



**BİTÜM KAPLAMALI KARAYOLLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN  
YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ**

**Saeed MORSALİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ÇEVRE BİLİMLERİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2017**

Saeed MORSALİ tarafından hazırlanan “BİTÜM KAPLAMALI KARAYOLLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Çevre Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Doç. Dr. A. Gamze YÜCEL İŞILDAR

Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

**Başkan :** Prof. Dr. Lale BALAS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

**Üye :** Yrd. Doç. Dr. Aslı NUMANOĞLU GENÇ

İnşaat Mühendisliği, Atılım Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum .....

Tez Savunma Tarihi: 09/01/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....  
Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Saeed MORSALİ

09/01/2017



# BİTÜM KAPLAMALI KARAYOLLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Saeed MORSALİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2017

## ÖZET

Ulaştırma sistemleri günlük hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olup; toplum hayatında önemli ekonomik, sosyal ve çevresel etkilere sahiptir. İklim değişikliğinin yıkıcı etkileri ile birebir yüzyüze olduğumuz günümüzde; ulaşım sistemleri arasında en önemli çevresel etkilere karayolları neden olmaktadır. Buradan hareketle bu çalışma kapsamında, bitüm kaplamalı karayollarının çevresel etkileri, yaşam döngüsü analizi ile incelenmiştir. Çalışmanın amacı, ulaşım politikalarına ve stratejilerine ışık tutmak üzere; karayollarının inşaat, işletme ve bakım onarım aşamalarının herbirinin yaratacağı çevresel etkileri ortaya koymak ve bu etkilerin kaynaklarını belirleyerek, çözüm önerileri geliştirmektir. Yaşam döngüsü analizi (YDA); 3 ana etki kategorisi (insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakların tüketimi) üzerinden yapılmıştır. Bu tez çalışmasında, SimaPro 7.1. yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca YDA larda en yaygın olarak kullanılan etki değerlendirme yöntemlerinden biri olan ECO- INDICATOR-99 yöntemi kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bu tez kapsamında ana etki alanlarının kategorizasyonu da, alt başlıklar özelinde detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, üç ana kategori içinde bitüm kaplamalı karayollarından kaynaklanan çevresel etkiler en fazla *doğal kaynakların tüketimi* kategorisinde hissedilmektedir. Bu kategoride, bu olumsuz etkiyi yaratan en önemli neden fosil yakıtlardır. *Ekosistem kalitesi* ikinci sırada ve *insan sağlığı* en son sırada yer almaktadır.

Bilim Kodu : 90307

Anahtar Kelimeler : Yaşam dönüşü analizi, karayolu etki değerlendirmesi, karayolu YDA emisyonları

Sayfa Adedi : 78

Danışman : Doç. Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR

DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BITUMINOUS  
HIGHWAYS BY LIFE CYCLE ASSESSMENT

(M. Sc. Thesis)

Saeed MORSALI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2017

ABSTRACT

Transportation systems are an indispensable part of our daily life; and have significant economic, social and environmental impacts in society. Nowadays we are facing the destructive effects of climate change and the most important environmental impacts among transportation systems are caused by highways. From this point of view, the environmental effects of bitumen covered roads have been examined through life cycle analysis. The purpose of the study is to shed light on transportation policies and strategies; to identify the environmental impacts of each stages of construction, operation and maintenance repair of highways, and to identify the sources of these effects and to develop solution proposals. Life Cycle Analysis (LCA) was performed over 3 main impact categories (human health, ecosystem quality and consumption of natural resources). In this thesis, SimaPro 7.1. Software was used. Also ECO-INDICATOR-99 method, one of the most widely used impact assessment methods, was used in LCA. Unlike previous studies, the categorization of main impact areas in this thesis has been examined in detail in sub-headings. According to the findings, the environmental effects of the bitumen covered roads in three main categories are mostly felt in the category of consumption of natural resources. In this category, the most important cause of this negative impact is fossil fuels. Ecosystem quality is second and human health is in the last place.

Science Code : 90307

Key Words : Life cycle assessment, Asphalt Roads LCA, emissions from asphalt roadways LCA

Page Number : 78

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı; bu çalışmada da beni yönlendiren, çalışmamın her sayfasında bilgi, yardım ve desteğini esirgemeyerek bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan değerli danışman hocam Doç.Dr. Gamze YÜCEL İŞILDAR'a;

Hayat dersi veren ve bir sene boyunca derslerinden zevk alarak yaşam tarzını öğreten değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Feriha YILDIRMA'a;

İlk geldiğimde sabırla ders sorunlarımı çözen ve her zaman bana destek veren değerli hocam Doç.Dr. Meltem YILMAZ'a;

Bu uzun süreçte gösterdikleri sabır, ilgi ve anlayışlarından dolayı arkadaşlarım; Mehdi SALİMİ, Naser OJARODİ, Saeid AGHAEE ve Zahra MEDGHALCHİ'e;

Hiç bir zaman sevgilerini esirgemeyen, iyi ve kötü zamanlarda yanımda olan aileme;

Uzun sene benimle olan, tüm zorluklardayken kendinden geçip beni sevgi ve huzurla destekleyen sevgilim ve hayat arkadaşım Azade'ye;

Sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.



**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. ÇEVRE SORUNLARININ ORTAYA ÇIKIŞI .....	5
2.1. Çevre Sorunları .....	6
2.1.1. Su kirliliği .....	6
2.1.2. Hava kirliliği .....	6
2.1.3. Toprak kirliliği ve erozyonu .....	8
2.1.4. Gürültü kirliliği .....	9
2.2. İklim Değişikliği .....	9
2.3. Ulaşım .....	12
2.3.1. Ulaşım sistemlerinin çevresel etkileri .....	13
2.4. Bitümlü Yol Yapım Aşamaları ve Özellikleri .....	15
2.4.1. Asfalt yolların genel yapıları .....	16
2.4.2. Agregası .....	18
2.5. Bitüm .....	18
2.6. Türkiye’de Karayollarının Mevcut Durumu İstatistikleri.....	17
3. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (YDA) NEDİR? .....	21

	<b>Sayfa</b>
3.1. YDA İşlemleri Ve Aşamaları Ve Kavramlarının Tanıtımı .....	23
3.1.1. Hedef ve kapsam .....	23
3.1.2. Yaşam döngüsü envanteri (YDE) .....	23
3.1.3. Etki değerlendirmesi .....	24
3.1.4. Yorumlama .....	24
3.2. YDA 'larla İlgili Yapılan Çalışmalar .....	25
<b>4. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>29</b>
4.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) .....	29
4.1.1. Eko- Gösterge 99 .....	29
4.2. Sistem Sınırları .....	33
4.3. Tezin Envanter Analizi .....	36
<b>5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR .....</b>	<b>39</b>
5.1. Karakterizasyon .....	39
5.1.1. İnsan sağlığı karakterizasyonu .....	41
5.1.2. Ekosistem kalitesi karakterizasyonu .....	45
5.1.3. Doğal kaynak tüketimi karakterizasyonu .....	48
5.2. Ağırlıklandırma .....	50
5.2.1. Doğal kaynaklar tüketimi ağırlıklandırması .....	54
5.2.2. Ekosistem kalite kategori ağırlıklandırması .....	55
5.2.3. İnsan sağlığı ağırlıklandırması .....	58
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>67</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>75</b>
Ek-1. Yillara göre devlet de il yollari uzunluğu (Km) .....	76

ÖZGEÇMİŞ ..... 78



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Ulaştırma alt sistemlerinin çevre üzerindeki başlıca olumsuz etkileri .....	13
Çizelge 2.2. Yolun kaplama cinsine göre otoyollar, devlet, il ve köy yollarının toplam uzunluğu .....	19
Çizelge 5.1. Karayollarının, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin toplu karakterizasyon sonuçları .....	40
Çizelge 5.2. İnsan sağlığı kategorisinin karakterizasyonu .....	42
Çizelge 5.3. Ekosistem kalitesinin karakterizasyon analizi .....	46
Çizelge 5.4. Doğal kaynaklar tüketimi etki kategori karakterizasyonu .....	48
Çizelge 5.5. Alt kategorilere göre ağırlıklandırma analiz miktarları .....	52
Çizelge 5.6. Doğal Kaynaklar tüketim kategori ağırlıklandırma analizi .....	54
Çizelge 5.7. Ekosistem kalitesi ağırlıklandırma analizi .....	55
Çizelge 5.8. Solunan inorganik maddeler ağırlıklandırması .....	58
Çizelge 5.9. İklim değişikliğine neden olan emisyonlar .....	61
Çizelge 5.10. Karsinojenler etki kategori emisyonları .....	62
Çizelge 5.11. Radyasyon, solunan organik maddeler ve ozon tabakası etki emisyonları .....	63

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. NASA yayınladığı yerküresinin karbon dioksit değişimi .....	10
Şekil 2.2. Kaynaklarına göre küresel CO2 salım dağılım yüzdesi .....	11
Şekil 2.3. Ulaştırma alt sistemlerinin ortalama yakıt tüketimleri ve CO2 emisyonları (Gram/ton-km).....	14
Şekil 2.4. Asfalt yolların katmanları.....	17
Şekil 2.5. Genel asfalt yolların yapıları .....	17
Şekil 3.1. YDA 'ların genel yapısının göstermi .....	22
Şekil 4.1. Bitümlü yol için sistem sınırları .....	33
Şekil 4.2. Karayolu sistem sınırları daha ayrıntılı. oklar tipik taşıma veya süreç sıralarını temsil eder .....	35
Şekil 5.1. Simapro programında analiz sıraların gösterilmesi .....	39
Şekil 5.2. Karayolu analizinin ilk aşaması .....	40
Şekil 5.3. İnsan sağlığı karakterizasyonu analizi .....	44
Şekil 5.4. Solunan inorganik maddeler etki karakterizasyonunda ağaç analizi.....	45
Şekil 5.5. Ekosistem Kalitesi Karakterizasyonu.....	47
Şekil 5.6. Doğal Kaynak Tüketimi karakterizasyonu.....	49
Şekil 5.7. Fosil yakıtların ağaç analizi .....	50
Şekil 5.8. Ana kategorilerin ağırlıklandırma analizi .....	51
Şekil 5.9. Alt kategorilere göre ağırlıklandırma analizi.....	52
Şekil 5.10. Asitletme / Ötrofikasyon etkisi gösteren işlemler .....	57
Şekil 5.11. Ekotoksisite etki işlemlerinin oranı .....	57
Şekil 5.12. Solunan inorganik maddeler etkileri olan işlem sıralaması.....	59
Şekil 5.13. İklim değişikliği kategorisinin işlem sıralaması .....	60
Şekil 5.14. Karsinojenler etki kategorisinin işlem sıralaması.....	62

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.15. Solunan organik etkisi olan işlemlerin miktara göre sıralaması .....	64
Şekil 5.16. Arazi kullanım süreç dağılım payı .....	65



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

$m^3$

Metreküp

$m^2$

Metrekare

### Açıklamalar

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

**AP**

Asitlenme Potansiyeli

**DALY**

Engellili Yaşanan Yıllar Uygulaması

**DB**

Diklorobenzen

**EA**

Enserji Analizi

**EEA**

Şekillenmiş Enerji Analizi

**ETH**

İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü

**GHG**

Sera Gazı Emisyonları

**GWP**

Küresel Isınma Potansiyeli

**IPPC**

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli

**ISO**

Uluslararası Standartlar Teşkilatı

**KGM**

Karayolları Genel Müdürlüğü.

**LCA**

Yaşam Döngü Analizi

**MFA**

Malzeme Akışı Analizi

**NASA**

Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi

**ODP**

Ozon İnceltme Potansiyeli

**PDF**

Potansiyel Olarak Ortadan Kaybolan Fraksiyon

**POCP**

Fotokimyasal Ozon Yaratma

**POO**

Oluşma İhtimali

**THKKY**

Türkiye Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği

**WHO**

Dünya Sağlık Örgütü

**YDA**

Yaşam Döngüsü Analizi.

**YDEA**

Yaşam Döngüsü Etki Analizi





## 1. GİRİŞ

Günümüzde, özellikle iklim değişikliğinin tahrip edici etkilerinin iyice hissedilmeye başlanması ile birlikte; çevre sorunlarının önemi ve çözümlerin aciliyeti tüm dünyada ve ülkemizde kabul edilen bir gerçek haline gelmiştir. İklim değişmekte, biyoçeşitlilik azalmakta, doğal ortamlar kirletilmekte, doğal kaynaklar hızla tüketilmektedir. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve azot (N<sub>2</sub>O) gibi sera gazlarının atmosferdeki yoğunlukları, endüstri devriminin başından bu yana önemli ölçüde artmıştır. Bu durum büyük oranda fosil yakıt kullanımı, arazi kullanımındaki değişiklikler ve tarım gibi insan faaliyetleri nedeniyle gerçekleşmektedir. IPPC 5. Değerlendirme raporu'na (2014) göre, iklim değişikliği üzerinde insanların net bir etkisi bulunmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin bilimsel temellerinin ve iklim değişikliğine neden olan etkenlerin değerlendirildiği rapor, gözlenen iklim değişikliğinin insan nedenli olduğunu önceki raporlardan daha net kesinlikle ortaya koymakta ve rapora göre, "1951 – 2010 döneminde küresel sıcaklıklardaki artış, kesin olarak (%95 - % 100 ihtimalle) insan etkinliklerinden kaynaklanmaktadır. Sektörel olarak incelendiğinde; küresel ısınmaya katkı % 49 enerji kullanımından, % 24 endüstrileşmeden, % 14 ormansızlaşmadan, % 13 tarımda kaynaklanmaktadır [1].

Toplam sera gazı miktarı içindeki payı % 80 civarında olan karbondioksit gazının küresel ısınma potansiyeli, diğer sera gazlarına kıyasla düşük olmakla beraber, enerjiye ilişkin faaliyetlerde fosil yakıtların kullanılması nedeniyle karbondioksitin atmosfere büyük miktarda bırakılması sonucunda, küresel ısınmaya neden olan en önemli gaz olma özelliğini taşımaktadır.

Antropojenik kökenli CO<sub>2</sub> emisyon kaynaklarında; enerji üretimi % 36 oranıyla birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada ise, 'ulaşım' önemli bir CO<sub>2</sub> emisyon kaynağı olarak görülmektedir. Ulaşım sistemleri dediğimizde; havayolları, demiryolları ve karayolları gibi sistemler mevcuttur. Karayolu, demiryolu, hava yolu, su yolu gibi ulaştırma alt sistemleri; ekolojik sistemi, ekolojik dengeyi ve insan sağlığını farklı oranlarda etkilemektedirler. Ulaştırma alt sistemlerinin yapımı sırasında doğal arazilerin tüketilmesi ve bölünmesi, işletimi sırasında meydana gelen kazalar, hava ve gürültü kirliliği oluşturması ve oluşan CO<sub>2</sub> nedeniyle iklim değişimine katkıda bulunması ekolojik dengeyi olumsuz

etkilemektedir. Bu etkilenmeden tüm canlılar gibi insanlar da zarar görmektedir. Bu sistemlerin ayrı ayrı etkileri incelendiğinde dogaya en fazla karbondioksit gazı veren taşımacılık türü karayoludur [2]. IPPC raporuna göre 2014 yılında dünyada üretilen CO<sub>2</sub> miktarının 18% i taşımacılık sektörüne aittir ve taşımacılık sektöründen kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının 74% ü karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır.

Aslında, çevre sorunlarının öneminin çok daha iyi anlaşılabilmesi için, insan faaliyetlerinin doğal çevre üzerindeki etkilerinin ölçülebilmesi ve rakamlarla somut olarak ortaya konabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, karayollarının iklim değişikliği de dahil olmak üzere; çevresel etkilerinin ortaya konması hedeflenmiştir. Karayolları ile ilgili politika ve stratejiler üretilirken, ‘çevresel etkiler’inde dikkate alınmasının gerekliliği bu tez çalışmasının çıkış noktasını oluşturmuştur.

Bu amaca yönelik olarak, karayollarının yapım, işletme, bakım ve onarım aşamaları dahil olmak üzere, tüm proseslerde sistemin çevresel performansının belirlenmesi için yaşam döngüsü analizi yöntemi kullanılmıştır. Tez çalışmasının bu aşamasında, yaşam döngüsü değerlendirmesi üç adımda gerçekleştirilmiştir: İlk adımda, hedef ve kapsam tanımı ile çalışmanın amaçları ve hedeflenen çıktılara ulaşmak için gerekli ana bileşenler ortaya konularak, karayolu ulaşım sisteminin sınırları belirlenmiştir. Sistem sınırları belirlenirken karayolu uzunluğu, cinsi ve yapımı kapsama alınmıştır. Çalışmanın hedefi, karayollarının, özellikle bitümlü yolların çevresel etkilerinin kapsamlı olarak belirlenebilmesi olduğundan mevcut bitümlü yolların yapım ve bakımlarının farklı etkileri, yol yapım, bakım ve işletme aşamaları değerlendirilmiştir. “1km” karayolunun çevresel etkileri olmak üzere ‘fonksiyonel birim’ belirlenmiştir. Daha sonra, tüm aşamalar için, malzeme ve enerji akışlarına ilişkin veriler derlenerek; sistem sınırları kapalı bir kutu olarak ele alınarak, bu kutuya giren tüm hammadde ve enerji bileşenleri ile kutudan çıkan kirletici bileşenler ve yan salınımlar fonksiyonel birim bazında değerlendirilmiştir. Son olarak ise; yaşam döngüsü analizi (YDA); 3 ana etki kategorisi (insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakların tüketimi) üzerinden yapılmıştır. Mevcut YDA yazılımları arasında yapılan değerlendirmeye göre; ISO 14040’a uygun olması, dünyada en fazla kullanılan YDA yazılımı olması, içerdiği veri tabanının ve metotların kalitesi, kullanım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında, SimaPro 7.1. yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca YDA larda en yaygın olarak kullanılan etki değerlendirme yöntemlerinden biri olan ECO- INDICATOR-99 yöntemi kullanılmıştır.

Yapılan literatür taramalarında; karayollarının çevresel etkilerini YDA ile ortaya koyan çok sınırlı sayıda çalışma olsa da bunlar sadece, etkilerin karakterizasyonunun belirlenmesi aşamasında kalmıştır. Bu tez çalışması ile daha detaylı bir inceleme ile karayollarının etki kategorileri için (insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakların tüketimi) en fazla tahribat nereden gelmektedir.

Çalışmanın ‘Kavramsal Çerçeve’ bölümünde; çevre sorunlarının ortaya çıkışı, hava, su, toprak gibi doğal ortamlar üzerindeki etkileri, iklim değişikliği ve ulaşım sistemlerinin çevresel etkileri tartışılmıştır. Buradan, çevresel etkiler anlamında en kirletici olan karayolları ve özellikle de bitümlü yolların; yaşam döngüsü analizine ışık tutması amacı ile yapım, işletme ve bakım onarım aşamaları hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; yükselen çevre duyarlılığına paralel olarak teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin topluma maliyeti, performansı gibi geleneksel parametrelerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenlerin de karar verme süreçlerinde gözönüne alınmasıyla popülerlik kazanan ‘Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)’ ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca yine bu bölümde, ulaşım sistemlerinin çevresel etkilerine ilişkin dünyada ve ülkemizde yapılan benzer çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Çalışmanın ‘Materyal ve Metod’ bölümünde YDA, verilerin toplanması, sistem sınırlarının oluşturulması, değerlendirilmesi ve yorumlamaya ilişkin detaylar; “1 km” karayolu özelinde tanımlanarak açıklanmıştır.

‘Bulgular ve Tartışma’ da SimaPro programı kullanılarak yapılan, “karakterizasyon analizi”nde; karayollarının etki kategorileri (insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynakların tüketimi) incelenip ve etkilerin birer birer miktarları elde edilmiştir. Daha sonra ağırlandırma bölümünde etkilerin miktarları ortak birimlere çevirerek bu etkiler karşılaştırılmıştır ve etki miktarları hangi işlemlerden ve bu işlemlerin katkı payı ve her işlemde meydana gelen kirletici adı, türü, yayıldığı ortam ve gösterdiği etki miktarı detaylı olarak tartışılmıştır.



## 2. ÇEVRE SORUNLARININ ORTAYA ÇIKIŞI

İnsanoğlu varolduğundan beri, her canlının yaptığı gibi hayatta kalabilmek için yaşam mücadelesi vermiştir. Bu mücadelesinde başarılı da olmuştur. İnsanın başarıya ulaşmasının en önemli nedeni, başlangıçtan günümüze zekasını kullanarak teknolojiyi geliştirmesidir. Başlangıçta son derece basit, derme çatma diyebileceğimiz alet ve yöntemlerle başlayan teknoloji; ilk dönemlerde çok yavaş olmak üzere, günümüze doğru gelindikçe hızlanmış, nihayet baş döndürücü bir hızla gelişerek bugünkü seviyesine ulaşmıştır.

Ancak, insanın yaşama, korunma ve besin olanağı sağlayan çevresi olmadan hayatta kalabilmesi mümkün değildir. İnsan-doğa ilişkisi insanlık tarihiyle başlar. İlk dönemlerdeki ufak ufak müdahaleler tehlikeli olacak boyutlarda değildi. Ancak çevre sorunlarının insanlık gündemine girmesi, sanayi devrimi ile gelen üretim artışı süreçleriyle doğrudan ilişkilidir. Sanayi devrimi'nden önce, insanoğlunun doğayla barışık olduğu dönemlerde çevre kirliliği diye nitelendirilebilecek durumlar ancak savaşlarla ya da nüfusun bir noktada aşırı yığılması ile olmuştur. İlk çağlarda, insanın yaşamını sürdürebilmesi için kullandığı aletler zamanla geliştirilerek daha işlevsel bir hal almıştır. Bu aletler daha zor işleri yapar hale dönüştürülürken, artan nüfusun ihtiyaçları ve artan üretimin getirdiği zenginlik, insanların kullandığı aletlerin artık kol gücüyle üretime katkıda bulunmanın ötesine geçmesi ihtiyacını doğurmuştur. Buharın kullanılmaya başlamasıyla beraber, buhar gücünü elde etmek için kullanılan kömür ve diğer yakıtlar, o güne kadar yeryüzünün görmediği boyutlarda çevre sorunlarını insanlığın gündemine getirmiştir. Sanayi devrimi ile başlayan (18.Yüzyılın son çeyreği) ve giderek yaygınlaşan sanayi kuruluşları başta olmak üzere, oluşan atık ve artıklar 1850'li yıllardan sonra bir çevre sorunu olarak görülmeye başlamıştır. Atmosferde sera etkisi yapan gazların iklim dengelerini bozmaları, toksik madde, zararlı atık ve artıklar sonucu hava, su ve toprak kirliliği, ormanların tahribi ve erozyon gibi olumsuz etmenler çevrenin bir daha geri kazanılamayacak kadar aşırı tahribine yol açmıştır [3].

Üretim ve tüketimdeki hızlı büyüme, dünya nüfusunun hızla artması, serbest piyasa modelinin oluşturduğu aşırı rekabetçi koşullar, sürekli olarak ürün geliştirme ve yenileme

Zorunluluğu, istihdam arttırma çabalardı, toplumun aşırı tüketime yönlendirilmesi, savaşlar ve kazalar beraberinde evre sorunlarını meydana getirmiştir [4].

## **2.1. evre Sorunları**

Günümüzde yaklaşık 7,4 milyar olan dünya nüfusu yılda ortalama %1,7 oranında artmaktadır. Nüfus artışının evre kirliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Nüfus artışının çevrede meydana getirdiği olumsuz etki, tüketim alışkanlıklarıyla birlikte, daha fazla madde ve enerji kullanımına yönelik değişmelerden kaynaklanır [4]. Dünyada ve ülkemizde karşı karşıya gelinen evre sorunları aşağıda özetlenmektedir:

### **2.1.1. Su kirliliği**

Yeryüzündeki sular, güneşin sağladığı enerji ile sürekli bir döngü içinde bulunur. İnsanlar, ihtiyaçları için, suyu bu döngüden alır ve kullandıktan sonra tekrar aynı döngüye iade ederler. Bu süreç sırasında suya karışan maddeler, suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek “su kirliliği” olarak adlandırılan durum ortaya çıkar. Su kirlenmesi, su kaynağının fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde olur. Böylece su kirlenmesi suya bağlı eko sistemlerin etkilenmesine, dengelerin bozulmasına ve giderek doğadaki tüm suların sahip oldukları kendi kendini temizleme kapasitesinin azalmasına veya yok olmasına yol açabilir.

Türkiye’de su kirliliğine neden olan unsurlar; sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı, zirai mücadele ilaçları ve kimyasal gübreler olarak gruplandırılabilir [5]. Bunların içinde, özellikle kentsel kanalizasyonun arıtılmadan ya da kısmen arıtılarak yüzey sularına karışması; topraktaki ve sulama kanallarındaki tarım ilacı ve kimyasal gübre kalıntılarının sulara karışması gelmektedir [6].

