

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KARBON AYAKIZI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ratha SRENG

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU

Ağustos 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

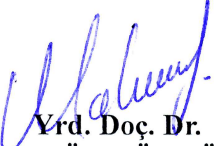
OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KARBON AYAKİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ratha SRENG

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/08/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr.
Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
Asude ATEŞ
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Şenay Çetin DOĞRUPARMAK
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Ratha SRENG

08.08.2016

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin konusunun belirlenmesinde, araştırma aşamasında, yön tayininde ve tamamlanmasında her türlü destek ve yardımı sağlayan çok değerli hocam ve tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Mahnaz GÜMRÜKÇÜOĞLU'na bana ayırdığı değerli zamanı için çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi boyunca Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde değerli öğretmenlerime ve sınıf arkadaşlarıma bana öğretmek ve yardım etmek için verdikleri emeklerden dolayı teşekkür ederim. Bütün Kamboçyalı, uluslararası ve Türk arkadaşlarıma benimle Türkiye'de güzel 3 sene geçirdiğimiz için de teşekkür ederim.

Son olarak da; her türlü desteklerini benden esirgemeyen ve bana gösterdikleri sabır için değerli aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
GENEL KAVRAMLAR.....	3
2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi.....	3
2.1.1. Hedef ve kapsam tanımları.....	3
2.1.2. Yaşam döngüsü envanter analizi.....	4
2.1.2.1. Yaşam döngüsü envanteri veri toplaması	6
2.1.2.2. Tahsis	7
2.1.3. Yaşam döngüsü etki analizi.....	8
2.2. Ürün ve Kurumsal Çevre Ayak İzi.....	10
2.2.1. Ürün çevre ayak izine genel bakış.....	10
2.2.1.1. ISO 14044: Çevresel yönetim, yaşam döngüsü değerlendirmesi	10
2.2.1.2. Umuma açık mevcut şartname 2050.....	10
2.2.1.3. ISO 14025	11
2.2.1.4. Ürünlerin karbon ayak izi (ISO 14067)	11

2.2.1.5. Ürün standardının sera gaz protokolü: ürün yaşam döngüsü muhasebesi ve raporlama standardı	12
2.2.2. Kurumsal çevresel ayak izi: ISO 14064.....	12
2.2.2.1. ISO 14064 Arkaplanı	12
2.2.2.2. ISO 14064 Yapısı	13
2.2.2.3. ISO 14064 Sera gazı envanterleri	14
2.2.2.4. ISO 14064 Doğrulanması	14
2.2.2.5. ISO 14064 Uygulaması.....	15
2.2.2.6. ISO 14064 Faydaları.....	15
2.3. Karbon Ayak İzinin Çevreye Etkileri.....	16
2.4. Karbon Ayak İzinin İnsan Sağlığına Etkileri	17
 BÖLÜM 3.	
GLOBAL OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE SERA GAZI PROTOKOLÜ STANDARDI.....	20
3.1. Global Otomotiv Endüstrisi	20
3.1.1. Araç bileşimi	22
3.1.2. Otomotiv endüstrisinde atıklar	23
3.1.3. Otomotiv sanayisinde atık yönetimi.....	24
3.1.4. Otomotiv sanayisinde karbon ayak izi ilgili literatür	24
3.2. Sera Gazı Protokolü Standardı	29
3.2.1. Operasyonel sınırlar	29
3.2.2. Tahmin metodları	30
3.2.2.1. IPCC emisyon faktörü veritabanı	31
3.2.2.2. Faaliyet verisi.....	31
 BÖLÜM 4.	
MATERYAL VE METOD	32
 BÖLÜM 5.	
BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	35
5.1. Hesaplamalar	35

5.2. Kaynaklara ve Kapsamlara Ait Emisyon Sonuçları	40
5.3. Güneş Enerjisi Maliyeti ve Karbon Ticareti.....	44
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMALAR	47
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AD	: Activity Data
AR5	: The Fifth Assessment Report
CH ₄	: Metan
CO ₂ e	: Carbon Dioxide Equivalent
DEFRA	: Department for Environment, Food and Rural Affairs
EF	: Emission Factor
EFDB	: The Emission Factor Database
g	: Gram
GEM	: Global Emissions Manager
GHG	: Greenhouse Gas
GJ	: Gigajoule
GWP	: Global Warming Potential
HFCs	: Hidroflorokarbonlar
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	: International Organization for Standardization
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kWh	: Kilowatt-hour
LCA	: Life Cycle Assessment
LCI	: Life Cycle Inventory
N ₂ O	: Diazot monoksit
OECD	: The Organization for Economic Co-operation and Development
PFCs	: Perflorokarbonlar
PLDV	: Passenger Light-Duty Vehicle
SF ₆	: Sülfür Heksaflorid

WBCSD : World Business Council for Sustainable Development
WRI : World Resources Institute



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ekonomik sektörlere göre global sera gazı emisyonları	2
Şekil 2.1. Yaşam döngüsü envanter analizi	4
Şekil 2.2. Yaşam döngüsü analizi aşamaları	5
Şekil 2.3. Tahsis şeması	8
Şekil 2.4. Ürün bazlı karbon ayakizi adımları/PAS 2050	11
Şekil 2.5. Sıcaklık değişiminin tarihsel gelişimi (Quasi-log skalası).....	17
Şekil 2.6. İklim değişikliğinin insan sağlığına etkileri.....	18
Şekil 3.1. 2007 ve 2030 yılında PLDV satışlarının yüzde payı	20
Şekil 3.2. Aracın toplam sayısının şimdiki durumu ve bin insan başına araç sayısı	21
Şekil 3.3. Tipik bir aracın yaşam döngüsünden emisyon payı.....	22
Şekil 3.4. Araç üretiminde kullanılan malzemeler	23
Şekil 3.5. Değer zinciri içinden kapsamlar ve emisyonların genel bakışı	30
Şekil 5.1. Kaynaklara ait karbon miktarları (tonCO ₂ eşdeğeri)	42
Şekil 5.2. Kaynaklara ait yüzde olarak karbon miktarı	42
Şekil 5.3. Kapsamlara göre yüzde olarak karbon miktarı	44

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Faaliyet verileri	32
Tablo 4.2. Emisyon faktörleri	33
Tablo 4.3. Hesaplamalarda kullanılan birimler.....	34
Tablo 4.4. IPCC 5. değerlendirme raporu, 2014(AR5), küresel ısınma potansiyelleri (GWP).....	34
Tablo 5.1. Kapsam 1, 2, 3 verilerine göre CO ₂ ve CH ₄ , N ₂ O emisyonları için karbon eşdeğeri sonuçları	40
Tablo 5.2. Direkt ve indirekt emisyonlara ait karbon eşdeğeri miktarı ve yüzdesi	43

ÖZET

Anahtar kelimeler: Karbon ayak izi, iklim değışikliği, otomotiv endüstrisi, karbon eşdeğeri

Çalışmanın konusu otomobil üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi hesaplanması ve azaltım önerilerinin verilmesidir. Çalışmanın içeriğini; yaşam döngüsü değlendirmesi, Uluslararası Standartlar Teşkilâtı (İSO) gibi uluslararası organizasyonlar, karbon ayak izi hesaplama ve raporlama yöntemleri, insan sağlığı ve iklim değışikliği üzerine karbon ayak izi etkileri, küresel otomotiv endüstrisi ve karbon azaltım önerileri oluşturmaktadır. Karbon ayak izi, üretim sürecinde yaşam döngüsünün her aşamasında meydana gelebilir. Bu çalışma, otomobil üretim işlemine bağlı emisyonların karbon eşdeğeri olarak hesaplanmasına odaklanmaktadır. Hesaplama tüm gereken veriler otomotiv fabrikasından, ilgili emisyon faktörleri ise İklim Değışikliği Üzerinde Hükümetlerarası Paneli (İPCC), Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi (WBCSD) gibi çeşitli uluslararası organizasyonları tarafından geliştirilmiş Sera Gazı Protokolü gibi ISO 14064-1 standardına göre alınmıştır. Sonuçta, otomobil üretiminden kaynaklanan karbon emisyonlarının yüksek olduğu, bu emisyon miktarında en yüksek payın yıllık üretilen 1 milyon araç için üretim sırasında ortaya çıkan emisyonu ve elektrik enerjisi üretiminden kaynaklandığı hesaplamalarla belirlenmiştir. Karbon ayak izinin azaltılması için özellikle elektrik enerjisi üretiminde alternatif kaynaklardan, örneğin güneş enerjisinden yararlanmanın önemi üzerinde durulmuş ve bununla ilgili maliyet hesabı da yapılmıştır.

CARBON FOOTPRINT IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

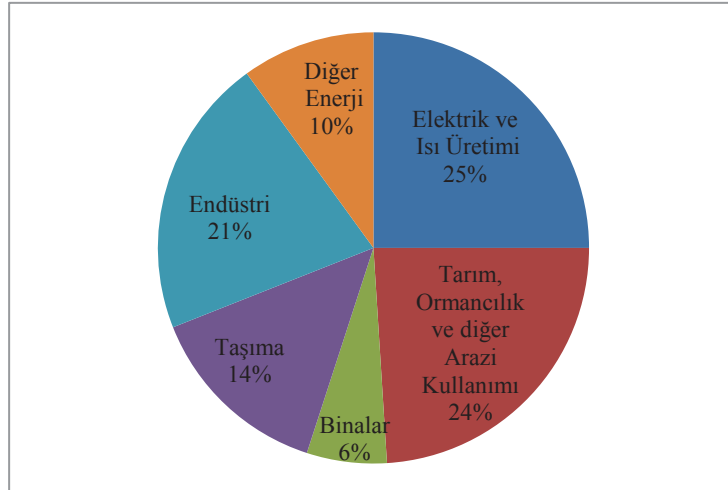
Keywords: Carbon footprint, climate change, automotive industry, carbon equivalent

The work on this topic aims to cover all the relevant knowledge applied to deal with the carbon footprint released by automotive manufacturing activities. The brief overview on the Life Cycle Assessment (LCA), other International Organizations, like International Organization for Standardizations (ISO), calculation and reporting methods of carbon footprint, effects of carbon footprint on human health and climate change, global automotive industry, and its carbon footprint related literatures were also included in this study. Carbon footprint can be happened in all stages of life cycles for the production process. However, for this work, we mainly focus on calculation of the amount of carbon footprint in unit of carbon equivalent during the automotive manufacturing operation of the main plant. All data needed for the calculation was received from the automotive plants and emission factors of each data were obtained from other concerning organizations, such as Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Greenhouse Gases Protocol developed by the World Resources Institute (WRI) and World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) in accordance with the recognized ISO 14064-1, quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. As a result, emissions from total number of 1 million car produced per year are the most important source among other carbon emission sources of automotive manufacturing, and the calculation of emission sources from generating electrical energy was included as well. To reduce carbon footprint, particularly, from generation of electrical energy, for example, solar energy was recommended as an alternative energy source that gives significant benefits to factory, and in the end, the cost of solar panels needed to use was also calculated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Güneş radyasyonunda, arazi yüzey özelliklerinde ve atmosfer içinde sera gazları ile aerosollerin değişimleri, iklim sisteminde enerji dengesini değiştirmektedir. Bu değişiklikler, küresel iklim üzerinde ısınma veya soğumayı oluşturan insan ve doğal faktörlerin oranlarının karşılaştırılması ile ifade edilir [1]. Sera gazlarının çoğu atmosferde uzun sürede kalmaktadır. Sonuç olarak, emisyonların artması durdurulsa bile, atmosferik sera gaz konsantrasyonları artmaya devam edebilir ve yüzlerce yıl yüksek kalabilir. Eğer konsantrasyonlar dengelenir ve bugünkü atmosferik kompozisyon sabit kalırsa, yüzey hava sıcaklığı artmaya devam edebilir. Bundan dolayı, sıcaklık depolayan okyanusların daha yüksek sera gazı konsantrasyonlarına karşılık vermesi onlarca yıl almaktadır. Okyanusun daha yüksek sera gazı konsantrasyonları ve daha yüksek sıcaklıklara karşılık vermesi onlarca yıldan binlerce yıla kadar iklime etki etmeye devam edecek [2].

Küresel olarak sera gazı emisyonu üreten 6 büyük ekonomik faaliyet, sınıflandırılmış olarak Şekil 1.1.'de gösterilmektedir:



Şekil 1.1. Ekonomik sektörlere göre global sera gazı emisyonları

Taşıma sektörü 2010 yılında 7.0 GtCO₂eq direkt sera gazı emisyonu (CO₂ olmayan gazlar dahil) üreterek enerji ilgili toplam CO₂ emisyonlarının (6.7 GtCO₂) yaklaşık 23%'ünden sorumlu olmuştur. Sera gazı emisyonları, verimli araçlara (karayolu, demiryolu, su taşıtları ve uçaklar) ve politikalar ile kabul edilen yasalara rağmen artmaktadır. Agresif ve sürekli hafifletme azaltma uygulamaları olmadan, taşıt emisyonları diğer enerji son-kullanım sektörlerinden daha yüksek oranda artabilecek ve 2050 yılında 12 Gt CO₂eq/yıl üzerine ulaşabilecektir. Kişi başına düşen taşıma talebi, gelişen ve yükselen ekonomilerde Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Ülkelerinden daha çok düşük olmaktadır. Fakat, önümüzdeki yıllarda artan gelirler ve altyapı gelişimi nedeniyle daha hızlı bir oranda artması beklenmektedir [3].

Taşıt sektörüne ait bu veriler ışığında bu çalışmada, otomobil üretim faaliyetlerinden kaynaklanan karbon ayak izi hesaplanması yapılmış ve azaltım önerileri verilmiştir. Çalışmada, otomobil üretim işlemine bağlı emisyonların karbon eşdeğeri olarak hesaplanması yapılmıştır. Çalışmanın içeriğini; yaşam döngüsü değerlendirmesi, Uluslararası Standart Teşkilâtı (ISO) standartları, karbon ayak izi hesaplama ve raporlama yöntemleri, insan sağlığı ve iklim değişikliği üzerine karbon ayak izi etkileri, küresel otomotiv endüstrisi ve karbon azaltım önerileri oluşturmaktadır [3].

BÖLÜM 2. GENEL KAVRAMLAR

2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), hammaddenin üzere satın alınması, üretilmesi, kullanımı, geri dönüşümü ve nihai bertarafı dahil olmak beşikten mezara üretimin yaşam döngüsü boyunca potansiyel etkileri ve çevresel görünümelerini analiz etmeye izin vermektedir. Ürün sisteminin çevresel etkileri, ifade edilen hedef ve kapsama göre LCA tarafından belirlenir. Ayrıca, LCA, ürünlerin çevresel etki potansiyelinin daha iyi anlaşılması için yardımcı olacak daha verimli tekniklerin oluşturulması için geliştirilmiştir [4]:

- Ürünlerin farklı yaşam döngüsü aşamalarında daha çevre dostu performans yapmaları için fırsatların belirlenmesi
- Endüstri, hükümet veya sivil toplum örgütlerindeki karar vericilere bilgi verilmesi
- Çevresel performansın ilgili göstergelerinin seçilmesi
- Ürünlerin pazarlaması (örneğin; çevresel sigorta yapılması veya bir ekoetiket için başvurulması, ISO 14040:2006.

2.1.1. Hedef ve kapsam tanımları

Hedef tanım aşaması çalışma amacını belirler: amaçlanan uygulama, çalışmanın arkasındaki nedenleri, sonuçların kamuoyunu aydınlatma için karşılaştırmada kullanılıp kullanılmayacağını iddialarını amaçlamaktadır. Kapsama, çalışılan ürün sistemi hakkında bilgi, ürün sistemi fonksiyonları, fonksiyonsel birim, sistem sınırı, tahsis işlemleri, veri talepleri, varsayımlar, sınırlamalar, ilk veri kalite gereklilikleri ve eleştiri türü (ISO 14040:2006) hakkında bilgiler dahildir. LCA çalışması, neleri çalışıldığını tanımlayan fonksiyonel bir birim etrafında yapılandırılır. O yüzden,

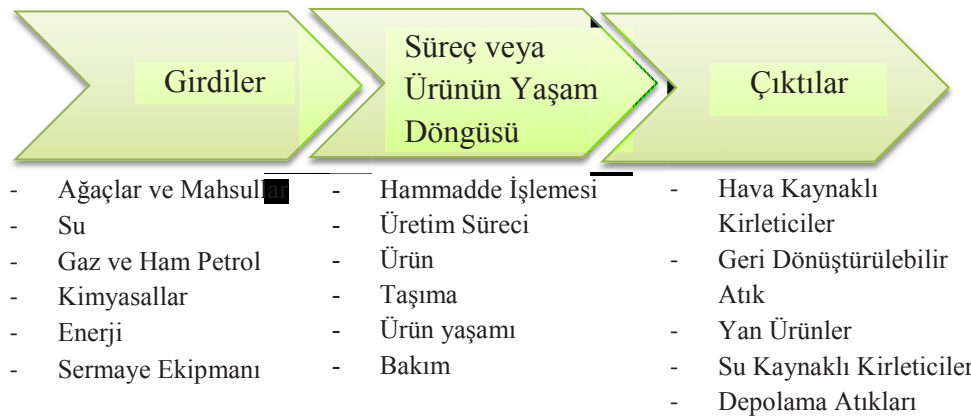
LCA göreceli bir yaklaşımdır. ISO 14040da; fonksiyonel birim, referans birimi (ISO 14040:2006) olarak kullanılması için bir ürün sisteminin sayısal performansı olarak tanımlanır. Kapsamda, sistem sınırı ve LCA hesaplaması, çalışmanın amaçlanan kullanımı ve konuya bağlı olmaktadır. Böylece, çalışmanın derinliği hedefe bağlı olduğundan farklı olabilir. Sonuç olarak, farklı LCA çalışmalarının sonuçları, hesaplamalar ilgili varsayımlar, sistem sınırı ve onların fonksiyonel birimleri dikkate alınmadan birbirleriyle karşılaştırılmaz [4].

