

Ceng AYGÜN



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**TÜRKİYE ULAŞTIRMA
SİSTEMLERİNDEKİ EMİSYON
DEĞERLERİNİN ANALİZİ
VE TAHMİNİ**

Ceng AYGÜN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OCAK 2022

OCAK 2022



**TÜRKİYE ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNDEKİ EMİSYON
DEĞERLERİNİN ANALİZİ VE TAHMİNİ**

Ceng AYGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2022

Ceng AYGÜN tarafından hazırlanan “TÜRKİYE ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNDEKİ EMİSYON DEĞERLERİNİN ANALİZİ VE TAHMİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....
.....

Başkan: Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

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

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Mehmet ÇAKIROĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Toros Üniversitesi

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

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 26/01/2022

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

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
- 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.

İmza
Ceng AYGÜN
26/01/2022

TÜRKİYE ULAŞTIRMA SİSTEMLERİNDEKİ EMİSYON DEĞERLERİNİN ANALİZİ VE
TAHMİNİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ceng AYGÜN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Günümüzde dünya genelinde ulaşım için harcanan enerjinin %95'ten fazlası fosil yakıt kullanan araçlardan oluşmaktadır. Ulaşım sektörü için kullanılan enerji kaynaklarından ortaya çıkan emisyonlar dünya çapındaki emisyonun yaklaşık olarak %20'sine denk gelmektedir. Bu durum çevre kirliliği açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Çevre kirliliğinin büyük bir kısmı hava kirliliğinden meydana gelmektedir. Enerji kaynakları ile yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan karbondioksit (CO₂), hidrokarbonlar, azot oksitler (NO_x) ve kükürtlü bileşenler gibi zararlı emisyonların ozon tabakasının delinmesine ve küresel ısınma gibi ülkemiz ve dünya açısından kötü sonuçlara yol açmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'deki ulaştırma sistemlerinden kaynaklanan emisyon değerlerinin analiz ve tahmini yapılmaktadır. Yapılan bu analizler için yapay sinir ağları (YSA), çok değişkenli lineer regresyon (MLR), bulanık mantık ve logaritmik regresyon yöntemleri kullanılmaktadır. MLR yönteminin lineer, interaction ve purequadratic metotları uygulanmaktadır. Analizler korelasyon katsayısı (R), hataların karelerinin ortalaması (HKO) ve yüzde hata ortalaması (YHO) kriterleri baz alınarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak YSA'dan elde edilen R değeri 0,9809, HKO değeri 8 050 363 681 418,75 ve OYH değeri %4,1555 olarak elde edilmiştir. MLR modelinin lineer metodunun R değeri 0,9855, HKO değeri 4 793 845 004 079,31 ve YHO değeri ise %3,7989 olarak elde edilmiştir. Interaction metodunun R değeri 1,0000, HKO değeri 0,000000004839 ve YHO değeri ise %0,0000000001672 olarak elde edilmiştir. Purequadratic metodunun R değeri 0,9900, HKO değeri 3 314 943 364 316,79 ve YHO değeri ise %2,5781 olarak elde edilmiştir. Logaritmik regresyon yönteminin R değeri 0,9872, HKO değeri 4 236 601 138 306,92 ve YHO değeri ise %3,4057 olarak elde edilmiştir. Bulanık mantık yönteminin R değeri 0,9855, HKO değeri 4 895 753 910 316,73 ve YHO değeri ise %4,9089 olarak elde edilmiştir. Elde edilen tahminler sonucunda en iyi sonucu veren yöntem çok değişkenli lineer regresyon yönteminin interaction metodu olarak gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Regresyon, Yapay Sinir Ağı, Emisyon, Ulaşım

Sayfa Sayısı : 47

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ

ANALYSIS AND FORECAST OF EMISSION VALUES IN TURKISH
TRANSPORTATION SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Ceng AYGÜN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2022

ABSTRACT

Today, more than 95% of the energy consumed for transportation worldwide consists of vehicles using fossil fuels. Emissions from energy sources used for the transport sector account for approximately 20% of worldwide emissions. This situation becomes a major threat in terms of environmental pollution. A large part of environmental pollution consists of air pollution. Harmful emissions such as carbon dioxide (CO₂), hydrocarbons, nitrogen oxides (NO_x) and sulphurous components resulting from the work done with energy sources lead to depletion of the ozone layer and bad consequences for our country and the world, such as global warming. In this study, the analysis and estimation of the emission values originating from the transportation systems in Turkey are made. Artificial neural networks (ANN), multivariate linear regression (MLR), fuzzy logic and logarithmic regression methods are used for these analyzes. Linear, Interaction and Purequadratic methods of MLR method are applied. The analyzes are evaluated on the basis of the correlation coefficient (R), mean of squares of errors (MSE) and mean percent error (MPE) criteria. As a result, the R value obtained from ANN was 0.9809, the MSE value was 8050363681418.75 and the MPE value was 4.1555%. The R value of the linear method of the MLR model was 0.9855, the MSE value was 4793845004079.31, and the MPE value was 3.7989%. The R value of the interaction method was 1.0000, the MSE value was 0.000000004839, and the MPE value was %0.000000001672. The R value of the Purequadratic method was 0.9900, the MSE value was 3314943364316.79 and the MPE value was 2.5781%. The R value of the logarithmic regression method was 0.9872, the MSE value was 4236601138306.92, and the MPE value was 3.4057%. The R value of the fuzzy logic method was obtained as 0.9855, the MSE value was 4895753910316,73 and the MPE value was 4.9089%. As a result of the estimations obtained, the method that gives the best result is observed as the interaction method of the multivariate linear regression method.

Key Words : Transportation, Regression, Emission, Artificial Neural Network
Page Number : 47
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ömer Faruk CANSIZ

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Danışman hocamın anlayışı, açık görüşlülüğü ve beni her zaman desteklemesini asla unutmayacağım.

Yüksek lisans boyunca iyi niyetlerini ve yardımlarını esirgemeyen Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkür ederim.

Aileme öğrencilik yaşamam boyunca gösterdiği ilgi ve destek için teşekkür ederim. Özellikle sevgili annemin beni okutmak amacıyla gösterdiği maddi ve manevi fedakârlığı asla unutamam. Teşekkürler anne...

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| TEŞEKKÜR..... | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | ix |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ..... | x |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Ulaştırma Sistemlerinden Kaynaklanan Emisyonlar | 2 |
| 1.1.1. Karbondioksit (CO ₂) | 5 |
| 1.2.2. Azot oksitler (NO _x) | 6 |
| 1.3.3. Hidrokarbonlar | 7 |
| 1.4.4. Kükürtlü bileşenler..... | 8 |
| 1.2. Karayolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi | 8 |
| 1.3. Havayolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi | 11 |
| 1.4. Denizyolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi | 13 |
| 1.4. Demiryolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi | 15 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... | 17 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 27 |
| 3.1. Çalışmanın Amacı..... | 28 |
| 3.2. Bulanık Mantık..... | 28 |
| 3.3. Çok Değişkenli Lineer Regresyon (MLR)..... | 30 |
| 3.4. Logaritmik Regresyon..... | 31 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5. Yapay Sinir Ağları (YSA)..... | 31 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA..... | 33 |
| 4.1. Çok Değişkenli Lineer Regresyon İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi | 33 |
| 4.2. Yapay Sinir Ağları İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi | 35 |
| 4.3. Bulanık Mantık İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi | 37 |
| 4.4. Logaritmik Regresyon İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi..... | 39 |
| 4.5. Emisyon Değeri Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması..... | 40 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 41 |
| KAYNAKLAR..... | 43 |
| DİZİN..... | 48 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 1.1. Ulaşım sektörüne ait emisyon değerleri | 3 |
| Çizelge 1.2. Ulaşım türlerine göre emisyon değerleri | 4 |
| Çizelge 1.3. Karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar | 10 |
| Çizelge 1.4. Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar | 12 |
| Çizelge 1.5. Denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar | 14 |
| Çizelge 1.6. Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar | 15 |
| Çizelge 3.1. Bağımsız değişkenlerin çapraz korelasyon değerleri | 27 |
| Çizelge 3.2. Emisyon değerleri tahmini için kullanılan veri seti | 27 |
| Çizelge 4.1. Emisyon değeri tahmini için regresyon metotlarının karşılaştırılması | 35 |
| Çizelge 4.2. Emisyon Değerinin tahmini için modellerin karşılaştırması | 40 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 1.1. Ulaşım sektörüne ait emisyon değerleri grafiği..... | 5 |
| Şekil 1.2. Karayolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği | 9 |
| Şekil 1.3. Havayolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği..... | 12 |
| Şekil 1.4. Denizyolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği..... | 14 |
| Şekil 1.5. Demiryolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği | 14 |
| Şekil 3.1. SMGRT formüllerindeki değişkenlerin gösterimi..... | 30 |
| Şekil 3.2. Yapay sinir ağı örneği..... | 32 |
| Şekil 4.1. Lineer regresyon metodu analiz sonucu grafiği..... | 33 |
| Şekil 4.2. Interaction regresyon metodu analiz sonucu grafiği..... | 34 |
| Şekil 4.3. Purequadratic regresyon metodu analiz sonucu grafiği..... | 35 |
| Şekil 4.4. YSA modelinin analiz sonucu grafiği..... | 36 |
| Şekil 4.5. Emisyon değeri tahmini için YSA model görünümü | 36 |
| Şekil 4.6. Emisyon değeri tahmini için YSA modelinin performans ve eğitim görünümü..... | 37 |
| Şekil 4.7. Emisyon değeri tahmini için YSA modelinin regresyon katsayısı grafiği | 37 |
| Şekil 4.8. Bulanık mantık modelinin analiz sonucu grafiği..... | 38 |
| Şekil 4.9. Emisyon değeri tahmininde bulanık model ve üyelik fonksiyonlarının görünümü | 38 |
| Şekil 4.10. Emisyon değeri tahmininde bulanık modelin kural tablosu | 39 |
| Şekil 4.11. Logaritmik regresyon analiz sonucu grafiği | 40 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|-----------------------|----------------------------------|
| CO₂ | Karbon dioksit |
| EPA | ABD Çevre Koruma Ajansı |
| FR | Bulanık Kurallar |
| H₂O | Su Buharı |
| HKO | Hataların Karelerinin Ortalaması |
| IEA | Uluslararası Enerji Ajansı |
| KGM | Karayolları Genel Müdürlüğü |
| MF | Üyelik Fonksiyonları |
| MLR | Çok Değişkenli Lineer Regresyon |
| NO_x | Azot Oksitler |
| OYH | Ortalama Yüzde Hata |
| R | Korelasyon Katsayısı |
| SE | Smeed Denklemi |
| SO_x | Kükürt Oksitler |
| TCDD | Türkiye Devlet Demiryolları |
| TÜİK | Türkiye İstatistik Kurumu |
| YSA | Yapay Sinir Ağları |

1. GİRİŞ

Dünya atmosferinde küçük miktarlarda birçok asal gazlar bulunmaktadır. Bunlardan en çok ısı tutma özelliğine sahip bileşikler sera gazı olarak tanımlanmaktadır. Bu sera gazlarının atmosferdeki miktarı sera gazı emisyonunu olarak ifade edilmektedir.

Son zamanlarda dünya nüfusu giderek artmakta ve buna bağlı olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Enerji tüketimi, çevre kirliliğine neden olmakta ve çevre kirliliğinin büyük bir kısmı da hava kirliliğinden oluşmaktadır. “Hava kirliliği oluşumunda birçok etmen bir arada bulunmasına karşın ana etmen "yanma" olaylarıdır. Dünya enerji tüketiminin önemli bir kısmı fosil kökenli yakıt veya bunların sentetik türevlerinin yakılması sonucu elde edilmektedir. Fosil kökenli yakıtların içten yanmalı motorlarda temel enerji kaynağı olarak kullanılması, motorlu taşıtları hava kirliliğinin oluşumunda başlıca kaynak haline getirmiştir” (Kelen, 2014).

Dünya genelinde ulaşım alanında kullanılan enerjinin neredeyse tamamı fosil yakıt kullanan araçlardan oluşmaktadır. Ulaşım sektörü için kullanılan enerji kaynaklarından ortaya çıkan emisyonlar dünya çapındaki emisyonun %20'sine denk gelmektedir. Meydana gelen emisyonların, ulaşım türleri arasında dünya çapında karayolu taşımacılığı %70'ini, havayolu taşımacılığı %12'sini, denizyolu taşımacılığı %11'ini ve demiryolu taşımacılığı ise %2'sini oluşturmaktadır (King, 2010; Çalışkan, Ünzile, Kurt ve Timur, 2017). Kullanılmakta olan enerji kaynakları ile yürütülen faaliyetlerden dolayı birçok zehirli gaz açığa çıkmaktadır. Karbondioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar ve kükürtlü bileşenler gibi zehirli gazlar küresel ısınma ve ozon tabakasının delinmesine yol açmaktadır. Türkiye ulaştırma sektöründe kullanılan enerji kaynakları (petrol, mazot, gaz vb.) da zehirli gazların salınımını artırmaktadır.

Türkiye ulaştırma sistemlerinden kaynaklı emisyon miktarının enerji sektöründeki etkisi %22,2, toplam emisyon miktarındaki etkisi ise %15 olarak hesaplanmıştır. Ulaşım alanında yapılan her faaliyetin emisyon miktarına ve iklim değişikliğine etkisi olduğu görülmüştür (Algedik, Bayar, Biçer, Çelik, Keleş, Kocaman ve Talu, 2016). 1990-2010 yıllarında yakıt tüketiminden meydana gelen CO₂ emisyon miktarının düşürülmesi konusunda önemli ölçüde ilerleme kat eden ülkeler arasında Almanya (%19,8), İngiltere (%12), Ukrayna (%61,2) ve Romanya (%54,8) gösterilmiştir. Türkiye ise bu dönemde CO₂ emisyonunda yaklaşık olarak

%100 oranında artış göstermiştir. Bu durumdan kaynaklı Türkiye Kyoto hedeflerinden maalesef ki oldukça uzak kaldığı söylenmiştir (IEA, 2012; Işık ve Kılıç, 2014).

Gelişmekte olan Türkiye'nin ekonomik yaptırımları sonucunda zararlı emisyon gazlarının hangi oranda etki ettiği önemli bir durum haline gelmiştir. Bir diğer yandan Türkiye emisyon oranlarının ne miktarda artacağını Paris İklim Zirvesi'nde belirterek kendisini yükümlülük altına almıştır. Türkiye yaptığı bu açıklamaya göre 2020-2030 döneminde emisyon oranının %21 oranında düşüreceğini öngördüğü söylenmiştir. 2030 yılına kadar emisyon miktarının 430 Mt'dan 929 Mt değerine erişmesini düşündüğü vurgulanmıştır. Türkiye'nin bu senaryosuna göre 2030 yılı için emisyon miktarını 1175 Mt olarak tahmin ettiği söylenmiştir. Azaltım senaryosuna göre emisyon miktarı Türkiye'nin bildirdiği 929 Mt olarak öngörüldüğü vurgulanmıştır (Pabuçcu ve Bayramoğlu, 2016).

Bu tez çalışmasında Türkiye ulaştırma sistemlerinden kaynaklanan emisyon miktarını etkileyen değişkenler araştırılıp belirlenmiştir. Bu değişkenler baz alınarak emisyon miktarının analizi ve tahmini için bir veri seti elde edilmiştir. Elde edilen bu değişkenler arasında emisyon miktarını en çok etkileyen değişkenler belirlenmiştir. Etkileme derecesini belirlemek için çapraz korelasyon değerlerine bakılmıştır. Tezin giriş bölümünde çalışmanın tanımı ve amacı açıklanmış, ulaştırma sistemlerinden kaynaklanan zararlı emisyonlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde Türkiye'deki emisyon değerlerinin tahmin için kullanılan veri seti verilmiş ve analizlerde kullanılacak yöntemlerden bahsedilmiştir. Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde, emisyon değerleri için yapılan analizler detaylı bir şekilde ele alınmış ve elde edilen analiz değerleri kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Tez çalışmasının son bölümünde ise yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler kıyaslanmış ve kullanılan yöntemler arasında hangisinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenerek anlatılmış ve emisyon konusunun önemine değinilmiş ve bu konu hakkında neler yapılması gerektiği hakkında önerilerde bulunmuştur.

1.1. Ulaştırma Sistemlerinden Kaynaklanan Emisyonlar

Son zamanlarda ortaya çıkan çevre bilinci ile birlikte hava kirliliği konusu önemli hale gelmiştir. Hava kirliliğine neden olan motorlu taşıtlardan kaynaklı emisyon gazları hava kirleticilerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Motorlu araçlarda kullanılan fosil yakıtlar, normal koşullarda oksijen ile tepkimeye girerek CO₂, CH₄ NO_x gibi zararlı emisyon gazlarını

oluşturmaktadır. Fakat ideal durumların gerçekleşmesi için gereken koşullar sağlanması mümkün olmadığı için yakıtın tam yanması gerçekleşmemekte ve buna bağlı olarak diğer kirleticilerin oluşmasına sebep olmaktadır. Motorlu araçlardan kaynaklı toplam hava kirleticilerinin %75'ini oluşturan emisyonlar; hidrokarbonlar, CO₂, CO, NO_x, kurşun bileşikleri, kükürtlü bileşenler ve partikül maddeler olduğu belirtilmiştir (Alkaya ve Yıldırım, 2000). İnsan sağlığına ve çevre kalitesine negatif yönde etki eden emisyonlardan önemli olanları; CO₂, NO_x, kükürtlü bileşenler ve hidrokarbonlardır.

Tez çalışmasında veri olarak kullanılan emisyon değerleri çevresel ve insan sağlığı üzerindeki etkileri dikkate alarak en önemli olan 3 emisyon gazına göre belirlenmektedir. Bu emisyon gazları; karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve azot oksitler (NO_x)'dir. CH₄ ve NO_x emisyonları CO₂-eşd. olarak ele alınıp CO₂ emisyonu ile toplanıp toplam emisyon değerleri elde edilmektedir. Emisyon değerleri Türkiye ulaştırma sistemlerindeki 4 ana ulaşım türüne ait verilerdir. Bu ulaşım türleri; karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayoludur. Ulaşım sektörüne ait emisyon değerleri Çizelge 1.1'de verilmektedir.

