzemede çöküntü, atıklık ve görsel şekil bozukluklarına neden olur. Görsel hataların oluşmaması için enjeksiyon basıncı sonrasında tutma basıncı sağlanır. Ardından erimiş olan hammaddenin kalıp üzerinde sertleşmesi işlemi soğutma işlemi yapılarak gerçekleştirilir. Plastik enjeksiyon uygulamasının son adımı olan soğutma işlemi sonrası ürün kalıptan çıkarılır ve kullanıma sunulabilir.

Hidrolik plastik enjeksiyon makinesinin çalışma prensibi sıvıların sıkıştırılmama prensibine göre tasarlanmıştır. Metallerin pastan korunması, ısı dayanımı, uzun ömürlü olabilmesi sebebi ile hidrolik sistemler için özel tasarlanan yağlar kullanılmaktadır. Hidrolik yağ, hidrolik tank içerisinde depolanır. Yağ tankından yağın emişini sağlayarak sisteme yüksek basınçlı olarak gönderim işlemi hidrolik pompa sağlamaktadır. Hidrolik yağın sistem içerisindeki hareketini valfler sağlar. Pistonlar yağ ile dolup taşarak hareketi sağlar ve mengene grubuna hareket iletilir. Hidrolik basınç ile vida dönerek eriyik polimer ileri doğru itilir. Vidanın üzerinde bulunan helezonların açılı ve vida çeliği çok önemlidir. Eriyik hammadde vidada ilerlerken, helezondaki açıdan ve plastiğin vida çeliğine sürtünmesinden kaynaklanan ısı kaybı da söz

konusudur. Bu nedenle devamlı elektrik tüketimi ve ısı kayıpları oluşmaktadır. Hidrolik plastik enjeksiyon çalışma prensibi Şekil 2.1 de verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi Çalışma Prensibi

Bu tip makinelerde tüm basınçlar hidrolik basınç üreten bir elektrik pompası vasıtası ile oluşturulur. Hidrolik sistemlerde "Hidrolik verimi" söz konusu olduğu için istenen basınç kuvvetini oluşturmak için yüksek elektrik tüketimi gerekmektedir. Öte yandan hidrolik yağ kullanımı nedeni ile hidrolik yağ atığı da oluşmaktadır. Hidrolik plastik enjeksiyon makinesinin görünümü Şekil 2.2 de verilmiştir.



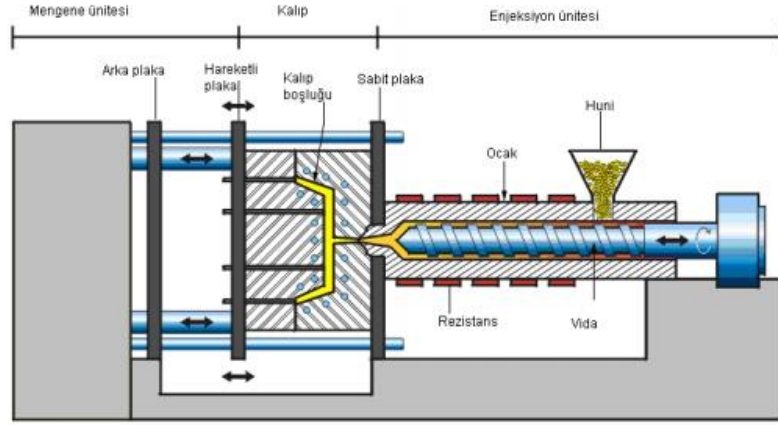
**Şekil 2. 2.** Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi

**Makine üniteleri:**

Enjeksiyon makineleri beş ana bölümden meydana gelir.

1. Enjeksiyon ünitesi: Enjeksiyon bölümünün temel amacı plastik hammaddeyi eriterek kalıba itmektir. Huniden kovana giren plastik malzeme ısıtıp eritilerek kalıba enjekte edilir.
2. Mengene ünitesi: Enjeksiyon işlemi öncesi kalıbın kapanmasını ve kalıba itilen hammaddenin ürün haline getirilebilmesi için kalıbı kilitli tutarak daha sonra üretilen parçanın çıkarılabilmesi için kalıbın açılmasını sağlar.
3. Kontrol ünitesi: Enjeksiyon makinesinin, ısı, hız, basınç, mesafe gibi makine parametrelerinin takip ve kontrol edilmesini sağlar.
4. Tahrik (hareket) sistemi: Plastik parçanın kalıp içerisinden otomatik olarak çıkabilmesi için itici grubu ile itilmesi gerekmektedir. Bu grubun hareketini tahrik sistemi sağlamaktadır.
5. Kalıp ve elemanları

Enjeksiyonun gerçekleştiği enjeksiyon ünitesi, kalıbın bağlandığı kalıp ünitesi ve açma kapama yapılan mengene ünitesi detayları Şekil 2.3 de verilmiştir.



Şekil 2. 3. Enjeksiyon Bölümleri (Anonim 2013)

### Elektrikli plastik enjeksiyon makineleri

Elektrikli plastik enjeksiyon makineleri, plastik sektöründe hidrolik makine ile istenen beklentilerin karşılanamaması sonucu teknolojik gelişmeler ile beraber meydana gelmiştir. Hidrolik makinelerde yaşanan mengene ve mal alma pozisyonlarında ki sapmalar, otomasyonlar da ki sıkıntılar, enerjiyi verimli kullanamama ve buna bağlı yüksek tüketimler, düşük enjeksiyon ve mengene hızları, kalıp korumadaki darbeler gibi istenmeyen unsurlar elektrikli makinelerin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Kavrak B.2018).

Elektrikli enjeksiyon makinelerinin hareketleri servo motor ile sağlanmaktadır. Güç aktarımları kayış sistemi ile sağlanmaktadır. Elektrikli plastik enjeksiyon makinelerinin çalışma prensibi Şekil 2.4 te verilmiştir.



**Şekil 2.4.** Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makineleri Çalışma Prensibi

Enjeksiyon makinelerinin işlevi;

Hammadde huni kısmına vakum yöntemi ile yüklenir. Huniye yüklenen hammaddeyi erime ocağının içinde bulunan vida vasıtası ile ocağın içerisine alınır.

Kontrol sisteminde ayarlanan basınç ve hıza bağlı olarak vida eriyik hammaddeyi enjeksiyon kalıbına iter.

Üretilen parçanın çok kalın olması durumunda veya çöküntü gibi görsel problemler yaşanması durumunda tutma basıncı uygulanır.

Kalıp içerisinde dolan ve sertleşen hammadde soğuma süresi ihtiyacına bağlı olarak soğuma uygulanır ve mengene açılır.

Açılan mengene kalıp üzerinde bulunan iticiler yardımı ile kalıp üzerinden çıkarılır.

Robot otomasyon sistemi kullanılıyorsa, robot tarafından enjeksiyon makinesine mengene kapama komutu gönderilerek makine çevrimine devam edilir.

Otomasyon kullanılmadığı durumda kapı açılır ve üretilen parça el ile alındıktan sonra çevrime devam edilir. (Anonim)

Yukarıda tanımlanan işlemlerin bütünü hidrolik ve elektrikli enjeksiyon makinelerinde yapılabilmektedir. İki makine içinde çalışma yapıları aynıdır. Elektrikli plastik enjeksiyon makinesinin genel görünümü Şekil 2.5’de verilmiştir.

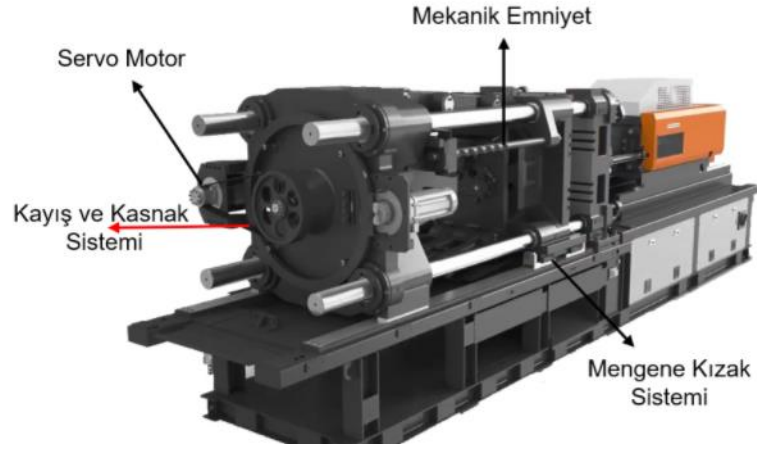


**Şekil 2. 5.** Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinesi

**Makine üniteleri:**

1. Mengene Sistemi: Elektrikli Plastik Enjeksiyon makinelerinde bulunan mengene kısmı beş noktadan kilitlenmiş makaslı sistem ile hareketi sağlanır. Elektrikli Enjeksiyon makinelerinde beş noktadan kilitlemeli sistemi; mengene basıncı, V tipi mengene sistemi ve özel merkezi basınç plakası sayesinde tüm kitleme gücü eşit bir şekilde plakaya dağıtılmaktadır. Servo motor tahriki – kayış – kasnak sistemi ile hareket eden mengene sonsuz vidası çok hızlı bir şekilde hareketli plakayı açma ve kapama özelliğine sahiptir.
2. Enjeksiyon Sistemi: Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinelerinde enjeksiyon yöntemi, servo motor, kayış, kasnak sistemi ile hareket etmektedir. Bu hareket hidrolik makinelere göre daha hassas enjeksiyon yapabilme özelliğini sağlamaktadır.

3. Kontrol Sistemi: Elektrikli Enjeksiyon makineleri ile gerçekleşen üretim anındaki ayar yapılan tüm değerlerin ve verilerin kopyalanabilme özelliği vardır. Bilgisayar ortamına veya farklı makinelere bu değerler aktarılabilir. Modem seçeneği sayesinde uzaktan erişim sağlanarak eş zamanlı olarak mevcut değerler uzaktan takip edilebilmektedir. Kontrol sisteminde ki mevcut olan yazılım sayesinde geçmişe dönük gerçekleştirilen tüm değişiklikler rapor olarak temin edilebilmektedir. Kontrol sisteminde servo motorların güçleri, grafik-veri analizleri, kalite kontrol seçenekleri, operatörlere yetki atanması gibi birçok özelliği sunmaktadır. Elektrikli makine üniteleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



**Şekil 2. 6.** Elektrikli Plastik Enjeksiyon Üniteleri

## 2.2. Sera Etkisi

Güneş ışınları atmosfer tabakasından geçerek yeryüzünü ısıtır ve ışınların bir kısmı yeryüzüne ulaştıktan sonra uzay boşluğuna yansır. Karbondioksit, su buharı, metan, azot oksit gibi gazlar atmosferden geri yansıyan kızılötesi ışınları soğurarak yeryüzü tabakasına geri yansıtır. Böylece yer yüzeyinin daha fazla ısınmasına neden olur. Bu duruma sera etkisi neden olmaktadır. Sera etkisini yaratan gazlara;CO<sub>2</sub> (Karbondioksit), CH<sub>4</sub> (Metan),H<sub>2</sub>O(Su buharı),N<sub>2</sub>O(Diazot monoksit),O<sub>3</sub>(Ozon) ve CFC (Kloroflorokarbon) sera gazları denilmektedir.

### 2.2.1. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Karbon atmosferde karbondioksit formunda bulunmaktadır. Atmosferde karbondioksit oluşumuna neden olan faktörler;

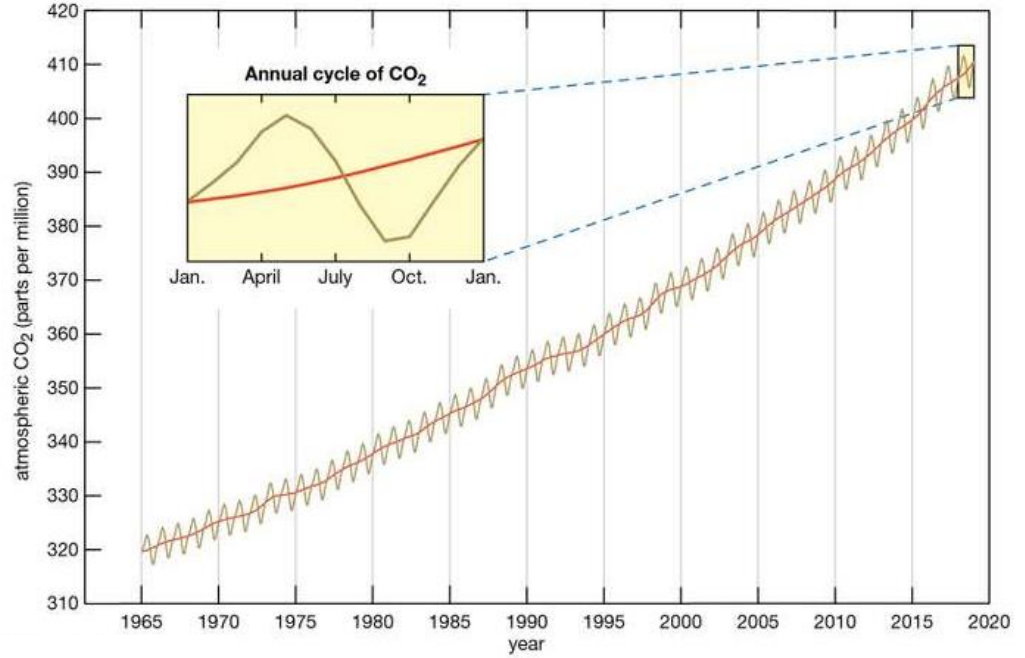
- Fosil kaynaklı yakıtların aşırı tüketimi,
- Yanar dağlardaki volkanik patlamalar,
- Hücresel solunum,
- Çözünmüş kireç taşları,
- Canlı kalıntılarının ve ölümlerin çürümesi ile içlerindeki karbon dioksiti açığa çıkarması,
- Su yüzeylerindeki çift yönlü karbondioksit alışverişinin sağlanmasıdır.(Anonim 2021b)

Atmosferde karbon oranının artmasının en büyük nedenlerinden birisi sanayileşmedir. Sanayi devrimi sonrası endüstrilerin gelişimi ile beraber üretim ve tüketimin artması ve fosil kaynaklı yakıtların kullanılması sera gazı artışına neden olmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucunda sanayileşme öncesi dönemlerde atmosferde bulunan karbondioksit oranı 200-280 ppm arasında iken, Hawaide bulunan Mauna Loa Rasathanesi'nde 21 Ocak 2020 yılında 415.79 ppm değeri ölçülerek en yüksek karbondioksit değerine ulaşılmıştır.(Anonim 2020a)

Şekil 2.7'de 1965-2020 yılları arasında dünya atmosferindeki karbon dioksit konsantrasyonundaki değişimi gösteren grafik verilmiştir. Hawaii'deki Mauna Loa'daki bir araştırma istasyonunda Dünya atmosferindeki karbondioksit değerleri ölçülerek Keeling eğrisi üzerinde gösterilmektedir. Keeling eğrisinde CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde azaldığı ortaya konulmuştur. Bu mevsimlerde ki CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarındaki düşüşün, bitki örtüsünün hızla yapraklanarak fotosentez etkisinin artışı üzerinde durulmuştur.1965 yılında atmosferdeki karbondioksit miktarı 320 ppm değerlerindeyken 2020 yılında 415.79 ppm değerlerine ulaşmıştır.(Anonim 2020b)





**Şekil 2.7.**1965-2020 yılları arasında Mauna Loa (Hawaii) Gözlemevi'nde ölçülen Keeling eğrisi aylık ortalama atmosferik CO<sub>2</sub> birikimindeki değişimler (Anonim 2020b)

### 2.2.2. Metan(CH<sub>4</sub>)

Metan bileşiği 4 adet hidrojen ve 1 adet karbon atomundan meydana gelmektedir. Organik artıkların oksijensiz bir ortamda ayrışması (anaerobik ayrışma) ile oluşmaktadır. Kokusuz bir gazdır. Doğal gazın birleşimi olması nedeni ile önemli yakıt türlerindedir. En az karbondioksit gazı kadar iklim değişikliğine neden olmaktadır. Bunun temel sebebi ,metan gazının küresel ısınma potansiyelinin karbondioksit gazının 21 katı olmasıdır.(Aydın 2008).

