



**YAPAY ZEKÂ SİSTEMLERİYLE TÜRKİYE DEMİRYOLLARININ
ENERJİ ANALİZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMASI
STRATEJİLERİ İLE ULAŞTIRMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ**

Hulusi AYDEMİR

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2020

Hulusi AYDEMİR tarafından hazırlanan “YAPAY ZEKÂ SİSTEMLERİYLE TÜRKİYE DEMİRYOLLARININ ENERJİ ANALİZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMASI STRATEJİLERİ İLE ULAŞTIRMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği (Mühendislik Fakültesi) Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Kürşat ÇUBUK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Hediye TÜYDEŞ YAMAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Murat GÜLER

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 30/01/2020

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

Hulusi AYDEMİR

30/01/2020

**YAPAY ZEKÂ SİSTEMLERİYLE TÜRKİYE DEMİRYOLLARININ ENERJİ ANALİZİ
VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM PLANLAMASI STRATEJİLERİ İLE
ULAŞTIRMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ
(Doktora Tezi)**

Hulusi AYDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2020

ÖZET

Bu çalışmada; Türkiye için 1998-2018 yılları arası çeşitli verilerin durumları ve değişimleri dikkate alınarak ulaştırma türlerinde (özellikle demiryollarının) yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı enerji analizi yapılmakta ve 2020-2038 yılları için farklı ulaştırma türlerinin desteklenmesi ile ulaştırma türlerinin dağılımlarından faydalanılarak alternatif senaryolar oluşturulmaktadır. Oluşturulan senaryoların uygulanması ile hem enerji verimliliği hem de ulaştırmada sera gazı salınımı durumunun tahmin edilerek sürdürülebilir ulaşım planlaması stratejileri geliştirilmektedir. Genel yaklaşım olarak, enerji tüketim değerleri ve toplam taşımacılık değerleri enerji analizinde temel öğeler, toplam tüketilen enerji değerleri ve sera gazı emisyonu değerleri ise sürdürülebilir ulaşım planlamasında temel öğeler olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, demiryolları için gelecek yıllar enerji tüketim değerleri iki farklı yapay sinir ağı modeli ile tahmin edilerek, gelecekteki hem enerji tüketim tahmin değerleri hem de enerji yoğunluğunun değişimi irdelenmiştir. Bu itibarla, demiryollarının 2030 yılında YSA-1 modeli ile 9,82, PJ YSA-2 modeli ile 9,49 PJ bulunmuş; 2019'dan 2038 yılına kadar demiryollarının enerji yoğunluğunun ortalaması, 2014-2018 yılları ortalamasına göre %21,53 azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Türkiye ulaştırma sistemlerinde oluşturulan senaryolar sonucunda yük taşımacılığında beş ve yolcu taşımacılığında beş farklı model incelenmiştir. Bu bağlamda, en büyük kümülatif enerji verimliliği kazanım oranları; yolcu ve yük taşımacılığında senaryo 3 ile gerçekleşmiş olup yolcu taşımacılığında kazanç 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırasıyla %1,47, %2,04 ve %3,01; yük taşımacılığında ise söz konusu yıllarda sırasıyla %2,12, %3,95 ve %5,83 olmuştur. Ayrıca, beş farklı sera gazı senaryoları oluşturulmuş ve oluşturulan senaryolarda kümülatif en büyük kazanç senaryo 3'te 2025 ve 2030 yılları için sırası ile %1,85 ve %3,44 olmuştur. Destek vektör makinesi regresyonu (SMOreg öğrenme algoritması) ile sera gazı emisyonu 2025 yılı için 91 967, 2030 yılı için 96 396 kiloton CO₂ eşdeğeri olarak tahmin edilmiştir. Ulaştırma kaynaklı ortalama birim enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonu; 2019'dan 2030 yılına kadar, 2013-2017 yılları ortalama durumuna göre %10,71 oranında daha az olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 91123
Anahtar Kelimeler : Enerji, Enerji verimliliği, Yapay zekâ, Ulaştırma sektörü, Demiryolları, Ulaştırma planlaması ve senaryoları, Sera gazı
Sayfa Adedi : 314
Danışman : Doç. Dr. M. Kürşat ÇUBUK

AN ENERGY ANALYSIS OF TURKISH RAILWAY SYSTEMS WITH ARTIFICIAL
INTELLIGENCE AND SUSTAINABLE TRANSPORTATION PLANNING
STRATEGIES WITH ENERGY EFFICIENCY ON TRANSPORTATION SYSTEMS

(Ph. D. Thesis)

Hulusi AYDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2020

ABSTRACT

In this study, with consideration of change on different type of data that has been taken between 1998 and 2018 in Turkey, an energy analysis on different transportation systems for both passenger and freight transportation (especially on railway sector) has been realized and then for the years between 2020 and 2038 alternative scenarios are created with help of distribution ratios of different transportation systems and with consideration of supporting different types of transportation sectors. On the base of implementation of created scenarios, both future energy efficiency and future greenhouse gas emission levels of transportation systems are predicted in order to develop sustainable transportation strategic plans. As an overall approach, energy consumption levels and total transportation activity levels are taken as the key elements in the energy analysis; total energy consumption values and greenhouse gas emission levels are taken as key elements in the planning of sustainable transportation strategic plans. Besides, energy consumption levels of railways sector in the future and energy density change have been estimated with help of two different type of artificial neural network models. In this respect, the energy consumption of the railway systems in 2030 is estimated as 9,82 PJ with help of YSA-1 model, and on the other hand it is estimated as 9,49 PJ with YSA-2 model; as a result the average energy density between the years 2019 and 2038 will decrease 21,53% with respect to the average energy density between the years 2014 and 2018. On the base of the applied different scenarios on the transportation, systems of the Turkey; 5 different models on passenger transportation and 5 other ones on the freight transportation have been analyzed. In this context, the biggest cumulative energy efficiency, on both passenger and freight transportation systems have been obtained on the 3rd scenario, the gain on passenger transportation in the years 2025, 2030 and 2035 have been realized as 1,47%, 2,04% and 3,01% respectively; on the other hand the gains of the freight transportation in the mentioned years become 2,12%, 3,95% and 5,83% respectively. In addition, 5 different greenhouse gas emission scenarios are created; the biggest cumulative gain has been obtained on the 3rd one; on which in the years 2025 and 2030 reduction of 1,85% and 3,44% have been obtained, respectively. As a result of using the regression of the support vector machine (SMOreg learning algorithm), the greenhouse gas emission levels in the years 2025 and 2030 have been estimated as 91 967 and 96 396 equivalent kilotons of CO₂. Finally, the greenhouse gas emission level as a result of unit energy consumption in the years between 2019 and 2030 has been evaluated as 10,71% less than the average value between 2013 and 2017.

Science Code : 91123

Key Words : Energy, Energy efficiency, Artificial intelligence, Transportation sector, Railways, Transportation planning and scenarios, Greenhouse gas

Page Number : 314

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. M. Kürşat ÇUBUK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda her konuda yardım ve katkılarını esirgemeyen, görüş ve önerilerini benimle paylaşan çok değerli tez danışmanım hocam Doç. Dr. M. Kürşat ÇUBUK'a, bilgi ve tecrübeleri ile beni destekleyen ve yol gösteren tez izleme komitesi hocalarım Prof. Dr. Murat GÜLER ve Prof. Dr. Özgür ANIL'a çok teşekkür ederim.

Doktora öğrenimim süresince beni motive eden ve desteklerini hissettiren çok değerli arkadaşlarıma, yoğun iş temposu ve çalışma hayatının diğer gereklilikleri ile doktora eğitimimi birlikte yürütmem nedeniyle çok fazla vakit ayıramadığımı düşündüğüm huzur dolu sözlerini benden esirgemeyen ve göstermiş oldukları anlayışları sebebiyle beni yalnız bırakmayarak her zaman ve her koşulda her türlü desteklerini hissettiren daima yanımda olan kıymetli ablam Ferda AYDEMİR BULUT ile değerli babam Muharrem AYDEMİR ve babaanneme; beni büyüten, yetiştiren, hayatıma yön veren, varlığını her zaman ve her yerde aradığım rahmetli canım anneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
RESİMLERİN LİSTESİ	xxvi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xxvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxviii
 1. GİRİŞ.....	 1
 2. TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA BULUNAN DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR	 11
 3. KAVRAMLAR, TANIMLAR VE GENEL BİLGİLER.....	 19
3.1. Yapay Zekâ	19
3.2. Yapay Zekânın Gelişimi	22
3.2.1. Yapay sinir ağları	22
3.2.2. Makine öğrenmesi	35
3.2.3. Veri madenciliği.....	37
3.3. İnşaat Mühendisliğinde Genel Olarak Kullanılan Yapay Zekâ Teknikleri.....	43
3.4. Enerji, Enerji Verimliliği ve Ulaştırma.....	44
3.4.1. Enerjinin önemi.....	44
3.4.2. Enerji kaynakları	46
3.5. Enerjide Genel Yaklaşım	54

	Sayfa
3.6. Enerji Talebi ve Enerji Arzı Kavramları.....	55
3.6.1. Enerji talebi	55
3.6.2. Enerji arzı	56
3.7. Enerji Verimliliği	57
3.8. Enerji Verimliliğini Artırmaya Yönelik Çalışmalar	59
3.8.1. Ulaştırma sektöründe enerji verimliliğini artırıcı çalışmalar	59
3.9. Tür Tabanlı Enerji Yaklaşımı ve Enerji Analizi.....	65
3.10. Performans Değerlendirme ve Hata Ölçüm Teknikleri	68
3.10.1. Hata nedir?	68
3.10.2. Ortalama mutlak hata (MAE)	68
3.10.3. Hata kareleri ortalaması (MSE)	69
3.10.4. Hata kareleri ortalaması karekökü (RMSE)	69
3.10.5. Yüzde mutlak ortalama hata (MAPE)	70
3.10.6. Değerlendirme.....	71
4. TÜRKİYE’DE DEMİRYOLLARI ULAŞTIRMA SİSTEMİ	73
4.1. Genel Durum ve Bilgiler.....	73
4.2. Küresel Rekabet Edilebilirlik Endeksi (GCI/KRE) Açısından Türkiye’de Demiryolları.....	76
4.3. Türkiye’nin Demiryollarının Mevcut Durumu ve Uluslararası Karşılaştırmalar	79
4.4. Türkiye Demiryollarında Sorunlar, Beklentiler ve Rekabet Etkisini Artırmaya Yönelik Öneriler.....	82
4.5. Demiryollarının Genel Enerji Görünümü	84
4.5.1. Sektörlere göre Türkiye’de enerji tüketimi	86
4.5.2. Türkiye demiryolları enerji tüketiminin diğer ulaştırma türlerine göre durumu	87

Sayfa

5. TÜRKİYE DEMİRYOLLARININ ENERJİ ANALİZİ	91
5.1. Metodoloji.....	91
5.1.1. Kullanılan veriler ve veriler hakkında bilgiler	91
5.2. Yük Taşımacılığında Enerji Analizi.....	105
5.2.1. Yük taşımacılığında enerji tüketimi.....	105
5.2.2. Yük taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları.....	107
5.2.3. Yük taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim miktarları	111
5.2.4. Türkiye’de yük taşımacılığında türlere taşımacılık faaliyeti miktarları ve payları	112
5.2.5. Ulaştırma sektörü yük taşımacılığında enerji yoğunluğu.....	116
5.3. Yolcu Taşımacılığında Enerji Analizi.....	119
5.3.1. Yolcu taşımacılığında enerji tüketimi.....	119
5.3.2. Yolcu taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları	121
5.3.3. Yolcu taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim miktarları	125
5.3.4. Türkiye’de yolcu taşımacılığı değerlerinin türlere göre değerleri ve dağılımı	126
5.3.5. Ulaştırma sektörü yolcu taşımacılığında enerji yoğunluğu.....	129
6. GELECEK YILLAR DEMİRYOLLARI ENERJİ ANALİZİ.....	135
6.1. 2018-2035 Yılları için Hâlihazır Durum Yaklaşımı ile Enerji Tüketimi Değerleri	136
6.1.1. Yöntem ve kabuller.....	136
6.1.2. 2019-2038 yılları arasında yük taşımacılığında enerji analizi	139
6.1.2. 2019-2038 yılları arasında yolcu taşımacılığında enerji analizi	139
6.2. YSA ile Gelecek Yıllar Demiryolları Enerji Tüketimi	149

	Sayfa
6.2.1. Metodoloji ve kabuller.....	151
6.2.2. YSA modellerinde kullanılan girdi verileri.....	153
6.2.3. YSA-1 modeli ve gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimleri tahmin değerleri	178
6.2.4. YSA-2 modeli ve gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimleri tahmin değerleri	190
6.3. Demiryolları Enerji Tüketimi Genel Değerlendirme	196
7. SENARYO YAKLAŞIMI İLE TÜRKİYE’DE ULAŞTIRMADA ENERJİ VERİMLİĞİ	199
7.1. Senaryoların Oluşturulmasında Genel Yaklaşım	199
7.2. Yolcu Taşımacılığı İçin Senaryolar.....	200
7.2.1. Yolcu taşımacılığı senaryolarının uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi.....	204
7.3. Yük Taşımacılığı İçin Senaryolar.....	215
7.3.1. Yük taşımacılığı senaryolarının uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi.....	219
8. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA PLANLAMASI STRATEJİLERİ.....	231
8.1. Sürdürülebilirlik	231
8.1.1. Sürdürülebilirlik kavramı.....	232
8.2. Sürdürülebilirlik ve Ulaşım.....	234
8.2.1. Sürdürülebilir ulaşım kapsamında olumsuzluk oluşturan bazı etkenler .	236
8.2.2. CO ₂ emisyonu	237
8.3. Sürdürülebilir Ulaştırma Planı	241
8.3.1. Sürdürülebilir ulaşım planı modeli	242
8.3.2. Sürdürülebilir ulaşım planlamasına yönelik stratejiler	243
8.3.3. Sürdürülebilir ulaşım planlamasının uygulandığı ülkelerden örnekler ...	245

	Sayfa
8.4. Ulaştırma Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları	248
8.5. Sürdürülebilir Ulaşım Planlaması Stratejileri ve Senaryolar Sonucu Sera Gazı Emisyonları Kazanımları.....	252
8.5.1. Metodoloji	252
8.5.2. Sera gazı emisyonlarını senaryoları tanıtılması	252
8.5.3. Bir birim enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerleri	253
8.5.4. Gelecek yıllar sera gazı emisyonu değerleri tahmini.....	255
8.6. Destek Vektör Regresyonu ile Gelecek Yıllar Sera Gazı Emisyonu Değerleri Tahmini	266
8.7. Destek Vektör Makinesi Regresyonu ve Birim Enerji Tüketimine Karşılık Oluşan Sera Gazı Emisyonu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	268
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	271
KAYNAKLAR	277
EKLER.....	297
EK-1. Türkiye denizyolları yük ve yolcu taşımacılığı eksik verilerin düzenlenmesi ...	298
EK-2. Havayolları yolcu taşımacılığı eksik verilerin düzenlenmesi	300
EK-3. Ulaştırma türlerinde yük ve yolcu taşımacılığının enerji tüketim oranlarının belirlenmesi	301
EK-4. Yaklaşımlar sonucu elde edilen GSYH değerleri.....	303
EK-5. Yaklaşımlar sonucu elde edilen demiryolları yolcu sayısı değerleri	304
EK-6. YSA modeli gelecek yıllar demiryolları yük tahminleri ve mevcut veriler.....	305
EK-7. Demiryolları yük miktarı için oluşturulan YSA modeli (çok katmanlı algılayıcı ile sınıflandırmadan elde edilen) çıktı kodları	306
EK-8. YSA-2 modeli (çok katmanlı algılayıcı ile sınıflandırmadan elde edilen) çıktı kodları.....	307
EK-9. Sera gazı modeli (SMOreg öğrenme algoritması ile elde edilen) çıktı kodları.....	310
ÖZGEÇMİŞ	313

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sinir sistemi ile YSA yapısının benzerlikleri	24
Çizelge 3.2. Bazı YSA yazılımları.....	33
Çizelge 3.3. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	46
Çizelge 3.4. Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi.....	48
Çizelge 3.5. 2017 yılı en fazla doğalgaz rezervine sahip 10 ülke.....	50
Çizelge 3.6. Türkiye’de ulaşım tipine göre yakıt tüketim miktarları (ton)	61
Çizelge 3.7. Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre yüzdesel dağılımı.....	63
Çizelge 4.1. Türkiye’nin ulusal demiryolu alt yapısı 2017 yılı değerleri	74
Çizelge 4.2. Türkiye’nin demiryollarında yük taşımaları 2017 yılı ile ilgili bilgiler	74
Çizelge 4.3. Türkiye’de taşımacılığın ulaştırma türlerine göre yüzdesel dağılımı	75
Çizelge 4.4. Türkiye’nin demiryolu altyapısı açısından dünya sıralamasının yıllara göre durumu.....	78
Çizelge 4.5. Ülkelerin yıllara göre demiryolu uzunluğu (km)	79
Çizelge 4.6. Dünyanın bazı ülkeleri ile Türkiye’nin demiryollarının nüfus, yüzölçümü durumlarına göre karşılaştırılması	81
Çizelge 4.7. Türkiye için birincil enerji üretimi yıllara göre değişimi	84
Çizelge 4.8. Türkiye’nin enerji ithalatının kaynak dağılımı (milyon dolar)	85
Çizelge 4.9. Sektörlere göre toplam enerji tüketimi (Bin TEP)	87
Çizelge 4.10. 2017 ve 2018 yılları sektörlere göre enerji tüketimi türel dağılımı	88
Çizelge 4.11. Ulaştırma türlerine göre Türkiye’nin nihai enerji tüketimi (Bin TEP)	88
Çizelge 4.12. 2017 ve 2018 yılları ulaştırma türlerinde tüketilen enerjinin dağılımı	89
Çizelge 4.13. 2017 yılı ulaştırma sektörü enerji dengesi	90
Çizelge 5.1. Türkiye için 1998-2017 yıllarına dair veriler	93

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.2. 1998-2017 yılları için ulaşırmada enerji tüketimi, yıllık değişimi ile taşımacılık faaliyetleri enerji tüketimi ile taşımacılık değerleri	95
Çizelge 5.3. Ulaştırma türlerine göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre payları.....	97
Çizelge 5.4. Ulaştırma türlerine göre enerji tüketim değerleri	100
Çizelge 5.5. Ulaştırma sektöründe türlerin enerji tüketim dağılımı.....	102
Çizelge 5.6. Ulaşırmada türlere göre kişi başına düşen enerji miktarı	103
Çizelge 5.7. Yük taşımacılığının ulaştırma ve Türkiye’de tüketilen enerji içerisindeki durumu ve payının yıllara göre değişimi	106
Çizelge 5.8. Türkiye’de ulaştırma açısından yük taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları.....	108
Çizelge 5.9. Yük taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim payları dağılımı	110
Çizelge 5.10. Yük taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji miktarı	111
Çizelge 5.11. Türkiye’de yük taşımacılığında türlere göre miktarları.....	113
Çizelge 5.12. Türkiye yük taşımacılığında ulaştırma türlerine göre yüzdesel dağılımı .	115
Çizelge 5.13. Yük taşımacılığında ulaştırma türlerine göre enerji yoğunluğu değerleri	116
Çizelge 5.14. Yolcu taşımacılığının, ulaştırma ve Türkiye’de tüketilen enerji içerisindeki durumu ve payının yıllara göre değişimi	120
Çizelge 5.15. Türkiye yolcu taşımacılığında türlere göre enerji tüketim değerleri	122
Çizelge 5.16. Türkiye yolcu taşımacılığında ulaştırma türlerine göre enerji tüketim payları	124
Çizelge 5.17. Türkiye yolcu taşımacılığında ulaştırma türlerine göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre durumu	125
Çizelge 5.18. Türkiye’de yolcu taşımacılığının ulaştırma türlerine göre değerleri	127
Çizelge 5.19. Türkiye yolcu taşımacılığında(yolcu-km) türlere göre yüzdesel payları..	129
Çizelge 5.20. Yolcu taşımacılığında, türlere göre enerji yoğunluğu değerleri	131
Çizelge 6.1. Tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı	137

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.2. Gelecek yıllar halihazır durum yaklaşımı işlem adımları ile örnek hesaplamaları	138
Çizelge 6.3. 2019-2038 yılları ulaştırma türlerine göre yük taşımacılığı değerleri	139
Çizelge 6.4. 2019-2038 arası yük taşımacılığındaki enerji yoğunluğu değerlerinin türlere göre durumu ve yük taşımacılığı yüzdesel payları değişimi	141
Çizelge 6.5. Türkiye yük taşımacılığında ulaştırma türleri için, 2019-2038 yılları için enerji tüketim miktarları	142
Çizelge 6.6. 2019-2038 yılları ulaştırma türleri yolcu taşımacılığının yıllara göre değişimi	144
Çizelge 6.7. 2019-2038 arası yolcu taşımacılığındaki enerji yoğunluğu değerlerinin türlere göre durumu ve yolcu taşımacılığı yüzdesel payları	145
Çizelge 6.8. Türkiye yolcu taşımacılığında ulaştırma türleri için, 2019-2038 yılları için enerji tüketim miktarı değerleri	146
Çizelge 6.9. Hâlihazır durum ile demiryollarında gelecek yıllara enerji tüketim tahmini değerleri	148
Çizelge 6.10. Demiryolları enerji talebi tahminlerine yönelik YSA-1 modeli için izlenen aşamalar	150
Çizelge 6.11. Demiryolları enerji talebi tahminlerine yönelik YSA-2 modeli için izlenen aşamalar	151
Çizelge 6.12. 2020-2080 yılları nüfus projeksiyonu	154
Çizelge 6.13. Kullanılan nüfus verileri	155
Çizelge 6.14. WEKA ile GSYH değerlendirme sonuçları	159
Çizelge 6.15. Demiryolları yolcu sayısı gelecek tahmini için uygulanan yıllar ve grafik eğilimi ve görünümü	164
Çizelge 6.16. 2014-2018 yılları için WEKA algoritmaları tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması	165
Çizelge 6.17. Demiryolları yolcu sayısı bulmak için tasarlanmış YSA ağ değişkenlerine ait bilgiler	168
Çizelge 6.18. Demiryolları yolcu sayısı için oluşturulan 17 farklı yapay sinir ağı modelinin gelecek tahmin sonuçları	169
Çizelge 6.19. Modellerin test verisi tahmin sonuçlarının mutlak hata değerleri	169