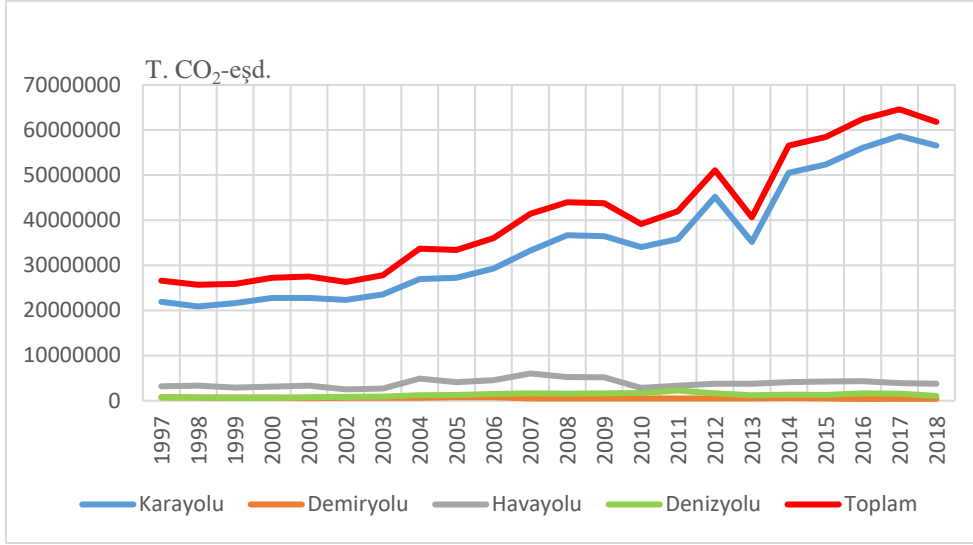
Çizelge 1.1. Ulaşım sektörüne ait emisyon değerleri

| YILLAR | CO ₂ (ton) | Metan (CH ₄) (CO ₂ eşd.) (ton) | Azot Oksit (NO _x) (CO ₂ eşd.) (ton) | Toplam Emisyon (CO ₂ eşd.) (ton) |
|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1997 | 25029610 | 937845,760 | 665453,250 | 26633449,010 |
| 1998 | 24108377 | 956536,240 | 635631,790 | 25701045,030 |
| 1999 | 24265599 | 1025414,300 | 630562,290 | 25921075,590 |
| 2000 | 25508564 | 1109412,300 | 615019,620 | 27232495,920 |
| 2001 | 25871731 | 1120218,910 | 565617,860 | 27559217,770 |
| 2002 | 24629803 | 1156028,270 | 565699,440 | 26353200,710 |
| 2003 | 25914160 | 1307719,690 | 579868,520 | 27801438,210 |
| 2004 | 31719541 | 1351786,230 | 638413,750 | 33709430,980 |
| 2005 | 31171788 | 1567877,340 | 663270,740 | 33403456,080 |
| 2006 | 33668838 | 1716811,520 | 691987,890 | 36076177,410 |
| 2007 | 38794408 | 1957245,800 | 652902,150 | 41406375,950 |
| 2008 | 41218592 | 2052277,530 | 712203,600 | 43984663,130 |
| 2009 | 41198837 | 1861963,450 | 696448,230 | 43757088,680 |
| 2010 | 36636590 | 1860601,150 | 648981,160 | 39146782,310 |
| 2011 | 39166318 | 2150628,940 | 668822,710 | 41984399,650 |
| 2012 | 47985916 | 2282151,080 | 799830,560 | 51067737,640 |
| 2013 | 38058761 | 1927947,740 | 651427,810 | 40636746,550 |
| 2014 | 53035204 | 2604578,070 | 894219,280 | 56532651,350 |
| 2015 | 55062901 | 2490673,410 | 872002,360 | 58425416,770 |
| 2016 | 59055030 | 2450455,760 | 911202,090 | 62416447,850 |
| 2017 | 60886487 | 2729584,580 | 970800,180 | 64585671,760 |
| 2018 | 58330274 | 2504192,070 | 947344,940 | 61783611,010 |

Emisyon değerleri 2018 yılında 1997 yılına göre %231,97 daha fazla olduğu görölmektedir. 2018’de ulaşım sektörenden kaynaklanan emisyon değeri 61 783 611,010 CO₂-eşd’dir (Bkz. Çizelge 1.1). Türkiye’deki ulaşım türlerine ait emisyon değerleri Çizelge 1.2’de, grafiği ise Şekil 1.1’de verilmektedir. Şekil 1.1 incelendiğinde karayolu taşımacılığı 2018 yılında ulaşım türlerinden meydana gelen emisyonların %91,56’sını oluşturmaktadır. Demiryolu taşımacılığının emisyonu katkısı %0,71, havayolu taşımacılığının katkısı %6,05 ve denizyolu taşımacılığının katkısı ise %1,69’dur.

Çizelge 1.2. Ulaşım türlerine göre emisyon değerleri

| YILLAR | (CO ₂ eşd.) (ton) | | | | |
|--------|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|
| | Karayolu Taşımacılığı | Demiryolu Taşımacılığı | Havayolu Taşımacılığı | Denizyolu Taşımacılığı | Toplam Emisyon |
| 1997 | 21892284 | 799000 | 3229851,020 | 712314,290 | 26633449,010 |
| 1998 | 20897275 | 740000 | 3324705,610 | 739064,760 | 25701045,030 |
| 1999 | 21642998 | 722000 | 2883491,810 | 672585,550 | 25921075,590 |
| 2000 | 22766341 | 713000 | 3114702,150 | 638453,240 | 27232495,920 |
| 2001 | 22783077 | 587000 | 3374269,330 | 814871,220 | 27559217,770 |
| 2002 | 22384923 | 612000 | 2519306,370 | 836970,920 | 26353200,710 |
| 2003 | 23536567 | 629000 | 2729459,530 | 906411,730 | 27801438,210 |
| 2004 | 26959313 | 629000 | 4876448,050 | 1244670,320 | 33709430,980 |
| 2005 | 27223207 | 757000 | 4106989,560 | 1316259,220 | 33403456,080 |
| 2006 | 29302034 | 761000 | 4531261,030 | 1481882,380 | 36076177,410 |
| 2007 | 33276337 | 470000 | 6041515,840 | 1618522,990 | 41406375,950 |
| 2008 | 36694916 | 499000 | 5222605,510 | 1568141,690 | 43984663,130 |
| 2009 | 36461362 | 484000 | 5154186,210 | 1657540,700 | 43757088,680 |
| 2010 | 34055996 | 517000 | 2867055,800 | 1706730,340 | 39146782,310 |
| 2011 | 35832487 | 532000 | 3350161,130 | 2269751,870 | 41984399,650 |
| 2012 | 45192769 | 492000 | 3736246,820 | 1646722,220 | 51067737,640 |
| 2013 | 35159168 | 505000 | 3767797,190 | 1204781,550 | 40636746,550 |
| 2014 | 50489565 | 562000 | 4099248,490 | 1381838,160 | 56532651,350 |
| 2015 | 52349649 | 480000 | 4286643,750 | 1309123,580 | 58425416,770 |
| 2016 | 56013148 | 374000 | 4362178,150 | 1667121,290 | 62416447,850 |
| 2017 | 58666484 | 413000 | 3911629,620 | 1594558,240 | 64585671,760 |
| 2018 | 56568933 | 435000 | 3737473,100 | 1042204,770 | 61783611,010 |



Şekil 1.1. Ulaşım sektörüne ait emisyon değerleri grafiği

Şekil 1.1'e bakıldığında emisyonu en fazla olan ulaşım türü karayolu ulaşımıdır. Karayolu ulaşımı toplam emisyonu oranla paralel bir şekilde arttığı görülmektedir. Emisyona katkısı en az olan ulaşım türü ise demiryolu ulaşımı olmaktadır. Bu durum ülkemizde demiryolu ağının az olması ve buna bağlı olarak kullanımının da az olmasından kaynaklanmaktadır.

1.1.1. Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit (CO₂), önemli ölçüde motorlu araçlardan kaynaklı emisyonlardan, canlıların solunumu sonucunda ve enerji üretim sektöründen oluştuğu belirtilmiştir. CO₂ atmosfer içeriğinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. CO₂ temel olarak hava kirletici olarak görülmemekte ancak hava sıcaklığına ve iklim değişikliğine etkisinden dolayı önemli bir gaz türü olduğu söylenmiştir (Cooper ve Alley, 2010).

CO₂, CH₄, H₂O ve diğer emisyon türleri güneşten dünyaya gelen ışınların bir kısmını tutarak canlılar için gereken ısıyı dengede tutmaktadır. CO₂ miktarının yükselmesi sonucunda güneşten gelen ışınların daha fazla emilmesine neden olmakla birlikte bu durumun küresel ısınmaya yol açtığı belirtilmiştir (Bishop, 2000). CO₂ H₂O ile kimyasal reaksiyon oluşturarak karbonik asit (H₂CO₃) oluşturmaktadır. H₂CO₃, havada ıslak baz durumundayken asit yağmuruna veya sis şeklinde olurken kuru baz durumunda asidik gaz olarak görüldüğü belirtilmiştir (Vallero, 2008).

Kullanılan yakıtların tam yanmamasından meydana gelen karbon monoksit (CO), renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz türüdür. Atmosferde kolay kolay yok olmayan bir gaz türüdür. Şehirlerde meydana gelen CO emisyonunun büyük çoğunluğu motorlu araçlardan kaynaklandığı görülmüştür. CO, kanın oksijen taşımamasını büyük ölçüde engelleyerek kanda oksijen yetersizliğine neden olmaktadır. Bu durum beyin, kalp gibi hayati organlarda ve dokularda fonksiyon bozukluklarına neden olarak insan sağlığına etki etmektedir. Bu gaz zehirli olduğu için kandaki alyuvarlar tarafından emilerek kanın oluşumuna olumsuz etki etmektedir. CO gazı az bir miktarı solunduğunda mide bulantısı, baş dönmesi ve bulanık görmeye neden olduğu, çok miktarda solunduğu zaman ise ölüme yol açabileceği söylenmiştir (Boubel, Vallero, Turner ve Stern, 2013). Havayolu taşımacılığında kaynaklı CO emisyonu havaalanı atmosferini etkilediği görülmüştür. Uçakların bekleme sırasında çalışır halde bulunması veya uçağın kalkışa kadar geçen sürede meydana gelen CO emisyonunun hava alanının hava kalitesini negatif yönde etki ettiği söylenmiştir (IPCC, 1999).

1.1.2. Azot oksitler (NO_x)

Azot (N) gazı havada en çok bulunan gaz olarak bilinmektedir. Azot gazı oksijen ile tepkimeye girerek azot oksitleri (NO_x) oluşturmaktadır. Oluşan bu gazlardan azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) bileşenleri havada fark edilebilir düzeyde bulunmaktadır. Meydana gelen bu gazlardan zararlı olarak görülen NO₂ gazıdır ve NO gazı ise NO₂'nin oluşmasına etki etmektedir.

N gazı, birçok bileşen oluşturmakla beraber bunlar arasında hava kirletici olarak görülen en önemlileri NO ve NO₂ gazlarıdır. Bunlar NO_x olarak belirtilmektedirler (Müezzinoğlu, 2000). NO gazının meydana gelmesini etki eden birçok neden olmasına rağmen bunlar arasında en önemlisi yanma sonucu olduğu belirtilmiştir. Buna bağlı olarak NO_x emisyonu oluşum hızı arttığı görülmüştür (De Nevers, 2010; Heywood, 1988).

NO emisyonunun artmasına neden olan kaynaklar; elektrik üretimi, endüstriyel yakma işlemleri, ulaşım ve evsel ısınmadır. Şehirlerde NO_x emisyonunun meydana gelmesinde en önemli unsur olarak ulaşım sektörü olarak görülmektedir. NO₂ emisyon gazı havada bulunan nem ile tepkimeye girerek nitrat asidini oluşturur ve bu durum insan sağlığı ve çevre üzerinde büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir.

NO₂ gazı solunduğu zaman solunum yollarında toplanarak, zarar verdiği belirtilmiştir (DSÖ, 2013; EPA, 2012). NO₂ gazı kahverengi bir renkte olduğu için havada 1 ppm değerinin üzerine çıktığı zaman havayı renklendirmektedir. Bu değer 1,5 ppm değerine geldiği zaman solunuma olumsuz yönde etki etmekte ve bu değer 15 ppm'nin üstüne çıktığında ise göz yanması gibi birçok şekilde etki yarattığı görülmektedir (Müezzinoğlu, 2000). NO₂ emisyonun 150-200 ppm değerlerine çıkması akciğer hücrelerinin zarar görmesine neden olmakta ve hemoglobini pasif hale getirmektedir (Stern, 1976). NO₂ gazının olduğu bölgelerde diğer hava kirleticiler ile tepkimeye girmesiyle akciğerlerin enfeksiyona karşı hassasiyeti arttığı ve bu durumun biyokimyasal değişimlere neden olduğu belirtilmiştir (Rigas, Jebria ve Ultman, 1997).

1.1.3. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbonlar (HC), düşük kaynama noktasına ve yüksek buhar basıncına sahip olan maddenin üç halini temsil eden gazlardır. Uçucu olan organik bileşenler (UOB) arasına giren çok fazla hava kirleticiler bulunmaktadır. Bu kirleticiler arasında atmosfere en çok salınanlar; benzen, ksilen ve metilen klorür sayılabilir.

UOB emisyon gazları çoğunlukla yapay olarak meydana gelmektedir. Ulaşım sektörü ve insanların çözücü kullanması UOB emisyon miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır. UOB emisyonları kapalı alandaki oranları açık alandaki oranlarına göre daha fazladır ve buna bağlı olarak işyerleri, konutlar gibi kapalı ortamlarda direk etkisi daha fazla olabildiği bilinmektedir.

Atmosferdeki HC gazlarının bazıları insan sağlığı için zararlı bir etki yaratmaktadır. HC gazları, atmosferdeki diğer kimyasal bileşenlerle reaksiyona girerek göz ve solunuma zararlı hale geldiği bilinmektedir. HC gazının bir türü olan benzene az miktarda bile maruz kalındığında kırmızı kan hücrelerine nüfuz ederek kansere yol açabileceği belirtilmiştir (Stern, 1976). Bu hava kirleticilerin en oluşturduğu kimyasal tepkimelerin en önemlisi fotokimyasal olaydır. Bu fotokimyasal olaydan dolayı güneşten dünyaya gelen UV ışınlarından yeryüzü koruyan ozon tabakasına olumsuz yönde etki ettiği (IPCC, 1999).

CH₄ gibi HC gazları ve NO_x gazı stratosfer tabakasında birikmesi sonucunda ozon tabakasında bozunmaya yol açar ve ozon miktarında düşüşe sebep olabilmektedir. Ozon miktarındaki azalmaya bağlı olarak sıcaklarda düşüşe sebep olmakta ve bu durum küresel soğumaya neden olmaktadır. Ozon miktarının azalması ozon tabakasının incelmesine neden olur ve güneşten

gelen zararlı UV ışınlarından kaynaklı radyasyonu yansıtamayacağı için canlılar üzerinde olumsuz yönde etki etmektedir. Güneşten gelen UV ışınlarından meydana gelen radyasyonun bazı alanlardaki gıdalar üzerinde ciddi bir etkiye neden olmakta ve bu gıdaların üretimini ve kalitesini değiştirmektedir.

1.1.4. Kükürtlü bileşenler

Kükürt oksitler yakıtın içindeki kükürtün, yanma süreci sonucu oksidasyona uğrayarak kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksit (SO_3) bileşiklerine dönüşmesiyle oluşmaktadır. SO_x oluşum miktarının büyük bir kısmı yakıtın içeriğine bağlıdır. SO_x , atmosferde H_2O ve NO_x ile tepkimeye girerek asit yağmurlarını oluşturmaktadır. Bu asit yağmurlarının canlılar, tarım ve binalar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Göl ve akarsu gibi su kütlelerinde asitliği arttırıcı etkisi de bulunmaktadır. Asit yağmurlarının yanı sıra SO_x havadaki asitliği de arttırarak çeşitli yapıların zarar görmesine neden olmaktadır. SO_x negatif RF etkisi göstererek küresel soğumaya etki ettiği de bilinmektedir. Yüksek miktarlarda SO_x solunumu sonucunda nefes almada problemler, akciğer savunma sisteminde zayıflama ve önceden olan solunum ve dolaşım rahatsızlıklarında daha da kötüye gittiği gözlenmiştir.

SO_x , tıpkı NO_x gibi dünyadaki sus kaynaklarında ve topraktaki asitliğin artmasına neden olmaktadır. SO_2 ve SO_4 emisyonları, sülfürik asit şeklinde çeşitli kaynaklarla karıştığında bu kaynakların asitlik derecesini arttırır ve böylece kaynaklardaki verimliliği ve besleyici değerlerini azaltarak çeşitli canlı türlerinin popülasyonunda azalmalara yol açmaktadır.

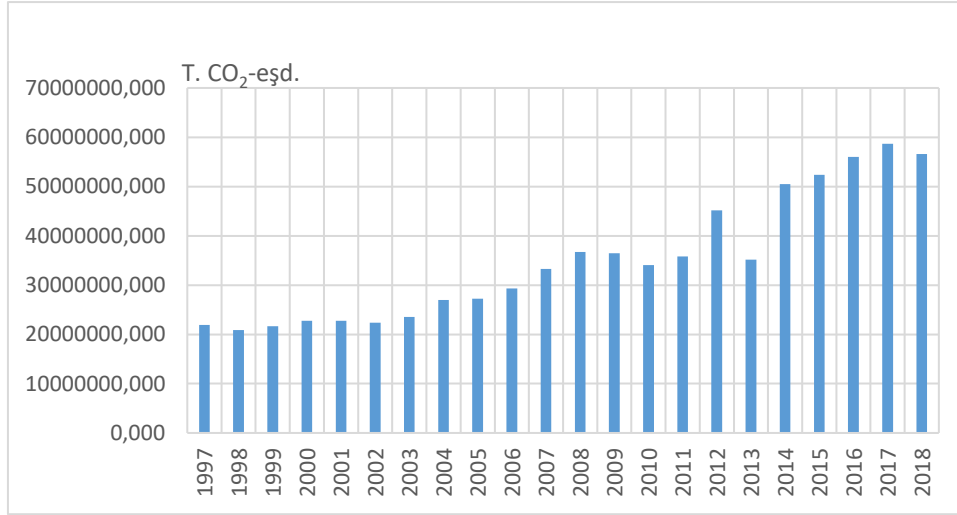
1.2. Karayolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi

Karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar, motosiklet, otomobil, kamyon ve otobüsler gibi araçlarda kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşmaktadır. Bu emisyonların %60'ı yolcu taşımacılığında kaynaklanmakta kalan %40'lık kısmı ise yük taşımacılığında kaynaklanmaktadır. Karbondan arındırılmış temiz enerjili karayolu araçlarının kullanılması ile küresel sera gazı emisyonları %11,9 gibi büyük bir oranda azaltılabilecektir (Ritchie ve Roser, 2020). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) yayınlamış olduğu veriler göz önüne alındığında emisyon miktarına, elektrik ve ısı üretimi sektörlerinden sonra en çok etki eden sektör ulaşım sektörü olarak görülmüştür. Ulaşım sektörü sonucu salınan bu emisyonların %70'inden fazlası ise karayolu taşımacılığında kaynaklandığı söylenmiştir (Özen ve Tüydeş-Yaman, 2013).

Karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonun sürekli olarak artmasına sebep olarak; artan araç sayısı, trafik sıkışıklığı, mevcut araçların emisyon miktarının çok olması, düzenli araç bakımlarının ve kirli gaz kontrolünün yapılmaması, yakıt kalitesinin düşük olması ve karayolları boyunca nüfus artışı gösterilmektedir (TÜSİAD, 2007). Bu emisyon miktarlarının düşürülmesi için yeni teknolojik araçların yakıt verimliliğinin artırılması, alternatif yakıtların kullanılması, trafik akışının düzenlenmesi, ulaşım planlamaları yapılarak alternatif yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir. Trafığın akışını düzenleyen yeşil dalga uygulamaları ile sabit hızlarda seyreden araçların yakıt verimliliği artacak, trafik ışıklarının senkronizasyonu ile yakıt tüketimi azalacak ve emisyon miktarları düşürülebilecektir. Ulaşım planlaması ile raylı ulaşım payının artırılması ve aktarmalı seyahat imkanları sayesinde kapasite kullanım oranı artacak ve toplu ulaşımında yolcu başına düşen emisyon miktarı azaltılabilecektir. Ayrıca insanların bisiklet gibi emisyon sıfır alternatif taşıtları kullanması da bu noktada etkili olacaktır (Soruşbay, 2007). Emisyonun azaltılmasında yerel ürünlerin satın alınması, internetten alışveriş yapılması, lojistik sistemlerin yeniden yapılandırılması ve bilgi iletişim teknolojilerinin kullanımı ile mümkün olan yerlerde yolculuklardan kaçınılması önerilmektedir (Edenhofer, 2015).