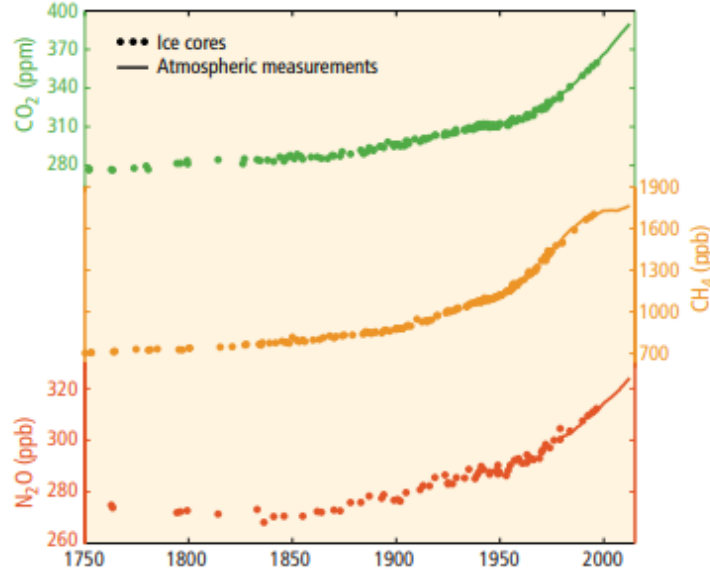
Metan gazı antropojenik(insan kaynaklı) ve doğal yollar ile açığa çıkmaktadır. Antropojenik (insan kaynaklı) metan emisyonları % 60'ını oluşturmaktadır. Kalan % 40'lık bölüm ise doğal kaynaklardan açığa çıkmaktadır. Doğal kaynaklar; termitler, hidratlar, okyanuslar, ve bataklıklardır. Antropojenik metan emisyonlarına yol açan kaynaklar Çizelge 2.1 de dört başlık altında toplanmıştır (EPA, 2006)

**Çizelge 2.1** Antropojenik metan oluşumuna yol açan faaliyetler (EPA,2006)

<b>Metan oluşumuna yol açan faaliyetler</b>			
<b>Enerji</b>	<b>Endüstri</b>	<b>Tarım</b>	<b>Atık</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kömür madenciliği</li><li>▪ Doğal gaz ve petrol sistemleri</li><li>▪ Fosil yakıtlar</li><li>▪ Biyokütle</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kimyasal üretimi</li><li>▪ Demir ve çelik üretimi</li><li>▪ Metal üretimi</li><li>▪ Mineral ürünleri</li><li>▪ Petrokimyasal üretimi</li><li>▪ Silikon karbit üretimi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Gübreleme</li><li>▪ Enterik fermantasyon</li><li>▪ Pirinç tarlaları</li><li>▪ Diğer</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Katı atık dolgusu</li><li>▪ Atık suyu</li><li>▪ Atık yakılması</li><li>▪ Çözücü ve diğer ürünlerin kullanımı</li></ul>

### **2.2.3. Diazot monoksit (N<sub>2</sub>O)**

Doğada azot iki atomlu olarak bulunmaktadır. Atmosferin %80 i azottan meydana gelmektedir. Karbondioksit ve metandan sonra en güçlü sera gazıdır. Ozon tabakasına zarar veren bir gazdır. Tarım ve endüstriye bağlı etkinlikler, katı atıkların ve fosil yakıtların yanması ile oluşmaktadır. Taşıtların egzozlarından da çıkarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Azotlu gübre kullanımının artış göstermesi de insan faaliyetleri ile diazot monoksitin atmosfere salınmasına bir araçtır. Yapılan araştırmalara göre 2000-2005 ve 2010-2015 yılları arasında diazot monoksitlerin %10 arttığı tespit edilmiştir.Şekil 2.8 de atmosferik sera gazı konsantrasyonlarının 1800 ve 2000 yılları arasında ki artış miktarları gösterilmiştir.(Anonim 2019a)



Şekil 2.8 Global sera gazı konsantrasyonları (IPCC 2014)

#### 2.2.4.Su Buharı (H<sub>2</sub>O)

Atmosferde en yüksek bulunan sera gazı su buharıdır. Atmosferdeki doğal sera etkisinin %75 ini oluşturan bir gazdır. Ana kaynağı okyanuslardaki buharlaşmadır. Atmosferde bulunan konsantrasyonu %0-2 aralığındadır. Yapılan araştırmalara göre su buharı, atmosferden yansıyan uzun dalga boyuna sahip kızıl ötesi ışınların tutulmasına neden olan bir gazdır. (Pekin, 2006)

Bu gazın atmosferdeki yoğunluğu insan kaynaklı olmayıp, iklim sistemi kaynaklıdır. Su buharının küresel ısınma ile beraber konsantrasyonunun artması iklim değişikliklerine neden olacaktır. Araştırmalara göre sıcaklıkların artması ile beraber atmosferde su buharı yoğunluğu artarak havanın daha sıcak olmasına ve buharlaşma oranının artmasına neden olacaktır. Böylelikle atmosferde su buharının daha fazla salınmasına neden olacaktır. Isınmış olan hava daha da fazla su buharını emerek daha fazla ısınmanın gerçekleşmesine sebep olacaktır. (Atabey, 2013)

### **2.2.5. Ozon(O<sub>3</sub>)**

3 adet oksijen atomunun birleşmesi ile oluşmaktadır. Atmosferin yere temas eden en alt tabakasında(troposferde)düşük yoğunlukta bulunan sera etkisine sahip olan ozon, yeryüzünden yansıyacak olan uzun dalga boyuna sahip ışınların uzaya geri yansımını engellemektedir. Atmosferin yere temas eden alt tabakasından itibaren (stratosfer)50 km yüksekliğe kadar olan yüzeydeki ozon yoğun olarak bulunarak güneşten gelecek olan zararlı ultraviyole ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını engellemektedir. Ozonun moleküler yapısı çabuk bozulmaya müsait olmasından dolayı stratosferde bulunan ozon miktarı, atmosfere salınan brom ve klor içeren halokarbonlar nedeni ile azalmıştır. Böylece ozon tabakası incelmıştır. (Bıyık 2018).

### **2.2.6. Kloroflorokarbon(CFC)**

Küresel ısınma üzerinde büyük etkisi olan CFC'lerin bozunma süresi yaklaşık olarak 100 yıldır. Atmosferde kısa bir sürede ayrışamayan kloroflorokarbon bileşiklerinin ısı tutma kapasitesi, karbondioksit gazına göre 20.000 kat daha fazladır. (Uzunçakmak2014).

Günümüzde kloroflorokarbonları atmosfere insan üretimi kaynaklı olarak salınmaktadır.1920 yılında sülfür dioksit gazının soğutucu olarak kullanmak amacıyla geliştirildi. Buzdolabı, klimalar, parfümler ve araç egzozlarından kloroflorokarbon gazları(CFC),hidroflorokarbonlar (HFCs),perflorokarbonlar (PFCs), sülfür hekzaflorid (SF<sub>6</sub>) atmosfere salınmaktadır. Atmosfere bırakılan kloroflorokarbonların ozon tabakasında ki dengeyi bozması nedeni ile kullanımı 1987 yılında Montreal protokolü ile sınırlandırılmış ve 2010 yılına kadar durdurulmasına karar verilmiştir. Fakat sanayide ozon tabakasını incelten maddelerin yerine kullanılması ile sera etkisine neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde soğutucu gaz olarak kloroflorokarbonlar kullanılmaktadır. Hidroflorokarbonların atmosferde kalma süreleri kloroflorokarbonlara göre daha az olması nedeni ile kullanımı yaygınlaşmıştır. Alüminyum eritme işlemi sırasında, perflorlu bileşikler, araç koltuğu , mobilya sanayisinde ve yalıtım işlemlerinde kullanılan köpük üretimi sırasında hidrofloro karbonlar açığa çıkmaktadır. .(Anonim,2021b)

Kükürtheksaflorid (SF<sub>6</sub>) ses yalıtımında, retina tedavisinde, araç lastiklerinde, madencilikte, enerji sektöründe ve askeri uçak uygulamalarında kullanımı yaygındır. Ülkemiz 1991 yılında Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolüne taraf olmuş olup Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayımlanmış olduğu 07.04.2017 tarihli ve 30031 sayılı Resmi Gazete de yayınlanan Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik ile kontrol altına alınan maddelerin kullanımı ve sonlandırılmasına ilişkin usul ve esaslar belirlenerek kontrol altına alınmıştır.(Anonim,2017)

### **2.3.Sera Gazlarının Küresel Isınmada Etkileri**

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği yaşamımızı tehdit eden bir tehlikedir. Yeryüzünün ısınmasına katkı sağlayan CO<sub>2</sub>(Karbondioksit), CH<sub>4</sub> (Metan),H<sub>2</sub>O(Su buharı),N<sub>2</sub>O(Diazot monoksit),O<sub>3</sub>(Ozon) ve CFC (Kloroflorokarbon) bu gazların atmosferde birikimi sonucu, sera etkisi artarak, küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. Küresel ısınma, buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi ve aşırı yağışların gerçekleşmesine neden olmaktadır. Sera etkisinin artmasındaki en önemli olgu havada bulunan CO<sub>2</sub> gazı oranındaki artıştır.CO<sub>2</sub> gazının atmosferde artış göstermesi hava kirliliğine de sebep olmaktadır. Bu durum dünya üzerinde yaşayan bir çok canlının, bitkilerin ve hayvan türlerinin yok olma tehlikesi sorununu da ortaya çıkarmaktadır. Havadaki karbondioksit miktarının artmasındaki nedenler; fosil yakıt ile çalışan araçlar, nüfus yoğunluğunun artması ve yeşil alanların azaltılmasıdır. Atmosferde mevcut durumdaki karbondioksit konsantrasyonu 360 ppm'dirBu değer 2100 yılında iki kat artarak 700 ppm olacağı düşünülmektedir.(Anonim 2018).

### **2.3. Küresel İklim Değişikliğinin Dünyamıza Etkileri**

İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazları nedeni ile dünyamızın sıcaklığının artmasına küresel ısınma denilmektedir. Günümüzde artan nüfus yoğunluğuna bağlı enerji tüketimlerinin artması, ulaşım faaliyetleri ve toprak kullanımlarının artması küresel iklim değişikliğinin temel nedenlerindedir. Artan talepler üzerine sanayileşmenin hız kazanması ile beraber endüstriyel tesislerde proses sırasında oluşan ve atmosfere bırakılan atık miktarları da artış göstererek; çevre,hava

,toprak ve su kirliliğine neden olmaktadır. Buna bağılı olarak atmosfere zararlı etkiler yaratmaktadır.

Son zamanlarda küresel iklim değişikliğinin etkileri ile karşı karşıya kalınmaktadır. Buzulların erimesi, aşırı yağışların gerçekleşmesi, kuraklığın artış göstermesi, deniz seviyelerinde artışların yaşanması, aşırı buharlaşma ve orman yangınlarının gerçekleşiyor olmasının temel nedeni küresel ısınmadır. Küresel ısınma sonucunda ormanlık alanların azalması, fosil yakıtların kullanımının artması ile beraber sera gazlarının atmosferdeki oranının artması atmosfer üzerinde ciddi bir tahribata neden olmaktadır. Atmosferin tahribatı ile beraber atmosfer tabakası üzerinde metan, karbondioksit ve diazot monoksit gazlarının atmosferde yığılı olarak birikmesine ve dünyamızın sıcaklığının artmasına neden olmaktadır.

#### **2.4. Karbon Ayak İzi Tanımı**

Çevreye verilen zararın ekolojik olarak CO<sub>2</sub> cinsinden ölçülebilmesine karbon ayak izi denmektedir. Ayrıca küresel ısınma riskinin ortaya konulması için en büyük araçtır. İnsanların yaşamlarını devam ettirebilmesi amacıyla tüketim, ulaşım, barınma gibi ihtiyaçları sırasında çevreye sera gazı salınımı olmaktadır. Atmosfere bırakılan sera gazı ozon tabakasının delinmesine sebebiyet vermektedir.

Sanayinin gelişmesi ile birlikte sera gazı salınımı artarak ciddi bir sorun haline gelmiştir. Artan pazar ihtiyaçları ile birlikte sera gazı salınımını en aza indirecek yöntemlerin araştırılması ve üretimden tüketime kadar sera gazı salınımının azaltılması gerekliliğini gözler önüne sermiştir. Sera gazları incelendiğinde karbon en önemli ve dikkat edilmesi gereken gazlar arasındadır. Bundan dolayıdır ki karbon hesabı yapılırken tüm gazlar eşdeğer karbon cinsinden ifade edilir.

##### **2.4.1.Çevre Mühendisliğinde Karbon Ayak İzinin Önemi**

Karbon ayak izi, iklime bağılı emisyonların (GHG) tamamını kapsar. Kyoto Protokolünde de bahsedilen sera etkisine neden olan ,çevre kirliliği yaratan ve küresel ısınma etkisini arttıran gazlar; Metan (CH<sub>4</sub>), Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), Hidroflorür

karbonlar (HFCs), Nitröz Oksit (N<sub>2</sub>O), Perfloro karbonlar (PFCs), Sülfürhekza florid (SF<sub>6</sub>) gazları insan faaliyetleri sonucu açığa çıkmaktadır.(Anonim, 1998; Albayrak ve ark., 2014).Bu kapsamda sera etkisine neden olan bu gazların azaltılabilmesi amacı ile bazı sözleşme ve protokoller imzalanmıştır.

### **Kyoto Protokolü**

Küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği için mücadelede uluslararası tek çerçeve olan Kyoto Protokolü(KP) 1997 yılında imzalanmış ve 2015 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye protokole 2009 yılında dahil olmuştur.

Kyoto Protokolünün amacı sanayileşmiş olan ülkelerde karbondioksit ve sera etkisine sebep olan CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, PFCs, HFCs bu beş gazın yoğunluklarının atmosfer üzerinde birikimini azaltmaktır. Ülkeler bu gazların oranlarını 1990 yılındaki oranların en az % 5 altına çekmekle yükümlüdürler. Kyoto Protokolüne göre sınırlama getirilen en önemli gaz karbon dioksit gazıdır. Bunun nedeni fosil yakıtların tüketilmesidir.(Anonim 2011).

KP' ye göre, Ek I Tarafları (OECD, AB ve eski sosyalist doğu Avrupa ülkeleri), KP' de belirtilen, sera etkisi oluşturan gazları 2008-2012 döneminde 1990 düzeylerinin en az %5 altına düşürmekle yükümlüdür. Bazı Taraflar, ilk yükümlülük döneminde sera gazı salınımlarında artış olanağı alırken (örneğin, Avustralya % 8 arttırabilecek), Ukrayna, Yeni Zelanda ve Rusya Federasyonu sera gazı salınımlarında 1990 yılındaki seviyelerine göre herhangi bir değişiklik olmayacaktır.(Türkeş 2006).

Kyoto düzenekleri (Ortak Yürütme, Temiz Kalkınma Düzenegi ve Salım Ticareti), gelişmiş ülkelere, sera gazı salımlarını buna bağlı olarak da iklim değişikliğinin etkilerini azaltma etkinliklerini en düşük maliyetle yüklenmek için, ulusal sınırlarının dışına çıkma kolaylığı sağlar (Türkeş 2001).