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.20. 17 farklı model tasarlanmış olup, eğitim verileri kullanılarak eğitilen ağ değişkenleri	174
Çizelge 6.21. Demiryolları yük değerleri için 17 farklı yapay sinir ağı modeli test verilerinin tahmin sonuçları ve mutlak hata değerleri	176
Çizelge 6.22. Demiryolları yük miktarlarının gerçek değerler ile DTaydemirH5 modeli tahminlerinin karşılaştırılması ve MAPE değeri.....	178
Çizelge 6.23. YSA-1 modeli tüm veriler ve verilerin dağılımı.....	179
Çizelge 6.24. Oluşturulan YSA-1 modeline ilişkin bilgiler	183
Çizelge 6.25. Nöron sayısı belirlemek için en iyi YSA modelinin geliştirilmesi amacıyla oluşturulan modellerin tahmin sonuçları ile mutlak hata değerleri.....	183
Çizelge 6.26. Oluşturulan YSA-1 modelinin tahmin ve hata değerleri	187
Çizelge 6.27. YSA-1 modelinin gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerleri	188
Çizelge 6.28. YSA-1 modeli girdi değerleri ile gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerleri	189
Çizelge 6.29. Oluşturulan modellere dair bilgiler ve bu oluşturulan farklı modeller sonucu elde edilen hata değerleri.....	192
Çizelge 6.30. Demiryolları gerçek değerler ile YSA-2 modeli sonuçlarından elde edilen hata değerleri ve MAPE değeri.....	195
Çizelge 6.31. YSA-2 modeli sonucu bulunun gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim değerleri tahminleri.....	196
Çizelge 6.32. Tür tabanlı enerji analizi yaklaşım modelleri ve YSA modelleri gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerlerinin karşılaştırılması	197
Çizelge 7.1. Desteklenen ulaştırma türü ve yıllık ortalama türel dağılımı değişim değerleri.....	204
Çizelge 7.2. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji tüketim miktarları.....	207
Çizelge 7.3. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği miktarları	208
Çizelge 7.4. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre her yıl için enerji verimliliği oranları %.....	210

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.5. 2019-2038 yılları arası yolcu taşımacılığı gelecek senaryo modellerine göre kümülatif enerji tüketimleri	211
Çizelge 7.6. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği miktarları.....	213
Çizelge 7.7. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranları	214
Çizelge 7.8. Yük taşımacılığında desteklenen ulaştırma türü ve yıllık ortalama değişimleri	219
Çizelge 7.9. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji tüketimleri	222
Çizelge 7.10. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği miktarları.....	223
Çizelge 7.11. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği oranları %.....	225
Çizelge 7.12. Yük taşımacılığı gelecek senaryoları sonucuna göre kümülatif enerji değerleri	226
Çizelge 7.13. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği tahmini miktarları	227
Çizelge 7.14. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranları %.....	229
Çizelge 8.1. Sürdürülebilirlik sorunları	234
Çizelge 8.2. Dünyadaki toplam karbondioksit emisyonu değerinin yıllara göre değişimi (milyon ton karbondioksit)	239
Çizelge 8.3. Türkiye ve dünyadaki bazı ülkelerin karbondioksit emisyonu (milyon ton karbondioksit)	240
Çizelge 8.4. Geleneksel ulaşım planlaması ile sürdürülebilir ulaşım planlanmasının karşılaştırılması	243
Çizelge 8.5. Ulaştırma türlerine göre sera gazı emisyonunun yıllara göre durumu	249
Çizelge 8.6. Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu değerlerinin yüzdesel dağılımı	251
Çizelge 8.7. Her ulaştırma türü için bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerleri.....	254

Çizelge	Sayfa
Çizelge 8.8. Halihazır enerji tüketimi neticesinde sera gazı emisyonu (kiloton CO ₂ eşdeğeri) değerlerinin bulunması.....	256
Çizelge 8.9. Senaryolara göre gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı karayolları sera gazı emisyonu tahminleri	256
Çizelge 8.10. Senaryolara göre gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı toplam sera gazı emisyonu tahmin değerleri	259
Çizelge 8.11. Senaryolar ile referans alınan sera gazı emisyonu değerleri arasındaki fark.....	260
Çizelge 8.12. Sera gazı senaryolarına göre yıllara göre kümülatif kazanımlar	262
Çizelge 8.13. Senaryolar sonucu elde edilen sera gazı yüzdesel kazanımları	263
Çizelge 8.14. Senaryoların uygulanması sonucu elde edilen sera gazı kümülatif yüzdesel kazanımları	265
Çizelge 8.15. Sera gazı gelecek yıllar değerleri için oluşturulan modeller ve mutlak hataları	267
Çizelge 8.16. SMOreg model 4 sonucu gelecek yıllar bulunan sera gazı emisyonu tahminleri	268
Çizelge 8.17. İki yaklaşım sonucu elde edilen sera gazı emisyonu değerleri.....	269

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. YSA'nın temel yapısı	24
Şekil 3.2. Yapay sinir hücresinin yapısı.....	26
Şekil 3.3. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	27
Şekil 3.4. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	28
Şekil 3.5. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu	29
Şekil 3.6. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA örneği.....	32
Şekil 3.7. Veri tabanlarında bilgi keşfi süreci.....	38
Şekil 3.9. 2017 yılı en fazla doğalgaz rezervine sahip 10 ülkenin durumu	50
Şekil 3.10. Enerji verimliliğinin temel öğeleri.....	58
Şekil 3.11. Ulaşım tipine göre yakıt tüketim miktarlarının pay olarak yıllara göre değişimi	61
Şekil 4.1. Yıllara göre demiryolu kalitesindeki Türkiye'nin sıralamasındaki değişimi	78
Şekil 4.2. Türkiye ile Dünya demiryolu uzunluklarının karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.3. Türkiye'nin enerji arz dağılımı	85
Şekil 4.4. 1990-2016 yılları Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı.....	86
Şekil. 4.5. Sektörlere göre toplam enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	87
Şekil 4.6. Türkiye'de 2018 yılı sektörlere göre nihai enerji tüketimi dağılımı (%).....	87
Şekil 4.7. Ulaştırma türlerinin nihai enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	89
Şekil 4.8. Demiryolu ulaştırma türünün 1988-2018 yılları arası nihai enerji tüketimi değişimi	90
Şekil 5.1. Türkiye nüfusu, GSYH, kişi başına GSYH ve toplam enerji tüketimi değerleri ile yıllara göre değişimi.....	94
Şekil 5.2. Ulaştırmada toplam yük ve yolcu taşımacılığı değerlerinin yıllara göre değişimi	96

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Ulaştırma taşımacılık paylarının yıllara göre değişimi.....	97
Şekil 5.4. Türkiye’de enerji tüketimi değerleri ile ulaşırmada tüketilen enerjinin payı ve değerlerinin yıllara göre değişimi	98
Şekil 5.5. Ulaştırma enerji tüketiminde yıllık değişim oranı (%)	99
Şekil 5.6. Türkiye’de kişi başına enerji tüketimi ile kişi başına ulaşırmada enerji Tüketimi değerlerinin yıllara göre değişimi	99
Şekil 5.7. Ulaştırma ve yolcu ile yük taşımacılığında enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi.....	100
Şekil 5.8. Ulaştırma ve karayollarında enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	101
Şekil 5.9. Denizyolları, havayolları ve demiryolları ulaştırma türlerinin enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	101
Şekil 5.10. Ulaştırma türlerinin ulaşırmada tüketilen enerji içerisindeki paylarının yıllara göre değişimi.....	103
Şekil 5.11. Ulaştırma sektöründe tüketilen kişi başı enerjinin ve karayolları ulaştırma türünde kişi başına tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi	104
Şekil 5.12. Ulaştırma sektöründe demiryolları, denizyolları ve havayolları ulaştırma türlerinin kişi başına tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi	105
Şekil 5.13. Ulaştırma toplam yük taşımacılığında tüketilen enerji tüketimi ile ulaşırmada tüketilen enerji tüketiminin yıllar itibari ile değişimi.....	107
Şekil 5.14. Türkiye’de ulaşırmada yük taşımacılığın, ulaşırmada enerji tüketimi ile Türkiye’de tüketilen enerji içerisinde payının değişimi	107
Şekil 5.15. Türkiye’de ulaştırma yük taşımacılığında ve karayollarında enerji tüketimi değişiminin gösterilmesi	109
Şekil 5.16. Türkiye’de ulaştırma yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türünde enerji tüketiminin değişimi.....	109
Şekil 5.17. Yük taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim payları dağılımı	110
Şekil 5.18. Yük taşımacılığında; demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerine göre kişi başına düşen enerji tüketimi miktarının yıllara göre değişimi	112
Şekil 5.19. Ulaştırma ve karayolu ulaştırma türünde kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi.....	112

Şekil	Sayfa
Şekil 5.20. Yük taşımacılığında toplam ve karayolu ulaştırma türünün yıllara göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi.....	114
Şekil 5.21. Yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerinin yıllara göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi	114
Şekil 5.22. Türkiye’de ulaştırmada türlere göre yük taşımacılığı dağılımı (%)	115
Şekil 5.23. Yük taşımacılığı toplamında ve karayolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi	118
Şekil 5.24. Yük taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi	118
Şekil 5.25. Yük taşımacılığında havayolu ulaştırma türünün enerji yoğunluğu değerleri.....	118
Şekil 5.26. Yük taşımacılığı türünde karayolu, demiryolu ve denizyolu enerji yoğunlukları 1998-2018 yılları ve son 5 yıl ortalama değerlerinin karşılaştırılması	119
Şekil 5.27. Türkiye’de ulaştırma sektörü ile yolcu taşımacılığında tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi.....	120
Şekil 5.28. Türkiye’de ulaştırmada yolcu taşımacılığın, ulaştırmada enerji tüketimi ile Türkiye’de tüketilen enerji içerisinde payının yıllara göre değişimi	121
Şekil 5.29. Türkiye’de yolcu taşımacılığında toplam enerji tüketimi, karayolu ve havayolu ulaştırma türü enerji tüketim değerlerinin değişimi	123
Şekil 5.30 Türkiye’de yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türü enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi.....	123
Şekil 5.31. Yolcu taşımacılığında türlerin enerji tüketim payları dağılımı.....	124
Şekil 5.32. Yolcu taşımacılığı, karayolu ve havayolu ulaştırma türüne göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi.....	126
Şekil 5.33. Yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türüne göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi.....	126
Şekil 5.34. Türkiye’de ulaştırmada toplam yolcu taşımacılığı ve karayolu ulaştırma türünde taşımacılık değerinin yıllara göre değişimi	128
Şekil 5.35. Türkiye’de ulaştırmada yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerinin yıllara göre değişimi	128

Şekil	Sayfa
Şekil 5.36. Türkiye yolcu taşımacılığında türlere göre yığılmış olarak yıllara göre yüzdesel değişimi	130
Şekil 5.37. Yolcu taşımacılığında ve karayolu enerji yoğunluğu değerlerinin değişimi	132
Şekil 5.38. Yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türlerinde enerji yoğunluğunun yıllara göre değişimi	132
Şekil 5.39. Yolcu taşımacılığında denizyolu ve havayolu ulaştırma türleri enerji yoğunluğunun yıllara göre değişimi	133
Şekil 5.40. Ulaştırma türlerinin yolcu taşımacılığında 1998-2018 yılları ve son 5 yıl için ortalama yoğunluklarının karşılaştırılması	133
Şekil 6.1. 2019-2038 yılları arası toplam yük taşımacılığı ve karayolları yük taşımacılığı miktarlarının değişimi.....	140
Şekil 6.2. 2018-2035 yılları arası yük taşımacılığında, demiryollarının, denizyollarının ve havayollarının miktarlarının değişimi	141
Şekil 6.3. Toplam yük taşımacılığında tüketilen enerji değerleri ile karayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi.....	142
Şekil 6.4. Ulaştırmada yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ile havayolu ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değerlerinin değişimi.....	143
Şekil 6.5. 2018-2035 yılları toplam yolcu taşımacılığı ve karayolu ulaştırma türünün durumu.....	144
Şekil 6.6. 2018-2039 yılları arası demiryolları, denizyolları havayolları ulaştırma türleri yolcu taşımacılığı değerleri.....	145
Şekil 6.7. Gelecek yıllar toplam yolcu taşımacılığında tüketilen enerji değeri ile karayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi.....	147
Şekil 6.8. Ulaştırmada yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ile havayolu ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değeri yıllara göre değişimi	147
Şekil 6.9. Demiryollarının halihazır duruma göre gelecek yıllar enerji talebi tahminlerinin değişimi	148
Şekil 6.10. Tasarlanan YSA-1 modeli basitleştirilmiş gösterimi.....	150
Şekil 6.11. Tasarlanan YSA-2 modeli basitleştirilmiş gösterimi.....	151
Şekil 6.12. Nüfus projeksiyonu.....	154

Şekil	Sayfa
Şekil 6.13. PwC raporuna göre Türkiye GSYH değerinin 2050 yılına kadar değişimi	156
Şekil 6.14. “2050’de Dünya Türkiye” raporuna göre ortalama yıllık büyüme oranları.....	156
Şekil 6.15. GSYH yıllara göre değişimi tahmin formülü yardımı ile eğilim çizgisi ve gelecek yıllar formülü ile R^2 değeri.....	158
Şekil 6.16. WEKA “Gaussian Processes” tahminleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması	160
Şekil 6.17. WEKA ile bulunan GSYH gelecek yıllar tahminin yıllara göre değişimi....	160
Şekil 6.18. GSYH için zaman serileri algoritması ve işleyişi.....	161
Şekil 6.19. Yaklaşımlar sonucu elde edilen GSYH tahminlerinin karşılaştırılması	162
Şekil 6.20. Demiryolları yolcu sayısı değerlerinin yıllara göre değişimi (normal koşulları yansıtmadığı, beklenilmeyen durum)	163
Şekil 6.21. Demiryolları yolcu sayısı bulmak için oluşturulan YSA’nın akış diyagramı	167
Şekil 6.22. DYaydemirH9 modeli sonucu gelecek tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması	170
Şekil 6.23. Yapay sinir ağı DYaydemirH9 modeli mimari yapısı	170
Şekil 6.24. YSA tahmini ile gerçek değerlerin saçılma diyagramı.....	171
Şekil 6.25. Demiryolları yolcu sayısı DYaydemirH9 YSA modeli tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması.....	172
Şekil 6.26. Demiryolları yolcu sayısı için yapılan yaklaşımlar	172
Şekil 6.27. Demiryolları yük miktarı için oluşturulan YSA modeli ve ağ mimarisi	173
Şekil 6.28. Demiryolları yük miktarı tahmini için oluşturulan YSA modeli algoritması.....	175
Şekil 6.29. DTaydemirH5 YSA modeli tahminleri ile gerçek değerlerin saçılma diyagramı.....	177
Şekil 6.30. YSA demiryolları yük miktarları tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması	177
Şekil 6.31. Yapay sinir ağında geri yayılım algoritması işleyişi	180

Şekil	Sayfa
Şekil 6.32. YSA-1 modeli için izlenen işlem adımları ve algoritması.....	182
Şekil 6.33. Kullanılacak olan YSA-1 model mimarisi ve tasarımı.....	184
Şekil 6.34. En iyi geçerlilik değeri ve hata grafiği ile devir sayısı-eğim değişimi.....	184
Şekil 6.35. Oluşturulan YSA'da modelin ağ eğitimi verileri için; eğitim, geçerlilik, test ve tüm verilerin R değerleri ve gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğimi	185
Şekil 6.36. YSA modelinin tahminleri ile gerçek değerlerin dağılımı	187
Şekil 6.37. YSA-1 modelinin tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması	188
Şekil 6.38. YSA-1 modeli ile bulunan gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerlerinin değişimi.....	189
Şekil 6.39. 10 kat çapraz doğrulama yaklaşımı	190
Şekil 6.40. YSA-2 modeli akış diyagramı	191
Şekil 6.41. Şekil 6.41. 10 kat çapraz doğrulamada en düşük hata veren modelin sonuçları ile gerçek değerlerin karşılaştırılması.....	193
Şekil 6.42. YSA-2 modeli değişkenler ve mimarı yapısı.....	193
Şekil 6.43. Demiryolları enerji tüketimi gerçek değerler ile YSA-2 modeli tahminlerinin karşılaştırılması.....	194
Şekil 6.44. YSA-2 modeli gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimi değerlerinin değişimi	194
Şekil 6.45. Gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin modellerinin karşılaştırılması	198
Şekil 7.1. Senaryolar sonucu yolcu taşımacılığı için 2019-2038 yıllarında karayollarının Türkiye ulaştırma sistemi içinde türel payının değişimi	204
Şekil 7.2. Karayolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılık değerlerinin senaryolara göre karşılaştırılması	205
Şekil 7.3. Desteklenen ulaştırma türlerinin ilgili senaryolarda değişimi	206
Şekil 7.4. Senaryoların yolcu taşımacılığı için yıllara göre enerji tüketimi değişimi.....	206
Şekil 7.5. Senaryoların yolcu taşımacılığı için yıllara göre her yıl için enerji verimliliği değişimi	209

Şekil	Sayfa
Şekil 7.6. Senaryoları sonucu kümülatif enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi	212
Şekil 7.7. Yolcu taşımacılığında senaryolara göre her yıl için kümülatif enerji verimliliği değişimi	213
Şekil 7.8. Ulaştırma yolcu taşımacılığı senaryolarının uygulanması sonucunda yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranlarının değişimi	215
Şekil 7.9. Senaryolar sonucu yük taşımacılığı için 2019-2038 yıllarında karayollarının Türkiye ulaştırma sistemi içinde türel payının değişimi	219
Şekil 7.10. Karayolu yük taşımacılık değerlerinin senaryolara göre değişimi	220
Şekil 7.11. Yük taşımacılığında desteklenen ulaştırma türlerinin ilgili senaryolarda değişimi	220
Şekil 7.12. Yük taşımacılığında senaryolara göre enerji tüketiminin yıllara göre değişimi	221
Şekil 7.13. Senaryolara göre yük taşımacılığı için yıllara göre enerji verimliliği değişimi	224
Şekil 7.14. Yük taşımacılığı kümülatif enerji tüketim değerlerinin değişimi	226
Şekil 7.15. Senaryolara göre yük taşımacılığı için yıllara göre her yıl için kümülatif enerji verimliliği değişimi seyri	228
Şekil 7.16. 2019-2038 yılları arası yük taşımacılığı gelecek senaryoların sonucunda yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranlarının yıllara göre değişimi	230
Şekil 8.1. Sürdürülebilirlik döngüsü	233
Şekil 8.2. Sürdürülebilir ulaşım planlaması yaklaşımı	245
Şekil 8.3. Sera gazı emisyonlarının ulaştırma türlerine göre yıllar itibari ile değişimi ..	250
Şekil 8.4. Sera gazı emisyonunda ulaştırma türlerinin yıllara göre yüzdesel olarak durumu	251
Şekil 8.5. Ulaştırma türlerinde bir birim enerji tüketimine karşılık sera gazı emisyonu (kiloton CO ₂ eşdeğeri/TJ) değerlerinin yıllara göre değişimi	255
Şekil 8.6. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre karayollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi	257
Şekil 8.7. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre demiryollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi	257

Şekil	Sayfa
Şekil 8.8. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre denizyollarında ve havayollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi	258
Şekil 8.9. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre toplam sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi	259
Şekil 8.10. Senaryoların uygulanması durumunda halihazır yaklaşıma göre farkları ve farkların değişimi	261
Şekil 8.11. Yıllara göre kümülatif sera gazı emisyonları kazanımlarının değişimi.....	262
Şekil 8.12. Sera gazı için kazanım olan senaryoların yıllar itibari ile yüzdesel değişimi	264
Şekil 8.13. Sera gazı kümülatif yüzdesel kazanımların değerlerinin yıllara göre değişimi.....	265
Şekil 8.14. SMOreg model 4 sonucu tahmin ile gerçek değerlerin karşılaştırılması.....	267
Şekil 8.15. İki yaklaşım sonucu elde edilen sera gazı emisyonu değerlerinin yıllara göre değişimi	269

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Sinir hücresinin yapısı	25
Resim 3.2. “Neural Network/Data Manager” arayüzü	34
Resim 3.3. “Neural Network” ara yüzü YSA ağ eğitme ve simüle etme bölümü	35
Resim 3.4. WEKA arayüzü.....	39
Resim 3.5. WEKA zaman serileri bölümü olan “Forecast” bölümü	42
Resim 3.6. WEKA yapay sinir ağı algoritmasının seçimi	43
Resim 6.1. 2021 yılı GSYH değerinin “TAHMİN” formülünden yararlanma ile bulunması	158
Resim 6.2. GSYH için WEKA zaman serileri tahminlerinin ekran resmi.....	160
Resim 6.3. a) 2013-2017 yılları için SMOreg algoritması ile tahmini değerleri b) değişimi	166
Resim 6.4. DYaydemirH9 yapay sinir ağı modelinin eğitim sonrası ağırlık değerleri ve eşik değerlerine ait bilgilerin bulunduğu WEKA ekran görüntüleri	171
Resim 6.5. DTaydemirH5 modelinin gelecek yıllarına dair yapılan tahmin sonuçları WEKA ekran görüntüleri	176
Resim 6.6. YSA-1 modelleri için ağ oluşturmaya yönelik değişkenler.....	180
Resim 6.7. Resim 6.7. Oluşturulan ağların eğitim parametreleri MATLAB ekran görüntüsü	181
Resim 6.8. YSA-1 modelinde eğitim sonucu oluşan ağırlık ve bias değerleri ekran görüntüleri	186

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. 2017 yılında bölgelere göre ispatlanmış petrol rezervleri (milyar varil).....	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

CO_2	Karbondioksit gazı
e	Euler sabiti
ε	Öngörü hatası
m	Metre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
km	Kilometre
km^2	Kilometrekare
$Mtep$	Milyon ton petrol eşdeğeri
$\$$	Dolar
TEP	Ton eşdeğer petrol
μk	Enerji yoğunluğu
y^*	Tahmin değerleri
$\%$	Yüzde işareti

Kısaltmalar

Açıklamalar

AB	Avrupa Birliği
BP	İngiliz Petrol Şirketi British
DYaydemirH	YSA ile demiryolları yolcu sayısı bulma modelleri
DTaydemirH	YSA ile demiryolları yük miktarı bulma modelleri
ETKB	T.C. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GJ	Gigajoule
GSYH	Gayri safi yurtiçi hasıla
KRE/GCI	Küresel rekabet endeksi
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü

Kısaltmalar**Açıklamalar****LPG**

Sıvılaştırılmış petrol gazı

MJ

Megajoule

nntool

MATLAB programında yapay sinir ağı araç kutusu

OECD

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü

Netton

Bir vagona kapasitesi oranda yüklenmiş olan ton

PJ

Petajoule

SeraGazı_{xi}Sera Gazı Emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) / TJ**TCDD**

T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü

TJ

Terajoule

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu

WEKA

Waikato Environment for Knowledge Analysis

YSA

Yapay sinir ağı

...