Karayolu yük taşımacılığı oluşan emisyonların %40'ını oluşturmaktadır. Bu nedenle yeşil lojistiğin önemi her geçen gün artmaktadır. Yeşil lojistik, “çevrenin sahip olduğu özelliklerin lojistik operasyonlarla bütünleştirilmesi ve lojistik sistem boyunca bütün karar verme süreçlerinin çevreyi dikkate alarak yönetilmesidir” (Pishvae, Torabi ve Razmi, 2012). Yeşil lojistik kapsamında işletmeler, Euro 5 ve Euro 6 gibi standartlara sahip araçlar kullanmakta ve uzun mesafelerde çok türlü taşımacılık gerçekleştirmekte, güzergâhları optimize etmekte ve yük konsolidasyonu yaparak çevreye verdikleri zararı azaltmaya çalışmaktadır.

Karayolu ulaşımına ait veriler Eurostat web sayfasından alınmıştır. Ulaştırma ve depolama (lojistik) ve karayolu taşımacılığı adı altında ayrı şekilde verilmekte ve veri setindeki değerler bunların toplamına eşittir. Ulaşım türleri arasında emisyona katkısı en fazla olan ulaşım türüdür. Karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların 2018 yılında 1997 yılına göre %258,4 daha fazla olduğu görülmektedir. 2018’de karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyon değeri 56 568 933,14 CO₂-eşd’dir (Bkz. Çizelge 1.3). Karayolu ulaşımına ait emisyon değerleri Çizelge 1.3’te, grafiği ise Şekil 1.2’de verilmektedir. Şekil 1.2’ye göre 1997-2018 yılları arasında emisyon değerleri genel olarak bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 1.2. Karayolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği

Çizelge 1.3. Karayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar

| YILLAR | CO ₂ (ton) | Metan (CH ₄) (CO ₂ eşd.) (ton) | Azot Oksit (NO _x) (CO ₂ eşd.) (ton) | Toplam Emisyon (CO ₂ eşd.) (ton) |
|--------|-----------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1997 | 20410208 | 933977,520 | 548098,180 | 21892283,700 |
| 1998 | 19421606 | 952730,370 | 522938,290 | 20897274,660 |
| 1999 | 20098561 | 1021774,280 | 522662,950 | 21642998,230 |
| 2000 | 21155230 | 1105836,300 | 505274,230 | 22766340,530 |
| 2001 | 21199497 | 1116599,560 | 466980,660 | 22783077,220 |
| 2002 | 20760307 | 1152355,350 | 472261,070 | 22384923,420 |
| 2003 | 21751979 | 1303892,180 | 480695,770 | 23536566,950 |
| 2004 | 25096040 | 1347023,030 | 516249,580 | 26959312,610 |
| 2005 | 25125229 | 1562519,400 | 535458,900 | 27223207,300 |
| 2006 | 27035553 | 1710860,920 | 555620,080 | 29302034,000 |
| 2007 | 30790774 | 1951582,040 | 533981,080 | 33276337,120 |
| 2008 | 34050194 | 2046354,080 | 598367,850 | 36694915,930 |
| 2009 | 34024621 | 1855667,240 | 581073,530 | 36461361,770 |
| 2010 | 31648098 | 1854727,000 | 553171,170 | 34055996,170 |
| 2011 | 33130027 | 2143307,190 | 559152,460 | 35832486,650 |
| 2012 | 42219079 | 2276472,990 | 697216,610 | 45192768,600 |
| 2013 | 32686868 | 1922953,690 | 549346,120 | 35159167,810 |
| 2014 | 47108888 | 2599157,280 | 781519,420 | 50489564,700 |
| 2015 | 49095470 | 2485313,470 | 768865,970 | 52349649,440 |
| 2016 | 52758087 | 2442733,120 | 812328,290 | 56013148,410 |
| 2017 | 55073327 | 2722272,280 | 870884,620 | 58666483,900 |
| 2018 | 53213208 | 2499320,460 | 856404,680 | 56568933,140 |

1.3. Havayolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi

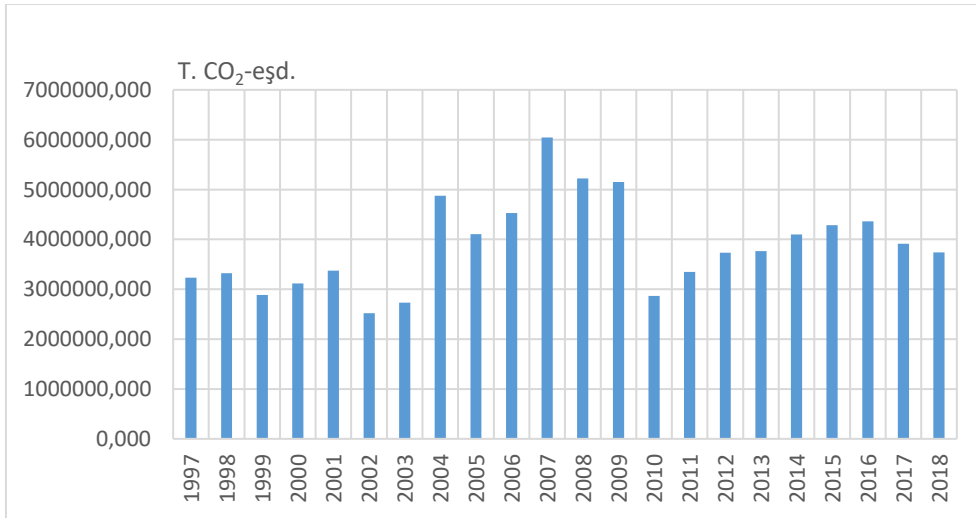
Havayolu taşımacılığının ülke ekonomisine katkıda bulunduğu sosyal ve ekonomik getirilerin yanı sıra, havayolu taşımacılığı yüzünden oluşan zararlı emisyonların çevreye etkisini de dikkate almak gerekir. Havayolu taşımacılığında kaynaklanan zararlı emisyonlar, havayolu taşımacılığının kullanımının artması ile birlikte gelecekte de bu zararlı emisyonların artmasına yol açacaktır. Uçaklardan atmosfere salınan zararlı emisyonlar; CO₂, NO_x, H₂O, hidrokarbonlar, CO, kükürt oksitler (SO_x), ve diğer partikül maddelerdir. Bu zararlı emisyonların hava kirliliğine etkisi, uçaklardan salındığı yüksekliğe oldukça bağlıdır.

Uçakların yüksek yakıt tüketiminden kaynaklı üretilen zararlı gazlar atmosferin doğal özelliğinin ve yoğunluğunun değişmesine neden olmaktadır. Atmosferde CO₂ yoğunluğunun artması sonucunda dünya genelinde hava sıcaklığının yükselmesi ve iklim değişikliği gibi olayların oluşmasına neden olmaktadır. Küresel olarak salınan emisyon miktarının yaklaşık olarak %3'nün havayolu taşımacılığında kaynaklandığı tahmin edilmiştir. Havayolu taşımacılığında meydana gelen bu emisyonlar yılda yaklaşık %4 oranında artış yapacağı beklenildiği söylenmiştir (ICAO, 2013b). Uçaklardan kaynaklanan emisyonlar arasında bulunan NO_x gazı atmosferde ozon artışına neden olup küresel ısınmaya etki ettiği söylenmiştir (IPCC, 1999; EPA, 2012). ABD Çevre Koruma Ajansı Temiz Hava Planı'nın 1970 yılındaki raporunda sağlık ve çevresel etkileri göz önüne alındığında CO, HC, SO₂, PM, NO_x emisyonlar temel kirleticiler olarak ele alındığı belirtilmiştir (Bishop, 2000). Havayolu taşımacılığında kaynaklı emisyon türlerinin ve miktarlarının öğrenilmesi çevresel etki için ve insan sağlığı açısından önemli hale gelmiştir.

Ulaşım türleri arasında emisyona katkısı en fazla olan ikinci ulaşım türüdür. 2018'de havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyon değeri 3 737 473,100 CO₂-eşd'dir (Bkz. Çizelge 1.4). Havayolu ulaşımına ait emisyon değerleri Çizelge 1.4'te, grafiği ise Şekil 1.3'te verilmektedir. Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar 1997 yılından 2018 yılına kadar genel olarak aynı düzeyde kalmıştır. Şekil 1.3'e bakıldığında 2004-2009 yılları arasında emisyon değerlerinde ciddi bir artış olmuştur. Bu durum o yıllar arasında havayolu taşımacılığının daha çok tercih edildiği düşünülebilir.

Çizelge 1.4. Havayolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar

| YILLAR | CO ₂ (ton) | Metan (CH ₄) (CO ₂ eşd.) (ton) | Azot Oksit (NO _x) (CO ₂ eşd.) (ton) | Toplam Emisyon (CO ₂ eşd.) (ton) |
|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1997 | 3197513,00 | 1194,60 | 31143,42 | 3229851,020 |
| 1998 | 3291397,00 | 1061,93 | 32246,68 | 3324705,610 |
| 1999 | 2854498,00 | 1042,24 | 27951,57 | 2883491,810 |
| 2000 | 3083576,00 | 1042,23 | 30083,92 | 3114702,150 |
| 2001 | 3340850,00 | 928,90 | 32490,43 | 3374269,330 |
| 2002 | 2494272,00 | 939,22 | 24095,15 | 2519306,370 |
| 2003 | 2702217,00 | 931,26 | 26311,27 | 2729459,530 |
| 2004 | 4828770,00 | 1069,28 | 46608,77 | 4876448,050 |
| 2005 | 4066004,00 | 1243,95 | 39741,61 | 4106989,560 |
| 2006 | 4485826,00 | 1441,85 | 43993,18 | 4531261,030 |
| 2007 | 5981959,00 | 1325,45 | 58231,39 | 6041515,840 |
| 2008 | 5170680,00 | 1415,58 | 50509,93 | 5222605,510 |
| 2009 | 5101214,00 | 1779,80 | 51192,41 | 5154186,210 |
| 2010 | 2837786,00 | 983,89 | 28285,91 | 2867055,800 |
| 2011 | 3314332,00 | 1122,45 | 34706,68 | 3350161,130 |
| 2012 | 3696497,00 | 1210,46 | 38539,36 | 3736246,820 |
| 2013 | 3728076,00 | 1275,14 | 38446,05 | 3767797,190 |
| 2014 | 4056108,00 | 1335,51 | 41804,98 | 4099248,490 |
| 2015 | 4242589,00 | 1676,10 | 42378,65 | 4286643,750 |
| 2016 | 4317277,00 | 1737,51 | 43163,64 | 4362178,150 |
| 2017 | 3871079,00 | 1698,85 | 38851,77 | 3911629,620 |
| 2018 | 3697681,00 | 1798,90 | 37993,20 | 3737473,100 |



Şekil 1.3. Havayolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği

1.4. Denizyolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi

Günümüzde kullanılan gemilerin başlıca yakıt kaynağını fosil yakıtların olduğu ve genellikle gemi sevk cihazlarının içten yanmalı motorlar olması hesaba katılırsa, son elli yılda önemli bir sorun olarak yükselen ve günümüzde önlenmesi gereken bir tehdit haline gelmiştir. Kullanılan yakıtların içeriğindeki çeşitli bileşikler, yanma sonucu gaz formunda atmosfere karışmakta ve küresel ısınma ya da küresel soğuma gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Küresel ısınma, emisyon (sera gazları) gazların bir katman oluşturarak güneşten dünyaya gelen ışığın yüzeyden yansiyarak tekrar uzaya gönderilmesini engellemesi sonucu oluşmaktadır. Küresel soğuma ise sera gazların atmosferde gereğinden fazla birikmesi sonucu yeterli miktarda güneş ışığının yeryüzüne ulaşamaması sonucu gerçekleşmektedir. Gemilerde kullanılan fosil yakıtlar modern yanma teknikleri ile kullanıldıklarında birçok etkene bağlı olarak farklı emisyon gazlarının oluşmasına neden olmaktadır. Gemilerden kaynaklanan emisyon değerlerini hesaplamak için gemilerin yakıt tüketim verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler, emisyon faktörü adı verilen ve harcanan ton yakıt başına oluşan kilogram emisyon miktarını veren değerlerle çarpıldıklarında istenen sonuçlara ulaşılmış olur. Gemi kökenli emisyonlar, incelenecek kaynağa ve etkiye göre veya incelemede izlenecek yola göre çeşitli alt kısımlara ayrılabilirler (Bilgili, 2013). Emisyon ve atıklar temel olarak iki şekilde ele alınabilir:

1. Bırakıldıkları ortama göre gemi emisyonları

- Havaya bırakılan emisyonlar
- Suyu bırakılan emisyonlar
- Karaya bırakılan emisyonlar

2. Gemi yaşam döngüsündeki süreçlere göre gemi emisyonları

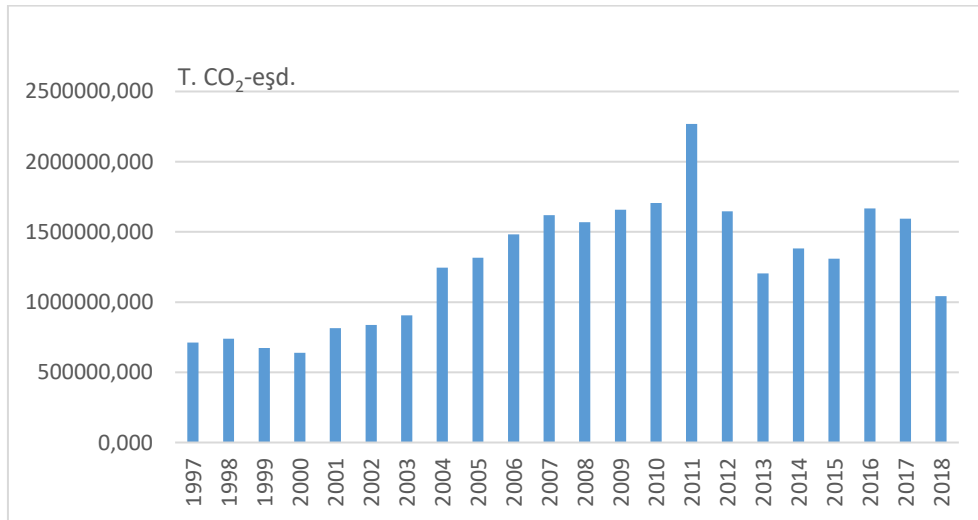
- Üretim sürecinde ortaya çıkan emisyonlar
- Operasyon sürecinde ortaya çıkan emisyonlar
- Söküm/geri dönüşüm sürecinde ortaya çıkan emisyonlar

Denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların 2018 yılında 1997 yılına göre %46,3 daha fazla olduğu görülmektedir. 2018 yılında denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyon değeri 1 042 204,77 ton CO₂-eş'dir (Bkz. Çizelge 1.5). Denizyolu ulaşımına ait emisyon değerleri Çizelge 1.5'te, grafiği ise Şekil 1.4'te verilmektedir. Şekil 1.4 incelendiğinde 1997-2011 yılları

arasında emisyon değerleri genel olarak bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. 2012-2017 yılları arasında emisyon değerleri inişli çıkışlı gürünse de genel olarak aynı düzeyde iken 2018 yılında azalma olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.5. Denizyolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar

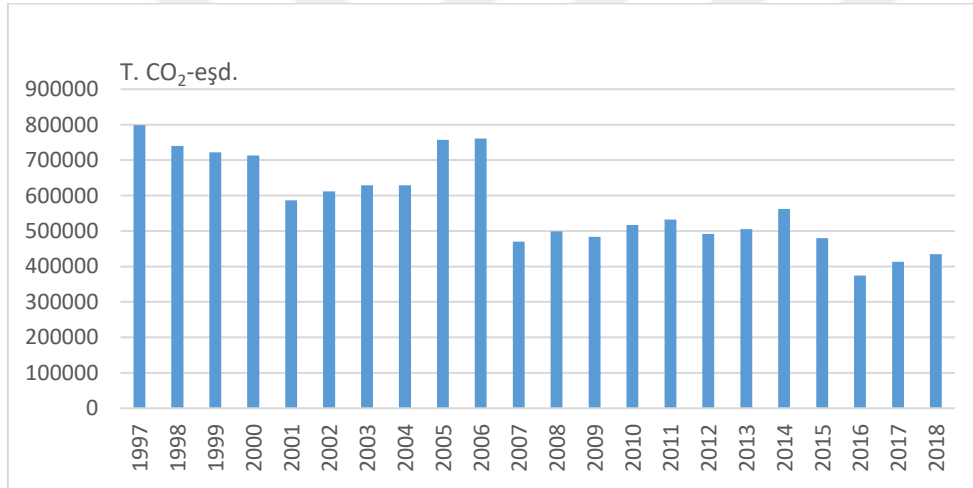
| YILLAR | CO ₂ (ton) | Metan (CH ₄) (CO ₂ eşd.) (ton) | Azot Oksit (NO _x) (CO ₂ eşd.) (ton) | Toplam Emisyon (CO ₂ eşd.) |
|--------|-----------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1997 | 704889,00 | 1673,64 | 5751,65 | 712314,290 |
| 1998 | 731374,00 | 1743,94 | 5946,82 | 739064,760 |
| 1999 | 665540,00 | 1597,78 | 5447,77 | 672585,550 |
| 2000 | 631758,00 | 1533,77 | 5161,47 | 638453,240 |
| 2001 | 806384,00 | 1940,45 | 6546,77 | 814871,220 |
| 2002 | 828224,00 | 1983,70 | 6763,22 | 836970,920 |
| 2003 | 896964,00 | 2146,25 | 7301,48 | 906411,730 |
| 2004 | 1231731,00 | 2943,92 | 9995,40 | 1244670,320 |
| 2005 | 1302555,00 | 3113,99 | 10590,23 | 1316259,220 |
| 2006 | 1466459,00 | 3508,75 | 11914,63 | 1481882,380 |
| 2007 | 1601675,00 | 3838,31 | 13009,68 | 1618522,990 |
| 2008 | 1551718,00 | 3757,87 | 12665,82 | 1568141,690 |
| 2009 | 1640002,00 | 4016,41 | 13522,29 | 1657540,700 |
| 2010 | 1688706,00 | 4140,26 | 13884,08 | 1706730,340 |
| 2011 | 2245959,00 | 5449,30 | 18343,57 | 2269751,870 |
| 2012 | 1629340,00 | 3967,63 | 13414,59 | 1646722,220 |
| 2013 | 1191817,00 | 2968,91 | 9995,64 | 1204781,550 |
| 2014 | 1367208,00 | 3335,28 | 11294,88 | 1381838,160 |
| 2015 | 1295842,00 | 3183,84 | 10097,74 | 1309123,580 |
| 2016 | 1644666,00 | 5485,13 | 16970,16 | 1667121,290 |
| 2017 | 1573081,00 | 5113,45 | 16363,79 | 1594558,240 |
| 2018 | 1031385,00 | 2572,71 | 8247,06 | 1042204,770 |



Şekil 1.4. Denizyolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği

1.5. Demiryolu Ulaşımının Emisyon Değerine Etkisi

Demiryolu ulaşımına ait CH₄ ve NO_x emisyonları CO₂-eşd. değerinde değildir ancak toplam emisyon değeri CO₂-eşd. olarak verilmektedir. Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonların 2018 yılında 1997 yılına göre %54,44 daha düşük olduğu görülmektedir. 2018 yılında demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyon değeri 435 000 ton CO₂-eşd'dir (Bkz. Çizelge 1.6). Demiryolu ulaşımına ait emisyon değerleri Çizelge 1.6'da, grafiği ise Şekil 1.5'te verilmektedir. Şekil 1.5 incelendiğinde 1997-2006 yılları arasında emisyon değerlerinde genel olarak aynı değerlerde olsa da 2006 yılından sonra emisyon değerlerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi demiryolu ağının önceki yıllara nazaran daha az kullanılması olarak düşünülebilir.