Protokole göre;

- ✓ İnsan faaliyetleri sonucu atmosfere salınacak olan sera gazı miktarları %5'e düşürülecektir.

- ✓ Sanayi faaliyetlerinden, araç kullanımlarından ve ısıtma kaynaklı oluşabilecek sera gazı miktarlarını düşürebilmek amacı ile tekrar mevzuat düzenlenecektir.
- ✓ Fosil kökenli yakıtlar yerine bio dizel yakıt kullanılacaktır.
- ✓ Alternatif enerji kaynakları kullanımına teşvik edilerek atmosfere salınan sera etkisi oluşturacak olan metan ve karbondioksit oranının düşürülmesi sağlanacaktır.
- ✓ Enerji tüketimini azaltacak şekilde ısınma sağlanacak, Enerji tüketimini azaltan araç kullanımına yönelinecek ve enerji tüketimini azaltacak sistemler ile üretim yapılacaktır.
- ✓ Termik santrallerde daha az karbon salınımı gerçekleştirecek sistemler devreye alınacaktır.
- ✓ Protokol kabul edildiğinde BMİDÇS tarafı olmayan Türkiye, Protokolün Ek-B listesine dahil edilmemiştir. Dolayısıyla, ülkemizin sayısallaştırılmış emisyon sınırlandırma / azaltım taahhüdü bulunmamaktadır.

### **Paris Anlaşması**

Kyoto Protokolünün 2020 yılı itibari ile sona ermesi nedeni ile Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) kapsamında iklim değişikliğinin azaltılması ve finansmanı hakkında 2015 yılında Paris’te imzalanmış ve 2016 yılında yürürlüğe girmiştir. BMİDÇS ‘nin 191 üyesi anlaşmayı imzalamış olup anlaşmayı 5 BMİDÇS ülke onaylamamıştır. Beş ülke; Yemen, İran, Libya, Eritre ve Irak’tır. Ülkemiz de“Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun” Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından 7 Ekim 2021 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Anlaşma iklim değişikliğinde mücadelede gelişmiş ve gelişmekte olan ülke ayrımını gözetmeksizin tüm ülkelerin ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ilkesi anlayışını dayandırmıştır(Anonim,2011a).Paris Anlaşması ülkelerin bu kapsamda gerçekleştirecekleri uyum, azaltım teknoloji transferi gibi konularda Anlaşmanın ana hedeflerini yerine getirmek için planlanan faaliyetlerinin içerdiği ‘‘Ulusal Katkı Beyan’’larını her 5 yıl için sunulması gerekliliğini ortaya koymuştur. Türkiye Paris Anlaşmasına taraf olmadığı dönem olan 2015 yılında Niyet edilen Ulusal Katkı Beyanını sunmuştur.



Anlaşma sanayileşme öncesi döneme göre küresel sıcaklık ortalama artışın 2°C 'nin altında tutulmasını hedeflemiştir. Ancak bu hedefe fosil yakıt kullanımını azaltılarak ve yenilenebilir enerji kullanımı ile ulaşılabileceği savunulmuştur.

### **Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi**

İnsan kaynaklı faaliyetler nedeni ile küresel ısınmaya karşı imzalanan hükümetler arası ilk çevre sözleşmesidir.1992 yılında kabul edilmiştir. Sözleşmenin amacı insan faaliyetleri sonucunda çevresel kirliliklerin neden olduğu sera gazı miktarının düşürülebilmesi ve bu gazların etkilerinin minimum seviyeye indirilmesidir. Sözleşme iklim değişikliği ile mücadelede ilk çevre mutabakatıdır. Sözleşme gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için farklı yükümlülükler getirmiştir. Ülkemiz 24 Mayıs 2004'te 189. Taraf olarak BMİDÇS'ne katılmıştır. (Anonim 1998).

### **BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 26. Taraflar Konferansı (COP26)**

31 Ekim-12 Kasım 2021 tarihinde İskoçya Glasgow şehrinde küreselleşme ve sera gazı oranlarının azaltılabilmesi için 197 ülkenin katılmış olduğu organizasyondur. COP 26 olarak kısaltılmıştır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi gereğince düzenlenen on beşinci, Paris Anlaşmasının ardından düzenlenmiş olan üçüncü konferanstır.

Paris anlaşmasının imzalanışından günümüze kadar geçen süre içerisindeki alınmış olan aksiyonlar değerlendirilmiştir.6 yıllık süreç içerisinde en sıcak yıllar olduğu tespit edilmiştir. Çünkü Paris anlaşmasının tüm yaptırımlarının sorumlu ülkeler açısından yeterli olmadığı düşünülmektedir. Glasgow İklim Anlaşmasında ilk defa kömür kullanımının aşamalı olarak azaltılması gerekliliği üzerinde durulmuştur. Görüşmede aynı zamanda gelişmekte olan ülkelere mali yardımların artırılması kararı alınmıştır.

İklim Eylemleri Takip (Climate Action Tracker-CAT) grubu'nun sunmuş olduğu verilere göre ülkelerin çoğu, Paris İklim Anlaşması hedeflerinde sunmuş oldukları taahhütleri gerçekleştiremediği tespitini yapmışlardır. CAT'a göre şuan uygulanan politikalar ile birlikte 2,7 °C' lik sıcaklıklarda artış olacaktır. 2030 yılı için alınan

taahhütler gerçekleştirilirse sıcaklık 2,4 °C, uzun vadeli konulan hedefler uygulanırsa sıcaklık 2,1 °C ve tartışılan bütün hedefler tam olarak uygulandığı takdirde 1,8 °C artışın olacağına tespiti yapılmıştır. Böylece 2030 yılı için konulmuş olan hedefler yetersiz olacağı bilinmektedir.

10 Kasım 2021 tarihinde ABD ve Çin ülkeleri metan kullanımını azaltacağı, kömür kullanımını kademeli olarak bırakılması ve orman alanlarının korunmasına yönelik iş birliği için anlaşma yapmışlardır.2019 yılı içerisinde Çin'in Dünya GHG emisyonlarının %27 sine neden olduğu söylenmiştir.(Anonim,2021c)

Climate Trace raporuna göre sera gazı emisyonlarının Paris Anlaşmasından günümüze kadar olan süreçte ki değişiminin %1,5 olduğu paylaşılmıştır.2015-2020 yılları arasındaki toplam karbon salınımının 303.96 B ton CO<sub>2</sub>e olduğu raporlanmıştır. Çizelge 2.2'de Paris anlaşmasından günümüze kadar olan süreç içerisinde Climate Trace raporuna göre küresel karbon salınımı değerlerinin sektörel bazda oranları ve karbon salınımı emisyon değerleri M ton CO<sub>2</sub>e olarak raporlanmıştır. En fazla karbon salınımı enerji sektöründe olduğu tespit edilmiştir. Rapora göre Paris anlaşmasında alınan önlem ve uygulamaların yeterli olmadığı anlaşılmaktadır.

**Çizelge 2.2.** Climate Trace raporuna göre 2015-2020 yılları arasında sektörel karbon salınımı değerleri (Anonim 2021ç)

Sektör	Emisyon miktarı (Mton CO <sub>2</sub> e)	Toplam %
Enerji	82,195.88	26.95%
Üretim	57,042.41	18.70%
Ulaşım	43,085.58	14.12%
Tarım	38,273.28	12.55%
Petrol	34,346.32	11.26%
İnşaat	24,883.14	8.16%
Atık	19,518.76	6.40%
Madencilik	322.15	0.11%
Denizcilik	5,378.82	1.76%

## **2.4.2. Karbon Ayak İzi Hesaplamaları**

Karbondioksit ölçüsü olarak kullanılan ölçüm tekniğinde 3 ana unsur vardır. Ölçüm teknikleri, doğrudan/birincil ayak izi, dolaylı/ikincil ayak ve diğer dolaylı karbon ayak izidir.

### **Doğrudan/birincil ayak izi(Tier-1)**

Fosil yakıtların yanmasından kaynaklı enerjinin, evsel elektrik enerjisi ve ulaşımda kullanılması sonucu ortaya çıkan doğrudan CO<sub>2</sub> emisyonlarının ölçüsüdür. İnsanların barınma, seyahat, ısınma ve ulaşımında kullandığı enerji kaynakları doğrudan /birincil karbon ayak izi grubunda yer alır.

### **Dolaylı/ikincil ayak izi(Tier-2)**

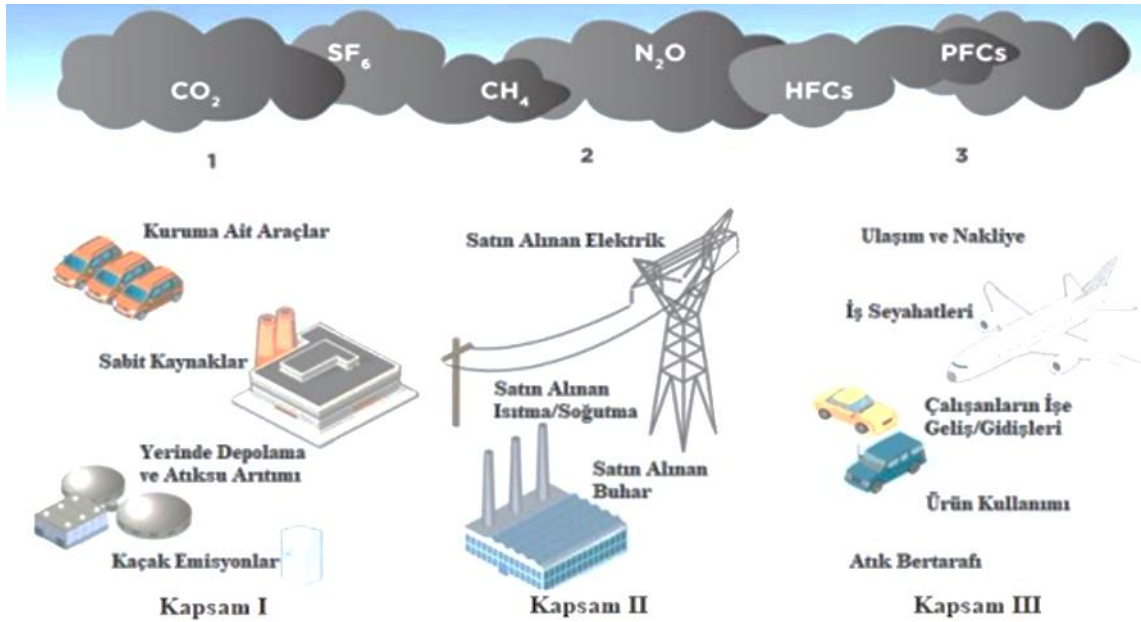
Kullandığımız ürünlerin üretim basamağından itibaren, yaşam döngüsü içerisine bozularak katılmasına kadar olan süreçte ortaya çıkan CO<sub>2</sub> emisyonlarının ölçüsüdür.

İkincil karbon ayak izi, birincil ayak izini kapsamaktadır (Atabey 2013). İkincil karbon ayak izi birincil karbon ayak izine göre daha geniş kapsamlıdır. İthal edilen ürünlerin kullanıcılara ulaşımına kadar olan süreç içerisindeki karbon salınımlarının hepsini içermektedir. Bu ürünlerin ulaşımı ve oluşan atıkların bertarafı sırasında enerji kullanımı söz konusudur. Ancak ikincil karbon ayak izini birincil karbon izi ile ayrı hesaplamak doğru sonuç vermeyebilir. Bu nedenle ISO 9001:2008 sertifikalı Kalite Yönetim Sistemi ile ISO 9001:2008 sertifikalı Kalite ISO 1400' sahip; Carbon Footprint Ltd Şirketi'nin birincil ve ikincil ayak izi ölçümleri için kullanılan sistemle tam olmasa da yaklaşık değerlerle ikincil ayak izinin hesaplanabileceği ortaya konmuştur (Atabey 2013).

### **Diğer dolaylı karbon ayak izi(Tier-3)**

Kurumların tüketmiş oldukları elektrik enerjisi nedeni ile açığa çıkan emisyonlar ile beraber başka kurumlardan satın aldıkları soğutma, buhar ve sıcak sulara bağlı olan emisyonlara diğer dolaylı karbon ayak izi denir. Kapsam-2 olarak değerlendirilemeyen

dolaylı emisyonlara denilmektedir. Tesislerin üretimlerini gerçekleştirirken iş seyahatleri, iklimlendirme, ürün nakliye bedelleri, atık bertarafları, benzin motorin kullanımları, yangın koruma, kaçak emisyonlar ve klima kullanımları sonucu açığa çıkacak olan emisyonlar Tier-3 olarak adlandırılmaktadır. Tier-3 yöntemi veri doğruluğu sağlaması nedeni ile diğerlerine oranla daha zor hesaplanabilmektedir. Şekil 2.9'da karbon ayak izi kapsam detayları özetlenmiştir. Yapılan çalışmada satın alınan elektrik tüketimi nedeni ile Tier-2 yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2.9. Karbon ayak izi kapsam detayları

### 2.4.3. Karbon Ayak İzi Azaltımı İçin Uygulanabilecek Önlemler

Günümüzde artan sera gazı salınımlarını tamamen yok etmek mümkün olmasa da yoğunluğunu azaltmak mümkündür. Bunun için bireysel ve kurumsal olarak almamız gereken önlemleri yaşatmamız gerekmektedir. Gelecekte sera gazı salınımları azaltılamadığı durumlarda küresel ısınma etkilerine insanoğlu maruz kalma tehlikesi ile karşı karşıya kalacaktır. Küresel ısınma kaynaklı iklim değişiklikleri, buzulların erimesi, aşırı değişken meteorolojik olaylar, seller, okyanuslardaki asit oranında gözlemlenecek artışlar, canlıların hayatını olumsuz etkileyecektir. Bilim insanlarının yapmış olduğu

çalışmalarda iklim değişikliğinin etkilerini minimuma indirebilmek için ortalama sıcaklık artışlarının azami 2 °C ile sınırlandırılması gerekliliği üzerinde durulmuştur. Bu oranı yakalayabilmek adına atmosferde CO<sub>2</sub> 'in 450 ppm değerini aşmaması gerekmektedir. Dünya Bankasına göre günümüzde alınan önlemler ve oluşturulan politikaların yeterli gelmediğini, 2060 yılına kadar bir önlem alınmadığı durumda ortalama sıcaklık artışının 4°C olacağı tahmin edilmektedir.

### **Bireysel karbon ayak izini azaltabilmek için alınacak nlemler**

Yaşamımızı sürdürürken bireysel olarak karbon ayak izimizi en aza indirmemiz gerekmektedir. Bunun için alınabilecek önlemler aşağıdaki gibidir.

- Fosil kaynaklı enerji temin eden firmalar yerine, güneş, hidroelektrik ve rüzgarı kullanarak enerjiyi yenilenebilir kaynaklardan temin eden firmalara abonman olunmalıdır.
- Günlük yaşantımızda sık sık kullandığımız televizyon, klima gibi elektrikli aletlerin kullanılmadığı durumda tamamen kapatılmalıdır.
- Evde bulunmadığımız durumlarda ısıtma sistemleri kapalı konuma getirilmelidir.
- Bulaşık ve çamaşır makineleri tam kapasite dolduğu durumda çalıştırılmalıdır. Böylece hem elektrik hem de su tüketimi sağlanmış olacaktır.
- şarj gerektiren bilgisayar, telefon gibi elektrikli aletlerin şarjı dolduğunda tamamen prizden çıkartılmalıdır.
- Buz dolaplarında belirli periyotlar halinde buzlukta oluşan buzlar zdrlmelidir.
- Bireysel araç kullanımları azaltılmalı ve toplu taşıma araçları kullanılmalıdır.
- Giysileri elektrikli ısıtıcılar yerine doğal yollarla kurutulması sağlanmalıdır.
- Evlerimizde kullanılan buz dolaplarının enerji tasarrufunu sağlayan ‘‘A sınıfı ‘‘grup tercih edilmelidir.
- Uak seferleri azaltılmalıdır.
- Mevsiminde olmayan meyve ve sebzelerin tüketimi tercih edilmemelidir. Mevsiminde yetişmeyen meyve ve sebzelerin bulunduğumuz alana gelene kadar

üretim ve ulaşım sürecinde atmosfere karbon salınımına katkılarının olacağı unutulmamalıdır.