Bilgi bulunamıyor ya da bilgi bulunmamaktadır

-

Bulunulamayan, eksik veya hatalı veri

Ortalamaya dahil edilmeyen veriler

1. GİRİŞ

Dünyada enerji kullanımı her geçen gün artmakta ve bu tüketilen enerji içerisinde önemli paylardan birini de ulaştırma sektörünün aldığı görülmektedir. Ulaştırma sektörü; ülkelerin sosyal, ekonomik, beşerî ve daha birçok durumuna doğrudan veya dolaylı olarak çok büyük etkiler yapmaktadır. Bu yüzden, ulaştırma planlaması ve gelecek politikaları oldukça önem arz etmekte ve ülkelerin belirli hedeflere ulaşması için de doğru stratejilerin belirlenmesi gerekmektedir.

Türkiye enerji tüketiminin ortalama olarak %20'si ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye'de ulaştırma sektöründe kullanılan enerjinin de tamamına yakın bir bölümü ise petrol ürünlerinden oluşmaktadır. Buna karşın, Türkiye petrol gereksiniminin büyük bir payını ise ithal ederek karşılamaktadır. Bu sebeple, ulaştırma sektörünün enerji tüketiminin hem verimli hem de tüketilen enerjinin etkin kullanımının büyük önem taşımakta olduğu açık ve nettir. Ulaştırma sektöründe enerjinin dikkat edilmesi gereken konu olmasının yanı sıra, petrol ürünlerinin kullanımı nedeniyle hava kirliliği, emisyon salınımına neden olması ile çevreye, toplum ve kent yaşamına, enerji kaynakları vb. durumlara da çeşitli olumsuz olabilecek etkileri bulunmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin bu etkilere ve olumsuzluklara karşı temel politika ve stratejiler geliştirdikleri ve bu alanlarda genel olarak daha çevreci olan ve bu durumlara daha az zararlı etki yapabilecek ulaşım sistemleri ile bunların altyapılarının oluşturulmasını amaçlamakta ve çevreci ulaşım araçlarına doğru yönelmekte olduğu görülmektedir. Bu durum, sürdürülebilir ulaştırma politikalarının uygulanması ve sürdürülebilir ulaşım planlaması stratejilerinin gerçekleşmesi ile mümkündür.

Toplumların gelişmişlik düzeylerinin sınırlı kaynağa sahip olunan ve üretim sürecinin en temel gereksinimleri arasında yer alan enerjinin doğru tüketimi ile yakından ilgisi olmakla birlikte, aynı zamanda da sonraki nesillere de her alanda temiz ve sürdürülebilir olabilecek çevre dostu planlamalar yapılmasını gerektirmektedir. Bu itibarla, ulaştırma sektöründe enerjinin çok etkin kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla, ulaştırma sektöründeki yatırımlar enerji kullanımının kapsamlı analizi yapılarak; çevreye duyarlı, enerji verimliliğini ve enerji kazanımlarının dikkate alındığı geleceğe dair doğru stratejilerin belirlenerek izlenen politikalarla yapılması sonucu; Türkiye'nin daha dengeli büyüme ve

refah seviyesi daha yüksek gelişmiş ülkeler arasında yer almasını ve daha da ilerisini sağlayacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus geleceğe yönelik gerçekçi olacak tahminleri bulmaya çalışmaktır. Tahminler sonucunda; mevcut eğilim ve değişkenlerin benzer olması olarak nitelenen halihazır durumun değiştirilmesi ile oluşturulan farklı senaryolar ile en uygun planlama seçilmesine olanak sağlanmaktadır. Ayrıca, oluşturulan farklı senaryoların uygulanması ile elde edilen tahmin sonuçları değişimlerinin değerlendirilmesi, ülkeler için de en yararlı olan stratejilerin belirlenmesine katkı sunmaktadır. Gelecek tahminler neticesinde hem enerji verimliliği sağlanabilecek hem de çevreye tehdit oluşturduğu düşünülen etmenlerin azaltılmasına yönelik senaryolar üretilerek en doğru planlamaların hazırlanmasını sağlayacaktır. Diğer taraftan, teknolojinin gelişmesiyle birlikte artan tahmin yöntemleri, göz önüne alınması gereken etkilerin ve etmenlerin tahmini ile bunların analizini hem gerçekçi hem de daha hızlı çözümler üretmesine neden olmuştur. Ayrıca bu durum, bilgisayar programlarının ve yazılımlarının gelişmesini sağlayarak daha karmaşık ve doğrusal olmayan bağlantılar ile durumları daha kolay analiz etmeye olanak sunmuştur. Böylece, detaylı bir analiz yapılarak geleceğe yönelik tahminler için daha gerçekçi sonuçlar elde edilmektedir.

Genel olarak tahmin çalışmalarında geçmişteki ve mevcut durumların incelenmesi sonucu, değişebilecek ve etki yapacak öğelerin durumu belirlenip, gelecekteki durumun tahmin edilmesi varsayımı temeline dayanmaktadır. Ancak, yapılacak tahmin çalışması için bir yöntem gereksinim vardır. Tahmin çalışması yöntemleri, nitel ve nicel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [1]. Bunlar; görüşlere, sezgilere, yargılara, hislere veya kişisel deneyimlere dayanan, herhangi bir formülasyon ya da matematiksel hesaplama yapılmaksızın ve öznel olan tahmin yöntemleri nitel yöntemler ve matematik hesaplamaları ile çıkarım yapılarak modeller oluşturularak yapılan tahmin tekniğine dayanan nicel yöntemlerdir.

Nitel tahmin yöntemleri; delphi tekniği, pazar araştırmaları, uzman grup görüşleri ve satış gücü karması olarak dört farklı grupta toplanmaktadır [2]. Öznellik durumu olduğu için tüm bu yöntemler soyut kaynaklara dayanmakta ve bu yüzden doğruluğunun kontrolü mümkün olmamakla birlikte, verilerin geliştirilmesi olanağı da bulunmamaktadır.

Nicel tahmin yöntemleri ise: ilişkisel yöntemler(regresyon) ve zaman serileri olmak üzere iki grupta toplanmaktadır [3]. Bu yöntemler objektif olup, sağlanan verilerin yardımıyla bir sayısal model oluşturularak gelecek dönemlere dair ya da bilinmeyen hakkında tahmin

yapılması işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemde verilerin durumu, sıralı olması, çok sayıda ve düzenli olması oldukça önem arz etmekte olduğundan, veri madenciliği yöntemlerinin gelişmesine olanak sağlamıştır.

Bu tez çalışması, 1998 yılı ve sonrasını ele alarak Türkiye ulaştırma sistemlerinin enerji tüketimini, gelecek enerji tüketimlerini ve enerji analizini (demiryolları ulaştırma türünü ayrı bir başlık altında), yük ve yolcu taşımacılığı olarak iki bölüme ayırarak incelemektedir. Bu çalışmada kullanılan ana veriler TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü [4-8], Karayolları Genel Müdürlüğü [9-11], Türkiye İstatistik Kurumu [12-16], Dünya Bankası [17-20], Enerji İşleri Genel Müdürlüğü [21] ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığından [22] elde edilmektedir. Verilere bakıldığında, taşımacılık değerlerinde bazı ulaştırma türlerinin verilerinde eksik veya hatalı bilgiler olduğu, bu nedenle birden fazla kaynaktan yararlanarak, en doğru değer bulunulmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda eksik ve hatalı verilerin düzenlenmesi EK-1 ve EK-2’de gösterilmektedir. Diğer taraftan; ulaştırma sistemleri enerji tüketim verileri yük ve yolcu taşımacılığına göre ayrılmadığı görülmektedir. Bunun için, geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar dikkate alınarak EK-3’de ifade edildiği şekilde yük ve yolcu taşımacılığına göre enerji tüketim değerleri elde edilmiştir [23-28]. Tez çalışması ile ilgili belirtmek istenen bir diğer husus; her iki taşımacılık sistemlerinde, karayolları, demiryolları, denizyolları ve havayolları türleri dikkate alınmakta olup; bir yük taşımacılığı türü olan boru hatları tez kapsamında incelenmemektedir. Ayrıca, Türkiye ulaştırma sistemlerinde genel olarak 1998-2018 yılları arasında dikkate alınarak irdelenmektedir. 1998-2018 yılları arasındaki verilerden eksik olanlar ve bulunamayan veriler var ise eksik veriler daha öncede ifade edildiği üzere düzenlenerek ve tamamlanarak analiz edilmektedir. Sonrasında 2019-2038 yılları için olabilecek muhtemel değişimler dikkate alınarak, farklı senaryo modelleri oluşturularak ulaştırma sistemindeki enerji tüketiminin gelişimine etkileri ve enerji verimliliği ile sera gazı emisyonu değerlerindeki durumu araştırılmaktadır.

Tez yaklaşımında ve içeriğinde daha önce yapılan çalışmalarda oluşturulan mantıksal temellere ek yeni yaklaşımlar da sunularak, bu yaklaşımlar yapıldığı bölümlerde açıklamaları ile birlikte sunulmaktadır. Yapılan mantıksal yaklaşımlar yardımıyla verilerin incelenmesi ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmekte ve geleceğe yönelik tahminler yapılmaktadır. Bunun yanı sıra; ulaştırma sektöründe genel yaklaşım olarak toplam enerji tüketimi ve toplam taşımacılık değerleri dikkate alınarak, ayrı başlıklar altında incelenmiş ve demiryollarındaki bu değerler enerji analizinin temel öğeleri olarak kabul edilmiştir.

Enerji tüketimleri de yine aynı şekilde sürdürülebilirlik için sera gazı emisyonunda temel öge olarak kabul edilmektedir. Enerji analizinde tür tabanlı enerji analizi formülünden ve yapay zekâ yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bilinen ve geçmiş yıllara dair mevcut taşımacılık miktarları verileri ve bilinen enerji tüketimi ile sera gazı emisyonları değerlerinden hareket edilerek, tez kapsamındaki aşamalara yönelik işlemler yapılmaktadır. Diğer bir ifade ile ulaştırma türlerine göre bulunan enerji yoğunluklarının kullanılması ile enerji tüketimi ve toplam taşımacılık miktarlarının değişimleri irdelenmekte; geleceği yönelik senaryolar oluşturularak enerji verimliliği değerleri elde edilmektedir. Senaryolar sonucu elde edilen enerji tüketimi değerleri ile de birim enerji tüketiminin ulaştırma türlerinde oluşturduğu sera gazı emisyonu değerlerinden hareket edilerek gelecek yönelik sera gazı emisyonu değişimleri ortaya koyulmaktadır. Sonrasında, demiryolları ulaştırma türünün geçmiş yıllardaki verilerine göre gelecek enerji tüketim tahmini yapılmış ve tür tabanlı enerji analizi yaklaşımında belirtilen enerji yoğunluklarının gelecekteki durumuna dair genel bir değerlendirme yapılmıştır. Yapay sinir ağları modeli iki farklı girdi verileri ile demiryollarında tüketilen enerji değerleri tahminleri yapılmış olup, yapay sinir ağları modelleri MATLAB ve WEKA programları yardımı ile analiz edilmiştir. Bu modeller ayrı başlık altında detaylı açıklamaları yapılarak gelecek yıllar değerlerini bulmada yapay zekâ tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu verilerin girdilerinde gerçeğe en uygun eğilime yönelik seçimler belirlenerek tahmin çalışması gerçekleştirilmiştir. Son kısımda; gelecek yıllar ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyon değerleri senaryoların uygulanmasına göre bir birim enerji tüketiminde oluşan sera gazı emisyonu değerlerinden hareket edilerek tahmin edilmekte, senaryolar gerçekleşmesi durumunda sera gazı emisyonunun değişimleri ve yüzdesel olarak referans alınan duruma göre değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Çalışmada; giriş başlığı altında tez konusuna dair genel bir durum açıklaması yapılmış, tezin amacına yönelik bilgiler sunulmuştur. Ayrıca, çalışmanın genel bir özeti yapılarak araştırmanın amacı ile önemine dair bilgiler ifade edilerek, kullanılan yöntemler ve değerlendirme biçimi anlatılmıştır.

Tezin ikinci bölümünde; tezin içeriği ve kapsamına uygun olan daha önce yapılan çalışmalar ve araştırmalar hakkında bilgiler verilerek, elde edilen sonuçlar genel olarak sunulmaktadır.

Tezin üçüncü bölümünde, tezle ilgili kavramların anlaşılması için ilk olarak yapay zekâ hakkında bilgiler sunulmakta, gelişimi ve yapay sinir ağları, makine öğrenmesi, veri

madenciliği gibi kavramlar genel olarak açıklanmaktadır. Tez kapsamında yapay sinir ağları için kullanılan programlar olan MATLAB ve WEKA ile ilgili bilgiler sunulmakta, YSA oluşturma ve diğer işlemlere yönelik bilgilendirme yapılmaktadır. Ayrıca bu bölümde, enerji ve ulaştırma arasındaki bağ açıklanmaya çalışılarak, enerji verimliliği konusuna değinilmiş, enerji kaynakları hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra, enerjide genel yaklaşım ve enerji talebi ile enerji arzı kavramlara açıklanarak, bunları etkileyen durumlar genel olarak açıklanmıştır. Enerji verimliliği konusu ile enerji verimliliğini artırmaya yönelik genel bilgiler sunulmuş, ulaştırma sektörüne yönelik daha detaylı bir değerlendirme yapılarak ulaştırmada enerji verimliliğini arttırıcı çalışmalar hakkında çıkarımlar ve alternatif yakıtlara yönelik açıklamalar ile öneriler sunulmuştur. Diğer taraftan, bu bölümde enerji analizi için kullanılan tür tabanlı enerji formülü ve yaklaşımı kısaca açıklanmakta ve gelecek yıllara dair yapılacak tahminlerin değerlendirilmesinde izlenen durum ve hata ölçüm teknikleri hakkında da genel bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde ise; ilk olarak Türkiye’de ulaştırma sistemleri içerisinde demiryollarının mevcut durumu hakkında genel bilgiler verilmiş, Türkiye’nin demiryolu altyapı kalitesi açısından sıralamasının yıllara göre durumu incelenmiştir. Sonrasında ise Türkiye demiryolu ulaştırma sistemini ve ağını daha da geliştirmeye yönelik ve dünyadaki diğer ülkeler ile arasında ulaştırma olanaklarını artırarak rekabet avantajına dair öneriler sunulmuştur. Bu bölümün son kısmında; nüfus, yüzölçümü, demiryolu uzunluğu değerlerine göre Türkiye demiryollarının Dünya ile karşılaştırılması yapılarak genel olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde, Türkiye demiryollarının genel enerji görünümü hakkında bilgiler verilerek, Türkiye’nin enerji görünümü içerisinde durumu ortaya koyulmuştur. Diğer taraftan, Türkiye’deki enerji tüketimi, üretimi ve sektörler göre dağılımı hakkında açıklamalar ile yıllara göre değişimi gösterilmekte ve ulaştırma türlerine göre nihai enerji tüketimi hakkında bilgiler verilerek, genel değerlendirmesi yapılmaktadır.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde; ulaştırma türlerinin genel durumu dâhil edilerek demiryollarının enerji analizi yapılmaktadır. Bunun için öncelikle tüm ulaştırma sistemlerinin taşımacılık değerleri, nüfus, GSYH, kişi başına düşen GSYH, ulaştırmada ve ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değerleri derlenerek çizelge haline getirilmektedir. Bunun yanında kişi başına düşen enerji tüketimi hem yük hem de yolcu için gösterilmiş, demiryollarının enerji durumu diğer ulaştırma sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında kullanılan veriler 1998 yılı sonrasını yani 1998-2018 yılları arasını

kapsamaktadır. Bu yıllar için yük taşımacılığında tüketilen toplam enerji ve yolcu taşımacılığında tüketilen toplam enerjinin Türkiye’de tüketilen enerji içerisindeki yeri ile ulaştırmada tüketilen toplam enerji tüketimi içerisindeki durumu gösterilmiştir. Sonrasında, ulaştırma türlerine göre enerji tüketimlerinin durumu, ulaştırma sektöründe türlerin enerji tüketim dağılımları ve taşımacılık değerleri ile dağılımları gösterilmektedir. Diğer taraftan bu bölümde; ulaştırma sistemleri yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı olmak üzere, ulaştırma türlerinin enerji tüketim değerleri belirtilmekte ve enerji yoğunlukları tür-tabanlı enerji analizi formülü ile hesabı yapılarak, her bir ulaştırma türünün 1998-2018 yılları için enerji yoğunluk değerleri bulunmaktadır. Bulunan enerji yoğunluk değerleri, yük ve yolcu taşımacılığı olarak her ulaştırma türü için ayrı olarak sunulmakta ve karşılaştırılması yapılarak grafikler ile gösterilerek, genel olarak değerlendirilmektedir.

Tez çalışmasının altıncı bölümünde; gelecek yıllar demiryolları enerji analizi yapılmaktadır. Bunun için tür tabanlı enerji analizi formülü ve yapay zekâ tekniklerinden yararlanılmıştır. Bunun için ilk olarak, 2018 yılından itibaren gelecek yıllar için enerji tüketim koşullarının genel olarak değişmediği düşünülerek gelecek yıllara dair hâlihazır tahminleri yapılmaktadır. Bu hâlihazır tahminlerinde, beşinci bölümde geçmiş yıllar verileri (1998-2018 yılları) için enerji analizi sonucu elde edilen ulaştırma türlerinde kullanılan enerji değerleri, taşımacılık değerleri ve enerji yoğunluklar dikkate alınmaktadır. Bu değerlerden yararlanılarak 2019-2038 yılları için geleceğe yönelik mevcut eğilim ve durumlardaki enerji tüketim tahminleri yapılmaktadır. Bunun için, öncelikle gelecek yıllara yönelik hem yük hem de yolcu taşımacılığı değerlerinin tahminleri yapılmakta, bulunan toplam taşımacılık değerleri ulaştırma türlerinin türel dağılımlarına göre dağıtılarak, her bir ulaştırma türü için yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı olmak üzere değerleri bulunmaktadır. Bulunan bu değerler geçmiş yıllardaki son 5 yıl ortalama enerji yoğunluğu değeri dikkate alınarak gelecek yıllar enerji tüketim tahmin değerleri tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı ile bulunmaktadır. Bulunan değerler belirtilerek 2019-2038 yılı için değerlendirilmektedir. Sonrasında; demiryollarının gelecek yıllar enerji tüketimi için iki farklı YSA (yapay sinir ağları) modeli oluşturulmaktadır. Bu modellerden; YSA-1 modelinde, bağımlı değişkenler nüfus, GSYH; (Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla), demiryollarında taşınan ton miktarı ve yolcu sayısı; YSA-2 modelinde ise bağımlı değişkenler nüfus, GSYH (Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla), demiryolları ton-km ve yolcu-km değerleri dikkate alınarak gelecek yıllar için demiryollarında tüketilecek enerji tahmini iki yapay sinir ağı modeli ile yapılmıştır. Diğer taraftan YSA-1 modelinde MATLAB; YSA-2 modelinde WEKA programından

yararlanılarak yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Modellerin tahmin değerleri ile gerçek değerleri gösterilerek, değerlendirilmesi ve uygunluk durumları belirtilmiştir. Ardından, demiryollarında enerji yoğunluğu değerinin son 5 yıl ortalaması olması durumunda ve 2018 yılı enerji yoğunluğu değeri olması durumunda demiryollarının 2019-2038 yılları enerji tüketim değerleri ile YSA modellerinde elde edilen aynı yıllar için demiryolları enerji tüketim tahminleri karşılaştırılması yapılarak, genel olarak değerlendirmiştir. YSA modeli sonucu elde edilen değerlerden hareket edilerek, gelecek yıllarda demiryolları ulaştırma türünün enerji yoğunluğunun değişimi irdelenmiştir.