Şekil 1.5. Demiryolu ulaşımına ait emisyon değerleri grafiği

Çizelge 1.6. Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar

| YILLAR | CO ₂ (ton) | Metan (CH ₄) (ton) | Azot Oksit (NO _x) (ton) | Toplam Emisyon (CO ₂ eşd.) (ton) |
|--------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1997 | 717000 | 0.04 | 0.27 | 799000 |
| 1998 | 664000 | 0.04 | 0.25 | 740000 |
| 1999 | 647000 | 0.04 | 0.25 | 722000 |
| 2000 | 638000 | 0.04 | 0.25 | 713000 |
| 2001 | 525000 | 0.03 | 0.20 | 587000 |
| 2002 | 547000 | 0.03 | 0.21 | 612000 |
| 2003 | 563000 | 0.03 | 0.22 | 629000 |
| 2004 | 563000 | 0.03 | 0.22 | 629000 |
| 2005 | 678000 | 0.04 | 0.26 | 757000 |
| 2006 | 681000 | 0.04 | 0.27 | 761000 |
| 2007 | 420000 | 0.02 | 0.16 | 470000 |
| 2008 | 446000 | 0.03 | 0.17 | 499000 |
| 2009 | 433000 | 0.02 | 0.17 | 484000 |
| 2010 | 462000 | 0.03 | 0.18 | 517000 |

Çizelge 1.6. (Devam) Demiryolu ulaşımından kaynaklanan emisyonlar

| YILLAR | CO₂ (ton) | Metan (CH₄) (ton) | Azot Oksit (NO_x) (ton) | Toplam Emisyon (CO₂ eşd.) (ton) |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 2011 | 476000 | 0.03 | 0.19 | 532000 |
| 2012 | 441000 | 0.02 | 0.17 | 492000 |
| 2013 | 452000 | 0.03 | 0.18 | 505000 |
| 2014 | 503000 | 0.03 | 0.20 | 562000 |
| 2015 | 429000 | 0.02 | 0.17 | 480000 |
| 2016 | 335000 | 0.02 | 0.13 | 374000 |
| 2017 | 369000 | 0.02 | 0.15 | 413000 |
| 2018 | 388000 | 0.02 | 0.15 | 435000 |

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kang ve Holbrook (2015) yaptıkları bu çalışmada, petrol bazlı yakıt kullanan araçlar yerine amonyak (NH_3) yakıt olarak kullanan araçlara aşamalı bir şekilde geçerek ABD ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonları azaltmak için senaryolar oluşturmuşlardır. Bu çalışmada, enerji gereksinimleri ve çevresel etkileri karşılaştırılarak alternatif senaryoların oluşturulabileceği ve değerlendirilebileceği LEAP yazılım aracını kullanmışlardır. 2040 yılında benzinli araçların yerini alacak NH_3 yakıtlı araçların %100' den oluşması durumunda 2010 yılından 2040 yılına kadar üretilen toplam CO_2 emisyonunda yaklaşık olarak %30 oranında azalma olabileceği görülmüştür. NH_3 yakıtlı araçların, karbon bazlı yakıtlı araçlara kıyasla CO_2 emisyonlarını azaltmada önemli katkısı olduğu gösterilmiştir.

Soruşbay (2007) yaptığı çalışmada, karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonların çevresel etkilerini ve bu etkileri azaltacak tedbirlerin üzerinde durmuştur. Küresel çapta, farklı sektörlerin emisyonuna etkisi ve bunu azaltacak doğrultuda uygulanabilecek tedbirlere değinmiştir. Ulaşım sektöründeki durumlara ait durumlar ele alınmış ve karayolu araçlarından kaynaklı CO emisyonunun azaltılması için gereken tedbirler üzerinde durmuştur.

Peng, Yuan, Yan ve Zhang (2018) yaptıkları çalışmada, yerel ekonomik kalkınmayı, nüfusu ve politikaları göz önünde bulundurarak Çin'in karayolu ulaşımının gelecekteki enerji ihtiyacını ve sera gazı emisyonlarını eyalet düzeyinde tahmin etmeye çalışmışlardır. Geleceğin araç filolarının ayrıntılı teknik özellikleri, çeşitli güncel senaryolarda analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, Çin'in araç stokunun 2050 yılına kadar 543 milyona yükselmeye devam edeceğini gözlemlemişlerdir. Referans senaryoya göre 2030 yılı civarında toplam petrol talebi ve ilgili emisyon değeri sırası ile 508 milyon ton petrol eşd. (Mtoe) ve 1500 milyon ton CO_2 -eşd. olacağı tahmin etmişlerdir. Doğal gazlı taşıt difüzyonunun, 2050'de 41-46 Mtep'lik düşüşlerle, kısa vadede petrol talebinin azalması üzerinde büyük bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Gelecekteki araç stoku, enerji talebi ve sera gazı emisyonlarının mekansal dağılımları iller arasında farklılık göstermekte ve doğudan batıya genel olarak düşüş eğilimi gösterdiği tespit etmişlerdir.

Yavuz ve Deveci (2012) yaptıkları çalışmada, YSA' nın genel yapısı ve çalışma prensibi üzerinde araştırma yapmışlardır. Uygulama olarak YSA yöntemi kullanılarak Adana iline ait

hava sıcaklığı tahmini yapmışlardır. Sonuç olarak; YSA' nın veri analizinde iyi bir yöntem olduğu gelecek tahminleri yapmada başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Çipil (2014) yaptığı çalışmada, Türkiye' nin, Kyoto Protokolü kapsamındaki yükümlülüklerini yerine getirmesi için her sektörün koşullarını gözden geçirmesi ve emisyon düzeylerini Protokol'de belirtilen değerlere düşürmek için stratejik planlar yapması gerektiğini vurgulamıştır. 2009 yılı itibarıyla karayolu taşımacılığı 40,17 milyon ton CO₂ emisyonu ile Türkiye'deki toplam ulaştırma emisyonlarının %84,61'ini oluşturduğunu ve ulaştırma sektörü sera gazı emisyonunun birincil kaynağı olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada, veri zarflama analizi kullanılarak ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları açısından Türkiye'nin AB ülkeleri karşısındaki konumunu belirlemek için görel bir faaliyet analizi yapmıştır.

Civelekoğlu ve Bıyık (2020) yaptıkları çalışmada, Isparta iline ait karayolu ulaşımından kaynaklı CO₂ bazlı karbon ayak izi hesaplamasını yapmışlardır. IPCC'nin önermiş olduğu Tier 1 ve Tier 2 yöntemlerini kullanarak 2010-2016 yılları arasındaki Isparta iline kayıtlı araçlardan kaynaklı emisyon hesabını yapmışlardır. Sonuçta Tier 1 yöntemi ile elde edilen 2010-2016 yıllarında karbon ayak izinin %34'lük bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Tier 2 yöntemi ile elde edilen artış oranı ise %43 olarak bulunmuştur.

Lise (2006) çalışmasında, 1980-2003 dönemi için CO₂ emisyonları, kümelenmiş dört sektör (tarım, sanayi, ulaşım ve hizmetler) için analiz edilmiştir. Bu çalışmada rafine Laspeyres yöntemi kullanılmıştır.CO₂ emisyonlarının büyük bir kısmından ekonominin büyümesi (ölçek etkisi) sorumluyken, karbon yoğunluğu ve kompozisyon etkilerinin de CO₂ emisyonlarına katkıda bulunduğu sonucuna varıyor. Öte yandan enerji yoğunluğu etkisi, CO₂ emisyonlarında yalnızca mütevazı bir azalmadan sorumludur.

Argun, Ergüç ve Sarı (2019) yaptıkları çalışmada, Konya ilinin Selçuklu ilçesine ait emisyon miktarı analizini yapmışlardır. Bu analizler için IPCC tarafından önerilen kademe yaklaşım metodları kullanılarak yapmışlardır. Hesaplamalar sonucunda 2015 yılında Selçuklu ilçesine ait emisyon miktarı 0,94 milyon ton CO₂ (eş değer) olarak bulmuşlardır. Sanayi sektöründen kaynaklanan emisyonlar dahil edilmemiştir. İlçede emisyon miktarına %56'lık bir oranla etki eden barınma başta gelmektedir. Barınmadan sonra en önemli etkiyi ulaşım sektörü %41'lik bir oran ile takip ettiği gözlemlenmiştir.

Güney ve Küçükşarıyıldız (2019) yaptıkları çalışmada, motorlu taşıtlardan kaynaklı emisyonlar sonucu hava kirliliği ve etkileri, canlıları ve çevreyi korumak amacıyla SEM cihazı ile mikro yapı analizini yapmışlardır. Kirletici gazları oluşturan C, O, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Ba, Cr, Fe, Zn ve Pb ana elementlerinin ağırlık oranları bulunmuştur. Ayrıca taşıt emisyonları kaynaklı metal ve ağır metallerin hala çevreyi kirletmeye ve tehdit etmeye devam ettiği deneysel olarak tespit etmişlerdir.

Cansız ve Ünsalan (2020) yaptıkları çalışmada, İskenderun ilçesinden Türkiye'nin diğer illerine 5, 10, 14 tonluk yükün taşınması esas alınarak minimum CO₂ emisyonu salınımı açısından taşımacılık türünü seçmede ne denli etkili olduğunu araştırmışlardır. Sonuç olarak, çok türlü taşımacılık rotasının kullanılması tek türlü taşımacılık rotasına özellikle karayolu taşımacılığına oranla daha az CO₂ emisyonu salınımı yaptığı gözlemlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda çok türlü taşımacılık rotalarından 5 ton yük için verimli olduğu il oranı %60, 10 ton yük için %63, 14 ton yük için ise %66 çıktığı tespit edilmiştir.

Hamzaçebi ve Karakurt (2015) bu çalışmada, enerji sektörü ile bağlantılı olarak bir gri tahmin yöntemi kullanmışlardır. Türkiye için 1965-2012 yılları arasındaki veri seti kullanılarak 2013-2025 dönemine ait emisyon miktarının tahminini yapmışlardır. Analiz sonucunda kullanılan yöntemin emisyon miktarı tahmini için uygun olduğu gözlemlenmiştir. 2015, 2020 ve 2025 dönemine ait CO₂ tahmin değerleri sırası ile 354,879 Mt, 424,245 Mt ve 530,370 Mt olarak bulmuşlardır.

Grote, Williams ve Preston (2014) yaptıkları çalışmada, küresel havayolları günde 5 milyon varilin üzerinde petrol tükettiği ve bunun sonucunda uçak motorlarından yayılan CO₂ emisyonunun endişe verici olduğunu vurgulamışlardır. Uçaklardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için sivil havacılık endüstrisinin kullanabileceği önlemlerle ilgili literatürün güncel bir incelemesini sunmuşlardır. Önlemler, politika ve yasal ilgili önlemler ile teknolojik ve operasyonel önlemler olmak üzere iki kategori altında ele almışlardır. İncelemenin sonuçları, karşılaşılan zorluklara ilişkin çeşitli içgörüler geliştirmek için kullanılabilir.

Hatzigeorgiou, Polatidis ve Haralambopoulos (2010) yaptıkları çalışmada, enerji kaynaklı emisyonun tahmini yapılmıştır. AB-25 ve Yunanistan'ın 1990-2020 dönemine ait veriyi kullanarak logaritmik ortalama tekniği kullanmışlardır. Emisyon miktarını etkilediği

düşündükleri gelir, enerji yoğunluğu, nüfus ve yakıt payları parametrelerini kullanmışlardır. Analiz sonucunda Yunanistan ve AB-25 ülkeleri için emisyon miktarını etkileyen en önemli parametrenin gelir olduğu sonucuna varmışlardır. Enerji yoğunluğu parametresinin etkisi AB-25 ülkeleri için %40, Yunanistan için %20'ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Geriye kalan parametrelerden nüfus emisyon miktarının artmasına neden olurken yakıt payının nispeten önemsiz olduğunu gözlemlemişlerdir.

Şenel ve Atabey (2020) yaptıkları çalışmada, küresel ısınma sonucu iklim değişikliği sorunu üzerinde durulmuş ve Diyarbakır iline ait CO₂ emisyon hesabı yapmışlardır. IPCC'nin önerdiği Tier metodlarını kullanmışlardır. Sonuç olarak, yakıt tüketiminin artması emisyon değerlerinin artmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Antropojenik emisyon salınımlarında ulaştırma sektörü önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Ulaştırma türü olan karayolu taşımacılığının en büyük emisyon kaynağı olduğu bulunmuştur.

Bilgili (2013) çalışmasında, denizyolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon türlerine değinilmiş ve 3 adet kuru yük gemisine ait bilgilere ulaşarak emisyon miktarı hesabı yapmıştır. Elde edilen emisyon değerleri rota değerlerine bölünerek rota emisyon yoğunluğu elde edilmiştir. Son olarak, elde edilen emisyon değerlerine ait veriler kullanılarak regresyon analizi yapıp gemi ana boyutları baz alınarak emisyon tahmin modelleri oluşturmuştur.

Xie, Fang ve Liu (2017) yaptıkları çalışmada, ulaşım sektörü alt yapısının şehirlerden kaynaklı emisyon miktarına etkisine bakılmıştır. Yapılacak analiz için STIRPAT modeli geliştirilmiştir. 2003-2013 dönemine 283 şehre ait veri seti kullanmışlardır. Analiz sonucunda ulaşım sektörü alt yapısının şehirlerden kaynaklı emisyon değerine etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Batur, Bayram ve Koç (2019) yaptıkları çalışmada, İstanbul için bir sistem dinamiği (SD) modeli geliştirmeyi, gelecek yıllarda enerji tüketimini ve CO₂ emisyonlarını azaltmadaki potansiyel etkilerini değerlendirmek için kentsel yolcu taşımacılığı sistemini simüle etmeyi amaçlamışlardır. SD modeli; nüfus, hane halkı harcanabilir gelir, ulaşım ve enerji ve CO₂ emisyonu üzerine yapılmıştır. 2000-2015 yıllarına ait verilere bağlı olarak yolcu taşımacılığında kaynaklanan enerji tüketimi ve CO₂ emisyonunu tahmin etmek için farklı senaryolar oluşturmuşlardır. Bu senaryolar; iş senaryosu (BAU), tedarik yönetimi önlemleri (SMM), seyahat talep yönetimi (TDM) ve son olarak SMM ve TDM senaryolarının entegre edildiği bir senaryodur. Sonuç olarak, BAU senaryosuna kıyasla entegre senaryo, araçların

yakıt ekonomisinde %10'luk bir iyileşme, elektrik üretiminin emisyon yoğunluğunda %10'luk bir azalma, nakliye maliyeti ve yolculuk uzunluklarında %15'lik bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. BAU senaryosu kapsamında, SD modeli, yolcu seyahatlerinden kişi başına düşen enerji tüketiminin 2016'da 183L petrol-eşd.'den 2025'te 315L petrol-eşd.'ine yükseleceğini ve kişi başına ilişkili CO₂ emisyonlarının 2016'da 460kg'dan 2025'te 807 kg'a yükseleceğini göstermişlerdir.

Türkay (2018) yaptığı çalışmada, 2012-2017 yıllarına ait Eskişehir ilinde karayolu taşımacılığında kaynaklı emisyonların miktarı tahmini yapmıştır. IPCC panelinde yer alan kademe 1 metodunu kullanarak analizi yapmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; teknolojinin gelişimi, nüfus ve yakıt tüketim miktarındaki artışın emisyon miktarının artması ile doğru orantılı olduğunu gözlemiştir. Karayolu taşımacılığında kullanılan yakıtlardan motorin, diğer yakıt türlerine göre daha fazla CO₂ emisyon salımı yaptığı tespit edilmiştir.

Cansız, Çalışıcı ve Ünsalan (2017) yaptıkları çalışmada, EGM ve TÜİK' ten elde ettikleri verileri kullanıp yaralı sayısı tahmini için bir dizi analiz yapmışlardır. Kullandıkları yöntemler; regresyon ve YSA' dır. Parametre olarak nüfus, taşıt-km, sürücü sayısı ve taşıt sayı kullanmışlardır. Analizler sonucunda YSA metodu MLR metoduna göre daha iyi sonuç elde ettiği gözlemlenmiştir.

Zhao, Burnett ve Fletcher (2014) yaptıkları çalışmada, Çin'de 1991-2010 dönemine ait ve 30 ili ele alan enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonunun faktörlerini araştırılmıştır. Enerji sektöründen kaynaklı emisyonların analizi için mekansal panel veri modeli kullanılmıştır. Sonuçta, kişi başına düşen emisyon miktarının il düzeyinde kişi başına düşen milli gelire ve nüfusa bağlı olduğu gösterilmiştir. Kullanılan kaynakların fiyatları emisyon miktarına etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

Akbostancı, Tunç ve Türüt-Aşık (2011) yaptıkları çalışmada, türk imalat sanayisinin CO₂ emisyon değerlerinin analizi için 1995-2001 yılları arasında 57 adet endüstriyi kapsamaktadır. Log Mean Divisia Index (LMDI) yöntemi, imalat sanayinin CO₂' daki değişiklikleri ayırtmak için faaliyet, aktivite yapısı, sektörel enerji yoğunluğu, sektörel enerji karışımı ve emisyon faktörlerindeki değişiklikler kullanılmıştır. Sonuç olarak çalışma dönemindeki emisyonlar, toplam endüstriyel faaliyet ve enerji yoğunluğundaki değişikliklerin CO₂' daki değişiklikleri belirleyen birincil faktörler olduğu bulunmuştur. Ayrıca, kullanılan yakıtlar

arasında kömürün ana belirleyici faktör olduğu ve sektörler arasında 3710'un (demir çelik temel endüstrileri) en kirli sektör olduğu belirtilmiştir.

Pamuçar, Gigović, Ćirović ve Regodić (2016) yaptıkları çalışmada, lojistik merkezleri için yeşil rotaların optimizasyonunu gerçekleştirmek için bir ulaşım mekansal karar destek modeli (TSDSM) üzerine durmuşlardır. Önerilen bu model, yeşil araçlar için rota planlamayı ve yüksek nüfuslu bölgelerde zararlı gaz emisyonlarının azaltılmasında ve hava kalitesinin artmasında görülebilecek çevre üzerindeki olumlu etkileri önemli ölçüde arttıracığı düşünülmektedir. TSDSM modeli malların şehir lojistik merkezinden kullanıcıya teslimi için CBS'de 127 bağlantıya sahip bir yol ağı üzerinde test etmişlerdir.