### **Kurumsal karbon ayak izini azaltabilmek için alınacak önlemler**

Günümüzde karbon salınımı artışına neden olan en yüksek miktarlar sanayiden oluşmaktadır. Her sektörde ortaya çıkan karbon salınımı azaltımı için öncelikle firmaların üretim ekipmanları ve kullanılan makinelerin enerji tüketimlerine göre seçimi göz önüne alınarak üretimler gerçekleştirilmelidir. Bununla beraber aşağıdaki önlemler alınmalıdır.

- Sanayide fosil kaynaklı olmayan, yenilenebilir kaynaklı olan(güneş,rüzgar,hidrolik,jeotermal), enerji kaynakları kullanılmalıdır.
- Firmalarda personellere düzenli olarak çevre bilinci eğitimleri verilmelidir.
- Firmaların üretimlerine ait karbon salınımı hesabı yapılarak, envanterler oluşturulmalı ve yapılacak olan iyileştirmeler devamlı takip edilmelidir.
- Yasal olarak firmalara yaptırımlar uygulanmalıdır.
- Firmaların üretim gerçekleştirirken açığa çıkacak olan karbon miktarını nötrleyebilmesi için ağaçlandırma çalışmalarını düzenli olarak yapmalıdır.
- Isı geri kazanımı için sistemler kullanılmalıdır.
- Otomatik olarak dozaj yapan ve ileten sistemler kullanılmalıdır.
- Üretim sistemlerinde kullanılan boru, vana, üretim ekipmanlarının ısı yalıtımı yapılmalı ve kaçaklar takip edilerek kontrol altına alınmalıdır.
- Enerji ve su tüketimlerine ait veriler değerlendirilerek kontrol altında tutulmalıdır.
- Karbon telafisi yöntemi ile herhangi bir faaliyet sonucunda açığa çıkacak olan karbon miktarı kadar başka bir alandaki karbon miktarının azaltımı için ağaçlandırma veya belirli kuruluşlara ödeme yapılması gerekmektedir.
- Geleneksel dizel motorlar kullanmak yerine elektrikli ekipmanlar kullanılarak karbon salınımı düşürülebilmektedir.
- Kurumlar içerisinde kağıt, cam, alüminyum gibi geri dönüştürülebilecek atıklar ayrı toplanmalı ve geri dönüşümüne imkan sağlanmalıdır.

## 2.5. Karbon Ayak İzi Hesaplanması İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Yelkenci (2008), yaptığı çalışmada, enjeksiyon üretiminde doğru üretim yapılabilmesi için hammadde seçimi ve temel hesaplamalar için örnekleme yaparak yol göstermeye çalışmıştır.

Pınar (2010), yılında yaptığı çalışmada, enjeksiyon yöntemi ile plastik parça üretiminde ortaya çıkabilecek hataların analiz programı ile önceden tespiti yapılarak bir uygulama ile proses şartlarına optimizasyonu yapılarak oluşabilecek hataların önüne geçmeyi amaçlamıştır. “Mold flow insight” analizi yapılırken proses parametrelerini belirlemek amacıyla olsa da kaliteyi ve verimliliği arttırsa da yetersiz kalabilmektedir. Analizden daha iyi verim alınması amacıyla programın parça tasarımından ürün imalatına kadar efektif bir şekilde kullanılması gerektiği sonucuna varmıştır.

Kahya ve Gürün(2012), yaptıkları çalışmada, Servo motor ile tasarlanan plastik enjeksiyon makinesinin klasik motorlu makinalara göre teknolojik faydaları özellikleri, enerji verimliliği ve kalite yönünden karşılaştırmasını yapmıştır. Servo sistemlerin geri besleme sistemleri sayesinde % 60’ a varan enerji tasarrufu sağladığını tespit etmiş ve bu makinanın tasarımı ile ithalatın önüne geçerek ihracat imkanı sağlayabileceğini tespit etmiştir.

Özlem(2013),kağıt üretimi gerçekleştirilen bir fabrikada karbon salınımını hesaplayarak, karbon salınımını düşürebilmek için enerji verimliliği çalışmalarının üzerinde durulması gerekliliği üzerinde durmuş ve tesiste buhar üretiminde bir sistem yapılarak enerji tasarrufu sağlanacağını böylelikle önemli derecede karbon salınımının azaltılacağını tespit etmiştir.

Öncel ve Ark (2017), plastik enjeksiyon üretimi sonrası ortaya çıkan tehlikeli atık türlerinin miktarları tespit edilerek MET uygulamalarıyla tehlikeli atıkların tehlikelilik özelliklerinin yok edilmesi sonucu üretimde yeniden kullanılabilmesini ortaya koymuştur.

Balta(2019),Santrifüj Pompa üretimi sırasında açığa çıkan sera gazları hesaplaması yapılmıştır. En çok karbon emisyon salınımının %69 oranında elektrik enerjisi kaynaklı olduğunu tespit etmiş olup üretilen ürünlere eko etiket alınarak pazarda temiz üretim kaynaklı olarak müşteri ilgisini üzerinde tutacağını ve pazarda öne geçecek bir avantaj yakalanabileceğini öne sürmüştür.

Doğan (2019), yaptığı çalışmada tekstil endüstri sektörü üretiminde atmosfere çok fazla emisyon salındığını, iplik boyama, kumaş boyama konfeksiyon ve baskı proseslerinin bulunduğu her ünite için karbon ayak izi hesaplaması yapmıştır.1 kg ürün başına kumaş boyama ünitesinin karbon ayak izinin 1 kg CO<sub>2</sub>e/kg, İplik boyama tesisinin karbon ayak izinin 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg olduğunu,baskı ünitesinin karbon ayak izinin 3,31 kg CO<sub>2</sub>e/kg ürün ve konfeksiyon ünitesinin karbon ayak izinin 7,25 kg CO<sub>2</sub>e/kg ürün olduğunu tespit ederek alınabilecek önlemleri açıklamıştır.

Yavuz (2020), Turizm sektöründe karbon ayak izi hesaplaması için 5 yıldızlı bir otelin en çok enerji tüketimi yaptığı alanları seçerek hesaplama yapmıştır. En çok tüketim olan elektrik, su, LNG ve motorin kalemleri dikkate alınarak 5 yıllık veriler ile beraber karbon ayak izi tespiti yapılmıştır. Otelin 2019 yılında 276.810 m<sup>3</sup> su tüketimi bağlı 95.222,63 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Son beş yıla ait verilere göre toplamda 1.199.636 m<sup>3</sup> su tüketimi ne bağlı 412.674,78 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır.2019 yılında 10.856.913 kWh elektrik tüketimine bağlı 2.775.026,96 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Son beş yıla ait verilere göre toplamda 48.768.955 kWh elektrik tüketimine bağlı 12.465.344,89 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. 2019 yılında 722.782 kg LNG tüketimine bağlı 3.686.188,20 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Son beş yıla ait verilere göre toplamda 2.608.286 kg LNG tüketimi gerçekleşmiş olup buna bağlı 13.302.258,60 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır.2015 yılında 40.478 kg motorin tüketimine bağlı 125.005,38 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Son beş yıla ait verilere göre toplamda 82.157 kg motorin tüketimi gerçekleşmiş olup buna bağlı 253.719,12 kg karbon ayak izi miktarı hesaplanmıştır. Son beş yıla ait karbon ayak izi incelendiği zaman en fazla karbon salınımı 2019 yılında oluşmuş olup toplamda 6.596.056,70 kg karbon ayak izi miktarını hesaplayarak otel içerisinde ne gibi önlemlerin alınabileceği hakkında bilgi vermiştir.



Penz ve Polska (2018), yapmış oldukları çalışmada sera gazı emisyonlarının azaltılması adına şirketler tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ve alınan önlemleri araştırmışlardır. Ulaşım, taşımacılık, ısıtma-soğutma sistemleri, elektrik tüketimlerine bağlı olarak oluşan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmaları belirlemek için 14 farklı şirket ile görüşme yapmışlardır. Şirketlerden alınan bilgiler doğrultusunda sera gazı emisyonlarını azaltabilmek için güneş enerjisi sistemlerini kullanılması, yapılarda izolasyonun artırılması, elektrikli araç kullanılması, gereksiz enerji tüketiminden kaçınmak gibi önlemler alınarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasının mümkün olduğunu açıklamışlardır.

Yavuz vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada enerji tasarrufu sağlanabilmesi için iklimlendirme sistemlerinin geliştirilmesi gerekliliği konusunda önerilerde bulunmuşlardır. Klima sistemlerinde elektrik şebekesinden çekilen akım miktarları ölçülerek en fazla enerji tüketen ekipmanın kompresör olduğunu tespit ederek klima sisteminde bulunan akışkanın basınç ve sıcaklık değerlerinin artması ile enerji tasarrufunun sağlandığını belirtmişlerdir.

Sreng(2016),yapmış olduğu çalışmada otomobil üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi hesabı yapılmış olup karbon ayak izi miktarının azaltılması için önerilerde bulunmuştur. En yüksek karbon emisyonuna neden olan araç üretimlerinde araç ağırlığının azaltılarak üretim gerçekleştirilmesi önerisini vermiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salınımını tamamen yok edecek olan güneş panelleri ile üretimin gerçekleştirilmesi gerekliliği üzerinde durmuştur.

Demirbaş (2018),tarafından gerçekleştirilen çalışmada geri kazanım sektöründe karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Geri kazanım süreci içerisinde ve dışında elektrik tüketimi, ısınma ve ulaşım sırasında açığa çıkacak olan karbon salınımı Tier 1 ve Tier 2 metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği tesiste %76,8 oranında ulaşım kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Ulaşımından kaynaklanan karbon salınımı miktarı 102 000 ton, ısınmadan oluşan karbon salınımı miktarı 30 726 ton ve elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salınımı miktarı da 8,6 ton olarak hesaplanmıştır.

Habir (2019), yapmış olduğu çalışmada sıfır karbon salınımı için endüstriyel bir model geliştirerek otomotiv sanayisinde uygulamasını yapmıştır. Yapmış olduğu model ile beraber otomotiv sanayisinde 30 yıl sonrası için sıfır karbon salınımının başarılabileceğinin mümkün olduğunu tespit etmiştir. Sanayi işletmelerinde girdi olarak kullanılan enerjinin yenilenebilir enerjiden sağlanabileceğini ön görmüştür.

Wang vd. (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Çin Kağıt Hamuru ve Kağıt Endüstrisi (CPPI) karbon emisyonlarını ele alarak, kağıt üretimi yapan bir endüstride karbon salınımlarının azaltılabilmesi için, ilk olarak fosil kökenli yakıt tüketiminin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması olarak önerilerde bulunmuştur. Üretimde yenilenebilir enerji kullanımının teşviki ve biokütleden oluşacak enerjinin geri kazanımını vurgulamıştır.

Garcia vd. (2016), Meksikada bulunan şeker tarımı üretiminde açığa çıkan sera gazı emisyonlarını yaşam döngüsü değerlendirme yöntemini kullanarak dört farklı şeker fabrikasında üretilen şekerin karbon ayak izi değerlendirerek düşük karbonlu şeker üretimi için politika önlemlerinin ve uygulamalarının belirlenmesine katkıda bulunmuştur. Üretimin tarım aşamasında karbon salınımı gübre üretimi, azot oksit ( $N_2O$ ) ve biyokütlenin yanmasından kaynaklandığını tespit etmiştir. Üretim aşamasında ki karbon salınımının fosil kökenli yakıtların ve küspenin kullanılması kaynaklı olduğunu tespitini yapmıştır. Şeker fabrikalarında kojenerasyon yöntemi ile şeker üretiminde karbon ayak izi miktarının azaltılabileceği ve düşük karbon ayak izi elektrik üretiminin mümkün olabileceğini savunmuştur. Böylelikle şeker üretimi gerçekleştiren tesisler için düşük karbonlu üretimin gerçekleştirilebileceğine katkı sağlamıştır.

Jochem ve Wolfram (2014) , Volkswagen Otomotiv Endüstrisinde yaptığı çalışmada sera gazı hesaplamalarını , faaliyet sırası içerisinde gerçekleşen iş seyahati, lojistik süreci , indirekt gerçekleşen emisyonlar, araç kullanımları ve bertaraf süreci için WRI standardına göre yapmıştır. 2014 yılı içerisindeki arabalar ve hafif ticari araçlar için ortaya çıkan emisyon miktarını 0,048 milyon ton ve grup üretim yerlerinden oluşan emisyon miktarı değerini 4,79 kg/araç olarak tespitini yapmıştır.

Pekin(2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ulaşım sektöründe sera gazı hesaplamasını yaparak yakıt tüketiminin artması ile beraber CO<sub>2</sub> emisyonunda artış olduğunun tespitini yapmıştır.1990 yılına ait verilerde karayolunun neden olduğu CO<sub>2</sub> emisyon miktarının ulaşım sektörü içerisindeki emisyon miktarına oranın %93 olduğunu,2004 yılında ise bu oranın %84 e düştüğü tespit edilmiştir. Ulaşım sektörü içerisindeki hava yolu alt grubunun verilerinde ise emisyon miktarlarında %4 oranından %12 ye artış gösterdiği tespiti yapılmıştır. Karayolu sektöründeki azalışın nedeni havayolu grubunun kullanımındaki artıştan olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle yaptığı çalışmada karbon salınımındaki azaltım için, alternatif enerji kullanımlarına yönelmesi gerekliliği, eski model taşıtların kullanımının azaltılması, az yakıt tüketimine neden olacak araçların kullanılması, kişisel araç kullanımı yerine toplu taşıma araçlarına yönelmesi gerekliliği, vergilendirme yolu ile yakıt tüketimlerinin azaltılabilmesi, araçların performansına bağlı yasal düzenlemeler getirilmesi önerilerinde bulunmuştur. Bu öneriler gerçekleştirildiği durumda karayolu kaynaklı oluşacak CO<sub>2</sub> emisyonlarında azalacağı sonucuna varmıştır.

Ford Mazda Motor Co. Ltd. şirketi tarafından CO<sub>2</sub> emisyonlarının sürekli izlendiği sistem kullanılarak ve DKE'nin geliştirmiş olduğu sera gazı emisyon hesaplamaları kullanılmış olup sera gazı emisyonları belirlenmiştir. 2014 yılı için yapılan hesaplamalarda elektrik tüketiminin neden olduğu emisyon miktarı 17 935 mt CO<sub>2</sub> olarak tespiti yapılmıştır (Anonim 2014a).

Jiangling Motor Co. Ltd. tarafından yapılan çalışmada WRI'nin geliştirmiş olduğu sera gazı emisyon hesaplaması kullanılmış olup CO<sub>2</sub> emisyonları hesaplanmıştır. Direkt ve indirekt emisyonlar tanımlanarak hesaplamalar yapılmış olup, 2014 yılında CO<sub>2</sub> emisyonu miktarının 60 307 ton olduğu tespiti yapılmıştır(Anonim 2014b).