Tez çalışmasının yedinci bölümünde; önceki bölümde bulunan hâlihazır durum enerji koşulları ve toplam taşımacılık değerlerinin devam etmesine göre ulaştırma sistemlerinde alternatif modeller oluşturulmaktadır. Oluşturulan senaryo modellerine göre gelecek yıllar için enerji tüketim durumu ve değişimleri değerlendirilmektedir. Ayrıca daha önce hâlihazır durum sonucu gelecek yıllar tahmini yapılan sonuçlar ile birlikte değerlendirilmesi yapılarak, senaryoların uygulanması sonucu hem elde edilen enerji verimliliği durumunun hem de birikmiş enerji kazanımlarının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Diğer taraftan; taşımacılıkta karayolunun hâkimiyeti olmasından dolayı bu durumun değiştirilerek karayolundaki payın diğer ulaştırma türlerine aktarılması üzerine çeşitli alternatif senaryolar ile 2038 yılına kadar ulaştırma sektörünün enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, yük taşımacılığı için geçmiş yıllardaki türel dağılımlarının değişimleri dikkate alınarak; üç tane demiryolları ulaştırma türünün desteklendiği, bir tane denizyollarının ve bir tane havayollarının desteklendiği toplam beş farklı senaryo modeli oluşturulmuştur. Yine benzer şekilde yolcu taşımacılığı için geçmiş yıllardaki türel dağılımlarının değişimleri dikkate alınarak, üç tane demiryolları ulaştırma türünün desteklendiği, bir tane denizyollarının ve bir tane havayollarının desteklendiği toplam beş farklı senaryo modeli oluşturulmuştur. Senaryolarda önceki bölümdeki bulunan toplam yük ve toplam yolcu taşımacılık değerlerinin değişmediği dikkate alınarak, 2019-2038 yılları için farklı ulaştırma türlerinin desteklenmesi ile değişen ulaştırma türlerinin dağılımlarından faydalanılarak 2038 yılına kadar ulaştırma türleri payının kademeli olarak değişmesi neticesinde bulunan enerji tüketim değerleri ile enerji verimliliği durumları gösterilmektedir. Bulunan sonuçlar temel enerji tüketim değerleri olarak alınan referans senaryo ile karşılaştırılarak elde edilen enerji verimliliği, tasarruf edilen enerji miktarı değerleri gösterilmektedir.

Tezin sekizinci bölümünde; ilk olarak sürdürülebilirlik konusu irdelenerek detaylı bilgiler eşliğinde değerlendirilmesi yapılmıştır. Sürdürülebilir ulaşım tanımlaması ve sürdürülebilir ulaşım için olması gereken göstergeler hakkında bilgiler verilirken, CO₂ emisyonu kavramı açıklanmıştır. Ayrıca, Türkiye ve dünyadaki bazı ülkelerin karbondioksit emisyonu (milyon ton karbondioksit) miktarları hakkında veriler gösterilmektedir. Ardından; sürdürülebilir ulaştırma planı konusu açıklanarak, sürdürülebilir ulaşım planlamasının uygulandığı bazı ülkelere dair örnekler verilmiştir. Sonrasında, ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu salınımı değeri için altıncı bölümde açıklanan hâlihazır yaklaşımı temel(referans) alınmış olup, buna göre yedinci bölümde bahsedilen yük ve yolcu taşımacılığı senaryoların dikkate alınarak oluşturulan 5 farklı sera gazı senaryolarının uygulanması durumunda gelecek yıllar dair sera gazı emisyonu oluşumlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Senaryolar sonucu, referans alınan hâlihazır durumdaki salınım değerine göre elde edilen fayda durumu ortaya konulmuştur. Bunun için geçmiş yıllardaki ulaştırma türlerinin enerji tüketim değerleri ile sera gazı emisyonu değerlerinden yararlanılmaktadır. Her bir ulaştırma türü için geçmiş yıllarda birim enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerleri bulunmuş ve karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun için, her bir ulaştırma türü için ayrı olmak üzere birim enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerlerinin son 5 yıl ortalamasının gelecekte bir birimlik enerji tüketiminde oluşturacağı sera gazı emisyonu değeri olacağı kabulü ile gelecek yıllar için sera gazı emisyonu değerleri bulunmuştur. Bu itibarla, sürdürülebilir ulaşım planlaması stratejilerinin değerlendirilmesi için; daha önce altıncı bölümde yapılan ve açıklanan yük ve yolcu senaryolarının birleşmesi sonucuna göre gelecek yıllarda tüketilen enerji tüketim tahmini değerleri dikkate alınarak, gelecek yıllarda meydana gelebilecek ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) değerleri bulunmuş, senaryoların sonucu karşılaştırılma yapılmış ve ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) değerlerinin değişimleri ve getirilerin durumu açıklanmıştır.

Tezin son bölümü olan dokuzuncu bölümde; elde edilen sonuç ve öneriler genel bir değerlendirme içerisinde açıklama yapılarak bilgiler sunulmaktadır. Bunun için; ilk başta tezin bölümlerinde bulunan durumlar açıklanarak genel bir değerlendirme yapılmış; Türkiye ulaştırma planlaması ve stratejilerine dair sürdürülebilir ve enerji verimliliği için çeşitli öneriler sunulmuştur. Bu bölümde ayrıca, hangi ulaştırma türünün desteklenmesi ve hangi senaryo uygulanması durumunda diğerlerine göre daha olumlu olduğu belirtilerek bu durum hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca geleceğe yönelik öneriler ve tez çalışması sonrasına dair elde edilen tüm sonuçlara göre genel değerlendirme yapılmaktadır.

Bu tezin birçok amacı bulunmakta olup, bunlardan birisi Türkiye’de ulaştırma türlerinin hem yük hem de yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı olmak üzere 1998-2018 yılları için taşımacılık paylarının durumu ve değişimlerinin gösterilmesi, ulaştırma türleri arasında enerji tüketim değerlerinin durumu ve enerji tüketim payları ile yıllara göre değişimlerinin gösterilmesidir. Ayrıca, ulaştırma türlerinin 1990-2017 yılları için sera gazı emisyonu değerlerinin değerlendirilmesi ile yıllara göre değişimleri gösterilerek analizinin yapılmasıdır. Diğer taraftan, 1998-2018 yılları için taşımacılık değerleri ile enerji tüketim değerlerinin dikkate alınması ile 1998-2018 yılları için enerji yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen enerji yoğunluk değerlerinin ulaştırma türlerindeki durumu gösterilerek karşılaştırılması yapılmış, yıllara göre değişimleri ortaya koyulmuştur. Enerji yoğunluğu değerleri kullanılarak gelecek yıllar için enerji tüketimi değerlerini tahmin etmek mümkün olacağından; gelecek yıllarda hâlihazır durumun devam etmesi halinde gelecek yıllar enerji kullanımı ve enerji gereksinimi hakkında yol göstermektir.

Tezin diğer bir amacını ise geçmiş yıllardan elde edilen enerji yoğunluğu değerlerinden çıkarımlar yaparak 2019-2038 yılları arasında ulaştırma türlerinin enerji tüketimlerinin tahmininin yapılması ile enerji tüketimine yönelik yeni stratejileri geliştirmek ve farklı planlamalar yapılmasına yönelik fikirler verilmesini sağlamaktır. Ayrıca, gelecek yıllardaki enerji tüketim değerlerinin değişimi ve eğilimi hakkında genel olarak bilgi sunulmaktır. Bu durumda, Türkiye ulaştırma türlerinin 1998-2038 yılları arasındaki süreçteki enerji tüketimini ve değişimi görölmüş olacağından, bu yıllar için ulaştırmada enerji tüketimine yönelik yeni stratejileri geliştirmek ve farklı planlamalar yapılmasına yönelik fikirler verilmesini sağlayacaktır.

Tezde demiryollarının enerji analizi yapılmıştır. Demiryollarının gelecek yıllar için enerji tüketimi tahminleri; tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı ve yapay sinir ağları ile elde edilmiştir. Böylece, demiryollarının gelecek yıllar için hem enerji tüketimi değerlerinin hem de enerji yoğunluğunun değişiminin irdelenmesine katkı sunacaktır. Demiryollarında gelecek yıllar için yapay sinir ağları ile demiryolları yolcu sayısı ve demiryolları yük miktarları bulunduğundan, demiryollarının hem yolcu sayısı hem de yük miktarına yönelik planlama yapılmasına katkı sunacaktır. Böylece geleceğe yönelik, demiryollarını kullanan yolcu sayısı ile demiryollarında taşınan yük miktarı değerlerinin durumu genel olarak gösterilmektedir.

Tez çalışmasının bir başka amacı ise; Türkiye’de ulaştırma türlerinde mevcut durumunun devam etmesi yerine farklı ulaştırma türlerinin özellikle de demiryollarının desteklenmesi halinde enerji tüketimlerinde nasıl bir değişim yaşanacağı, geçmiş yıllardaki türel dağılımlardaki değişimlerin dikkate alınması ile oluşturulan senaryolar ile ortaya çıkan enerji kazanımlarını ve enerji verimliliğini vurgulamaktır. Ulaştırma türlerinin hem yük hem de yolcu için ayrı olmak üzere, taşımacılık paylarının değişiminin üç farklı demiryollarının desteklenmesi üzerine oluşturulan senaryo ile birer adet denizyolları ve havayollarının desteklenmesi üzerine oluşturulan senaryo durumlarına göre gelecekteki enerji tüketimine ve enerji verimliliğine etkisi değerlendirilmekte ve elde edilen sonuçlar ortaya konulmaktadır.

Tezin amaçlarından bir diğeri ise, 1990-2017 yılları için ulaştırma türlerinde bir birimlik enerji tüketiminde oluşan sera gazı emisyonunu değerlendirmek ve yıllara göre değişimini göstermektedir. Ayrıca, her bir ulaştırma türünde bir birimlik enerji tüketimine karşılık oluşan ulaştırma kaynaklı sera gazı değerleri bulunarak, ulaştırma türlerinin bir birim enerji tüketimine karşılık oluşturduğu sera gazı emisyonu değerlerinin karşılaştırılması yapmaktır. Geçmiş yıllardan elde edilen bir birimlik enerji tüketiminden yararlanarak gelecek yıllara dair (2030 yılına kadar) mevcut eğilim devam etmesi durumu olarak nitelenen halihazır yaklaşımında oluşan sera gazı emisyonları tahminleri yapılmaktadır. Gelecek yıllar için daha önce oluşturulan senaryoların uygulanması neticesinde elde edilen enerji tüketimlerine göre oluşan sera gazı emisyonları bulunarak, hâlihazır yaklaşıma göre senaryolarda sera gazı salınımı değişimlerini ve kazanımları hakkında bilgi vermektir.

Tüm bunların yanı sıra, tezin amacı Türkiye’de ulaştırma türlerinin enerji tüketimleri, gelecek tahminlerinin yapılması, birim taşımacılık değerine göre düşen enerji tüketimi değerleri ve birim enerji tüketimi ile oluşan sera gazı emisyonları değerleri, yapay zekâ teknikleri ile çeşitli tahmin çalışmalarının yapılması, türler arası dağılımın değişmesi ile taşımacılık değerlerinin değişiminin enerji verimliliği ve sera gazı emisyonuna etkileri, genel olarak bütün şekilde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılarak Türkiye için enerji verimliliğine ve ulaştırma sektörü enerji verimliliğini artırıcı çalışmalara katkı sağlayan senaryoların bulunmasını ve sürdürülebilir ulaştırma planlaması stratejilerinin gelişmesine katkı sunmaktır.

2. TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA BULUNAN DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tezin bu bölümünde; literatür araştırması yapılarak tezin içeriğine uygun ve kapsamına dahil olabilecek daha önce yapılan çalışmalar ve araştırmalar hakkında bilgiler verilmektedir.

Gelecek enerji tüketim veya enerji talep tahminlerinde, literatürde çeşitli tahmin yöntemleri kullanıldığı görülmektedir. Bunları örneklemek gerekirse; zaman serileri yönteminin kullanılması [29], gri tahmin yönteminin kullanılması [30], regresyon modeli oluşturulması ile [31], parçacık sürü optimizasyonu tekniğiyle [32], genetik algorithmadan yararlanılarak [33], bulanık mantık yöntemi kullanılarak [34], yapay sinir ağlarından yararlanma ile [35] ve benzeri tahmin teknikleri ve formları ile enerji talepleri veya enerji tüketim değerleri tahmin edilmiştir. Bunların yanı sıra, geniş enerji talep tahmin modelleri hakkında bilgi almak için Suganthi ve Samuel'in [36] yapmış olduğu çalışma detaylı incelenebilir.

Yapılan çalışmaları incelediğimizde, enerji talep tahmini alanında veya enerji tüketim değerlerini öngörmeye genel olarak en çok kullanılan tahmin tekniğinin yapay sinir ağları olduğu görülmektedir. Bu çalışmalarda değişkenlerin seçimlerini araştırmayı ve çalışmayı yapan kişiler tarafından belirlendiği için farklılıklar göstermektedir. Bu bağlamda; Sözen ve arkadaşları ilk çalışmalarında nüfus, brüt üretim, kurulu kapasite, ithalat, ihracat değişkenlerini kullanarak [37] ve ikinci çalışmasında ise nüfus, ekonomik gösterge değişkenlerini kullanarak [38] Türkiye'nin net enerji tüketimini; Pao [39], milli gelir, GSYH, tüketici fiyat endeksi değişkenlerini kullanarak Tayvan'ın elektrik enerji tüketimini; Kavaklıoğlu ve arkadaşları [40], GSMH, nüfus, ithalat ve ihracat değişkenlerini kullanılması ile Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimini; Geem ve Roper [41], GSYH, nüfus, ithalat, ihracat değişkenlerini kullanarak Güney Kore'nin enerji talebini; Ekonomou [42], sıcaklık değerleri, kurulu güç kapasitesi, GSYH, yerleşik elektrik tüketimi değişkenlerini kullanarak Yunanistan'ın toplam enerji talebini; Limanond ve arkadaşları [43], GSYH, nüfus ve kayıtlı araç sayıları değişkenlerini kullanarak Tayland'ın ulaştırma enerji talebini; Kankal ve arkadaşları [44], GSYH, nüfus, ithalat, ihracat, iş değişkenlerini kullanarak Türkiye'nin genel enerji tüketimini; Geem [45], petrol fiyatları, kayıtlı araç sayısı, yolcu taşıma miktarı değişkenlerini kullanarak Güney Kore'nin ulaştırma enerji talebini; Pabuçcu ve Bayramoğlu [46], CO₂ emisyonu tahmininde; Çodur ve Ünal [47], 1975-2016 yılları arasındaki çeşitli verileri kullanarak ulaştırmada enerji talebi tahmini için 7 farklı model oluşturmada ve

oluşturulan en uygun model ile gelecek yıllar için ulaştırma enerji talebini tahmin ettiği çalışmalarında, yapay sinir ağlarının kullanıldığı ve sonuca ulaşılmaya çalışıldığı görülmektedir.

Enerji talebi tahminlerinde dikkat çeken diğer önemli bir husus ise belirli yıllardaki verilerin kullanılarak, bu verilerden oluşturulan model veya yöntem yardımı ile gelecekteki enerji talebi tahminlerinin yapıldığı görülmektedir. Bu itibarla; Ceylan ve Öztürk [48], genetik algoritma tahmin yöntemi ile 1970-2001 yılları arasındaki verileri kullanarak 2025 yılındaki toplam enerjiyi; Hamzaçebi ve Kutay [49], yapay sinir ağları tahmin yöntemi ile 1970-2002 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Sözen ve arkadaşları [50], yapay sinir ağlarından yararlanarak tahmin yöntemi ile 2000-2002 yılları arasındaki verileri kullanarak solar enerjiyi; Sözen ve arkadaşları [37], yapay sinir ağları tahmin yöntemi ile 1975-2003 yılları arasındaki verileri kullanarak toplam net enerjiyi; Haldenbilen ve Ceylan [51]; genetik algoritma tahmin yöntemi ile 1970-2000 yılları verisini kullanarak ulaştırma enerjisini; Ediger ve arkadaşları [52], ARIMA tahmin yöntemi ile 1950-2003 yılları arasındaki verileri kullanarak fosil yakıtlar enerjisini; Murat ve Ceylan [53], yapay sinir ağları tahmin yöntemi ile ağırlık girdi değişkenleri olarak; gayri safi milli hâsıla, nüfus ve araç-km değerlerini kullanarak 1970-2001 yılları arasındaki verilerin kullanımı ile ulaştırma enerjisini farklı senaryolar oluşturarak değerini; Akay ve Atak [30], gri tahmin yöntemi ile 1970-2004 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Ediger ve Akar [54], ARIMA tahmin yöntemi ile 1950-2004 yılları arasındaki verileri kullanarak toplam enerjiyi; Sözen ve Arcaklıoğlu [37], yapay sinir ağları tahmin yöntemi ile 1968-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak toplam enerjiyi tahmin etmektedir. Solak [26], excelde regresyon tahmin yöntemi ile 1991-2011 yılları arası karayolu ve demiryolu enerji tüketim verilerini karşılaştırmış ve senaryolar oluşturarak taşımacılıkta karayollarının belirli payını demiryollarına aktarılmasıyla sağlanan enerji tasarrufunu belirlemede ve 2030 yılına kadarki ulaştırma enerji tüketim değerlerini hesaplamış; Hamzaçebi [35], yapay sinir ağları tahmin yöntemi ile 1970-2004 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Toksarı [55], ACO tahmin yöntemi ile 1979-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak toplam enerjiyi; Ünler [56], PSO tahmin yöntemi ile 1979-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak toplam enerjiyi; Kavaklıoğlu ve arkadaşları [40], yapay sinir ağları tahmin yöntemi ile 1975-2006 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Kaşıkçı [57]; 1990-2009 yılları arası ulaşımda enerji tüketimleri ve taşımacılık değerlerini kullanarak, çoklu regresyon ve yapay sinir ağları modeliyle gelecek için yük taşımacılığında boru hatları enerji tüketim

tahminlerini; Çınar ve arkadaşları [58]; genetik algoritma tahmin yöntemi ile 1970-2006 yılları arasındaki verileri kullanarak hidroelektrik enerjisini; Demirel ve arkadaşları [59], ANFIS tahmin yöntemi ile 1970-2005 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Küçükali ve Barış [34], bulanık mantık tahmin yöntemi ile 1980-2008 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Filik ve arkadaşları [60]; matematiksel model tahmin yöntemi ile 1982-2007 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Kavaklıoğlu [61], destek vektör regresyon modeli tahmin yöntemi ile 1975-2006 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Dilaver ve Hunt [62], yapısal zaman serileri tahmin yöntemi ile 1960-2008 yılları arasındaki verileri kullanarak elektrik enerjisini; Kıran ve arkadaşları [63]; hibrit model (PSO ve ACO) tahmin yöntemi ile 1979-2005 toplam enerjiyi; Es ve arkadaşları [64], çalışmalarında yapay sinir ağlarıyla 1970-2010 yılları verileriyle 2011-2025 yılları için Türkiye'nin net enerji değerlerini; Bayrak ve Esen [65], 1960-2011 yıllarını baz alarak yapay sinir ağları ile 2012-2020 yılları Türkiye'nin enerji talebini; Durgun [66] çalışmasında, Türkiye'nin 2023 elektrik enerjisi talebini bulmak için GSYH, nüfus, nem, sıcaklık, rüzgâr ve yağış değişkenlerinin 1980-2017 yılları değerlerinden yararlanarak bir model oluşturmuş ve modelde regresyon analizi ile yapay zekâ teknikleri kullanımı ile tahmin hesaplamaları yapmış, yaptığı tahminler sonucunda elektrik enerji tüketiminde en iyi sonuca MATLAB programı regresyon analizi ile ulaşmıştır. Bu çalışmalardan da görüleceği üzere, tahmin çalışmalarında özellikle enerji talebi tahmini çalışmalarında, çalışmayı yapan veya yapanlardan tarafından seçilen geçmiş veriler ile oluşturulan model yardımıyla gelecek tahmini yapılmaktadır.

Türkiye ulaştırma sektöründe enerji tüketimi, analizi ve talebi çalışmalarına baktığımızda;

Murat ve Ceylan [53] çalışmalarında; Türkiye'nin 1970-2001 yıllarındaki verileri kullanmışlar, bu verilerle 2002'den 2020 yılına kadar olan ulaştırma enerjisi talebini oluşturdukları yapay sinir ağları modeli ile tahmin etmişlerdir. Oluşturdukları yapay sinir ağı modelinde girdi değişkenleri olarak; gayri safi milli hâsıla, nüfus ve araç-km değerlerini kullanmış, farklı senaryolar sonucu ulaştırmada kullanılacak enerji talebi değerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Cansız [27] çalışmasında; ulaştırma sektörünü yük ve yolcu taşımacılığı açısından ayrı ayrı değerlendirmiş ve 1988-2005 yılları için enerji analizi yapmıştır. Çalışma sonucunda 2005 yılı için; yolcu taşımacılığı açısından karayolunda 1,13 MJ/yolcu-km, demiryolunda 0,51

MJ/yolcu-km, denizyolların 0,92 MJ/yolcu-km ve havayolunda 8,50 MJ/yolcu-km bulmuş, yük taşımacılığında ise karayolu için 1,69 MJ/ton-km, demiryolu için 1,02 MJ/ton-km, denizyolu için 1,83 MJ/ton-km ve havayolu için 59,52 MJ/ton-km olarak hesaplamıştır. Çalışma sonucu olarak en verimli türün demiryolları ulaştırma türü olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, geçmiş ve gelecek senaryoları ile türel değişim sonucu elde edilen enerji verimliliğini ve değişimlerini belirterek, yük taşımacılığında geçmiş en yüksek senaryolarında toplam bazda %36,78; yolcu taşımacılığında ise %33,67 oranında enerji verimliliği değerlerine, gelecek senaryolarında ise en yüksek verimlilik değerine toplam bazda yük taşımacılığında %5,58, yolcu taşımacılığında ise %3,77 oranında enerji verimliliği sonuçları elde etmiştir.

Kaşıkcı [57] çalışmasında; 1990 ile 2009 yılları arasında sadece ulaştırma sektörü yük taşımacılığı enerji analiz yaparak, boru hatları ulaştırma türünün yük taşımacılığında en verimli tür olduğunu bulmuştur. Ayrıca, ortalama enerji yoğunluğu olarak 58,35 MJ/ton-km ile en yüksek değeri havayolları ulaştırma sisteminde olduğunu, en düşük değeri ise 0,16 MJ/ton-km ile boru hatları ulaştırma sisteminde hesaplamıştır. Oluşturduğu gelecek senaryolarının sonucu olarak, en yüksek kümülatif olarak %0,29 oranında enerji verimini kazanım elde edileceğini göstermiştir.