Dündar (2021) çalışmasında, Türkiye'deki karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonun 2010-2019 dönemine ait veriler kullanarak büyükşehirlerde meydana gelen emisyon miktarı tahmin edilmiştir. Yöntem olarak IPCC tarafından geliştirilen Tier 1 yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta, 2010 yılında toplam emisyon miktarı 43,403 gg CO₂ olarak hesaplanmışken 2019 yılında bu 70,271 gg CO₂ olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar göz önüne alındığında 2010-2019 dönemine ait emisyon miktarında %61,90 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Civelekoğlu ve Bıyık (2018) yaptıkları çalışmada, Türkiye ve G20 ülkelerine ait 1990-2016 dönemi arasında ulaşım sektöründen kaynaklı emisyon miktarı üzerinde durulmuştur. Ulaşım sektöründen kaynaklanan emisyonlar arasında CO₂ miktarındaki artış daha fazla olduğu için CO₂ emisyonu incelenmiştir. Sonuçta, 2016 yılına kadar emisyon miktarının sürekli arttığı gözlemlenmiş ve buna etki eden etmenler arasında toplam yakıt tüketimi ve artan araç sayısı olduğu saptanmıştır.

Alam, Duffy, Hyde ve McNabola (2017) yaptıkları bu çalışmada İrlanda' da karayolu taşımacılığında kaynaklanan CO₂ emisyonlarını araç kategorisi düzeyinde tahmin etmek için 2006 Ulusal Sera Gazı Envanterleri için IPCC' nin yöntemlerinden biri olan 3. kademe yaklaşımını uygulamışlardır. Analiz için araç tescil yılı ve aracın tescil edildiği tarihten itibaren kat edilen kilometre bazında ayrıştırılarak veri setini hazırlamışlardır. Daha önceden yapılan analizlerin yeniden hesaplanmasını ve araç km si için daha önce mevcut olmayan özel verileri ve gelişmiş bir ayrıştırma düzeyinin yanı sıra araç sınıfına özel verileri ve gelişmiş bir aşağıdan yukarıya tahmin metodolojisi kullanılarak 2013'teki CO₂ emisyonlarının tahminini yapmışlardır.

Cansız ve Ünsalan (2021) yaptıkları çalışmada, Türkiye’deki demiryolu taşımacılığında kaynaklı CO₂ emisyonunun miktarı için tahmin modelleri oluşturmuşlardır. Kullanılan parametreler; demiryolu hattı uzunluğu, yolcu sayısı, taşınan yük miktarı, tren-kilometre, yolcu-kilometre ve ton-kilometredir. Analizler sonucunda modeller arasında en iyi değere sahip olanın hataların karesinin ortalaması, ortalama yüzde hata ve korelasyon katsayısı performans değerleri sırasıyla $6,48 \cdot 10^{-5}$, %0,125 ve %99,65 olarak bulunmuştur.

Dünder ve Kolay (2021) yaptıkları çalışmada, dünyada ve Türkiye’de karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon miktarları incelenmiştir. Uygulama olarak Konya iline ait 2010-2018 yılları arasındaki veriler baz alınarak karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon miktarı IPCC yöntemlerinden Tier 1 kullanılarak analiz yapılmıştır. Sonuçta, Konya ilindeki karayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon miktarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Andreoni, Miola ve Perujo (2008) yaptıkları çalışmada, NO_x, SO_x ve CO₂ emisyon miktarlarının azaltılması için kullanılan teknolojilerin maliyet değerlendirmesi ile ilişkili en önemli raporlardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Genel olarak, büyük bir gemi, hafif bir gemiye göre büyüme ağırlığı birim başına daha düşük spesifik tüketime sahip olduğundan, “boyut faktörü” maliyet etkinliği değerlendirmesinde önemli bir unsur olarak görülmüştür. Ayrıca, maliyet tahminiyle ilgili büyük belirsizliğe rağmen, maliyet etkinliği sonuçları hakkında genel bir fikir birliği mevcuttur. Dâhili Motor Modifikasyonu ve Deniz Suyu Temizleme, hem ekonomik hem de çevresel açıdan NO_x ve SO_x emisyonlarını azaltmak için en uygun maliyetli teknolojiler olarak ortaya çıktığı görülmüştür. Emisyonlar yakıttaki kirleticilerin içeriği ile orantılı olduğundan, enerji verimliliği ve alternatif yakıtlara geçiş, CO₂ emisyonlarını azaltmanın temel aracı olarak görülmektedir. Mevcut filolarda hız azaltma, rota optimizasyonu ve operasyonel değişiklikler, enerji tasarrufu potansiyelini artırmaya katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Özen ve Yaman (2013) yaptıkları çalışmada, karayolu yük taşımacılığında kaynaklı emisyonun bulunmasında karayolu trafik istatistiği ve yol kenarı dingil ağırlığı etütleri sonucu elde edilen verileri bir arada kullanan bir yöntemden bahsedilmiştir. Emisyon miktarı şehirlerarası yük taşımacılığında kaynaklı kısmı kapsamaktadır. Bu yöntem ile 2000-2009 dönemine ait emisyon değerleri COPERT 4 programı ile analiz edilmiştir. Sonuçta, şehirlerarası

yük taşımacılığında kaynaklanan emisyon değerlerinin sabit denecek kadar az miktarda değiştiği gözlemlenmiştir.

Cansız, Ünsalan ve Erginer (2020) yaptıkları çalışmada, Türkiye' deki ulaşım sektöründeki karayolu taşımacılığında enerji tüketimi değerleri incelenmiştir. Çalışmada YSA, bulanık mantığın bir metodu olan ANFIS ve regresyon yöntemleri analiz için tercih edilmiştir. Analizlerin kıyaslanması determinasyon katsayısı (R^2), HKO ve OYH kriterlerine göre yapmışlardır. Analizler sonucunda en iyi model lineer regresyon yöntemi olarak belirlenmiştir.

Atmaca ve Sevimoğlu (2020) yaptıkları çalışmada, Kocaeli iline ait CH_4 , CO_2 ve N_2O emisyonlarının IPCC' nin yöntemlerinden Kademe 1 yöntemi ile hesaplanmaya çalışılmıştır. Kocaeli' de, elektrik, ısınma, ulaşım ve atık yönetiminden kaynaklı emisyonların toplam değerleri 2015 yılında 28 131 515 ton CO_2 -eşd, 2016 yılında 25 985 586 ton CO_2 -eşd ve 2017 yılında ise 21 228 854 ton CO_2 -eşd olarak bulmuşlardır. Hesaplanan bu üç yıla ait emisyon miktarlarının ortalaması alınıp bakıldığında en çok ısınmadan kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Motorlu araçlarda kullanılan motorin ve benzinden kaynaklı emisyon miktarı değerleri 2017 yılı için sırasıyla %93,5 ve %6,5 olarak hesaplanmıştır. Kullanılan motorin, emisyon miktarına etkisi dikkat alınması gerektiği düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.

Güzel ve Alp (2020) yaptıkları çalışmada, İstanbul'da ulaşım sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkilerini değerlendirmek için 2016'dan 2050'ye kadar sera gazı emisyonları modellenmiştir. Teknoloji açısından zengin ve ekonomik bir model olan Entegre MARKAL-EFOM Sistemi (TIMES) kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, mevcut plan ve politikaların 2050 yılına kadar devam edeceğini varsayan referans senaryo için elde edilmiştir. Ayrıca elektrikli raylı ulaşım, elektrikli ve hibrit arabalar ve sınırlı CO_2 emisyonları ile ilgili üç alternatif senaryo çalışılmıştır. Sonuçlar, toplam sera gazı azaltımının 2050 yılında elektrikli raylı ulaşım için %1,1, elektrikli ve hibrit arabalar için %11 ve sınırlı CO_2 emisyonları için %39 olduğunu gösterilmiştir.

Işık ve Kılıç (2014) yaptıkları çalışmada, ulaşım sektöründe yapılan Ar-Ge harcamaları göz önüne alınarak CO_2 emisyonundaki etkisi 1990-2010 yıllarına ait veriler kullanılarak seçilmiş bazı ülkelerde dinamik panel veri yöntemiyle analizler yapılmıştır. Sonuçta, seçilmiş olan ülkelerde Ar-Ge için yapılan harcamaların CO_2 emisyonunun beklentileri karşılayacak şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.

Li, Cai, Wang, Zhang, Zhou ve Chen (2019) yaptıkları çalışmada 2005-2015 yılları arasında Çin'deki ulaşım karbon emisyonlarının (TCE) mekansal örüntü evrimi analiz edilmiştir. Sonuçlar, karayolu, denizyolu ve havayolu tarafından TCE değerleri her yıl sırasıyla %6,6, %6,2 ve %9,3 arttığını, ancak demiryolunun azaldığı gösterilmiştir. Ayrıca, toplam TCE dağılımının mekansal olarak büyük ölçüde değiştiği, orta ve batı şehirlerinde doğu şehirlerine göre önemli ölçüde daha düşük olduğu bulunmuştur. Kişi başına GSYİH emisyon artışını etkileyen en önemli faktör olduğu gözlemlenmiştir. Diğer önemli etken ise nüfus artışı olarak bulunmuştur. Tüm şehirler, TCE değerlerinin belirleyicilerine dayalı olarak beş tipte sınıflandırılmıştır. Şehir düzeyinde TCE değerlerinde önemli bölgesel eşitsizliğine vurgu yapılmıştır.

Tsilingiridis (2009) çalışmasında, 1980-2005 yılları arasındaki Yunanistan havaalanlarındaki uçak hava kirletici emisyonlarının değişimi analiz edilmiştir. EMEP/CORINAIR metodolojisine dayalı emisyon tahmini, tüm uçuş kategorilerini (iç hat, uluslararası, tarifeli, charter seferleri) ve Yunanistan'da sivil havacılıkta kullanılan tüm uçak tiplerini ele almaktadır. Emisyonlar, İniş ve Kalkış (LTO) döngüleri için tahmin edilmiştir. Tahminler sivil havacılık tarafından kullanılan 38 havalimanını kapsamakta ve tüm Yunanistan havaalanlarında hava trafiğindeki yüksek artıştan dolayı yüksek emisyon artışı göstermektedir. Atina havaalanı, en çok hava trafiğinin olduğu ve buna bağlı olarak emisyon oranının en fazla olduğu yer olarak tespit edilmiştir.

Schrooten, Vlieger, Panis, Chiffi ve Pastori (2009) yaptıkları çalışmada, Avrupa EX-TREMIS projesi kapsamında geliştirilmiş olan kapsamlı bir deniz taşımacılığı veri tabanı, faaliyet verileri, spesifik enerji tüketimi, emisyon faktörleri ve toplam emisyonlar için metodoloji sunmaktadır. Model, filo modülü, nakliye faaliyet modülü ve emisyon modülü olmak üzere 3 modül üzerine kurulmuştur. Filo modülü, EUROSTAT verilerini, Sea Web Lloyd'un veri tabanını ve uluslararası literatürü kullanarak farklı gemilerin gemi kategorilerini, yükleme kapasitelerini ve motor özelliklerini tanımlamaktadır. Taşıma faaliyeti modülü, elleçlenen toplam yükü gemi eşdeğerlerine dönüştürmektedir. Bu gemi eşdeğerleri ayrıca gemi saatlerine dönüştürülmektedir. Emisyon modülü, denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan enerji kullanımlarını ve CO₂, NO_x, SO₂, CO, HC, CH₄, NMHC, PM emisyonlarını hesaplamaktadır. Gemilerin teknolojik gelişimini hesaba katmak için teknoloji tabanlı emisyon faktörleri kullanılmıştır. Bu yeni metodolojiyi göstermek amacıyla, farklı ülkeler için emisyonlar, yakıt tüketimi ve emisyon faktörleri gibi bazı sonuçlar sunulmuştur.

Dinçer ve Elbir (2007) yaptıkları çalışmada, dizel lokomotif ve vagonlardan NO_x , HC, CO, PM, SO_2 ve CO_2 emisyonları demiryolu trafiği kullanılarak hesaplanmıştır. Türkiye Devlet Demiryolları (TCDD) tarafından 2000-2005 dönemi için kaydedilen veriler kullanılmıştır. Farklı araç tipleri ve manevra ve hat çekme gibi çalışma modları için EPA emisyon faktörleri kullanılmıştır. Türkiye'de 2005 yılı için demiryolu araçlarından kaynaklanan toplam emisyonlar HC için 384 ty^{-1} , CO için 1016 ty^{-1} , NO_x için 6799 ty^{-1} , PM için 256 ty^{-1} , SO_2 için 357 ty^{-1} ve CO_2 için $383\,537 \text{ ty}^{-1}$ olarak tahmin edilmiştir. Demiryolu araçlarının türüne göre emisyonların dağılımı, ana hat lokomotiflerinin toplam emisyonlara yaklaşık olarak %91 katkıda bulunduğu gösterilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, Türkiye’deki ulaştırma sistemlerinden kaynaklı emisyon miktarı tahmini yapılmaktadır. 1997-2018 dönemine ait veri kümesi kullanılarak bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setindeki değişkenlere karar verilirken değişkenler arasında emisyon miktarını en çok etkileyenler belirlenerek yapılmıştır. Etkileme derecesini belirlemek için çapraz korelasyon değerlerine bakılmıştır. Bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken arasındaki çapraz korelasyon değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu veri setinde yer alan bağımsız değişkenler; karayolu taşıt sayısı, karayolu hat uzunluğu (devlet yolu, il yolu ve köy yolları), demiryolu lokomotif sayısı, demiryolu hat uzunluğu, uçak sayısı ve gemi sayısıdır. Kullanılan yöntemler; regresyon yöntemlerinden lineer, interaction ve purequadratic türleri, bulanık mantık, logaritmik regresyon ve YSA’dır. Çalışmada kullanılan veri seti Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’dan alınmaktadır. Bağımlı değişken olan emisyon değerleri ise Avrupa Birliği Komisyonu’nun Eurostat web sayfasından alınmıştır. Karayolu ulaşımına ait veriler; ulaştırma ve depolama (lojistik) ve karayolu taşımacılığı adı altında ayrı şekilde verilmekte ve veri setindeki değerler bunların toplamına eşittir.

Çizelge 3.1. Bağımsız değişkenlerin çapraz korelasyon değerleri

| | Korelasyon Değerleri |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Karayolu taşıt sayısı | 0,9676 |
| Karayolu uzunluğu | -0,8792 |
| Demiryolu Hat uzunluğu | 0,8998 |
| Demiryolu Lokomotif Sayısı | 0,3079 |
| Uçak sayısı | 0,9640 |
| Gemi Sayısı | 0,9175 |

Çizelge 3.2. Emisyon değerleri tahmini için kullanılan veriler

| Yıllar | Karayolu Taşıt Sayısı (Adet) | Karayolu Hat Uzunluğu (km) | Demiryolu Hat Uzunluğu (km) | Demiryolu Lokomotif S. (Adet) | Uçak Sayısı (Adet) | Gemi Sayısı (Adet) | Emisyon Değerleri (Ton) |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1997 | 6863462 | 381759 | 8607 | 663 | 140 | 1236 | 26633449,010 |
| 1998 | 7371541 | 380293 | 8607 | 654 | 142 | 1230 | 25701045,030 |
| 1999 | 7758511 | 384382 | 8682 | 645 | 142 | 1242 | 25921075,590 |
| 2000 | 8320449 | 417406 | 8671 | 652 | 145 | 1270 | 27232495,920 |
| 2001 | 8521956 | 426249 | 8671 | 646 | 145 | 1261 | 27559217,770 |
| 2002 | 8655170 | 427411 | 8671 | 629 | 138 | 1185 | 26353200,710 |
| 2003 | 8903843 | 428415 | 8697 | 618 | 138 | 1148 | 27801438,210 |
| 2004 | 10236357 | 349215 | 8697 | 598 | 142 | 1209 | 33709430,980 |
| 2005 | 11145826 | 349238 | 8697 | 600 | 202 | 1379 | 33403456,080 |
| 2006 | 12227393 | 349304 | 8697 | 602 | 245 | 1429 | 36076177,410 |
| 2007 | 13022945 | 350708 | 8697 | 597 | 250 | 1551 | 41406375,950 |
| 2008 | 13765395 | 351958 | 8699 | 613 | 262 | 1649 | 43984663,130 |

Çizelge 3.2. (Devam) Emisyon değerleri tahmini için kullanılan veriler

| Yıllar | Karayolu Taşıt Sayısı (Adet) | Karayolu Hat Uzunluğu (km) | Demiryolu Hat Uzunluğu (km) | Demiryolu Lokomotif S. (Adet) | Uçak Sayısı (Adet) | Gemi Sayısı (Adet) | Emisyon Değerleri (Ton) |
|--------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| 2009 | 14316700 | 362660 | 9080 | 621 | 299 | 1720 | 43757088,680 |
| 2010 | 15095603 | 367263 | 9594 | 620 | 332 | 1777 | 39146782,310 |
| 2011 | 16089528 | 370276 | 9642 | 599 | 349 | 1832 | 41984399,650 |
| 2012 | 17033413 | 385748 | 9642 | 610 | 370 | 1879 | 51067737,640 |
| 2013 | 17939447 | 388783 | 9718 | 602 | 385 | 1909 | 40636746,550 |
| 2014 | 18828721 | 236794 | 10087 | 632 | 422 | 1892 | 56532651,350 |
| 2015 | 19994472 | 238899 | 10131 | 666 | 489 | 1895 | 58425416,770 |
| 2016 | 21090424 | 242590 | 10131 | 687 | 540 | 1951 | 62416447,850 |
| 2017 | 22218945 | 247514 | 10207 | 668 | 517 | 1999 | 64585671,760 |
| 2018 | 22865921 | 247553 | 10315 | 664 | 515 | 2025 | 61783611,010 |

3.1. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmadaki amaç; emisyonlardan kaynaklanan çevresel etkilere değinmek ve bu konuda alınabilecek önlemler sunmak. Türkiye'deki ulaştırma sistemlerinden kaynaklanan emisyon değerlerinin yapay zekâ tekniklerini ve istatistiksel metotlar karşılaştırılarak tahmin açısından hangisinin daha uygun olduğunu belirlemek ve bu tahminlere bağlı olarak ulaşım politikalarına katkı sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

3.2. Bulanık Mantık

Bulanık küme mantığı ilk kez Zadeh (1965) tarafından ele alınmıştır. Bu nedenle Zadeh belirsizlik kavramının ele alınmasında önemli bir kişi olarak kabul edilmektedir. Zadeh tarafından yapılan bu çalışma kesin sınırlara sahip olmayan çalışmaların oluşturduğu bulanık mantık fikrini ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın ön plana çıkması olasılık teorisine bir seçenek olmasından değil, ayrıca o güne kadar genel olarak tüm bilimlere temel sağlayan Aristo mantığına karşı bir seçenek olabilme potansiyeline sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Günümüzde başta elektronik, kontrol sistemleri olmak üzere birçok alanda yer edinmiş ve yöntem ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

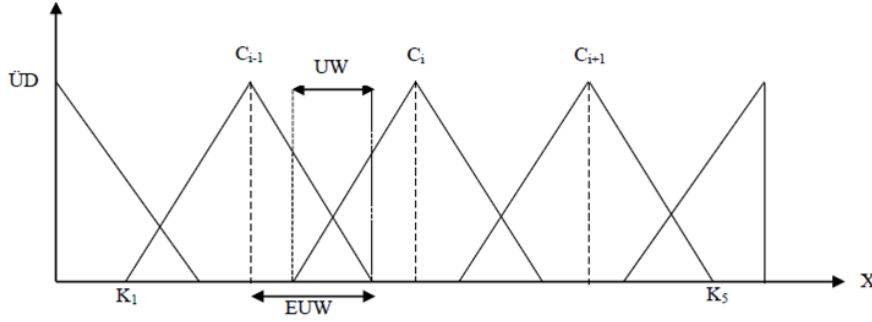
Yapılan bu tez çalışmasında Bulanık Mantığın SMGRT yöntemi uygulanmaktadır. SMGRT yöntemi Toprak (2009) tarafından ele alınmıştır. Sunulan bir bulanık mantık probleminde temel soru, problemin çözümü için en iyi sonucu veren bulanıklık kurallarının (FRs) ve üyelik fonksiyonu (MFs) nasıl yapılacağıdır (Toprak, 2009). Bir bulanık problemdeki MFs ve FRs'lerin mantığına, adedine ve şekline karar verme gibi zorlukları aşmak için SMRGT

yöntemi oluşturulmuştur. Bu yeni bulanık metotta girdi ve çıktı verilerinin üyelik fonksiyonları için üretilen anahtar sayılara dayanmaktadır. Bu anahtar sayılar üyelik fonksiyonların durulaştırma metoduna ve şekline (yamuk, üçgen vb.) bağlıdır (Toprak, 2009). Toprak 2009'da sunduğu SMGRT yöntemini aşağıdaki adımlarla açıklamaktadır.