2.1.2. Yaşam döngüsü envanter analizi

Yaşam döngüsü envanter analizi, LCA çalışmasında ikinci aşamadır. Bu aşama, sistemden çevreye çıktılar ve sisteme çevreden girişler hakkında bilgi vermektedir. Başka bir deyişle, enerji miktarının ve hammadde gerekliliklerinin, atmosferik emisyonlar, su kaynaklı kirleticiler, katı atıklar ve tüm yaşam döngüsü için diğer bütlenlerin hesaba katılması gerekmektedir (Şekil 2.1.). Bütün ilgili veriler toplanır ve düzenlenir. Birim prosesinde her veri aşağıda gibi sınıflandırılır [5]:

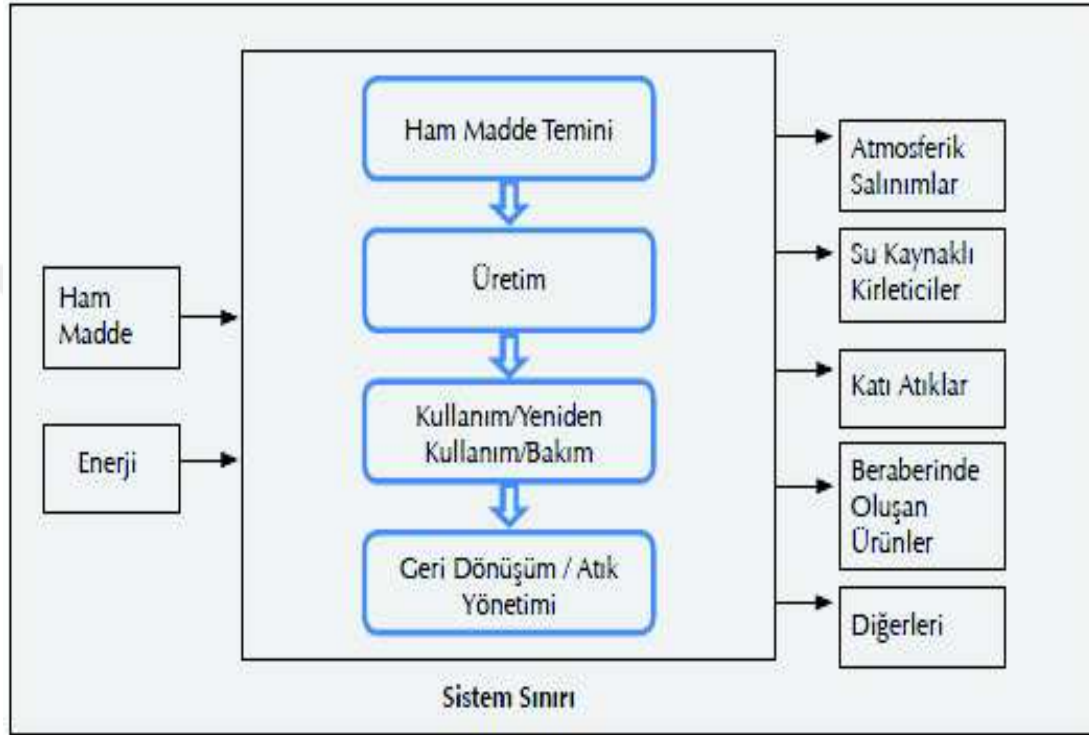
- Enerji girişleri, hammadde girişleri, yan girişleri ve diğer fiziksel girişler
- Ürünler, yan ürünler ve atık
- Emisyonlar, su ve toprağa deşarjlar
- Diğer çevresel görünümeler.

İlk adım işleme çıktıları ve girişlerini içeren akış diyagramının oluşturulmasıdır. Akış diyagramının daha karmaşık olması, LCA doğruluğunun daha yüksek olması demektedir.



Şekil 2.1. Yaşam döngüsü envanter analizi

Bir sistem, bazı tanımlı fonksiyonları gerçekleştiren madde ve enerjiye bağlı işlemlerin toplamı olarak tanımlanır. Sistem etrafından sistemli bir sınır tarafından ayrılır. Sınır dışındaki bütün bölge sistem çevresidir (Şekil 2.2.). Envanter analizi, sistem içine ya da dışından sistem sınırını geçen bütün madde ve enerji akışının sayısal açıklamasıdır [5].



Şekil 2.2. Yaşam döngüsü analizi aşamaları

Sınırlar farklı temeller üzerinde ayarlanabilir [5]:

- Teknoloji sistemi ve doğa: bir yaşam döngüsü genellikle hammaddelerin çıkarma noktasında başlamakta, atık ile sona ermektedir.
- Coğrafi bölge (belediyeye ait sınırlar, ülke sınırları, milli sınırlar vb.): farklı sınırlar, farklı ürün sistemleri, gelenekler, enerji politikası ve çevresel hukuklar uygulanabilir, çevresel etkilerin ekosistem duyarlılığı bölgeye göre farklı olmaktadır.
- Zaman: temelde LCAs mevcut etkileri değerlendirmek ve gelecek senaryoları tahminini gerçekleştirmektedir.
- Geçerli yaşam döngüsü ve diğer teknik sistemlerin ilgili yaşam döngüleri arasındaki sınırlar: çoğu aktiviteler ilişki kurulur, ve daha fazla öğrenmek için

birbirinden yalıtmalıdır. Örnek olarak, sermaye malları üretimi, yeni ve daha çevre dostu süreçlerinin ekonomik fizibilitesi mevcut kullanılan teknoloji ile karşılaştırılarak değerlendirilebilir.

Bu açıklamaların ışığında sınırların ayarlaması sonuçlar doğruluğu için önemli bir aşama olmaktadır [5]:

- Malzemelerin çıkarılmasının hariç olması, malzemenin yüksek enerji talebi ve spesifik emisyon prosesinde dramatik etkileri olmazsa enerji ile ilgili emisyonların etkilerini sınırlamaktadır.
- Taşıma hariç olması: eğer fosil yakıtlarının taşıma için kullanması tüm fosil yakıt talebi ile karşılaştırdığında daha azsa enerji ile ilgili emisyonların etkilerini sınırlamaktadır.
- Ürün kullanılmasının hariç olması: LCA gerçekleştirmek için temel kaybedebilir ve sonuçları etkileyebilir ve bu tavsiye edilmez!
- Elektrik üretimi hariç olması: bazı parametrelerin değişiklikleri sert olabilir.

2.1.2.1. Yaşam döngüsü envanteri veri toplaması

Veri toplamasında, verinin kalitesi ve doğruluğu proje hedefini sağlayacağı için spesifik bir plan ve girdi-çıktı formunda ayrıntılı veri gerekmektedir. Ayrıca, herhangi tipik davranışları düzeltmek için istatistiksel veri yeterince uzun döneme dayanmalı ve ortak zaman ölçeği 1 yıl olmalıdır. Bazı veri kaynakları [6]:

- Ölçüm ekipmanlarından değer okuma
- Ekipmanların işletim koşullarının tutulduğu defterler
- Endüstri veri raporları, veri tabanları ve danışmanlar
- Laboratuvar test sonuçları
- İlgili kamu ve sektör kuruluşlarından edinilebilecek doküman, rapor, veri tabanı
- İlgili web portalları
- Dergiler, makaleler, kitaplar ve patentler
- Diğer referans kaynaklar
- Ticaret odaları

- Konuyla ilgili daha önce yapılmış yaşam döngüsü envanter çalışmaları
- Ekipman ve proses özellikleri

Ayrıca, veri toplanması çok tecrübeli uzmanlar ile direk temas, araştırma ve saha ziyaretlerini kapsamaktadır. Ancak, veri bulması zor olmakta ve genellikle çok zaman tüketmekte, sıkça tutarsız olmakta ve direkt olarak uygulanabilir olmamaktadır. Aynı şekilde, elde edilen veri genelde ayrık, statik, ve doğrusal olmaktadır [5]:

- Miktar belirtmesinde kolayca hata yapılır
- Kütle ve enerji denklilikleri doğru olmayabilir
- Sonuçlar yanlış genelleştirilmiş olabilir

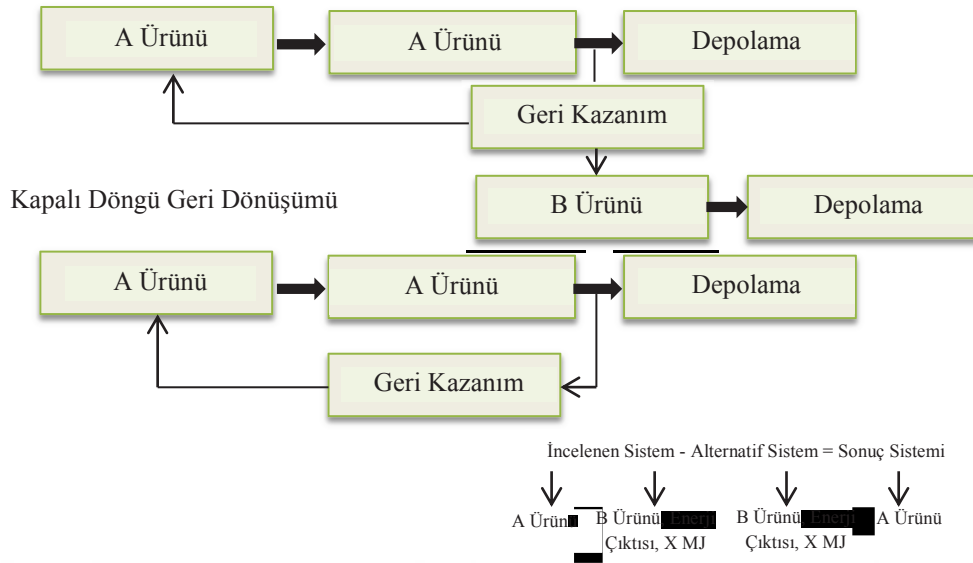
2.1.2.2. Tahsis

Tahsis iki ilgili ürün arasında çevresel yüklerin bölünmesidir. Çoklu çıktı sürecinin yan ürünleri çalışılan sistemde oluşturulmakta, fakat, sistem dışında analiz edilmekte ve yükleri kütle akışları, parasal değerler, vb tarafından bölünlebilmektedir. Ayrıca, çoklu giriş süreçleri veya atık yönetiminin çalışılan sisteminden gelen atık, analiz edilen sisteme dahil olmayan yaşam döngüsünden malzemeler ile beraber yönetilmektedir [5].

Tahsis prosedürleri: (Şekil 2.3.)

- Üründe ilk malzemenin miktarı
- Üründe geri dönüşümlü malzemenin miktarı
- Ürün yaşam döngüsünde teknosferden çevreye kaybolan malzemenin miktarı
- Geri kazanılan malzemenin miktarı
- Ürünün ekonomik değeri
- Ürünün faydası

Geri dönüşümde, atık üreticisi için değersiz yan ürünler, diğer ürün sisteminde faydalı hammadde olmaktadır.



Şekil 2.3. Tahsis şeması

2.1.3. Yaşam döngüsü etki analizi

Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) safhasında, YDE sırasında tanımlanan olası çevresel salımların insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki etkileri değerlendirilir. Etki analizi, insan sağlığı ve çevresel değerlerin yanı sıra doğal kaynak tüketimini de ele alır. YDEA kategori göstergeleri (Örneğin, küresel ısınmayı etkileyen CO₂ emisyonları...) ve spesifik çevresel etki kategorileri ile envanterli veriyi birleştirerek kapsamaktadır. Tanımlama her hangi şekilde karşılaştırdığında potansiyel etkileri ifade eder ve gruplama göstergelerini (Örneğin, yerel, bölge ve global ile) sıralamaktadır. Yaşam Döngüsü Etki Analizinin Önemli Aşamaları [6]:

Aşağıda yaşam döngüsü etki analizini oluşturan aşamalar verilmiştir:

1. Etki kategorilerinin seçilmesi ve tanımlanması – İlgili çevresel etki kategorilerinin tanımlanması (örneğin, küresel ısınma, asidifikasyon, karasal zehirlilik vb.)
2. Sınıflandırma –YDE sonuçlarının etki kategorileri ile ilintilendirilmesi (örneğin, tüm karbondioksit emisyonlarını, küresel ısınmaya katkılarını gösterecek şekilde sınıflandırma)

3. Karakterizasyon – Bilimsel karakterizasyon faktörleri kullanarak her bir etki kategorisinin modellenmesi (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya potansiyel etkilerinin modellenmesi)
4. Normalizasyon: Karşılaştırılabilen potansiyel etkileri açıklamak (örneğin, karbondioksitin ve metanın küresel ısınmaya olan etkilerini karşılaştırmak)
5. Gruplandırma – Göstergelerin sınıflandırılması ve sıralanması (örneğin, göstergelerin konuma göre yani yerel, bölgesel ve küresel bazda sınıflandırılması)
6. Ağırlıklandırma – En önemli potansiyel etkileri vurgulama
7. YDEA sonuçlarını değerlendirme ve raporlandırma

Etki göstergeleri genellikle:

$$\text{Envanter verisi} \times \text{karakterizasyon faktörü} = \text{etki göstergeleri}, \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. Karakterizasyon etki miktarını belirlemek için eşit bir skalada farklı kimyasal kaliteleri yerleştirmekte: bazı kategoriler (Küresel ısınma, ozon azaltması) üzerinde ortak bir görüş mevcut, ancak, birkaç kategoride ortak görüş hala aranmaktadır.

Normalleştirme için aşağıdaki örnek gösterilebilir:

$$\text{Kişi başına düşen avrupalı emisyonu} = \frac{\text{Her emisyon kategorisinde toplam avrupalı çıktı}}{\text{Avrupanın nüfüsü}} \quad (2.2)$$

$$\text{İnsan emisyonları eşdeğerleri} = \frac{\text{Çalışma sürecinden emisyonlar}}{\text{Kişi başına düşen avrupalı emisyonlar}} \quad (2.3)$$

Ağırlıklandırma aşamasında temelde farklı etki kategorileri ile ilgili değerler ve ağırlıkları atanmaktadır. Örneğin, hava emisyonları şehir merkezinde daha zararlı olabilirken aynı seviyedeki emisyonlar başka bir alanda daha iyi hava kalitesi oluşturabilirler. Net olarak, ağırlıklandırma bilimsel bir işlem olmakla beraber ağırlıklandırma yönteminin detaylı olarak açıklanması ve belgelenmesi gerekmektedir [5].

2.2. Ürün ve Kurumsal Çevre Ayak İzi

2.2.1. Ürün çevre ayak izine genel bakış

2.2.1.1. ISO 14044: Çevresel yönetim, yaşam döngüsü değerlendirmesi

Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) dünya çapında ulusal standartlar hazırlayan bir federasyondur. ISO 14044, ISO/TC 207 teknik komitesi, çevresel yönetim alt komitesi SC 5 ve yaşam döngüsü değerlendirme tarafından hazırlanmıştır. ISO 14044'ün bu ilk versiyonu, ISO 14040: 2006, teknik olarak gözden geçirilerek iptal edilmiş ve ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 ve ISO 14043:2000 şeklinde değiştirilmiştir. ISO 14044:2006 Yaşam Döngüsü Değerlendirme (LCA) çalışmaları ve Yaşam Döngüsü Envanter (LCI) çalışmalarını dahil etmektedir [7].