### **2.1.2. Hava kirliliği**

Hava denen atmosferik ortamı oluşturan en temel iki gaz azot ve oksijendir. Hava kirliliği canlılığın devamı için, olmazsa olmaz bu gazların oranlarının değişmesi veya dünyamızı koruyan atmosfer tabakasının olumsuz yönde etkilenmesidir. Atmosferdeki toz, duman,

gaz, kötü koku yayan maddeler ile saf olmayan su buharının olumsuz yönde artarak canlılığı tehdit etmesi gelişmenin doğal sonucudur. Ağır sanayi tipi üretim, termik santraller, kömür santralleri, nükleer tesisler, petrol ve petrokimyasal maddelerin üretimi sırasında açığa çıkan zararlı gazların salımı, motorlu taşıtlar, ısınma, vb. aktiviteler atmosferik ortamı oluşturan gaz miktarlarını değiştirir. Havayı kirleten maddelerin niteliği ve yapısına göre zararları da kısa, orta veya uzun vadede kendini göstermektedir.

Türkiye’de bilinen hava kirliliği, genel olarak kentlerdeki ısıtma sistemi, ısıtma amacıyla kullanılan yakıt türleri, kentsel ulaşımında kullanılan hususi otomobil, taksi, dolmuş, otobüs gibi ulaşım araçları ile egzoz gazlarından kaynaklanmakta [7], bunun yanında, endüstriyel merkezlerde bu kaynakların üzerine endüstri emisyonlarından meydana gelen kirlilik de eklenmektedir [7]. Özellikle 1950’lilerden sonra görülen hızlı kentleşme, Türkiye’deki hava kirliliğinin en önemli sebeplerindendir. Evsel ısınma amacıyla yakılan kömür ve fuel-oil emisyonlarının alçak bacalardan atmosfere atılması, kullanılan yakıtın yüksek oranda kükürt ve kül içermesi, ısınma sistemlerinde yanmanın genellikle tam olmaması gibi faktörler yüksek oranda hava kirliliğine yol açmaktadır. Endüstriden kaynaklanan hava kirliliği esas olarak yanlış yer seçimi ve atık gazların yeterli teknik tedbirler alınmadan havaya bırakılması sonucu meydana gelmektedir. Türkiye’de hava kirliliğine sebep olan endüstri kollarının başında, enerji, gübre, demir-çelik, şeker, çimento, petrokimya ve metal endüstrileri gelmektedir [8]. Hava kirliliği, insan sağlığına, doğaya, iklime, flora-faunaya etkilerde bulunduğu gibi ayrıca sera etkisi ve ozon tabakasının incelmeye gibi küresel sorunlara da yol açmaktadır [7]. Kirli hava, insanlar üzerinde olumsuz psikolojik etkiler yaratabilmekte, salgın hastalıklara karşı vücudun direncini azaltmakta, hastalıkların iyileşmesini geciktirmekte, insanların solunanyollarını etkileyerek normal mekanizmasını etkilemektedir. Kirli havanın doğaya olan etkisi, doğal iklim dengesinin bozulmasından tarımsal üretimin düşmesine, toprağın verimliliğinin azalmasından mor ötesi ışınların zararının gözlenmesi vb. Gibi etkileri daha önce tespit edilmiştir.

Hava kirliliğinin kontrol altında tutulması yasal, ekonomik, eğitsel ve teknolojik önlemlerin birlikte ve kararlılıkla yürütülmesine bağlıdır. 2872 sayılı çevre kanunu uyarınca hazırlanan 1986 tarih ve 19269 sayılı “Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği”nde hava kalitesinin korunması için geliştirilen standartlar, bu standartların yorumu ve endüstriyel olarak belirlenen kaynaklar bulunmaktadır [7].

Türkiye’de kentlerdeki hava kalitesi göstergelerini yansıtan istatistikler, SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> gibi hava kirleticilerin konsantrasyonlarının zaman zaman Türkiye Hava Kalitesini Koruma Yönetmeliği’Nin (THKKY) belirlediği sınırların üzerine çıktığını göstermektedir. Özellikle kış aylarında birçok kentte ölçülen değerlerin, belirtilen sekiz aylık kış sezonu ortalama sınır değerlerinin üzerinde olduğu görülmektedir [4].

### 2.1.3. Toprak kirliliği ve erozyonu

Erozyon, toprakların, doğal ya da dış kuvvetlerin etkisiyle, oluştukları yerlerden aşındırılıp taşınması ve başka yerlerde biriktirilmesi olarak tanımlanabilen bir olaydır. Eski çağlardan beri kendi kuralları içerisinde kesintisiz olarak süregelmekte olan bu olay, insanların erozyonu hızlandırmaları sonucunda birçok uygarlıkların çökmesine, göçlere, işgallere ve savaşımlara neden olmuştur. Özellikle son yüzyılda; nüfusun ve dolayısıyla besin maddeleri ihtiyacının hızla artması, erozyon nedeniyle toprakların kaybolmasına, üretkenliklerini kaybetmesi sonucunda üretimin azalmasına, uygun olup olmadığına bakılmaksızın yeni arazilerin tarıma sokulmasına ve tarım alanlarının genişletilmesine yol açmıştır.

Toprak, temas halinde olduğu su ve hava ortamlarında bulunan kirletici maddeler için nihai depolama yeridir. Diğer taraftan toprak, karasal ekosistemin taşıyıcı bir bileşeni olup, kalitesindeki değişim, gerek doğal ve gerekse tarım ekosisteminin verimliliğini doğrudan etkiler. Bu nedenle, toprağın hangi kaynaklar tarafından ve hangi bileşenler (özellikle hangi kimyasallar) ile kirletilebileceğinin bilinmesi, alınacak tedbirlere karar verilmesi noktasında önem taşımaktadır. Toprak kirlenmesine neden olabilecek kaynaklar arasında başlıca;

- Yer altı depolama tanklarından sızmalar,
- Pestisit uygulamaları,
- Kirlenmiş suların yer altı tabakalarına sızması,
- Petrol ve yakıt dökülmeleri,
- Düzenli depolama tesislerinin sızıntı suları,
- Endüstriyel atıkların doğrudan toprağa atılması,

Sayılabılır. Bunların yanı sıra, tarım arazilerinin yakınından geçen karayollarından dolayı egzoz gazları, yerleşim yerlerinden çıkan atıkların kontrolsüz şekilde araziye atılmaları,



tarımsal sahalarda bilinçsiz kimyasal madde kullanımı da, kirlilik kaynakları olarak sınıflandırılabilir. Toprağın doğal yapısını değiştirebilecek diğer bir faktör de, asit yağmurlarıdır. Her türlü yanma (konut, endüstri, araç kaynaklı) prosesinden çıkan karbon dioksit, azot dioksit, kükürt dioksit gibi gazlar, havadaki su buharı ile birleşerek asit damlacıklarını oluşturur, asit damlacıklarının yağışlarla yeryüzüne inmesi sonucu, gerek su kaynaklarında gerekse toprakta pH değişikliği meydana gelir. Topraktaki pH değişikliği ise, bazı bileşenlerin (ağır metaller, vd.) serbest hale geçmesine, bu suretle de toprağın doğal yapısının bozulmasına yol açar.

#### **2.1.4. Gürültü kirliliği**

Belirgin bir yapısı olmayan, içerdiği ögelerle kişiyi bedensel ve ruhsal olarak olumsuz etkileyen, insanların işitme sağlığını ve algılamasını bozan, iş performansını azaltan, çevrenin hoşluğunu ve sakinliğini yok ederek niteliğini değiştiren önemli bir çevre kirliliği türüdür.

Gürültü ani ve şiddetli olursa geçici 3-4 günlük bir işitme kaybı olur. İnsan birçok şeye fizyolojik olarak uyum sağladığı halde gürültüye uyum sağlayamamaktadır ve gürültünün derecesi ve sunduk kalma süresine göre değişik derecede etkilenmeler görülür ve böylece vücut buna herhangi bir şekilde psikolojik olarak reaksiyon göstermektedir.

Bu sorunlar incelendiğinde hepsine neden olan ve artık radikal önlemler alınması tüm dünya ülkelerince kabul edilen en önemli sorun “iklim değişikliği”dir.

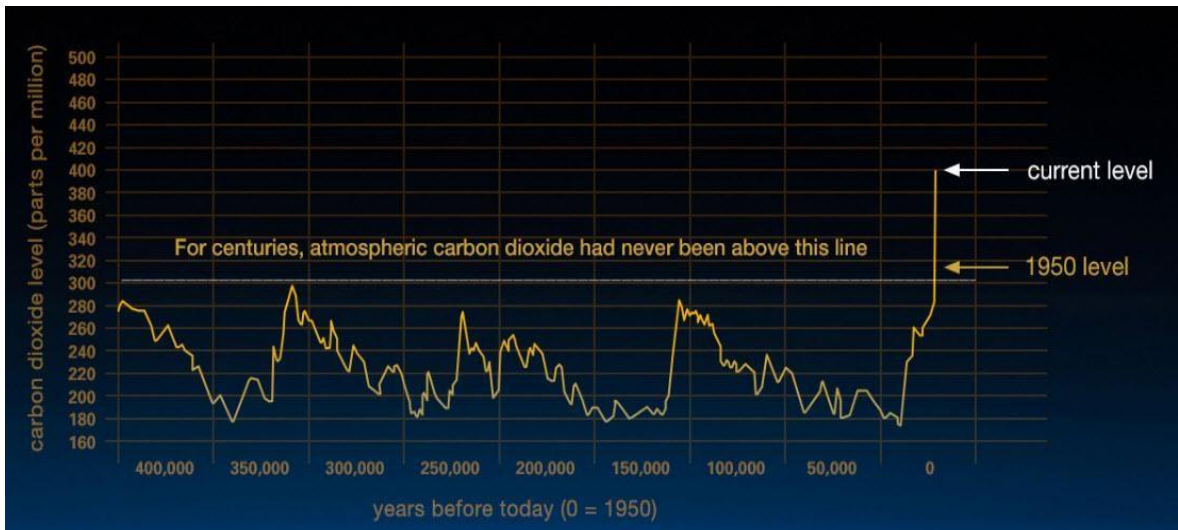
#### **2.2. İklim Değişikliği**

İklim, en basit ifadeyle, yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama durumu olarak tanımlanabilir. Yerküremizin en karmaşık yapılarından birisi olan iklim sistemi; atmosfer, kara yüzeyleri, kar ve buzullar, okyanus ve diğer su kütleleri ve canlılar arasındaki karşılıklı etkileşiminin bir sonucunu yansıtmaktadır. İklim sisteminde yaşanan değişikliklerin temel nedeni, yerkürenin ısınım dengesinin değişime uğramasıdır. Ortalama koşullarda, yerküre/atmosfer sistemine giren kısa dalgalı güneş enerjisi ile geri salınan uzun dalgalı yer ısınımının dengede olması beklenmektedir. Yerküre atmosferinin yapısı içerisinde çok küçük

miktarlarda bulunan ve doğal sera gazları olarak adlandırılan bazı gazlar (su buharı, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ve O<sub>3</sub>), gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen bir yapıya sahiptir. Böylelikle, sera gazlarının varlığı, yerkürenin beklenenden daha fazla ısınmasına yol açmaktadır. Sera etkisi olarak adlandırılan ve yüz milyonlarca yıldan beri yerküremizin ısı dengesini düzenleyen bu doğal süreç, yerküremizin, bu sürecin bulunmadığı ortam koşullarına göre, yaklaşık 33°C daha sıcak bir ortalama sıcaklığa sahip olmasına yol açmaktadır. Ancak, güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengeyi değiştiren herhangi bir etmen, iklim sistemini de etkilemektedir. Bu etmenler, kimi zaman doğal süreçlerle kimi zaman da insan kaynaklı etkinlikler nedeniyle ortaya çıkmaktadır.

Yerküresi tarih boyunca sürekli ısınmıştır ve veri toplama uzayların belgelerine dayanarak bazı kayıtlar NASA tarafından açıklanmıştır. NASA 'nın resmi vebitesindeki verilere göre 19 yüzyılının sonlarından bu yana yeryüzünün ortalama sıcaklığı 1°C ısınmıştır ve 2015 yılı son 35 yılın içinde en sıcak yıl kayıt edilmiştir. Okyanus seviyesi, dağlardaki ve kutup bölgelerindeki kar ve buzulların erimesinden dolayı 17 cm yükselmiştir. Bunların yanı sıra, Antarktika'daki sıcaklık ve buzullarda, okyanus tuzluluk oranlarında, rüzgâr modelleri ve kuraklıklarda, yağış ve tropik siklonlarda olmak üzere bölgesel değişiklikler de gözlenmiştir.

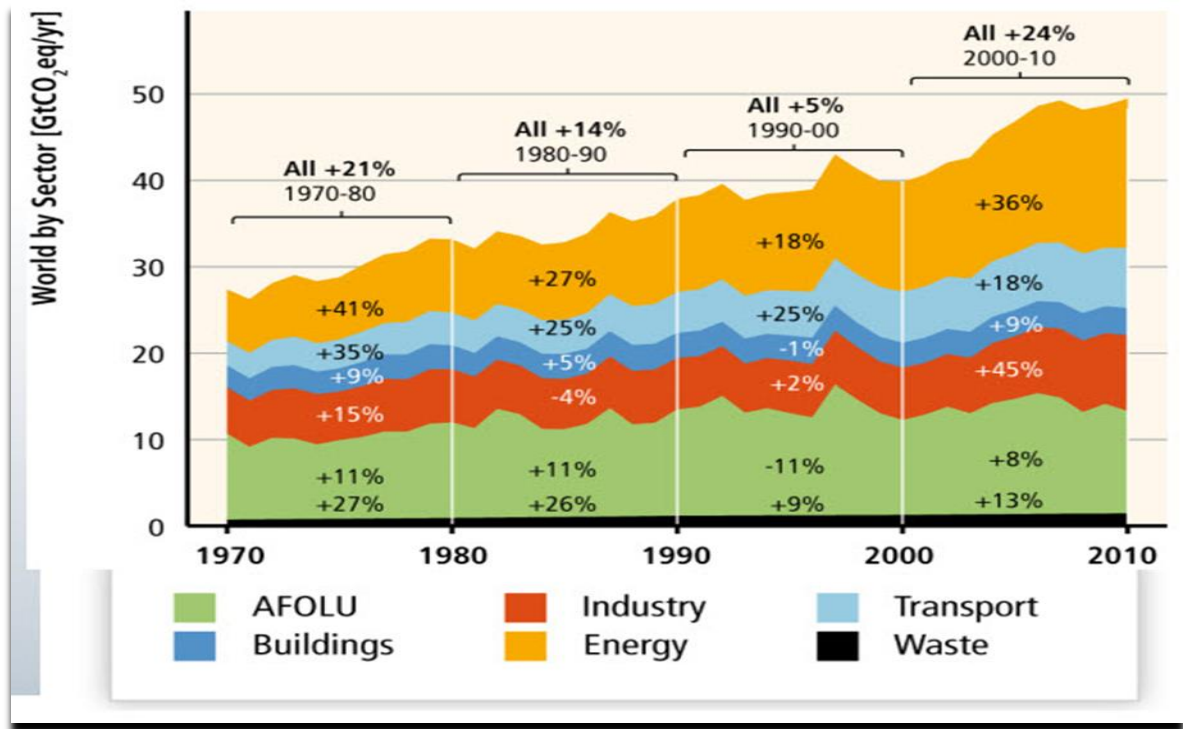
Şekil 2.1'de NASA yayınladığı yerküresinin karbon dioksit değişimi verilmiştir.



Şekil 2.1. NASA yayınladığı yerküresinin karbon dioksit değişimi

Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve azot (N<sub>2</sub>O) gibi sera gazlarının atmosferdeki yoğunlukları, endüstri devriminin başından bu yana önemli ölçüde artmıştır. Bu durum büyük oranda fosil yakıt kullanımı, arazi kullanımındaki değişiklikler ve tarım gibi insan faaliyetleri nedeniyle gerçekleşmiştir. İklim değişikliğinin % 100 antropojenik etkilerle, insan aktivitelerinden kaynaklandığı bilimsel olarak raporlanmıştır. “İklim sistemi üzerindeki insan etkisi açıktır ve sera gazlarının günümüzdeki en yüksek emisyonu tarihte en yüksektir. Yakın zamandaki iklim değişiklikleri, insan ve doğal sistemler üzerinde yaygın etkilere sahiptir” [9].

Şekil 2.2’de incelendiği gibi, antropojenik kökenli CO<sub>2</sub> sürüm kaynaklarında; enerji üretimi % 36 oranıyla birinci sırada yer almaktadır. İkinci sırada ise, ‘ulaşım’ önemli bir CO<sub>2</sub> emisyon kaynağı olarak görülmektedir.



Şekil 2.2. Kaynaklarına göre küresel CO<sub>2</sub> salım dağılım yüzdesi

Ulaşım sistemleri dediğimizde; havayolları, demiryolları ve karayolları gibi sistemler mevcuttur. Bu sistemlerin ayrı ayrı etkileri incelendiğinde doğaya en fazla karbondioksit gazı veren taşımacılık türü karayoludur [2]. IPCC raporuna göre 2014 yılında dünyada üretilen CO<sub>2</sub> miktarının % 18'i taşımacılık sektörüne aittir ve taşımacılık sektöründen

kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının 74% ü karayolu taşımacılığında kaynaklanmaktadır. . Karayollarının taşıdığı öneme bakarak bu tez çalışmasında, karayolu yapımında “1Km”yol uzunluğu için Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Simapro adlı programı kullanarak yapılmıştır ve bu YDA da tüm meydana gelen emisyonlar hesaplanmıştır.

### 2.3. Ulaşım

Ulaşım; insanların ve eşyaların bir noktadan başka bir noktaya hareketi olarak tanımlanmakta olup sosyo-ekonomik gelişmenin temel itici güçlerindedir. Bir ülkenin kalkınmasında en önemli etkenlerden biri etkin bir ulaştırma altyapısına sahip olmaktır. Tarih boyunca da ulaştırma insanların en temel ihtiyaçlarından biri olmuştur. Çevre ise; tüm canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamdır. Bu tariflerden de anlaşılacağı üzere ulaştırma ile çevre kavramı birbiriyle yakından ilintilidir.

Giderek ekonomisi büyüyen, zenginleşen ve globalleşen dünyada, daha fazla taşıma, daha kısa sürede, daha güvenli, daha konforlu ulaştırma talebi öne çıkmaktadır. Bilim ve teknolojinin gelişimi sayesinde, talep ve arzın karşılıklı etkileşimi bağlamında gerek ulaştırma altyapısı gerekse ulaştırma araçlarında bir başka deyişle ulaştırma sektöründe hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Ulaştırma sektörü; karayolları, demiryolları, denizyolları, boru hatları ve havayolları gibi alt sektörlerden oluşmaktadır. Ulaşım faaliyetlerinin tarihsel sürecinde farklı dönemlerde farklı ulaştırma alt sistemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. 18. Yüzyıla kadar denizyolu ve iç su yolu taşımacılığı ön plandayken, 18 Ve 19 yüzyılda sanayi devrimi ve buharlı motorların icadı ile demiryolu taşımacılığı hakim sistem olmuştur. Karayolu taşımacılığı ise 20 yüzyılda ön plana çıkmış, İkinci Dünya Savaşı sonrası hızlı bir şekilde artış eğilimine girmiş ve diğer ulaşım sistemleriyle rekabet edebilir hale gelmiştir [10]. 1970’li yıllarda yaşanan enerji krizinin aşılmasından sonra, 1980’li yıllarda karayolu ile taşımacılık artan eğilimini sürdürmüş ve 2000’li yıllarda pek çok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede yaygın ulaşım sistemi haline gelmiştir [10]. Türkiyede mevcut durum itibarıyla, yolcu taşımacılığının % 95’i, yük taşımacılığının ise % 92’si karayoluyla gerçekleştirilmekte olup karayolu ulaşımı ağırlık kazanmış durumdadır. Türkiye coğrafik konumunun bilincinde olarak, avrupa, asya ve afrika kıtaları arasında ulaştırma bağlantıları oluşturmak amacıyla büyük çaba gösteren ülkelerden birisidir. Ülkemizin karayolları ağı sistemi, kendi ulusal

gelişmesi, aynı zamanda bulunduğu bölgede bütünlüğün ve genel anlamda gelişmenin sağlanabilmesi için bir gereklilik teşkil etmektedir [10].

### 2.3.1. Ulaşım sistemlerinin çevresel etkileri

Ulaştırma sistemlerinin çevreye ve insana verdikleri zararlar farklı boyutlarda ve farklı özelliklerdedir. Karayolu, demiryolu, hava yolu, su yolu gibi ulaştırma alt sistemleri; ekolojik sistemi, ekolojik dengeyi ve insan sağlığını farklı oranlarda etkilemektedirler. Ulaştırma alt sistemlerinin yapımı sırasında doğal arazilerin tüketilmesi ve bölünmesi, işletimi sırasında meydana gelen kazalar, hava ve gürültü kirliliği oluşturması ve oluşan CO<sub>2</sub> nedeniyle iklim değişimine katkıda bulunması ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir. Bu etkilenmeden tüm canlılar gibi insanlar da zarar görmektedir. Ulaştırma alt sistemlerinin çevre üzerindeki başlıca olumsuz etkilerinin özeti, Çizelge 2.1’de gösterilmiştir [11].

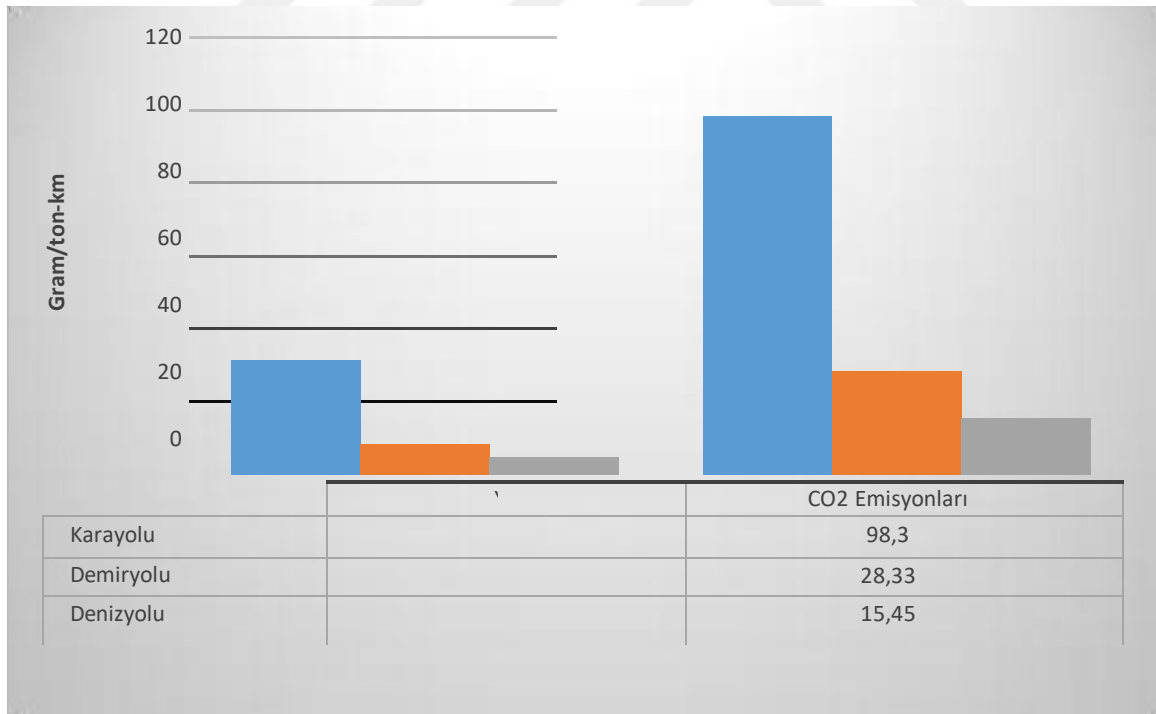
Çizelge 2.1. Ulaştırma alt sistemlerinin çevre üzerindeki başlıca olumsuz etkileri

Çevresel Etki	Ulaştırma Sistemlerinin Etkisi
İklimsel değişim	CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> (NO <sub>x</sub> , su buhari, SO, hava taşımasından kaynaklanan kurum v.b.)
Ozon tabakasının incelməsi	Ozon tabakasına zarar veren maddeler
Asidifikasyon	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub>
Ötrofikasyon	NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub>
Şehirlerdeki hava kirlenmesinin neden olduğu nefes alma güçlüğü, kanser gibi olumsuz sağlık sorunları	NO <sub>2</sub> , PM, PAH, benzen, v.b
Peyzaj üzerindeki etkiler	Tesis inşası ve işletilmesi için arazının doğal yapısının bozma
Atıklar	Su ve toprağın kirlenmesi
Gürültü	Gürültü seviyeleri, L <sub>Aeq</sub> , L <sub>Amax</sub>

Ulaştırma sistemlerinin çevresel olarak en olumsuz etkilerinden birisi hava kirliliğidir. Hava kirliliğinin en büyük sebebi, motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtın yanmasıdır.

Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıtın yanması sonucunda, yakıtı oluşturan hidrokarbonlar havadaki oksijenle birleşmekte, insana ve ekosisteme zararlı olan birçok bileşikler oluşturmaktadır. Karbonmonoksit, ulaştırma nedeni ile buharlaşıp gaz haline gelebilen organik bileşikler (VOC), nitrojen oksitler, kükürt ve azot oksit, hidrokarbon, partikül.

Madde ve kurşun bileşiklerinden oluşan bu zararlı madde emisyonları hava kirliliği yaratmaktadır. Ayrıca yanma sonucunda oluşan CO<sub>2</sub> miktarının ekosistemin kaldıracabileceği düzeyin çok üzerine çıkması durumunda, bu gaz atmosferin üst katmanlarında birikerek sera etkisi yaratmakla, küresel ısınmaya yani iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Önemli bir bölümünü enerji ve ulaştırma sektörünün oluşturduğu CO<sub>2</sub> miktarının azaltılması, dünyanın geleceği için son derece önemlidir. Şekil 2.3 'de, yük taşımacılığı için her bir ulaştırma alt sisteminin yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> emisyonları görülmektedir [11].



Şekil 2.3. Ulaştırma alt sistemlerinin ortalama yakıt tüketimleri ve CO<sub>2</sub> emisyonları (Gram/ton-km)

Şekil 2.3 'den de görüldüğü gibi ulaştırma alt sistemleri içerisinde yakıt tüketimi en fazla olan ve doğaya en fazla karbondioksit gazı veren taşımacılık türü karayoludur.

Büyük hacimli ve uzun mesafeli (>400 km) taşımalarda uygun bir sistem olan demiryolunda ise, karayoluna göre daha az oranda hava kirliliği oluşmaktadır. Demiryolu ile bir seferde, karayolu taşıtına göre daha çok fazla yük taşınabilmektedir. Karayolunda yakıt genelde benzin ve demiryolunda ise dizel ve elektrik kullanılmaktadır. Elektrikli taşıma sırasında hemen hemen hiç kirletici emisyon oluşmaz ancak santrallerde elektrik üretimi sırasında oluşan kirlilik sözkonusudur. Elektrik üretiminin gerçekleştirildiği santral yerinin ve türünün çevreye daha az zarar verecek.

Şekilde seçilebilmesi imkanı, kirlilik açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Demiryollarının hava kirliliğindeki payı ortalama %5 iken, karayollarının payı %85'dir [11].

Bu bilgiler ışığında, ulaşım sistemleri içinde, *karayolları* çevresel etkileri bakımından ve küresel ısınmaya olan katkı anlamında en üst sırada yer almaktadır.

Avrupa asfalt döşeme birliği EAPA estatiklerine göre avrupa karayolu ağının % 90'ından fazlası ve amerika birleşik devletlerinde 92 % 'si asfalt ve bitümlü yollardan oluşmaktadır [12]. Türkiye'de ise yaklaşık 66 bin km karayolu uzunluğundaki karayollarından, 45 bin km si sathi kaplama ve asfalt yollar şeklindedir [13].

Diğer taraftan asfalt yollarda kullanılan maddeler agrega ve petrol ürünlerinden ibaretdir bunun için kaynaklar açısından önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, türkiye'de, hem agrega rezervlerinin hızla tükenmesi, hem de bitüm yönünden dışa bağımlılık ve çevre problemlerinin de daha da önem kazanacak olması ile önümüzdeki 5 -10 yıl içinde atık malzemelerin yol yapımında yeniden kullanılması zorunluluğu ile karşı karşıya kalacaktır [14].

Yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda, asfalt yolların karayolu ağlarındaki önemi açıktır. Bu nedenle bu tez çalışmasında bitümlü karayollarının çevresel etkileri YDA ile değerlendirilecektir.

## **2.4. Bitümlü Yol Yapım Aşamaları ve Özellikleri**

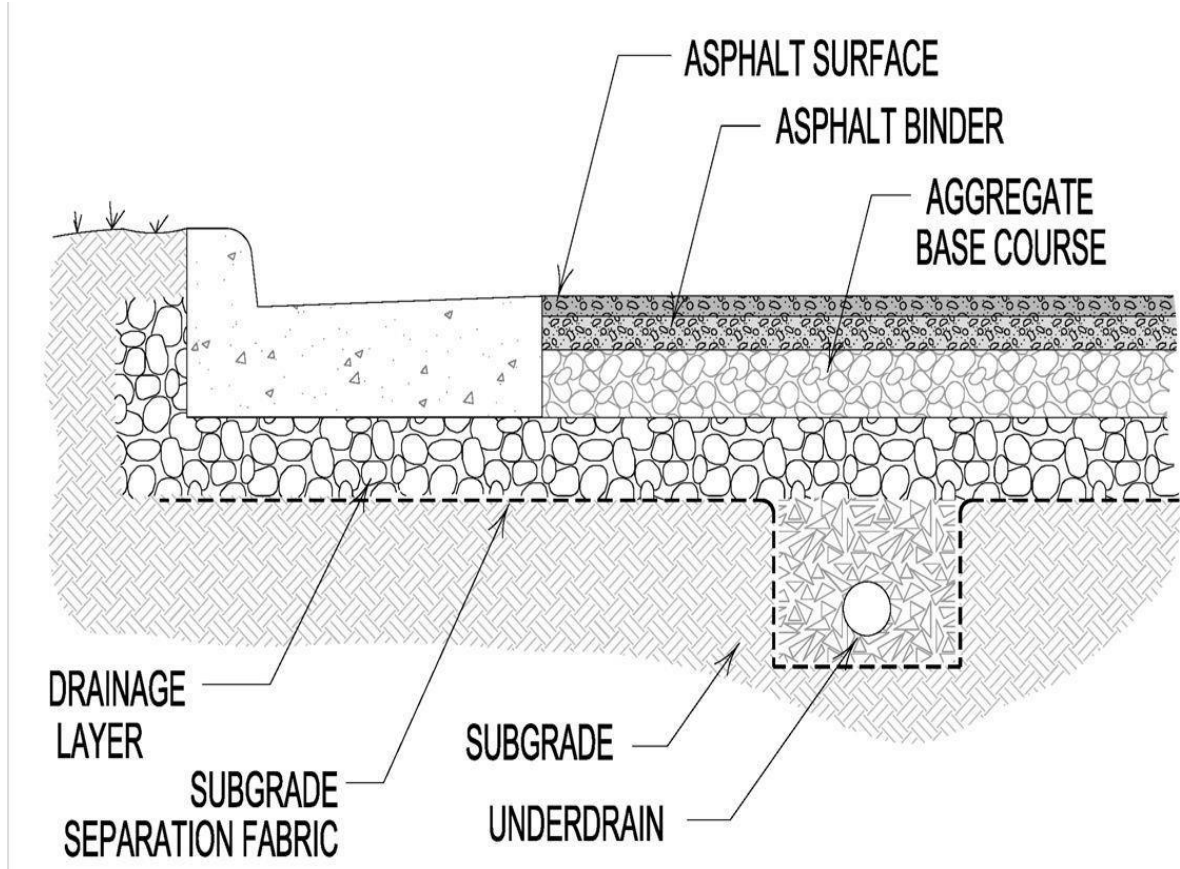
Asfaltlı yol inşaatının geçmişi en fazla 100 yıl öncesine dayanmaktadır, o zamanlarda asfalt, bağlayıcı kullanılmadan yapılan yüzey tabakası üzerinde seyreden araçların kaldırdığı tozu önlemek amacıyla kullanılmıştır. 1900'lü yıllarda otomobilin keşfi ve asfaltın ucuz ve tükenmez bir malzeme olarak görülmesi sonucunda, modern yolların yapımında ve birçok diğer uygulamada yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İlk asfalt karışım plenti 1920 ve 1930 yılları arasında işletmeye alınmıştır.

Türkiye'de ilk asfalt uygulamaları Osmanlı döneminde başlamış ve penetrasyon-makadam kaplamaların yapımında Fransız'lardan destek alınmıştır. Cumhuriyet döneminde, 1929'da başlayan asfalt kaplama yapımı, 1948'de ABD'den sağlanan marshall teknik yardımı ile yaygınlaştırılmış ve 1950'de Karayolları Genel Müdürlüğü-KGM'nin kurulması ile sürekli gelişim dönemi başlamıştır.

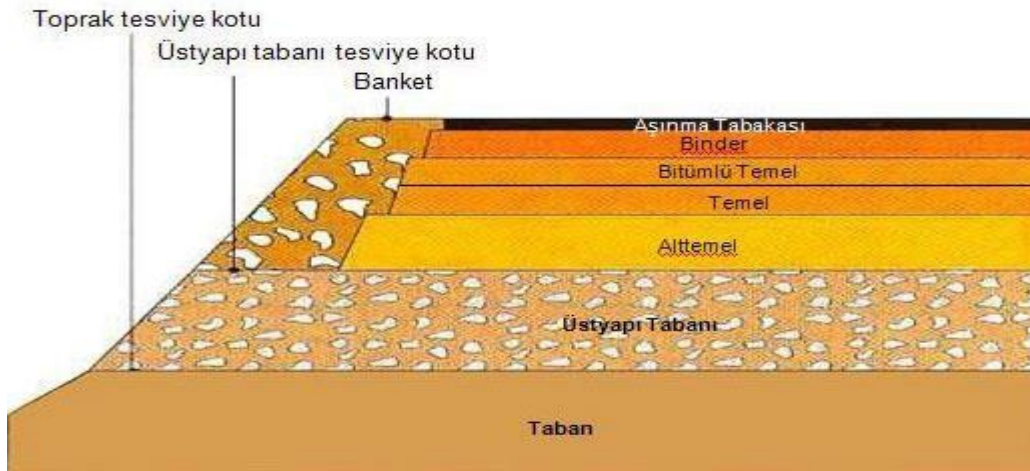
### **2.4.1. Asfalt yolların genel yapıları**

Günümüzde kullanılan asfalt, petrolün doğal bir bileşenidir. Kuyulardan çıkan ham petrol rafinerilerde bileşenlerine ayrılır. Bu temel işlemden sonra bileşenler tekrar rafine edilerek çeşitli ürünlere dönüştürülürler. Bu ürünlerin başında benzin, makine yağı, parafin ve asfalt gelmektedir. Asfalt, ham petrolün damıtılmasından sonra elde edilen atıklardan oluşur. Bu temel atık maddenin kırılmış taş (agrega), su ve bitüm (asfalt çimentosu) ile yeni bir işleme tabi tutulması sonucunda bugünkü yol yapımında kullanılan mamul asfalta ulaşılmaktadır. Aşağıdaki şekillerde asfalt yolların katmanları gösterilmiştir.





Şekil 2.4. Asfalt yolların katmanları



Şekil 2.5. Genel asfalt yolların yapıları

Şekil 2.4 ve Şekil 2.5 asfalt yolların genel yapılarını göstermektedir, her tabakanın kalınlığı yolun trafik durumuna ve yeraltı sularının seviyesine göre değişmektedir.

### **2.4.2. Agregalar**

Asfalt yüzey kaplamasında kullanılan malzemenin % 90 dan fazlasını agregalar teşkil etmektedir. Dolayısıyla yol dizayn süresi boyunca agregalara hayati rol düşmektedir. Bu nedenle kullanılan agregalarda aranan temel özellikler vardır. Yapılan dizaynın özelliğine göre agregalarda aranan özelliklerde farklı olacaktır. Yol tabakası, çeşitli kalınlıkta ve farklı görevleri olan birden fazla katmandan meydana gelmektedir. En üst kısmı oluşturan ve en önemli katmanlardan biri olan aşınma tabakası, yol güvenliği açısından önemli parametrelerden birini meydana getirir [15].

### **2.5. Bitüm**

Bitüm, su geçirmez, yapışkan ve göreceli olarak ucuz bir malzemedir. Bu üstünlükleri, çok çeşitli alanlarda kullanılmasına yolaçar. Kimyasal olarak karmaşık bir karışım olan bitüm, temelde, HİDROKARBON 'lardan (karbon ve hidrojen bileşikleri) oluşur. Katı ya da çok ağırlıklı bir sıvı halinde bulunur ve ısıtılınca yumuşar. Doğada bulunduğu biçimiyle binlerce yıl yapıştırıcı olarak kullanılmıştır. Hâlâ başlıca kullanım alanları, yol yapımı ve çatılardan barajların geçirimsiz tabakalarına kadar çeşitli yerlerin su geçirmez hale getirilmesidir.

### **2.6. Türkiye’de Karayollarının Mevcut Durumu İstatistikleri**

Türkiye’de yurtiçi yük ve yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı karayolu vasıtasıyla yapılmaktadır. Türkiye'deki karayolu uzunlukları incelendiğinde, cumhuriyetin kurulduğu yılda 18.335 km. olan karayolu uzunluğumuzun 1940 yılına gelindiğinde 41,582 km.'ye ulaştığı görülmektedir. Söz konusu artış trendi yıllara göre düşerek artmış olsa da 1960 yılına gelindiğinde ülkemizde 61,542 km.'lik bir yol uzunluğuna ulaşılmış ve toplam karayolu uzunluğunda cumhuriyetin ilk yıllarına göre %230'luk bir artış sağlanmıştır (KGM).

TÜİK istatistiklerine göre türkiyenin yol durumları yolların cinsine göre Çizelge 2.2’de toplam yol uzunluğu olarak gösterilmiştir ancak yolların sınıflarına ve cinsine göre istatistikleri Ek-1 ‘de ifade edilmiştir.

Çizelge 2.2. Yolun kaplama cinsine göre otoyollar, devlet, il ve köy yollarının toplam uzunluğu

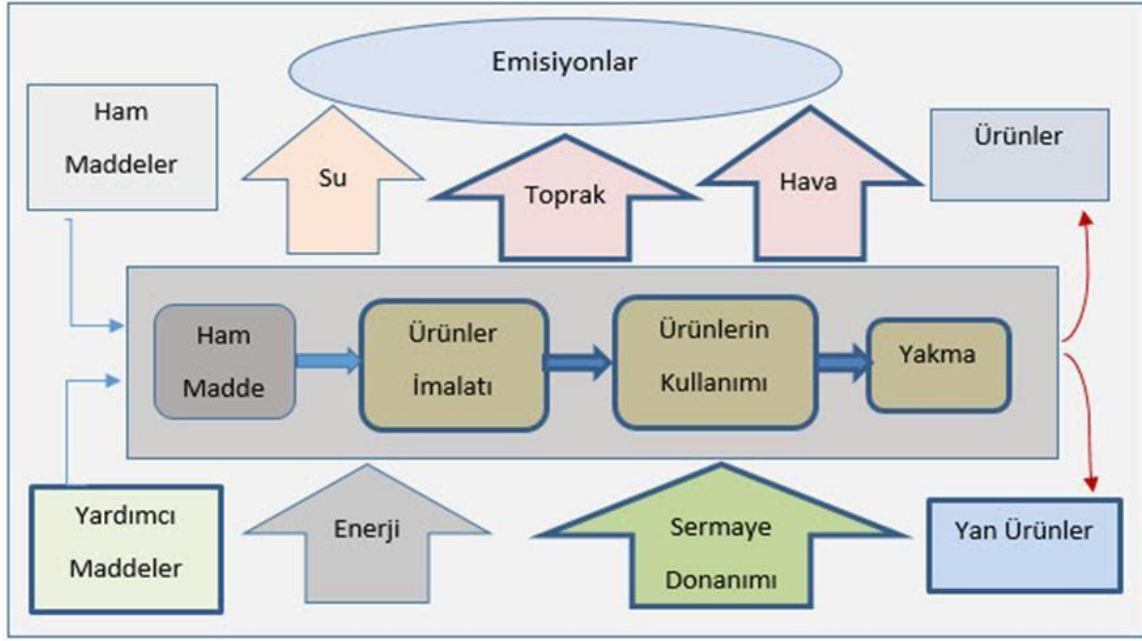
Yıl	Bitümlü (Km)	Parke (Km)	Kırmataş ve stabilize (Km)	Toprak yollar (Km)	Geçit vermeyen (Km)
2001	145,456	139	134,432	73,223	72,989
2002	150,735	126	132,508	59,042	85,000
2003	153,451	132	133,185	56,687	84,960
2004	152,146	136	133,635	.....	10,437
2005	154,056	133	138,220	47,800	9,029
2006	154,278	135	138,145	47,697	9,049
2007	177,763	158	132,383	32,228	8,176
2008	181,782	169	131,113	03,083	8,215
2009	184,938	180	138,375	31,092	8,075
2010	190,107	212	139,194	30,672	7,078
2011	196,324	212	141,790	25,555	6,395
2012	202,788	256	149,288	26,402	7,084
2013	206,748	4,181	811,298	26,081	7,365
2014	132,906	2,733	83,401	14,842	5,630

Çizelgede görüldüğü gibi 2001 ve 2014 yılları arasında en çok yol uzunluğu *bitümlü* ve *kırmataş ve stabilize* yollarına aittir ve genel olarak Türkiye’de kullanılan yol sistemi bitümlü yollardır. Ayrıca bölüm 2.3.1. ‘deki bilgilere göre bu tez çalışmasında incelenecek olan *bitümlü* yollarla ilgili bilgiler aşağıda verilmektedir. Yaşam döngüsü değerlendirmeleri burada verilen veriler doğrultusunda yapılacaktır.



### 3. YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİ (YDA) NEDİR?

Son dönemlerde çevre ile ilgili konularda toplumsal duyarlılığın artmasıyla birlikte, proje geliştirme ve uygulama süreçlerinde verilen tüm kararların çevresel boyutu daha da önem kazanmıştır. Yükselen çevre duyarlılığına paralel olarak teknoloji ve yaşam düzeylerindeki gelişmeler sonucunda her tür projenin topluma maliyeti, performansı gibi geleneksel parametrelerin yanı sıra doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler de karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık göz önünde bulundurulmaya başlanmıştır. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) 90'lı yılların başından bu yana karmaşık karar verme süreçlerinde gittikçe daha sık başvurulan ve sürekli geliştirilen bir yöntemdir [16]. Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Analysis) ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment), bir eylemin tüm çevresel boyutlarını; hammaddenin doğadan eldesinden tüm atıklar tekrar doğaya dönene kadar değerlendiren bir sistemdir. Bu değerlendirme, ürünün işlenmesinde olduğu kadar enerji de dahil olmak üzere hammaddenin üretilmesi, kullanılması ve final bertarafı sırasında havaya, suya ve toprağa olan tüm etkilerini içerir. LCA hem doğrudan (üretim aşamasında oluşan emisyonlar ve kullanılan enerji v.s.), hem de dolaylı (hammadde eldesi, ürünün dağıtılması, tüketici tarafından kullanılması ve bertarafı v.s.) etkileri belirlemek ve ölçmek için kullanılmaktadır (Şekil 3.1). LCA'nin sistematik yaklaşımı, belirli bir ürün veya sistemin etkilerinin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlar. Belirli bir tesise ve sadece sahada oluşan aktivitelere odaklanan endüstriyel bir prosesin çevresel denetimlerinden farklı olarak LCA, firmanın tedarikçileri ve müşterileri ile arasındaki ilişkileri de alır. Bunun sonucu, bir ürünün çevresel etkilerinin beşikten mezara kadar olan toplam analizi ortaya çıkmış olur [17].



Şekil 3.1. YDA'ların genel yapısının gösterimi

Şekil 3.1 'de YDA 'ların genel yapısı göstermiştir, Bu yöntemin hem yaşam döngüsü değerlendirmesi ve hem de analizi olarak kullanılmasının nedeni yapısından kaynaklanır. Çünkü LCA'yı oluşturan bileşenler hem envanter analizini hem de etki değerlendirmesini içerdiğinden, terminolojide bu şekilde kullanılmaktadır. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi'nin önemli bir özelliği, üreticilerin tasarımdan bertarafı kadar ürünlerinden kaynaklanan kirliliğin sorumluluğunu almalarıdır. Bu özellik LCA'yı, "sorumluluk, hammaddenin elde edilmesiyle başlar, tamamlanmış ürünün satışıyla biter" şeklindeki geleneksel düşünceden ayıran ana etmendir. LCA'da bir ürünün veya sürecin yaşam aşamalarında ortaya çıkan tüm etkiler ele alınır. Bu nedenle LCA'lar, olası iki seçeneğin karşılıklı ilişkilerini değerlendirmede de kullanılabilir. Örneğin, floresan ve akkor lambaların karşılaştırılmasında sadece enerji kullanım etkisi ele alınırsa, floresan lamba daha az enerji harcadığı için avantajlı konumda olacaktır. Buna rağmen, kontrol faktörü zehirli atık üretimi olduğu durumda floresan lamba zehirli civa içerdiği için karşılaştırmayı kaybedecektir. Bu durumda LCA sistemi, tüm çevresel etkilerin dikkate alınmasını sağlamakta ve hangi ürünün kullanılacağı konusunda karar verme sürecine yardımcı olmaktadır.

### **3.1. YDA İşlemleri, Aşamaları ve Kavramlarının Tanıtımı**

#### **3.1.1. Hedef ve kapsam**

YDA çalışmasının ilk aşaması olan ‘Amaç ve Kapsam Belirleme’, yapılacak çalışmanın amacını ve yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak olan çevresel etkilerin karar verme sürecine nasıl katılacağına dair yöntemin belirlendiği aşamadır. Karar verme sürecinde katkı sağlayacağına inanılan bilgilerin türleri, katkı sağlayacak sonuçların ne kadar kesin olması gerektiği, sonuçların anlamlı ve kullanılabilir olmasını sağlamak için nasıl yorumlanması ve sunulması gerektiği gibi hususlar bu aşamada netleştirilmelidir.

YDA süreci herhangi bir ürün, süreç veya hizmetten kaynaklanabilecek olası çevresel etkilerin belirlenmesinde kullanılır. YDA’da amaç ve kapsam belirlemek, ne kadar zaman ve kaynağa ihtiyaç duyulacağını ortaya çıkaracağı gibi değerlendirme tamamlandığında en anlamlı sonuçların alınabilmesini sağlayacak şekilde tüm analiz aşamalarına yol gösterecektir. Hedef tanımı ve kapsam belirleme aşamasında alınan her karar, çalışmanın nasıl yönetileceğini ve nihai sonuçların uygunluğunu etkileyecektir.

#### **3.1.2. Yaşam döngüsü envanteri (YDE)**

YDE, bir ürünün, sürecin veya aktivitenin tüm yaşam döngüsü için ham madde ve enerji ihtiyaçlarını, atmosferik emisyonlarını, suyoluyla taşınan emisyonlarını, katı atıklarını ve diğer salımlarını belirleyen bir süreçtir.

Bir YDA çalışmasının yaşam döngüsü envanteri aşamasında, bütün ilgili veriler toplanır ve organize edilir. YDE olmadan karşılaştırmalı çevresel etkiler veya bunlardaki potansiyel değişiklikler belirlenemez. Toplanan verilerin detayları ve doğruluk düzeyi YDA çalışmasının diğer aşamalarının doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler. YDE analizleri çeşitli biçimlerde kullanılabilir. Ürünlerin veya proseslerin karşılaştırılması ve malzeme seçiminde çevresel faktörlerin dikkate alınması buna örnek olarak verilebilir. Bunlara ek olarak envanter analizleri hükümetlere, kaynak kullanımı ve çevresel emisyonlar konusunda politika belirlenmesi ve mevzuat geliştirilmesi için yardımcı olabilir.

### 3.1.3. Etki değerlendirmesi

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, ürün/proses ve bunun olası çevresel etkileri arasında bir bağlantı kurar. Örneğin, atmosfere salınan 9,000 ton karbondioksit veya 5,000-ton metan emisyonlarının etkileri nelerdir? Hangisinin etkisi daha büyüktür? bunların yerel ve küresel çevre sorunlarına etkileri nelerdir? Eğer bir ürün veya süreç sera gazları yayıyorsa, atmosferdeki sera gazlarındaki artış küresel ısınmaya neden olabilir. Doğal bir sucul ortama yüksek düzeyde besiyer madde değarj edilmesi ötrofikasyona katkıda bulunur. Bir YDEA, bu tür çevresel etkilerin sınıflandırılması ve kategorize edilmesi için sistematik bir prosedür sunar.

YDE aşamasında toplanan veriler dikkate alındığında elde edilen envanterin bir süreç hakkında birçok bilgi sağladığı görülür. Ancak alternatifler arasında karşılaştırma yapabilmek için YDEA gereklidir. Örneğin atmosfere salınan 9,000-ton karbondioksitin ve 5000 ton metanın her ikisinin de zararlı olduğunu bildiğimiz halde, hangisinin daha büyük bir etkiye sahip olduğunu sadece bir YDEA çalışması ile belirleyebiliriz. Bu değerlendirmede bilimsel karakterizasyon faktörleri de kullanarak farklı emisyonlara sahip, dolayısıyla farklı çevre sorunlarına etki edecek faaliyetleri karşılaştırılabiliriz.