- Analiz için kullanılacak bağımsız ve bağımlı değişkenler belirlenir.
- Her değişken için maksimum ve minimum değerler belirlenir.
- Üyelik fonksiyonların (MF) şekline karar verilir.
- Her bağımsız değişken için MF' nin sayısına karar verilir (en az 3 adet MF gerekir).
- Her bağımsız değişken için MF değerlerinin genişliğini ve çekirdeğini anahtar değerleri ile belirlenir. Anahtar değerlerin sayısının, her bağımsız değişken için MF sayısına eşit olacağı unutulmamalıdır. MF' lerin simetrik biçimde olması gerekmez.
- Bu anahtar değerler bulanık modelin girdileridir.
- Bulanık model, her bağımsız değişken için başlangıç ve bitiş MF' lerin değerleri arasında dağıtılan veriler için geçerlidir.
- Bulanık kural (FR) sayısını ve çıktının anahtar değerlerini veren bir tablo hazırlanır.
- Çıktının MF değerleri, MF girişleri için üretilir. Çıktı için anahtar değerlerin minimum değeri, ilk MF' nin merkez değeridir. Anahtar değerlerin maksimum değeri, son MF' nin merkez değeridir. Ara anahtar değerleri, orta MF' lerin merkez değerleridir. FR sayısı, çıktının MF sayısına eşitse, model daha iyi sonuçlar verir.

SGMRT yöntemi ile üyelik fonksiyonları aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmaktadır. Şekil 3.1'de üyelik fonksiyonların görünümü ve formüldeki değişkenlerin nereye denk geldiğini göstermektedir. Formüller Toprak (2009) tarafından elde edilmiştir.

- $V_R = V_{max} - V_{min}$,
- $UW = V_R / nu$
- $EUW = 3UW / 2$
- $K_1 = V_{min} + EUW / 3$
- $K_5 = V_{max} - EUW / 3$
- $C_i = K_i = V_R / 2 + V_{min}$,
- $C_{i+1} = K_{i+1} = V_{max} - (V_{max} - K_i) / 2$,
- $C_{i-1} = K_{i-1} = K_i - V_{min} / 2 + V_{min}$



Şekil 3.1. SMGRT formüllerindeki değişkenlerin gösterimi

3.3. Çok Değişkenli Linear Regresyon (MLR)

Çok parametrelili problemlerde bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişkenler sabit değer olarak ele alınıp hesaplama işlemi yapılmaktadır. Bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi bir katsayı ile tespit edilmektedir. Elde edilen katsayıya regresyon katsayısı denir ve bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki bağıllık derecesini göstermektedir. Regresyon metodunda en önemli kriter bağımlı ve bağımsız değişken arasında bir sebep-sonuç ilişkisinin bulunmasıdır.

Regresyon metodu, parametreler arasında neden-sonuç ilişkisi olan en az iki veya daha fazla parametre arasındaki bağıllığı tespit etmek ve bu bağıllık baz alınarak o problem ile ilgili tahmin yapmak için kullanılan bir metot türüdür. Regresyon metodunda, bağımlı ile bağımsız değişkenler arasındaki bağıllığı matematiksel bir fonksiyon olarak açıklamak ve bu bağıllığı bir modelle tanımlayabilmek amaçlanmaktadır. Eş. 3.1’de MLR yönteminin genel formülü yer almaktadır.

$$Y_i = (\beta_0 + \sum_{i=0}^N \beta_i * x_i + \sum_{i<j}^N \beta_{ij} * x_i * x_j + \sum_{i=0}^N \beta_{ii} * x_i^2 + \epsilon) \quad (3.1)$$

Yukarıda verilen Eş. 3.1’ de, x_i ($i = 1, \dots, N$) bağımsız değişkeni, y bağımlı değişkeni, β regresyon katsayılarını ve ϵ hatayı temsil etmektedir.

MLR yönteminin metotlarından lineer, interaction ve purequadratic metotları ile MATLAB programı kullanılarak Çizelge 3.2’de verilen veri seti dikkate alınarak analiz yapılmaktadır. MLR yönteminin lineer metodunda kullanılan bağımsız değişkenler için elde edilen formül Eş. 3.2’de verilmiştir.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6) \quad (3.2)$$

İnteraction regresyon metodu için kullanılan formül Eş. 3.3'te verilmektedir.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_1 X_2 + \beta_8 X_1 X_3 + \beta_9 X_1 X_4 + \beta_{10} X_1 X_5 + \beta_{11} X_1 X_6 + \beta_{12} X_2 X_3 + \beta_{13} X_2 X_4 + \beta_{14} X_2 X_5 + \beta_{15} X_2 X_6 + \beta_{16} X_3 X_4 + \beta_{17} X_3 X_5 + \beta_{18} X_3 X_6 + \beta_{19} X_4 X_5 + \beta_{20} X_4 X_6 + \beta_{21} X_5 X_6) \quad (3.3)$$

Eş. 3.4'te ise çok değişkenli purequadratic regresyonun metodunun formülü yer almaktadır.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_1^2 + \beta_8 X_2^2 + \beta_9 X_3^2 + \beta_{10} X_4^2 + \beta_{11} X_5^2 + \beta_{12} X_6^2) \quad (3.4)$$

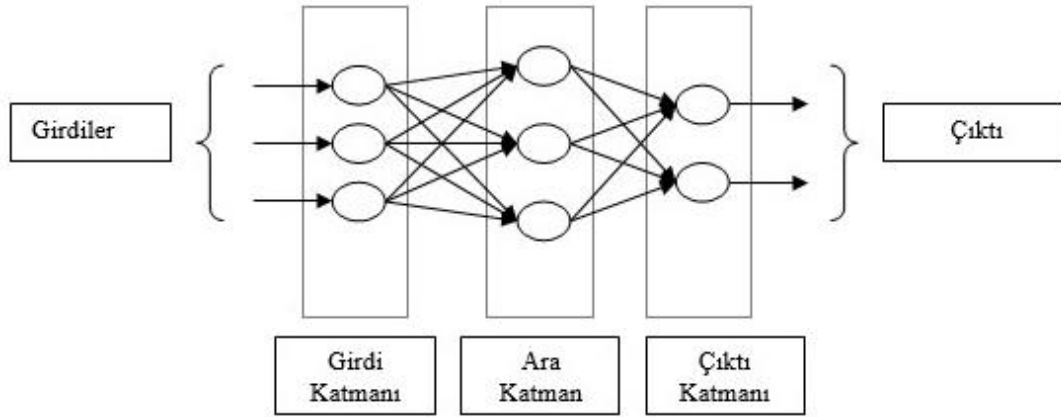
3.4. Logaritmik Regresyon

İstatistiksel tahminlerde kullanılmak üzere birçok regresyon tekniği geliştirilmiştir. Logaritmik regresyonda bunlardan bir tanesidir. Logaritma eğrisine uygun dağılım sağlayan veri topluluklarında logaritmik regresyon oldukça etkili olduğu görülmüştür. Başta kaza tahminleri olmak üzere birçok ulaştırma tahmininde logaritmik regresyon başarılı modeller geliştirmektedir. Eş. 3.5'te logaritmik regresyonun denklemi yer almaktadır.

$$Y_i = (\beta_0 * X_1^{\beta_1} * X_2^{\beta_2} * X_3^{\beta_3} * X_4^{\beta_4} * X_5^{\beta_5} * X_6^{\beta_6}) \quad (3.5)$$

3.5. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA yöntemi bilgisayar ortamında insan beyninin ve sinir sisteminin hareketlerini taklit etme esası üzerine oluşturulmuş bir bilgi işleme aracıdır. İnsanların en temel özelliğinden biri olan öğrenme kabiliyeti üzerine yapılmıştır. YSA elindeki problemlerden yola çıkarak hiç görmediği problemler hakkında öğrendikleri bilgiyi kullanarak karar verme mekanizması olarak tanımlanabilir. YSA yöntemi, tıpkı insanlarda bulunan sinir sistemi gibi nöronlara sahiptir. Yapay nöronlar bir araya gelerek YSA modelini oluşturmaktadır. İnsanlarda olan öğrenme, genelleme yapabilme, optimizasyon ve ilişkilendirme gibi bir çok konuda başarılı işlemler yapabilmektedir. Şekil 3.2'de bir YSA nöronun yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Yapay sinir ağı örneği

YSA yönteminin avantajları;

- İnsanlar gibi öğrenme kabiliyetine sahiptir.
- Önceden görülmemiş problemler hakkında bilgi üretebilmektedir.
- Lineer olmayan çok boyutlu ve eksik bilgili problemlerde analiz yapma konusunda başarılıdır.
- Bir problem analizi için ağ modeli oluşturulacağı zaman herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymaz elde örnek olması yeterlidir.
- Matematiksel fonksiyonlara ihtiyaç duymaz.
- YSA yönteminin uygulanması oldukça pratiktir.

YSA yönteminin dezavantajları ise;

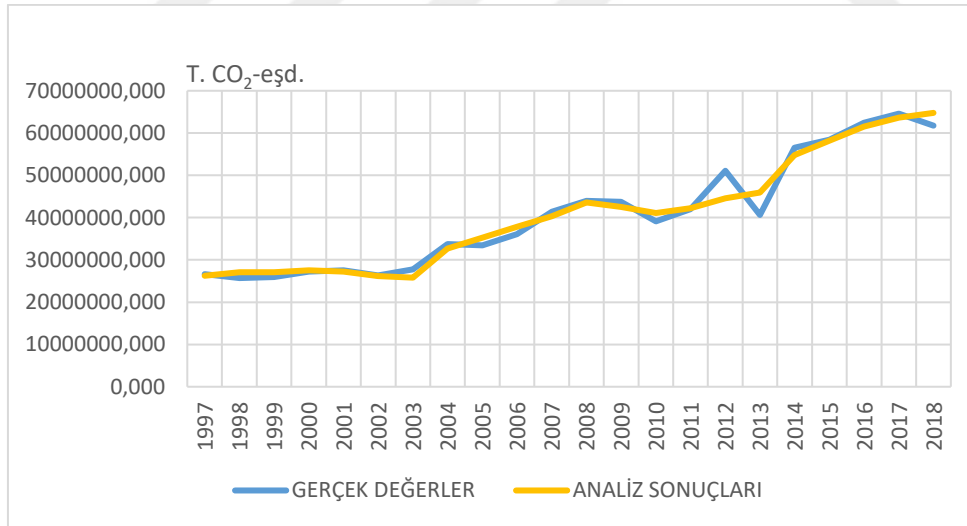
- YSA ile bir model oluşturulurken, model seçimi ve ağın topolojisini belirlemek için belli bir kural yoktur. Doğru seçimlerin yapılması tamamen tecrübeye bağlıdır.
- Kapalı kutu olarak adlandırılır. YSA, regresyon metotlarında olduğu gibi bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki etkisi hakkında bilgi veremez.
- Genel minimum değeri bulamama riski vardır ama genel minimum değere yakın yerel minimum değerleri bulmada da oldukça iyi sonuçlar verebilmektedir.
- Analizi yapılacak problemin ağa gösterimi önemli bir etkidir. YSA sadece sayısal veriler ile çalışmakta ve problemin sayısal değerlere çevrilmesi gerekmektedir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Çok Değişkenli Lineer Regresyon İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi

Burada 1997-2018 dönemine ait veriler kullanılarak MLR yöntemi analizleri yapılmıştır. MLR metotlarında denklemlerde katsayıların belirlenmesi için kullanılan bağımsız değişkenler belli bir katsayı belirlenmiştir. Bunlar; karayolu taşıt sayısı (KT), karayolu hat uzunluğu (KH), demiryolu lokomotif sayısı (DL), demiryolu hat uzunluğu (DH), uçak sayısı (US), gemi sayısı (GS) ve emisyon değerleri (ED) olarak belirlenmiştir. Matlab programı kullanılarak yapılan analiz sonucunda alınan katsayılar MLR metotlarından biri olan lineer regresyon metodunun formülünde yerine yazılarak aşağıdaki formül elde edilmiştir. Katsayılar Eş. 3.2’de yerine yazılarak Eş. 4.1 oluşturulmuştur. Lineer regresyon metodu sonucunda alınan analiz sonuçları ve gerçek emisyon değerlerine ait grafik Şekil 4.1’de verilmektedir.

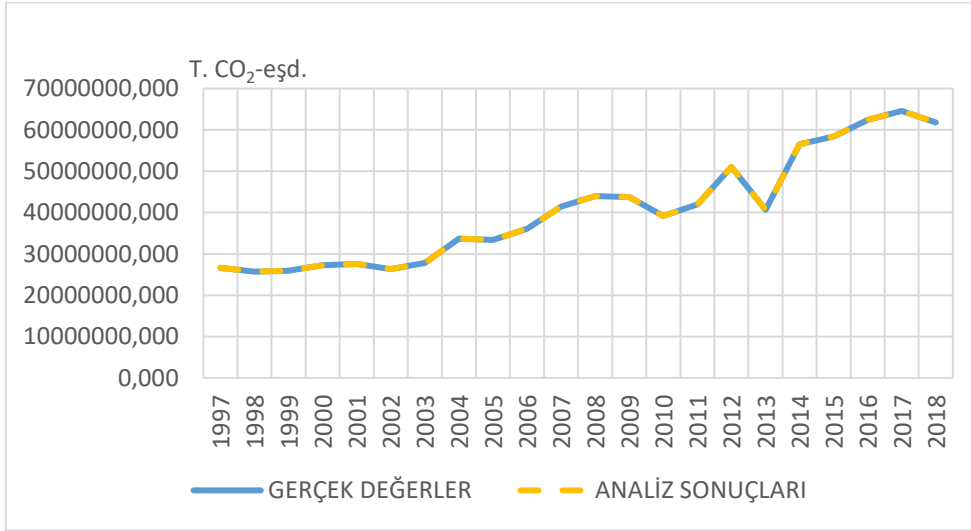
$$ED=1,2576*10^7+1,3832*KT+(-23,3692*KH)+(-2860,9052*DL)+3,1822*10^4*DH+(-10080,9186)*US +3070,2496*GS \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Lineer regresyon metodu analiz sonucu grafiği

MLR yönteminin diğer metodu olan interaction regresyon metodunun denkleminde; KT, KH, DL, DH, US ve GS regresyon katsayıları kullanılarak modelin formülü elde edilmiştir. Elde edilen katsayılar Eş. 3.3’te yerine yazılarak Eş. 4.2 oluşturulmuştur. Interaction regresyon metodu sonucunda alınan analiz sonuçları ve gerçek emisyon değerlerine ait grafik Şekil 4.2’de verilmektedir.

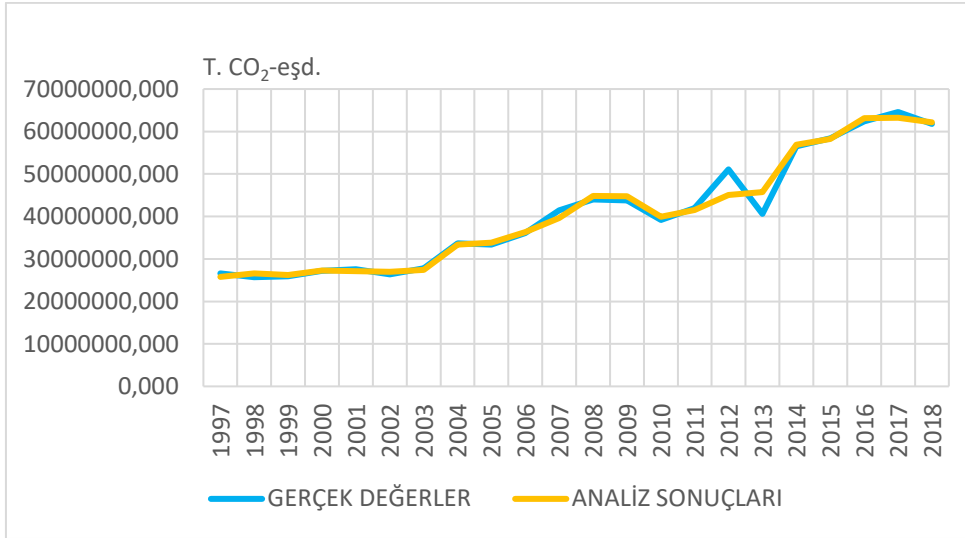
$$\begin{aligned}
ED = & (-7,2872 \cdot 10^{10}) + (-91,4888 \cdot KT) + (2,1924 \cdot 10^4 \cdot KH) + 1,109 \cdot 10^7 \cdot DL + 1,7991 \cdot 10^7 \cdot DH + \\
& (-1,5547 \cdot 10^8 \cdot US) + 5,5191 \cdot 10^7 \cdot GS + (-0,0011 \cdot KT \cdot KH) + (0,203 \cdot KT \cdot DL) + \\
& 0,6397 \cdot KT \cdot DH + (-0,4083 \cdot KT \cdot US) + 0,1957 \cdot KT \cdot GS + (-4,101 \cdot KH \cdot DL) + \\
& 109,368 \cdot KH \cdot DH + 104,4126 \cdot KH \cdot US + (-13,625 \cdot KH \cdot GS) + (-6,4639 \cdot 10^3 \cdot DL \cdot DH) \\
& + 1,1037 \cdot 10^4 \cdot DL \cdot US + (-5,2033 \cdot 10^3 \cdot DL \cdot GS) + 4,235 \cdot 10^4 \cdot DH \cdot US + \\
& (-1,3391 \cdot 10^4 \cdot DH \cdot GS) + 3,0583 \cdot 10^3 \cdot US \cdot GS
\end{aligned} \tag{4.2}$$