Orhan(2018),yapmış olduğu çalışmada çimento üretim proseslerinde karbon klinker üretiminin CO<sub>2</sub> oluşumuna neden olduğunu tespit etmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, yakıt kaynaklı ve proses süreçleri kaynaklı sera gazı hesaplamasına göre 2015,2016 ve 2017 yılları için Tier 1,Tier 2,Tier 3 ve CSI hesaplama araçlarını kullanarak sera gazı emisyon miktarlarının tespitini yapmıştır. Yöntem farklılıklarına nedeni ile 3 yılda

emisyunun 828.017,87 ton CO<sub>2</sub> ile 1.270.674,26 ton CO<sub>2</sub> arasında olduğunu hesaplamıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise alternatif yakıt için atıkların kullanılması olanağını değerlendirerek ATY kullanıldığı durumda atmosfere salınan 70.980, 45 ton CO<sub>2</sub> 'in engellendiğini tespit etmiştir. Böylece 2609 TJ'lik fosil yakıt kazancı elde edilmesi ile beraber doğal kaynakların verimli kullanımına dikkat çekmiştir. Yapılan tespitler sonucu üç yılda 10,2 Mt CO<sub>2</sub> emisyonlarının engellenebileceği bulgusuna ulaşmıştır. Aynı zamanda atıkların değerlendirilmesi yolu ile 5.903,31 Gg atığın depolama alanlarında biriktirilmesi ve 175.201,39 TJ'lük fosil yakıt tüketiminin engelleneceğini tespit etmiştir. Çimento sektöründen kaynaklanan emisyonlarda % 61 oranında azaltımın mümkün olabileceği gözlemlenmiştir.

Dindar(2021),yaptığı çalışmada otomotiv yan sanayi sektörüne ait karbon ayak izi hesaplaması yapmıştır.Tier-1 yaklaşımını kullanarak, ısınma kaynaklı, elektrik tüketimi, su kullanımı, atık su oluşumu, taşeron hizmetleri kaynaklı ve personellerin kullanmış olduğu servis araçları kaynaklı karbon salınımları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elektrik tüketimi kaynaklı karbon emisyon salınımı 13.056,81 ton CO<sub>2</sub> eq olarak tespit etmiştir. Tesisten kaynaklanan toplam emisyon değerlerinin %79'unun elektrik tüketimi kaynaklı olduğunu tespit ederek, tesis çatısına kurulacak güneş enerji sistemi kurulması ile karbon emisyonlarının %19 oranında düşüş sağlanacağını savunmuştur. Karbon salınımlarının düşürülebilmesi için, ağaçlandırma çalışması yapılması, üretimdeki atıkların sıfır atık kapsamında biriktirilerek geri dönüşüme kazandırılması, araç kullanımı yerine bisiklet kullanımına yönelmesi gibi önerilerde bulunmuştur.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

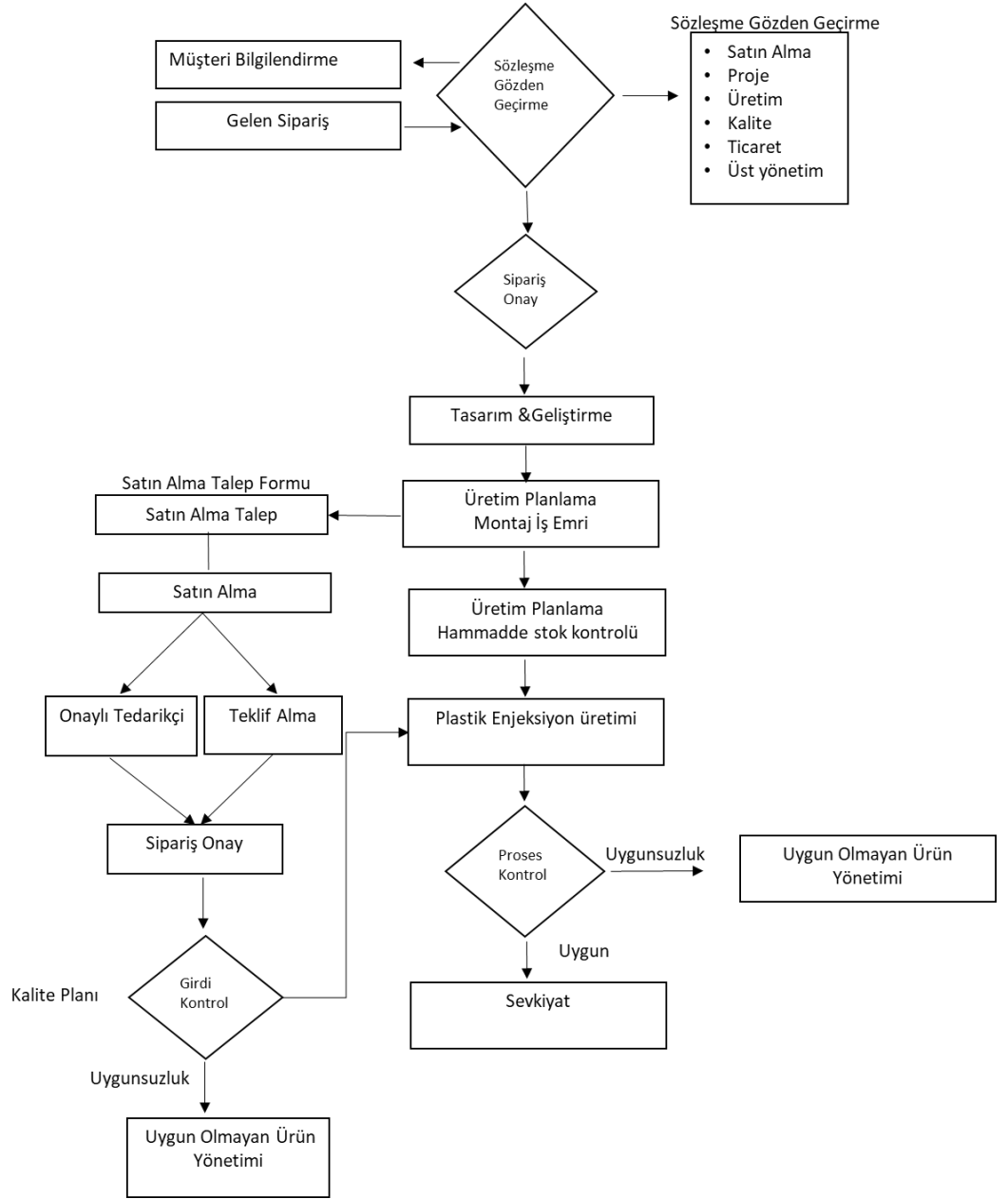
#### **3.1. İncelenen İşletmenin Tanıtımı**

Bu çalışma 2008 yılında Bursa da kurulmuş olan otomotiv yan sanayi tesisinde yer alan 2 farklı çalışma prensibine sahip makinelerin bir yıllık üretim anında kullanılan elektrik tüketimlerinden yola çıkarak karbon salınımı hesaplanmış olup çevresel parametreleri değerlendirilmiştir. Söz konusu tesisin 1.382.332 adet parça üretim kapasitesi bulunmaktadır. Tesiste üretim,17 adet hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ve 1 adet elektrikli plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleştirilmektedir. Toplamda 18 adet plastik enjeksiyon üretimi gerçekleştirilerek yılda 1.382.332 adetlik üretim gerçekleştirilmektedir. Çalışma yapılan tesiste üretilen plastik parçalar otomobillerin torpido grubunda, yakıt bölümlerinde ve tavan bölgelerinde kullanılmaktadır. Yapılan çalışmadaki veriler 2019-2020 yılları arasını kapsayarak 12 aylık üretim verileri ile gerçekleştirilmiştir. Tesiste ısınma kaynaklı doğalgaz kullanımı mevcut değildir. Isınma ihtiyacı klimalar ile sağlanmaktadır. Gerçekleştirilen üretimde atık su oluşmamaktadır. Hidrolik makineler ile gerçekleşen üretim boyunca atık yağ oluşumu mevcut olup, üretim boyunca kullanılan üstubu bez, eldiven ve kontamine atıklar tehlikeli atık olarak oluşmaktadır. Bu atıkların bertarafı lisanslı tesisler ile sağlanmaktadır. Fakat elektrikli makinede yağ kullanımı mevcut olmadığı için tehlikeli atık oluşumu gerçekleşmemektedir. Tesise ait görsel Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3. 1.** Tesise ait genel görünüm

Tesis iş akış şeması Şekil 3.2 de verilmiştir. Tesisin karbon hesabı, iş akış diyagramında gösterilen plastik enjeksiyon üretimi adımındaki farklı iki tip makine ile gerçekleşen üretim anındaki üretim verileri ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 2. Tesis iş akış şeması

### 3.2. Tesiste Yapılan Enerji Ölçümleri

Akım ölçümleri UT 203 400A AC/DC Pens ampermetre ile gerçekleştirilmiştir.

Hesaplamalar 3 fazlı sistemlerde güç hesaplama formülüne göre yapılmıştır.

$$P = \sqrt{3} * u * I * \cos\emptyset \quad (3.1)$$

P=Güç (Watt)

U =380 V

I =Akım (A)

Cos  $\emptyset$ =Güç faktörü 0,8

#### 3.2.1 Hidrolik makine ölçümleri

Parça üretimi için 22 Amper akım çektiği pens ampermetre ile ölçülmüştür.3 fazlı sistemlerde güç hesaplama formülü denklem 3.1 de verilmiştir. Ölçülen akım değeri yerine konularak hesaplama yapılmıştır.

$$P = \sqrt{3} * 380V * 22A * 0,8 \quad (3.1)$$

P=11.570Watt/ 11.5 kWh

Hidrolik makinede bir çevrimde tüketilen enerji miktarı 11.5kWh.dir

#### 3.2.2 Elektrikli enjeksiyon makine ölçümleri

Elektrikli Enjeksiyon makinesinde parça üretimin de 10,46 Amper akım çektiği pens ampermetre ile ölçülmüştür. Bu değer 3 fazlı sistemlerde güç hesaplama formülü denklem 3.1 de yerine konularak tüketilen enerji miktarı hesaplanmıştır.

$$P = \sqrt{3} * 380V * 10,46 A * 0,8 \quad (3.1)$$

P=5.500 Watt/ 5.5 kWh

Olarak ölçülmüştür.

Elektrikli makine ile parça üretiminde tüketilen enerji 5.5kWh olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalara göre hidrolik elektrikli enjeksiyon makinesi ve Elektrikli plastik enjeksiyon makinesi yıllık tüketim miktarları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Yapılan



çalışma kapsamında elektrikli ve hidrolik plastik enjeksiyon makineleri ile üretim gerçekleştirilmesi sırasında açığa çıkacak olan sera gazlarını azaltmaya yönelik önlemler için sera gazı hesaplamaları yapılmıştır. İki tip makine ile gerçekleştirilen üretimde karbon salınımı ve çevresel parametreler incelenmiştir.

Tesisin enjeksiyon hattında bulunan 130 T full elektrikli plastik enjeksiyon makinesi ve 130 T geleneksel hidrolik enjeksiyon makinesinde gerçekleştirilmiştir. 8 saatlik üretim anında akım ölçer ile ölçümleri yapılmıştır. Çalışma yürütülen tesis enerji kaynağı ve ısınma amaçlı elektrik enerjisini kullanmaktadır. Yapılan hesaplamalar katkıda bulunan tüm faktörler göz önünde bulundurularak, enerji ve karbon ayak izleri, ISO 14064-1 serisi kılavuz ve özelliklerinde belirtilmiş yöntemler ile , GHG Protokolünde belirtilmiş hesaplama grupları değerlendirilerek, Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli IPCC kılavuzlarında belirtilmiş olan hesaplama, veri toplama raporlama ve referans değer tabloları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1’de işletmede yıllara göre enerji tüketim miktarları na bağlı birim maliyetler hesaplanmıştır. Enerji kaynaklarının tek birim olarak ifade edilebilmesi için Ton Eşdeğer Petrol (TEP) kullanılmaktadır. 1 ton ham petrol yakılarak, açığa çıkacak olan enerjinin miktarının tanımlanmasına Ton Eşdeğer Petrol denilmektedir. 1 TEP=10 milyon kcal’dir.11600 kWh’e eşittir.(Anonim,2021d).

**Çizelge 3.1. İşletmede Yıllara Göre Enerji Tüketim miktarları**

<b>2018 YILI</b>					
	<b>Tüketim</b>			<b>Maliyet</b>	<b>Birim Maliyeti</b>
<b>Enerji Türü</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>	<b>TEP</b>	<b>TL</b>	<b>TL/TEP</b>
Elektrik	1.410.641,55	kWh	121,607	451.083	3,73
<b>2019 YILI</b>					
	<b>Tüketim</b>			<b>Maliyet</b>	<b>Birim Maliyeti</b>
<b>Enerji Türü</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>	<b>TEP</b>	<b>TL</b>	<b>TL/TEP</b>
Elektrik	1.581.825,13	kWh	136,364	647.544	4,8
<b>2020 YILI</b>					
	<b>Tüketim</b>			<b>Maliyet</b>	<b>Birim Maliyeti</b>
<b>Enerji Türü</b>	<b>Miktar</b>	<b>Birim</b>	<b>TEP</b>	<b>TL</b>	<b>TL/TEP</b>
Elektrik	1.475.943,34	kWh	127,23	672.071	5,2

Fabrikanın 2018 yılı içerisinde elektrik tüketimi 1.410.641,55 kWh, 2019 yılı içerisindeki elektrik tüketimi 1.581.825,13 kWh ve 2020 yılındaki elektrik tüketimi ise 1.475.943,34 kWh'dir. Yukarıdaki verilerden hareketle en çok elektrik tüketimi 2019 yılında gerçekleşmiştir. Maliyet kısmı incelendiğinde 2020 yılında tüketilen enerjinin 2019 yılına kıyasla %7 daha az olduğu fakat maliyetin %3 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Maliyetin artmasının nedeni yıllara bağlı olarak elektriğin birim maliyet fiyatının artması kaynaklıdır.

### 3.3. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması

Üretim faaliyeti sırasında sera gazı hesabı için IPCC,Seviye-1 ve Seviye-2 (Tier 1 ve Tier 2) metodolojisi temel alınmıştır. Faaliyet gerçekleştirilirken kullanılan elektrik dışarıdan alındığı için elektrik kullanımı anında oluşabilecek sera gazı emisyonu, dolaylı sera gazı emisyonu olarak değerlendirilmiş ve buna bağlı olarak Kapsam 2 olarak sınıflandırılarak hesaplamalar yapılmıştır. Firmada ısınma amaçlı doğalgaz kullanılmamaktadır. Bu nedenle yapılan hesaplamalarda doğalgaz tüketimi kapsam dışı bırakılmıştır. Faaliyet gerçekleştirirken almış olduğumuz ürün ve hizmetler esnasında meydana gelen sera gazı emisyonlarını, diğer dolaylı sera gazı emisyonu olarak değerlendirilmiş olup Kapsam 3 olarak değerlendirilmiştir. Bu iki sınıflandırma kapsamında, emisyon sonuçları değerlendirilerek, alınabilecek önlemler açıklanmıştır. İki makine içinde ölçülen değerler GHG protokolüne göre birimler çevrilerek, tüm birimler (CO<sub>2</sub>e) eşdeğer kilogram/ton olarak verilmiştir.

Hesaplamalar aşağıdaki denkleme göre yapılmıştır.

$$\text{Proses emisyonları için: Emisyon} = \text{FV} \times \text{EF} \quad (4.1)$$

$$\text{Yanma emisyonları için: Emisyon} = \text{FV} \times \text{EF} \times \text{NKD} \quad (4.2)$$

Emisyon (t CO<sub>2</sub>e)

FV: Faaliyet Verisi (Tj, t, Nm)

EF: Emisyon Faktörü (t CO<sub>2</sub>/Tj, t CO<sub>2</sub>/t, t CO<sub>2</sub>/Nm)

NKD: Net Kalorifik Değer (TJ/Gg)

Kyoto protokolünde tanımlanmış olan küresel ısınma potansiyelleri aşağıdaki gibidir.