### 3.1.4. Yorumlama

Yaşam döngüsü analizinin yorumlama aşamasında YDE ve YDEA aşamalarında elde edilen sonuçlar uygun tekniklerin yardımıyla değerlendirilir. YDA'nın son aşaması olan yorumlamanın amacı ISO tarafından şu şekilde tanımlanmıştır;

1. Önceki aşamalarda elde edilen bulguların değerlendirilmesi, sonuçların belirlenmesi, kısıtların tanımlanması, önerilerin yapılması ve YDA çalışması sonuçlarının şeffaf bir biçimde raporlanması
2. YDA çalışmasının sonuçlarının amaç ve kapsam bölümü ile uyumlu olarak, kolay anlaşılabilir, eksiksiz ve tutarlı bir şekilde sunulması.



### 3.2. YDA'larla İlgili Yapılan Çalışmalar

Karayolları ile ilgili Yaşam Döngüsü Analizi üzerine daha önce pek çok çalışma yapılmıştır. Ayrıca bu konuda uzun vadeli analizler yapıldığı gibi spesifik ürün ve hizmetlerle ilgili çalışmalar da mevcuttur. Bu tezi hazırlarken faydalanılan çalışmalar ve bu çalışmaların sonuçları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Facanha ve Horvath'ın yaptıkları çalışmada, ABD karayolu, demiryolu ve havayolu yük taşımacılığında kaynaklanan CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub> gibi kirletici emisyonların belirlenmesinde YDA yöntemini kullanmışlardır [17]. Yapılan çalışmada, her bir ulaşım türü için yakıt tüketimini, altyapı işlemlerini, yolların işletme ve bakım aşamalarını ve bu aşamaların maliyetlerini hesaplamışlardır. Bu çalışma incelendiğinde pek çok açıdan bizim çalışmamızla benzerlikler gösterdiği görülmektedir. Ancak bizim çalışmamızda sadece yukarıda anılan emisyonlar değil; YDA içerisinde olabilecek tüm emisyonlar 3 ana kategori altında incelenmiş ve ayrıca her kategorinin etkileri de ayrı ayrı tartışılmıştır.

Federici ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, İtalya kara ulaşım (karayolu, yüksek hızlı tren demiryolu ve konvansiyonel tren demiryolu) altyapısını incelemiştir. Analizlerinde; kullanılan araçların, demiryolu ve karayollarının, yapım, bakım, onarım, üretim ve/veya inşaat aşamalarında kullanılan malzemeler ile enerji girdileri için ortak bir veri tabanı kullanılmışlardır [18]. Yapılan çalışmada, ulaşım sistemlerinde enerjinin önemi ve enerji tasarrufu tartışılmıştır. Bizim çalışmamızda ise enerji ve karayolu yaşam döngüsünün çevre üzerindeki etkileri incelenmiştir. Özellikle insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve doğal kaynaklar üzerine etkiler analiz edilerek bu etkilerin azaltmasında kullanılabilecek etki değerleri hesaplanmıştır.

Ali'nin yaptığı çalışmada, bir Açık LCA metodolojisi kullanılarak, enerji ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi, asfalt kaplama bir karayolunun yapım, bakım ve işletme hizmetleri üzerinden incelenmiştir [19]. Bitümlü hammadde üretiminde enerji tasarrufunu hesaplamak için bir yöntem geliştirilmiş ve katkı maddelerinin kitlesel enerji akışını değerlendirmek için bir yöntem anlatılmıştır. Bu çalışmada enerji akışı ve tasarrufu üzerinde yoğunlaşmış fakat ve karayolu yaşam döngüsü bütüncül bir sistem olarak

incelenmemiştir. Oysa bizim çalışmamızda karayolu bütüncül ve büyük tek bir sistem olarak incelenmiştir.

Annelie'nin yaptığı çalışmada, son yıllarda kullanılan YDA yöntemlerine dayalı olarak araştırmalar yapmış ve bazı modeller önermiştir [20]. Bu çalışmada incelenen yöntemlerin neden uyumlu ya da uyumsuz olduğu açıklanmıştır. Bu çalışmada genelde mevcut yöntemler karşılaştırılarak her modelin zayıf ve güçlü yönleri üzerinde durulmuştur. Bu çalışmanın yöntem ve metod seçiminde bizim çalışmamız açısından da büyük önemi bulunmaktadır. Çalışmanın analiz edilmesi sonucunda bizim çalışmamız için en uygun metodun "eko indicator" metodu olacağı kanısına varılmıştır.

Samaneh ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, yapım ve inşaat sektörünün çevre kirliliği açısından büyük bir rolü olduğu anlatılmaktadır. İnşaat sektörü yöneticilerinin, projelerin çevresel etkilerini değerlendirebilecek bilgi seviyesine ulaşmalarının çevre açısından önemi vurgulanmıştır [21]. Bu çalışmada çevresel etkiler sadece bir grup uzmana anket dağıtarak elde edilmiş ve inşaat sektöründe sıklıkla karşılaşılan çevre sorunları sorgulanmaya çalışılmıştır. Ancak basit bir araştırma formatındadır ve herhangi bir analiz yapılmamıştır. Bizim çalışmamız ise subjektif bir bakış açısıyla yapılmamış, çok kriterli bir veri tabanına dayalı analizler yapılmıştır.

Şükriye ve diğerlerinin yaptıkları makalede, karayolu yapımı ve karayolu trafiğinin insan ve sosyal çevre üzerindeki olumsuz etkileri; toplumsal yaşam ve ekonomik etkinlikler, kamulaştırma ve yeniden yerleştirme, geleneksel veya yerli toplum, kültürel miras, estetik ve peyzaj, gürültü ve yol güvenliği olmak üzere, yedi başlık altında incelenmişlerdir [22]. Daha sonra, yine aynı başlıklar altında, bu etkilere karşı alınabilecek önlemler açıklanmıştır. Sonuçta ise, karayolu yapımı ve karayolu trafiğinin insan ve sosyal çevre üzerindeki etkilerinin saptanıp, bunlar ile ilgili önlemlerin planlanmasının ve uygulanmasının önemi vurgulanmıştır ve bu konunun Türkiye Karayolları için de etkin biçimde dikkate alınması önerilmiştir. Karayolu, insan ve çevresi arasındaki mevcut dengeye katkı sağlamasının yanında, bu dengeyi bozabilmektedir. Bu bakımdan, karayollarının çevresel değerlendirilmesi bağlamında, karayolu yapımı ve iyileştirilmesi ile karayolu trafiğinin insan ve sosyal çevre üzerindeki potansiyel olumsuz çevresel etkilerinin önceden, karayolunun planlanması aşamasında saptanıp, yol çalışmasının uygun aşamasında, bu etkilerden kaçınmak veya bu etkileri azaltmak için gerekli girişimlerde bulunulması gerekmektedir. Bu makaleye göre öncelikle, karayolunun insan ve sosyal

çevre üzerindeki tüm olumsuz etkileri tanımlanmalı, sonra bu etkiler miktar olarak belirlenmeli ve daha sonra da bu etkilerden kaçınmak, etkileri azaltmak ve telafi etmek için gerekli işlemler saptanmalıdır. Gerçekçi bir karayolu ulaşım planlamasının, karayolu projelerinin hazırlanması ve yönetiminde, çevre faktörünün önemli bir husus olduğunu çağırıştırması nedeniyle, Türkiye'deki yeni yapılacak veya iyileştirilecek mevcut karayollarının planlanması aşamasında, karayolunun doğal çevrenin yanı sıra, insan ve sosyal çevre üzerindeki doğrudan ve dolaylı tüm olumsuz etkilerinin de göz önünde bulundurulmasının, yaşanan çağın gereği de olarak, uygun olacağı düşünülmektedir.

Fauziah ve diğerlerinin çalışmalarında, inceledikleri karayolu kaplama yapımı ve bakımı işine ait çevresel etkileri değerlendirerek bu konuda güncel bilgiler sunmuşlardır [23]. Bu çalışmada karayolu kaplama konusunda YDA için yapılan araştırmaların günümüzde çoğalmasına rağmen çevresel etkiler açısından bilgilerin eksik olduğu ve araştırmaların düzenli olarak yapılamadığından bahsedilmektedir.

Fabio ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, İngiltere'de şehirlerarası asfalt kaplama bir yolu örnek alınmış ve yol kaplamasının yaşam döngüsü analizinde bakım ve onarım sırasında oluşan gecikmeler nedeniyle artan trafik kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır [24]. Ancak, bu çalışma genelde CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonları üzerinde durulmuş, trafik durumuna göre emisyon miktarları analiz edilmiştir. Kısaca trafik yoğunluğunun çevresel etkileri incelenmiştir.

John ve diğerlerinin makalelerinde, yol kaplamalarında YDA modellemesiyle özellikle GHG emisyonları, bunların yorumlanması, analizi ve azaltımları konusunda çalışma yapmıştır [25]. Bu çalışma önceki ve mevcut projelerin bir dizi araştırma sentezidir ve hem mevcut yöntem ve bulguları karşılaştırarak hem de geliştirmekte olan veya şu anda tartışılan yöntemleri incelemiştir. Çalışmanın amacı, politika yapıcıları bilgilendirmek, yol kaplama endüstrisi ve diğer araştırmacılar için YDA'nın önemini anlatmak ve olumsuz çevresel etkileri azaltmak amacıyla tavsiyelerde bulunmaktır. Bu çalışmanın hedefi GHG emisyonlarının analizidir. Önerilen yöntemler karar alma aşamasında oldukça önemlidir ve bizim çalışmamızdaki bazı önerilerle benzerlikler taşımaktadır.

Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bu tez kapsamında ana etki alanları alt başlıklar özelinde detaylı olarak incelenmiştir.



## 4. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada bitümlü kara yollarının çevre, insan ve kaynaklar üzerindeki etkilerini SimaPro yazılım veri tabanlarını kullanarak hesaplamak amaçlanmıştır. Bu etkileri değerlendirebilmek amacıyla, “yaşam döngüsü analizi” (YDA) yapılmıştır.

### 4.1. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)

Günümüzde YDA yönteminin uygulandığı birçok ticari yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlar, içerdikleri veri tabanına, etki değerlendirme yöntemlerine, ISO 14040’a uygunluklarına göre farklılaşmaktadır. Mevcut YDA yazılımları arasında yapılan değerlendirmeye göre; ISO 14040’a uygun olması, dünyada en fazla kullanılan YDA yazılımı olması, içerdiği veri tabanının ve metotların kalitesi, kullanım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı bu tez çalışmasında, SimaPro 7.1. yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir. SimaPro 7.1. Yazılımında analizler için bir çok metod bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında ECO- INDICATOR-99 yöntemi kullanılmıştır ki YDA ’larda en yaygın kullanılan etki değerlendirme yöntemlerinden biridir.

Öncelikle, amaca yönelik olarak, fonksiyonel birim ve sistem sınırları belirlenmiştir. Fonksiyonel birim olarak "Km", yolların uzunluğu olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamı ve sistem sınırları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Sistem sınırları belirlenirken karayolu uzunluğu, cinsi ve yapımı kapsama alınmıştır. Çalışmanın hedefi, karayollarının, özellikle bitümlü yolların çevresel etkilerinin kapsamlı olarak belirlenebilmesi olduğundan mevcut bitümlü yolların yapım ve bakımlarının farklı etkileri, yol yapım, bakım ve işletme aşamaları değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntem Eko-gösterge 99 da mevcut olan özellikler aşağıda verilmiştir.

#### 4.1.1. Eko- Gösterge 99

Eko-gösterge 99’da değerlendirilen etkiler insan sağlığı, ekosistem kalitesi ve kaynaklar olmak üzere üç ana kategoriden oluşmaktadır ve bu ana kategoriler alt kategorilere bölünerek incelenmektedir.

İnsan sağlığı: Yöntemde bu etki kategorisinin birimi DALY (Disability Adjusted Life Years) olarak verilmiştir. DALY, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Bankası tarafından geliştirilmiş, hastalığa ve ölüme neden olan sağlık etkilerini tanımlamakta kullanılan bir birimdir. Kanser veya solunumsal etkiler gibi ölüme neden olan sağlık etkileri, kaybedilen yaşam yılları (YOL, years of life lost) göstergesi kullanılarak tanımlanmaktadır. Solunumla ilgili sağlık etkileri akut ve kronik olarak ele alınmaktadır. Ölümcül bir hastalık nedeniyle kaybedilen yaşam yılı sayısını hesaplamak için WHO tarafından pek çok istatistik kullanılmıştır. Bu istatistikler, kanserden veya solunumla ilgili bir sağlık etkisinden kaynaklanan ölümün hangi yaşta ve hangi oranda gerçekleştiğini göstermektedir. Bu istatistiklerde, doz ve maruz kalma değeri birleştirilerek, belirli bir kirleticinin derişimindeki artış nedeniyle kaç yaşam yılının kaybedildiği hesaplanabilmektedir. DALY, sadece ölümcül etkileri değil, aynı zamanda, ölüme hemen neden olmayan belirli bir süre acı ve ağrı vererek yaşam kalitesini düşüren etkileri de (öksürük, astım, hastanede yatma v.b.) dikkate almaktadır. Bu etkiler yetersizlik yılları (YLD, years of disability) olarak açıklanmaktadır. Hastalığa, acı ve ağrı çekmeye bağlı olarak hastalığın ağırlıklandırma faktörü 0 ile 1 arasında değişmektedir. 0,5 ağırlık faktörüne sahip olan bir hastalıkta, ağırlı geçen 1 yıl, erken ölüm yılının yarı şiddetinde olarak kabul edilmektedir. İnsan sağlığı kategorisinde bulunan alt kategoriler ise;

- Karsinojenler (Kansere neden olan maddeler): Her sektör (Mg C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl eşdeğeri) den toksikolojik risk ve hava, su, toprak ve tarım toprağı içine salınan kanserojen kimyasalların potansiyel etkilerini temsil eder. Değerler IMPACT 2002 modelinden elde edilmiştir.
- Solunan organik (solunumla ilgili hastalıklara neden olan organik maddelerin salımı): her sektör (kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eşdeğeri) den havaya salınan organik parçacıkların solunansağlık risklerin temsil eder. Değerler Eko-Gösterge 99 'dan elde edilmiştir.
- Solunaninorganik (solunumla ilgili hastalıklara neden olan inorganik maddelerin salımı): Her sektör (kg PM<sub>2.5</sub> eşdeğeri) de havaya salınan inorganik parçacıkların solunansağlık risklerin temsil eder. Değerler Eko-Gösterge 99 'dan elde edilmiştir.
- İklim değişikliği: küresel ısınmaya neden olan kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri. İklim değişikliği toplum ve ekosistem üzerinde geniş etkilere neden olmasına rağmen, sera gazı emisyonlarının YDA 'nın karakterizasyon modellemeleri için kullanılabilirliği açısından ortak bir özelliğe sahiptir. Sera gazı emisyonlarının karakterizasyonu, kirleticilerin atmosferdeki radyasyona neden olmasına dayanır. Örnek olarak, artan

sıcaklıkla, kirleticilerin atmosferdeki kızılötesi radyasyonu absorplama kapasitesi gösterilebilir. İklim değişikliğine sadece karbondioksit değil, metan, kloroflorokarbonlar (CFC'ler), azot oksitler ve kızıl ötesi absorplama kapasitesine sahip atmosferdeki diğer küçük gaz karışımları neden olmaktadır. Bu kirleticiler CO<sub>2</sub> ile karşılaştırıldığında daha yüksek absorplama verimine sahiptir. Bir kirleticinin iklim değişikliğine olan katkısı küresel ısınma potansiyeli (GWP) olarak ifade edilmektedir [17].

- Radyasyon: havaya salınan kBq U<sup>235</sup> eşdeğeri olarak tanımlanmaktadır.
- Ozon tabakası: kg CFC-11 eşdeğeri olarak ifade edilmektedir ve Ozon tabakasında tahribata neden olan madde salınımları sonucu artan UV ışımının yarattığı hasar olup, DALY/kg olarak verilmiştir. Bu hasara neden olan maddelere örnek olarak CFC-115, metan, bromo-, Halon 1001 verilebilir
- Ekosistem kalitesi; Ekosistem kalitesi, ekotoksosite ve asidifikasyon/ötrofikasyon olmak üzere iki zarar sınıfını içermektedir.
- Ekotoksosite: toksisite kategorilerinin birçok kirleticiyi içermesi bu kategorinin karmaşık olmasına neden olur. Örneğin organik çözücüler, ağır metaller ve pestisitler toksik etkinin farklı çeşitlerini oluşturmaktadır. Bazı kirleticiler nörolojik hasar verirken, diğerleri mutajenik, karsinojenik gibi etkilere neden olmaktadır. Toksik kirleticiler hızlı bir şekilde yayılır, örneğin tarım alanlarında kullanılan pestisit bir süre sonra topraktan sızarak içme ve kullanma sularında olumsuz durumlar yaratabilir. Bundan dolayı, toksik etki kategorisi (toksisite) genellikle insan toksisitesi ve eko- toksisite olarak ayrılmaktadır. Eko-toksosite, sırasıyla sucul eko- toksisite ve karasal ekotoksositeye, sucul eko-toksosite yüzey sularına olan toksisite ve deniz ekosistemine olan toksisiteye ayrılır. Deniz ve yüzey sularına olan toksisite, akut ve kronik toksisiteye kadar uzanmaktadır. Toksisite etkisi 1,4 Diklorobenzen (DB) eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır.
- Asitlenme: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl ve NH<sub>3</sub>, asidifikasyon etkisine neden olan temel kirleticilerdir. Asidifikasyon etkisine neden olan kirleticilerin arasındaki ortak durum, kirleticilerin H<sup>+</sup> iyonlarına dönüşmesidir. Bir kirleticinin potansiyel asidifikasyon etkisi onun H<sup>+</sup> iyonlarına dönüşebilme kapasitesi ile ölçülebilir. Bu durum YDA'daki karakterizasyon modellemelerinde kullanılmıştır. Asidifikasyon potansiyelinin eşdeğerliği; kg kirleticinin SO<sub>2</sub>'ye bağlı oluşturduğu H<sup>+</sup> iyonunun sayısı olarak hesaplanmaktadır.

- Ötrofikasyon: Ötrofikasyon hem kara, hem de su ekosistemini etkilemektedir. Azot ve fosfor diğer kirleticilere göre ötrofikasyon etkisine daha çok neden olmaktadır ve genellikle azot ve fosfor içeren besinlerin yüksek seviyelere ulaşmasıyla ekosistemdeki biyolojik üretkenliğin artması sonucu meydana gelen çevresel etkilerle ilişkilendirilmektedir. YDA'da ötrofikasyon etki kategorisi bazen nitrifikasyon olarak da adlandırılabilir. Fakat ötrofikasyona sadece azot ve fosfor içeren besi elementleri değil, hem bozunabilir organik kirleticiler, hem de biyolojik üretkenliğin artmasına neden olan atık ısı gibi kirleticilerin de neden olduğu bilinmektedir. Örneğin, bozunabilir organik kirleticinin sucul bir ekosisteme deşarj edilmesi sonrası, o ekosistemdeki oksijen seviyesine olan olumsuz etkisi düşünülebilir veya atık ısı ile birlikte ekosistemde yaşayan canlı üretkenliğinin artması sonucu, canlı formasyonunda değişim ve göldeki oksijen seviyesindeki azalması, karakterizasyon modellemelerinde düşünülebilir. Ötrofikasyon etkisi, sucul ekosistemdeki canlı kütesinin parçalanması için bir kimyasal formüldeki azot, fosfor, karbon ve oksijen oranlarına dayandırılarak hesaplanır. Ötrofikasyon potansiyeli  $PO_4^{3-}$  olarak ifade edilmekte fakat kimyasal formülde mol oranları göz önüne alındığında  $PO_4^{3-}$  eşdeğeri kolaylıkla  $NO_3^-$  veya  $O_2^-$  eşdeğerine çevrilebilmektedir [27].
- Arazi kullanımı; insan faaliyetlerinden her türlü doğal arazi tahribatı veya işgal edilen araziler olarak değerlendirmektedir.
- Doğal kaynakların tüketimi; İnsanlar her zaman düşük kaliteli kaynağı ileriye bırakarak en iyi kaynağı en önce tüketme eğiliminde olmuşlardır. Doğal kaynaklara verilen zararın sonuçlarından gelecek nesiller etkileneceğinden, kalan kaynakları kullanabilmek için daha fazla çaba harcayacaklardır. Bu fazladan çaba "fazla enerji" (surplus energy) olarak açıklanmaktadır. Mineraller, maden cevheri miktarının azalması nedeniyle 1 kg cevher veya maden elde etmek için harcanan fazla enerjilolup, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örneğin; alüminyum, boksit, bakır gibi. Fosil yakıtlar, düşük kaliteli kaynakların kullanımını sonucu, 1 kg veya 1 m<sup>3</sup> fosil yakıtı elde etmek için harcanan fazla enerji, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: kömür, doğal gaz gibi [28].



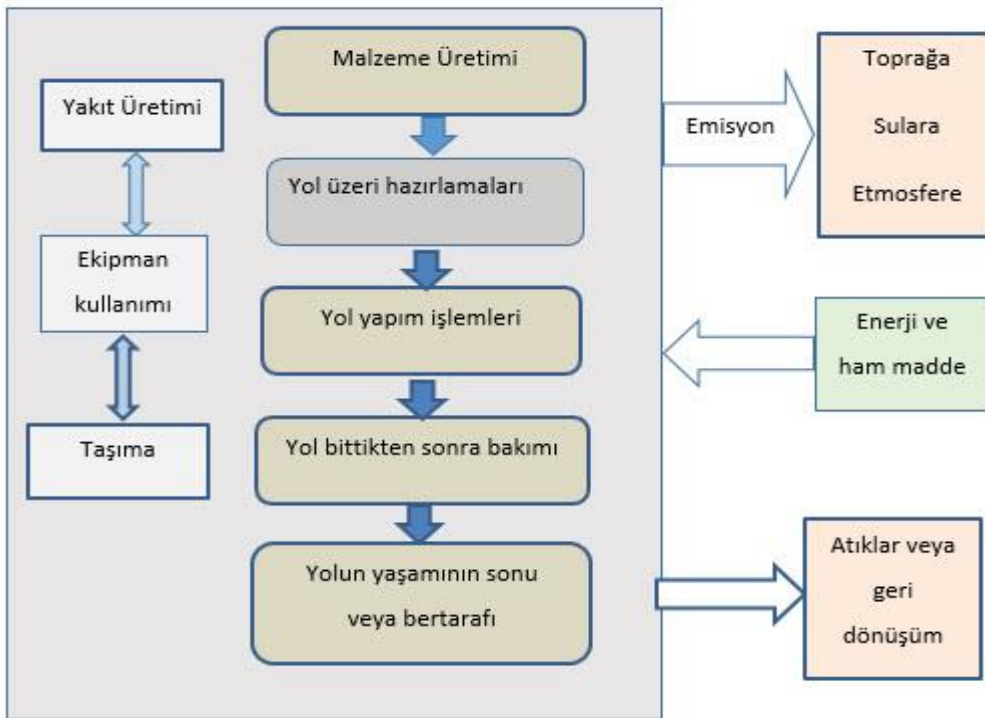
## 4.2. Sistem Sınırları

LCA'nın kapsamının belirlenmesinde, çalışmanın sistem sınırlarının belirlenmesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Sistem sınırları, çalışmada seçilen prosesleri (üretim, nakliye, atık yönetimi v.b.) ve LCA çalışmasında ele alınacak olan girdileri ve çıktıları tanımlamaktadır. LCA çalışmalarında sistem sınırları aşağıdaki aşamalardan oluşur;

- Hammaddenin ve enerjinin eldesi
- Üretim (malzemelerin fabrikaya nakliyesi, fabrikada üretilmesi, ambalajlama, ürünlerin dağıtılması)
- Kullanım/yeniden kullanım/bakım onarım
- Geri dönüşüm/yakma/deponi vb. atık yönetimi.

Sistem sınırları tanımlanırken, sisteme ait proses/ürün akış diyagramlarının kurulması ve sistem sınırlarının daha açık bir şekilde tanımlanması gerekmektedir.