Solak [26]; yaptığı çalışmada; 2030 yılına kadarki süreçte yük taşımacılığındaki talebin demiryollarına aktarılması durumuna dair; demiryollarının yük taşımacılığında payını sırası ile %10, %15 ve %20'ye çıkartılması ve demiryollarının payındaki bu artışı ise karayolları yük taşımacılık payının %69,5, %64,5 ve %59,5'e inmesi ile sağladığı durumlara yönelik senaryolar oluşturmuştur. Oluşturduğu senaryolarda, en yüksek kazanımı demiryolu payının %20'ye çıkarılması, karayolunun ise %59,5 'a indirilmesi sonucunda 10,27 mtep ile 11,82 mtep arasında enerji verimliliği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca 2011 yılı için yük taşımacılığında karayolu için enerji yoğunluğu değerini 0,0000253 TEP/ton-km, demiryolunun enerji yoğunluğu değerini ise 0,0000071 TEP/ton-km olarak bulmuştur.

Sönmez ve arkadaşları [67], yapay arı kolonisi algoritmasından yararlanarak Türkiye'nin ulaşım enerjisini tahmin etmeye yönelik doğrusal, üstel ve kuadratik olmak üzere üç matematiksel model oluşturmuşlardır. Modellerini GSYH, Taşıt-km ve Nüfus değişkenleri ile oluşturmuş ve eğitimi ile doğrulanmasında 1970-2013 yılları arasındaki verilerinden

faydalanarak 2014'den 2034 yılına kadarki ulaşım enerjisi talebi olabilecek iki farklı senaryo ile tahmin etmişlerdir.

Ceylan ve Bulkan [68] çalışmalarında; 1970 ile 2016 yılları arasındaki verilerden yararlanarak ANFIS-PSO modeli oluşturmuşlar ve bu model ile Türkiye'nin 2017-2023 yılları için ulaştırma kaynaklı enerji talep tahminini bulmuşlardır. Modelin girdi değişkenleri olarak GSYH, nüfus, yıllık toplam taşıt-km ve yıllık trafiğe çıkan taşıt sayısı kullanarak en iyi performanslı modele göre ulaşım sektörü enerji talebini bulmuşlardır. Türkiye'nin ulaşımındaki enerji talebinin 2023 yılında hesap yılına göre ortalama 1,2 kat daha fazla olacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Çodur ve Ünal [47] yaptıkları çalışmada, 2020, 2023, 2025 ve 2030 yılları ulaştırma enerjisi talebini tahmin etmek yapay sinir ağlarını kullandığı ve çeşitli değişkenler ile modeller oluşturduğu görülmektedir. Yapay sinir ağları girdi değişkenleri olarak 1975-2016 yılları arasındaki GSYH, petrol fiyatları, nüfus, taşıt-km, ton-km ve yolcu-km verilerinden yararlandığı ve en düşük hata modeline sahip yapay sinir ağları modelini petrol fiyatı, nüfus ve taşıt-km girdi değişkenlerinden oluşturduğu model ile elde etmişlerdir. En uygun yapay sinir ağları modeli sonucunda ulaştırma enerjisi talebini 2025 yılında 24,279 mtep, 2030 yılında ise 24,398 mtep bulmaktadırlar.

Yukarıdaki çalışmalardan da görüleceği üzere gelecek yıllara yönelik ulaştırma enerji talebi tahminlerinin yapıldığı çeşitli yaklaşımlar ve araştırmalar olduğu görülmüyorken, özellikle ulaştırma alt modlarının gelecek yıllarına yönelik enerji talebi tahminlerine dair çalışmaların çok az olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, bu tez kapsamında demiryollarının gelecek yıllar enerji talebi tahmininin yapılmış olması oldukça önemli olduğunu ifade etmek mümkündür. Çünkü ulaştırma sektörünün enerji verimliliğinin sağlanmasında ve ulaştırma sistemlerinin de etkin ve daha verimli bir olacak şekilde tasarlanması ile planlanmaların yapılabilmesi için enerji talep tahmin çalışmaları oldukça önemlidir.

Diğer taraftan; sürdürülebilirlik ve ulaştırma ile sürdürülebilir ulaşım planlamalarına yönelik daha önce yapılan çalışmalar aşağıda sunulmaktadır.

Richardson [69], kısıtlı kaynakların kullanımında sürdürebilir politikalar için ulaşım sistemlerinde bulunan sorunların çözümü sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin kullanımı

olması gerektiğini belirterek, buna yönelik öneriler sunmuş; Litman [70], sürdürülebilir ulaşımaya yönelik göstergeleri belirlemeye çalışmış ve bunu karayolunun kapasitesini artırma durumunda maliyet etkisini irdelemiştir. Plaut ve Shmueli [71]; İsrail, Hollanda ve İngiltere'yi sürdürülebilir ulaşım sistemleri noktasında birçok unsuru dikkate alarak değerlendirerek, İsrail için 2020 yılına kadar olan döneme dair planlama için önerileri belirtmiş, Long ve arkadaşları [72]; Çin için 1952 yılından 2012 yılına kadarki yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimini, CO₂ emisyonu ve ekonomik büyüme arasındaki bağı araştırmışlar. Ito [73] ise 2002 ile 2011 yılları için 42 gelişmiş ülkede panel veri analizi yöntemiyle CO₂ emisyonu, yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki bağlantıyı irdeleyerek yenilenemeyen enerji tüketiminde gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümesinin olumsuzluk oluşturduğu buna karşın yenilenebilir enerji tüketiminin uzun vadede ekonomik büyümeye olumlu yönde ve CO₂ emisyonlarında azalmaya katkısının olduğunu belirtmiştir.

Türkiye ulaştırma planlamasına yönelik ve sürdürülebilirlik ulaşımaya yönelik çalışmalara baktığımızda; Özen [74], ulaştırma sektörünün planlama yapılmasının faydaları ile uzun süreli planlamada yapılması gerekli olan öğelerini belirlemeye çalışmıştır, Çatalpınar [75], ulaşım politikalarında, planlamanın önemi için Türkiye'de 1963 öncesi ve 1963 sonrası yapılan çalışmaları irdeleyerek özetlemiş, Haldenbilen ve Ceylan [76]; şehirlerarasındaki ulaştırma talebini genetik algoritma yöntemiyle üç farklı şekilde modellemişler ve bu modelleri karşılaştırmışlar, Say ve Yücel [77]; 1970-2002 yılları arasını ele alarak enerji-karbondioksit arasındaki bağlantıyı regresyon analizi ile ortaya koymuş, Gürbüz [78]; 1980-2005 yılları arası yük ve yolcu taşımacılık değerlerini kullanarak, 2020 yılına kadar olan Türkiye için ulaştırmada yolcu ve yük durumunu yapay sinir ağları ile belirlemiş ve senaryolar oluşturarak ulaştırma talep durumunu belirlemiştir. Ayrıca; Ergün ve Atay Polat [79]; 1980-2010 yılları için OECD ülkelerinin elektrik tüketimi, CO₂ emisyonu ile ekonomik büyümesi arasında bağı tespit etmeye çalışmışlar ve yaptıkları modeller sonucunda 30 OECD ülkesi için CO₂ emisyonu, GSYH ve elektrik tüketimi arasında eşbütünleşme, GSYH ile CO₂ emisyonu arasında tek yönlü ve GSYH ile elektrik tüketimi arasında çift yönlü nedensellik bağı olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır, Bölük ve Mert [80] çalışmalarında; 1990-2008 yılları için 16 AB ülkesinde kişi başına sera gazı emisyonları ile reel GSYH ve toplam enerji tüketimi arasındaki bağı araştırmışlar ve oluşturulan model ile yenilenebilir geliştirmeler kişi başına düşen sera gazı emisyonlarını azalttığı çıkarımına ulaşmışlar, Akbulut [81], kentsel ulaşım faaliyetlerinden yola çıkarak, kentiçi ulaşım stratejilerinin

birlikte değerlendirerek, sürdürülebilirlik bağlamında kent içi ulaşım için oluşabilecek sorunlara ilişkin çözümler ve öneriler sunmuştur.

Özen ve Tüýdeş Yaman [82] yaptıkları çalışmada, karayolunda yük taşımacılığın sonucu oluşan emisyonların hesaplanmasında COPERT 4 programı kullanarak, 2000-2009 yıllarındaki emisyon değerlerini hesaplamışlar ve 2009 yılı için ulaşım sektörü emisyonlarında %25,9'ına denk gelen 12.076 kiloton CO₂ ürettiği sonucuna ulaşmışlardır.

Pekin [83]; ulaştırma sektörü sonucunda oluşan sera gazı emisyonlarını IPCC tarafından önerilmiş olan Tier tekniklerini uygulayarak bulmaya çalışmıştır. Çalışma sonucu olarak ise araç parklarındaki eski model araçların trafikten kaldırılması, daha az yakıt tüketiminde daha verimli olan araçların kullanılması, toplu taşımının kullanılmasının artırılması, karayolu dışındaki diğer farklı ulaştırma türlerinin kullanımının artırılmasının ve yakıt tüketimine göre yasal düzenlemelerin yapılmasının karayolu ulaştırma türü sonucu oluşan emisyonlarda dikkat çekecek boyutlarda iyileşmeler olacağı sonucuna ulaşmıştır.

Pabuçcu ve Bayramoğlu [46] yapmış oldukları çalışmada, AB-28 ülkeleri ve Türkiye'nin gelecek yılları için sera gazı salınımını tahmin etmek için beşer yıllık veri değerlerinden yararlandıkları görülmektedir. Tahminlerinde; 1990-2030 yılları arasındaki nüfus, GSYH, enerji üretimi ve tüketimi, ulaşım için enerji kullanımı ve sera gazı salınım değerlerini girdi olarak kullanılması ile yapay sinir ağı modeli (YSA) oluşturmuşlar ve oluşturdukları model sonucu olarak Türkiye'nin 2020, 2025 ve 2030 yılları için CO₂ eş değeri salınım miktarlarını sırası ile 740,33 milyon ton, 1 039,32 milyon ton ve 1 244,13 milyon ton bulmuşlardır.

Türkiye'de ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyon değerlerini bulmada çalışmaların sınırlı olduğu düşünüldüğünde, tez kapsamında gelecek yıllar için ulaştırma sektörü kaynaklı sera gazı emisyonunun tahmin edilmesi oldukça önemli olduğu görülmektedir.

3. KAVRAMLAR, TANIMLAR VE GENEL BİLGİLER

Tezin bu bölümünde tez konusunu kapsayan ve çalışmada dikkate alınan kavramlar ve tanımlar hakkında bilgiler sunularak, tezin diğer bölümleri hakkında belirtilecek hususlara dair fikir edinilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bu itibarla; ilk olarak yapay zekâ kavramı ve teknikleri ile ilgili bilgiler verilmiş, ardından yapay zekâ tekniklerinden tez kapsamında bulunan yapay sinir ağları ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Bilgi sunulurken tez için kullanılan işlem adımları ile izlenen yöntemlere dair açıklamalarda bulunulmuştur.

3.1. Yapay Zekâ

Günümüz dünyasında bilgisayarlar ve buna yönelik gelişmeler; teknolojinin artması ile birlikte hızla değişmeye devam etmekte ve insanların kullanımlarına, ihtiyaçlarına ve karşılaştıkları sorunlara yönelik yeni çözümler üretmektedir. Bilindiği üzere, bilgisayarların genel olarak tüm kullanım alanlarındaki ana amaçları, yapılacak olan işlemlerin hem hızlı sonuçlandırılması hem de hatasız ve eksiksiz olarak yapılmasını gerçekleştirme beklentisidir. Bunu sağlamak için ise mevcut ve oluşturulacak verilerin, bilgisayarın anlayabileceği ya da bir başka ifade ile bilgisayara uygun olacak şekilde girilmesi ile bu verilerin bilgisayarda işlenmesi gerekmektedir. Verilerin, doğru ve uygun biçimde bilgisayara girilmesi ve işlenmesi neticesinde, elde edilmek istenilen sonuçları istenilen şekilde kullanıcılara tanıtması, sunması ve çıktı olarak vermesi; bilgisayarların genel amaçları olan hızlı sonuçlandırma ve eksiksiz olarak gerçekleştirilmesi için yeterli bir durumdur. Bilgisayar giriş birimleri ile verilerin işlenmesi eski süreçlerde yalnızca verilerin nasıl işleneceğini ele alan komut sistemlerinden oluşan programlar ile oluyorken, günümüzde artık komutları sesli ve farklı içerikler ile de bilgisayarlara aktarabilmek mümkün ve işlem yapılabilmesi için girilebilmesi kolaydır [84].

Son yüzyıllarda bilgisayar ve yazılım bilimlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler, çok hızlı bir şekilde gelişmekte ve ilerlemekte olduğu görülen bir gerçektir. Bu durumun sonucu olarak; insanoğlunun düşünce sınırları genişlemiş, daha önce düşünemeyeceği çok farklı olabilecek gelişmelerin ortaya çıktığını görmesine neden olmuştur. Bu gelişmeler içinde en önemlilerinden birisinin “yapay zekâ” olduğunu ifade etmek mümkündür. Bilimsel olarak; yapay zekâ diye isimlendirilen bu tekniklerde, genel olarak insanlara ait olan düşünmek,

anlayabilmek, öğrenebilmek ve yorumlayabilmek gibi yeteneklerin; programlama, yazılım ve algoritmalar yardımıyla taklit edilerek karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılmasıdır [85].

Yapay zekâ kavramı çıkışının, bilgisayarların hayatımızda yer edinmesine dayandığını hatta bununla neredeyse eş zamanlı olarak ortaya çıktığını öncelikle belirtmek gerekmektedir. Çünkü çok eski yıllardan beri başlayan, gerçekleştirilen işleri mekanik olarak yapma arzusu ve otomatikleştirme düşüncesi yapay zekâ kavramının ortaya çıkmasına, bu düşüncenin yerleşmesine neden olmuştur. Diğer taraftan; yapay zekâ kavramını bulan ve fikri olarak ilk çıkış noktasını hazırlayan “Makineler düşünebilir mi?” sorusunu soran Alan Mathison Turing adlı bilim insanıdır [84]. Ancak, yapay zekâ terim olarak ilk defa 1956 yılında Hanover, New Hampshire Dartmouth College’da yapılan bir konferansta ifade edilerek, topluma sunulmuştur [86, 87].

Bununla birlikte; yapay zekâ kavramını tanımlamadan önce, ilk olarak zekâ kavramının anlamını araştırmak ve açıklamak gereklidir. Bunun için, zekâ kelimesinin sözlük anlamına bakıldığında Türk Dil Kurumu tarafından “İnsanın düşünme, akıl yürütme, objektif gerçekleri algılama, yargılama ve sonuç çıkarma yeteneklerinin tamamı” olarak tanım bilgisinin bulunduğu görülmektedir [88]. Zekânın tanımı sonrasında; yapay zekâ kavramsal olarak ifade edilirse, herhangi bir probleme yönelik ya da aranılan cevaba dair olası çözümlerin kapsamlı ve hızlı olacak şekilde araştırılması, bunu yaparken de kullanılan aşamalar arasında oluşan yeni bağları ve ilişkileri anlayabilme kapasitesidir. Ayrıca, yapay zekâ; yeni bir mekanizmayı veya kuralı keşfetme ya da bir tahmin yürütme ile ilgili faaliyetler olarak da tanımını yapmak mümkündür [89]. Bir başka ifadeyle ise beynin bilgiyi alarak, hızlı ve doğru olarak analiz etmesi yaklaşımının bir makinenin yapmasına yönelik teknikler ile işlemler bütünüdür [89].

Diğer taraftan; biyologlar, zekâyı çevreye uyum yeteneği olarak görür iken, eğitimciler öğrenme, psikologlar ilişkileri anlama, bilgisayarlılar ise bilgiyi işleme yeteneği olarak değerlendirmektedirler [89].

Yukarıdaki tanımlardan yola çıkılarak; yapay zekâ kavramına ilişkin, insan gibi düşünen sistemler ya da akıllı bir organizma gibi davranan düzenekler veya mekanizmalar olarak nitelendirilebilir. Bu tanımlama daha geniş olarak açıklanırsa; insanlardaki zekâyla ilgili

fonksiyonların, bilgisayarlar veya çeşitli sistemlerin yardımı ile modeller oluşturularak karşılaşılan durumlara yönelik çeşitli araştırmalar yapılması ile elde edilen bulguların analizinin yapılmasını ve belirli ilkeler çerçevesinde değerlendirilmesine yönelik belirli kurallar dâhilinde dikkate alınması sonucu bir sınıflandırma yapılabilmesini sağlayan ve bunu da yapay olan sistemlerde uygulamayı amaç edinen bir bilim alanıdır [90]. Diğer farklı bir tanımlama ile yapay zekâ, bir bilgisayar ya da benzeri mekanizmanın veya kontrol edilen bir robotun alışlagelmiş bir irade gösteren zeki canlı gibi davranabilme yetisidir [91].

Yapay zekâ çalışmalarının çok çeşitli amaçları bulunmaktadır. Bu amaçların temelini; insan zekâsını örnek almayı amaç edinen ve insan zekâsı gerektirebilecek işler ile bu görevleri yapabilecek mekanizmalar, bilgisayarlar veya makinaların yapılmasını sağlamak oluşturmaktadır. Yani, insanların doğru ve düzgün bir biçimde yaptığı iş ve işlemleri yapay zekâ sistemi sonrasında, mekanizmalarında insanlar gibi benzer bir şekilde yapmasını ya da daha doğru olacak şekilde veya kabul edilebilir ölçülerde yapmasını sağlamaktır [84]. Ancak unutulmamalıdır ki, insanların bazı yaptıkları işlemleri içgüdüsel olarak yapabilme yeteneği ve bazı durumların çözümlerine yönelik yaklaşımları hissedebilirler veya duyguları ile sezinleyebilirler ve hatta birbiriyle bağlantılı olamayan farklı yapıların birbirleri ile olan bağlantılarını dahi açıklayabilir ve ayırt edebilirler [92]. Bu itibarla; yapay zekânın amaçlarını üç ana başlık altında sıralayabiliriz. Bunlar [84];

- Makinaları daha akıllı hale getirmek
- Makinaları daha faydalı hale getirmek
- İnsan zekâsının anlamaya çalışmak ve çözmek

Yukarıdaki üç ana amaç için yapay zekâ sistemleri ve programlamaları gün geçtikçe gelişmekte ve sorunların çözümüne yönelik değişimler yaşamaktadır. İnsan zekâsı ve makine uygulamaları ya da bilgisayar işlemleri arasında farklar bulunmaktadır. Bunlar arasında bulunan temel farkları ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

- Bilgisayarlar belirli bir düzen ve giriş yapılan sınırlı verilere bağlı olarak algılama yaparlar.
- Yapay zekâ algoritmaların araştırma sonucu uygun olanı seçerken, insan zekâsı bilgiyi kalıplara sokarak durumu değerlendirir [84].
- İnsanlar, eldeki verilerin belirli kısmının eksik veya hatalı olmasında dahi bile, bütünüyle doğru sonuca ulaşabilirken, makineler eksik bilgi veya hatalı bilgiler ile doğru sonuca ulaşması mümkün değildir.

Geliştirilen bir yapının veya sistemin yapay zeki sistemler içerisinde olup olmadığını anlayabilmek için bazı testler ve denemeler geliştirilmiştir. Bunların en çok bilinenleri Turing ve Çin Odası testleridir [85].

Turing testi yapılışı; bir kişi klavye ile bir insana ve bir zeki makineye soru sormasından oluşmaktadır. Test sırasında soru soran sorgulayıcı ve sorulara cevap veren insan bulunmaktadır. Her iki tarafta birbirlerini görmemekte, aralarındaki bağlantı sadece bilgisayar yoluyla sağlanmaktadır. Eğer sorgulayıcı, karşı tarafın sorduğu soruların kimin tarafından sorulduğunu yani soruları soranın insan mı yoksa makine mi olduğunu ayırt edemiyorsa, turing testi sonucuna ulaşılmış olur ve makinenin ya da bilgisayarın zeki olduğu kabul edilir.

3.2. Yapay Zekânın Gelişimi

1950'lerden itibaren Mathison Turing adlı bilim insanı, bilgisayarların insanlar gibi cevap verip veremeyeceğini test etmiştir [84]. Bu yüzden, yapay zekânın başlangıcını 1950'ler kabul edilmesi gerekmektedir. 1960 yıllarına gelindiğinde ise yapay sinir ağlarının ortaya çıkmış olduğu görülmektedir. Makine öğrenmesinin kullanımının ise 1990'lı yıllarda olduğu görülmektedir. 2006 yılına gelindiğinde ise derin öğrenme kavramının ortaya çıktığı ve bunun üzerine yapılan çalışmaların arttığını gözlenilmektedir. Derin öğrenmenin ilk uygulamasının ise 2012 yılında gerçekleştiği görülmektedir [93]. 2012 yılı sonrasında ise yapay zekânın gelişimi; teknolojinin değişmesi ve gelişmesi ile artarak devam ettiği ve daha karmaşık problemlere yönelik çözümler ve yaklaşımların sunduğu görülmektedir.

3.2.1. Yapay sinir ağları

Karmaşık durumlara dair ve zor problemlerin çözümü, günümüzde gelişen teknolojilerle ve gelişmiş bilgisayarlarla daha basit duruma gelmiştir. Farklı geliştirilen yöntemler ve algoritmaların kullanılması ile hem hızlı hem de daha doğruya yakın çözümler üretilmesi sağlanmıştır. Bu kullanılan metotlardan birisi de yapay sinir ağları yaklaşımıdır. Bu metotta temel olarak biyolojik sinir hücrelerinin çalışma prensibi dikkate alınmakta ve yapay sinir hücreleri arasında bağlar kurularak, problemin çözümüne dair yaklaşımın öğrenilmesini amaç edinilmektedir. Bu yöntem ile öğrenilen durumlara göre karşılaşılan probleme dair uygun sonuçlar verebilme olanağı sağlanmaktadır.