KIP (Küresel Isınma Potansiyeli): Belirli zaman aralığında, belirli sera gazının eşdeğer karbondioksit olarak kütleyle dayalı ışıma kuvvet etkisini tanımlama faktörüdür(GWP).

CO<sub>2</sub>e (Karbondioksit eşdeğer): Bir sera gazının miktarını benzer küresel ısınma potansiyeline sahip eşdeğer miktar ile karbondioksite dönüştürmek için kullanılan ölçüdür. Çizelge 3.2’ de küresel ısınma potansiyeli ,CO<sub>2</sub> değeri 1 kabul edildiği durumda

gazların CO<sub>2</sub>’e kıyasla kaç kat fazla ısı tutma kapasitesinin bulunduğunu göstermektedir.

**Çizelge 3.2.** Ipcc Ve Kyoto Protokolüne Göre Sera Gazları ve Kıp Değerleri (Anonim,2021).

Sera Gazları	Kimyasal Formül	Atmosferde kalma süresi(Yıl)	Küresel Isınma Etkisi (CO <sub>2</sub> e)
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	5-200	1
Metan	CH <sub>4</sub>	12	25
Diazot monoksit	N <sub>2</sub> O	114	298
Perflorokarbonlar	PFCs	50.000*	6.500-9.200
Hidro florokarbonlar	HFCs	226	140-11.700
Kükürt heksaflorür	SF <sub>6</sub>	3,200	23,900

Çizelge 3.3’de elektrik tüketimine bağlı karbon ayak izi miktarları ve elektrik kayıplarının değerleri ton CO<sub>2</sub>e cinsinden verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde 2019 yılında elektrik tüketim miktarının artması ile beraber karbon ayak izi miktarında da artış olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalarda Çizelge 3.4’ de belirtilen dönüşüm değerleri kullanılmıştır.

**Çizelge 3.3.**Elektrik tüketimine bağlı karbon ayak izi miktarları ve elektrik kayıpları

Veri	Yıllar		
	2018	2019	2020
Elektrik Tüketim, (kWh)	1.410.641,55	1.581.825,13	1.475.943,34
Karbon ayak izi miktarı, ( ton CO <sub>2</sub> e)	694,36	778,62	726,5
Kayıplar,( ton CO <sub>2</sub> e)	74,3	83,31	77,74

**Çizelge 3.4.** Dönüşüm Değerleri

Değerler	Dönüşüm Değerleri
1 ton	1000 kg
1kWh	0,086\$
1\$	7,63 TL
1 kg (hidrolik yağ)	6,35\$
TEP	11600

## **4. BULGULAR ve TARTIŞMA**

### **4.1. Enerji Verimliliği Uygulamaları**

Firmanın 2020 yılına ait toplam elektrik kullanım miktarı 1.475.943,34 kWh'dir. Yapılan analizlere göre 17 hidrolik makinenin tüketmiş olduğu elektrik enerjisi 1.219.920kWh'tir.Hidrolik makine yerine elektrikli makine kullanımı söz konusu olsaydı elektrik tüketimi 583.440 kWh yarı yarıya düşmesi öngörülmektedir. Dolayısıyla karbon salınımının da aynı oranda düşmesi beklenecektir. Bu nedenle gelişen teknoloji takip edilerek karbon salınımının daha az gerçekleşen makineler ile üretim gerçekleştirilmesi gerekliliği ortaya konulmuştur.CO<sub>2</sub>e emisyonlarını azaltmak aynı zamanda firma için enerji masraflarını da azaltmak anlamına gelmektedir.

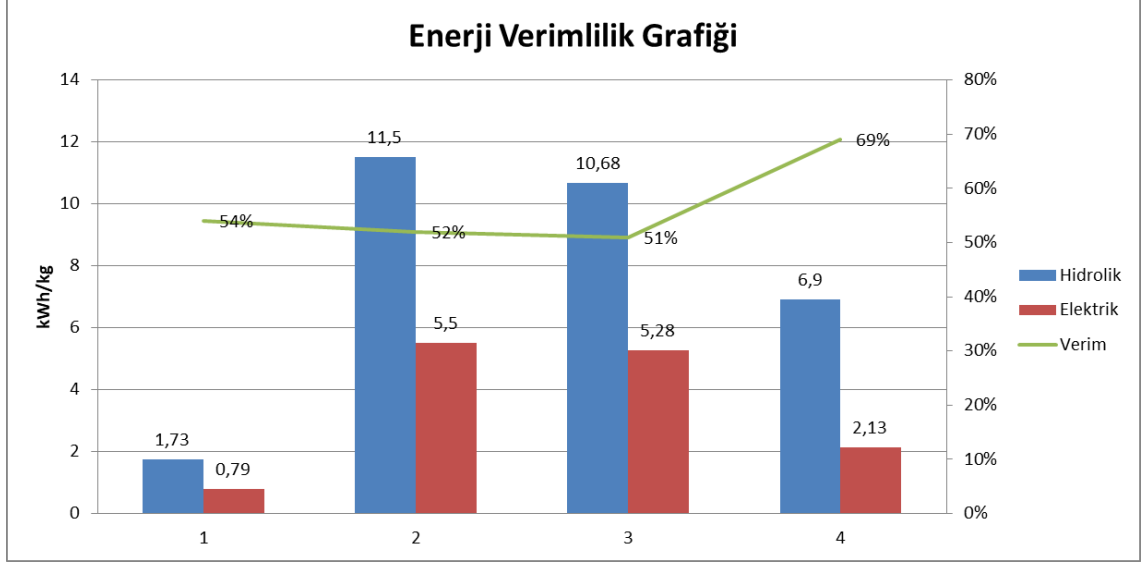
Kullanılan enerjinin kaynağı fosil yakıt olması nedeniyle yine de karbon salınımı açığa çıkacaktır. Bu nedenle firmaların üretimde kullanacakları enerjiyi yenilenebilir enerjiden (güneş,rüzgar,jeotermal,hidrolik enerji)sağlamaları ile birlikte karbon salınımının önüne geçmeleri gerekmektedir.

Karbon ayak izinin oluşumunda en büyük katkıyı fosil kaynaklı elektrik kullanımı neden olmaktadır. Bu nedenle üretim sırasında elektrik tüketiminin fazla olduğu araçları tespit ederek daha az elektrik tüketimi gerçekleştiren teknolojilerin kullanımı ile karbon ayak izini düşürmek mümkündür. Elektrik, üretimde bir girdi olarak düşünüldüğünde karbon ayak izinin azaltılabilmesi için fosil yakıt kaynaklı elektrik yerine yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik kullanılmalıdır. Özellikle otomotiv yan sanayilerinde kullanılan plastik enjeksiyon makinelerinde elektrik tüketimi çok fazla olması sebebi ile karbon salınımları da ciddi oranda artmaktadır. Firmaların enerji verimliliğini de göz önüne alarak karbon salınımlarını düşürecek olan teknolojilere yönelmesi gerekmektedir. Bu nedenle iki tip makinenin karbon salınımı hesabı yapılmıştır. Çizelge 4.1'de iki tip makine kullanılarak üretilen parçaların elektrik tüketimleri verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** İki farklı makine ile parça üretim anındaki enerji tüketimleri

Ürün	Ağırlık (g)	Çevrim zamanı (s)	Hidrolik makine enerji tüketimi	Elektrikli makine enerji tüketimi	Tasarruf %
	17,5	35	1,73kWh/kg	0,79kWh/kg	54%
	2,4	60	11,5kWh/kg	5,5kWh/kg	52%
	40,5	55	10,68kWh/kg	5,28kWh/kg	51%
	22,8	45	6,9kWh/kg	2,13kWh/kg	69%

4 ayrı parça seçilerek üretimleri hidrolik makine ve elektrikli makine ile gerçekleştirilmiştir. İki farklı makine ile üretilen parçalarda elektrikli makine ile üretim anındaki tasarruf değerlerine bakıldığında %69 a kadar tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Çevrim zamanı, yani parça basım süresi daha uzun olan parçaların elektrik tüketiminin daha fazla olduğunun tespiti yapılmış olup elektrikli makine ile üretim anındaki tasarruf oranının %52 olduğu bulunmuştur. Şekil 4.1’de iki tip makine ile üretim gerçekleştiği andaki enerji tasarruf değerleri gösterilmiştir.



**Şekil 4.1.** İki tip makine ile üretilen parçaların enerji verimliliği

#### **Elektrik tüketimine bağlı karbon ayak izi hesabı:**

**Emisyon faktörünün belirlenmesi:** 2019-2020 yılı içinde hidrolik makine ile üretim anında tüketilen elektrik enerjisi 71.760kWh dir. Elektrikli enjeksiyon makinesi ile üretim anında tüketilen elektrik enerjisi 34.320 kWh dir.(Çizelge 4.4)Karbon emisyon faktörü Türkiye elektrik enerjisi üretim - tüketim ve kayıplarının yıllar itibariyle gelişimi 2019 raporundan 2019 yılı toplam elektrik enerjisi üretim değeri 303897,6 kWh olarak alınmıştır.2021 National Inventory Report'dan (NIR) 2019 yılı için elektrik üretimi toplam emisyon miktarları 139.116(kt CO<sub>2</sub>eq.) değerleri alınarak karbon emisyon değeri 0,00049223 tCO<sub>2</sub> /kWh hesaplanmıştır.(Anonim,2019b:2019c)

Hidrolik enjeksiyon makinesi ile üretim kaynaklı karbon ayak izi hesabı;

$$71.760 \text{ kWh} \times 0,00049223 \frac{\text{tCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} = 35,322 \text{ ton CO}_{2\text{eq}}/\text{yıl}$$

Elektrikli enjeksiyon makinesi ile üretim kaynaklı karbon ayak izi hesabı ;

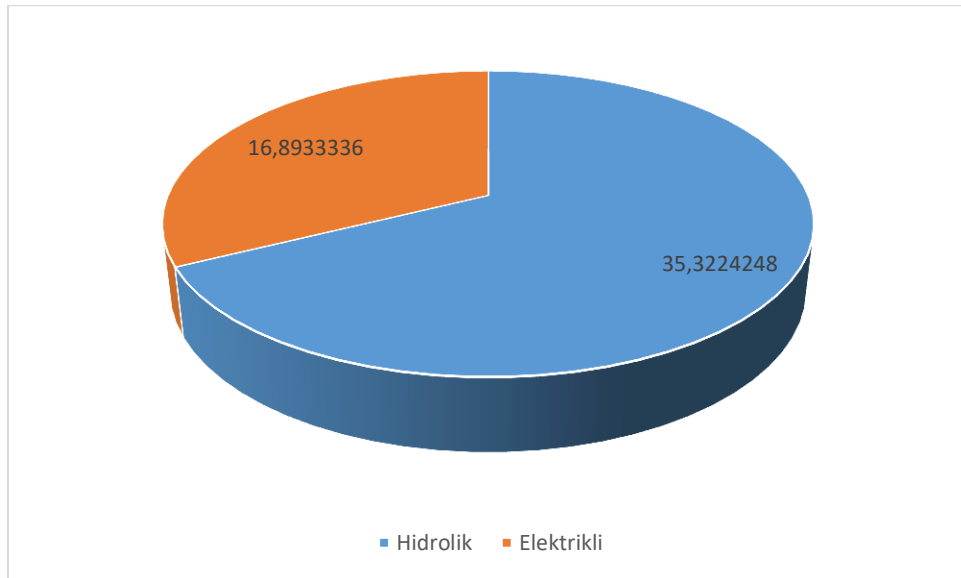
$$34.320 \text{ kWh} \times 0,00049223 \frac{\text{tCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} = 16,893 \text{ ton CO}_{2\text{eq}}/\text{yıl} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Veriler Çizelge 4.4 de özetlenmiştir.

#### 4.2. Hidrolik ve Elektrikli Enjeksiyon Makinesinin Karşılaştırılması

Plastik enjeksiyon üretiminde kullanılan iki tip makinenin çalışma prensipleri 2.bölümde anlatılmıştır. Çalışma prensipleri iki tip makine içinde aynıdır. Fakat hidrolik makine kullanımından sonra ortaya çıkan atık yağ, elektrikli plastik enjeksiyon makineleri ile yapılan üretimde oluşmamaktadır. Elektrikli plastik enjeksiyon makinelerinde hidrolik yağ kullanımının olmaması, daha kısa zamanda daha az enerji ile üretiminin gerçekleşiyor olması sebebi ile daha avantajlı bir üretim gerçekleştirmektedir.2 tip makine arasındaki farklılıklar Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Yapılan hesaplamalarda Hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 35,3224248 ton CO<sub>2</sub>e ve üretim anındaki kaçaklar 3,779499454 ton CO<sub>2</sub>e ’dir. Elektrikli plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 16,8933336 ton CO<sub>2</sub>e ve üretim anında ki kaçaklar 1,807586695 ton CO<sub>2</sub>e ’dir. Ölçümler değerlendirildiğinde hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleştirilen üretim sonucunda atmosfere salınan karbon miktarı ve üretim sırasında ki kaçakların karbon miktarı elektrikli plastik enjeksiyon makinesine göre 2 kat daha fazladır. Karbon salınımları Şekil 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.2.Üretim anındaki iki makine tipine göre yıllık karbon salınımı



Enjeksiyon üretiminde vida ve mengene pozisyonlarındaki sapmalar kararlı bir üretimin gerçekleşmesini etkilemektedir. Kararsız gerçekleşen üretimler parça üretim süresinin uzamasına ve daha fazla malzeme tüketimine neden olmaktadır. Elektrikli makinalarda sapma değeri  $\pm 0,01$ mm iken ,hidrolik makinalardaki sapma değeri  $\pm 5$ mm ~2mm aralığında değişmektedir. Mengene sapma değerinin düşük olması nedeni ile elektrikli makinaların daha kararlı bir üretim gerçekleştirilebileceği tespit edilmiştir.

Enjeksiyon hız değerinin elektrikli makinalarda 250 mm/sn den 800 mm/sn'ye kadar arttırılabileceği fakat hidrolik makinalarda 80 ~ 120 mm/sn aralığında çalışılabilmektedir. Elektrikli makinalarda daha yüksek enjeksiyon hızları ile çalışılabilmektedir. Bu sayede hidrolik makinaya göre daha kısa sürede üretim yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Elektrik tüketim değeri 1 kg hammadde ile gerçekleştirilen üretimde elektrikli plastik enjeksiyon makinesinin kullanmış olduğu elektrik tüketimi 0,25 kW iken ,hidrolik plastik enjeksiyon makinasının kullanmış olduğu elektrik tüketim miktarı 1 kW 'dır.Bu durumda hidrolik makine ile gerçekleştirilen üretim anında 4 kat daha fazla elektrik tüketiminin olduğu tespit edilmiştir.

Mengene hızı elektrikli plastik enjeksiyon makinasında 980 mm/sn'den 1200 mm/sn'ye kadar arttırılabiliyorken, hidrolik makinalarda bu değer 500mm/sn'den 600 mm/sn'ye arttırılabilir.Bu durumda elektrikli makina ile gerçekleşen üretimler daha hızlı ve kısa sürede parça üretimine olanak sağlamaktadır.