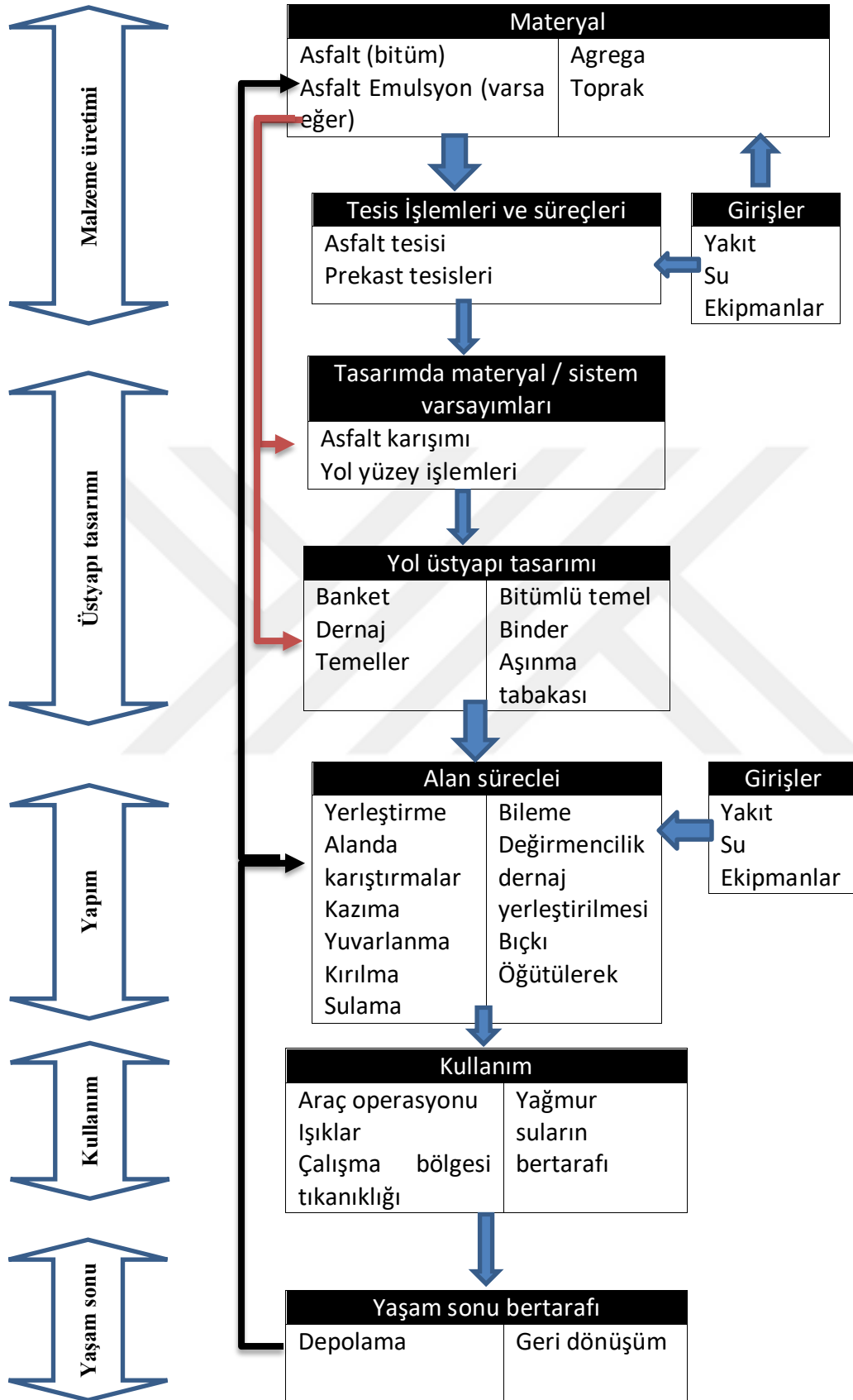
Böylelikle, proseslerin akış diyagramları oluşturularak, seçilen sistemler/prosesler kapalı birer kutu olarak ele alınabilecek ve sisteme/prosesse giren malzeme ve enerji akışı belirlenebilecektir.



Şekil 4.1. Bitümlü yol için sistem sınırları

Şekil 4.1‘de yol çalışmalarında sistem sınırları gösterilerek, 3 farklı grupta ele alınmıştır;

1. Birinci grup; yol yapımından önce hazırlık aşaması sırasındaki etkleri içerir. Malzeme ve ekipmanların taşınması ve kullanımını içerir. Bu aşamada malzemelerin nakliyesi esnasındaki etkiler, kullanan yakıtlar ve bu yakıtların üretimi sözkonusudur.
2. İkinci grup ise, Şekil 4.1 den de görüleceği üzere, yolun inşaatı ve inşaatlar için kullanılan malzemeler, yolun inşaatından sonra bakımı ve yolun ömrünü tamamlamasından sonra bertarafı gibi işlemlerden oluşmaktadır. Bu aşamada gerçekleştirilen, tüm taşıma (nakliye) işlemleri birinci grup kapsamında ele alınmıştır.
3. Üçüncü grupta sistemden meydana gelen emisyonlar ve atıklar ile sisteme verilen enerji ve ham maddeler yer almaktadır. Kullanılan enerji ve ham maddelerin etkileri yol yapımında yani birinci ve ikinci aşamalarda hesaplanmıştır ama enerji ve ham maddelerin kendi üretimi ve işlemleri sistem olarak yol yapımında hesaplanmamıştır.



Şekil 4.2. Karayolu sistem sınırları daha ayrıntılı. Oklar tipik taşıma veya süreç sıralarını temsil eder

gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, karayollarının YDA'sı beş farklı adımdan oluşmaktadır ve her aşamada mühendislik açısından neler yapıldığı gösterilmiştir. Ancak bu aşamaların farklı coğrafi bölgelerde ve farklı şirketler tarafından yapılan üretimlerde farklılık gösterebileceği unutulmamalıdır. Bu şekil sadece bir örnek olarak verilmiştir.

### 4.3. Tezin Envanter Analizi

Taşıt ile ilgili hesaplamalar, tarif edilen sistemde her türlü taşıtlar; işletme sırasında malzeme taşımaları, araçların üretimi, yolun yapımı, altyapı ve yolun işleme başlamadan işlemler ve yakıt nakliyesi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Altyapı inşaatlarında ise bina materyalleri, inşaat makine kullanımları, inşaatlar için kullanılan enerjiler, meydana gelen emisyonlar ve trafiğe neden olan hareketler hesaba katılmıştır.

Araba, tren, kamyon, tır ve taşıma araçların yapımında meydana gelen emisyon ve atıklar bu çalışmada hesaplanmamıştır;

- Hammadde eldesi: Karayolu yapımında en önemli malzemeler bitüm ve agregalardır. Simapro veri tabanında olan farklı veriler vardır ki hangi veri tabanın seçmemiz sonuçlarda büyük bir değişiklikler yaratmayacaktır ve genel olarak avrupa ülkelerine dayalı veriler veritabanında toplanmıştır. Agregalar eldesi ve yaşam döngüsü, İsveçre zürih, ETH üniversitesi verilerine dayalıdır. Agregat çıkarımı ve kullanılan enerji çeşitli verilerden ETH tarafından elde edilmiştir ve arazi kullanımı ETH tarafından tahmini olarak hesaplanmıştır.
- Bitüm ve ham petrol ürün seçimi ise İsveçre ve batı avrupa verileridir ki Petrol sahası araştırması, Ham petrol üretimi, uzun mesafe taşımacılığı, petrol arıtımı, bölgesel dağılım ve ham petrol ürünlerinin yerel ve sanayi kullanımı, Santrallerde ve buji ile ateşlemeli motorlarda gibi işlemlerin.
- Enerji eldesi; Sistem modeli enerjisi taşıyıcıları enerji kullanımları olan ticari ürünlerin üretimini açıklar. Petrol ürünleri (hafif ve ağır yakıt petrol, dizel ve benzin), kömür ve linyit ürünleri (liniyit briket, linyit tozu, sert kömür briketleri ve kola, tek tek batı avrupa ülkelerine verilen katı kömür ve avrupa madenlerinden linyit), doğal gaz ürünleri (Tek tek Batı Avrupa ülkeleri için yüksek basınçlı doğal gaz ve İsveçre için düşük basınçlı doğal gaz), hesaplanmıştır.

- Taşıtlar: Simapro veri tabanına göre malzeme üretimi ortalama 5,000 km mesafe taşınması üzerinde hesaplanmıştır ve araçları malzemeni teslim ettikten sonra fabrikaya boş geri dönmesi varsayılmıştır. Çalışmadaki yollar şahsi arabalar, dolmuş, 16 ton, 28 ton ve 40 ton kamyonları taşıyabilen yollar için varsayılmıştır.



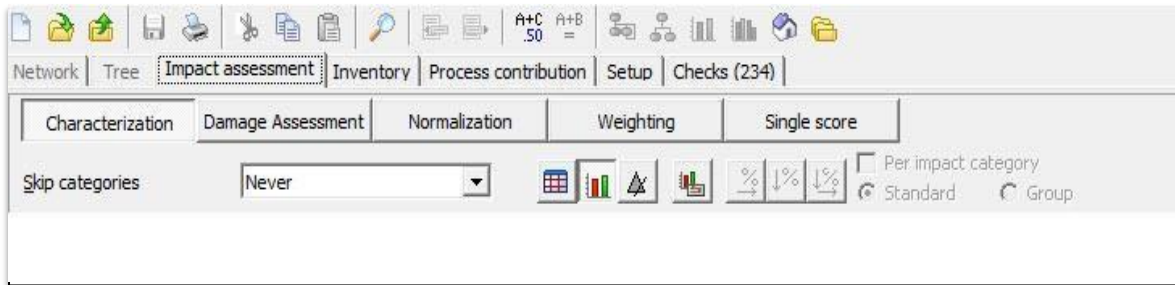


## 5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada karayollarının çevresel etkileri, “1 km” yol üzerinden ‘yaşam döngüsü değerlendirme’ analiziyle incelenmiştir. Değerlendirmeler Ecoindikatör 99 yöntemindeki etkiler esas alınarak yapılmıştır.

### 5.1. Karakterizasyon Analizi

Karakterizasyon, yaşam döngüsü envanter analizindeki her bir girdi ve çıktının muhtemel çevresel etkilerinin (örneğin: küresel ısınma üzerine metan ve karbon dioksitin etkileri vb.) bazı modeller veya CML 2000, Ecoindicator gibi metotlar yardımıyla değerlendirilmesidir. Karakterizasyon aşamasında yaşam döngüsü envanterindeki sonuçların her bir etki kategorisi açısından karşılaştırılması yapılır. Etki kategorileri yaygın olarak “eşdeğer” cinsinden ifade edilmektedir (örneğin: kg CO<sub>2</sub> eşdeğeri, kg SO<sub>2</sub> eşdeğeri v.b). Bir diğer ifade ile karakterizasyon, her etki kategorisini kendi içinde ortak birimlere dönüştürmektedir.



Şekil 5.1. Simapro programında analiz sıraları

Şekil 5.1’de Simapro programında analiz sıralaması gösterilmektedir. Şekilde olduğu gibi ilk analiz olan ‘karakterizasyon’ aşağıda yapılmıştır.

General | Analysis groups | Chart options

Name

Comment

Calculation function  
 Network  
 Tree  
 Analyze  
 Compare  
 Uncertainty analysis

Method

Product	Amount	Unit	Project	Comment
Infra road passenger car U	1	km	ETH-ESU 96 Unit processes	

Switches  
 Exclude Infrastructure processes  
 Inventory per sub-compartment

Monte Carlo stop criterion  
 Fixed number of runs:   
 Use stop factor:  Value:

Şekil 5.2. Karayolu analizinin ilk aşaması

Karayollarının, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin toplu karakterizasyon sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. (1 km yol uzunluğuna göre)

Çizelge 5.1. Karayollarının, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin toplu karakterizasyon sonuçları

Etki kategorisi	Birim	Miktar
İnsan Sağlığı		
Solunan organik maddeler	DALY	1,01E-08
İklim değişikliği	DALY	2,65E-09
Karsinojenler (kansere neden olan maddeler)	DALY	7,07E-10
Radyasyon	DALY	1,27E-10
Solunan inorganik maddeler	DALY	1,21E-10
Ozon tabakası	DALY	2,09E-11
Ekosistem Kalitesi		
Arazi kullanımı	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,006843
Ekotoksisite	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,003527
Asitlenme / Ötrofikasyon	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,000376
Doğal Kaynakların Tüketimi		
Fosil yakıtlar	MJ surplus	0,026561
Mineraller	MJ surplus	0,000121



Çizelge 5.1’de 1 km yolun yaşam döngüsünde yani 50 sene boyunca tasarım aşamasından itibaren; üretim, yolun inşaatı, bakım ve onarımı da dahil olmak üzere, ömrünü tamamlayana kadar tüm işlemlerden meydana gelen etkileri 11 alt kategoride incelenmiştir. Aşağıda her alt kategorinin birimi kısaca tarif edilmiştir.

Bu çalışmada tüm analizler 1 km yol uzunluğu üzerine yapılmıştır ve durdurma noktası (Cut-off) %0.1’dir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde; insan sağlığı kategorisinde en yüksek etki miktarı *solunan inorganik maddeler* alt kategorisine aittir. Bu kirliliğin kaynağı; yol inşaatı sırasında kullanılan silindir, mikserler gibi iş makineleridir. Ekosistem kalitesi kategorisinde en yüksek etki; *arazi kullanımı* alt kategorisidir. Kaynaklar da ise en önemli etki unsuru *fosil yakıtlardır*. Bunların neden en fazla etkiyi yaptıkları ve kaynakları ağırlıklandırma analizinde detaylı olarak tartışılmıştır. Çizelge 5.1 de karayollarının genel etkileri verildikten sonra; insan sağlığı, ekosistemler ve kaynaklar olmak üzere incelenen 3 Ana başlığa ait birimler farklı olduğundan öncelikle herbir başlığın kendi içinde karakterizasyonu yapılarak; bölüm 5.1.1 de etkiler irdelenmiştir.

### 5.1.1. İnsan sağlığı karakterizasyonu

Daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak, bu tez kapsamında ana etki alanlarının kategorizasyonu da, alt başlıklar özelinde detaylı olarak incelenmiştir. YDA analizlerine göre insan sağlığını etkileyen maddeler Çizelge 5.2 de verilmiştir.

Ancak, yol yapım sürecinde kullanılacak hammaddelerin çok farklılık göstermesi, farklı inşaat yöntemlerinin uygulanabilir olması yani alternatiflerin; hammadde ve teknolojilerin çeşitliliği karayollarının yaşam döngüsü sürecinde çevresel etkilerinin irdelenmesini karmaşık hale getirmektedir. Elbette bu alternatif süreçlerin ve ilgili kombinasyonlarının hepsinin bu çalışma kapsamında ele alınması mümkün değildir. Bu nedenle, bu tez çalışmasında; analizlerde her etkinin en fazla hasar veren hammadde, işlem ve/veya süreci incelenmiştir. Ayrıca ekoindikatör yönteminde, karakterizasyon analizinde kullanılan birimler ve tarifleri aşağıda sıralanmıştır;

- Ozon tabakasının tahribatı: Ozon tabakasında tahribata neden olan madde salımları sonucu artan UV ışımının yarattığı hasar olup, DALY/kg olarak verilmiştir. Bu hasara neden olan maddelere örnek olarak CFC-115, metan, bromo-, Halon 1001 verilebilir.
- Solunan inorganik maddeler: Toz, kükürt ve azot oksit salımlarından kaynaklanan kış sisinin neden olduğu soluna etkilerini içeren ve DALY/kg salım olarak açıklanan bir gruptur. Örn: Amonyak, amonyum, azotoksit, tanecikler, kükürtdioksit, sülfat gibi.
- İklim değişikliği: İklim değişikliğinin yol açtığı hastalık ve ölümlerdeki artışa neden olan maddeleri içeren ve DALY/kg salım olarak açıklanan bir gruptur. Bunlar, küresel ısınmaya, dolayısıyla da iklim değişikliğine neden olan maddelerdir. Örn: Karbon dioksit ve metan gazları gibi.
- Kansere neden olan maddeler (Karsinojenler): Kansere neden olan maddelerin salınımlarının havaya, suya ve toprağa olan etkilerini içeren ve DALY/kg salım olarak belirtilen bir gruptur. Örn: dioksinler, asetaldehit, arsenik, benzen ve türevleri, kadmiyum, formaldehit, PAH'lar, nikel, fenol, poliklorlu bifeniller gibi. Radyasyon: Radyasyonun verdiği zarar yazılımda DALY/Bq ve DALY/kBq olarak verilmiştir. Radyoaktif maddelere örnek olarak, Amerikyum-241, Uranyum-234, Karbon-14 verilebilir.
- Solunan organik maddeler: Organik maddelerin havaya olan salınımları nedeniyle oluşan fotokimyasal sisten kaynaklanan solunan etkilerini içeren ve DALY/kg salım olarak açıklanan bir gruptur. Örn: Butanol, hekzan, heptan, benzen, asetik asit gibi.

Çizelge 5.2. İnsan sağlığı kategorisinin karakterizasyonu

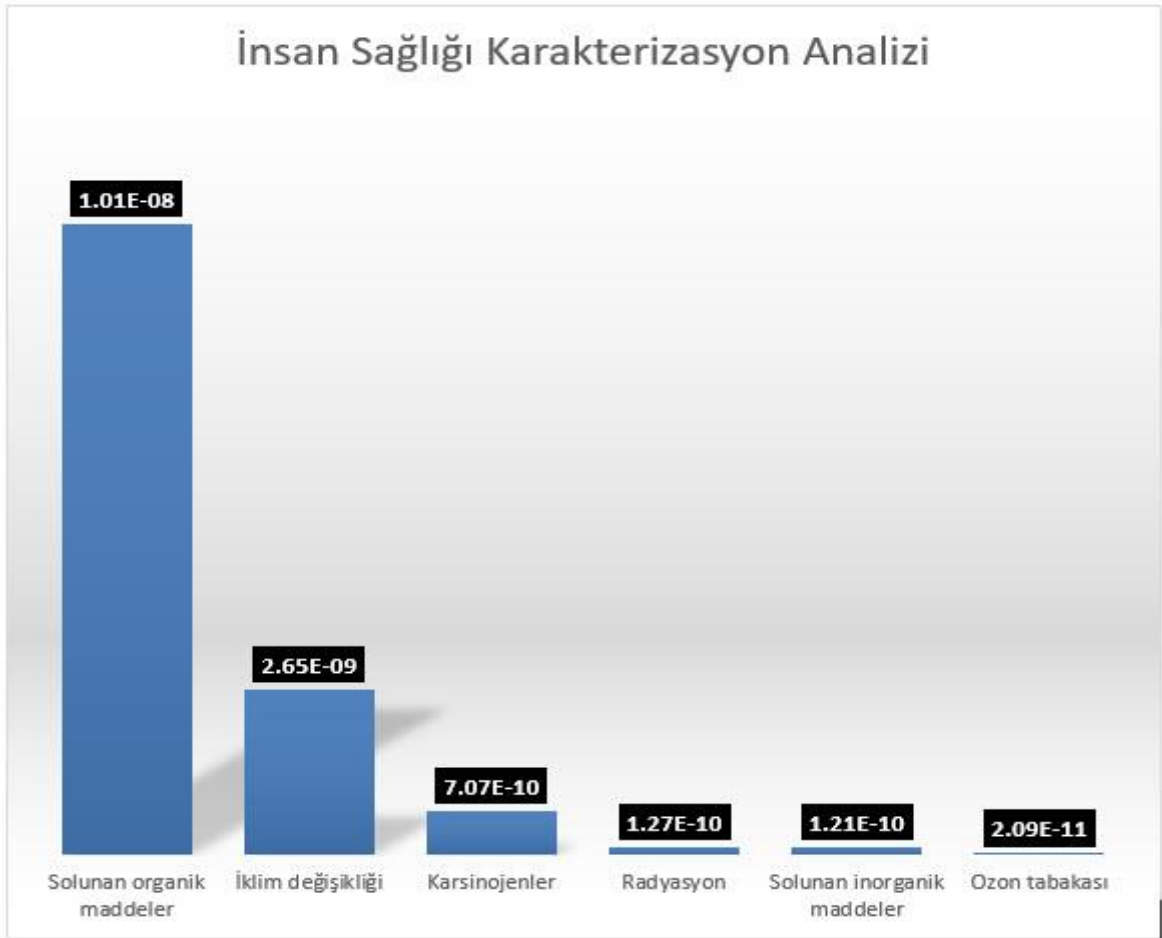
No	Madde	Bırakıldığı alan	Birim	Miktar
Karsinojenler				
1	Arsenik, iyon	Su	DALY	5,247E-10
2	Kadmiyum	Hava	DALY	9,369E-11
3	Kadmiyum, iyon	Su	DALY	6,127E-11
4	Arsenik	Hava	DALY	1,604E-11
5	PAH, polisiklik aromatik hidrokarbonlar	Su	DALY	7,013E-12
6	Arsenik	Toprak	DALY	1,258E-12
7	2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioksin olarak ölçülen Dioksinler,	Hava	DALY	7,463E-13
8	Nikel	Hava	DALY	7,342E-13

Çizelge 5.2. (devam) İnsan sağlığı kategorisinin karakterizasyonu

Solunan organik maddeler				
1	NMVOC, metan dışı uçucu organik bileşikler, tanımlanmamış kökenli	Hava	DALY	1,173E-10
2	Etilen	Hava	DALY	2,105E-12
3	Metan	Hava	DALY	4,206E-13
4	Pentan	Hava	DALY	3,459E-13
5	Bütan	Hava	DALY	2,45E-13
6	Belirtilmemiş hidrokarbonlar, alifatik, alkanlar,	Hava	DALY	1,653E-13
7	hekzan	Hava	DALY	1,582E-13
8	Propan	Hava	DALY	1,242E-13
9	Ksilen	Hava	DALY	1,235E-13
Solunan inorganik maddeler				
1	Azot oksitler	Hava	DALY	5,195E-09
2	Parçacıklar, <10 um (hareketsiz)	Hava	DALY	2,631E-09
3	Kükürt oksitler	Hava	DALY	2,176E-09
4	Parçacıklar, <10 um (mobil)	Hava	DALY	1,175E-10
İklim değişikliği				
1	Karbon dioksit	Hava	DALY	2,468E-09
2	Metan	Hava	DALY	1,446E-10
3	Diazotik oksit	Hava	DALY	2,379E-11
4	Karbonmonoksit	Hava	DALY	1,829E-11
5	Metan, bromotrifuoro	Hava	DALY	1,121E-11
Radyasyon				
1	Radon-222	Hava	DALY	1,064E-10
2	Karbon-14	Hava	DALY	1,062E-11
3	Sezyum-137	Su	DALY	6,617E-12
4	Radon-222	Hava	DALY	1,157E-12
5	Kobalt-60	Su	DALY	8,058E-13
6	Sezyum-134	Su	DALY	5,919E-13
7	Kripton-85	Hava	DALY	4,32E-13
8	Radyum-226	Su	DALY	2,003E-13
9	Iyodin-129	Hava	DALY	1,684E-13

Çizelge 5.2. (devam) İnsan sağlığı kategorisinin karakterizasyonu

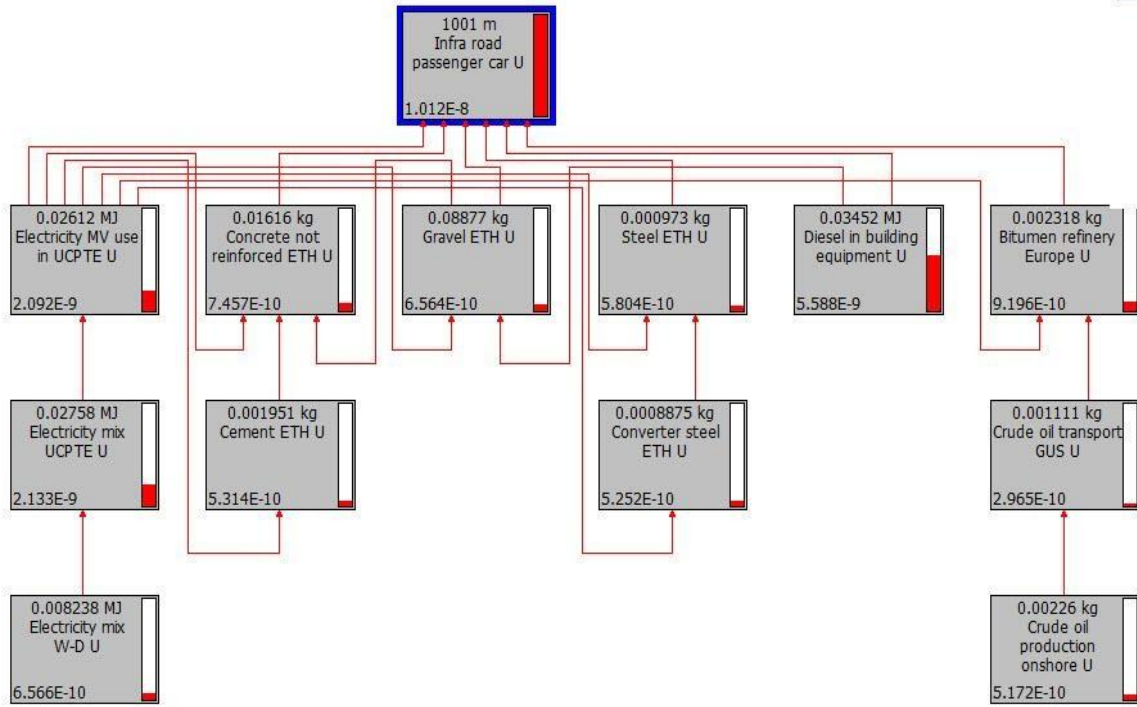
Ozon tabakası				
1	Metan, bromotrifluoro-, 1301 Halon	Hava	DALY	1,99E-11
2	Etan, 1,2-dikloro-1,1,2,2-trifloro,	Hava	DALY	6,099E-13
3	Metan, chlorofluoro-, HCFC-21	Hava	DALY	3,468E-13
4	Metan, tetraklorometan, CFC-10	Hava	DALY	3,18E-14
5	Metan, trikloro flor, CFC-11	Hava	DALY	2,709E-14



Şekil 5.3. İnsan sağlığı karakterizasyonu analizi

Çizelge 5.2’de insan sağlığını etkileyen maddeler, bu maddelerin verildiği alıcı ortamlar, miktarları ve birimleri verilmiştir. Şekil 5.3 den görüleceği üzere, insan sağlığı kategorisinde en yüksek etki solunan inorganik maddeler alt kategorisine aittir. Solunan inorganik maddelerin yol aşamasının hangi süreçlerinden kaynaklandığını görebilmek için yapılan ağaç analizi Şekil 5.4 de verilmektedir. Ağaç analizinde bir kategori veya alt kategoriye ait olan tüm süreçler, her sürecin etki payı ve birbirleriyle bağlantıları

açıklanmaktadır. Çizelge 5.2 ve şekil 5.3, 5.4 göre insan sağlığını etkileyen en zararlı kategori solunan inorganik kategorisidir. Bu kategoride havaya verilen gazlar, azot oksitler, nano parçacıklar ve kükürt oksitlerdir. Şekil 5.4 den görüleceği üzere, bu gazlar en fazla yol yapım araçlarından kaynaklanmaktadır. Yol yapım işlemlerinde en çok pay, ekipmanların yol yapımında kullanılan yakıtlardan meydana gelmektedir. Karayollarının çevresel etkilerini azaltmada solunan inorganik maddeler etkisini azaltılması önemlidir. Bu amaçla, mevcutta dizel yakıt ile çalışan iş makinalarının yerine elektrikle veya yenilenebilir enerji kaynakları kullanan araçlara geçilmesi önerilebilir. Diğer öneriler ağırlıklandırma analizinde detaylı olarak tartışılmıştır.