Yapay sinir ağıları üzerine ilk çalışma 1943 yılına dayanmakta olup, nörofizikçi McCulloch ve matematikçi Pitts tarafından yapılmış, yıllar geçtikçe yeni teknikler ve uygulama alanları geliştirilerek, yapay sinir ağıları bugünkü halini almıştır [94].

Yapay sinir ağıları farklı problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Bunlar; sınıflandırma, kümeleme, tahmin, fonksiyon yaklaşımı ve optimizasyon vb. olarak sıralanabilir. Yapay sinir ağıları; dalgalı olan bağlantıları, mevcut verilerin eğitilmesi ile geleceğe dair tahminleri, genelleme yapabilme yeteneğinin olması, belirli ilkelere göre uyarlayabilme özellikleri ve yanılma payının farklı yöntemlere göre daha az olması ile hızlı çözümler üretmesinden dolayı oldukça güçlü bir teknik ve diğer kullanımı mümkün olan farklı yöntemlere göre daha uygundur.

Yapay sinir ağıları genel yaklaşımı

Düşünme özelliği ve zekâ; beyin ile merkezi sinir sisteminin görevleri arasında bulunmaktadır. Beyinde oluşacak hasarlar birçok kişide öğrenmeye ve çevreye uyumlu olma noktasında çeşitli sorunlar yaşamasında neden olduğu görülmüştür [95].

Sinir sistemi, nöron adı verilen sinir hücrelerinden oluşmakta ve insan vücudunda 10^{11} nöron bulunmaktadır [96]. Nöronlar sadece beyinde bulunmamakla birlikte, sinir sistemi üzerindeki vücudun her yerinde yer almaktadır. Nöronların gruplar halinde çalışması nedeniyle bir ağ yapısı oluşturarak çalıştığı gözlemlenebilir. Bu ağ yapılarında yer alan her nöronun giriş kısmı olan dendritleri, çıkış kısmı olan aksonları ve bağlantıları ile hücre çekirdeği bulunmaktadır [94]. Nöronlar diğer nöronlardan gelen sinyalleri bağlantılar ile giriş kısmına alarak; hücre çekirdeğine iletmektedir. Hücre çekirdeğindeki sinyaller birbirleriyle etkileşim oluşturarak belirli bir seviyeye ulaşır, eğer ulaşılan seviye eşik değerini aşar ise çıkış kısmına sinyal gönderilir ve sinir etkin duruma gelir. Ancak ulaşılan seviye eşik değeri aşamazsa, çıkış kısmına sinyal gönderemez. Beyin çalışma prensibi ana hat olarak bu şekilde olup, bu çalışma prensibi oldukça başarılı bir performans sergilemektedir. Yapay sinir ağıları da bu çalışma prensibini temel alan ve insan beyninin sinir ağlarını taklit ederek sonuca ulaşmayı amaçlayan bir çeşit bilgisayar programlarıdır.

Yapay sinir ağıları; insandaki sinir hücreleri gibi simüle edilmiş nöronlar içermekte ve bu nöronlar çeşitli biçimlerde birbirlerine bağlanarak sinir ağını oluşturmaktadır. Bu ağlar hem

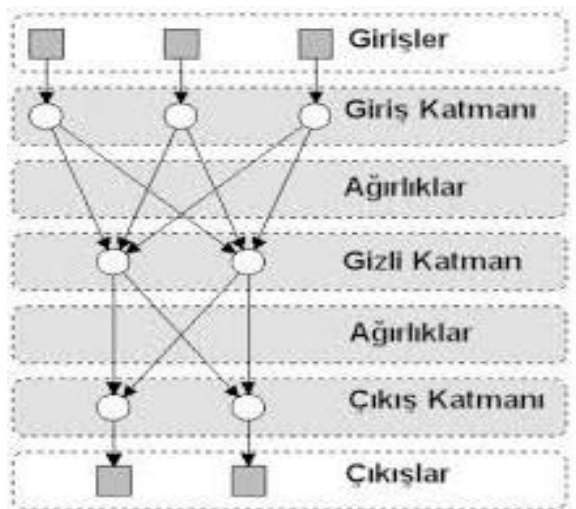
genelleme yaparak hem de veriler arası bağlantıyı ortaya çıkararak işlem yapmaktadırlar. Diğer taraftan; yapay sinir ağları insan beyninin özellikleri arasında yer alan öğrenme yolu ile yeni bilgileri türetmekte ve yeni bilgiler oluşturabilmektedir. Bunu da doğrudan yapabilmek ve gerçekleştirebilmek amacıyla ortaya çıkarak geliştirilmişlerdir. Bu özellikleri ile de geleneksel programlama yöntemlerinden ayrılmış olup; programlanması çok daha zor ve karmaşık olan durumlar için geliştirilmiş bilgi işleme sistemleri olarak günümüzde de yerini almıştır [97]. Çizelge 3.1’de yukarıdaki anlatılan durumun bir arada görülmesi için hazırlanılmış ve sinir sistemi elemanları ile yapay sinir ağları (YSA) sistemi bileşenleri arasındaki benzerlik ve karşılıklarının ne olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Sinir sistemi ile YSA yapısının benzerlikleri [98]

Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağları Sistemi
Nöron	İşlem Elemanı
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi (Çekirdek)	Aktivasyon Fonksiyonu
Aksonlar	Eleman Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Yapay sinir ağlarının ve yapay sinir hücrelerinin genel yapısı

Yapay sinir ağları yapı olarak üç katmandan oluşmakta olup, bu katmanlar sırası ile giriş katmanı, ara (gizli) katman ve çıkış katmanıdır. Şekil 3.1. ‘de yapay sinir ağının genel yapısı gösterilmektedir.



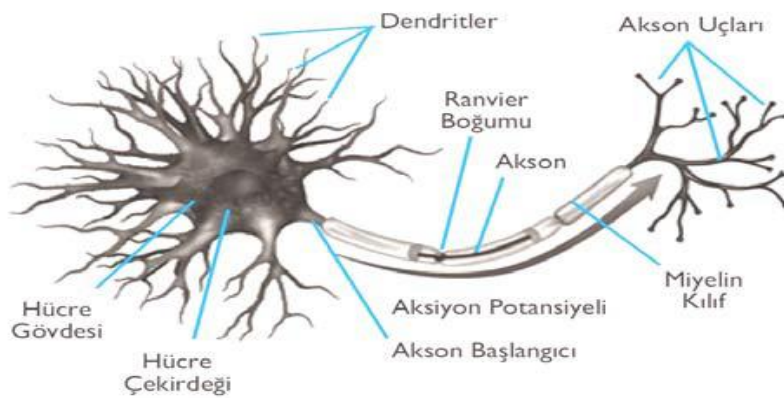
Şekil 3.1. YSA'nın temel yapısı [98, 99]

Girdi katmanı; gelen verilerin alındığı katman olup, girdi katmanı olarak tanımlanmaktadır. Bu katmana gelen verilerin ara katmana aktarılma işlemi gerçekleştirilmektedir.

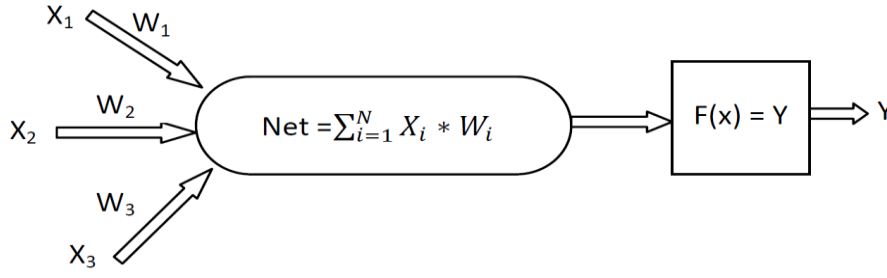
Ara katman; bu katman gizli katman olarak da bilinmektedir ve girdi katmanından gelen verilerin işlenmesi gerçekleştirilmektedir. Uygun bir fonksiyon ile işlenen veriler, çıktı katmanına gönderilmektedir. Bir YSA'da birden daha fazla ara katman bulunabilmektedir [100]. Gizli katmandaki tabaka sayısı ve buradaki nöron sayısı çözülecek probleme göre değişim göstermektedir.

Çıktı katmanı; ağın en uç kısmında bulunan katman olup, ara katmandan almış olduğu bilgileri işleyerek, probleme yönelik çıktı sonucunu verir. Bu tabakadan elde edilen değerler YSA'daki probleme yönelik çıkan sonuç değerleridir [99].

Bunun yanı sıra, yapay sinir hücresinin bileşeninde beş işlem ögesi bulunmaktadır. Bunlar; girdi verileri, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı verileridir [94]. Yapay sinir ağının bu ögeler ile işleyişi ise; girdi verilerinin giriş katmana gelmesi ile ağırlıklarla birleşir ve birleştirme fonksiyonu işleviyle aktivasyon fonksiyonuna gönderilerek, buradan geçen veriler sonuç ya da çıktı verileri olarak alınırlar. Resim 3.1 'de ise bir sinir hücresinin bileşenleri gösterilmektedir. Şekil 3.2'de yapay sinir hücresinin bileşenine dair beş işlem ögesi gösterilmektedir.



Resim 3.1. Sinir hücresinin yapısı [101]



Şekil 3.2. Yapay sinir hücresinin yapısı [102]

Şekil 3.2.'de bulunan simgeler ve isimlendirmelerin tanımları aşağıdaki gibidir. Burada;

X ; girdiler olup, nöronlara gelen verilerdir. (Şekil 3.2'de X_1 , X_2 ve X_3 olmak üzere toplam 3 girdi verisi bulunmaktadır.)

W ; ağırlıklar olup, nöronlar arasında bağlantıların matematiksel ifade edilen katsayı değerleridir. Her X değeri için ağırlık hesabı yapılmaktadır ve her bir girdi değerinin kendine özel olan bir ağırlığı vardır. YSA'ya tanıtılan veriler arttıkça ve değiştikçe ağırlık değerleri de değişecektir.

Net ; bu terim birleştirme fonksiyonu olarak da tanımlanmakta olup; yapay sinir hücresine gelen girdilerin ağırlıklar ile çarpılarak burada toplanması işlemi sonucu, sinir hücrenin net girdisini hesaplamaktadır. Yapay sinir ağı hücrelerinin her zaman ve her koşulda toplama fonksiyonları ile aynı olması zorunlu olmamakla birlikte, her sinir hücresi diğerlerinden farklı çeşitli birleştirme fonksiyonuna sahip olabilmektedir. Örneğin; yapay sinir hücresine gelen girdilerin ağırlıklar ile çarpılarak bulunan değerler de birbirleri ile çarpılması fonksiyonuna çarpım fonksiyonu denilmektedir.

$F(x)$; aktivasyon fonksiyonu olarak tanımlanmakta olup, sinir hücresine gelen net girdiyi işleyerek, bu girdinin sonucunda çıktı değerini belirler.

Y ; hücrenin çıktısı olarak tanımlanmakta olup, aktivasyon fonksiyonu sonrasında çıkan değeri ifade etmektedir.

YSA işlem elemanları- aktivasyon fonksiyonu

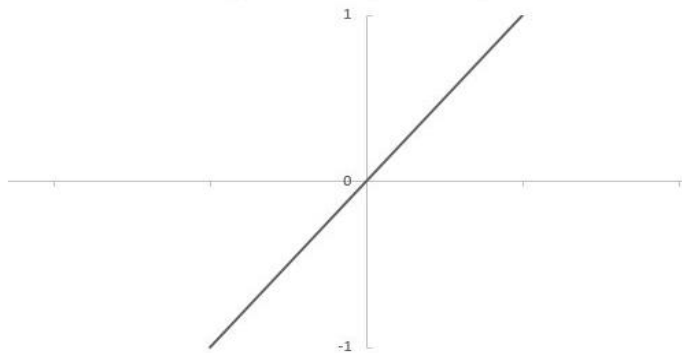
Aktivasyon fonksiyonlarına transfer fonksiyonları da denilmektedir. Birleştirme fonksiyonu sonucu ile sağlanan net girdiyi belirli bir işlemde geçirerek, çıktıyı belirlemek bu fonksiyonun yaptığı işlemler ile gerçekleştirilmektedir. Çeşitli aktivasyon fonksiyonları bulunmakla birlikte, en doğru sonuca ulaşabilmek için seçilecek olan aktivasyon fonksiyonunda deneme yanılma ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile en doğruya yakın olduğu düşünülen aktivasyon fonksiyonu seçilmelidir. Denemeler, tamamıyla kullanıcının tecrübesine göre farklı yollarda ve yöntemlerle olabilmektedir. Bu noktada önemli olan husus, diğer tercihlere göre en doğru olabilecek sonuca ulaşmaktır.

YSA mimarilerinde kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları bulunmakta olup, en çok kullanılanlar ise aşağıda belirtilmiştir [94]:

- Doğrusal aktivasyon fonksiyonu
- Sigmoid aktivasyon fonksiyonu
- Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonları yukarıdaki üç tane çok kullanılmakla birlikte farklı çeşitleri de bulunmaktadır. Diğer kullanılan transfer fonksiyonlarını ise adım, eşik, hiperbolik vb. fonksiyonlardır [103].

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu; doğrusal aktivasyon fonksiyonunu tanımlarsak, yapay sinir ağı hücresinde hesaplanan net giriş değeri, hücrenin çıkış değeri olarak kabul edilmektedir [104]. Şekil 3.3’de doğrusal aktivasyon fonksiyonu grafiği gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu [94]

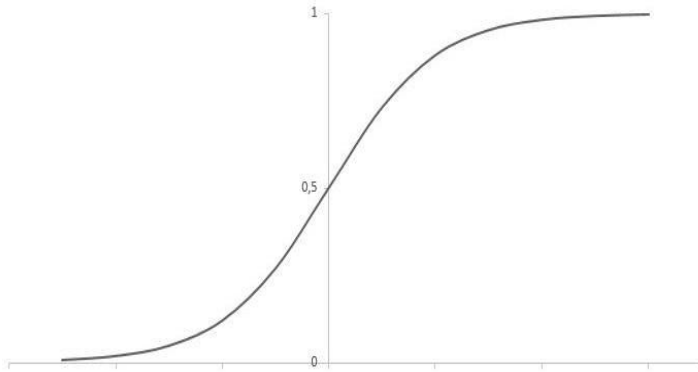
Doğrusal aktivasyon fonksiyonunu matematiksel olarak ifade etmek istersek $y=kx$ şeklinde tanımlamak mümkündür. Burada, k sabit bir sayıyı ifade etmektedir. Ayrıca, birleştirme fonksiyonu;

$$F(\text{Net}) = \text{Net} \quad (3.1)$$

şeklindedir.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu; sigmoid aktivasyon fonksiyonu 0 ile 1 arasında değerler üretmektedir [105]. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olmasından dolayı uygulamada en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur [106]. Aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir. Şekil 3.4’de sigmoid aktivasyon fonksiyonu gösterilmektedir.

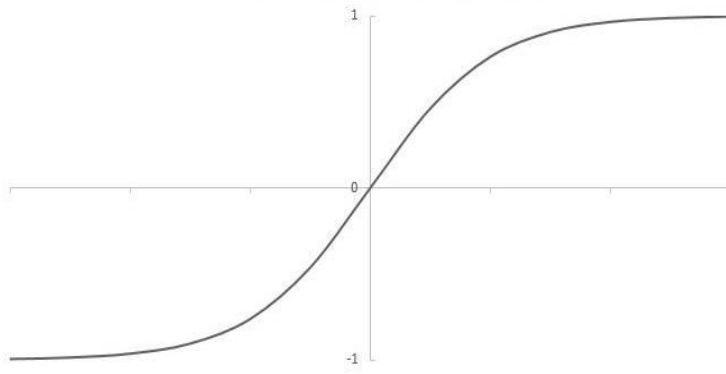
$$F(\text{Net}) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.2)$$



Şekil 3.4. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu [94]

Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu; bu aktivasyon fonksiyonu sigmoid aktivasyon fonksiyonunun farklı bir çeşidi olarak tanımlanmaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunda çıktı değerinden farklı olarak negatif değerler de üretilmektedir. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonunda çıktı değerleri -1 ile 1 arasındadır [105]. Aşağıdaki Eş. 3.3 ile ifade edilmektedir. Şekil 3.5’de tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu gösterilmektedir.

$$F(\text{Net}) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (3.3)$$



Şekil 3.5. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu [94]

YSA kullanım alanları

Yapay sinir ağları neredeyse tüm disiplin ve bilim alanlarında kullanılabilmesi mümkündür. Mühendislik, fen, matematik, tıp, işletme, finans vb. gibi çok çeşitli alanlarda işlemin ve tahminin girdiği hemen her alanda YSA yardımıyla çözülmüş problemler bulunmakta, karşılaşılan karmaşık ve zor olan sorunlar aşılmaktadır. YSA 'nın kullanım alanları aşağıda genel olarak verilmektedir [94].

Sınıflandırma; YSA mevcut durumdaki bir sınıflandırmayı kullanarak, gelecek verilerin sınıfının bulunmasını sağlamaktadır.

Tahmin; YSA kullanımının en çok olduğu alan bu olduğu söylenebilir; doğrusal bir bağlantıda olmayan değişkenlerin geçmişteki verilerinden bir yöntem elde ederek, gelecek veriler hakkında kuram üreterek tahmin yapılmasını sağlamaktadır.

Desen tanıma; hatalı ya da kayıp figürlerin YSA'ya tanıtılarak, bunları karşılaştırılması ile eksik ya da hatalı desenin düzgün ve doğru halinin elde edilmesi sağlamaktadır. Bu yöntemle yüz tanıma ve retina tanıma gibi işlemler de benzer metotlardandır.

Fonksiyon yaklaşımı; matematiksel olarak ifade edilemeyen birçok hesaplama modeli bulunmaktadır. Diğer bir ifade ile girdi verileri ve çıktı verileri belirli olmasına karşın, bu ikisi arasındaki fonksiyonun bilinmediği durumlara dair; giriş verilerine karşılık gelen benzer çıkış verilerini üretme amacı YSA ile fonksiyon yaklaşımıyla sağlanabilmektedir.

Optimizasyon; çeşitli değişkenler ve karmaşık bağlantılar nedeni ile matematiksel veriler ile bir formülasyon elde edilemeyecek yapılarda dahi YSA ile optimizasyonu sağlanabilmektedir.

YSA'nın özellikleri

YSA doğrusal olmayan, dalgalı, karmaşık problemlerin çözümüne ilişkin daha az hata toleransına sahip sonuçlar ve çözümler üretebilmektedir.

YSA, mevcut problemin çözümüne dair eldeki verileri kullanmakta ve bu veriler ile işlem içindeki gizli olan bağlantıları ve durumları ortaya çıkarmaktadır [68]. Buna, ağıın fonksiyonu öğrenmesi işlemi de denilmektedir. Öğrenme işleminde olan işlemler, YSA oluşturulurken hücrelerin arasında bulunan ve bu kısımda kullanılacak olan ağırlıkların bulunmasıdır.

YSA, öğrenme sonucunda yeni verilerin sonucu için de anlamlı çıktılar ve doğruya yakın sonuçlar üretebilmektedir. Bu özelliğine ise genelleştirme yeteneği olarak ifade edilmektedir [68].

YSA, öğrenme işlevini gerçekleştirirken giriş verilerinden farklı olarak yeni veriler için de makul sonuçlar bulabilmektedir.

Ağıın eğitiminde kullanılan verilerin bazılarında hatalar olması durumunda; hataların etkilerini veri kümesinin tüm bağlantılarına dağıtması nedeniyle, hata oranını en aza indirerek hatanın kabul edilebilir seviye getirilmesini sağlar. Bu özelliği sayesinde YSA'ların hata toleransı, diğer başka yöntemlere göre de daha fazla olmasını sağlamaktadır. Bu yüzden; eksik, hatalı veriler ve bulunamayan bilgilerle de çalışması mümkündür.

YSA, hızlı bir biçimde bilgileri işleme özelliği bulunmaktadır. Bu durum işlem çözümüne yönelik kolaylık sağlamaktadır.

YSA'nın çalışma prensibi her daim sayısal bilgiler ile olmaktadır, bu yüzden problemlerin sayılarla betimlemek kaçınılmazdır. Bu, YSA'nın bazen çözüme ve kullanım alanına dair dezavantajlar oluşturabilmektedir.

YSA'nın oluşumunda kullanılan değişkenlerin belirlenmesi için belirli ilkeler ve kurallar bulunmadığından; değişkenlerin belirlenmesi kullanıcılara göre farklı olmakta, kullanıcının

izlediği yola göre değişkenlik göstermekte ve deneme yanılma ile en uygun çözüm bulunmaktadır. YSA; her değişkene göre bulduğu sonucu değiştirmekte olduğundan, her uygulanan işlem için farklı inceleme yapılması gerekmektedir.

YSA, problemin çözümü öncesinde herhangi bir belirli olan çıkarımda bulunmayarak, bir matematiksel modele gereksinim duymadan işlemleri yapabilmektedir [94].

YSA öğrenme türleri

YSA’da üç farklı öğrenme türü bulunmaktadır. Bunlar; eğitilmiş öğrenme, eğitimsiz öğrenme ve yarı eğitilmiş öğrenmedir [94]. Ayrıca YSA ‘da çok çeşitli öğrenme kuralları bulunmaktadır. Bu kurallardan en çok kullanılanları Hebb kuralı, Hopfield kuralı, Kohonen kuralı, delta kuralı, Levenberg-Marquardt algoritması ve geri yayılım algoritmasıdır [95].

Eğitilmiş öğrenme; denetimli öğrenme olarak da ifade edilmekte olup, mevcut çıktılarla ağ sonucu sağlanan çıktı değerlerinin karşılaştırılması sonucu hata toleransına göre en az düzeye ya da istenilen hata payına gelinceye kadar deneme yanılma işlemini yapar. İstenilen sonuca yaklaşan değerleri elde etmeye başlayan yapay sinir ağı sistemi öğrenmeyi bırakır. YSA’da öğrenme gerçekleştikten girdi değerlerinin ağırlık katsayıları değişmez. Ağı test etmek için ise; eğitimde kullanılmamış veriler ağı giriş yapılarak eğitimde kullanılmamış çıktı değerleri ile karşılaştırma yapılır [94]. Bu şekilde ağın performansı ve çözümün doğruluğu da ölçülmüş olur. Eğitimin istenilen düzeye gelmesi için gizli katman sayısı nöron sayısı değiştirilerek yapılan yeni ağların performansı ile mevcut ağdaki performansın durumu karşılaştırılabilir. Bu şekilde en verimli ve en hata payı az olan ağ seçimi gerçekleştirilmiş olur.