Şekil 4.2. Interaction regresyon metodu analiz sonucu grafiği

Çalışmada kullanılan MLR yönteminin bir diğer metodu olan purequadratic regresyon metodunun denkleminde; KT, KH, DL, DH, US ve GS regresyon katsayıları kullanılarak modelin formülü elde edilmiştir. Elde edilen katsayılar Eş. 3.4'te yerine yazılarak Eş. 4.3 oluşturulmuştur. Purequadratic regresyon metodu sonucunda alınan analiz sonuçları ve gerçek emisyon değerlerine ait grafik Şekil 4.3'te verilmektedir.

$$\begin{aligned}
ED = & (-1,5769 \cdot 10^8) + 2,4694 \cdot KT + (-185,9669 \cdot KH) + 7,3224 \cdot 10^4 \cdot DL + (-2,6356 \cdot 10^4 \cdot DH) + \\
& (-8,2605 \cdot 10^3 \cdot US) + (-7,3775 \cdot 10^4 \cdot GS) + (-4,1816 \cdot 10^{-8} \cdot KT^2) + 2,0447 \cdot 10^{-4} \cdot KH^2 + \\
& (-4,3081 \cdot DL^2) + 251,3787 \cdot DH^2 + (-15,4905 \cdot US^2) + 27,1492 \cdot GS^2
\end{aligned} \tag{4.3}$$



Şekil 4.3. Purequadratic regresyon metodu analiz sonucu grafiği

Analiz sonucunda kullanılan metotlardan elde edilen sonuçlar kıyaslanırken HKO, R ve YHO kriterleri dikkate alınmıştır. MLR metotları sonucu elde edilen kriter değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Emisyon değeri tahmini için regresyon metotlarının karşılaştırılması

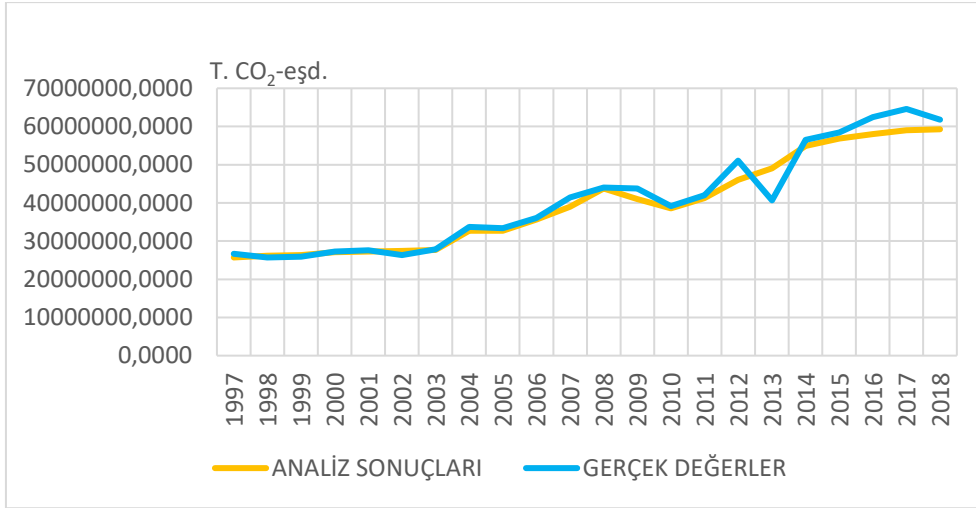
| Metotlar | HKO | YHO (%) | R |
|--------------------------------|------------------|-----------------|--------|
| Lineer Regresyon Metodu | 4793845004079,31 | 3,7989 | 0,9855 |
| Interaction Regresyon Metodu | 0,000000004839 | 0,0000000001672 | 1,0000 |
| Purequadratic Regresyon Metodu | 3314943364316,79 | 2,5781 | 0,9900 |

Çizelge 4.1’den görüleceği üzere MLR yönteminin metotlarından elde edilen değerlere göre en iyi sonucu interaction metodu verdiği gözlemlenmiştir.

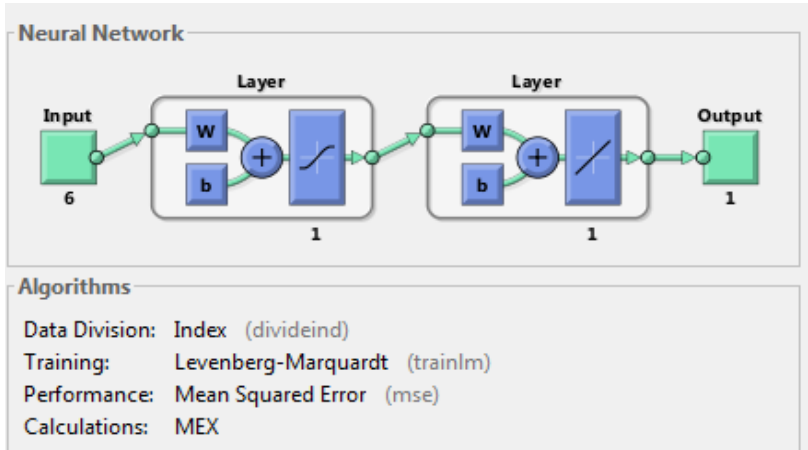
4.2. Yapay Sinir Ağları İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi

Burada YSA yöntemi ile yapılan analizde 1997-2018 dönemine ait veriler ile analiz yapılmıştır. Analizde verilerin %70’i eğitim diğer %30’luk kısmı ise test için ayrılmıştır. YSA yöntemi kullanılırken birçok kombinasyon oluşturularak 12000 adet model geliştirilmiştir. Bu modeller arasında en iyi tahmini yapan bir gizli katmanı olan ve bu katmanda 1 adet nöronu bulunan model olmuştur. Bu modelde girdi katmanında tanjant sigmoid, çıktı katmanında ise pürelin transfer fonksiyonu ele alınmıştır. Eğitim algoritması olarak Levenberg-Marquardt (LM) kullanılmış bundan dolayı eğitim kısa sürede ve tamamlanmıştır. Seçilen bu algoritma doğrusal veya doğrusal olmayan modellerde genel olarak hızlı ve iyi sonuçlar ürettiği için tercih

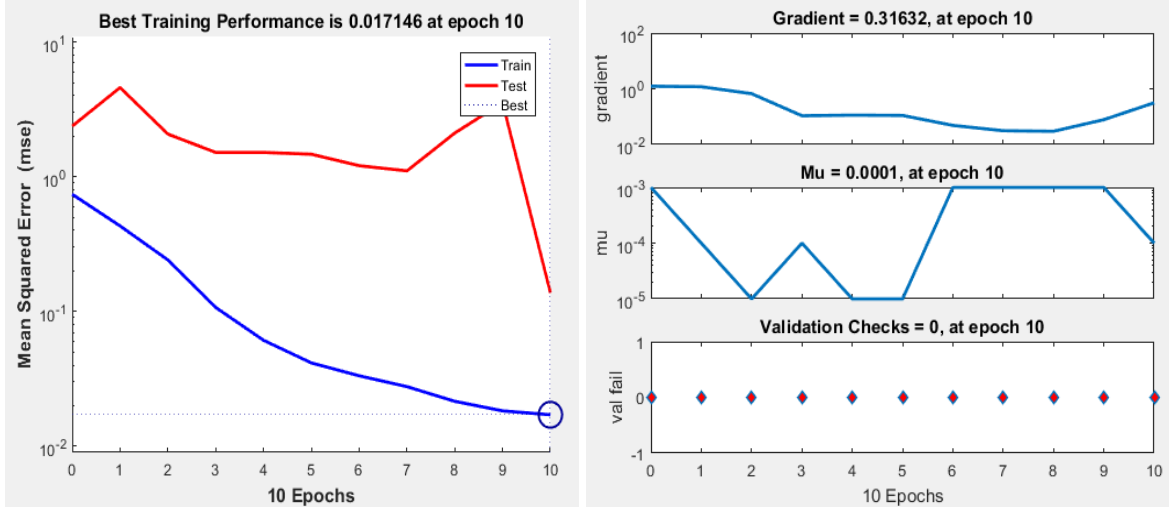
edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen R değeri 0,9809, HKO değeri 8 050 363 681 418,75 ve OYH değeri %4,1555 olarak hesaplanmıştır. YSA modeline ait grafikler elde edilmiştir. YSA analizi sonucunda alınan değerler ile gerçek emisyon değerlerine ait grafik Şekil 4.4'te verilmektedir. Model görünümü Şekil 4.5, regresyon katsayısı grafiği Şekil 4.6. ve performans ve eğitim grafikleri ise Şekil 4.7'de verilmiştir.



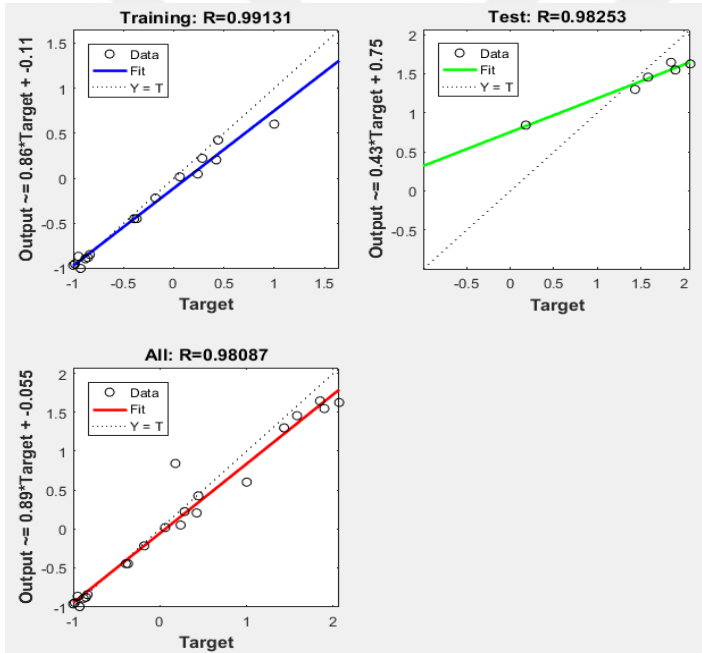
Şekil 4.4. YSA modelinin analiz sonucu grafiği



Şekil 4.5. Emisyon değeri tahmini için YSA model görünümü



Şekil 4.6. Emisyon değeri tahmini için YSA modelinin performans ve eğitim görünümü

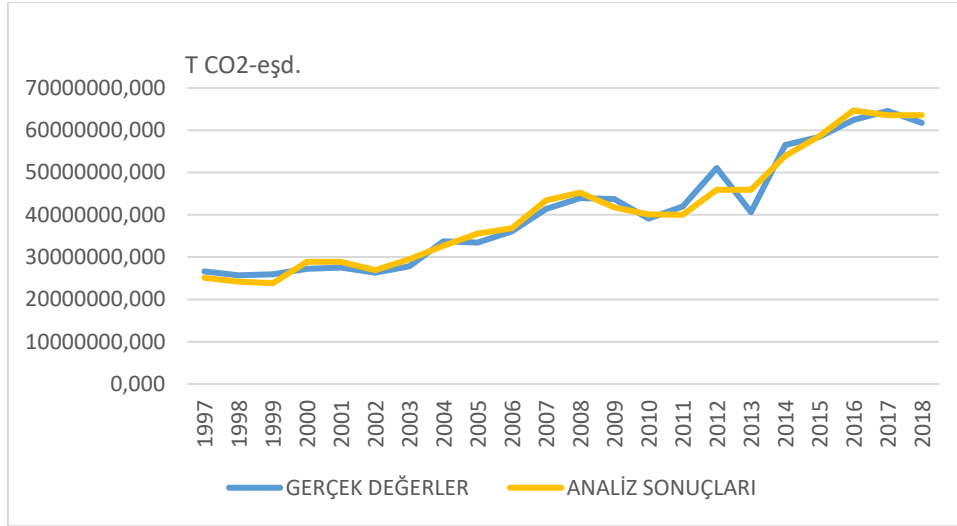


Şekil 4.7. Emisyon değeri tahmini için YSA modelinin regresyon katsayısı grafiği

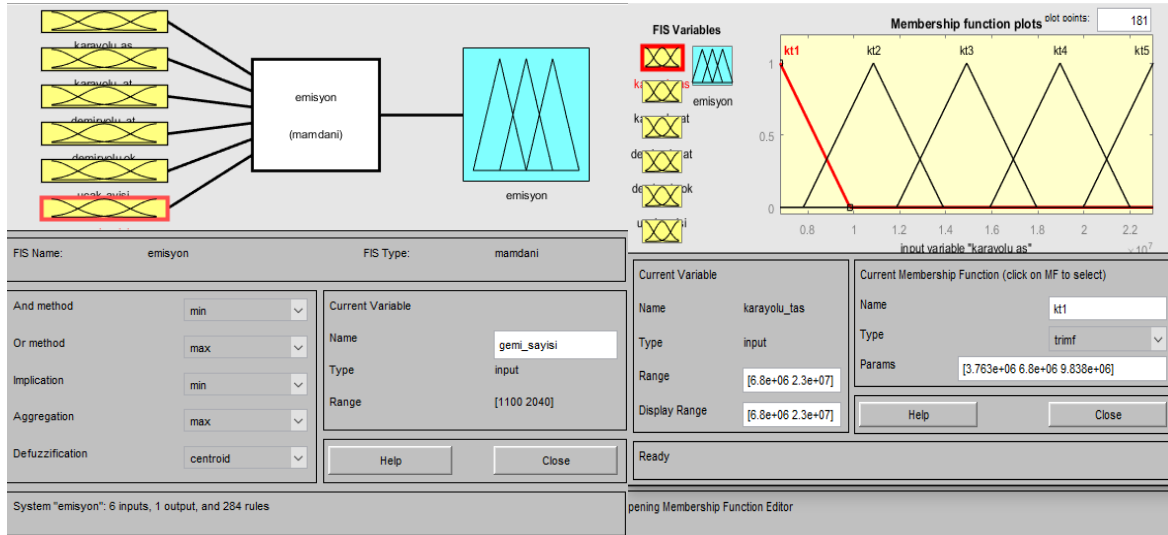
4.3. Bulanık Mantık İle Emisyon Değerinin Tahmin Edilmesi

Bu çalışmada ulaştırma sistemlerinde emisyon değerinin tahmini için bulanık mantık modelinin SMGRT metodu kullanılmaktadır. Bulanık mantıkta 2 tür problem çözme algoritması vardır. Bu çalışmada Mandani algoritması kullanılmaktadır. Üyelik fonksiyonu olarak üçgen model tercih edilmiştir. Üyelik fonksiyon âdeti girdi ve çıktı katmanları için sırası ile 5, 5 olarak belirlenmiştir. Analiz değerlerinin hesaplanmasında centroid yöntemi kullanılmıştır. Emisyon değerlerinin hesaplanması için 284 adet kural oluşturulmuştur. Bu kurallar bağımsız değişken ve bağımlı değişkenin birbirleri arasındaki kombinasyondan oluşturulmuştur. Emisyon değeri

tahmini için yapılan bu model sonucunda elde edilen R değeri 0,9855, HKO değeri 4 895 753 910 316,73 ve OYH değeri %4,9089 olarak hesaplanmaktadır. Bulanık mantık analizi sonucunda alınan değerler ile gerçek emisyon değerlerine ait grafik Şekil 4.8’de verilmektedir. Analizler sonucunda elde edilen modelin ve üyelik fonksiyonlarının görünümü Şekil 4.9, kural tablosu ise Şekil 4.10’da verilmektedir.



Şekil 4.8. Bulanık mantık modelinin analiz sonucu grafiği



Şekil 4.9. Emisyon değeri tahmininde bulanık model ve üyelik fonksiyonlarının görünümü

1. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl3) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

2. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl3) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs2) th

3. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl4) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

4. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl4) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs2) th

5. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh2) and (demiryolu_lok is dl3) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

6. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh2) and (demiryolu_lok is dl3) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs2) th

7. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh2) and (demiryolu_lok is dl4) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs2) th

8. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh4) and (demiryolu_hat is dh2) and (demiryolu_lok is dl4) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

9. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh5) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl2) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

10. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh5) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl3) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

11. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh5) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl3) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs2) th

12. If (karayolu_tas is kt1) and (karayolu_hat is kh5) and (demiryolu_hat is dh1) and (demiryolu_lok is dl4) and (ucak_sayisi is us1) and (gemi_sayisi is gs1) th

If karayolu_tas is and karayolu_hat is and demiryolu_hat is and demiryolu_lok is and ucak_sayisi is and

kt1 kt2 kt3 kt4 kt5 none

kh1 kh2 kh3 kh4 kh5 none

dh1 dh2 dh3 dh4 dh5 none

dl1 dl2 dl3 dl4 dl5 none

us1 us2 us3 us4 us5 none

gs1 gs2 gs3 gs4 gs5 none

not not not not not

Connection: or and

Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

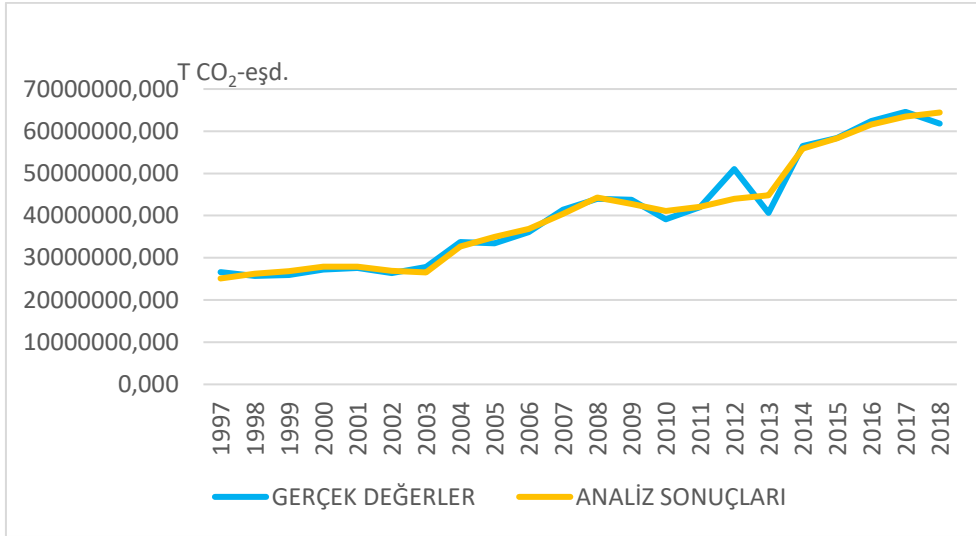
FIS Name: emisyon Help Close

Şekil 4.10. Emisyon değeri tahmininde bulanık modelin kural tablosu

4.4. Logaritmik Regresyon İle Emisyon Değerin Tahmin Edilmesi

Türkiye’deki ulaştırma sistemlerinden kaynaklanan emisyon değerlerinin tahmini için logaritmik regresyon yöntemi ile yapılan analizler sonucunda elde edilen R değeri 0,9872, HKO değeri 4 236 601 138 306,92 ve OYH değeri %3,4057 olarak hesaplanmaktadır. Logaritmik regresyon modelinin denkleminde; KT, KH, DL, DH, US ve GS regresyon katsayıları kullanılarak modelin denklemi oluşturulmaktadır. Logaritmik regresyon analizinde katsayılar oluşturulurken verilerin logaritması alınarak yapılmaktadır. Analiz sonucunda elde edilen katsayılar Eş. 3.5’ te yerine yazılarak Eş. 4.4 oluşturulmuştur. Bulanık mantık analizi sonucunda alınan değerler ile gerçek emisyon değerlerine ait grafik Şekil 4.11’de verilmektedir.