Şekil 5.4. Solunan inorganik maddeler etki karakterizasyonunda ağaç analizi

### 5.1.2. Ekosistem kalitesi karakterizasyonu

Ekosistem kalitesi: Ekotoksosite, asidifikasyon/ötrofikasyon ve arazi kullanımı olmak üzere üç zarar sınıfını içermektedir;

- Ekotoksosite: Ekotoksosite, çevrede toksik etki altında yaşayan tüm türlerin yüzdesi olarak açıklanmaktadır. Potansiyel olarak etkilenmiş kısım (PAF) gösterge olarak kullanılmakta ve türlerin, “olumsuz etkinin görülmediği derişim (NOEC, No-Observed Effectuated Concentration)”a eşit veya daha yüksek bir derişime maruz kalmış kısmına

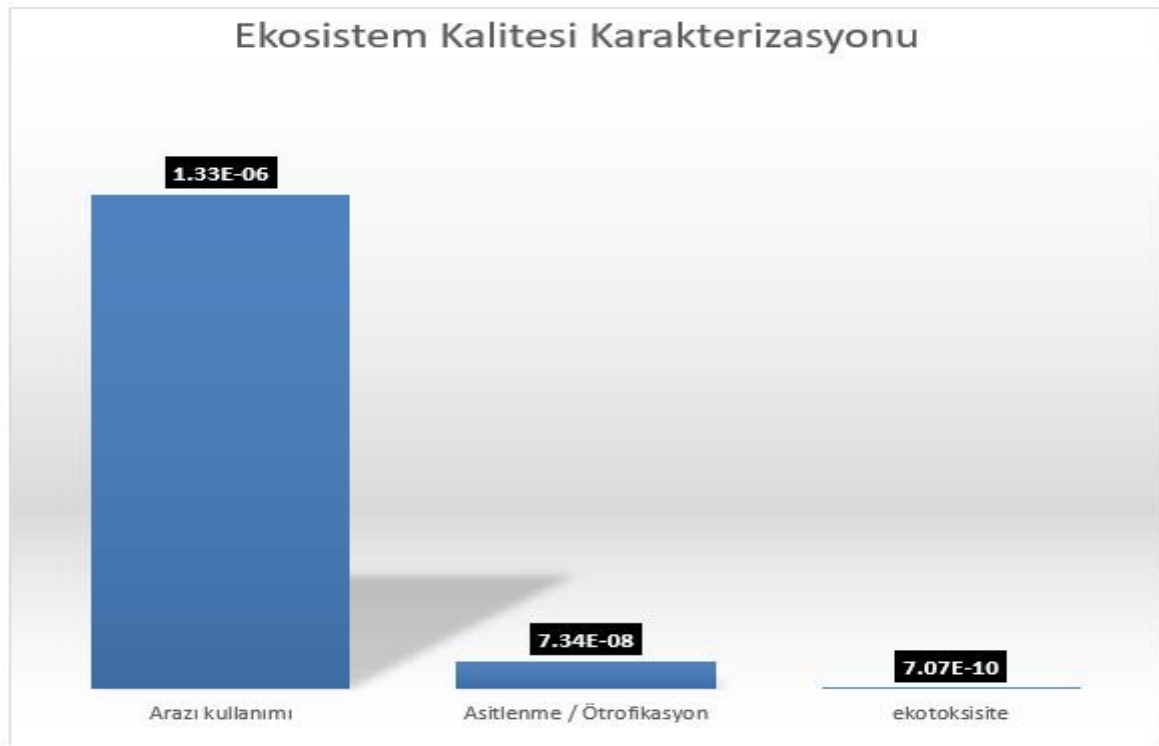
denk gelmektedir. Bu gerçek bir zarar olmamasına rağmen, toksik etki için bir ölçüdür. Ekotoksik maddelerin havaya, suya ve toprağa karışması sonucu oluşan bu hasar PAF.m<sup>2</sup>.yıl/kg olarak ele alınmaktadır [29].

- Asidifikasyon/ötrofikasyon: Doğal alanlardaki hedef türlere olan zararı değerlendirmek için görülme yüzdesi (POO, probability of occurrence) kullanılmaktadır. Eko-indikatör 99 bu kavramı potansiyel olarak kaybolan kısma (PDF, potentially disappeared fraction) dönüştürmektedir (PDF = 1POO). Asit oluşturma özelliğine sahip maddelerin havaya karışması sonucu oluşan bu hasar, PDF.m<sup>2</sup>.yıl/kg salınım olarak ele alınmaktadır. Örn: kükürt dioksit gibi [29].
- Arazi kullanımı; insan faaliyetlerinden her türlü doğal arazi tahribatı veya işgal edilen araziler olarak değerlendirmektedir.

Çizelge 5.3. Ekosistem kalitesi karakterizasyon analizi

No	Madde	Bırakıldığı Alan	Birim	Miktar
Ekotoksisite				
1	Çinko	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,001514
2	Nikel	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,001215
3	Kurşun	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,0004157
4	Bakır	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,0001132
5	Krom	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,00008557
6	Kadmiyum	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,00006697
7	Nikel iyon	Su	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,00003072
8	Bakır iyonu	Su	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,00002999
9	Krom, iyon	Su	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,00002997
10	Çinko iyon	Su	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,00000919
11	Kadmiyum, iyon	Su	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,000004131
12	Arsenik	Hava	PAF*m <sup>2</sup> yr	0,000003859
Asitlenme / Ötrofikasyon				
1	Azot oksitler	Hava	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,0003346
2	Kükürt oksitler	Hava	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,00004148
Arazi kullanımı				
1	Arazi kullanımı III-IV	Toprak	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,004269
2	Arazi kullanımı I I-IV	Toprak	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,002161
3	Arazi kullanımı 11-111	Toprak	PDF*m <sup>2</sup> yr	0,0004132

Çizelge 5.3 'de ekosistem kalitesi kategorisinde üç alt kategorinin karakterizasyonu yapılmıştır. Bu analizde her alt kategoriden hangi maddelerin ortaya çıktığı, ve bu maddelerin hangi alıcı ortamlara verildiğine ilişkin veriler yer almaktadır. Maddelerin etki dereceleri sıra ile en yüksekte en aza doğru olmak üzere düzenlenmiştir. Ayrıca arazi kullanımı alt kategorisinde üç farklı arazi kullanım sınıfı yazılmıştır. Eko gösterge 99 ve Simaproda bu üç farklı arazi kullanım sınıfının özellikleri verilmektedir. Karayolu taşımacılığının arazi kullanımı İsviçre verilerine dayalı olarak Simapro 'dan elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Ekosistem kalitesi karakterizasyonu

Çizelge 5.3'de ekosistem kalitesini etkileyen maddeler, bu maddelerin verildiği alıcı ortamlar, miktarları ve birimleri verilmiştir. Şekil 5.5 den görüleceği üzere, ekosistem kalitesi kategorisinde en yüksek etki arazi kullanımı alt kategorisine aittir. Arazi kullanımına olan etkiler; yol yapım maddelerinin çıkarımında ve elde edilmesinde, yol inşaatı sırasında ve atıkların depolanmasında gerçekleşmektedir. Yollar araziler açılarak yapıldığından, tahribat kaçınılmazdır. Bitüm, agrega, demir, kömür v.b madenlerden elde edilen maddelerin çıkarımında ise madenin çıkarılmasının neden olduğu tahribat; yerden çıkan toprak, taş ve diğer maddelerin başka bir alana taşınarak gelişigüzel atılması; toprağın kalitesini bozup ve ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Son

aşamada ise, yolların yaşam döngüsünde her türlü atığın depolanması ve bertarafı bir yer işgal etmek demektir. Bunlar hepsi yaşam döngü analizinde arazi kullanım kategorisi olarak değerlendirilmiştir.

### 5.1.3. Doğal kaynak tüketimi karakterizasyonu

İnsanlar her zaman düşük kaliteli kaynakların kullanımını ileriye bırakarak en iyi kaynağı en önce tüketme eğiliminde olmuşlardır. Doğal kaynaklara verilen zararın sonuçlarından, etkilenecek olan gelecek nesiller, kalan kaynakları kullanabilmek için daha fazla çaba harcayacaklardır. Bu fazladan çaba “fazla enerji” (surplus energy) olarak açıklanmaktadır. Simapro yazılımında kaynaklar tüketimi kategorisi iki alt kategoriye bölünmektedir, aşağıda bu iki alt kategori açıklanmaktadır;

- Fosil yakıtlar: Düşük kaliteli kaynakların kullanımı sonucu, 1 kg veya 1m<sup>3</sup> fosil yakıtı elde etmek için harcanan fazla enerji, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: kömür, doğal gaz gibi.
- Mineraller: Maden cevherinin kalitesinin düşmesi nedeniyle 1 kg maden elde etmek için harcanan fazla enerji olup, MJ fazla enerji/kg olarak ele alınmaktadır. Örn: alüminyum, boksit, bakır gibi.

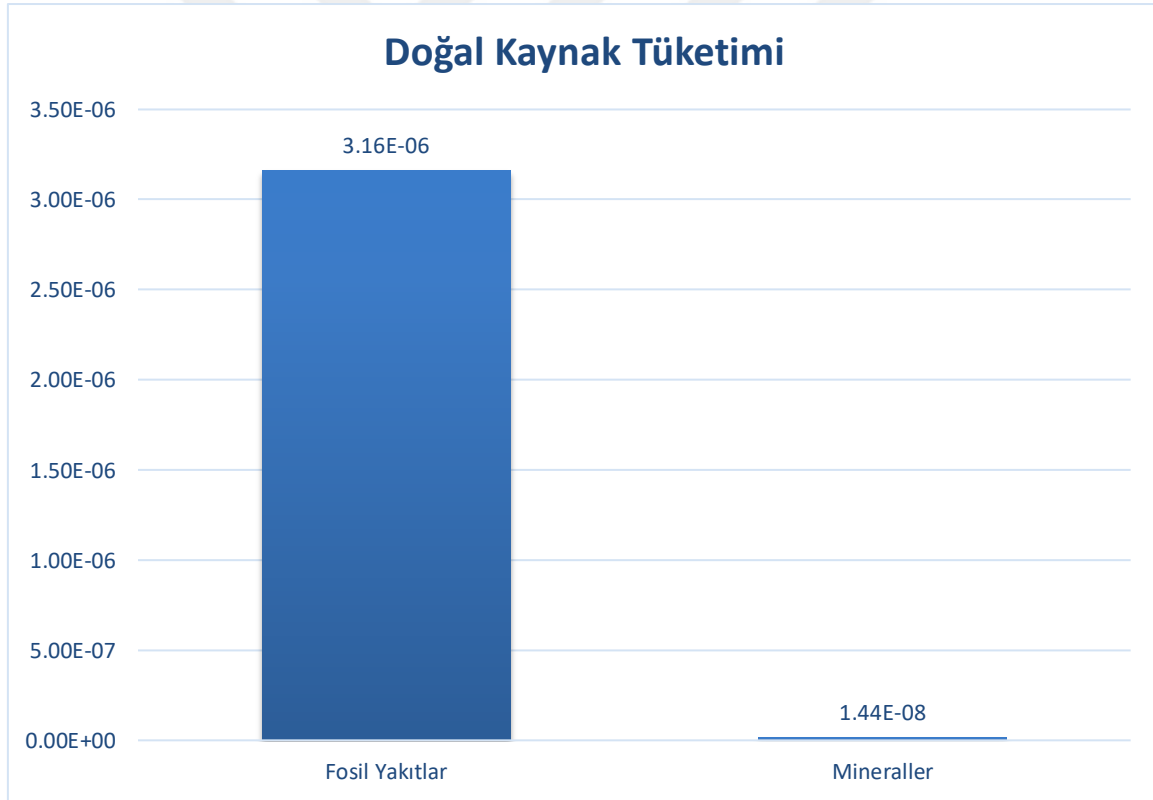
Çizelge 5.4. Doğal kaynaklar tüketimi etki kategori karakterizasyonu

No	Madde	çıkarm Tarzı	Etkisi	Birim	Miktar
Mineraller					
1	Demir	Ham	Toprakta	MJ surplus	6,53E-5
2	Bakır	Ham	Toprakta	MJ surplus	4,01E-5
3	Teneke	Ham	Toprakta	MJ surplus	4,272E-6
4	Boksit	Ham	Toprakta	MJ surplus	3,761E-6
5	Kurşun	Ham	Toprakta	MJ surplus	2,952E-6
6	Nikel	Ham	Toprakta	MJ surplus	2,388E-6
7	Krom	Ham	Toprakta	MJ surplus	1,185E-6
8	Manganez	Ham	Toprakta	MJ surplus	4,578E-07
9	Çinko	Ham	Toprakta	MJ surplus	1,359E-07



Çizelge 5.4. (devam) Doğal kaynaklar tüketimi etki kategori karakterizasyonu

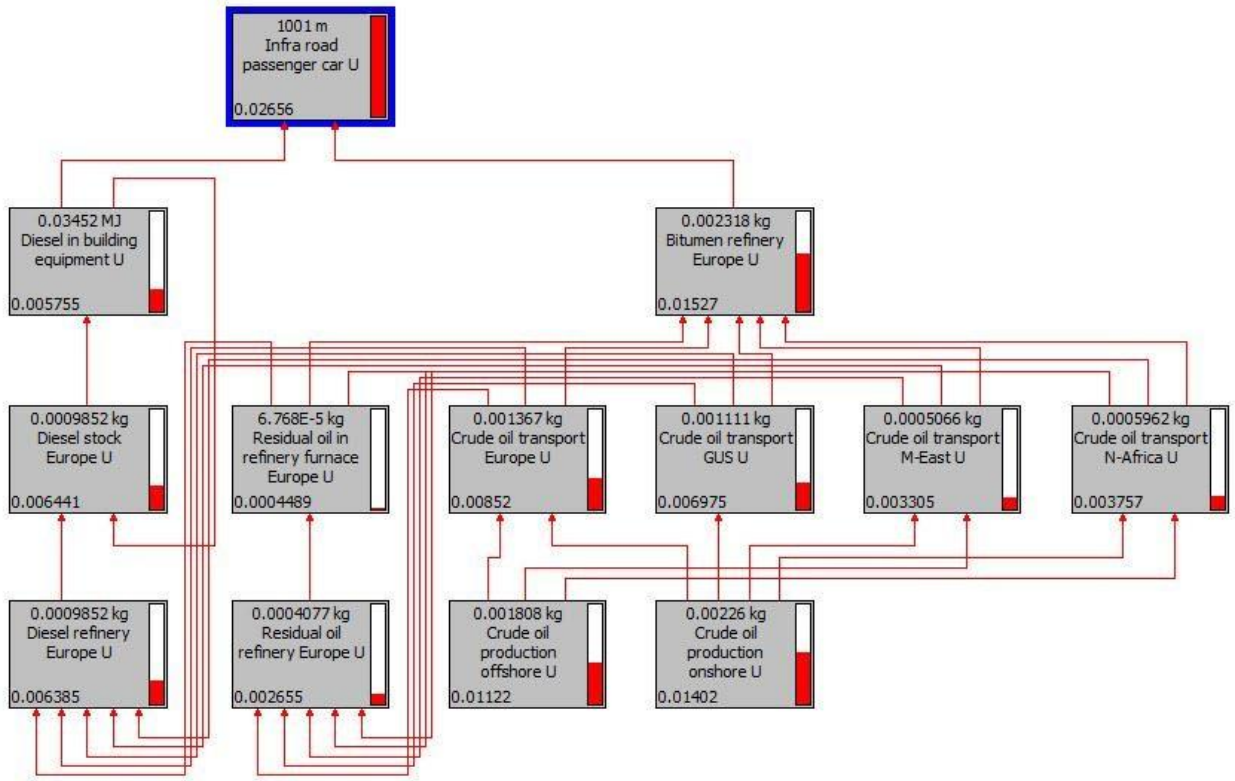
Fosil yakıtlar						
1	kg başına ham petrol çıkarımı, 42.6 MJ	Ham	Toprakta	MJ surplus	0,02494	
2	m <sup>3</sup> başına doğal gaz çıkarımı, , 35 MJ	Ham	Toprakta	MJ surplus	0,001126	
3	Kömür, 18 MJ kg başına	Ham	Toprakta	MJ surplus	0,0003711	
4	Gaz, maden, atık gaz, süreç, kömür madenciliği / kg	Ham	Toprakta	MJ surplus	0,0001192	



Şekil 5.6. Doğal kaynak tüketimi karakterizasyonu

Çizelge 5.4 'te doğal kaynakların tüketimini etkileyen maddeler ve süreçler, bu maddelerin kullanım türü, miktarları ve birimleri verilmiştir. Şekil 5.6 dan görüleceği üzere, doğal kaynaklar tüketimi kategorisinde en yüksek etki fosil yakıtlar alt kategorisine aittir. Fosil yakıtların, karayollarının yapım, işletme, bakım vb. Hangi aşamalarında ne tür etki yarattığını görebilmek için yapılan ağaç analizi Şekil 5.7 de verilmektedir. Çizelge 5.4 ve

şekil 5.6, 5.7 ye göre kaynakları etkileyen en zararlı kategori fosil yakıtlar kategorisidir. Bu kategoride fosil yakıtların etkisi, ham petrolün çıkarımı, doğal gaz ve kömür eldesidir. Yani her 1 kg ham petrol eldesine 42,6 MJ enerji harcanmaktadır. Şekil 5.7 den görüleceği üzere, en yüksek çevresel etkiye sahip işlemler bitüm rafineleri ve ham petrol üretim işlemleridir. Fosil yakıtların karayollarının yaşam döngüsü analizinde çevresel etkilerini azaltmak için önerilen işlemler; bitüm rafinelerinde daha yeşil teknolojilerin kullanılması, bu rafinelerin gaz çıkış sistemlerinde etkili gazların tutulması için filtrelerin kullanılması ve petrol yerine daha uygun enerjikaynaklarının kullanılması olabilir.

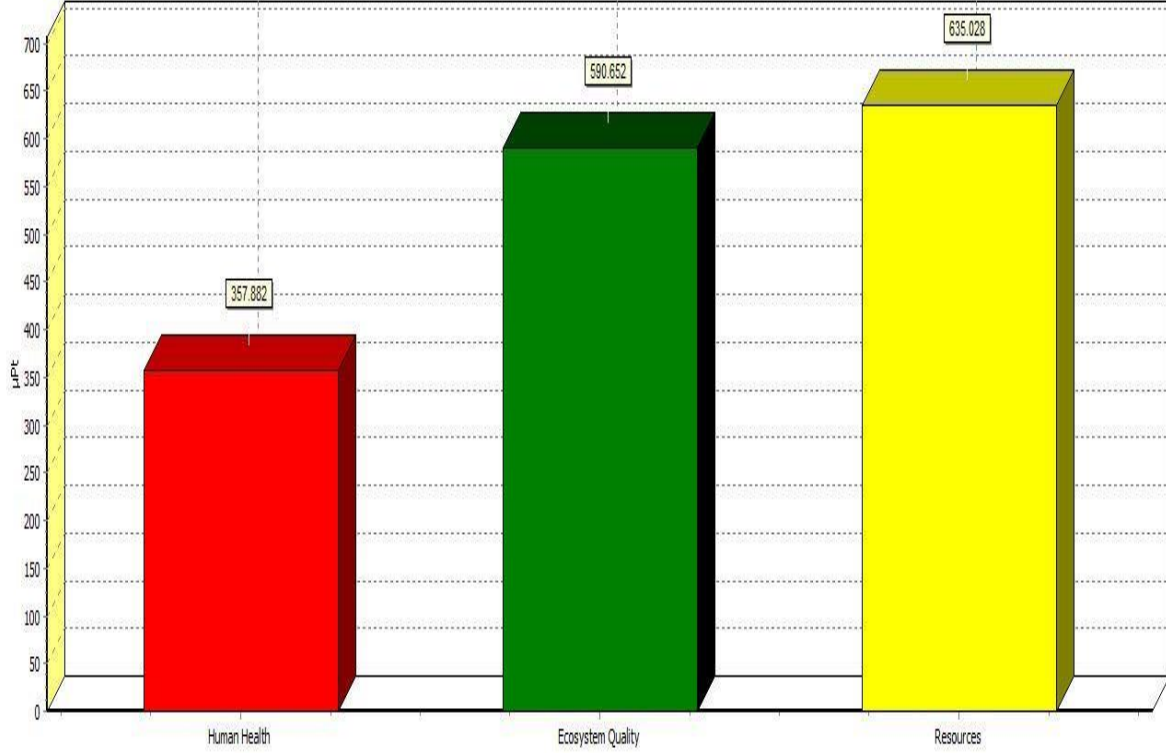


Şekil 5.7. Fosil yakıtların ağaç analizi

## 5.2. Ağırlıklandırma

Yaşam döngüsünün karakterizasyon aşamasında küresel ısınma, ekotoksikolojik etkiler, doğal kaynakların tükenmesi gibi farklı etki kategorilerini oluşturan alt etkiler sayısal olarak ifade edilebilir, ancak bu kategorilerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi mümkün değildir. Etki kategorilerini birbirleri ile karşılaştırabilmek amacıyla, ağırlıklı değerlendirmeleri yapılmaktadır. Ağırlıklı değerlendirmenin amacı, farklı yaşam döngüsü

etki kategorilerini, önem sırasına göre sıralamak, ağırlıklandırmak, mümkünse gruplandırmaktır [17].

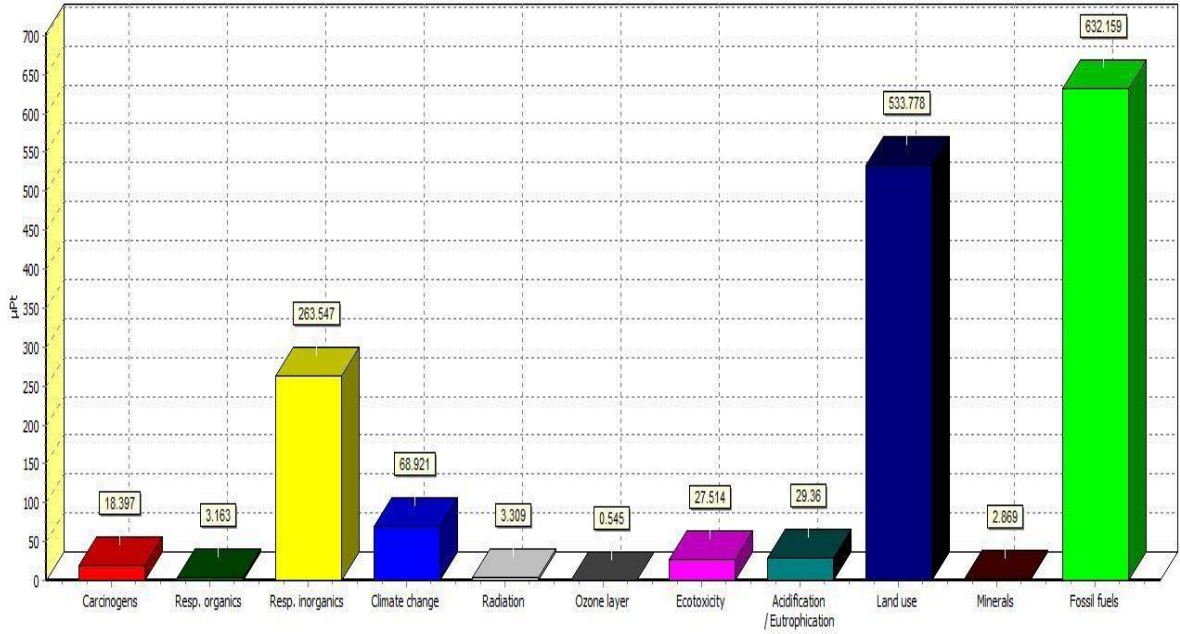


Şekil 5.8. Ana kategorilerin ağırlıklandırma analizi

Bu çalışma kapsamında yapılan üç ana kategorinin ağırlıklandırma analizi Şekil 5.8 de verilmektedir. Ağırlıklandırma analizinde kategorilerin hepsi; Pt birimi ile ifade edilmektedir. 1 Pt normal bir avrupalı insanın, bir yılda çevre üzerindeki etkisinin milyonda biridir. Şekil 5.8 den görüleceği üzere, karayollarından kaynaklanan en önemli etki; doğal kaynaklar üzerinde olmaktadır. Daha sonra sırasıyla ekosistem kalitesi ve insan sağlığı gelmektedir. Bu üç ana etki kategorisinin alt başlıkları da birbirleri ile ağırlıklandırma yöntem ile karşılaştırılmış ve Çizelge 5.5 ile Şekil 5.9 da verilmiştir.