2.2.1.2. Umuma açık mevcut şartname 2050

Mevcut Şartname (PAS) 2050 “mallar ve hizmetlerin yaşam döngüsü sera gaz emisyonlarının değerlendirmesi için şartname” karbon ayak izi hesaplaması için ilk geniş ölçüde tanınmış rehberliktir. PAS, Ekim 2008 yılında BSI (British Standards Institution) tarafından yayınlanmıştır. PAS 2050 geliştirilmesi Karbon Güveni ve Çevre, Gıda ve Köyleri UK Bakanlığı (DEFRA) tarafından desteklenmektedir. Taslak versiyonuna yorum yapmak için birkaç paydaş gruba fırsat verilmiştir. PAS 2050 ISO 14040 serisinde (LCA standartları) yaşam döngüsüne odaklanmaktadır. PAS 2050'ye göre, fosil kaynaklardan yayılan bütün sera gaz emisyonları karbon ayak izi hesaplamalarına dahil edilir. Arazi kullanım değişikliğinden yayılan biyogenik karbon hariç tutulur ki bu CO₂ olmayan gaz (metan) veya bir üründe depolanmaktadır. Emisyonlar CO₂ eşdeğerine dönüştürülür [8].

PAS 2050 Standardı yaşam döngüsü değerlendirmesi süreci temel alınarak oluşturulmuş olup Şekil 2.4.'ten de görüleceği üzere beş adımdan oluşmaktadır. Bu adımları dikkate alarak ürün bazlı karbon yaklaşımını oluşturan bir şirket karbon ayakizi çalışmalarında en yüksek uygulama düzeyine erişebilmektedir [9].



Şekil 2.4. Ürün bazlı karbon ayakizi adımları/PAS 2050

2.2.1.3. ISO 14025

ISO 14025, ISO 14040/44 ü temel alır ve iki kavram olarak sunulur: Ürün Kategori Kuralı ve Çevresel Ürün Beyanları. Ürün Kategori Kuralı, benzer tanımlamalar ile ürünlerin çevresel etkisinin hesaplaması için spesifik kılavuzlardır. Ürün Kategori Kuralı gerekliliklerini takip eden bir şirket, bir ürün hakkında ilgili çevresel bilgiyi içeren çevresel ürün beyanlarını geliştirebilir [10].

2.2.1.4. Ürünlerin karbon ayak izi (ISO 14067)

Bu standart, sadece iklim değişimi ile ISO 14040/44 ve ISO 14025e dayanmaktadır. Bir ürünün karbon ayak izinin miktarının belirtilmesi genelde ISO 14040/44e dayanmakla birlikte arazi kullanım değişikliği, karbon alımı, biyogenik karbon emisyonları ve toprak karbon değişikliğini dahil eden karbon ayak izi için ilgili spesifik sorunların gerekliliklerini kapsamaktadır [10].

2.2.1.5. Ürün standardının sera gaz protokolü: ürün yaşam döngüsü muhasebesi ve raporlama standardı

Sera gazı protokolü standardı Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi tarafından geliştirilip 2010 yılında 60 şirket tarafından sınanmıştır. ISO 14067 gibidir, bu standart ISO 14040/44 ile tamamlamakta, ama, özellikle sera gaz muhasebesine odaklanmaktadır. Standart birçok pratik örnekleri içerir. Sera gazı protokolü ürün standardı Ekim 2011 yılında başlatılmış ve sürdürülebilirlik Konsorsiyumu 1 içeren çeşitli endüstriyel odaklı girişimler için bir temel olarak tamamlanır [10].

2.2.2. Kurumsal çevresel ayak izi: ISO 14064

ISO 14064, 2006 yılında, Uluslararası Standartlar Teşkilâtı (ISO) tarafından dört yıllık çalışma ile oluşturulmuş, emisyon envanterlerinin geliştirilmesini içeren sera gazı yönetimi için üç-kısımdan oluşan uluslararası standarttır. ISO 14064 standardı politikacılara sera gazı azaltma programını kurmak için muhtemel uygulamaları vermektedir. ISO 14064, gönüllü sera gazı envanterleri ile geliştirdiği tutarlılık, yükselttiği esneklik ve azalttığı çaba için organizasyonel kullanıcılarına fırsatlar vermektedir [11].

2.2.2.1. ISO 14064 Arkaplanı

ISO 14064 Uluslararası Standartlar Teşkilâtının süreçleri altında geliştirilmiş bir standarttır. Cenevre, İsviçre’de bulunan bir sivil toplum organizasyonu, çeşitli sorunlar üzerine ortak görüşe dayalı gönüllü teknik standartları geliştiren bireysel-ulusal standart enstitülerini temsil eden teknik uzmanlar grubu tarafından düzenlenmektedir. ISO kalite ve çevresel yönetim üzerinde ünlü ISO 9000 ve ISO 14000 standardını içeren 16.000 civarında standart yayınlamaktadır. ISO 14000 çevresel yönetim standart türüne ilave edilen ISO 14064 gelişmesi 2002 yılında başlamıştır. İklim değişikliğinin oluşturduğu çevresel sorunu çözmek için hızlıca tanımlayan gelişmiş bir faizdir. Bir çalışma grubu organizasyonunda sera gazı

emisyollarını bildirme ve miktar belirlemeyi tanımlamak ve sera gazı raporu hazırlamak için oluşturulmuştur [11].

2.2.2.2. ISO 14064 Yapısı

Öncelikle ISO 14064 Standart ailesini tanıtmakla başlamak gerekir. ISO 14064 Standart ailesinde 3 adet standart yer almaktadır. Bu standartlar aşağıdaki gibidir [12].

- a. TS ISO 14064-1 Sera Gazları – Bölüm 1: Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler
- b. TS ISO 14064-2 Sera Gazları - Bölüm 2: Sera Gazı Emisyon Azaltmalarının Veya Uzaklaştırma İyileştirmelerinin Proje Seviyesinde Hesaplanmasına, İzlenmesine Ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler
- c. TS ISO 14064-3 Sera Gazları – Bölüm 3: Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanmasına ve Onaylanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler

- ISO 14064-1 Standardı, sera gazı envanterlerinin kuruluş veya şirket seviyesinde tasarımlanması, geliştirilmesi, yönetilmesi ve raporlanması için ilkeler ve şartlar hakkında ayrıntılı bilgi verir. Bu standart, sera gazı yönetimini iyileştirmek amacıyla sera gazı emisyon sınırlarının belirlenmesi, bir kuruluşun sera gazı emisyonlarının ve uzaklaştırılmalarının hesaplanması ve şirketin özel tedbirlerinin veya faaliyetlerinin tanımlanması için gerekleri içerir. Bu standart ayrıca, doğrulama faaliyetleri için envanter kalite yönetimi, rapor etme, iç tetkik ve kuruluşun sorumluluklarına ilişkin şartları ve kılavuzu içerir [12].
- ISO 14064-2 Standardı, sera gazı emisyonlarını azaltmak veya sera gazı uzaklaştırılmalarını artırmak için özel olarak tasarımlanmış sera gazı projelerine veya projeye dayalı faaliyetlere odaklanmaktadır. ISO 14064-2, projenin temel senaryolarını belirlemek ve bu temel senaryolara göre projenin performansını izlemek, değerlendirmek ve rapor etmek için ilkeleri ve şartları

içermekte ve geçerli kılınacak ve doğrulanacak sera gazı projeleri için bir temel oluşturmaktadır [12].

- ISO 14064-3 Standardı, sera gazı envanterlerini doğrulama ve sera gazı projelerini geçerli kılma veya doğrulama için ilkelere ve gereklere dair ayrıntılı bilgi verir. Bu standart, sera gazına ilişkin geçerli kılma veya doğrulama sürecini tarif eder, geçerli kılma veya doğrulama planlaması, değerlendirme işlemleri ve kuruluşun veya projenin sera gazı beyanlarının değerlendirmesi gibi bileşenleri belirtir. ISO 14064-3, sera gazı beyanlarını geçerli kılmak veya doğrulamak için kuruluşlar veya bağımsız kullanıcılar tarafından kullanılabilir [12].

2.2.2.3. ISO 14064 Sera gazı envanterleri

ISO 14064, kısım 1 organizasyonlar için sera gazı envanterli sorunlarını gösteren 21 altbölüm ile 8 ana bölümü içerir. Başlangıçta, standart ilgi, tamlık, tutarlılık, doğruluk, ve şeffaflıkla genel sera gazı envanter ilkelerini oluşturur. ISO 14064 altında sera gazı envanterinin gerçekleştirilmesi için temel görünüm, Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi tarafından geliştirilen Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardının geniş olarak tanınan Sera Gazı Protokolü tarafından belirlenerek türetilmesi ile tutarlı olmaktadır. Bu iki döküman arasında bulunan fark; sera gazı protokolünün sera gazı envanterinin iyi uygulaması için seçenekleri sağlaması, açıklaması ve belirlemesidir. ISO 14064 en iyi uygulamalar ile uyumlu olmak için minimum standartları oluşturur. Protokol ve ISO standart tamamlayıcı dökümanlardır. ISO yapılanları belirler ve Sera Gazı Protokolü nasıl yapıldığını açıklar. Sera gazı envanterini geliştiren organizasyonlar, standart ve protokolden özellikle bağımsız doğrulama için fayda sağlayabilirler [11].

2.2.2.4. ISO 14064 Doğrulaması

ISO 14064ün 3. kısmı organizasyonun sera gazı envanter raporu gibi, sera gazının doğrulaması için ilk defa olarak oluşturulmuştur. ISO 14064 doğrulama süreci; Kyoto Protokolünün Temiz Kalkınma Mekanizması ve İngiltere'nin Emisyon Ticaret

Planı ve gelişmekte olan sera gazı planı doğrulama da içeren çevresel denetim ve mali muhasebe tekniklerinden en iyi uygulamayı kullanarak geliştirilmiştir. ISO 14064 altında bulunan sera gazı iddiasının doğrulaması 3 alanda değerlendirme performansını içerir: sera gazı bilgi sisteminin yeniden incelemesi, sera gazı verinin değerlendirmesi, ve doğrulama kriteri ile iddianın karşılaştırılmasıdır. Sera gazı bilgi sistemi, potansiyel bir yanlış ifade ile sonuçlanabilen sistemdeki alanları belirlemeye amaçlamaktadır. Sonunda, eğer iddia takip etmeyi ifade eden standartlar veya program gereklilikleri ile tutarlı olarak geliştirildiyse iddia doğrulama kriteri ile karşılaştırılır [11].

2.2.2.5. ISO 14064 Uygulaması

ISO 14064ün özel ve kamu sektörü için uygulamaları vardır. İş için, standart kolayca doğrulanamıyorsa, ama aynı zamanda diğer organizasyonların envanterleri ile karşılaştırılabilir olduğunda envanterin geliştirilmek için aşamaları sağlamaktadır. Bir rehber olarak kullanılan standart, bir envanterin gerçekleştirmesi ve doğrulamasının fiyatını azaltabilir. Çünkü standart teknik sera gazı envanterinin en iyi uygulamasında ortak görüşü temsil eder. Üretilen envanterlerde daha güvene sahip olabilirler ve bu envanterler paydaşlar ile daha güvenli de bulunur. ISO 14064, devlet kurumları için, envanterleri ve doğrulamasını gerçekleştirmek konusunda teknik yapıyı sağlamaktadır. Ayrıca, bu yapı gönüllü veya düzenleyici programları oluşturabilir. Bu yaklaşım, politika amaçlarına ulaşmak için programın ek gerekliliklerinin belirlenmesi için ajansların çabasına izin vermektedir [11].

2.2.2.6. ISO 14064 Faydaları

ISO 14064’n, sera gazı envanterlerinin veya projelerinin değerlendirilmesi, izlenmesi, raporlanması ve geçerli kılınması veya doğrulanması için açıklık ve tutarlılık sağlayarak, kuruluşların, ülkelerin, proje sahiplerinin ve paydaşların dünya çapında fayda sağlaması beklenir. Özellikle, ISO 14064 serisinin kullanımı aşağıdaki hususlar bakımından önemlidir [12]:

- Sera gazı hesaplamasında evre boyutunun artırılması,

- Emisyon azaltmaları ve uzaklaştırma iyileştirmeleri de dâhil sera gazı projesine dair, sera gazının hesaplanması, izlenmesi, raporlanması, güvenilirliği, tutarlılığı ve şeffaflığın artırılması,
- Kuruluşun sera gazı yönetim stratejilerinin ve planlarının geliştirilmesini ve uygulanmasının kolaylaştırılması,
- Sera gazı projelerinin geliştirilmesinin ve uygulanmasının kolaylaştırılması,
- Sera gazı emisyonlarındaki azaltmayı ve/veya sera gazı uzaklaştırılmalarındaki artış performansını ve ilerlemesini izleme becerisinin kolaylaştırılması,
- Sera gazı emisyon azaltmaları veya uzaklaştırma iyileştirmelerinin kredilendirilmesinin ve ticaretinin kolaylaştırılması.

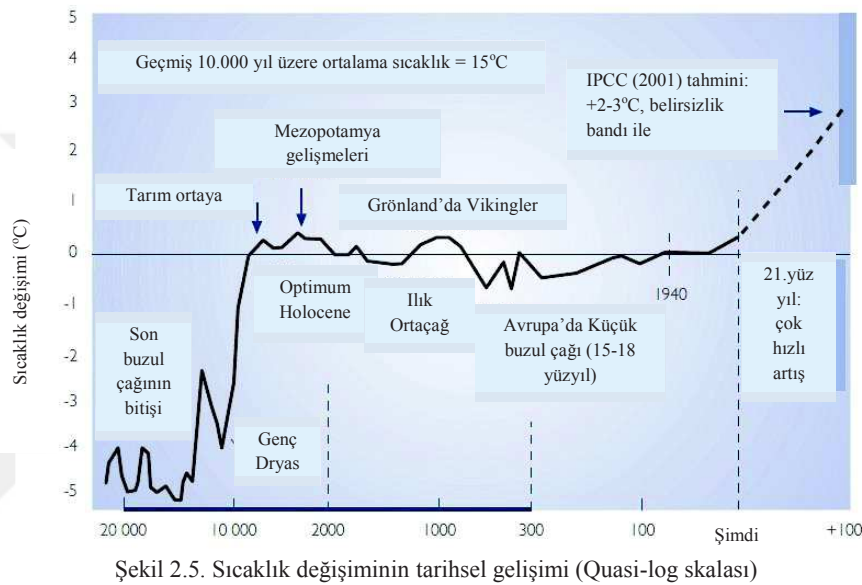
ISO 14064 serisinin kullanıcıları için, aşağıdaki uygulamalar açısından faydaları ve yararları vardır [12]:

- Ortak risk yönetimi: Örneğin, risklerin ve fırsatların belirlenmesi ve yönetimi,
- Gönüllü girişimler: Örneğin gönüllü sera gazı kayıt veya rapor etme girişimlerine katılım,
- Sera gazı piyasaları: Örneğin, sera gazı tahsislerinin ve kredilerinin alınması ve satılması,
- Mevzuatta istenen rapor etme: Örneğin, erken tedbir için kredi, müzakere edilmiş uzlaşmalar veya ulusal rapor etme programları.

2.3. Karbon Ayak İzinin Çevreye Etkileri

Karbon ayak izi insan aktivitelerinin ürettiği CO₂ emisyonlarının ton birimindeki ağırlığı olarak ifade edilir. CO₂, iklim değişikliğinin nedeni olan en önemli sera gazıdır. Üstelik, IPCCnin en son raporu birkaç zorlayıcı net nokta oluşturur. Birincisi, insan aktivitesinden dolayı indüklenen ısınma görüşüne göre: geçmiş çeyrek yüzyılda yükselen sıcaklığın, sera gazları artışından kaynaklandığını gösteren parmak izleri mevcuttur. İkincisi, bağlantılı bir modelde, örneğin, buzulların geri çekilmesi, deniz buz eritmesi, permafrost çözülme, kuşlar tarafından daha erken yumurta bırakılması gibi fiziksel ve biyolojik sistemler içinde değişiklikler bütün kıtalar için bariz

olmaktadır. Üçüncüsü, beklenen ortalama yüzey sıcaklığının bu yüzyılda 1,4 ile 5,8 °C aralığında artması tahmin edilmektedir. Bu artış IPCC'nin önceki 1996 raporunda tahmin edildiğinden daha hızlı olabilir. Sıcaklıkta bu değişiklik oranı birçok ekosistemler ve türler üzerinde belli bir stres oluşturur. Aynı şekilde, IPCC raporuna göre: insanlar sonraki yarı-yüzyıl içinde sera gazı emisyonlarını durdurabilse bile, dünya okyanuslarında sıcaklık 1000 yıl kadar artmaya devam edecektir. Bu durumda, deniz seviyesinin artışı yaklaşık 1-2 metreye ulaşabilecektir [13].