Eğitimsiz öğrenme; denetimsiz öğrenme olarak da ifade edilmekte olup, oluşturulan yapay sinir ağına eğitilmiş öğrenme verilerinden farklı verileri girişi yapılmaz, böylece sadece girdi değerleri ile ağın eğitimi gerçekleştirilmiş olur [94]. Buna göre de ağırlıklar belirlenmiş olur.

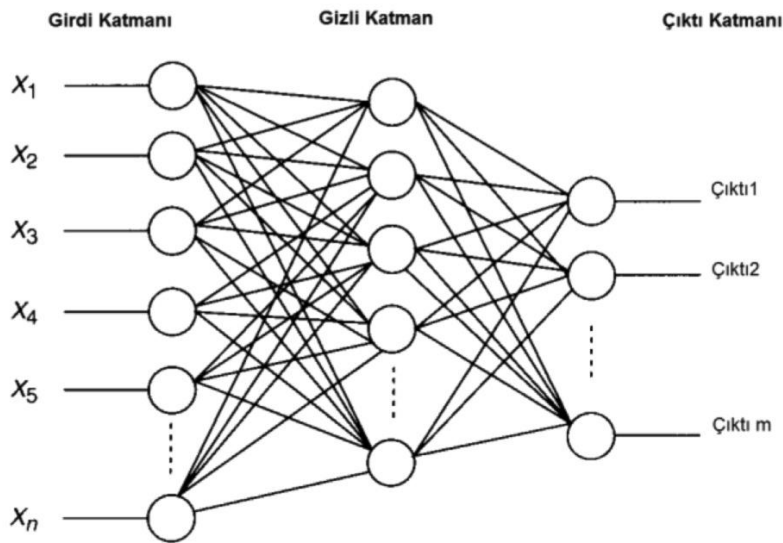
Yarı eğitilmiş öğrenme; bu öğrenme türünde yapay sinir ağına giriş değerleri verilir ama ağın eğitimi dışındaki çıktı değerlerine göre bir karşılaştırma ve performansının ölçülmesi işlemi yapılmaz.

YSA ağ yapıları

YSA ağ yapısına göre ikiye ayrılmakta olup, bunlar ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağlarıdır [94]. Bunların temel farkı mevcut veriler ileri beslemeli yapay sinir ağlarında sonraki katmana iletilirken, geri beslemeli yapay sinir ağlarında veriler sonraki katmana iletebileceği gibi önceki katmanlara da iletebilmektedir. Diğer taraftan ileri beslemeli yapay sinir ağlarında gecikme olmadığından geri beslemeli yapay sinir ağlarına göre daha hızlı çözüme ulaşmaktadır.

YSA'nın katmanları

Tek bir sinir katmanına sahip olan tek katmanlı ve birden çok sinir hücresinin birlikte olması ile ortaya çıkan çok tabakalı ve çok hücreli yapay sinir ağı olan çok katmanlı olmak üzere iki grup bulunmaktadır. Şekil 3.6'da çok katmanlı ileri beslemeli YSA örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA örneği [107]

YSA için yazılımlar

YSA'lar için çok çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bunlar teknolojinin gelişmesi ile artmaya, kullanıcıların daha rahat sonuca ulaşması için kolaylıklar sağlamaya devam etmektedir. Çizelge 3.2'de kullanılan yazılımlardan bazıları gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Bazı YSA yazılımları [94]

Ücretsiz Yazılımlar	Ücretli Yazılımlar
NeuraShell	STATISTICA: Neural Network
PDP++Software	NeuroForeCaster/GENETICA
Fann Tool	NeuroSolutions
MUME	BrainMaker
NNSYSID	Braincel
SNNS	NeuroLab
DartNet	MatLab: Neural Network Toolbox

Yazılımların YSA için sadece yapılacak işlemleri hızlandıran ve kolaylaştıran bir ara program olduğu unutulmamalı, problemin çözümüne başlanmadan çok önce yapay sinir ağı modelinin tasarlanmış, eğitim ve test veri kümelerinin oluşturularak, ilgili parametreler ile yapılması gereken planlama yapılmış olması gerekmektedir.

Bu tez kapsamının belirli kısımlarında gelecek tahmini için YSA kullanılmıştır. YSA kullanımının seçimi, literatür araştırmalarında da belirtildiği gibi yüksek performans oranı, model kurma kolaylığı, karmaşık ve problemlere anlamlı çözümler üretmesi ve ağırlı hatalı verileri olduğu durumlarda bile makine öğrenmesi yaparak öğrendiği için düzgün çalışması gibi etkenlerden ötürü yapılmıştır.

Diğer taraftan, YSA için yazılım olarak MATLAB: Neural Network Toolbox seçilmiştir. Yapılan literatür araştırmalarının sonucunda MATLAB'ta gerçekleştirilen YSA uygulamalarının oldukça başarılı sonuçlar elde ettiği görüldüğünden bu tez kapsamında MATLAB: Neural Network Toolbox seçilerek YSA ağı oluşturulmuştur. Bu seçimde, içerisinde barındırdığı ve çalışmada yararlanılmasına olanak sağlayan MATLAB: Neural Network Toolbox, kullanıcı kolaylığı olması büyük oranda çözüme yardımcı olmakta ve hızlıca YSA eğitim ve test işlemlerini tamamlayarak harcanılan zamandan büyük oranda tasarruf edilmesini sağlamaktadır.

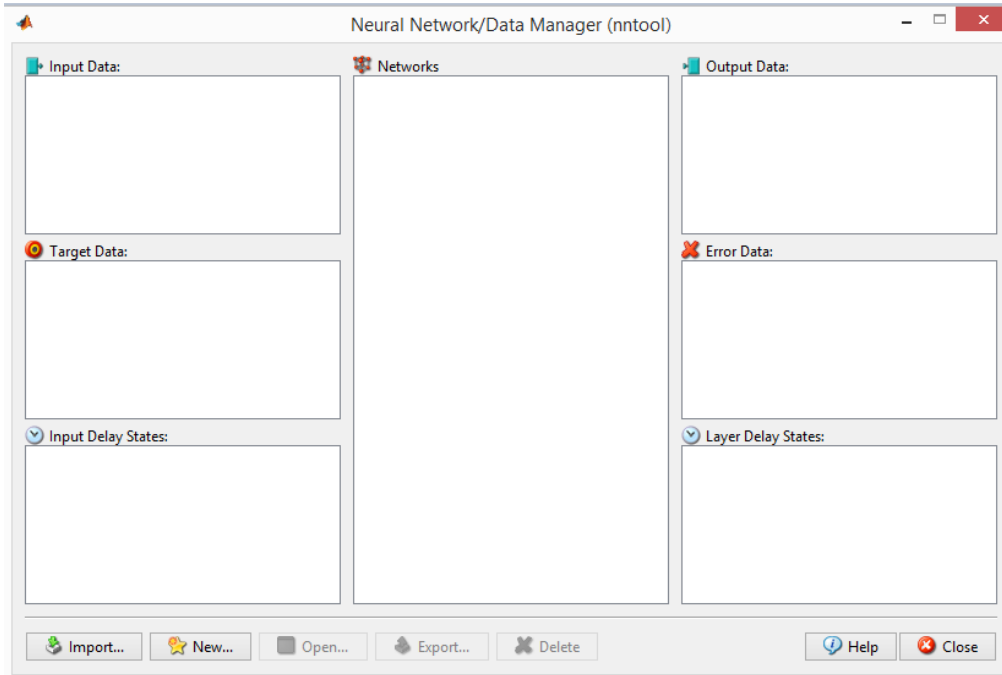
Bu tez kapsamında kullanılan MatLab: Neural Network Toolbox açıklanmış diğerleri hakkında bilgi verilmemiştir.

MatLab: neural network toolbox

Neural Network Toolbox (NNT), MatLab programında YSA oluşturulmasını, ağırlı

eğitilmesini, uygulanması ve simülasyonunun yapılmasını sağlayan bir yazılımdır [108]. NNT kullanımı için aşağıdaki adımlar izlenebilir;

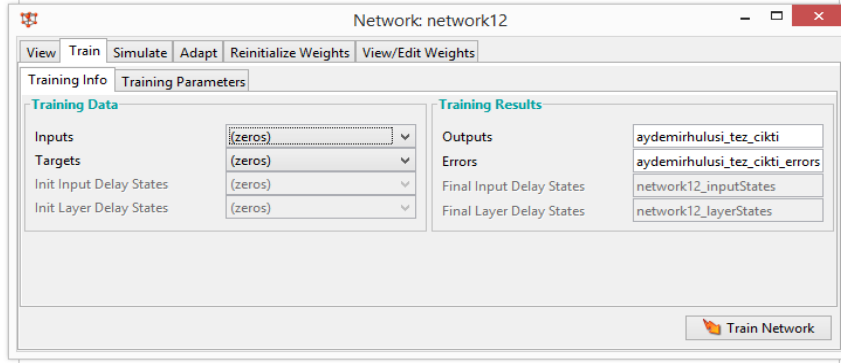
MatLab'ın ana komut penceresine “nntool” yazılarak enter'a basılarak “Neural Network/Data Manager” arayüz ekranı çağırılır. Resim 3.2'de “Neural Network/Data Manager” arayüzü gösterilmektedir.



Resim 3.2. “Neural Network/Data Manager” arayüzü

Açılmış olan penceredeki bulunan öğelerden “new” kısmına basılarak “Create Network or Data” penceresinin açılması sağlanır. Bu pencere sayesinde ağ oluşturulma imkânı oldukça kolay olup, verilerin girişi de yapılabilmektedir. Giriş verileri inputs kısmına ve çıkış verileri ise targets kısmına matris tanımı yapılmış olarak sisteme girilir. Ardından; network sekmesinde isim değişikliği yapılmak isteniyor ise ağın adı yazılır ve ağ oluşturulur. Ağ oluşturma sırasında; ağ tipinin seçimi, giriş verileri ve çıkış verilerinin ve diğer parametrelerin (eğitim algoritması, öğrenme fonksiyonu, performans fonksiyonu, katman sayısı, nöron sayıları; aktivasyon fonksiyonları vb.) seçimi kullanıcının tecrübeleri ya da deneme-yanılma yoluyla en iyi performansa sahip olan şekilde seçimler yapılır. Sonrasında; “Create” bölümüyle ağ oluşturulması gerçekleştirilmiş olur. Bundan sonra “Neural Network/Data Manager” penceresinde ağ açılması ile ilgili yerde “Train” bölümüne gidilir. Burada giriş ve çıkış verilerinin tanıtımı için ilgili veriler seçilerek; “Train Network” ile ağ

eğitimi gerçekleştirilmiş olur. Resim 3.3’de yapay sinir ağları eğitim ekranı ve simüle etme bölümü görülmektedir.



Resim 3.3. “Neural Network” ara yüzü YSA ağ eğitme ve simüle etme bölümü

İlgili bölümde performans, regresyon değerleri ile performans ölçümü yapılarak ağ için uygun olup olmadığına karar verilmesi mümkündür. Eğitme işlemi sonrasında oluşturulan ağ; eğitim, test ve tahmin verilerinden ayrı bir giriş verileri ile simülasyon işlemi yapılarak; ağın bu giriş değerlerine karşılık üretmiş olduğu çıkış değerleri bulunur. Giriş verilerinin mevcutta bulunan çıkış değerleri ile ağın üretmiş olduğu tahmin çıkış değerleri karşılaştırılarak, ağın sonuçlarının uygunluğu kontrol edilmektedir.

3.2.2. Makine öğrenmesi

Makine öğrenmesi, yapay zekânın çalışma alanlarından biri olup; temelinde makinelerin kendi kendine karar verebilir hale getirilme düşüncesi oluşturmaktadır [109]. Diğer bir ifade ile makinelerin veya bilgisayarların komutları, algoritmaları ya da işleyen ve verilen görevleri yapan bir mekanizma değil de insanlar gibi geçmişteki durumlardan çıkarımlar yaparak karar vermede bunu kullanmasını istemektedir. Bu açıklamayı daha geniş olarak ifade etmek gerekirse; karşılaşılan problemlerde, problemin çözümüne ilişkin çeşitli kuramları ve teknikleri düşünerek buna dair çıkarım yapıp, bazı yöntemler ve mantıksal işlemlere tabi tutmak durumundayız. Bu sayede, problemlerin çözümüne yönelik sonuçlar üretmiş oluruz. Bu itibarla makine öğrenmesini; mantıksal işlemler gerçekleştirebilmesi mümkün olan bilgisayar veya makinelerin, inceleme ve ölçüm yöntemleri ile sağlanan verileri deneyim olarak kabul etmesi ve bu deneyimlerden matematiksel algoritmalar ile anlamlı çıkarımlar yaparak bağlantılar üretmesindeki toplam süreçler bütünü olarak

tanımlanabilir. Makine öğrenmesinde veri kümeleri, insanlardaki gibi geçmiş deneyimlerine karşılık gelmekte olup, öğrenme algoritmalarının yardımı ile veriler arasında bağlantı kurarak, çözülmesi istenilen probleme uygun olacak bir model veya örneklem oluşturulur, problemlerin çözümüne yönelik modele veya çıkarıma tekrar ulaşarak probleme ilişkin çözüm için sonuçlar üretir. Makine öğrenmesi teknikleri kendi içerisinde iki alt bölüme ayrılmaktadır. [110]. Bunlar:

Denetimli Öğrenme; denetimli öğrenme, daha önce gözlemlenmiş olan ve sonuçları bilinen verilerin kullanımıyla; bu verileri ve sonuçlar da kapsayacak olan bir fonksiyon oluşturmayı amaç edinen makine öğrenimi tekniğidir [111]. Denetimli öğrenmede ana hedef; girdi ölçülerinin sayısını temel alarak çıktı ölçülerinin değerini tahmin yaparak belirlemektir [112].

Denetimsiz Öğrenme; denetimsiz öğrenme, etiketlenmemiş verideki gizli yapıyı bulmaya çalışır, bu süreçteki işlemler denetimsiz öğrenme olarak ifade edilmektedir. Başka bir ifade ile ise veriler arasında var olan ama belirgin olmayan bağıntının açığa çıkarılması işlemi olarak tanımlı yapılabilir [111].

Bu iki teknikteki öğrenme arasındaki temel fark ise; denetimli öğrenme yaklaşımında hangi veriler arasında ilişki kurulacağını kullanıcı belirlerken, denetimsiz öğrenme yaklaşımında bağların seçimi algoritmaya bırakılır.

Derin öğrenme

Bilindiği üzere; makine öğrenmesi yapay zekânın bir dalı olduğu gibi, derin öğrenme de makine öğrenmesinin bir dalıdır. Derin öğrenmeyi tanım olarak açıklamak gerekirse ise; çok fazla ve kapsamlı veriler üzerinde çalışan, ön eğitilmiş çok çeşitli yapay zekâ sistemlerinden oluşan, ayrıca çok fazla sayıda düğüme sahip olan ağlar olarak ifade edilebilir. Derin öğrenme uygulamalarında çok fazla ve etiketsiz veri üzerinde çalışma yapılırken, ilk olarak öğretmensiz ön eğitim; sonrasında ise öğretmenli öğrenme süreçlerinin gerçekleştirildiği sistemlerdir [113].

Derin öğrenme sistemlerinde öğrenme ve karar verme sürecinde çıkarılan özelliklerden yakın olanların bütünleştirilmesi aşamasına, alt küme oluşturma(pooling) aşaması

denilmektedir [114]. Milyonlarla ifade edilecek büyüklükteki çok farklı verinin (görüntü, ses vb.) tüm özellikleri birbirinin aynısı olmayacağından, bu süreç oldukça önemli olduğu açık ve nettir. Oluşturulmuş olan alt kümelerin ilkel olarak elenme işlemine de silme (dropout) aşaması denilmektedir [114]. Bu şekilde, özellikle zayıf ilişkilere ait olan bağlar koparılması gerçekleştirilir. Silme katmanları yalnızca kıvrımlı ağ için kullanılamazlar iken, diğer ağlar için kullanılabilmesi mümkündür [114]. Derin öğrenme uygulamalarında genellikle kullanılan girdi verileri aşağıdaki gibidir. Bunlar [93, 115];

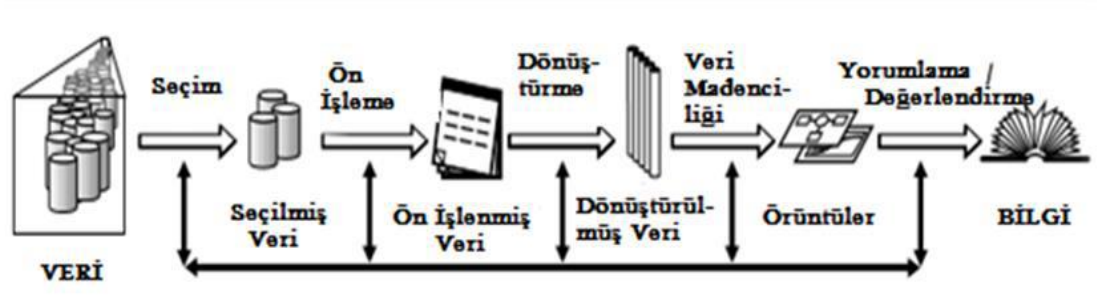
- Görüntü
- Ses
- Metin
- Yapısal veri

olarak sayılabilir.

3.2.3. Veri madenciliği

Teknolojik gelişmeler artmasıyla birlikte, veri toplanılması ve elde edilmesinde büyük bir hız kazandığı görülmektedir. Ancak, verilerin çokluğu bu verilerin doğru şekilde kullanılmasını zorlaştırmanın yanı sıra çok fazla bilgi kümelerinin de oluşmasını meydana getirmiştir. Bu durum, işlem yapmayı zorlaştırdığı açıktır. Veri madenciliği konusu da bu noktada oluşmakta olup, çok fazla bilgi yığınları ve veri kümelerinden bilinmeyen ya da tahmin edilememiş olan yararlı olabileceği düşünülen bilgiyi, anlamlı sonuçlar elde edebilmek amacıyla çeşitli işlemlerle, yöntemler ve algoritmaların kullanımı ile ortaya çıkarmayı hedeflemektedir. Veri madenciliği bu yönüyle bir analiz tekniği denilebilir [116].

Diğer taraftan; veri madenciliği uygulamaları ile yöntemlerinin kullanılabilmesi ve doğru bilgiyi bulmak amacıyla veriler çeşitli ön işlemlerden geçerek analiz edilebilecek duruma gelmesi gerekmektedir [117]. Verinin ön işleme adımları veri temizleme, veri bütünleştirme, veri indirgeme, veri dönüştürme ve veri ayrıştırma olarak sıralanabilir [118]. Bu durumu şematik olarak açıklayan ve bilgiye ulaşmak amacına yönelik izlenilmesi gereken bilgi keşif süreci Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Veri tabanlarında bilgi keşfi süreci [117, 119]

Veri madenciliği işleminde en çok zaman alan kısım verinin hazırlanması aşamasıdır. Bu kısım ana işlemlerin ortalama %80'lik bir süreç kısmını kapsamaktadır [120]. Veri madenciliği yoluyla sağlanan bilgi; çok çeşitli araştırmalar, çalışmalar ve disiplinler arası gerekli olabilecek her türlü yöntem ve işlemlerde kullanılabilir. Ayrıca, veri madenciliği uygulandığı kısma ve soruna özel olarak farklılaşmış olduğundan; her bir alana yönelik karşılaşılan probleme yönelik uygun olacak şekilde çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu uygulanan bölüme ya da soruna özel farklılaşmaya örnek olarak; metin madenciliği, web madenciliği, graf madenciliği, multimedya madenciliği, zaman serileri madenciliği ve benzeri sıralanabilir [121]. Bunlarla birlikte; verilerin sınıflandırılmasında belirli bir kural oluşturmak için veri tabanının bir bölümü ayrılarak eğitim verisi, geriye kalan bölümü de test verisi olarak iki kısma ayrılır. Oluşturulan ve meydana gelen kurallarla veriler sınıflara ayrılır ve meydana gelen sonuç ile karar verilmesi sağlanır [122].

Elde edilen verilerin bazı kısımlarında hata veya eksik olması durumu varsa, eksik olan ya da hatalı olduğu bilinen verilerin sonucu etkilemeyeceği ve oluşacak sonuca etkisi önemli görülmemesi durumunda, veri ayıklama işlemi ile bu veriler temizlenerek eksik değerler elde edilen veri kümesinden çıkarılabilir. Eksik olan veriler, veri kümesinde önemli görülüyorsa ise eksik olan değerler regresyon ya da farklı teknikler ya da çeşitli sınıflandırma yöntemleri kullanılarak bu eksik veya hatalı olan verilerin tahmin edilerek veri kümesinde yer alması sağlanır [122].

Veri madenciliği alanında geliştirilen yöntemler içerisinde en çok kullanılanları; sınıflandırma, kümeleme ve birliktelik analizleridir [120]. Veri madenciliğinde analizler için çeşitli programlar kullanılmakta ve gün geçtikçe de artarak gelişmektedir. Veri madenciliği alanında açık kaynak kodlu olan bazı programları sıralamak gerekirse; Orang, R, OpenNN, Carrot2, Gate, Elki, Torch ve Weka denilebilir. Bu programların dışında da yapılacak veri

madenciliği ile ilgili farklı programlarda bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak ise RapidMiner, IBM SPSS Modeler, Microsoft Analysis Services, Oracle Data Mining, Clarabridge gibi programlar gösterilebilir. Bu tez kapsamında açık kaynak kodlu program olan WEKA kullanılmış olup bilgiler aşağıda genel olarak açıklanmıştır.