Bakım maliyetleri değerlendirildiği durumda hidrolik plastik enjeksiyon makinasının hidrolik ekipmanların aşınmaları ile beraber verim kaybı söz konusudur. Verim kaybı yaşanması durumunda elektrik tüketimleri de artış gösterecektir. Hidrolik ekipmanların kontrolü, değiştirilmesi ve hidrolik yağ kullanımı nedeni ile elektrikli makinalara oranla hidrolik makinalarda bakım maliyetleri %200 oranla daha fazladır.

Hidrolik makinalarda hidrolik yağ kullanımı söz konusu olması nedeni ile çalışma yapılan tesiste1 makine için yıllık 280L atık yağ oluşumu mevcuttur. Elektrikli enjeksiyon makinalarında hidrolik yağ kullanımı olmadığından dolayı atık oluşmamaktadır. Böylece temiz bir üretim gerçekleşmektedir.

Elektrikli Plastik Enjeksiyon ve Hidrolik Plastik Enjeksiyon makineleri özellik bakımından Çizelge 4.2’ de karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.2.** Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinesi ve Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi arasındaki farklılıklar

Özellik	Elektrikli Plastik Enjeksiyon	Hidrolik Plastik Enjeksiyon
Vida ve mengene pozisyonu	Servo motor olması nedeni ile vida ve mengene pozisyonlarındaki sapma değeri $\pm 0,01$ mm	Hidro motor olması nedeni ile mengene ve vida pozisyonunda ki sapma değeri $\pm 5$ mm $\sim 2$ mm arasındadır.
Enjeksiyon Hızı	Enjeksiyon yapabilme hızı 250mm/sn dir. 800mm/sn kadar arttırılabilir.	Enjeksiyon yapabilme hız değeri 80 $\sim$ 120 mm/sn dir. Hız değerleri maksimum 600mm/sn kadar arttırılabilir.
Elektrik Tüketimi	1 kg hammadde ile üretim gerçekleştirilirken tüketilen elektrik miktarı 0,25 kW.	1 kg hammadde ile gerçekleştirilen üretim anında tüketilen elektrik miktarı 1 kW.
Mengene Hızı	Mengene hız değerleri 980 mm/sn dir. Mengene hızları maksimum 1200 mm/sn kadar arttırılabilir.	Mengene hızı 500 mm/sn dir. Maksimum hız 600mm/sn kadar arttırılabilir.
Bakım Maliyetleri	Elektrikli makinelerde hidrolik aksam mevcut olmadığı için bakım maliyetleri hidrolik makinelere göre çok düşüktür.	Hidrolik makinelerde hidrolik ekipman ve Avrupa’ya özgü özel parçaların yapılması nedeni ile bakım maliyetleri elektrikli makinelere oranla %200 daha fazladır.
Atık Oluşumu	Elektrikli makinelerde yağ kullanımı mevcut değildir.	Yağ kullanımı mevcut olduğu için yılda 280 L atık yağ oluşumu mevcuttur.

Çizelge 4.3 te Hidrolik enjeksiyon ve elektrikli enjeksiyon makinalarına ait verilere bakıldığı durumda elektrik tüketimi elektrikli makinada %50 oranında az olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Hidrolik plastik enjeksiyon makinası ve elektrikli plastik enjeksiyon makinesi yıllık tüketim miktarları

Veri	Hidrolik Plastik Enjeksiyon Makinesi	Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makinesi	Yıllık fark	Kar (1 yıl)
Elektrik tüketimi(kWh)	71.760	34.320	37.440	37.440
Karbon ayak izi miktarı,( ton CO <sub>2</sub> e)	35,322	16,893	18.429	18.429
<b>İLK YATIRIM MALİYETİ</b>				
Makine yatırım bedeli (\$)	60.000 \$	82.802\$	22.802\$	22.802\$
Makine yatırım amortisman yansımaları	6000\$	5520\$	480\$	480\$
Toplam ilk yatırım maliyet	60.000 \$	82.802\$	22.802\$	23.282\$
<b>İŞLETME MALİYETİ</b>				
Elektrik maliyeti (\$)	6.207 \$	2.968 \$	3.239\$	3.239\$
Hidrolik yağ,(litre /yıl)	280	0	280	889,5 \$
Yağ maliyeti(\$)	889,5\$	0	889,5\$	
Yıllık sarf malz.ve hidro mekanik parça giderleri	1.000 \$	300 \$	700\$	700\$
Yıllık servis ve bakım maliyet	1.200\$	195\$	1005\$	1005\$
Toplam işletme maliyet	9.296,5\$	3.463\$	5.833,5\$	5.833,5\$
Toplam tasarruf				5.833,5\$
Geri ödeme süresi (yıl)				3,9

Çizelge 4.3 te Hidrolik plastik enjeksiyon makinası ve elektrikli plastik enjeksiyon makinası yıllık tüketim miktarları, tüketimlere bağlı oluşan karbon salınımı ve makinalara ait ilk yatırım maliyetleri ile beraber işletme maliyetleri verilmiştir.

### Geri kazanım süresi hesabı:

Elektrikli makinaların amortisman süresi 15 yıl ve hidrolik makinaların amortisman süresi 10 yıl olarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Elektrikli plastik enjeksiyon makinalarının ilk yatırım maliyeti yüksek olması nedeni ile yıllık kar ve amortisman süresi hesaplaması yapılmıştır.

Geri kazanım süresi:  $\frac{\text{Hidrolik makina ilk yatırım maliyeti} - \text{Elektrikli makina ilk yatırım maliyeti}}{\text{Toplam tasarruf}}$

$$\text{Geri kazanım süresi (yıl): } \frac{82.802\$ - 60.000 \$}{\frac{5,833,5\$}{\text{yıl}}} = 3,9 \text{ yıl}$$

Elektrikli enjeksiyon makinası yatırımı ile firma 3,9 yıl sonra kâra geçerek elektrik tüketim ve karbon salınımını %50 oranında azaltmış olacaktır.

### 4.3. Karbon Ayak İzinin Azaltımı İçin Yapılabilecek İyileştirme Önerileri

Ağaçlar fotosentez yöntemi ile CO<sub>2</sub>'i bünyelerine alarak organik madde olarak karbonu bünyelerinde tutarlar. Kalan oksijeni tekrar doğaya bırakırlar. Ağaçların absorbe ettikleri CO<sub>2</sub> miktarı ağaçları yaşı ve türüne göre değişiklik göstermektedir. Ortalama bir ağacın yıllık emisyon azaltımı miktarı 11 kg'dır. (Bekiroğlu 2011).

Hidrolik enjeksiyon makinası ile üretim yapıldığı durumda 35,322 ton CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmaktadır. Bu durumda CO<sub>2</sub> emisyonunu sıfırlayabilmek için;

$$\frac{x \text{ adet (ağaç)} \times 11 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 35,322 \text{ ton } CO_{2e}$$

$$= 3211 \text{ adet/yıl ağaç dikilmelidir.}$$

Yapılan hesaplamalar bir adet hidrolik enjeksiyon makina verisi ile gerçekleştiğinden dolayı 18 adet hidrolik makina için ortalama 57.798 adet ağaçlandırma çalışması yapılması n görülmüştür.

Elektrikli plastik enjeksiyon makinası ile üretim yapıldığı durumda 16,893 ton CO<sub>2</sub> emisyonu oluşmaktadır. Bu durumda CO<sub>2</sub> emisyonunu sıfırlayabilmek için;

$$\frac{x \text{ adet (ağaç)} \times 11 \frac{\text{kg}}{\text{yıl}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}} = 16,893 \text{ ton } CO_{2e}$$

$$=1535 \text{ adet/yıl ağaç dikilmelidir.}$$

Yapılan hesaplamalar bir adet elektrikli plastik enjeksiyon makina verisi ile gerçekleştiğinden dolayı 18 adet elektrikli plastik enjeksiyon makina için ortalama 27.630 adet ağaçlandırma çalışması yapılması n görülmüştür.

Farklı retim ve sanayi kollarında, çalışma yapılan sektörlere ait farklı olan veriler yardımı ile karbon ayak izi hesabı gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilmiş olan çalışmalarda Tier-1 ve Tier-2 hesaplamaları kullanılmıştır. Tier-3yntemi ile hesaplama yapabilmek için diğer yöntemlere nazaran daha çok veri ve data kullanımı ihtiyacı olduğundan dolayı temin edilmesi daha zordur. Bu çalışmada, plastik enjeksiyon üretimi gerçekleştiren otomotiv yan sanayilerinde kullanılan farklı iki tip makine için sera gazı hesaplaması yapılmıştır. Hesaplamalarda hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 35,3224248 ton CO<sub>2e</sub> olarak hesaplanmıştır. Üretim anındaki kaçaklar 3,779499454 ton CO<sub>2e</sub>'dir. Elektrikli plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 16,8933336 ton CO<sub>2e</sub> ve üretim anında ki kaçaklar 1,807586695 ton CO<sub>2e</sub> olarak tespit edilmiştir.

Balta(2019) tarafından Santrifüj Pompa retimi sırasında açığa çıkan sera gazları hesaplanmıştır. En çok karbon emisyon salınımının %69 oranında elektrik enerjisi kaynaklı olduğunu tespit etmiş olup üretilen ürünlere eko etiket alınarak pazarda temiz

üretim kaynaklı olarak müşteri ilgisini üzerinde tutacağını ve pazarda öne geçecek bir avantaj yakalanabileceği üzerinde durmuştur.

Doğan (2019)'un yaptığı çalışmada tekstil endüstri sektörü üretiminde atmosfere çok fazla emisyon salındığını, iplik boyama, kumaş boyama konfeksiyon ve baskı proseslerinin bulunduğu her ünite için karbon ayak izi hesaplaması yapmıştır.1kg ürün başına kumaş boyama ünitesinin karbon ayak izinin 1 kg CO<sub>2</sub>e/kg ,İplik boyama tesisinin karbon ayak izinin 2,22 kg CO<sub>2</sub>e/kg olduğunu ,baskı ünitesinin karbon ayak izinin 3,31 kg CO<sub>2</sub>e/kg ürün ve konfeksiyon ünitesinin karbon ayak izinin 7,25 kg CO<sub>2</sub>e/kg ürün olduğunu tespit ederek alınabilecek önlemleri açıklamıştır.

Dindar(2021),yaptığı çalışmada otomotiv yan sanayi sektörüne ait karbon ayak izi hesaplaması yapmıştır. Tier-1 yaklaşımını kullanarak, ısınma kaynaklı, elektrik tüketimi, su kullanımı, atık su oluşumu, taşeron hizmetleri kaynaklı ve personellerin kullanmış olduğu servis araçları kaynaklı karbon salınımlarını hesaplamıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elektrik tüketimi kaynaklı karbon emisyon salınımı 13.056,81 ton CO<sub>2</sub>eq olarak tespit etmiştir. Tesisten kaynaklanan toplam emisyon değerlerinin %79'unun elektrik tüketimi kaynaklı olduğunu tespit ederek, tesis çatısına kurulacak güneş enerji sistemi kurulması ile karbon emisyonlarının %19 oranında düşüş sağlanacağını savunmuştur. Karbon salınımlarının düşürülebilmesi için, ağaçlandırma çalışması yapılması, üretimdeki atıkların sıfır atık kapsamında biriktirilerek geri dönüşüme kazandırılması, araç kullanımı yerine bisiklet kullanımına yönelmesi gibi önerilerde bulunmuştur.

Sreng(2016) tarafından yapılan çalışmada otomobil üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi hesabı yapılmış olup karbon ayak izi miktarının azaltılması için önerilerde bulunmuştur. En yüksek karbon emisyonuna neden olan araç üretimlerinde araç ağırlığının azaltılarak üretim gerçekleştirilmesi önerisini vermiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salınımını tamamen yok edecek olan güneş panelleri ile üretimin gerçekleştirilmesi gerekliliği üzerinde durmuştur.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde görülmüştür ki farklı sektörler içerisinde karbon ayak izi hesaplanması ve yapılacak olan iyileştirmeler hakkında bilgi verilmiştir. Daha önce yapılmış olan akademik ve bilimsel çalışmalar incelendiğinde tekstil, turizm, geri kazanım, otomotiv sanayisi, kağıt endüstrileri, inşaat ve ulaşım sektörleri içinde karbon salınımı heaplamlarının mevcut olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu araştırma da ise otomotiv endüstrisi yan sanayisinde kullanılan, hidrolik ve elektrikli plastik enjeksiyon makinaları farklı yönlerden ele alınarak yapılan kıyaslama ile makinaların çevresel, işlevsel ve enerji sarfiyatı ve karbon salınımı bakımından ne tür ilişkiler içinde olduğu ortaya konmuştur.

Otomotiv sektöründe global ölçekte önde gelen firmalara ait karbon salınımı çalışmaları mevcuttur. Ülkemizde otomotiv yan sanayilerinde gerçekleşen üretimlere ait karbon salınımı hesabı yapılmış olan çok az çalışma bulunmaktadır. Bursa ilinde otomotiv yan sanayi sektöründe plastik enjeksiyon üretimi yapan firmalarda karbon salınımı hesabı bulunmaması nedeni ile çalışma konusu otomotiv yan sanayisinde enerji verimliliğinin ve çevresel parametrelerin optimizasyonu, plastik enjeksiyon üretim örneği seçilmiştir.

Çalışmada plastik enjeksiyon üretiminde kullanılan hidrolik enjeksiyon makinası ve elektrikli enjeksiyon makinalarında elektrik tüketimlerine bağlı karbon salınımları 2019-2020 yılına ait hesaplanmıştır.

## 5. SONUÇ

Sürekli artmakta olan nüfus ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte enerji tüketiminde artış doğal kaynaklarımızda azalış olduğu görülmüştür. Küresel ısınma kaynaklı iklim değişikliklerinin yaşandığı günümüzde karbon salınımının azaltılması gerekliliği büyük önem taşımaktadır. Küresel ısınmaya neden olduğu tespit edilen fosil yakıtların kullanımı, doğal kaynakların bilinçsiz bir şekilde tüketilmesinin önüne geçilmelidir.

Yapılan bu çalışmada plastik enjeksiyon üretimi yapan otomotiv yan sanayilerinde kullanılan plastik enjeksiyon makinelerinin elektrik tüketimi ile beraber karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama yöntemi IPCC Tier-2 olarak belirlenmiş ve küresel ölçekli değerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karbon ayak izi hesaplaması üzerine ulusal ve uluslararası bir çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada otomotiv sektöründe yan sanayi olarak çalışan plastik enjeksiyon üretimi yapan bir firmada kullanılan makine tipleri için karbon salınımı hesabı yapılmıştır. İki farklı makine için elektrik tüketimleri 2019-2020 yılı içerisinde hesaplanarak karbon ayak izi hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada IPCC,Kyoto protokolü,GHG ve bilimsel çalışmalar sonucu hesaplanan emisyon faktörleri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 35,3224248 ton CO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır. Üretim anındaki kaçaklar 3,779499454 ton CO<sub>2</sub>e 'dir. Elektrikli plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 16,8933336 ton CO<sub>2</sub>e ve üretim anında ki kaçaklar 1,807586695 ton CO<sub>2</sub>e olarak tespit edilmiştir.