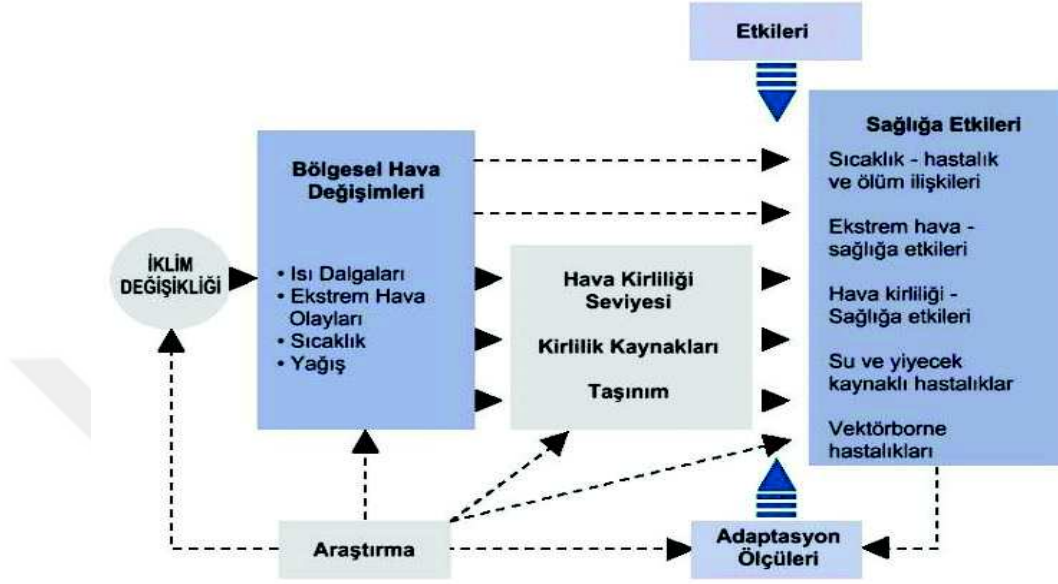
Şekil 2.5. Sıcaklık değişiminin tarihsel gelişimi (Quasi-log skalası)

Şekil 2.5.'te geçmiş 20.000 yıl içindeki dünyanın ortalama yüzey sıcaklığında değişimi göstermektedir. 1860 yılından önce, sıcaklık ölçümü için ağaç halkaları, buz çekirdeklerinde oksijen izotop oranları ve göl çökelleri vb kullanılmaktadır. Periyot boyunca önemli ölçüde doğal dalgalanmalar görülür. Bu yüzyıldaki dünya sıcaklığı artışının 15.000 yıl önceki son buzullaşmadan sonra meydana gelenden 20-30 kere daha hızlı olması önemlidir.

2.4. Karbon Ayak İzinin İnsan Sağlığına Etkileri

Küresel iklim değişiklikleri farklı zaman ile skalada, değişimler üzerinden insan sağlığını etkileyebilir. Benzer bir şekilde, etkiler yerel nüfus etkinlikleri, topografya ve çevreye bağlı olarak değişebilir ve bu etkiler pozitif veya negatif olabilir. İnsanlar

dünya üzerinde hayat şartlarına göre iklim değişikliğine katkıda bulunurlar. İklim değişikliğinin insan sağlığı üzerindeki önemli etkileri ve kategorileri Şekil 2.6.'da gösterilmektedir [13].



Şekil 2.6. İklim değişikliğinin insan sağlığına etkileri

Isı dalgası, soğuk kış gibi aşırı hava olaylarına maruz kalmak sağlık üzerine daha direkt bir etki olmaktadır. Seller, siklonlar, fırtınalar, kuraklıklar gibi diğer aşırı hava olaylarında ve aeroallerjenler ve hava kirleticileri ile sağlık etkisi artar. Daha az soğuk olan kışlardan dolayı, kış ölüm oranının azalması yanında, ısı dalgaları yaz ölüm oranının artırmasına sebep olabilir., iklim değişikliğinin nedeniyle aşırı hava olaylarının yeri ve yoğunluğunun belirsizliği değişikliğin frakans kapsamı ile alakalıdır. Vektör kaynaklı enfeksiyonlar için, vektör organizmalar ve konakların dağılımı; sıcaklık, yağış, nem, yüzey su ve rüzgar gibi fiziksel ve bitki, konaklı türler, yırtıcı hayvan, rakipler, parazitler ve insan müdahalesi gibi biyotik faktörlerden etkilenebilir. Bazı yerel azaltmalara rağmen, dünya çapında ortam sıcaklığındaki artış, sıtma sivrisinekleri gibi özel vektör organizmalarının coğrafi dağılımında artışı getirebilir. Ayrıca, vektör türleri ve karaciğer kelekleri, tek hücreliler, bakteri ve virüsler gibi patojen organizmaların yaşam-döngüsü

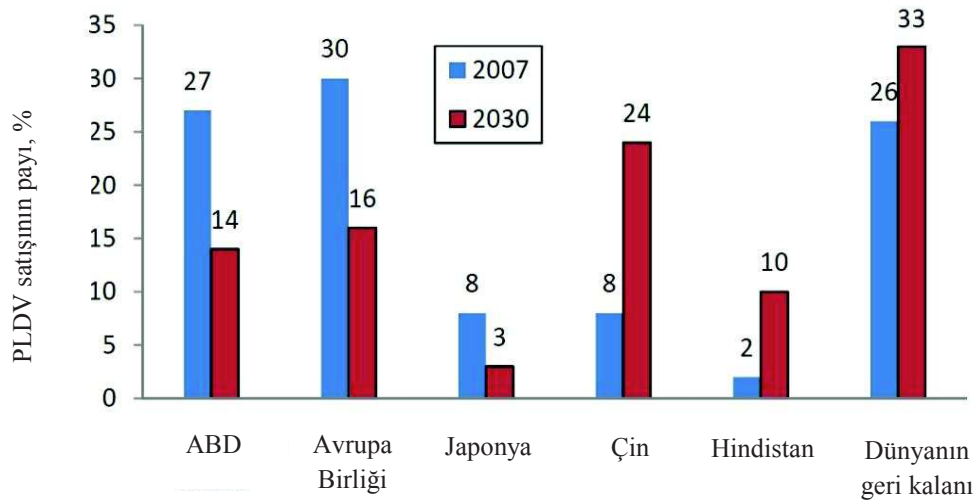
dinamiklerinde sıcaklık ilgili değişiklikler olabileceği gibi, sıtma, dang humması ve leishmaniasis gibi birçok vektör kaynaklı hastalıkların potansiyel transmisyonunu.



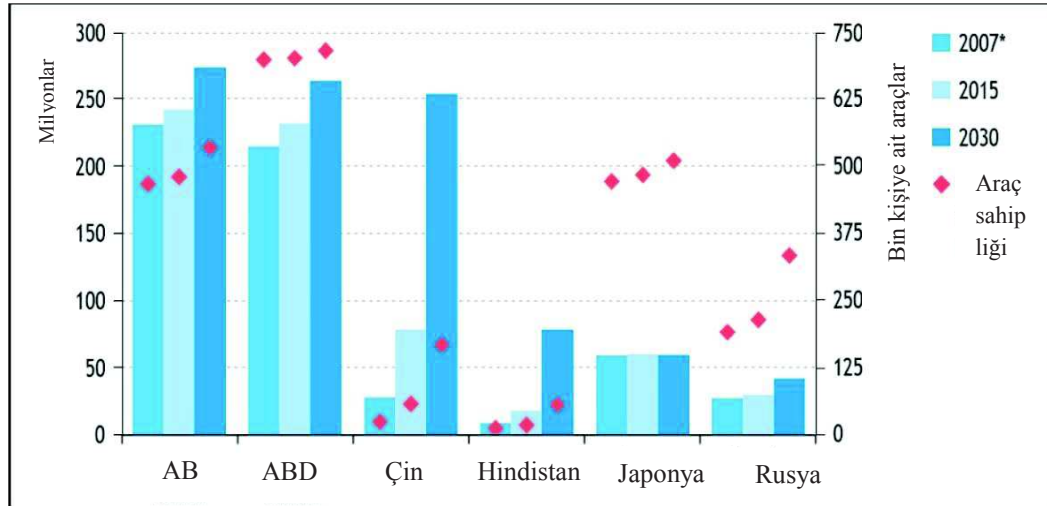
BÖLÜM 3. GLOBAL OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE SERA GAZI PROTOKOLÜ STANDARDI

3.1. Global Otomotiv Endüstrisi

İklim değişikliği, uluslararası işbirliği ve toplu faaliyeti talep eden global bir alandır. Otomotiv sektörü üretim ve araçlardan CO₂ emisyonlarını azaltmak konusunda sorumluluğu ile önemli bir rol oynar [14]. OECD bölgesi olmayan yolcu ve hafif yük araçları (PLDV) üretiminde devam eden artış, tahminen 2007 yılında 770 milyondan, 2030 yılında 1,4 milyara kadar yükselecektir. Bu büyümenin önemli kısmı gelişmiş ekonomiler ve ülkelerde meydana gelir. Çin filosunun 2030 yılı civarında Amerika Birleşik Devletlerinin (ABD) filosuna yaklaşması tahmin edilmektedir ve bu durumda Çin global satışların %24 ünü temsil etmeyi tahmin etmektedir (Şekil 3.1.) [15].

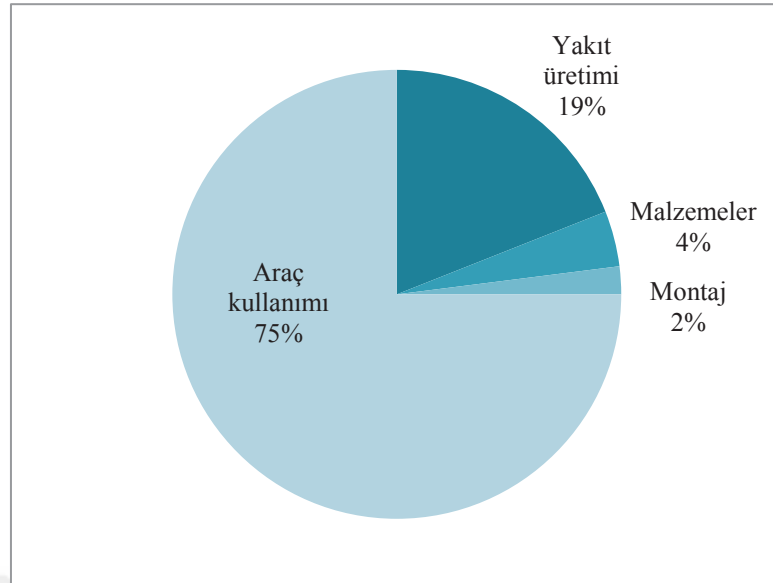


Şekil 3.1. 2007 ve 2030 yılında PLDV satışlarının yüzde payı



Şekil 3.2. Aracın toplam sayısının şimdiki durumu ve bin insan başına araç sayısı

2030 yılına kadar, ABD ve Çinli PLDV filoları birleşince global toplamda %37'yi oluşturur: 2030 yılındaki referans senaryosunda, yakıt-tasarruflu araçlarının alımını teşvik etmek için her iki ülke de yeni politika oluşturmalarına rağmen bu filolar global araç CO₂ emisyonlarının %36'sından sorumlu olacaktır. Şekil 3.2.'de farklı ülkeler/bölgelerde bin insan başına araçları ve aracın toplam sayısının şimdiki durumunu gösterir [15]. CO₂ emisyonları bir aracın yaşamının, parçaların imal edilmesi ve hammadde çıkarılması gibi her aşamasında mevcuttur. CO₂ emisyonu (Şekil 3.3.) ile ilgili araçta en büyük payı (yaklaşık %75) dizel yakıtları ve benzinin yanmasına ait olmaktadır. CO₂ yayan bütün sektörlerin arasında, taşıma sektörü endüstriyel sektörden sonra fosil yakıt kaynaklı global sera gazı emisyonlarını %22'den %24'e kadar temsil ederek ikinci en hızlı büyüme grubunda yer almaktadır. Yol taşıması (karbon dioksit ve azot oksit) sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağıdır. Yakıt yanmasından farklı CO₂ emisyonları, yol taşımasından da CH₄ ve N₂O emisyonları daha zor hesaplanır. Faaliyet verisi, CH₄ emisyonları kullanma uygulaması, yakıt bileşimi, sonrası-yanma emisyonu kontrolü ve yanma durumları gibi faktörlerin sayısına bağlı olmaktadır. Benzer şekilde, N₂O emisyonu oranları son derece değişebilir ve bu N₂O emisyonu (UNFCCC, 2004) birkaç değişken tarafından etki edilebilen katalitik emisyon kontrolü ekipmanı ve başlıca fonksiyonu olarak bulunur [16].

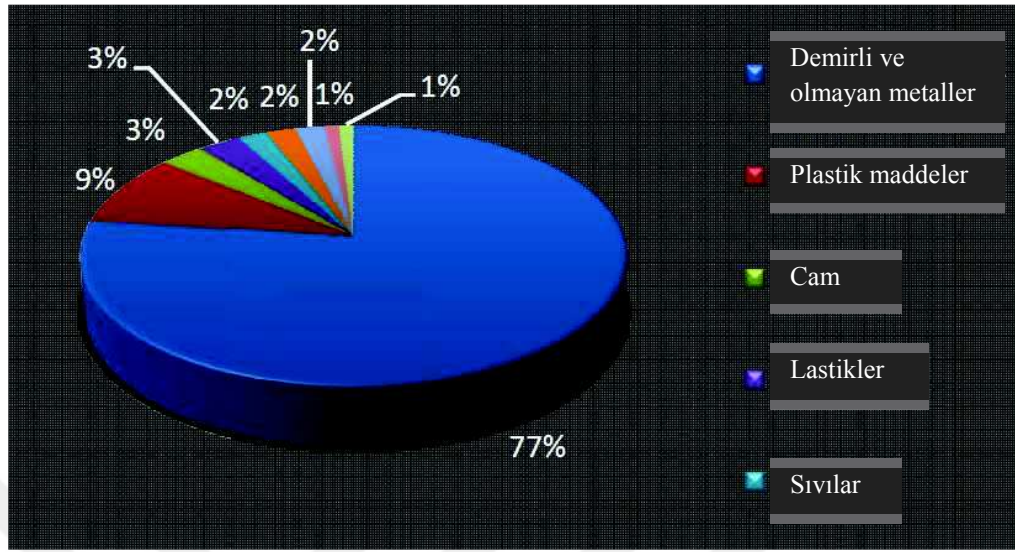


Şekil 3.3. Tipik bir aracın yaşam döngüsünde emisyon payı

3.1.1. Araç bileşimi

Bir aracın bileşimi, çelik gövde, cam pencereleri, lastikler, kurşun, bakır teller, çinko, magnezyum, teneke, platin ve kobalt gibi malzemelerin ortalama bir karışımıdır (Şekil 3.4.). Son yıllarda ise araçların bileşimi oldukça değişmiştir. Demirli metallerin konsantrasyonu oldukça azalmış, çünkü araç üreticileri yeni araç tasarımında plastik ve alüminyum gibi yakıt tasarruflu ve daha hafif malzemeleri seçmektedir. Metal üretimde kullanılan enerji, plastik üretiminde kullanılan enerjiden daha çok yüksektir. Araç üretiminde plastiğin kullanımı, hem düşük ağırlıkta ve ucuz olmakta hem de korozyon direncinden dolayı son yıllarda oldukça yüksektir. Plastik kullanılmasının araç üretiminde en önemli özelliği yakıttaki uygun fiyat ve enerji kaynaklarıdır. Plastik maddeler bir arabanın toplam ağırlığının %60 civarında oluşturan gövde paneli ile ağırlık azaltılmasını son derece yardım eder. Yerli araçlar için de, çelik ve demirin ağırlık yüzdesi son yıllarda azalmaktadır. Çelik, alüminyum, ve metal alaşımları gibi metaller, önceki yıllarda araç üretimi için hammadde olarak kullanılmıştır. Fakat, CO₂ emisyonlarını halletmek için, yakıt tüketiminin azaltması amacıyla araç ağırlığı azaltılır ve hafif olan alüminyum, bazı ağır çeliklerin yerini alır. Eski araçların ağırlığı diğer karma malzemeler veya plastik veya daha hafif yoğunluklu metaller ile geleneksel metaller arasında değişim yapılarak azaltılır.

Örneğin, alüminyum veya magnezyum ile döküm-demir-motor-blokun değiştirilmesi gibidir [17].