Çizelge 5.5. Alt kategorilere göre ağırlıklandırma analiz miktarları

Etki kategorisi	Birim	Miktar
Fosil yakıtlar	Pt	0,0006322
Arazı kullanımı	Pt	0,0005338
Solunan İnorganik Maddeler	Pt	0,0002635
İklim değişikliği	Pt	6,892E-5
Asitletme / Ötrofikasyon	Pt	2,936E-5
ekotoksisite	Pt	2,751E-5
karsinojenler	Pt	1,84E-5
Radyasyon	Pt	3,309E-6
Solunan Organik Maddeler	Pt	3,163E-6
Mineraller	Pt	2,869E-6
Ozon tabakası	Pt	5,448E-07



Şekil 5.9. Alt kategorilere göre ağırlıklandırma analizi.

Çizelge 5.5 ve Şekil 5.9 dan görüleceği üzere, 11 alt etki kategorisi içinde, oldukça yüksek bir farkla fosil yakıtlar en önemli etkiyi oluşturmaktadır. Daha öncede belirtildiği gibi, yol yapımında ve yol bakımında kullanılan maddelerden bitüm ve/veya asfalt malzemenin kullanılması, ana hammaddelerin bunlar olması, karayollarının yaşam döngüsü analizinde, en önemli etkinin “doğal kaynakların tüketilmesi” kategorisinde olmasına neden olmuştur. Bu çalışmanın başında da beklenen bir durumdur. Alt kategoriler analizinde ise; fosil yakıtların etkisinin fazla olması üç ana nedene bağlı olarak açıklanabilir: Birincisi; yol yapımında kullanılan bitüm eldesi direk petrol çıkarımına bağlıdır ve petrol çıkarımı yol yapımında yüksek enerji harcaması demektir. İkinci neden; yol yapımında kullanılan makinelerin dizel yakıt kullanması ve diğer ifade ile daha fazla yakıtta ihtiyaç duymasıdır. Üçüncü neden ise, bitüm malzemesinin hazırlamasıdır. Bitüm malzeme bilindiği üzere, petrol rafinelerinde üretilmekte ve bu üretimin genelde kullandığı enerji tekrar bizim tarif ettiğimiz sistemde hesap altına alınmaktadır. Yani petrol rafinelerinde kullanılan enerji de yol yaşam döngüsünde katılmaktadır. Çözüm olarak bu etkileri azaltmak için; ilk öneri bitüm yerine daha az etkisi olan, daha çevre dostu malzemelerin yol yapımında kullanılmasıdır. Bitüm, karayollarında malzeme yapıştırıcısı olarak kullanılmaktadır, bu işlevi yerine getirebilecek alternatifler de incelenmeli ve gözönüne alınmalıdır. İkinci öneri yol yapımında işletilen makinelerin fosil yakıtların yerine elektrik enerjisi ya da yenilebilir enerji kaynakları kullanılmasıdır. Böylece yakıt kullanım payı azaltılmış olacaktır. Üçüncü seçenek ise; petrol rafinelerinin daha çevre dostu olarak tasarlanması ve işletilmesidir.

Üç ana etki kategorisi ve alt kategorilerin etkileri incelendikten sonra; en çok etkiye maruz kalma sırası ile (doğal kaynakların tüketimi, ekosistem kalitesi ve insan sağlığı) ana kategorilerin ağırlıklandırma analizleri yapılmıştır. Çünkü “karakterizasyon” analizi ile bu ana etki kategorileri üzerindeki tahribat miktarları ve etki dereceleri hesaplanmıştır. Fakat bu etkilerin gerçek hayattaki yansımalarını hesaplamak ancak “ağırlıklandırma” analizi ile mümkün olabilmektedir.

### 5.2.1. Doğal kaynaklar tüketimi ağırlıklandırması

Çizelge 5.6 'de doğal kaynaklar tüketim kategorisinin ağırlıklandırma analizi maddeler halinde yapılmıştır.

Çizelge 5.6. Doğal Kaynaklar tüketim kategori ağırlıklandırma analizi

No	Madde	Kullanım şekili	Etkisi	Birim	Miktar
Fosil yakıtlar					
1	kg başına ham petrol çıkarımı, 42.6 MJ	Ham	Toprakta	Pt	0,3304905
2	m <sup>3</sup> başına doğal gaz, , 35 MJ	Ham	Toprakta	Pt	2,681E-5
3	Kömür, 18 MJ kg başına	Ham	Toprakta	Pt	8,831E-6
4	Gaz, maden, atık gaz, süreç, kömür madenciliği / kg	Ham	Toprakta	Pt	2,836E-6
Mineraller					
1	Demir	Ham	Toprakta	Pt	1,554E-6
2	Bakır	Ham	Toprakta	Pt	9,544E-07
3	Teneke	Ham	Toprakta	Pt	1,017E-07
4	Boksit	Ham	Toprakta	Pt	8,951E-08
5	Kurşun	Ham	Toprakta	Pt	7,025E-08
6	Nikel	Ham	Toprakta	Pt	5,683E-08
7	Krom	Ham	Toprakta	Pt	2,821E-08
8	Manganez	Ham	Toprakta	Pt	1,09E-08
9	Çinko	Ham	Toprakta	Pt	3,235E-09

Çizelge 5.6 'da doğal kaynaklar tüketim kategorisinin ağırlıklandırma analizi verilmiştir. Görüleceği üzere, analizde fosil yakıtlar alt kategorisinde en yüksek etki ham petrol eldesinden kaynaklanmaktadır. Tüm fosil yakıt gerektiren işlemlerin bu etkide payı vardır ve fosil yakıtlar yerine daha zararsız yakıt kullanmak bu hasarı azaltmak demektir. Daha

önce söylendiği gibi yenilebilir yakıtlar ve bitüm yerine petrolden bağımsız bir madde kullanılmasıyla yol yaşam döngüsünde en büyük hasarı engellemek mümkündür.

Minerallerde ise çizelge 5.6 'da gösterildiği üzere demir eldesi en fazla mineraller alt kategorisinde hasar göstermektedir. Mineraller alt kategorisi çizelge 5.5 'de onuncu sırada yer almaktadır yani yol yaşam dönüşünde en az zarar veren kategorilerdendir.

### 5.2.2. Ekosistem kalite kategori ağırlıklandırması

Şekil 5.9 'de "ekosistem kalitesi" ikinci hasarlı etki kategorisi tespit edilmiştir ve doğal kaynakların tüketimi" kategorisinden sonra bu kategorinin ağırlıklandırması yapılmıştır. Tüm alt etki kategorilerine olan etkilerin verildiği Şekil 5.9 ve Çizelge 5.5 incelendiğinde; "arazi kullanımı" yol yaşam döngüsünde ikinci sırada yer almaktadır. "Asitlenme/ Ötrofikasyon" beşinci ve "ekotoksosite" altıncı sıradadır.

Aşağıda Çizelge 5.7 'de bu veri ve yorumları desteklemek üzere, ekosistem kalitesi alt etki gruplarının ağırlıklandırma analizi verilmektedir.

Çizelge 5.7. Ekosistem kalitesi ağırlıklandırma analizi

No	Madde	Bırakıldığı alan	Birim	Miktar
Arazi kullanımı				
1	Arazi kullanımı III-IV	Toprak	Pt	0,0003329
2	Arazi kullanımı I I-IV	Toprak	Pt	0,0001686
3	Arazi kullanımı 11-111	Toprak	Pt	3,223E-5
Asitlenme / Ötrofikasyon				
1	Azot oksitler	Hava	Pt	2,61E-5
2	Kükürt oksitler	Hava	Pt	3,236E-6
Ekotoksosite				
1	Çinko	Hava	Pt	1,181E-5
2	Nikel	Hava	Pt	0,000009477
3	Kurşun	Hava	Pt	0,000003243
4	Bakır	Hava	Pt	8,832E-07
5	Krom	Hava	Pt	6,675E-07

Çizelge 5.7. (devam)Ekosistem kalitesi ağırlıklandırma analizi

6	Kadmiyum	Hava	Pt	5,224E-07
7	Nikel iyon	Su	Pt	2,396E-07
8	Bakır iyonu	Su	Pt	0,000000234
9	Krom, iyon	Su	Pt	2,338E-07
10	Çinko iyon	Su	Pt	7,169E-08
11	Kadmiyum, iyon	Su	Pt	3,222E-08
12	Arsenik	Hava	Pt	3,01E-08

Karakterizasyon bölümünde de belirtildiği üzere; “arazi kullanımı” karayollarının çevresel etkileri bakımından en önemli etki alanlarından ikincisidir. Trafik yoğunluğuna göre, daha fazla alan kullanılmakta ve daha fazla tahribata neden olmaktadır. Bu tahribat sadece karasal ortamlar üzerinde değil, yolların doldurulmak ya da üzerinden geçirilmek suretiyle göller, akarsular gibi sucul ortamlar üzerinde de meydana gelmektedir. Yolların inşaatı, tüneller, köprüler, toğrağın kazılması, hafriyat, bunların boş arazilere, dere yataklarına dökülmesi arazilerin yanlış kullanımına ve tahribatına neden olmaktadır. İkinci arazi tahribi malzemelerin elde etmesinden dolayıdır, örneğin agregalar genelde taş madenlerinden elde edilip ve büyük arazi tahriblerine neden olmaktadır. Bunlara ilave olarak yol yaşam döngüsünde her türlü atıkların bertarafına genelde belli bir arazi gerekir ve bunlar da tekrar arazi tahribi demektir.

“Asitlenme/ Ötrofikasyon” karayollarının etkisine göre, tüm alt kategoriler içinde; beşinci sırada yer almaktadır. Bu etkiyi yaratan faktörler; birinci sırada azotoksitler ve daha sonra kükürtoksitlerdir. Bu gazlar fosil yakıtların kullanılmasından ve hammadde üretim işletmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada bahsedilen gazların meydana gelmesinin nedeni birinci sırada yol inşasında kullanılan makinelerin kullandığı yakıtlar ve ikinci sırada ise çimento üretimidir. Yolun kullanımı yani taşıtlar da azotoksit ve kükürtoksit kaynaklarıdır.

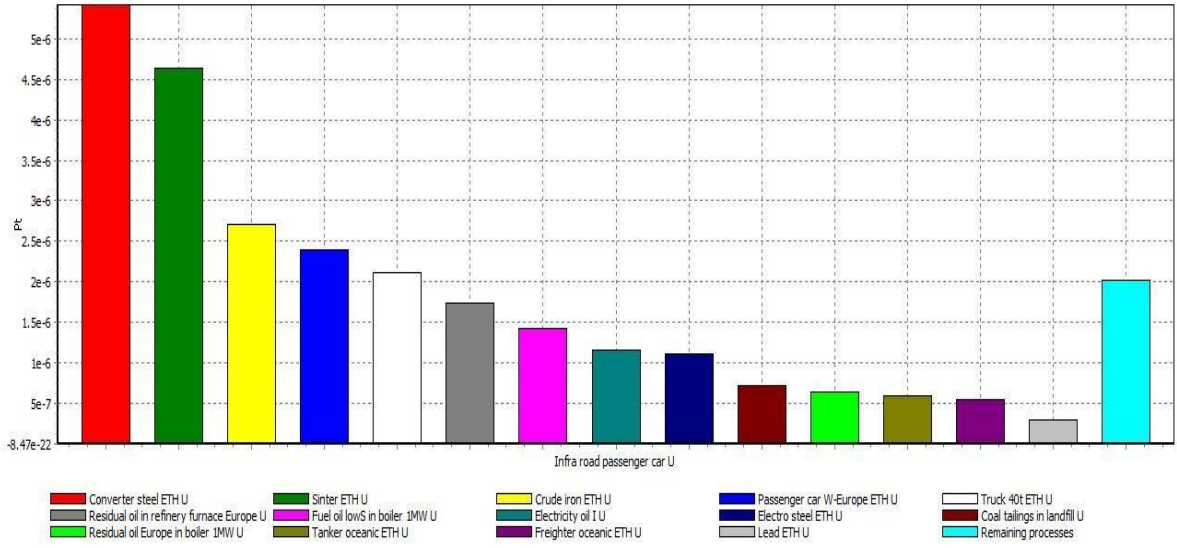


Şekil 5.10 'da Azot oksit ve Kükürt oksit emisyonu olan işlemlerin en önemlileri verilmiştir.

Network   Tree   Impact assessment   Inventory   Process contribution   Setup   Checks (234)			
Indicator		Cut-off	
Weighting		0.1%	
Category		Per impact category	
Acidification/ Eutrophication		Standard Group	
No	Process	Unit	Infra road passenger
	Total of all processes	Pt	2.936E-5
	Remaining processes	Pt	4.72E-7
1	Diesel in building equipment U	Pt	1.571E-5
2	Cement ETH U	Pt	1.708E-6
3	Truck 40t ETH U	Pt	1.153E-6
4	Diesel in diesel generator onshore U	Pt	1.028E-6
5	Lignite power plant in D U	Pt	9.325E-7
6	Petroleum gas flaring U	Pt	9.051E-7
7	Freighter oceanic ETH U	Pt	7.304E-7
8	Electricity oil I U	Pt	5.977E-7
9	Tanker oceanic ETH U	Pt	4.519E-7
10	Passenger car W-Europe ETH U	Pt	4.33E-7
11	Excavation skid steer loader U	Pt	4.133E-7
12	Residual oil in refinery furnace Europe U	Pt	3.926E-7
13	Coal power plant in E U	Pt	3.624E-7
14	Lignite power plant in Gr U	Pt	3.237E-7
15	Diesel in diesel generator offshore U	Pt	2.863E-7
16	Coal power plant in D U	Pt	2.754E-7
17	Refinery gas in furnace Europe U	Pt	2.751E-7
18	Residual oil Europe in boiler 1MW U	Pt	2.583E-7

Şekil 5.10. Asitletme / Ötrofikasyon etkisi gösteren işlemler

Ekosistem kalitesi ağırlıklandırma analizinin son bileşeni olan “ekotoksissite” ye neden olan emisyonlar Çizelge 5.7 'de verilmiştir, bu emisyonların en yüksek miktarı çinko ve nikel gazlarına aittir.



Şekil 5.11. Ekotoksosite etki işlemlerinin oranı

Şekil 5.11 'de ekotoksosite etkisi olan en önemli işlemler verilmiştir. Bu işlemlerin arasında çelik dönüştürme işlemi en yüksek hasar miktarında bulunmaktadır ve yanı sıra sinter işlemi ikinci sırada yer almaktadır. Ekotoksosite azaltmasında yapabilecek çalışmalar genelde fabrikalar üzerinde olmalı veya kullanılan malzeme tamamen değiştirmelidir. Fabrikalarda tehlikeli gaz yakalama ve filtre sistemi uygulayarak bu etkilerin azaltması sağlanabilir. Yasal uygulamalar ve standartlar çözümü kolaylaştırmaktadır.

### 5.2.3. İnsan sağlığı ağırlıklandırması

Şekil 5.8 de olduğu gibi insan sağlığı yol yaşam döngüsünde çevresel etki açısından üçünü sırada yer almaktadır ve kaynaklar tüketimi ve ekosistem kalitesinden sonra incelenmiştir. Çizelge 5.5 de alt kategoriler sıralanmıştır ve her alt kategorinin etki miktarı verilmiştir. Analizler bu sırıya göre yapılmıştır.

Solunan inorganik maddeler ağırlıklandırması:

Çizelge 5,8 e göre solunan inorganik maddeler etki kategorisinin analizi sonucunda meydana gelen maddeler verilmiştir. Bu çizelgeye göre solunan inorganik etki kategorisinde meydana gelen maddeler azot oksitler, küçük parçacıklar ve kükürt oksitlerdir. Bu maddeler meydana gelmesi solunum yolu ile hastalıklara yol açmaktadır buna rağmen bu emisyonların azalması yol yaşam döngüsünde önemli bir konudur. Şekil

5.12 'de bu işlemler etki miktarına göre sıralanmıştır. Genelde bahs edilen maddeler ve gazlar fosil yakıtların yakmasından ve enerji ve elektrik üreten fabrikalarda meydana gelmektedir. Ancak en fazla miktarda yol inşa makinelerinin fosil yakıt yakması en önemli işlemdir.

Çizelge 5.8. solunan inorganik maddeler ağırlıklandırması

Solunan inorganik maddeler				
1	Azot oksitler	Hava	Pt	0,0001353
2	Parçacıklar, <10 um (hareketsiz)	Hava	Pt	0,00006851
3	Kükürt oksitler	Hava	Pt	0,00005666
4	Parçacıklar, <10 um (mobil)	Hava	Pt	0,00000306

Network   Tree   Impact assessment   Inventory   Process contribution   Setup   Checks (234)			
Indicator		Cut-off	
Weighting		0.1%	
Category		Per impact category	
Resp. inorganics		Standard	
No	Process	Unit	Infra road passenger
	Total of all processes	Pt	0.0002635
	Remaining processes	Pt	3.908E-6
1	Diesel in building equipment U	Pt	0.0001341
2	Lignite power plant in D U	Pt	1.158E-5
3	Cement ETH U	Pt	1.061E-5
4	Electricity oil I U	Pt	8.245E-6
5	Diesel in diesel generator onshore U	Pt	7.845E-6
6	Truck 40t ETH U	Pt	7.415E-6
7	Residual oil in refinery furnace Europe U	Pt	7.196E-6
8	Freighter oceanic ETH U	Pt	6.614E-6
9	Coal power plant in E U	Pt	5.388E-6
10	Tanker oceanic ETH U	Pt	5.293E-6
11	Petroleum gas flaring U	Pt	4.691E-6
12	Lignite power plant in Gr U	Pt	4.382E-6
13	Residual oil Europe in boiler 1MW U	Pt	3.924E-6
14	Lignite power plant in E U	Pt	3.593E-6
15	Excavation skid steer loader U	Pt	3.525E-6
16	Diesel in diesel generator offshore U	Pt	3.426E-6
17	Coal power plant in D U	Pt	3.01E-6
18	Passenger car W-Europe ETH U	Pt	2.429E-6
19	Coal power plant in F U	Pt	1.924E-6
20	Refinery gas in furnace Europe U	Pt	1.876E-6

Şekil 5.12. Solunan inorganik maddeler etkileri olan işlem sıralaması

Şekil 5.12 'de gördüğümüz gibi solunan inorganik maddeler etkisi genelde yakıtlardan kaynaklanmaktadır ve bunun azaltması için uygun yöntemler günümüzde var olan teknolojiler sayesinde bulunmaktadır. Fabrikaların gaz emisyonlarının filtre etmek veya gazları tutuklamak yöntemleri mevcut görünüyor ama bunların uygulanması kamu ve devletler ve fabrika sahiplerinin çabasını gerektiriyor. Yenilenebilir ve temiz enerji kullanması sadece kaynaklarımızın tükenmesini engellemiyor belki daha önemli bir rolü vardır ve büyük bir çevre kirlenme ve hastalıkların aradan kaldırmasına neden olmaktadır. Daha önce söylendiği gibi Şekil 5.12 'de yol inşaatında makinelerin ve ekipmanların yaktığı fosil yakıtların diğer işlemlerden daha yüksek oranda etkisi olduğunu tespit etmektedir.

İklim değişikliği alt kategori ağırlıklandırması:

İklim değişikliğinin birimleri ve özelliklerin daha önce bahs ettik ama bu bölümde tekrar iklim değişikliği etki alt kategorisinin ağırlıklandırmasının sonuçların vererek daha detaylı inceleyeceğiz. Şekil 5.13 'te iklim değişikliği etkisi olan işlemlerin en önemlileri verilmiştir. Bu işlemler fazla olduğu için sadece miktarları yüksek olan işlemler miktarlarına göre sıralanmıştır. Diğer etkilere neden olan işlemlerden birisi, yolun inşaatında kullanılan ekipmanlar ve makinelerin iklim değişiklik etkisi olduğunu tekrar görüyoruz. Ayrıca çimento üretimi ve demir çıkarımında sonraki sıralarda yer almaktadır. Bu işlemlerin etkisinin azaltmasını daha önceki yazılarda önerilmiştir ve bu etki kategorisinde geçerlidir. Çizelge 5.9 'da şekil 5.13 'teki işlemlerden meydana gelen emisyonlar verilmiştir. Bu gazların başlıca gözükenleri Karbon dioksit ve metan gazlarıdır. Bu gazlar sera gazları olarak yerküresinin sıcaklığına neden olan asıl gazlardandır.

No	Process	Unit	Infra road passenger
	Total of all processes	Pt	6.892E-5
	Remaining processes	Pt	1.394E-6
1	Diesel in building equipment U	Pt	1.408E-5
2	Cement ETH U	Pt	9.408E-6
3	Crude iron ETH U	Pt	5.191E-6
4	Lignite power plant in D U	Pt	4.263E-6
5	Coal power plant in D U	Pt	3.437E-6
6	Fuel oil lowS in boiler 1MW U	Pt	2.432E-6
7	Petroleum gas flaring U	Pt	2.231E-6
8	Electricity oil I U	Pt	1.919E-6
9	Refinery gas in furnace Europe U	Pt	1.684E-6
10	Coal from underground mine UCPT E U	Pt	1.5E-6
11	Electricity gas power plant in I U	Pt	1.349E-6
12	Coal power plant in E U	Pt	1.195E-6
13	Residual oil in refinery furnace Europe U	Pt	1.153E-6
14	Truck 40t ETH U	Pt	1.129E-6
15	Sinter ETH U	Pt	1.068E-6
16	Lignite power plant in Gr U	Pt	8.961E-7
17	Petroleum gas blow off U	Pt	8.191E-7
18	Converter steel ETH U	Pt	7.552E-7
19	Passenger car W-Europe ETH U	Pt	7.342E-7
20	Electricity gas power plant in NL U	Pt	6.987E-7
21	Coal power plant in F U	Pt	6.67E-7
22	Electricity gas power plant in W-D U	Pt	6.606E-7

Şekil 5.13. İklim değişikliği kategorisinin işlem sıralaması

Şekil 5.13 'te insan sağlığı kategorisinin iklim değişikliği alt kategorisinin ağırlıklandırma analizinin sonucunda elde edilen işlemlerin sıralaması verilmiştir. Bu işlemlerden meydana gelen emisyon hepsi gaz olarak havaya bırakılıyor. Bu gazların yol yaşam döngüsünde miktarları çizelge 5.9 'da sıralanmıştır. Eksi olan miktarlar simapro yazılımında, tariff edilen sistemin atıklarının geri dönüşümünde bu etkini bertaraf etmesini göstermektedir.

Çizelge 5.9. İklim değişikliğine neden olan emisyonlar

iklim değişikliği				
1	Karbon dioksit	Hava	Pt	6,426E-5
2	Metan	Hava	Pt	3,765E-5
3	diazotik oksit	Hava	Pt	6,195E-07
4	Karbonmonoksit	Hava	Pt	4,764E-07
5	Metan, bromotrifluoro-,	Hava	Pt	-2,919E-07

Şekil 5.13 'te işlemlerin miktar olarak karşılaştırması yapılmıştır. Karbon dioksit ve metan gazı yol yaşam döngüsünde birçok işlemlerden meydana gelmektedir ve bu işlemlerin hepsini bu çalışmada göstermemiz mümkün değildir bu yüzden sadece 22 işlemi şekil 5.13 'te sıraladık.

Karsinojenler alt kategori ağırlıklandırması:

Karsinojenler etki kategorisi diğer incelediğimiz etki kategorisidir ki işlem dağılım analizinde Şekil 5.14 'te yapılmıştır.