Otomotiv sanayisindeki artış ile birlikte plastik enjeksiyon üretimi de artarak enerji tüketiminin artmasına ve doğal kaynakların azalmasına sebebiyet vermektedir. Hidrolik makinelerdeki mengene ve mal alma pozisyonlarında sapmalar, otomasyondaki sıkıntılar, yüksek enerji tüketimi, düşük enjeksiyon ve mengene hızları, kalıp korumadaki darbeler gibi birçok unsur elektrikli makinelerin doğmasına sebep olmuştur. Plastik enjeksiyon üretiminde kullanılan hidrolik enjeksiyon makinesi ve elektrikli enjeksiyon makinesi karşılaştırılarak ürün kalite, performans, elektrik tüketimi, karbon ayak izi gibi parametreler ölçülerek enerji verimliliğinin ve çevresel



parametrelerin optimizasyonu yapılmıştır. Çizelge 4.3’de verilen değerler kıyaslandığı durumda elektrikli plastik enjeksiyon makinelerinin daha az elektrik tüketerek karbon salınımının hidrolik makineye göre daha az olduğu görülmüştür. Yine oluşan atık kıyaslamasında da hidrolik makineye göre elektrikli plastik enjeksiyon makinesinde atık oluşumunun olmadığı tespit edilmiştir. Bu sayede daha az enerji kullanılarak, atık oluşumu meydana gelmeden kaliteli üretim gerçekleştirilmektedir. Tüm hesaplamalar göz önünde bulundurulduğunda, elektrik tüketiminin ve sera gazı salınımının daha az olması nedeni ile, elektrikli makine kullanımının daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Elektrikli plastik enjeksiyon makinasının geri kazanım süresi hesaplanmış olup 3.9 yıl sonra firmanın kazançlı duruma geçeceği tespit edilmiştir.

Plastik enjeksiyon sektörü üzerine çalışılmış karbon ayak izi uygulamalarının, Türkiye’de ve Dünya da yok denecek kadar az olduğu tespit edilmiştir. Fakat literatürlerin incelenmesi ile birlikte, farklı sektörlerde açığa çıkan karbon salınımının plastik enjeksiyon üretiminde de olduğu gibi fosil yakıtların kullanılması kaynaklı ortaya çıkması ve bu karbon salınımlarının ancak yenilenebilir enerjilerin kullanımı ile düşürülebileceğinden bahsedilmiştir. Yapılan çalışmaların incelenmesi üzerine, her sektörün kendi karbon ayak izinin hesaplanması gerektiği ve karbon salınımlarının düşürülmesi için gerekli çalışmaları başlatarak her şirketin karbon salınımının azaltımı politikası uygulaması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunun için sera gazı ve karbon salınımları en az seviyede tutularak, üretimlerin gerçekleştirilmesi amaçlanmalıdır. Yapılan çalışmada, otomotiv sanayilerinde plastik enjeksiyon üretimi gerçekleştirilirken karbon salınımı ve elektrik tüketiminin azaltılmasının mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen verilere göre fosil yakıtların kullanıldığı durumda, Plastik enjeksiyon üretimi yapılırken, elektrikli plastik enjeksiyon makinelerine göre geleneksel hidrolik makineler ile üretim gerçekleştirdiği anda, %50 daha fazla karbon salınımı olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda elektrikli plastik enjeksiyon makinesi kullanılarak bu değer %50 azaltılabilir. Aynı zamanda bu yöntem ile birlikte, fosil kökenli elektrik enerji kullanımı yerine, firmaların yenilenebilir enerji kullanımı sağlayarak daha az karbon salınımı ile üretimin gerçekleşmesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma ile birlikte plastik enjeksiyon üretimi içerisinde kullanılan makinaların neden olduğu sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi adına farkındalık oluşturulmuştur.

Çalışma sonucunda çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- 4 ayrı parça seçilerek üretimleri hidrolik makine ve elektrikli makine ile gerçekleştirilmiştir. İki farklı makine ile üretilen parçalarda elektrikli makine ile üretim anındaki tasarruf değerlerine bakıldığında %69 a kadar tasarruf sağlandığı tespit edilmiştir. Çevrim zamanı, yani parça basım süresi daha uzun olan parçaların elektrik tüketiminin daha fazla olduğunun tespiti yapılmış olup elektrikli makine ile üretim anındaki tasarruf oranının %52 olduğu bulunmuştur.
- Hidrolik plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda karbon emisyonu 35,3224248 ton CO<sub>2</sub>e ve üretim anındaki kaçaklar 3,779499454 ton CO<sub>2</sub>e olarak, Elektrikli plastik enjeksiyon makinesi ile gerçekleşen üretim sonucunda ortaya çıkan karbon emisyonu 16,8933336 ton CO<sub>2</sub>e ve üretim anında ki kaçaklar 1,807586695 ton CO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır.
- Elektrikli plastik enjeksiyon makinalarında yağ kullanımı olmaması nedeni ile atık yağ oluşmadığı ve bakım maliyetlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Tesisin hidrolik enjeksiyon makinasından açığa çıkacak olan karbon emisyonunu düşürebilmesi için 3211 adet/yıl, elektrikli enjeksiyon makinasından açığa çıkacak olan karbon emisyonunu düşürebilmesi için 1535 adet/yıl ağaçlandırma çalışması ile üretim kaynaklı oluşacak emisyonların azaltılması sağlanmış olacaktır. Yapılan hesaplamalar tek makinada gerçekleşmesi nedeni ile, tesiste 18 makina olması durumunda ortalama bu değer hidrolik makina için 57.798 adet ağaç/yıl, elektrikli plastik enjeksiyon makinası için 27.630 adet ağaç/yıl dikilerek ağaçlandırma çalışması yapılmalıdır.
- Tesisin üretimde elektrik tüketimi ve karbon salınımını düşürebilmesi için; uzun ömürlü, enerji tasarrufu sağlayan, daha hızlı ,kaliteli üretim gerçekleştirebilen ve atık oluşturmeyen elektrikli plastik enjeksiyon makinaları ile, daha çok elektrik tüketimi ve karbon salınımına neden olan,atık yağ oluşturan,bakım maliyetleri yüksek olan eski sistem hidrolik plastik enjeksiyon makinaları tesis içerisinde

bulunan 17 adet makinanın değiştirilmesi firma hedefleri içerisinde olması sağlanmalıdır.

İşleyen plastik enjeksiyon pazarında, daha çevreci teknolojilerin üretimde kullanılması ile birlikte, firmaların enerji tüketimleri azalmış olacak ve aynı zamanda atık oluşumu olmadan; müşteri talepleri daha hızlı ve daha başarılı olarak karşılanmış olacaktır. evre bilinci ile beraber firma rekabette avantajlı duruma gelerek, otomotiv sanayisinde prestijli konuma gelmiş olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Albayrak, B., Çok D., Barça G., Özdemir S. O., 2014. Karbon Ayak İzi. Doğuş Üniversitesi İşletme ve Toplum Dersi Sunumu EM356. İstanbul
- Anonim, Plastik Enjeksiyon Kalıplama <https://www.makinaegitimi.com/plastik-enjeksiyon-kaliplama> (Erişim Tarihi ;27.02.2021)
- Anonim, 1998. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi.T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, <https://iklim.csb.gov.tr/birlesmis-milletler-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi-i-4362> .(Erişim Tarihi :11.07.2021)
- Anonim,2006.Enjeksiyon Makinelerinde Üretim,Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı,Ankara([http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Enjeksiyon%20Makine%20Ayarlar%C4%B1.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Enjeksiyon%20Makine%20Ayarlar%C4%B1.pdf)).(Erişim Tarihi:23.12.2020).
- Anonim,2011.Kyoto Protokolü,Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı <https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa> (Erişim tarihi :11.07.2021)
- Anonim,2011a.Paris Anlaşması, Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (Erişim Tarihi :11.07.2021)
- Anonim,2013.Makine Ayarları,Plastik Teknolojisi,Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı,Ankara([http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Enjeksiyon%20Makine%20Ayarlar%C4%B1.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Enjeksiyon%20Makine%20Ayarlar%C4%B1.pdf)) (Erişim Tarihi:23.12.2020).
- Anonim,2014a. Ford Lio Ho Motor Co., Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, Taiwan, 15- 20, 2014.
- Anonim, 2014b. Jiangling Motors Corporation Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report. China, 9-19, 2014.
- Anonim,2016. Türkiye Otomotiv Plastikleri Sektör Raporu ,Türk Plastik Sanayicileri Araştırma,Geliştirme ve Eğitim Vakfı, <https://pagev.org/upload/files/Hammadde%20Yeni%20Tebli%C4%9F%20Bilg.%203/T%C3%BCrkiye%20Otomotiv%20Plastikleri%20Sekt%C3%B6r%20Raporu%202016.pdf> (Erişim tarihi:09.05.2021).
- Anonim,2017. Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Yönetmelik Yayınlandı. <https://cygm.csb.gov.tr/ozon-tabakasini-incelten-maddelere-iliskin-yonetmelik-yayinlandi.-duyuru-235416> (Erişim Tarihi:14.11.2021)

- Anonim,2018. Küresel Isınma,Sera Etkisi,Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı,Çevre Koruma Müdürlüğü,  
<https://havakalitesi.ibb.gov.tr/Icerik/bilgi/kuresel-isinma-sera-etkisi>(Erişim Tarihi:25.09.2021)
- Anonim,2019a. Ozon tabakasının incelenmesinde büyük etkisi olan diazot monoksit gazının salınımı artıyor. <https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2019/11/19/ozon-tabakasinin-incelmesinde-buyuk-etkisi-olan-diazot-monoksit-gazinin-salinimi-artiyor/> (Erişim Tarihi:07.11.2021)
- Anonim,2019b.2019 National Inventory Report (NIR). <https://unfccc.int/documents/194819>. (Erişim Tarihi:17.08.2020)
- Anonim,2019c. Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim - Tüketim Ve Kayıplarının Yıllar İtibariyle Gelişimi 2019 raporu.<https://webapi.teias.gov.tr/file/512cbf1d-0ca3-4492-b901-3722c7b682f7?download>(Erişim Tarihi:17.08.2020)
- Anonim,2020a.Atmosferdeki karbon dioksit oranı. <https://yesilgazete.org/atmosferdeki-karbondioksit-orani-rekor-kirdi-415-79-ppm/> (Erişim tarihi 28.10.2021)
- Anonim,2020b. Keeling Eğrisi. <https://delphipages.live/tr/bilim/yer-bilimi-jeolojik-zaman-ve-fosiller/yer-bilimleri/keeling-curve>. (Erişim Tarihi:29.10.2021)
- Anonim,2021a. Overview of Greenhouse Gases,United States Environmental Protection Agency,<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#CO2-references>
- Anonim,2021b.Karbon döngüsü. <https://www.semtrio.com/blog/karbon-dongusu>(Erişim tarihi :29.10.2021)
- Anonim,2021b. [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kloroflorokarbon\\_gazlar%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kloroflorokarbon_gazlar%C4%B1)(Erişim Tarihi:14.11.2021)
- Anonim,2021c. 2021 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı. [https://tr.wikipedia.org/wiki/2021\\_Birle%C5%9Fmi%C5%9F\\_Milletler\\_%C4%B0klim\\_De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi\\_Konferans%C4%B1#cite\\_note-17](https://tr.wikipedia.org/wiki/2021_Birle%C5%9Fmi%C5%9F_Milletler_%C4%B0klim_De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi_Konferans%C4%B1#cite_note-17)(Erişim Tarihi:21.11.2021)
- Anonim,2021ç.Climate Trace Report. <https://climatetrace.org/inventory#sector> (Erişim Tarihi:21.11.2021)

- Anonim,2021d.Ton Eşdeğer Petrol Hesaplama. <https://epod.com.tr/ton-esdeger-petrol-hesaplama> .(Erişim Tarihi 26.11.2021)
- Atabey,T.2013. Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ.
- Aydın, G.2008.Kömür Kökenli Metanın Kullanım Teknolojileri ve Enerji Üretiminden Kaynaklanan Antropojenik Metan Emisyonlarının Analizi, *Yüksek lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı,Trabzon
- Balta,M.2020. Endüstri Kaynaklı Karbon Ayak İzi Azaltımı Ve Enerji Verimliliği. *Yüksek Lisans Tezi* ,Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Bıyık, Y. 2018. Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Demirbaş, F. 2018. Geri Kazanım Tesisinde Karbon Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Doğan, N.2020. Kumaş Boyama, İplik Boyama, Baskı Ve Konfeksiyon Faaliyetlerinin Karbon Ayak İzi Hesabı.*Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı ,Isparta
- Dindar,G.2021. Otomotiv Yan Sanayinde Karbon Ayak İzinin Hesaplanması Bursa İli Örneği.*Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı ,Bursa
- EPA, 2006. Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020, [http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/pdfs/global\\_emissions.pdf](http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/pdfs/global_emissions.pdf) 28
- García, C.A., García-Trevino, E.S., Aguilar-Rivera, N., Armendariz, C., 2016. Carbon footprint of sugar production in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2632-2641. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.113>

- Habir, İ.2019. Sanayide Sıfır Karbondioksit Salınımı İçin Model Geliştirilmesi Ve Otomotiv Üretim Endüstrisine Uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul
- IPCC, 2014. Climate Change 2014. The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed., Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jochem, H., Wolfram, T.,2014. Carbon Footprint, Environment, *Sustainability Report*, Volkswagen, 126-129
- Kahya, H.,Gürün, H.,2012. Servo Kontrollü Plastik Enjeksiyon Makinası Tasarımı,3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu,04-05Ekim,Ankara.
- Kavrak, B.2018. Elektrikli Plastik Enjeksiyon Makineleri Hakkında Bilgi <http://bilalkavrak.com.tr/full-elektrikli-plastik-enjeksiyon-makinesi/>(Erişim tarihi :27.02.2021)
- Orhan,A.2018. Çimento Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,Ankara
- Öncel,S.Bektaş,N.Bayar,S.Çalışkan,Y.Engin,G. 2017. Plastik Ürün Üretiminde Tehlikeli Atıkların Azaltılması için Mevcut En İyi Teknikler, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*,17:974-979
- Özlem, B.2013.Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,İstanbul
- Patterson M.G.1996. What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues, *Energy policy*, 5:377-390.
- Pekin, M.A., 2006. Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Penz, E., Polsa, P.2018. "How do companies reduce their carbon footprint and how do they communicate these measures to stakeholders", *Journal of Cleaner Production* ,195:1125–1138 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.263>

- Pınar, E.2010. Plastik Enjeksiyon Yöntemiyle İmalatta Hataların Tespiti Ve Proses Şartlarının Optimizasyon Uygulaması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Sreng, R.2016. Otomotiv Endüstrisinde Karbon Ayak İzi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Türkeş, M. 2001. Küresel iklimin korunması, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Türkiye. Tesisat Mühendisliği TMMOB Makina Mühendisleri Odası, *Süreli Teknik Yayın* 61: 14-29.
- Türkeş, M.2006. Küresel İklimin Geleceği ve Kyoto Protokolü. Jeopolitik, 29, 99-107.
- Uzunçakmak, M. 2014. Ulaşım Modlarından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkilerinin Karşılaştırılması. *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi*, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.
- Yavuz, B.2020. Turizmde Karbon Ayak İzi: Beş Yıldızlı Otel, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Niğde.
- Yelkenci, Ş.2008. Plastik Enjeksiyon Kalıplama Teknikleri Ve Özel Uygulamalar, *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa
- Wang, Y., Yang, X., Sun, M., Ma, L., Li, X., Shi, L.2016. Estimating carbon emissions from the pulp and paper industry: A case study. *Applied Energy*, 184:779– 789.
- Wikstroem P., Tolvananen J., Savolainen A., and Barbosa P., (2007). Saving energy through power efficiency, *ABB Review* 2/2007



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Merve ŞENGÜNGÖR  
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA-07.04.1994  
Yabancı Dil : İNGİLİZCE

### Eğitim Durumu

Lise : Süleyman Çelebi Anadolu Lisesi  
(2008-2012)

Lisans :Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre  
Mühendisliği Bölümü (2012-2017)

Yüksek Lisans :Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği  
Ana Bilim Dalı(2018-2021)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : MARS ÇEVRE DANIŞMANLIK-2017  
ERO-PLAS PLASTİK ENJEKSİYON -2018  
ERBEK KALIP PLASTİK ENJEKSİYON-  
HALEN

İletişim (e-posta) : mervesengungor@gmail.com