Şekil 3.4. Araç üretiminde kullanılan malzemeler

3.1.2. Otomotiv endüstrisinde atıklar

Üretim sürecinin her aşaması spesifik bir atık tipini oluşturur. Her atık türü spesifik bir yönetim çözümü gerektirir. Ancak, son onyılda araç sayısının büyük artışına rağmen otomobil tarafından oluşturulan atık problemine hala dikkat edilmemektedir. Üretim süreci boyunca, özellikle, otomotiv tesislerinde boya bölümü içinde temizleme işlemlerinden olan boyama aktivitesinde önemli tehlikeli atık kaynakları bulunur. Atık kalıntıda bulunan çözücüler ve ağır metaller nedeniyle tehlikeli olarak sınıflanır. O kadar malzeme geri kazanılmasına rağmen bu atık genellikle ağırlık ile bir tesisin toplam tehlikeli atığının %25 civarında olmaktadır. Üstelikle, atıkların diğer türleri otomotiv üretim süreçleri tarafından oluşturulur, örneğin, kaplamalardan, yağlayıcı ve akıcı maddeler [18]. Kullanılmış arabaların yaşam süresi bitiminden sonra, atıkların yönetimi amacıyla 4 farklı atık hesaba katılabilir: plastik atıkları, cam atıkları, lastik atıkları ve metal atıkları yönetimi [17].

3.1.3. Otomotiv sanayisinde atık yönetimi

Her bir üretim aşaması spesifik atık türleri üretir. Her bir atık ürün özel çözüm yönetimini gerektirir. Ancak arabalar tarafından üretilen atığın problemi, taşıt sayısındaki muazzam artışa rağmen gerekli dikkati çekememiştir. Üretim süreçleri boyunca, temel olarak son montaj safhasında, otomobil tesislerinden kaynaklı tehlikeli atıkların birincil kaynağı ekseriyetle boyahanelerdeki temizlik sürecidir. İçerdiği solvent ve ağır metal kalıntıları atığı tehlikeli olarak sınıflandırılmasını mecbur kılıyor. Çogu malzeme geri kazanılmasına rağmen bu atık, tesisin tehlikeli atığının ağırlıkça %25'ini oluşturur [18].

3.1.4. Otomotiv sanayisinde karbon ayak izi ile ilgili literatür

“Çinli Jiangling Motor Co., Ltd”, çevre araştırma ekibine göre JMC sınıfında en iyi enerji izleme sistemi ve bir sanayi lideri olan Küresel Emisyon Yöneticisi (GEM) veritabanını kullanmaktadır ve rapor edilen emisyon verileri Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI) tarafından geliştirilen GHG Hesaplama Araçları kullanılarak oluşturulmaktadır. WRI tarafından sağlanan emisyon protokolleri konsolide 2008 WRI emisyon faktörleri, sera gazı emisyonlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. WRI/WBCSD Protokolünde Direkt emisyon Kapsam1 olarak tanımlanmıştır ve yine indirek emisyon Kapsam 2 olarak tanımlanmıştır. CO₂ emisyonlarının tümü ton karbondioksit birimi ile raporlanmıştır. 2014'te CO₂'in toplam miktarı 60.307 ton bulunmuştur [19].

“TOYOTA Yeni Zellanda Ltd. Şirketi”, sera gazı emisyonlarının envanteri şirketin çevre araştırma grubu tarafından oluşturulmaktadır. Operasyon kontrolünün konsolide edilmesi yaklaşımı ISO 14064-1:2006 standardı ve GHG Protokolünde tarif edilen yönteme referans verilerek operasyonel emisyonlar için kullanılmaktadır. 01.04.2012 ile 31.03.2013 tarihleri arasındaki sera gazı emisyonları ölçülmüş olup sera gazı hesaplanmasında operasyonel sınırların 3 kapsamı da uygulanmıştır. 3 kapsamdan kaynaklanan sera gazı emisyonlarının toplamı 19.803,79 tonCO₂ olmuştur [20].

“BMW Yeni Zellanda Ltd. Şirketi”, Operasyonel kontrol konsolidasyonu yaklaşımı operasyonel emisyonları GHG Protokolü ve ISO 14064-1: 2006 standardında tarif edilen yönteme referans verilerek hesaplanmaktadır. 01.01.2014-31.12.2014 tarihleri arasındaki sera gazı emisyonları: 10.431,32 tonCO₂ olmuştur [21].

“TOYOTA Kuzey Amerika Çevre Raporu”, emisyon hesaplanmasında kullanılan yöntem WRI tarafından ve Sürdürülebilir Kalkına Dünya İş Konseyi tarafından geliştirilen GHG Protokolünü esas alır. Bu konsolide envanterin hazırlık süreci GHG emisyonlarının nerede meydana geldiğini daha iyi anlaşılmasını sağlamış aynı zamanda Toyota’nın Kuzey Amerikan şirketi boyunca bilgi paylaşımını kolaylaştırmıştır. GHG nin her üç kapsamı da 2014 yılında yapılmış ama kapsam 3 emisyonları satışı yapılan araçların kullanımından kaynaklı emisyonları içermemektedir. Toplam ton karbondioksit eşdeğeri 2.217.000 ton CO₂ bulunmuştur [22].

“Çinli Changan FORD Mazda Motor Co., Ltd”, emisyon verisi WRI tarafından geliştirilen sera gazı hesaplama araçlarına göre oluşturulmuştur. Güncelleştirilmiş 2008 WRI elektrik emisyon faktörleri, 2008-2012 CO₂ emisyon hesaplamaları için kullanılır. Sera gazı emisyonlarının envanteri WRI/WBCSD protokolünde kapsam 1 olarak tanımlanan “direkt” emisyonları ve kapsam 2 olarak tanımlanan “indirekt” emisyonları içerir. Bütün CO₂ emisyonları karbon dioksit metrik ton birimi ile bildirilir ve dahil edilir. Yanma süreçlerine uygulanan diğer sera gazları, CH₄ ve N₂O, toplam emisyonların %1 olduğundan daha düşük olarak tahmin edildiğinden, bu sera gazları ihmal edilebilir. Diğer emisyon kaynakları, HFCs gibi, toplam emisyonların %1,7 olduğundan daha düşük olup minimal bir miktar düşünülür. PFCs ve SF₆ şirketin üretim tesislerine uygulanmaz. Karbon dioksit toplam miktarı 2012 yılında 51.834 mtCO₂ olmuştur [23].

“FORD Lio Ho Motor Co., Ltd-Tayvan”, Ford Lio Ho; öncü bir Global Emisyonlar Yöneticisi (Global Emissions Manager, GEM) ve yüksek entegreli bir enerji-izleme-sistemi kullanır, örneğin, CO₂ emisyonları sürekli izlenir. Hesaplanan bütün enerji verisi GEM içerisinde mevcuttur ve tesis tarafından kontrol edilir ve incelenir.

Bildirilen emisyonlar verisi WRI tarafından geliştirilen sera gazı hesaplaması araçlarına göre oluşturulmuştur. Hesaplama her yıl WRI tarafından sağlanan elektrik emisyon faktörlerine göre olur. En son güncelleştirilmiş WRI 2010 emisyon faktörü 2014 emisyon hesaplamaları için kullanılmıştır. Sonuçta, karbon dioksit toplam miktarı 2014 yılında 17.935 mtCO₂ olmuştur [24].

“NISSAN Motor Co., Ltd”, 1 Nisan, 2014’ten 31 Mart, 2015’e kadar olan mali yıl için sera gazı emisyonlarının raporunu gerçekleştirmiştir. Kullandığı kapsam, bütün Nissan üretim tesisleri, yönetim ofisleri ve yan kuruluşlar için bağlı üretim şirketleri ve Nissan Motor Co., Ltd., dünya çapında kapsar. Kapsamın yönettiği şirketleri aşağıdaki bölgelerde sınıflandırılır:

- Japonya: Japonya
- Kuzey Amerika: Amerika Billeşik Devletleri, Meksika, Kanada
- Avrupa: İngiltere, İspanya, Rusya, Almanya, İtalya, Fransa, Hollanda, Belçika, Macaristan, Finlandiya, İsviçre (Rusya verisi çıkarılmış ve Avrupa’ya 2013 yılında dahil edilmiştir)
- Diğerler: Çin, Tayland, Endonezya, Hindistan, Avustralya, Güney Afrika, Brezilya, Mısır, Vietnam, BAE, vb

Enerji girişi ve karbon ayak izi rakamlarının bazı tekrar hesaplamaları her işleme uygulandığı emisyon faktörlerini içeren iç kılavuzların gözden geçirmesinin bir sonuç olarak yapılmıştır. Bu değişim etkisi toplam performans verisinin %3 olmasından daha düşük olarak bulunur. İşlem sınırlarını sınıflandırmak için 4 kapsam vardır: kapsam 1, kapsam 2, kapsam 1+2 ve kapsam 3. Sonuçta, karbon dioksit toplam miktarı 12.166.429 tCO₂ olmuştur [25].

“Kuzey Amerika FORD Motor Şirketi”, ileri Atık Yönetimi Sistemleri, emisyon raporu için Genel Doğrulama Protokolü ve ISO 14064-3 standardı ile uyumlu olan doğrulama aktivitelerini gerçekleştirmiştir. Emisyonların çalışma yılı 1 Ocak, 2013’ten 31 Aralık, 2013’e kadar olmuş, ve raporlama sınırı Kuzey Amerika’da yapılmıştır. İşlem sınırı sağlamlaştırma metodolojisi olmuştur. Sera gazı raporlaması kriteri karşısında gerçekleştirilen doğrulama, Mart 2013 tarihinde kayıt yaptırılan

İklim Genel Raporlama Protokol Versiyon 2,0 ve 30 Haziran 2014 tarihinde kayıt yaptırılan İklim Kaydının Güncelleştirilmiş GRP ve Açıklama Belgesi olmuştur. Kullanılan doğrulamanın gerçekleştirildiği sera gazı doğrulama protokolleri Haziran 2014 tarihinde kayıt yaptırılan İklim Kaydının Genel Doğrulama Protokolü Versiyon 2,1 olmuştur. Sonuç olarak, toplam işletme ile ilgili emisyonlar: toplam kapsam 1 emisyonları için 1.079.121,60768 tonCO₂e ve toplam kapsam 2 emisyonları için 2.578.339,70326 tonsCO₂e bulunmuştur [26].

“FORD Arjantin S.C.A”, sera gazı emisyonlarının envanteri 2013 yılında gerçekleştirilmiştir. Kurumsal Sera Gazı Muhasebesi ve Raporlama Rehberliği, Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI), ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi (WBCSD), sera gazı emisyonlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Bu hesaplamada, 2 kapsam (Kapsam 1 direkt emisyonları ve kapsam 2 indirekt emisyonları) envanter için kullanılmıştır. Ayrıca, doğal gazın dönüşüm faktörleri, PLG, ve elektrik enerjisi ton olarak CO₂ miktarını hesaplamak için kullanılmıştır. Sonuçta, sera gazı emisyonlarının 2013 yılında toplam miktarı 58.676 tCO₂ bulunmuştur [27].

“VOLKSWAGEN, Otomotiv Endüstrisi”, CO₂ emisyonlarının envanteri WRI ve WBCSD standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kapsam 3 indirekt emisyonlar, envanter iş seyahatleri, lojistik süreçleri, araç kullanımı ve bertarafı, ve tedarik zinciri gibi üretim dışı faaliyetler için yapılmıştır. CO₂ eşdeğeri bireysel spesifik küresel ısınma potansiyellerine göre hesaplanır. Sonuçta, CO₂e nin 2014 yılında arabalar ve hafif ticari araçlardan emisyon miktarı 0,048 milyon ton/yıl veya grup üretim yerleri için 4,79 Kg/araç olarak bulunmuştur [28].

“FORD Motor Şirket”, İleri Atık Yönetimi Sistem Grubu (Advanced Waste Management Systems, AWMS) global üretim işlemleri için karbon dioksit emisyonları kaynaklarının doğrulamasını gerçekleştirmiştir. Ofisler/kiralık alan emisyonları bu doğrulama çerçevesinde hesaba katılmamıştır. Kapsam 1 ve 2 emisyonları doğrulamaya dahil edilmiştir. Bu doğrulamada fiziksel altyapı, aktiviteler, organizasyon teknolojileri ve süreçleri; sera gazı kaynakları, rezervuarlar;

sera gazı türleri ve zaman gibi kapsam içerikleri olmamıştır. AWMS Ford Global CO₂ emisyonları envanterini (2013 CO₂ and Energy Sust 013 GV Finalv2.) E-tablo ile bir risk analizi gerçekleştirmiştir. Bu yerler risk analizini kullanan (GEM veritabanı ve bağımsız hesaplamalar ile doğrulama) ayrıntılı bir büro doğrulaması seçilmiştir. Bu aktivitelere bağlı olmayan nitelikli bir doğrulayıcı bağımsız bir akran incelemesini (Bağımsız hesaplamalar) gerçekleştirilmiştir. 2013 yılında, doğrulandığı sera gazı bilgisine göre, karbon dioksit kapsam 1 için 1.482.020,32 ton ve kapsam 2 için 3.440.266,65 ton olmuştur [29].

“JAGUAR LAND ROVER Otomotiv PLC, UK”, karbon emisyonları hesabında, elektrik ve gaz için DEFRA dönüşüm faktörleri ve Jaguar Land Rover Karbon Azaltma Taahhüdü (Carbon Reduction Commitment, CRC) şema verisi kullanılmıştır. Üretim ile ilgili ve üretim dışı aktivitelerden 2014-2015 tarihinde CO₂in miktarı 421.394 ton bulunmuştur [30].

“DAIMLER AG, Mercedes-Benz” kapsam 1, kapsam 2, ve kapsam 3 emisyonlarının işlem sınırını tanımlamak için sera gazı protokolünü kullanan sera gazı emisyonlarının envanterini gerçekleştirmiştir. Üst ve alt akıntı CO₂ emisyonları Mercedes-Benz Cars bölümü (Kapsam 3) için bile bildirilmiştir. CO₂in üst akıntı üretimi fazi için 13,4 milyon ton ve 2015 yılında (Yakıt üretimi de dahil edilmesi) satılmış araçların hizmet yaşam fazi (150.000 Km) olması için 42 milyon ton miktarı bulunmuştur. 2015 yılında, Daimler Grubunun CO₂ kapsam 1 direkt emisyonları ve kapsam 2 indirekt emisyonlarının 3.231.000 ton toplam miktarı olmuştur [31].

“HONDA, Otomotiv Endüstrisi”, sera gazı protokolü emisyonları hesaplamak ve bildirmek için Honda tarafından kullanılmıştır. Sera gazı protokolünün 3 kapsamı araba üretiminin süreçlerinden emisyonları belirleme amacıyla uygulanmıştır. Özellikle, kapsam 3, kategori 11 emisyonu (Satıldığı ürünlerin müşterilere kullanım aktivitesinden emisyonlar), Honda'nın tüm değer zincirinden sera gazı emisyonlarının %80 olmasından daha yüksek bulunmuştur. 2015 mali yılı için hesaplamalar göstermiştir ki sera gazı emisyonlarının Honda iş aktivitelerinden 5,24 milyon t-CO₂e miktarı bulunmuş, ve sera gazı toplam emisyonlarının diğer indirekt

emisyonları içeren değer zincirinden 279,007milyon t-CO₂e miktarı bulunmuştur [32].

3.2. Sera Gazı Protokolü Standardı

Sera gazı protokolü global standart olarak sera gazı emisyonlarını ölçmek, yönetmek, ve bildirmek için Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi tarafından oluşturulmuştur [33].

Sera gazı protokolü girişiminin standartlara bağlı 2 bölümü vardır [33]:

1. Sera Gazı Protokolünün Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı (Sera gazı emisyonlarının miktar belirlenmesi ve raporlamasında kullanmak amacıyla şirketler için aşama aşama rehberlik sağlayan döküman).
2. Sera Gazı Protokolünün Miktar Belirtmesi Standardı (Önümüzdeki; sera gazı azaltılması projelerinde miktar belirtmek için bir rehberdir).

Bu sera gazı protokolünün kurumsal standardı 6 sera gazının muhasebesi ve raporlamasını kapsamaktadır: karbon dioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), hidroflorokarbonlar (HFCs), perflorokarbonlar (PFCs) ve sülfür heksaflorid (SF₆) [33].