$$ED=3,6216*10^4*KT^{0,9062}*KH^{-0,4439}*DL^{-1,3545}*DH^{0,9181}*US^{-0,2991}*GS^{0,6999} \quad (4.4)$$



Şekil 4.11. Logaritmik regresyon analiz sonucu grafiği

4.5. Emisyon Değeri Tahmin Modellerinin Karşılaştırılması

Yapılan tez çalışmasında; Türkiye'deki ulaştırma sistemlerinden kaynaklanan emisyon değerlerinin tahmini için kullanılan yöntemlerden ilki çok değişkenli lineer regresyon yönteminden lineer, interaction ve purequadratic metotları, ikinci yöntem YSA, üçüncü yöntem Bulanık Mantık ve dördüncü yöntem olarak ta logaritmik regresyon yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan bu yöntemler R, HKO ve OYH kriterleri baz alınarak karşılaştırma yapılmaktadır. Analizler sonucu elde edilen değerler göz önünde bulundurularak emisyon değerlerinin tahmininde en iyi sonucu veren yöntem, çok değişkenli lineer regresyon metotlarından biri olan interaction regresyon metodu olmuştur. Kullanılan yöntemler ile elde edilen R, HKO ve OYH değerleri Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Emisyon Değerinin tahmini için modellerin karşılaştırması

| Modeller | HKO | YHO (%) | R |
|--------------------------------|------------------|-----------------|--------|
| Lineer Regresyon | 4793845004079,31 | 3,7989 | 0,9855 |
| İnteraction Regresyon | 0,000000004839 | 0,0000000001672 | 1,0000 |
| Purequadratic Regresyon | 3314943364316,79 | 2,5781 | 0,9900 |
| Yapay Sinir Ağları | 8050363681418,75 | 4,1555 | 0,9809 |
| Bulanık Mantık | 4895753910316,73 | 4,9089 | 0,9855 |
| Logaritmik Regresyon | 4236601138306,92 | 3,4057 | 0,9872 |

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karayolu ve demiryolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon gazlarının kontrolü, kullanılan motorlu araçların üretim ve kullanım aşamalarında enerji tüketim değerlerine göre önlemler alınması azaltıcı bir unsurdur. Buna bağlı olarak araç ve motor teknolojisindeki gelişmeler, kullanılan yakıtlara ekstra yakıtların kullanılması, yakıt tüketiminin sağlanması için trafik uygulamalarının sağlanması emisyon miktarındaki düşüş için önemli etkenlerdir. Toplu taşımacılık sistemlerinin yaygınlaştırılması, şehirlerde kısa mesafelerde yürüyerek ya da bisiklet kullanarak ulaşımın sağlanması ve buna uygun alt yapının oluşturulması emisyon değerlerinin azalmasında önem taşımaktadır.

Havayolu taşımacılığında kaynaklanan emisyon gazlarının özellikle düşük seviyelerde daha etkili olduğu ve hava kalitesi açısından olumsuz etki ettiği görülmüştür. Uçakların yüksek yakıt tüketiminden kaynaklı üretilen emisyonlar atmosferin doğal özelliğinin ve yoğunluğunun değişmesine neden olmaktadır. Hava ortamında emisyon miktarlarının artması dünya genelinde sıcaklıkların artmasına ve buna bağlı olarak iklim değişikliği gibi olayların oluşmasına sebep olmaktadır. Dünyada havayolu taşımacılığında kullanılan enerji kaynaklarından kaynaklı oluşan emisyonlar yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır. Havacılık sektöründen kaynaklanan bu emisyonlar her yıl yaklaşık %4 civarında artış yapacağı düşünülmektedir. (ICAO, 2013b). Uçakların yüksek mesafelerde uçuşu sırasında açığa çıkan NO_x emisyon gazı tepkimelere girerek ozon miktarının artmasına ve bundan dolayı dolaylı da olsa sıcaklıkların artmasına neden olmaktadır (IPCC, 1999; EPA, 2012).

Denizyolu taşımacılığında kaynaklanan emisyonların çevreye ve insan sağlığına olan zararları birçok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu emisyonlar, atmosfere karışması ile küresel ısınma, küresel soğuma ve asit yağmurları gibi etkilere neden olmaktadır. Oluşan bu asit yağmurları canlılar için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Gemilerden kaynaklanan NO_x, CO₂ SO_x emisyonları dünya genelinde oluşan toplam salınımın sırası ile %15, %2-4 ve %5-8 oranına sahiptir. Bu değerlere bakıldığında gemilerden kaynaklanan emisyonların dünya genelinde bir tehdit haline geldiği görülmektedir. Gemi taşımacılığı faaliyetlerinin genel olarak yoğun nüfuslu liman şehirlerinde ve seyir rotalarının da yoğun nüfuslu bölgelerde olduğu göz önünde bulundurulursa insan sağlığı için oluşturduğu tehdidin boyutu daha iyi anlaşılabilir.

Bu tez çalışmasında kısaca toparlarsak, karayolu taşıt sayısı, karayolu hat uzunluğu, demiryolu lokomotif sayısı, demiryolu hat uzunluğu, uçak sayısı ve gemi sayısı parametreleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizler için YSA, MLR, bulanık mantık ve logaritmik regresyon yöntemleri uygulanmıştır. MLR yönteminin, lineer, interaction ve purequadratic türleri uygulanmıştır. Modeller arası karşılaştırmalar R katsayısı, YHO ve HKO kriterleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda MLR modelinin lineer metodunun sonuçlarına bakıldığında R değeri 0,9855, HKO değeri 4 793 845 004 079,31 ve YHO değeri ise %3,7989 olarak elde edilmiştir. İnteraction metodunun sonuçlarına bakıldığında R değeri 1,0000, HKO değeri 0,000000004839 ve YHO değeri ise %0,0000000001672 olarak elde edilmiştir. Purequadratic metodunun sonuçlarına bakıldığında R değeri 0,9900, HKO değeri 3 314 943 364 316,79 ve YHO değeri ise %2,5781 olarak elde edilmiştir. YSA ile yapılan analizler sonucunda elde edilen R değeri 0,9809, YHO değeri %4,1555 ve HKO değeri ise 8 050 363 681 418,75 olarak bulunmuştur. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak elde edilen R değeri 0,9855, YHO değeri %4,9089 ve HKO değeri ise 4 895 753 910 316,73 olarak elde edilmiştir. Logaritmik regresyon yöntemi kullanılarak elde edilen R değeri 0,9872, YHO değeri %3,4057 ve HKO değeri ise 4 236 601 138 306,92 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre R, HKO ve YHO kriterleri baz alınarak en iyi değerleri veren yöntem MLR yönteminin interaction metodu olarak belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akbostancı, E., Tunç, G. I., and Türüt-Aşık, S. (2011). CO2 emissions of Turkish manufacturing industry: a decomposition analysis. *Applied Energy*, 88(6), 2273-2278.
- Alam, M. S., Duffy, P., Hyde, B., and McNabola, A. (2017). Improvement in the estimation and back-extrapolation of CO2 emissions from the Irish road transport sector using a bottom-up data modelling approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 56, 18-32.
- Alkaya, B., ve Yıldırım, A. M. (2000). Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri. *Ekoloji*, 9(34), 16-20.
- Algedik, Ö., Bayar, H. İ., Biçer, B. E., Çelik, E., Keleş, M., Kocaman, H., ve Talu, N. (2016). TMBB'nin İklim Değişikliği Politikasındaki Rolü 'Politikacılar için Özet'. 32s.
- Andreoni, V., Miola, A., and Perujo, A. (2008). Cost effectiveness analysis of the emission abatement in the shipping sector emissions. *European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability*.
- Argun, M. E., Ergüç, R., ve Yunus, Sarı (2019). Konya/Selçuklu ilçesi karbon ayak izinin belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 287-297.
- Atmaca, Ç., ve Sevimoğlu, O. (2020). Şehir Kaynaklı Sera Gazı Emisyonunun Belirlenmesi: Kocaeli İli Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1616-1627.
- Batur, İ., Bayram, I. S., and Koc, M. (2019). Impact assessment of supply-side and demand-side policies on energy consumption and CO2 emissions from urban passenger transportation: The case of Istanbul. *Journal of Cleaner Production*, 219, 391-410.
- Bilgili, L. (2013). Kuru yük gemileri için yaşam döngüsü analizinde (LCA), yıllık emisyon ayakizi hesabı ve ana parametrelere bağlı emisyon tahmin yaklaşımı.
- Bishop, P.L. (2000), *Pollution Prevention, Fundamentals and Practice*, Waveland Press Inc, Illinois, USA.
- Boubel, R. W., Vallero, D., Fox, D. L., Turner, B., and Stern, A. C. (2013). *Fundamentals of air pollution*. Elsevier.
- Cansız, Ö. F., ve Ünsalan, K. (2020). Yük Taşımacılığında Tek Türlü ve Çok Türlü Taşımacılık Rotalarının Karbon Ayak İzinin Karşılaştırılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(2), 809-816.
- Cansız, Ö. F., ve Ünsalan, K. (2021). Türkiye Demiryolları Karbon Ayak İzinin Temel Bileşen Analizi Destekli Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmini. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(1), 314-324.

- Cansız, Ö. F., Çalışıcı, M., ve Ünsalan, K. (2017). Türkiye Karayollarında Meydana Gelen Kazalarda Oluşan Yaralı Sayısı için Tahmin Modellerinin Oluşturulması, 2. *Uluslararası Mühendislik ve Tasarım Kongresi, Sayfa*, 498-499.
- Cansız, Ö. F., Ünsalan, K., ve Erginer, İ. (2020). Karayolları Enerji Tüketiminin Yapay Zekâ Ve Regresyon Yöntemleri İle Modellenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(3), 1297-1314.
- Civelekoğlu, G., ve Bıyık, Y. (2018). Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 157-166.
- Civelekoğlu, G., ve Bıyık, Y. (2020). Isparta İlinde Karayolu Kaynaklı Karbon Ayak İzinin Hesaplanması. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 78-87.
- Cooper, C. D., and Alley, F. C. (2010). *Air pollution control: A design approach*. Waveland press.
- Çalışkan, Z. D., Ünzüle, Kurt., ve Timur, A. G. M. C. (2017, March). İklim Değişikliği ve Ulaşım Sektörü İlişkinin Ekonometrik Analizi: Türkiye Örneği. In *International Congress of Energy, Economy and Security Proceedings ENSCON'17* (p. 78).
- Çipil, F. (2014). Performance analysis of Turkey's transport sector greenhouse gas emissions. *Energy & environment*, 25(2), 357-367.
- De Nevers, N. (2010). *Air pollution control engineering*. Waveland press.
- Dincer, F., and Elbir, T. (2007). Estimating national exhaust emissions from railway vehicles in Turkey. *Science of the total environment*, 374(1), 127-134.
- DSÖ- Dünya Sağlık Örgütü (2003), *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. Report of a WHO Working Group, World Health Organization, Bonn, Germany.
- Dündar, A. O. (2021). Türkiye'deki Büyükşehirlerin Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Sera Gazı Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 318-337.
- Dündar, A. O., ve Kolay, A. (2021). Karayolu Yük Ve Yolcu Taşımacılığının Çevresel Sürdürülebilirlik Bakımından Değerlendirilmesi Ve Konya İli Sera Gazı Emisyonunun Hesaplanması. *Omer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1).
- Edenhofer, O. (Ed.). (2015). *Climate change 2014: mitigation of climate change* (Vol. 3). Cambridge University Press.
- EPA (2012), *Control of Air Pollution from Aircraft and Aircraft Engines, Emission Standarts and Test Procedures, Final Rule*, Federal Register Vol. 77, No: 117, 18 June.

- Grote, M., Williams, I., and Preston, J. (2014). Direct carbon dioxide emissions from civil aircraft. *Atmospheric Environment*, 95, 214-224.
- Güney, B., ve Küçüksarıyıldız, H. (2019). Taşıt emisyonlarının mikroyapı analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(3), 884-893.
- Güzel, T. D., and Alp, K. (2020). Modeling of greenhouse gas emissions from the transportation sector in Istanbul by 2050. *Atmospheric Pollution Research*, 11(12), 2190-2201.
- Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., and Haralambopoulos, D. (2010). Energy CO2 emissions for 1990–2020: a decomposition analysis for EU-25 and Greece. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(20), 1908-1917.
- Heywood, J. B. (1988). Combustion in compression-ignition engines. *Internal combustion engine fundamentals*, 522-562.
- ICAO (2013b), ICAO Environmental Report 2013 Aviation and Climate Change.
- IPCC (1999), *Aviation and the Global Atmosphere, A Special Report of IPCC Working Groups I and II in collaboration with the Scientific Assessment Panel to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer* [Penner, J.E., Lister, D.M., Griggs, D.J., Dokken, D.J., McFarland, M.], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Işık, N. ve Kılıç, E. (2014). Ulaştırma Sektöründe CO2 Emisyonu ve Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi. *Sosyoekonomi*, 22(22).
- Kang, D. W., and Holbrook, J. H. (2015). Use of NH3 fuel to achieve deep greenhouse gas reductions from US transportation. *Energy Reports*, 1, 164-168.
- Kelen, F. (2014). Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 80-87.
- Li, F., Cai, B., Ye, Z., Wang, Z., Zhang, W., Zhou, P., and Chen, J. (2019). Changing patterns and determinants of transportation carbon emissions in Chinese cities. *Energy*, 174, 562-575.
- Lise, W. (2006). Decomposition of CO2 emissions over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy*, 34(14), 1841-1852.
- Muezzinoglu, A. (2000). Hava Kirliligi ve Kontrolunun Esaslari. *Dokuz Eylul Yayinlari, Izmir, Turkey*.
- Özen, M. ve Yaman, H. T. (2013). Türkiye'de Şehirlerarası Yük Trafığı CO2 Emisyonlarının Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(3), 56-64.
- Pabuçcu, H., ve Bayramoğlu, T. (2016). Yapay Sinir Ağları İle CO2 Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762-778.

- Pamučar, D., Gigović, L., Ćirović, G., and Regodić, M. (2016). Transport spatial model for the definition of green routes for city logistics centers. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 72-87.
- Peng, T., Ou, X., Yuan, Z., Yan, X., and Zhang, X. (2018). Development and application of China provincial road transport energy demand and GHG emissions analysis model. *Applied Energy*, 222, 313-328.
- Pishvae, M. S., Torabi, S. A., and Razmi, J. (2012). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 62(2), 624-632.
- Rigas, M. L., Ben-Jebria, A., and Ultman, J. S. (1997), “Longitudinal distribution of ozone absorption in the lung: Effects of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and ozone exposures”, *Archive of Environmental Health*, 52, 173-178.
- Ritchie, H., and Roser, M. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our world in data*.
- Schrooten, L., De Vlieger, I., Panis, L. I., Chiffi, C., and Pastori, E. (2009). Emissions of maritime transport: A European reference system. *Science of the Total Environment*, 408(2), 318-323.
- Soruşbay, C. (2007). Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Karbondioksit Emisyonlarının Çevreye Etkisi ve Kontrolü. *Mühendis ve Makine*, 48(564), 22-26.
- Stern, A.C. (1976), *Air Pollution*, Volume II., The Effects of Air Pollution, Academic Press Inc., New York, USA.
- Şenel, G. U., ve Atabey, T. (2020). Diyarbakır İlinde Farklı Sektörlerden Kaynaklanan Karbondioksit Salınımının Hesaplanması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(1), 37-47.
- Toprak, Z. F. (2009). Flow discharge modeling in open canals using a new fuzzy modeling technique (SMRGT). *CLEAN–Soil, Air, Water*, 37(9), 742-752.
- Tsilingiridis, G. (2009). Aircraft air pollutant emissions in Greek airports. *Global Nest Journal*, 11(4), 528-534.
- Türkay, M. (2018). *Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun (karbon ayak izinin) hesaplanması: Eskişehir ili örneği* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- TÜSİAD, (2007), *Kurumsal yapısı, yasal çerçevesi ve göstergeleriyle ulaştırma sektörü*, Yayın No: TÜSİAD-T/2007-02/431, MİKADO MATBAACILIK ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 61ss.
- Vallero, D. (2014). *Fundamentals of air pollution*. Academic press.
- Xie, R., Fang, J., and Liu, C. (2017). The effects of transportation infrastructure on urban carbon emissions. *Applied Energy*, 196, 199-207.

- Yavuz, S., ve Deveci, M. (2012). İstatiksel Normalizasyon Tekniklerinin Yapay Sinir Ağın Performansına Etkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakóltesi Dergisi*, (40), 167-187.
- Zhao, X., Burnett, J. W., and Fletcher, J. J. (2014). Spatial analysis of China province-level CO2 emission intensity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 1-10.



DİZİN

A

analiz · iii, 12, 27, 28, 30, 31, 32,
37, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47
atmosfer · 15, 17
azot oksitler · iii, 11, 13

B

Bulanık mantık · iii, 45, 46, 49

Ç

çalışma · 26, 29, 33, 35

D

değer · 16, 24, 27, 37
değişken · 12, 34, 36, 37, 39, 44
demiryolu · 11, 13, 15, 24, 30, 33,
34, 40, 48, 49
denizyolu · 11, 13, 14, 23, 28, 32

E

emisyon · iii, viii, ix, 11, 12, 13,
14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21,
22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 43,
44, 46, 47, 48, 50
Enerji · iii, x, 11, 18, 28, 29, 50,
52
enerji tüketimi · 11, 31, 33

F

fosil yakıt · iii, 11

G

Gemi · 22, 23, 34, 35, 48

H

Hava kirliliği · 11, 12
havayolu · 11, 14, 20, 21, 32, 48
hesap · 49
hidrokarbonlar · iii, 11, 12, 20

I

Interaction · iii, iv, 40, 41, 42

K

karayolu · 11, 13, 15, 18, 19, 26,
28, 29, 30, 31, 32, 34, 40, 49
karbondioksit · iii, 13
katsayı · 37, 40
kirletici · 12, 15, 16, 32
küresel ısınma · iii, 11, 22, 48

L

lineer · iii, 31, 34, 37, 40, 47, 49
Logaritmik · iii, vi, vii, 38, 46, 47,
49
Lojistik · vi, 44, 47

M

model · iv, ix, 29, 31, 32, 36, 37,
39, 42, 43, 44, 45, 52

O

ozon · iii, 11, 17, 21, 48

P

Purequadratic · iii, iv, 41, 42, 47,
49

R

regresyon · iii, viii, ix, 28, 31, 34,
37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44,
46, 47, 49

S

sektör · 18, 27, 29, 48
sera gazı · 18, 26, 32, 53

T

tahmin · iii, viii, ix, 12, 26, 27, 28,
32, 34, 35, 42, 43, 44, 45, 46,
47
taşımacılık · 19, 48
taşıt · 27, 29, 34, 40, 49, 52

U

Uçak · 27, 34, 35
Ulaşım · iii, viii, ix, 11, 13, 14, 17,
18, 19, 21, 26, 30, 51

Y

yöntem · iii, 26, 27, 31, 35, 37, 39,
40, 41, 42, 47, 49



TEKNOVERSITE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