No	Process	Unit	Infra road passenger
	Total of all processes	Pt	1.84E-5
	Remaining processes	Pt	3.048E-7
1	Coal tailings in landfill U	Pt	1.347E-5
2	Converter steel ETH U	Pt	9.809E-7
3	LT plastics to HA chemical landfill U	Pt	5.629E-7
4	Residual oil in refinery furnace Europe U	Pt	5.135E-7
5	Sinter ETH U	Pt	4.971E-7
6	Bitumen refinery Europe U	Pt	3.399E-7
7	Crude oil production offshore U	Pt	2.623E-7
8	Residual oil Europe in boiler 1MW U	Pt	1.915E-7
9	Electro steel ETH U	Pt	1.677E-7
10	Crude iron ETH U	Pt	1.599E-7
11	Diesel refinery Europe U	Pt	1.445E-7

Şekil 5.14. Karsinojenler etki kategorisinin işlem sıralaması

Çizelge 5.10. Karsinojenler etki kategori emisyonları

No	Madde	Bırakıldığı alan	Birim	Miktar
Karsinojenler				
1	Arsenik, iyon	Su	Pt	0,00001366
2	Kadmiyum	Hava	Pt	0,00000244
3	Kadmiyum. iyon	Su	Pt	0,000001596
4	Arsenik	Hava	Pt	4,176E-07

Çizelge 5.10. (devam) Karsinojenler etki kategori emisyonları

5	PAH. polisiklik aromatik hidrokarbonlar	Su	Pt	1,826E-07
6	Arsenik	Toprak	Pt	3,277E-08
7	2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioksin olarak ölçülen toksinler,	Hava	Pt	1,943E-08
8	Nikel	Hava	Pt	1,912E-08

Şekil 5.14 'te yol yaşam dönüşü analizinde karsinojen etkisi olan işlemler gösterilmiştir, şekilde açıklandığı gibi en yüksek miktarda karsinojen etkisi olan işlem, depolanan kömür atıklarından kaynaklanmaktadır ve bu işlem yol yaşam dönüşü analizinde karsinojen etkisinin engellemeye en kritik işlemdir.

Radyasyon, solunan organik maddeler ve ozon tabakası alt kategori ağırlıklandırmaları:

Son üç alt kategorinin Çizelge 5.5 e göre yol yaşam döngüsünde en az etkisi gözükmektedir bunun için bu üç alt kategorini bir yerde inceledik. Çizelge 5.11 'de bu üç alt kategoride meydana gelen emisyonlar verilmiştir. Daha sonra bu emisyonların hangi işlemlerden kaynaklandığı incelenecektir.

Çizelge 5.11. Radyasyon, solunan organik maddeler ve ozon tabakası etki emisyonları

No	Madde	Bırakıldığı alan	Birim	Miktar
solunan organic maddeler				
1	NMVOC, metan dışı uçucu Organic bileşikler, tanımlanmamış kökenli	Hava	Pt	3,055E-6
2	Etilen	Hava	Pt	5,481 E-8
3	Metan	Hava	Pt	1,095E-08
4	Pentan	Hava	Pt	9,007E-9
5	Bütan	Hava	Pt	6,38E-09
6	Belirtilmemiş hidrokarbonlar, alifatik, alkanlar,	Hava	Pt	4,304E-09

Çizelge 5.11. (devam) Radyasyon, solunan organik maddeler ve ozon tabakası etki emisyonları

7	hekzan	Hava	Pt	4,118E-09
8	Propan	Hava	Pt	3,235E-09
Radyasyon				
1	Radon-222	Hava	Pt	2,77E-6
2	Karbon-14	Hava	Pt	2,766E-07
3	Sezyum-137	Su	Pt	1,723E-07
4	Radon-222	Hava	Pt	3,013E-08
5	Kobalt-60	Su	Pt	2,098E-08
6	Sezyum-134	Su	Pt	1,541E-08
7	Kripton-SS	Hava	Pt	1,125E-08
8	Radyum-226	Su	Pt	5,216E-09
Ozon tabakası				
1	Metan, bromotrifluoro-, 1301 Halon	Hava	Pt	5,181E-07
2	Etan, 1,2-dikloro-1,1,2,2- tetrafluoroetan, chlorofluoro-, HCFC-21	Hava	Pt	1,588E-08
3	Metan, tetraklorometan, CFC-10	Hava	Pt	9,031E-09
4	Metan, trichlorofluoro-, CFC-11	Hava	Pt	8,281E-10
5	Metan, bromotrifluoro-, 1301 Halon	Hava	Pt	7,053E-10

Çizelge 5.11 'de solunan organik maddeler, radyasyon ve ozon tabakasının etkileyen maddelerin miktarları verilmiştir ve yüksekten düşük miktara sıralanmıştır. Çizelgeye göre meydana gelen küçük parçalar, metan çeşitleri, etilen, radon ve karbon 14 gibi maddeler vardır.

Şekil 5.15, 5.16 'da işlemlerin arasında en yüksek hasar miktarları verilmiştir. Solunan organik maddeler alt kategorisinde en fazla yol altyapı inşaatı hasar vermektedir. Bu işlemlen sonra ham petrol eldesi hem solunan organik maddeler alt kategorisine ve hem ozon tabakasına etkisi tespit edilmiştir.



Network   Tree   Impact assessment   Inventory   Process contribution   Setup   Checks (234)			
Indicator		Cut-off	
Weighting		0.1%	
Category		<input checked="" type="checkbox"/> Per impact category	
Resp. organics		<input checked="" type="radio"/> Standard <input type="radio"/> Group	
No	Process	Unit	Infra road passenger
	Total of all processes	Pt	3.163E-6
	Remaining processes	Pt	3.606E-8
1	Infra road passenger car U	Pt	1.768E-6
2	Crude oil production onshore U	Pt	4.987E-7
3	Crude oil production offshore U	Pt	3.99E-7
4	Diesel in building equipment U	Pt	1.888E-7
5	Petroleum gas blow off U	Pt	1.126E-7
6	HDPE ETH U	Pt	5.426E-8
7	Passenger car W-Europe ETH U	Pt	3.472E-8
8	Bitumen refinery Europe U	Pt	1.76E-8
9	Infra road delivery van U	Pt	9.597E-9
10	Sinter ETH U	Pt	9.206E-9
11	Truck 40t ETH U	Pt	7.902E-9

Şekil 5.15. Solunan organik etkisi olan işlemlerin miktara göre sıralaması

Network   Tree   Impact assessment   Inventory   Process contribution   Setup   Checks (234)			
Indicator		Cut-off	
Weighting		0.1%	
Category		<input checked="" type="checkbox"/> Per impact category	
Ozone layer		<input checked="" type="radio"/> Standard <input type="radio"/> Group	
No	Process	Unit	Infra road passenger
	Total of all processes	Pt	5.448E-7
	Remaining processes	Pt	2.458E-9
1	Crude oil production onshore U	Pt	2.966E-7
2	Crude oil production offshore U	Pt	1.187E-7
3	Tanker oceanic ETH U	Pt	1.028E-7
4	Uranium enriched 3.4% EURODIF U	Pt	1.156E-8
5	HDPE ETH U	Pt	9.021E-9
6	Uranium enriched 3.5% USEC U	Pt	1.67E-9
7	Uranium enriched 3.5% EURODIF U	Pt	1.167E-9
8	Vinyl chloride ETH U	Pt	7.958E-10

Şekil 5.16. Ozon tabakasının etkileyen işlemler sıralaması

Şekil 5.15, 5.16 'da bir sürü işlemi daha eklemek mümkündür ve her işlem diğer işlemden tamamen farklı bir konudur. Örneğin ham petrol eldesi ve taşıma işlemi tamamen farklı bir işlemlerdir. Buna rağmen yol yaşam döngüsünde çevresel etkileri azaltmak için çoğu işlemler üzerinde çalışmak gerekir ve sadece çevre uzmanları veya inşaat mühendisleri değilde makine mühendisleri, petrol uzmanları, ulaşım mühendisleri, kimya mühendisleri, malzeme mühendisleri vs. katkısı gerekir. Ancak bu kısa çalışmada oldukça en önemli ve etkili işler, emisyonlar ve miktarları verilmiştir.



## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bitüm kaplamalı karayollarının yaşam döngüsü analizi ile çevresel etkileri Eco-İndikatör 99 göstergelerinde yer alan etki kategorilerine göre incelendiğinde; karakterizasyon analizi sonuçlarına göre en önemli etki doğal kaynakların tüketimi üzerinde görülmektedir. Bu kategorideki etki kaynaklarına bakıldığında; en önemli etki unsuru fosil yakıtların kullanımınıdır. Bu kategoride fosil yakıtların etkisi; ham petrolün çıkarılması, doğal gaz ve kömür eldesi faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Her 1 kg ham petrol eldesine 42,6 MJ enerji harcanmaktadır. En yüksek çevresel etkiye sahip işlemler bitüm rafineleri ve ham petrol üretim işlemleridir. Fosil yakıtların karayollarının yaşam döngüsü analizinde çevresel etkilerini azaltmak için önerilen işlemler; bitüm rafinelerinde daha yeşil teknolojilerin kullanılması, bu rafinelerin gaz çıkış sistemlerinde etkili gazların tutulması için filtrelerin kullanılması ve petrol yerine daha uygun enerji kaynaklarının kullanılması olabilir.

Ekosistem kalitesi, üç ana etki kategorisi içinde, ikinci sırada yer almaktadır. Bu etkiyi oluşturan alt kategoriler içinde en fazla tahribat “arazi kullanımı” üzerine oluşmaktadır. Ekotoksisite oluşumunun ihmal edilecek kadar düşük olması ( $7.07E-10$ ) sevindirici bir sonuç olarak görülmektedir. Yine sevindirici olarak nitelendirilebilecek bir sonuç da insan sağlığı kategorisinin en az etkilenen alan olarak bulunmuş olmasıdır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, üç ana kategori altında yer alan bütün kategoriler üzerindeki etkileri birbirleri ile de karşılaştırabilmek amacıyla “ağırlıklandırma analizi” yapılmıştır. Analizin uygulandığı alt etki kategorileri; kansere neden olan maddeler (karsinojenler), solunan organik maddeler, solunan inorganik maddeler, iklim değişikliği, radyasyon ve ozon tabakasına olan etkiler, arazi kullanımı, asidifikasyon/ötrofikasyon, ekotoksisite, fosil yakıtlar ve minerallerdir. Ağırlıklandırma analizinin bulguları incelendiğinde; oldukça yüksek bir farkla fosil yakıtlar en önemli etkiyi oluşturmaktadır. Daha sonra en çok etkilenen kategoriden, en az etkilenen kategoriye doğru bir sıralama yapıldığında; arazi kullanımı ikinci sırada yer alırken, solunan organik maddeler üçüncü sırada, iklim değişikliği dördüncü sırada yer almaktadır. İklim değişikliğini; asidifikasyon/ötrofikasyon, ekotoksisite, kanser yapıcı maddeler, radyasyon, solunan

organik maddeler, mineraller takip etmekte ve en az etkilenen alanda ozon tabakası olarak yer almaktadır.

'Fosil yakıtlar'ın ilk sırada yer alması çalışmanın başında da beklenen bir durumdur. Yol yapımında ve yol bakımında kullanılan maddelerden bitüm ve/veya asfalt malzemenin kullanılması, ana hammaddelerin bunlar olması, karayollarının yaşam döngüsü analizinde, en önemli etkinin "doğal kaynakların tüketilmesi" kategorisinde olmasına neden olmuştur. Çözüm olarak bu etkileri azaltmak için; ilk öneri bitüm yerine daha az etkisi olan, daha çevre dostu malzemelerin yol yapımında kullanılmasıdır. Bitüm, karayollarında malzeme yapıştırıcısı olarak kullanılmaktadır. Bu işlevi yerine getirebilecek alternatifler de incelenmeli ve gözönüne alınmalıdır. İkinci öneri yol yapımında işletilen makinelerin fosil yakıtların yerine elektrik enerjisi ya da yenilebilir enerji kaynakları kullanılmasıdır. Böylece yakıt kullanım payı azaltılmış olacaktır. Üçüncü seçenek ise; petrol rafinelerinin daha çevre dostu olarak tasarlanması ve işletilmesidir.

İkinci olarak en çok etkinin 'arazi kullanımı' üzerinde olması; yol yapım maddelerinin çıkarımında ve elde edilmesinde, yol inşaatı sırasında ve atıkların depolanması sırasında arazilerin kullanımı ile açıklanabilir.

'Solunan inorganik madde' emisyonlarının artması, tüm alt kategorier sıralamasında üçüncü sırada yer alırken, insan sağlığı kategorisinde en çok etkilenen alan olarak bulunmuştur. Solunan inorganik maddeler; azotoksitler, kükürtoksitler ve farklı boyutlardaki partiküler maddelerdir. Bu emisyonların kaynağı; yol inşaatı sırasında kullanılan silindir, mikserler gibi iş makinaları ve taşıt trafiğidir. Bu gazların bir diğer kaynağı da enerji ve elektrik üretim sistemleridir. Fosil yakıtla çalışan sistemlerden azotoksitler, kükürtoksitler ve partiküler maddeler kaynaklanmaktadır. Çevre dostu yakıtlarla, elektrikle çalışan iş makinalarının kullanımının teşvik edilmesi, işletmelerde enerji üretimi sırasında teknik önlemlerin alınması bu etkileri azaltabilir. Ancak, burada yol yapım sürecinde kullanılacak hammaddeler ve inşaat yöntemlerinin çok çeşitli alternatiflerinin olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmada; analizlerde her etki kategorisi üzerinde en fazla hasar veren hammdde, işlem ve/veya süreçler incelenmiştir.

İnsan sağlığı kategorisinde, ikinci sırada; genel sıralamada dördüncü sırada en fazla etkiye maruz kalan alan, iklim değişikliğidir. Bilindiği üzere, günümüzdeki en önemli çevre sorunu iklim değişikliğidir. Yolun inşaatında kullanılan ekipmanların ve makinelerin yaktığı yakıtlar sadece solunan inorganik maddelerin artmasına neden olmamakta, aynı zamanda iklim değişikliğine de yol açmaktadır. Ayrıca çimento üretimi ve demir çıkarımı da sonraki sıralarda iklim değişiklik kategorisini etkilemektedir. Bu işlemlerden kaynaklanan karbon dioksit, metan, diazotik oksit ve karbonmonoksit gibi gazlar bilindiği üzere iklim değişikliğine neden olan en önemli gazlardır. Bu çalışma ile de karayollarının iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkileri ortaya konmuştur. Gerekli önlemlerin alınmasında fayda görölmektedir.

Asitlendirme/ötrofikasyon da karayollarının önemli etkilerinden bir tanesi olarak bulunmuştur. Yol yapım aşamasında iş makinelerinde kullanılan yakıtlar ve taşıyt trafiğinden kaynaklanmaktadır. Çözüm olarak daha önceki maddelerde de bahsedildiği üzere, fosil yakıtların kullanımını yerine, alternatif çevre dostu enerji kaynaklarına yönelim ve bitüm yerine çevreye minimum zarar veren (ya da hiç vermeyen) hammaddelerin kullanımının teşvik edilmesi önerilmektedir.

Karayolları kaynaklı olarak en çok ekotoksik etki gösteren maddeler çinko ve nikel dir. Ekotoksosite etkisi olan işlemler fabrikaların demir, sinter veya enerji üreten süreçlerinden meydana gelmektedir çelik dönüştürme işlemi bu etki kategorisinin en önemli nedenidir. Yanı sıra sinter işlemi ikinci sırada yer almaktadır. Ekotoksosite azaltmasında yapabilecek çalışmalar genelde fabrikalar üzerinde olmalı veya kullanılan malzemeni tamamen değiştirmelidir. Fabrikalarda tehlikeli gaz tutma ve filtre sistemi uygulayarak bu etkilerin azaltması sağlanabilir.

Son söz olarak karayolu yaşam döngüsü analizinde farklı ve çeşitli alternatifleri gözönüne alarak farklı sonuçlara ulaşılabilir. Bu çalışmada en çok etkiyi yaratacağı düşünölen, en kötü senaryolar üzerinden analizler yapılmıştır. Ayrıca karayolları ile ilgili çalışmalarda sadece çevre uzmanları veya inşaat mühendisleri değil makine mühendisleri, petrol uzmanları, ulaşım mühendisleri, kimya mühendisleri, malzeme mühendislerinin de. Katkısı gerekir.



## KAYNAKLAR

1. Internet: Orman ve Su İşleri Bakanlığı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ormansu.gov.tr%2F&date=2017-03-16>, Son Erişim Tarihi: 16.03.2017.
2. Akın, G. (2007). Küresel Çevre Sorunları. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31, 31-54.
3. Kapikiran, Y. (2010). *Türkiye’de Çevre Sorunları Bağlamında Sivil Toplum Örgütlerinin İşlevsellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Mersin.
4. Toröz, İ. (2009). Toprak Kirlenmesi. Antalya: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 36-70.
5. Dikmen, Ç., Saraçoğlu, E., Durucan, Z., Durak, S., ve Sarıoğlu, K. (2011). Türkiye Çevre Durum Raporu. Ankara, Yayın No: 11.
6. Sencar, P. (2007). *Türkiye’de Çevre Koruma ve Ekonomik Büyüme İlişkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne.
7. Türkiye Çevre Vakfı (2003). *Türkiye’nin Çevre Sorunları*. Ankara: Türkiye Çevre Vakfı Yayını, 8 inci Baskı.
8. Bir Gürüp IPCC Yazıcıları (2016). Climate Change 2014 Synthesis Report summary for Policymakers. *Ipcc’s Fifth Assessment Report (Ar5)*. USA, 8 (1-102).
9. Kögmen, Z. (2014). *Karayolu Taşımacılığının Diğer Taşımacılık Modlarıyla Karşılaştırılması ve Sağladığı Avantajlar*. Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.
10. Ay, S. (2011). *Ulaştırma Sistemlerinin Çevresel Etkileri*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
11. European Asphaltpavement Association. (2011). *The Asphalt Paving Industry A Global Perspective*. (Second Edition). Belgium: Ostend, 45-67.
12. Internet: T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kgm.gov.tr%2FSayfalar%2FKGM%2FSiteTr%2FRoot%2Fdefault.aspx&date=2017-03-16>, Son Erişim Tarihi: 16.03.2017.
13. Kaya, B (2011). *Bitümlü Karışımların Geri Dönüşümü, Çevresel Etkileri ve Maliyet Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
14. Akbulut, H., İçağa, Y., ve Gürer, C. (2003). *Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkanları ve Cen Standartları*. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.

15. Bir G ü r ü p Yazıcılar. (2011). *Sürdürülebilir Üretim Ve Tüketim Yayınları*. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 34-67.
16. Özdemir, A. (2013). *Türkiye’de Demiryolu Ulaşımının Yaşam Döngüsü Analizi ve Yaşam Döngüsü Maliyeti Yöntemleri İle Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
17. Facanha, C. and Horvath, A. (2007). *Evaluation of Life Cycle Air Emission Factor of Freight Transportation*. University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, California, USA.
18. Federici, M., Ulgiati, S. and Basosi, R. (2008). A Thermodynamic, Environmental, and Material Flow Analysis of the Italian Highway and Railway Transport Systems. *International Journal of Energy*, 33 (5), 760-775.
19. Butt, A. A. (2012). *Life Cycle Assessment of Asphalt Pavements Including the Feedstock Energy and Asphalt Additives*. Uzmanlık Tezi, KTH, Royal Institute of Technology, Department of Transport Science, Stockholm.
20. Carlson, A. (2011). *Life Cycle Assessment of Roads and Pavements*. Linköping Sweden: Vti publication Rapport (No.736a).
21. Zolfagharian, S., Nourbakhsh, M., Ressang, A., Gheisari, M., and Irizarry, J. (2012). *Environmental Impacts Assessment on Construction Sites*. Construction Research Congress, Atlanta, USA.
22. İyınam, Ş., Ergün, M., İyınam, A, F. (2007). *Karayolu ve Karayolu Trafiğinin İnsan ve Sosyal Çevre Üzerindeki Olumsuz Etkileri*. Ulaşım ve Trafik Kongresi Sergisi, 67-78.
23. Said, F. M., Bolong, N., Vegungat, L. (2013). *Life Cycle Assessment of Asphalt Pavement Construction and Maintenance – A Review*. Universiti Malaysia Sabah, School of Engineering & IT, Sabah.
24. Galatioto, F., Huang, Y., Parry, T., Bird, R., and Bell, M. (2015). Traffic Modelling in System Boundary Expansion of Road Pavement Life Cycle Assessment. *Transportation Research Part D*, 36, 65–75.
25. Harvey, J., Kendall, A., and Saboori, A. (2015). *The Role of Life Cycle Assessmen in Reducing Greenhouse Gas Emissions from Road Construction and Maintenance*. University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, Davis.
26. Baumann, H., Tillman, A, M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to Lca- An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application*. (Second edition). İsveç: Studentlitteratur Lund, 134-170.
27. Çokaygil, Z., Banar, M. (2005). *Yaşam Döngüsü Analizi ve Standartlar Açısından Bir Değerlendirme*. Vi. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İstanbul.



28. Özkan, A. (2008). *Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.







**EKLER**

## Ek-1. Yıllara göre devlet ve il yolları uzunluğu (Km)

YILLAR Years	ASFALT BETONU Asphaltic Concrete	SATHİ KAPLAM A Surface Treatment	PARKE Stone Block	STABİLİZE Stabilized	TOPR AK Eart	GEÇİT VERME Z Primitive	TOPLAM UZUNLUK Total Length
1967	1289	12712	207	31190	9319	4540	59257
1968	1383	14093	204	30801	9422	3621	59524
1969	1450	15884	207	29715	9331	3033	59620
1970	1534	17481	211	28899	8517	2811	59453
1971	1705	18516	204	28250	7965	2829	59469
1972	1739	19318	206	27821	7784	2580	59448
1973	1701	20458	191	27520	7201	2208	59279
1974	1764	21899	253	27260	6267	2056	59499
1975	1892	23409	205	26033	5879	1651	59069
1976	1912	24833	189	25009	6026	1646	59615
1977	1996	26804	154	23067	5252	2134	59407
1978	2336	29296	130	20913	5205	1838	59718
1979	2707	31355	116	18745	4955	2181	60059
1980	2822	32848	140	18508	4605	1838	60761
1981	1900	34084	117	17258	4153	2200	59712
1982	2937	35395	118	16169	4180	2155	60954
1983	2936	36522	128	14715	3331	1665	59297
1984	3176	37630	129	13750	2757	1670	59112
1985	3368	38784	125	13019	2440	1566	59302
1986	3851	39743	139	12020	1812	1574	59139
1987	3972	41030	177	10767	1510	1459	58915
1988	4161	41247	186	10293	1417	1547	58851
1989	4128	42038	144	9558	1234	1450	58552
1990	4261	43200	136	8803	1356	1372	59128
1991	4414	43874	134	8050	1327	1422	59221
1992	4546	44063	136	8116	1573	1408	59842
1993	4605	44960	128	7352	1425	1300	59770
1994	4757	45502	122	6894	1281	1276	59832
1995	4835	45849	121	6552	1330	1312	59999
1996	5080	46634	105	6007	1176	1223	60225
1997	5136	47684	107	5574	1201	1139	60841
1998	5659	48650	116	4141	1180	1139	60885
1999	5752	49054	132	3761	1195	1029	60923
2000	6057	49709	134	3026	1144	1020	61090
2001	6452	50028	139	2615	1113	958	61305
2002	6877	49943	126	2605	1025	792	61368
2003	6930	50218	132	2441	1018	752	61491
2004	7030	50461	136	2236	1214	737	61814
2005	7080	50302	133	2207	1329	888	61939
2006	7204	50159	135	2132	1226	908	61764
2007	7406	50619	158	1796	9	986	61912

## Ek-1. (devam) Yıllara göre devlet ve il yolları uzunluğu (Km)

2008	8004	50305	16	1600	862	1084	<b>62023</b>
2009	8681	49782	18	1490	783	1303	<b>62219</b>
2010	10197	48929	21	1314	782	1351	<b>62785</b>
2011	11561	47912	21	1077	721	1447	<b>62930</b>
2012	13150	46462	25	1069	666	1652	<b>63255</b>
2013	14870	45294	26	852	632	1587	<b>63496</b>
2014	15922	44277	27	891	599	1792	<b>63754</b>
2015	17095	43726	26	744	631	1820	<b>64278</b>

Not: Yukarıda verilen uzunluklar yıl sonu itibarıdır.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MORSALI, Saeed  
Uyruğu : IRAN  
Doğum tarihi ve yeri : 25.02.1989, Miyaneh  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (543) 410 18 01  
e-mail : morsali.saeed@gmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Çevre Bilimleri	Devam Ediyor
Lisans	Azerbaycan Şehit Medeni Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2013
Lise	Şehit Bakeri Lisesi	2006

### İş Deneyimi

-

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

-

### Hobiler

Yüzme, Saz, Dans



*GAZİ GELECEKTİR..*