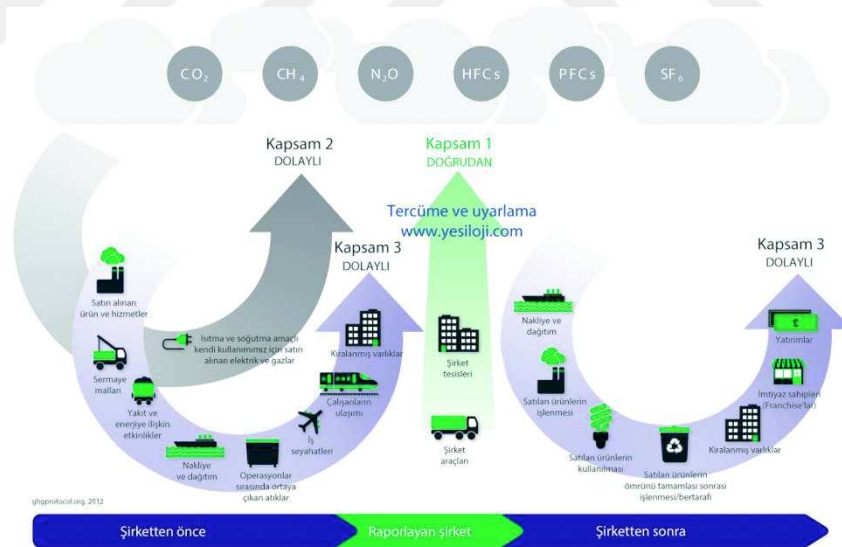
3.2.1. Operasyonel sınırlar

Etkili ve yaratıcı sera gazı yönetimi için, kapsamlı direkt ve indirekt emisyonlara göre ayarlanan operasyonel sınırlar, sera gazı risklerini daha iyi yönetmek için şirkete yardım edecek ve değer zinciri ortaya çıkacaktır [33].

- a. Direkt sera gazı emisyonları şirkete ait veya kontrol ettiği kaynaklardan gelen emisyonlardır.
- b. İndirekt sera gazı emisyonları bir şirketin faaliyetlerinin bir neticesi olan emisyonlardır, fakat diğer şirket tarafından sahip veya kontrol edilen kaynaklarda meydana gelmektedir.

3 “kapsam” (kapsam 1, kapsam 2, ve kapsam 3) sera gazının muhasebe ve raporlama hedefleri için tanımlanır (Şekil 3.5.) [33]:

- Kapsam 1: direkt sera gazı emisyonları şirket ait olan veya kontrol edilen kaynaklardan ortaya çıkar, örnek olarak, emisyonlar veya kontrol edilen kazanlar, fırınlar, araçlar, vb inde yanmadan kaynaklı emisyonlar; kimyasal üretim işleminden kaynaklı emisyonlardır.
- Kapsam 2: indirekt sera gazı emisyonları şirket tarafından tüketilen satın alınan elektrikten meydana gelir. Satın alınan elektrik şirketin organizasyonel sınır içinde getiren ya da satın alınan elektrik olarak tanımlanır. Kapsam 2 emisyonları tesis neredesinde nesil edilen elektrik oluşur.
- Kapsam 3: şirketin faaliyetler neticesi olan indirekt sera gazı emisyonları, şirkete ait olmayan veya kontrol edilmeyen kaynaklardan meydana gelmektedir. Kapsam 3 faaliyetlerinin bazı örnekleri, satın alınan malzemelerin çıkarılması ve üretimi; satın alınan yakıtların taşınması ve satılan ürünler ve hizmetlerin kullanımı olmaktadır.



Şekil 3.5. Değer zincirindeki kapsamlar ve emisyonlara genel bakış

3.2.2. Tahmin metodları

1996 Kılavuzları ve IPCC İyi Uygulama Rehberliği, emisyon faktörleri (EF) olarak adlandırılan aktivite biriminde emisyonlar veya giderme miktarını belirten katsayılar

ile (faaliyet verisi) insan faaliyetiyle bilgiyi birleştirmek için en basit metodolojik yaklaşım olarak kullanılır. Temel bir denklem şudur [34]:

$$\text{Sera Gazı Emisyonu} = \text{Faaliyet Verisi (AD)} \times \text{Emisyon Faktörü (EF)} \quad (3.1)$$

3.2.2.1. IPCC Emisyon faktörü veritabanı

Emisyon Faktörü Veritabanı (The Emission Factor Database, EFDB) ulusal düzeyde sera gazlarının giderilmeleri veya emisyonların tahmini için diğer ilgili parametreler ve emisyon faktörleri için sürekli tekrar düzeltmelerin yapıldığı web-temelli bilgi değişim forumu olmaktadır. Veritabanına <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php> sitesinde direkt olarak veya IPCC, IPCC-NGGIP ana sayfası üzerinden internetten sorgulanarak ulaşılabilir [34].

3.2.2.2. Faaliyet verisi

Faaliyet verisi yeniden inceleme veya üretim için genel tavsiyeyi oluşturur:

- Özel veri kaynaklarının bilgisi
- Anketler ve nüfus sayımının gerçekleştirilmesi
- Uygun yerde veri ile ilgili ölçümün kullanımı

Envanter için ihtiyaç duyulan veri yaratmak için bir strateji uygulayan sektör, önemine göre öncelikleri ayarlamaya adım adım yaklaşımı takip etmek için uygun faaliyet verisi yarattığında iyi uygulama ortaya çıkmaktadır. Faaliyet verisini toplamak için kullanılabilen çeşitli kaynakları: Ulusal ve Uluslararası Literatür ve Anketler & Nüfus Sayımı Bilgisidir [34].

BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOD

2015 yılında otomotiv fabrikasının karbon ayak izi, IPCC tier 1 yaklaşımına ait formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Karbon emisyonu} = \text{Faaliyet verisi} \times \text{Emisyon faktörü} \quad (4.1)$$

Kullanılan faaliyet verileri ve emisyon faktörleri tabloda sunulmaktadır:

Tablo 4.1. Faaliyet verileri

Kaynaklar	Değerler	Birimler
Çalışan sayısı	2.341	Kişi
Fabrika toplam alanı	550.000	m ²
Ağaçlar, ortalama 18 yaşında	38.000	Ağaç
Bir çalışma yılı	300	Gün
Yıllık üretilen araç miktarı: yıllık ortalama	1.000.000	Araç
2015 yılı atık üretimi	3.538.000	kg
Toplam üretilen araç için katı atık miktarı	250.000.000	kg/1milyon üretilen araç
Toplam üretilen araç için tehlikeli atık miktarı	11.500.000	kg/1milyon üretilen araç
Toplam üretilen araç için düzenli depolamaya gönderilen atık miktarı	2.800.000	kg/1milyon üretilen araç
Personel aracı	300	tane/gün, benzin
Servis aracı	50	tane/gün, dizel
Atık kamyon sayısı	2	tane/gün, dizel
Toplam yıllık üretilen araç için elektrik tüketimi	1.711.111.111,11	kWh/1milyon üretilen araç
Aydınlatma için elektrik kullanımı	15.800.000	kWh (yıllık)
Doğal gaz kullanımı	1.300.000	m ³ (yıllık)
Toplam üretilen araç için su tüketimi	3.100.000	m ³ /1milyon üretilen araç
Toplam üretilen atık su miktarı	280.000	m ³ /yıl
Üretilen bir araç ağırlığı	1.300	kg
Personel ve servis araçlar için katettiği yol	50	km/gün
Atık kamyon için katettiği yol	10	km/gün

IPCC, Dünya Kaynaklar Enstitüsü, DEFRA ve otomotiv fabrikası kaynaklarından Tablo 4.2.'de belirtilen emisyon faktörleri kullanılarak tonCO₂ eşdeğeri (tonCO₂e) hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 4.2. Emisyon faktörleri

Kaynaklar	Emisyon faktörleri	Gazlar/Unit
Üretilen her araç için üretim sırasında ortaya çıkan emisyon	1,70	ton CO ₂ e/unit [35]
Katı atıkları	0,021	kg CO ₂ e/kg [36]
Aydınlatma için elektrik kullanımı	0,856	kg CO ₂ e/kWh [36]
Üretilen araçlar için elektrik tüketimi, kWh	0,856	kg CO ₂ e/kWh [36]
Su tüketimi	0,0014	kgCO ₂ e/l [36]
Atık su miktarı	0,3	CH ₄ için kg/m ³ [37]
Atık su miktarı	0,005	N ₂ O için kgN ₂ O-N* [37]
Personel aracı, benzin	0,391555556	CO ₂ için kg/mile [38]
Personel aracı, benzin	0,0147	CH ₄ için g/mile [38]
Personel aracı, benzin	0,0079	N ₂ O için g/mile [38]
Servis aracı, dizel	0,62654321	CO ₂ için kg/mile [38]
Servis aracı, dizel	0,001	CH ₄ için g/mile [38]
Servis aracı, dizel	0,0015	N ₂ O için g/mile [38]
Atık kamyon, dizel	2,743243243	CO ₂ için kg/mile [38]
Atık kamyon, dizel	0,0051	CH ₄ için g/mile [38]
Atık kamyon, dizel	0,0048	N ₂ O için g/mile [38]
Doğal gaz, sabit yanma	1,88496	CO ₂ için kg/m ³ [39]
Doğal gaz, sabit yanma	0,000168	CH ₄ için kg/m ³ [39]
Doğal gaz, sabit yanma	0,00000336	N ₂ O için kg/m ³ [39]

*Dönüşüm faktörü: kgN₂O-N = 44/28 kg N₂O

Kullanılan veriler Tablo 4.3.'te verilen birim değerler ve dönüşüm değerleri üzerinden hesaplamalarda kullanılmıştır.

Tablo 4.3. Hesaplamalarda kullanılan birimler

1ton	1000kg
1GJ	277,7777778kWh
1m ³	1000L
1kg	1000g
1mil	1,609344km
1kW(h)	1000W(h)

Karbon ayak izi hesabı üç temel gazı içermektedir. Bunlar, CO₂, CH₄ ve N₂O'dur. Bu gazların karbon ayak izine katkıları ısı tutma kapasiteleri ile alakalı olarak birbirinden farklıdır. Küresel ısınma potansiyelleri Tablo 4.4.'te verilmiştir [40].

Tablo 4.4. IPCC 5. değerlendirme raporu, 2014(AR5), küresel ısınma potansiyelleri (GWP)

CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265

Karbon ayak izi hesabının ardından karbon azaltması ile ilgili öneriler sunulmuştur. Bunlardan biri özellikle elektrik enerjisinden kaynaklanan emisyonların azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasıdır. Bunun için güneş enerjisi örnek alınmıştır. Güneş panelleri kapasitesi ve maliyeti üzerinden gerekli enerji eldesi hesabı yapılmıştır. Sonuçta bu şekilde ne kadar karbon azaltılabileceği hesaplanmıştır. Bunun yanında bu işlemlerin tesise olan maliyeti de hesaplanmıştır.

BÖLÜM 5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

5.1. Hesaplamalar

Yöntem bölümündeki tablolarda verilen veriler ve IPCC tiers 1 formülüne göre toplam karbon ayak izi miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

- a. Bir yıllık 1000 000 araç üretmek için ortaya çıkan emisyon:

$$1.000.000 \text{ araç} \times 1,7 \text{ ton} \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{araç}} = 1.700.000 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- b. Katı atıklarının ton olarak karbon üretimi miktarı:

Toplam yıllık ortaya çıkan, üretilen araç için atık miktarı, tehlikeli atık miktarı, düzenli depolamaya gönderilen atık miktarı ve katı atıklar toplam olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{(3.538.000 + 250.000.000 + 11.500.000 + 2.800.000) \text{ kg} \times 0,021 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{kg}}}{1000} \\ = 5.624,598 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- c. Elektrik kullanımının ton olarak karbon üretimi miktarı:

Toplam yıllık üretilen araçlar ve genel aydınlatma için tüketilen elektrik miktarı toplam olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{(1.711.111.111,11 + 15.800.000) \text{ kWh} \times 0,856 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{kWh}}}{1000} \\ = 1.478.235,91 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

d. Su tüketiminin ton olarak karbon üretimi miktarı:

Su tüketimi miktarı olan 3.100.000 m³,

$$\frac{(3.100.000 \times 1000) \text{ litre} \times 0,0014 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{litre}}}{1000} = 4.340 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

e. Üretilen atıksu miktarının ton olarak karbon üretimi miktarı:

- CH₄ emisyonu miktarı:

Atıksu miktarı olan 280.000m³,

$$\frac{280.000 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ kg} \frac{\text{CH}_4}{\text{m}^3}}{1000} = 84 \text{ tonCH}_4$$

Tablo 4.4.'te belirtildiği gibi CH₄ küresel ısınma potansiyeli CO₂'nin 28 katıdır. Bu nedenle × 28 olarak CO₂ eşdeğeri hesaplanmıştır.

$$84 \text{ tonCH}_4 \times 28 = 2.352 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- N₂O emisyonu miktarı:

× $\left(\frac{44}{28}\right)$ dönüşüm faktörü olarak hesaplanmıştır,

$$\left(\frac{280.000 \text{ m}^3 \times 0,005 \text{ kgN}_2\text{O} - \text{N}}{1000} \right) \times \left(\frac{44}{28} \right) = 2,2 \text{ tonN}_2\text{O}$$

Tablo 4.4.'te belirtildiği gibi N₂O küresel ısınma potansiyeli CO₂'nin 265 katıdır. Bu nedenle × 265 olarak CO₂ eşdeğeri hesaplanmıştır.

$$2,2 \text{ tonN}_2\text{O} \times 265 = 583 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

f. Taşımadan üretilen karbon miktarı

- Benzin kullanan personel araçları için:

Tablo 4.1.'de belirtildiği gibi personel araçlarının günlük olarak katettiği mesafe ortalama 50 km kabul edilmiştir. Ortalama 300 personel aracının yılda ortalama 300 gün kullanıldığı kabul edilmiştir.

- CO₂ emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{50}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{0,39 \text{ kg}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 300 \text{ personel aracı/gün} \times 300 \text{ gün}$$

$$= 1.094,85 \text{ tonCO}_2$$

- CH₄ emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{50}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{0,0147 \text{ g}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 300 \text{ personel aracı/gün} \times 300 \text{ gün}$$

$$= 41,11 \text{ kgCH}_4$$

Ortaya çıkan CH₄ emisyonunun CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{41,11 \text{ kgCH}_4}{1000} \right) \times 28 = 1,16 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- N₂O emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{50}{1,609344} \right) \text{ mile} \times \frac{0,0079 \text{ g}}{\text{mile}}}{1000} \right) \times 300 \text{ personel aracı/gün} \times 300 \text{ gün}$$

$$= 22,09 \text{ kgN}_2\text{O}$$

Ortaya çıkan N₂O emisyonunun CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{22,09 \text{ kgN}_2\text{O}}{1000} \right) \times 265 = 5,86 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- Dizel kullanan servis araçları için:

Tablo 4.1.'de belirtildiği gibi servis araçlarının günlük olarak katettiği mesafe ortalama 50 km kabul edilmiştir. Ortalama 50 servis aracının yılda ortalama 300 gün kullanıldığı kabul edilmiştir.

- CO₂ emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{50}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{0,62 \text{ kg}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 50 \text{ servis aracı/gün} \times 300 \text{ gün}$$

$$= 291,99 \text{ tonCO}_2$$

- CH₄ emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{50}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{0,001\text{g}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 50 \text{ servis aracı/gün} \times 300 \text{ gün} = 0,47 \text{ kgCH}_4$$

Ortaya çıkan CH₄ emisyonunun CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{0,47 \text{ kgCH}_4}{1000} \right) \times 28 = 0,013 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- N₂O emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{50}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{0,0015\text{g}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 50 \text{ servis aracı/gün} \times 300 \text{ gün} = 0,70 \text{ kgN}_2\text{O}$$

Ortaya çıkan N₂O emisyonunun CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{0,70 \text{ kgN}_2\text{O}}{1000} \right) \times 265 = 0,18 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- Dizel kullanan atık kamyonlar için:

Tablo 4.1.'de belirtildiği gibi atık kamyonların günlük olarak katettiği mesafe ortalama 10 km kabul edilmiştir. Bu değer formülde mile olarak hesaplanmıştır. Ortalama 2 atık kamyonun yılda ortalama 300 gün kullanıldığı kabul edilmiştir.

- CO₂ emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{10}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{2,74\text{kg}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 2 \text{ atık kamyon/gün} \times 300 \text{ gün} = 10,23\text{tonCO}_2$$

- CH₄ emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{10}{1,609344} \right) \text{ mil} \times \frac{0,0051\text{g}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 2 \text{ atık kamyon/gün} \times 300 \text{ gün} = 0,019 \text{ kgCH}_4$$

Ortaya çıkan CH₄ emisyonunun CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{0,019 \text{ kgCH}_4}{1000} \right) \times 28 = 0,00053 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- N₂O emisyonu için:

$$\left(\frac{\left(\frac{10}{1,609344} \right) \text{mil} \times \frac{0,0048 \text{g}}{\text{mil}}}{1000} \right) \times 2 \text{ atık kamyon/gün} \times 300 \text{ gün}$$

$$= 0,018 \text{ kgN}_2\text{O}$$

Ortaya çıkan N₂O emisyonunun CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{0,018 \text{ kgN}_2\text{O}}{1000} \right) \times 265 = 0,0047 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

g. Sabit yanmada kullanılan doğal gazdan üretilen karbon miktarı:

- CO₂ emisyonu için:

$$\frac{1.300.000 \text{m}^3 \times \frac{1,88496 \text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} = 2.450,45 \text{ tonCO}_2$$

- CH₄ emisyonu için CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{1.300.000 \text{m}^3 \times \frac{0,000168 \text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} \right) \times 28 = 6,12 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

- N₂O emisyonu için CO₂ eşdeğeri:

$$\left(\frac{1.300.000 \text{m}^3 \times \frac{0,00000336 \text{kg}}{\text{m}^3}}{1000} \right) \times 265 = 1,15 \text{ tonCO}_2\text{e}$$

5.2. Kaynaklara ve Kapsamlara ait Emisyon Sonuçları

Tablo 5.1. Kapsam 1, 2, 3 verilerine göre CO₂ ve CH₄, N₂O emisyonları için karbon eşdeğeri sonuçları

Kaynaklar	Ton olarak CO ₂ emisyonu	CH ₄ emisyonu için ton olarak karbon eşdeğeri	N ₂ O emisyonu için ton olarak karbon eşdeğeri
Bir yıllık 1.000.000 araç üretmek için ortaya çıkan emisyon	1.700.000	_____	_____
Katı atıkları	5.624,60	_____	_____
Elektrik kullanımı	1.478.235,91	_____	_____
Su tüketimi	4.340	_____	_____
Üretilen atıksu miktarı	_____	2.352	583
Benzin kullanan personel araçları	1.094,85	1,16	5,86
Dizel kullanan servis araçları	291,99	0,013	0,18
Dizel kullanan atık kamyonlar	10,23	0,00053	0,0047
Sabit yanmada kullanılan doğal gaz	2.450,45	6,12	1,15

CO₂ ve CH₄, N₂O emisyonları için karbon eşdeğeri sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Şekil 5.1.'de tesise ait verilere göre yapılan hesaplamaların sonuçları CO₂ eşdeğeri olarak kısaca özetlenmektedir.

Toplam yıllık karbon eşdeğeri miktarı 3.194.998 ton bulunmuştur. Emisyon faktörü, bir yıllık 1.000.000 araç üretmek için üretim sırasında ortaya çıkan emisyon için CO₂ eşdeğeri olarak kullanılmıştır. O yüzden, CH₄ ve N₂O emisyonları hesaplanmamıştır.

Aynı şekilde karbon eşdeğeri olan emisyon faktörleri katı atıklar, elektrik kullanımı ve su tüketimi için kullanılmıştır.

Fabrikada çalışan sayısı 2.341 ve toplam alanı 550.000 m² vardır. Çalışanlara ve tesisin kapladığı alana ait karbon değerlerini hesaplayabiliriz:

- Çalışanlara ait:

$$\frac{3.194.998 \text{ tonCO}_2\text{e}}{2.341 \text{ kişi}} = 1.364,80 \text{ tonCO}_2\text{e/kişi başı}$$

- Tesisin kapladığı alana ait:

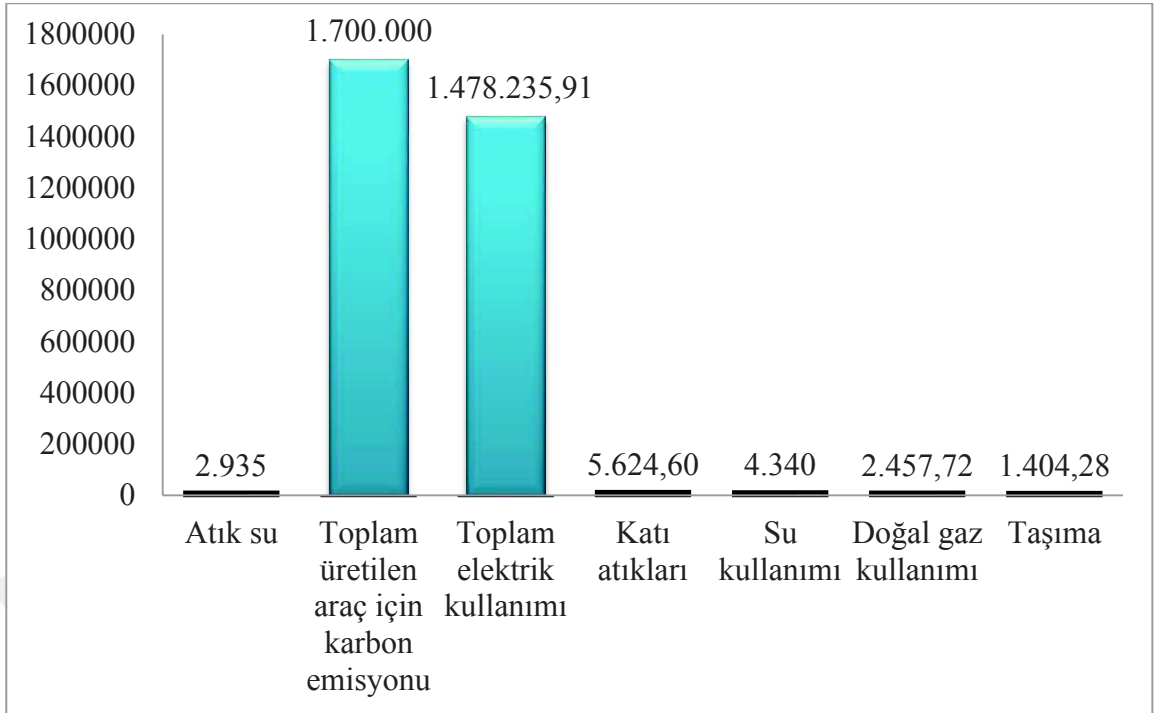
$$\frac{3.194.998 \text{ tonCO}_2\text{e}}{550.000 \text{ m}^2} = 5,81 \text{ tonCO}_2\text{e/m}^2$$

38.000 ağaç tesis içerisinde bulunmaktadır. Bir ağaç karbon tutma kapasitesi ortalama olarak 22 kgCO₂/yıldır [41].

$$\frac{38.000 \text{ ağaç} \times 22 \text{ kg CO}_2}{1000} = 836 \text{ tonCO}_2$$

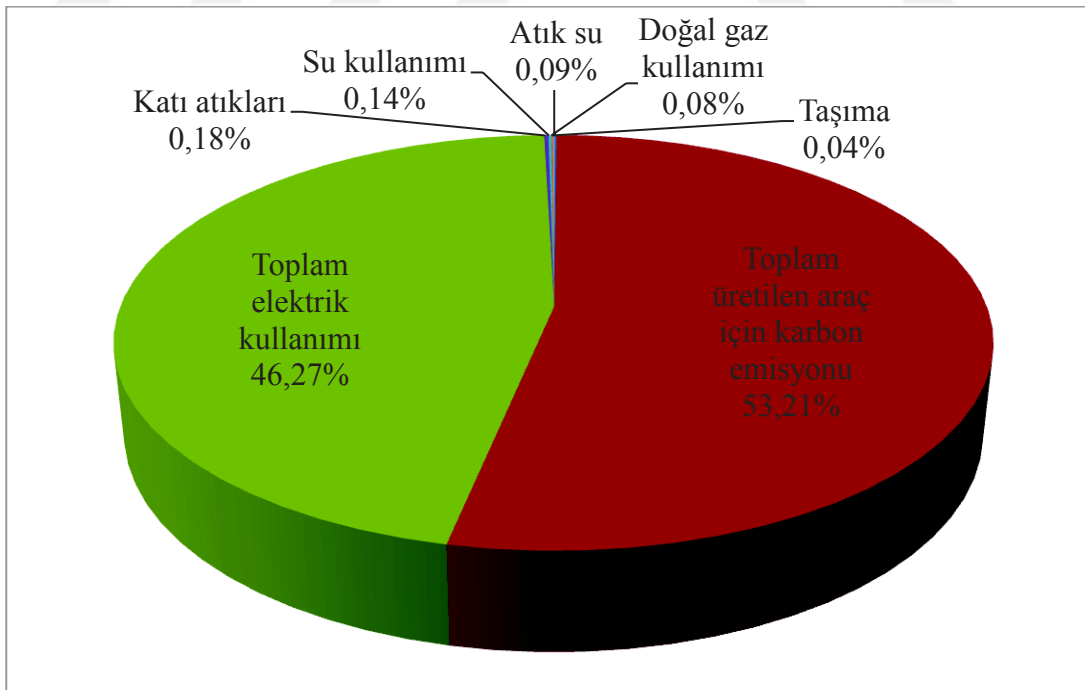
Ağaçlar tarafından tutulan karbon bir yılda 836 tonCO₂ azaltılması anlamına gelmektedir. Bunun için tesiste ağaçlar tarafından azaltıldıktan sonra yıllık kalan CO₂ miktarı:

$$3.194.998 \text{ tonCO}_2 - 836 \text{ tonCO}_2 = 3.194.162 \text{ tonCO}_2$$



Şekil 5.1. Kaynaklara ait karbon miktarı (tonCO₂ eşdeğeri)

Bu CO₂e miktarının yüzde olarak değerleri Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Kaynaklara ait yüzde olarak karbon miktarı

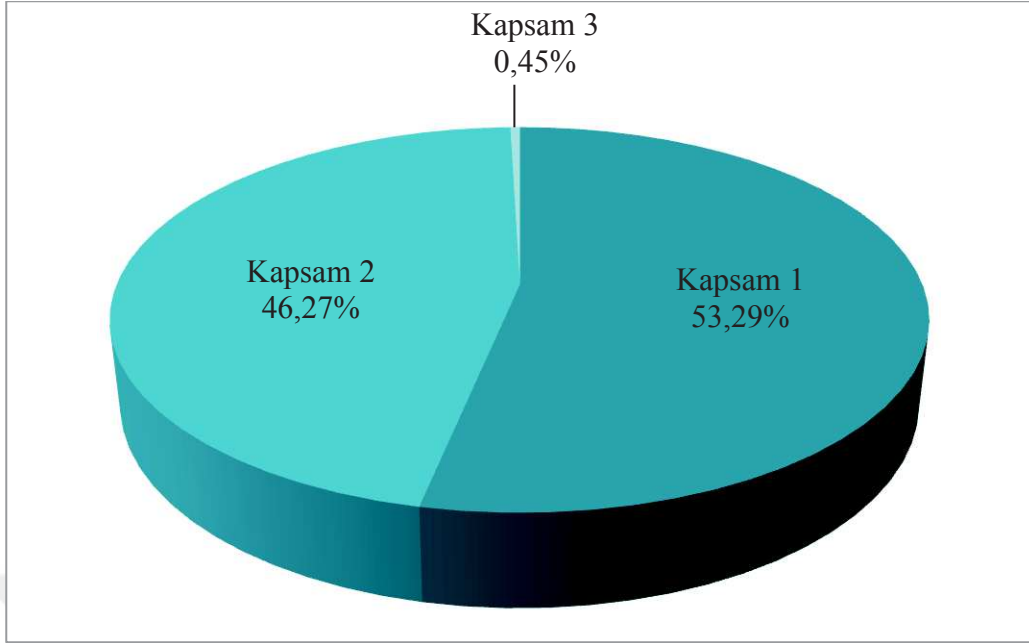
CO₂e olarak en yüksek miktar ve dolayısıyla oran, üretilen araç için karbon emisyonundan kaynaklanan emisyonlara aittir. Elektrik kullanımı ile ilgili karbon emisyonları ikinci sırada yer almaktadır.

Dünya kaynakları enstitüsü kapsam içeriklerine göre direkt ve indirekt emisyonlara ait karbon eşdeğeri miktarı ve yüzdesi Tablo 5.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2. Direkt ve indirekt emisyonlara ait karbon eşdeğeri miktarı ve yüzdesi

Kapsamlar	Emisyon	2015 yılı kapsamlara göre ton olarak karbon miktarı
Kapsam 1	Direkt emisyonlar	1.702.457,72
	Toplam üretilen araç için karbon emisyonu	
	Doğal gaz kullanımı	
Kapsam 2	İndirekt emisyonlar	1.478.235,91
	Toplam elektrik kullanımı	
Kapsam 3	Diğer indirekt emisyonlar	14.303,88
	Atık su	
	Katı atıkları	
	Su kullanımı	
	Taşıma	

Kapsamlara göre CO₂e miktarının yüzde olarak değerleri Şekil 5.3.'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Kapsamlara göre yüzde olarak karbon miktarı

Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi kapsam 1'e ait sabit yanmada kullanılan doğal gaz ve toplam 1.000.000 araç üretmek için ortaya çıkan emisyon miktarından üretilen bir araç için kullanılan emisyon faktörü en büyük payı oluşturmaktadır.

5.3. Güneş Enerjisi Maliyeti ve Karbon Ticareti

Toplam elektrik kullanımı = 1.726.911.111,11 kWh/yıl

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \frac{1.726.911.111,11 \text{ kWh}}{8760 \text{ saat/yıl}} = 197.135,97 \text{ kW} \\ &= 197.135.971,59 \text{ watt} \end{aligned}$$

Güneş paneli için bizim tercihimiz, 250 watt gücündeki paneller olduğundan tesiste kullanılan elektrik enerjisini elde edebilecek güneş paneli tarlası için gerekli güneş paneli sayısı:

$$\frac{197.135.971,59 \text{ watt}}{250 \text{ watt}} = 788.544 \text{ adet}$$

Büyük tesisler için adet olarak değil de watt başına fiyat alınmaktadır. 2015 verilerine göre bu büyüklükte güneş enerji santrali projesi için güneş paneli maliyeti watt başına 0,40 \$ ile 0,80\$ arasında değişmektedir [42]. Ortalama olarak 0,60 \$ kabul edilirse maliyet aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$197.135.971,59 \text{ watt} \times 0,60 \$ = 118.281.582,95 \$$$

Ortalama olarak 1 kW elektriğin birim fiyatı 0,195 TL olarak kabul edildiğinde

$$197.135,97 \text{ kW} \times 0,195 \text{ TL} = 38.441,51 \text{ TL}$$

27 Temmuz 2016 döviz kuruna göre 1\$ = 3,04TL, olduğuna göre

$$\frac{38.441,51 \text{ TL}}{3,04} = 12.645,24 \$$$

Türkiye ortalama 1 kWh elektrik üretirken ortalama 0,43 kg karbon emisyonu ortaya çıkarmaktadır [42]. Bunun için 1.726.911.111,11 kWh üretiminden toplam karbon emisyonu hesaplanmıştır.

$$\frac{(1.726.911.111,11 \text{ kWh} \times 0,43)}{1000} = 742.571,78 \text{ ton karbon emisyonu}$$

Güneş enerjisi elektrik yerine kullanılması, 742.571,78 ton karbon emisyonunun atmosfere verilmediği anlamına gelmektedir.

Karbon ticaretinde Avrupa Emisyon Ticaret Sistemi Ton başına €10'dır. Eğer fabrika azaltılan 742.571,78 ton karbon emisyonu karbon sertifikasına dönüşürse, karbon satışından

$$742.571,78 \text{ ton karbon} \times 10 € = 7.425.717,78 € \text{ kazanır.}$$

Ayrıca, tesis içinde mevcut ağaçlar tarafından tutulan karbon bir yılda 836 tonCO₂ olarak hesaplanmıştır. Bunun karbon sertifikasına dönüştürülmesi halinde tesis karbon satışından

$$836 \text{ tonCO}_2 \times 10 \text{ €} = 8.360 \text{ €}. \text{ kazanç sağlayabilir.}$$

Bunların sonucunda fabrikanın bir yılda azaltılan karbon miktarından toplam olarak kazancı:

$$7.425.717,78 \text{ €} + 8.360 \text{ €} = 7.434.077,78 \text{ €} \text{ olacaktır.}$$



BÖLÜM 6. TARTIŞMALAR

Karbon ayak izi hesaplamasında IPCC tier 2 ve tier 3 yaklaşımına ait formüller daha kesin sonuçlara ulaşılmasını sağlamakla birlikte, bu yaklaşımlar veri bulunması bakımından tier 1 yaklaşımına göre daha yüksek zorluk derecesine sahiptir. Tier 2 ve tier 3 daha yüksek tier metodu tanınmaktadır. Karbon ayak izi hesaplamalarının sürecinde kullanılan emisyon faktörleri, ülkelere ait spesifik emisyon faktörleri ve daha ayrıntılı faaliyet verileri kullanılmaktadır. Fakat, bazı ülkelerin böyle spesifik emisyon faktörleri yoktur. O yüzden, IPCC ve Sera Gazları Protokolü Emisyon faktörleri kullanılması zorunlu olmaktadır. Bu nedenle tier 1 yaklaşımı bu çalışmada ve diğer çalışmaların çoğunda kullanılmıştır. Daha önce yapılmış olan otomotiv sektörü karbon ayak izi çalışmaları ile kıyaslandığında bu çalışmada da kullanılan IPCC tier 1 yaklaşımına ait formülün kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla yöntem literatüre uygundur.

Bu çalışmada, sera gazı protokolünde bulunan kapsamlar (kapsam 1, kapsam 2, ve kapsam 3) hesaba alınmaktadır. Ayrıca, literatürde yer alan bazı çalışmalarda karbon ayak izi hesabında kapsam 1 ve 2 de bulunan değerler kullanılmıştır. Bu çalışmada, kapsam 1’de sabit yanmada kullanılan doğal gaz ve üretilen her araç için ortaya çıkan emisyonlar atmosfere verilmektedir. Üretilen her araç için üretim sırasında ortaya çıkan emisyon için verilen emisyon faktörü 1,70 ton CO₂e/unit olmaktadır. Bu yüzden, yıllık üretilen 1.000.000 araç için emisyon miktarı en yüksek karbon emisyonunu oluşturmaktadır. Bu nedenle, her otomotiv fabrikasının karbon ayak izi hesaplaması için bu emisyon faktörü hesaba dahil edilmelidir.

Literatürde bulunan “DAIMLER AG, Mercedes-Benz Cars” fabrikasının 2015 yılında sadece kapsam 1 ve kapsam 2 için karbon emisyonu 3.231.000 tonCO₂ olarak bulunmuştur. Yapılan bu çalışmadaki bütün kapsamlarda karbon emisyonu

miktarı 3.194.998 tonCO₂edir. Bir karşılaştırma yapıldığında “DAIMLER AG, Mercedes-Benz Cars” fabrikasının karbon emisyonu miktarının bu çalışma sonuçlarından bir az yüksek olmasının sebebi; kapsam 1 ve kapsam 2’de daha fazla kaynaktan karbon emisyonlarının hesaba dahil edilmiş olmasıdır. Çünkü otomotiv fabrikası için kapsamlarda daha detaylı faaliyet verileri ile hesaplama yapılırsa, daha çok karbon emisyonu ortaya çıkmaktadır.

Otomotiv fabrikası ve diğer tesisler içinde elektrik kullanımı bütün karbon ayak izi hesaplamalarında mutlaka bulunmaktadır. İndirekt emisyonlar olan elektrik kullanımı genelde kapsam 2de hesaplanmaktadır. Karbon ayak izi kapsamında elektrik kullanımından kaynaklanan karbon emisyonu normalde en yüksek karbon emisyonu miktarını oluşturmaktadır. Genelde, çeşitli yakıtların kullanıldığı elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonlar oldukça önemlidir. Özellikle, elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ diğer sera gazlarından daha çok ortaya çıkmaktadır. Fakat, bu çalışmada ikinci sırada yer almaktadır.

Bu çalışmada, kapsam 3’te bulunan atıksu, katı atıklar, su kullanımı ve taşıma verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonuca dahil edilmiştir. Örneğin kapsam 3’teki karbon ayak izi toplam miktarında yarattığı 14.303,88 tonCO₂e ile önemli bir miktar oluşturmaktadır. Dolayısıyla karbon ayak izi hesaplarına dahil edilmesi gereklidir.

Buna bağlı olarak ortaya çıkan toplam karbon emisyonu miktarı ve dolayısıyla tesisin karbon ayak izi oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu nedenle, bunun azaltılması amacıyla enerji ihtiyacı için güneş enerjisi ve karbon yatağı olarak yeşil alanların genişletilmesi için ağaç dikilmesi önerilmiş ve bununla ilgili hesaplamalar yapılmıştır.

Bu hesaplamalar sonucunda fabrikada özellikle güneş enerjisi kullanarak bir yılda azaltılan karbon miktarından toplam olarak kazanç: 7.434.077,78 € olacaktır. Güneş enerji sistemi çevreye zarar vermeyen yenilenebilir enerji üretmektedir. Güneş paneli sistemleri pahalı olmasına rağmen, hem temiz enerji üretmekte hem de uzun

vadeli tükenmeyen bir enerji kaynağı sağlamaktadır. Bu şekilde, büyük oranda sera gazı üreten bir tesis iklim değişikliğinin önlenmesi için sera gazlarının azaltılmasına katkıda bulunabilecektir. Çevre dostu üretimden dolayı, daha çok müşteri fabrikanın üretilen araçlarını tercih edebileceğinden tesisin pazar payı artabilir. Ayrıca, eğer fabrika azaltılan karbonu karbon sertifikasına dönüştürürse, karbon satışından elde edilen kazanç yenilenebilir enerji yatırımları için kullanılabilir.

Fabrikada çalışan sayısı olan 2.341 kullanılarak çalışanlara ait tonCO₂e/kişi başı hesaplanmıştır. Sonuçta çalışanlara ait tonCO₂e/kişi başı yüksek karbon emisyonu çıkmaktadır. Yani tesiste bir çalışanın bir yılda yaklaşık 1.364,80 tonCO₂e ürettiği söylenebilir. Fakat bu sonuç, gerçekten bir çalışanın ürettiği karbon ayak izi miktarı değildir. Kişi başı karbon emisyonu sadece bir rakam temsil edilmektedir. Toplam tesis alanı 550.000m² ile tesisin kapladığı alana ait de hesaplanmıştır. Tesiste bir metre karede bir yılda 5,81 tonCO₂e/m² üretilmiştir. Bu sonuç küçük bir karbon emisyonu miktarıdır. Aslında, tesisin tüm alanı karbon ayak izi üretmemektedir. Örneğin, yeşil alan karbon üretmek yerine karbon tutmaktadır. O yüzden, bu tesisin kapladığı alana ait sonuç da temsilli bir rakam olmaktadır.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyada 2015 yılında 85.317.846 tane araç üretilmiştir. Bu kadar aracın hem üretim aşamasında hem kullanım sürecinde ciddi emisyonlarının olduğu ve dolayısıyla karbon ayak izinin büyük olduğu bu çalışma sonuçlarından da anlaşılmaktadır. Bu bağlanda küresel ısınma ve iklim değişikliğine önemli katkısı olan otomotiv endüstrisi ve taşıma sektörünün karbon ayak izinin azaltılması büyük önem arz etmektedir. Bunun için özellikle üretim aşamasında fosil yakıt kullanımından vazgeçilmeli ve doğru atık yönetimi ile atıklar minimize edilmelidir. Üretim sürecindeki karbon ayak izinin azaltılması önlemlerinin yanında üretilen araçlarda da azaltılması önemlidir. Fosil yakıt kullanan ve kullanım ömrü boyunca atmosfere sürekli sera gazı veren araçların üretilmemesi, bu endüstrinin karbon ayak izinin azaltılması açısından öncelikli olarak ele alınması gereken bir adım olmalıdır.

Çalışma sonucunda karbon ayak izi miktarını azaltmak için bir kaç öneri sunulmuştur. Bu çalışmada, karbon ayak izi hesaplandıktan sonra kaynaklara göre üretilen karbon emisyonları belirlenmiştir. Bunlara göre en yüksek karbon emisyonunu oluşturan üretilen her araç için üretim sırasında ortaya çıkan emisyonu azaltmak için araç ağırlığı azaltılmalıdır. Faaliyet verileri tablosuna göre üretilen ortalama bir araç ağırlığı 1,300 kg'dır. Üretilen araç ağırlığı bundan daha küçülürse, üretilen her araç için daha az karbon emisyonu anlamına gelecektir. Araç üretimi sırasında sürüş güvenliğini bozmayacak şekilde ağır metaller yerine daha hafif metaller ve diğer malzemelerin kullanılması uygun olacaktır.

Yenilenebilir enerjiler elektrik enerjisi yerine hesaba dahil edilmelidir. Bu şekilde, güneş enerjisi otomotiv fabrikasında elektrik kullanımı için uygundur. Örneğin hesaplamalara göre 250 watt gücündeki paneller olduğunda tesiste kullanılan elektrik enerjisini elde edebilecek güneş paneli tarlası için gerekli güneş paneli sayısı

788.544 adettir. Elektrik bu güneş paneli sayısı ile üretilirse, elektrik kullanımından kaynaklanan emisyon hemen hemen tamamen yok olacaktır.

Fabrika alanında daha fazla yeşil alan oluşturulmalıdır. Özellikle, daha çok ağaç dikilirse, daha fazla karbon tutulacak ve emisyon miktarı azalacaktır. Aynı zamanda, yeşil alanlar çalışanlara da mutlu bir çalışma ortamı verebilmektedir.

Son olarak; Yaşam Döngüsü Analizi, ürünün hammadde çıkarımı aşamasından aracın son kullanım yaşamına kadar üretilen karbon emisyonlarını ortaya çıkarmak ve azaltmak için uygulanabilmektedir. Buna bağlı olarak, fabrikalarda ayrıntılı olarak emisyon faaliyet raporunun oluşturulması mutlak gereklidir.

KAYNAKLAR

- [1] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/spmsspm-human-and.html, Erişim Tarihi: 02.03. 2016.
- [2] <https://www3.epa.gov/climatechange/science/future.html>, Erişim Tarihi: 21.03. 2016.
- [3] IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) based on global emissions from 2010 and Climate Change: Mitigation of Climate Change, 2014.
- [4] Hanna, P., Minna, N., Marjukka, K., Tuomas, H., Merja, K., Tiina, P., Helena, D., Carbon footprint and environmental impacts of print products from cradle to grave, Finland, Research Notes 2560, 208, 2010.
- [5] Virpi, V., Introduction to Life Cycle Assessment (LCA), University of Oulu, Faculty of Technology, Environmental and Chemical Engineering Research Group, 13-27, 2015.
- [6] Göksele, N.D., Yaşam Döngüsü Analizi, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları, 19-22, 2011.
- [7] Kirana, C., Nathan, P., Rana, P., David, P., Constantin, C., Analysis of Existing Environmental Footprint Methodologies for Products and Organizations: Recommendations, Rationale, and Alignment, Joint Research Center No. N 070307/2009/552517, 15, 2011.
- [8] Helius., Brighton., Rochester., Guide to PAS 2050, how to assess the carbon footprint of goods an services, Carbon Trust, Department for Environment Food and Rural Affairs (Defra), British Standards (BSI), 6, 2008.
- [9] Kumru, A., Karbon Yönetimi Yaklaşımı ve Örnek Uygulamalar, Carbon Clear, Ankara, Türkiye, 5-6, 2013.
- [10] Pré., Life Cycle-Based Sustainability Standards and Guidelines, 2, 2012.
- [11] Jay, W., Tod, D., ISO 14064 International Standard for GHG Emissions Inventories and Verification, Geneva, Switzerland, 1-4, 2006.

- [12] <http://www.isobelgesi.gen.tr/iso-14064-belgesi-nedir-nasil-alinir-dogrulamasi-nasil-ve-kim-tarafindan-yapilir-danismanlik-hizmetinde-neler-yapilir>, Erişim Tarihi: 05.04.2016.
- [13] Mcmichael, A.J., Campbell-Lendrum, D.H., Corvalan, C.F., Githeko, A.K., Scheraga, J.D., Woodward, A., Climate Change and Human Health, Risks and Responses, Geneva, 16-22, 2003.
- [14] Karl, G., Felix, K., The Automotive Industry and Climate Change, Framework and Dynamics of the CO₂ revolution, Stuttgart, September, 2007.
- [15] Mondal, P., Abhishek, K., Varun, A., Nitin, S., Prashant, V., Bhangale, U.D., Dinesh, T., Critical Review of Trends in GHG Emissions from Global Automotive Sector, India, 1(1): 1-12, 2011.
- [16] http://unfccc.int/meetings/buenos_aires_dec_2004/meeting/6338.php, Erişim Tarihi: 10.05.2016.
- [17] Preeti, S., Aksha, S., Ajay, S., Srivastava, P., Automobile Waste and Its Management, Res J. Chem. Environ. Sci. Vol 4(2), 01-07, April, 2016.
- [18] http://www.grid.unep.ch/waste/html_file/10-11_waste_cycle.html, Erişim Tarihi: 24.05.2016.
- [19] Jiangling Motors Corporation Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, China, 9-19, 2014.
- [20] Cemars, C., Greenhouse Gas Emission Report, ISO 14064-1:2006, Toyota New Zealand Limited, New Zealand, 2-3, 2013.
- [21] Cemars, C., Greenhouse Gas Emission Report, ISO 14064-1:2006, BMW New Zealand Limited and BMW Financial Services New Zealand Limited, 1-3, 2014.
- [22] Jim, L., Osamu, N., Kazuo, O., Kevin, M.B., Toyota North American Environmental Report, 49-50, 2014.
- [23] Changan Ford Mazda Engine Co., Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, China, 15-19, 2012.
- [24] Ford Lio Ho Motor Co., Ltd., Greenhouse Gas Inventory Report, Taiwan, 15-20, 2014.
- [25] Nissan Motor Corporation Sustainability Report, Corporate Indicators-CO₂, Carbon Footprint, 115-116, 2015.
- [26] Rob, E., Jim, M., The Climate Registry, Advanced Waste Management Systems, Ford Motor Company, North American, 1-2, 2013.

- [27] Mariana, V.R., Lilian, M.O., Lori, C., Contabilizacion e Informe de Gases de Efecto Invernadero, Argentina, 6-10, 2013.
- [28] Jochem, H., Wolfram, T., Carbon Footprint, Environment, Sustainability Report, Volkswagen, 126-129, 2014.
- [29] Rob, E., Lori, C., Richard E., Carbon Footprint Inventory, Verification Report, Ford Motor Company, 3-4, 2014.
- [30] Wolfgang, S., Carbon Neutral Manufacturing, Sustainability Report, Jaguar Land Rover Automotive PLC, 29, 2015.
- [31] Nico, D., Energy Efficiency and Low-Carbon Production, Sustainability Report, Daimler, 55, 2015.
- [32] Takahiro, H., Toshihiro, M., Toshio, Y., Greenhouse Gas Emissions, Sustainability Report, Honda, Japan, 43-44, 2015.
- [33] Janet, R., Laurent, C., Pankaj, B., Simon, S., Peter, G., Kjell, O., A Corporate Accounting and Reporting Standard, The greenhouse Gas Protocol, 5-35, 2013.
- [34] Simon, E., Leandro, B., General Guidance and Reporting, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volum 1, 11-34, 2006.
- [35] Automotive Factory, Greenhouse Gas Inventories, Environmental Research Group, 2016.
- [36] Sawant, S., Babaleshwar, B., A New Method of Assessment and Equations on Carbon Footprint, J. Appl. Geology and Geophysics, (3), 52-59, 2015.
- [37] Michiel, R.J., Sirintornthep, T., Sonia, M.M.V., William, I., Graig, P., Riita, P., Can, W., Wastewater Treatment and Discharge, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, 12-27, 2006.
- [38] Defra, Vehicle Transport Emission Factors on Distance Basis, the Greenhouse Gas Protocol, World Resources Institute, 2015.
- [39] WRI, Emission Factors by Fuel, Stationary Combustion based on IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.
- [40] Myhre, G., Shindell, D., breon, F.M, Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., GWP values for 100-year time horizon, IPCC Fifth Assessment Report (AR5), 73-79, 2014.
- [41] <http://www.carbonify.com/carbon-calculator.htm>., Erişim Tarihi: 05.06.2016.

- [42] Meral, S., İhsan, K., Karbon Ayak İzi ve Güneş Enerjisi Maliyeti. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Bölümü, Lisans Tezi, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

Ratha SRENG, 1988 yılında Battambang’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Battambang’da tamamladı. 2007 yılında Kamboçya Teknoloji Enstitüsü Kırsal Kalkınma Mühendisliği Fakültesi Jeoteknik Mühendisliği Bölümü’nde Lisans Eğitimine başladı. 2012 yılında Jeoteknik Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu ve mezun olduktan sonra aynı yılda Fransa’da 10 aylık Erasmus Değişim Programına katıldı. 2013 yılında Fransa’daki Erasmus Değişim Programı bittikten sonra Türkiye’de Sakarya Üniversitesi TÖMER’de Türkçe dili öğrenimi gördü. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans Eğitimine başladı.