WEKA 3.9.3- Waikato environment for knowledge analysis

WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis); Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi'nde java ile yazımı gerçekleştirilmiş, açık kaynak kodlu bir veri madenciliği ve makine öğrenmesi yazılımı olup, ücretsiz kullanıma açık bir uygulamadır [123].

Diğer taraftan WEKA, programın ortaya çıkmış olduğu Waikato Üniversitesi'nin bulunduğu ülke olan Yeni Zelanda'ya özgü bir kuş türünün de ismi olup; bu kuş WEKA programının simgesi olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan içerdiği platformda birçok yöntem, algoritma, hazır fonksiyon ve kütüphane bulunmasından kullanımı kolay bir veri madenciliği aracıdır. Resim 3.4'de WEKA ara yüzü gösterilmektedir.



Resim 3.4. WEKA arayüzü

Ayrıca WEKA uygulamasında; veri ön işleme, zaman serileri, kümeleme, birliktelik, yapay sinir ağları oluşturma ve görselleştirme işlemleri gibi çok çeşitli işlemler yapılabilmekte, java ile kod yazılarak gereken algoritmalar oluşturulması sağlanabilmektedir.

WEKA programında 4 temel uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar;

Explorer,
 Experimenter,
 Knowledge Flow,
 Simple CLI (Command Line)

Bu 4 temel uygulama dışında Workbench uygulama platformu da yer almakta ancak bu bölüme dair işlemler veri ön işlemeye yönelik olmasından işlemler arası geçişte kolaylık sağlamaktadır. Diğer taraftan, WEKA platformunun desteklediği dosyalar belirli kaynak biçimlerinde olup, bunlar metin tabanlı arff, csv, c45, libsvm, xarff vb. gibi formatlardır.

Tez kapsamında, WEKA’ da explorer arayüzü ile sınıflandırma algoritmaları ile zaman serileri öngörü algoritmalarını kullanılarak denenmiş gerekli yerlerde uygun olan tercih edilmiştir. WEKA’da bulunan en çok kullanılan zaman serileri için; “Gaussian Processes”, “Linear Regression”, “Multilayer Perceptron” ve “SMOreg” öngörü algoritmaları bulunmaktadır. Ayrıca bu tezde, öngörü (Forecast) eklentisi yüklenilerek WEKA Versiyon 3.9.3 (1999-2018) kullanılmıştır.

Tez kapsamında WEKA için izlenen yol ve planlama aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

1. *Adım:* WEKA uygulaması indirme, uygun eklentileri bilgisayara kurma,
2. *Adım:* Verileri belirleme ve veri kümesinin oluşturulması (eğitim ve test verilerine karar verilmesi),
3. *Adım:* Veriler için ön işleme yapılması, WEKA platformunun desteklediği dosya türü haline getirme,
4. *Adım:* WEKA uygulamasını çalıştırma, uygun hale getirilmiş olan dosyaların veri girişinin gerçekleştirilmesi,
5. *Adım:* Öngörü modülünde işlem yapılacak algoritmanın seçimi ve bu algoritmanın verilere ve kullanıcı seçimine göre parametrelerini düzenleme,
6. *Adım:* Modelin kurulacağı niteliklerin seçilmesi (tahmin yıllarını belirleme, değişkenlerin seçimi vb. işlemler),
7. *Adım:* Algoritma çalıştırılması ile veri çıktıları elde etme,
8. *Adım:* Elde edilen çıktı sonucu öngörü modelinin performansının değerlendirilmesi
9. *a) Adım:* Performans değerlendirmesi sonrasında sonuçlar uygunsa veri çıktıları ve grafik çıktısını alma ve sürecin bitirilmesi.

b) *Adım*: Performans değerlendirmesi sonrasında sonuçlar uygun değilse; 5.Adım'a dönülerek parametrelerin değiştirilerek diğer adımlar tekrar uygulanır.

WEKA'da zaman serileri analizi

Genel olarak geleceğe yönelik tahminlerde kullanılan ve belirli değişken ile belirli bir süre aralığındaki bulunan gözlemler veya ölçümler neticesinde elde edilen verilere göre kurulan model ve çıktı verilerini elde edilmesi şeklinde olan veri madenciliği tekniğine zaman serileri analizi tekniği denilmektedir.

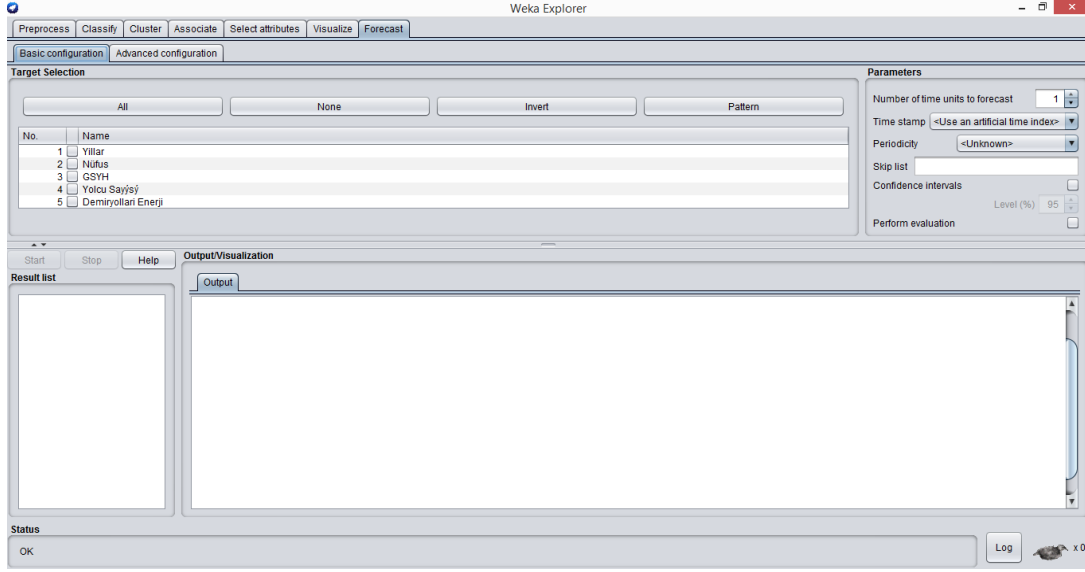
Zaman serileri genel olarak 4 farklı aşama ile oluşturulur. Bunlar; verilerin derlendiği tanımlama aşaması, modelin kurulduğu açıklama aşaması, modele göre yapılan tahmin aşaması ve tahmin sonuçlarının incelendiğini kontrol aşamasıdır.

Zaman serileri gelecek tahmini iki farklı yöntemle olmaktadır [124]. Bunlardan ilki tek değişkenli zaman serileri madenciliği yöntemi ve diğeri ise çok değişkenli zaman serileri madenciliği yöntemidir. Bunlardan tek değişkenli zaman serileri madenciliği yönteminde; veri, tek bir serinin verisi olup, model bu serinin zamana bağlı, mevcut ve geçmiş değerleri ile oluşturulur [116]. Çok değişkenli zaman serileri madenciliği yönteminde ise; veri, birden daha fazla birbiri ile bağlantılı olduğu varsayılan serilerden oluşmaktadır. Bu yöntemde model bu birden daha fazla olan verilerin serilerin zamana bağlı, mevcut ve geçmiş değerleri ile birlikte kurulur [125, 126].

Tez kapsamında kullanılan WEKA programı platformunun içerisinde zaman serileri eklentisi bulunmadığından, bu bölümün eklenilmesi gerekmektedir. WEKA uygulamasının içinde "Time Series Forecasting" aktif hale gelmesi için "Tools – Package Manager" kısmından zaman serilerinin eklentisinin yüklenmesi gereklidir. Resim 3.5'de WEKA zaman serileri bölümü olan "Forecast" bölümü görülmektedir.

WEKA platformunun zaman serilerinde, tez kapsamındaki kullanılan algoritmaları ile ilgili kısa açıklamalar aşağıda gösterilmektedir.

Gaussian Processes; Gauss Yöntemlerinin uygulandığı regresyon tekniği algoritmasıdır.



Resim 3.5. WEKA zaman serileri bölümü olan “Forecast” bölümü

Linear Regression; çoklu Lineer Regresyon yöntemlerinin uygulandığı regresyon tekniği algoritmasıdır.

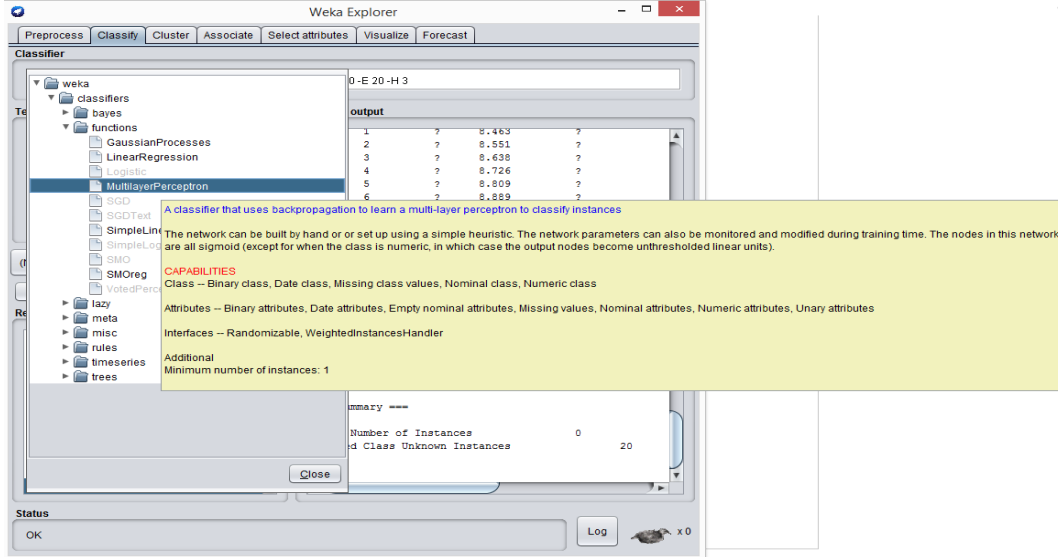
SMOreg; destek vektör makinesi ile regresyon tekniğinin uygulandığı algoritmadır.

Multilayer Perceptron; Öğrenme algoritması için, geri yayımlı sinir ağlarının uygulandığı algoritmadır.

WEKA’da yapay sinir ağları

WEKA uygulamasında yapay sinir ağları yöntemi bulunmakta olup, yapay sinir ağları sınıflandırma bölümü, fonksiyonlar alt başlığı içerisinde bulunan “Multilayer Perceptron” algoritması seçilmesi ile uygulanılmaktadır. Resim 3.6’da WEKA çok katmanlı algılayıcı algoritması seçimi gösterilmektedir.

Yapay sinir ağlarına yönelik değişkenlerin (momentum, öğrenme katsayısı, gizli katman, nöron sayısı, devir sayısı vb.) seçimi kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Parametreler kullanıcının isteğine veya izleyeceği yönteme göre belirlenmektedir.



Resim 3.6. WEKA yapay sinir ağı algoritmasının seçimi

WEKA uygulaması yapay sinir ağları çok katmanlı algılayıcı modellerinde, geri besleme algoritması ile en küçük kareler yönteminin uygulandığı delta öğrenme kuralının çalışma prensibiyle çözmektedir. Delta kuralı, tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki farkı azaltmayı dikkate alan ve girdilerdeki bağlantılarının ağırlıklarını değiştirilmesine dayanmaktadır [127, 128]. Bu çalışma prensibinde, geri besleme algoritması ile uygulama yapıldığından dolayı, çözümdeki sistem hatayı geriye doğru azaltarak çözüme ulaşmaktadır.

3.3. İnşaat Mühendisliğinde Genel Olarak Kullanılan Yapay Zekâ Teknikleri

Mühendislik araştırmalarında ve çalışmalarında yapay zekâ teknikleri genel olarak optimizasyon için kullanılmakta olduğu görülmektedir. Yapılan gözlemler neticesinde yapay zekâ tekniklerinin diğer klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür [129]. İnşaat mühendisliği çalışmalarında genel olarak kullanılan yapay zekâ teknikleri ise aşağıda gösterilmektedir. Bunlar;

- Bulanık mantık
- Yapay sinir ağları
- Sinirsel-bulanık sistem
- Genetik algoritma teknikleri
- Yeni çalışmalar (gelişmiş, paket ya da açık kod kaynaklı vb. sistemler)

Bu tez kapsamında yapay sinir ağıları ve açık kaynak kodlu programlardan WEKA kullanılmıştır. Bunlarla ilgili bilgiler ve detaylı anlatımı ile işlem adımları Bölüm “3.2.1 Yapay sinir ağıları” ve Bölüm “3.2.3. Veri madenciliği” başlıkları altında verilmiştir.

3.4. Enerji, Enerji Verimliliği ve Ulaştırma

Enerji, yunanca er (içinde) ve ergon (iş) sözcüklerinden türetilmiş olup, energon yani iş yapma yeteneği anlamına gelmektedir [130]. Buradan yola çıkarak enerji kavramını tanımlamak gerekirse; bir sistemin veya cismin iş yapabilme yeteneğidir. Başka bir tanımlama ile, üretimde kullanımı zorunlu olan bir girdi olarak ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli faktörlerden bir tanesidir denilebilir [25].

Enerjinin farklı çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar [131];

- Mekanik enerji
- Isı enerjisi
- Kimyasal enerji
- Nükleer enerji
- Yerçekimi enerjisi
- Elektrik enerjisi

olarak sıralanabilir. Enerji; ekonominin en önemli girdisi, dünya siyaset politikası yönlendiricisi ve dünyadaki sosyal, coğrafi ve ekonomik düzen ile ilgili faktörlerinin gelecekteki en etkin belirleyicilerinden biri olmanın yanı sıra, günlük hayatımızda karşılaştığımız daha birçok iş için gerekli bir öğedir [132].

3.4.1. Enerjinin önemi

Günümüz dünyasında enerji insan hayatının ve ülke ekonomilerinin en önemli etkenlerindendir. Enerji olmadan üretim yapma, ulaştırma olanaklarını ve araçlarını kullanmak ve hatta günlük hayatın gereksinimlerini devam ettirmek oldukça zordur. Enerji ekonomik açıdan ve günlük hayatta önemli olduğu ölçüde, ülkelerin sosyo-ekonomik yönünden de oldukça önem arz etmektedir. Çeşitli ve yeterli enerji kaynaklarına sahip olan ülkeler bu kaynaklarını koruyabilmek amacıyla, enerji kaynağı olmayan ülkeler ise yeterli

enerji kaynaklarına ulaşabilmek amacıyla büyük ölçeklerde hem mali olarak hem de teknolojik olarak bu durumlarla ilgili yatırımlar yapmaktadırlar [25].

Günümüzde enerji kullanımının bir zorunluluk olduğu görülmektedir. Enerjinin bu zorunluluğunun oluşmasında en önemli nedenin sanayi devrimi olduğu söylemek mümkündür. Sanayi devrimiyle ortaya çıkan yeni ürünler, icatlar ve buluşlar üretim aşamasında uygulanmaya başlanması ve bunun sonucu olarak da makineleşme kullanımının artması makineleşmiş endüstriyi oluşturmuştur [133]. Bu durumun sonucu olarak, ekonomik büyüme ve ülkenin refah artışının enerjiye daha da bağımlı olmasına neden olmuştur [134]. Gelişmiş ülkeler dünyada en çok enerji tüketen ülkeler olduğu gözlenmektedir. Başka bir ifade ile gelişmiş ülkelerde kişi başı enerji tüketimi, gelişmekte olan ülkelerde kişi başı enerji tüketimi ile karşılaştırılırsa bunun daha fazla olduğu görülecektir. Bu değişkenler arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Bunun anlamı, kullanılan enerji miktarı arttıkça ülkedeki refah seviyesi de artmaktadır [135].

Enerjinin önemli olmasında nüfus artış hızı da oldukça etkili olduğu görülmektedir [136, 137]. Çünkü nüfus artması enerjiye olan ihtiyacın da artması demek olup, daha fazla enerjiye gereksinim duyulan aletlerin, makinelerin kullanılması daha çok elektrik tüketiminin olması, daha fazla araba ve motorlu araç kullanımının artması, bu da daha çok benzin tüketimi demektir. Bu yüzden nüfus artışı doğrudan enerji tüketimindeki artışını da akabinde getirmektedir.

Enerji fiyatlarının reel döviz kurlarındaki dalgalanmalar ile değişimlerden oldukça etkilenmektedir. Yapılan araştırmalar; petrol fiyatları ile reel döviz kurları arasında uzun süreçte bir denge bağı oluşturduğunu, yani döviz kurlarındaki değişimlerin petrol fiyatlarındaki değişimlerinden önemli oranda etkilendiğini göstermiştir [138].

Sanayi alanı temel girdilerden biri olan enerji, yatırım kararlarını da çok fazla etkilemektedir [25]. Çünkü enerji fiyatlarındaki artış bir yatırım kararı alan karar verici mekanizmanın kazancını azaltan bir etki yaparken, diğer yandan buna bağlı olarak karar verici mekanizmanın başka bir yeni sermaye yatırımı yapılması noktasındaki isteğini de ister istemez azaltacaktır. Bu durumdan anlaşılacağı üzere, enerjinin yatırım kararlarını etkilediği açıktır. Bunun yanında, bir ülkenin zengin enerji kaynaklarına haiz olması ve önemli enerji koridorlarında bulunması (doğal gaz, petrol boru hatları vb. gibi) o ülkenin stratejik

konumunda güçlenmesini, uluslararası politik sahadaki siyasi itibar ve pazarlık gücünün de artmasını sağlamaktır [139].

Bu itibarla, yukarıdaki bilgiler ve açıklamalar doğrultusunda enerjiye çok yönlü ve kapsamlı olarak bakıldığında, enerjiye olan ihtiyacın son derece zorunluluk olduğu ve büyük öneme sahip olduğu kolayca anlaşılmaktadır.

3.4.2. Enerji kaynakları

Enerji, kaynaklarına göre çeşitli gruplarda sınıflandırılmaktadır. Örneğin, niteliklerinin değiştirilip değiştirilmemesine, elde edilme şekline, ticari olup olmamasına, madde haline göre (katı-sıvı), organik-inorganik olmasına hatta depo edilebilirliğine göre ve yeraltı-yer üstü kaynak olmasına göre bile farklı sınıflandırmalar yapılabilmektedir.

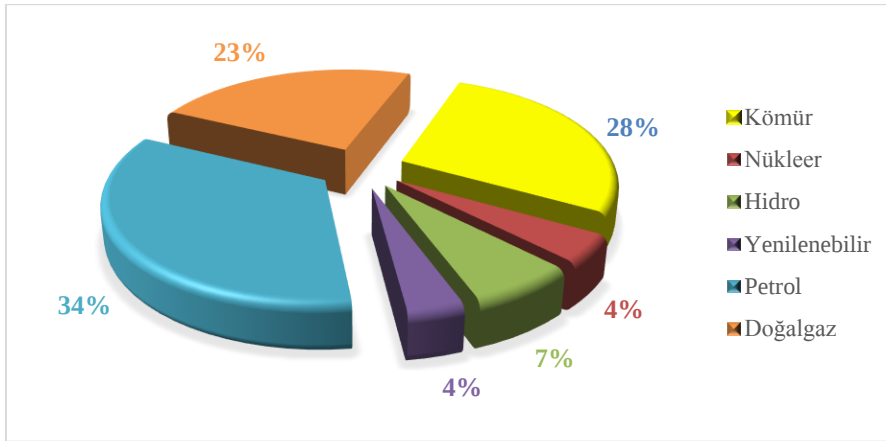
Enerji kaynaklarını niteliklerini değiştirip değiştirmemesine göre birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Birincil enerji kaynakları daha önce herhangi bir değişikliğe uğratılmaksızın doğada olduğu gibi kullanılması mümkün olan enerji kaynakları iken ikincil enerji kaynakları doğada bulunduğu hali ile kullanılmaması mümkün olmayan ama bazı işlemler yapılması sonrasında kullanılabilen enerji kaynaklarıdır [140]. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması aşağıda şematik halde sınıflandırılması Çizelge 3.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [141]

Kullanılabilirliklerine göre	Dönüştürülebilirliklerine göre
<i>1.Yenilenemeyen</i>	<i>1.Birincil</i>
Fosil Kaynaklı; Kömür, Petrol, Doğalgaz	Kömür, Petrol, Doğalgaz, Nükleer, Güneş, Rüzgâr, Jeotermal, Biyokütle, Hidroelektrik, Dalga vb.
Nükleer (Çekirdek Kaynaklı); Uranyum, Plütonyum	
<i>2.Yenilebilir</i>	<i>2.İkincil</i>
Güneş, Rüzgâr, Jeotermal, Biyokütle, Hidroelektrik, Dalga vb.	Elektrik, Benzin, Mazot, Motorin, Kok, Petrokok, Hava gazı, Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Birincil enerji kaynakları

Doğada bulunduğu haliyle kullanılması mümkün olan ve doğrudan doğruya enerji elde edilmesi gerçekleştirilen kaynaklar; birincil enerji kaynakları olarak tanımlanabilir. Birincil enerji kaynakları ikiye ayrılmakta olup, bunlar yenilenemeyen kaynaklar ve yenilenebilen kaynaklardır. Petrol, doğal gaz, kömür ve nükleer enerjiden oluşan kaynaklar ve benzeri yenilenemeyen enerji kaynaklarına örnek verilebilir. Yenilenebilen enerji kaynaklarına örnek olarak ise güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve benzeri örnek olarak ifade edilebilir [142]. Şekil 3.8’de 2017 yılı küresel birincil enerji kaynakları tüketim oranlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Birincil enerji kaynakları tüketim oranları [143, 144]

Dünyada tüketilen enerji, çeşitli enerji kaynaklarından elde edilmekte olup, Şekil 3.8’den de görüleceği üzere; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar tüm enerji içerisinde ortalama olarak 2017 yılı için %86’sını oluşturmaktadır. Birincil enerji kaynakları tüketimi en az yenilebilir enerji kaynaklarından olup bu değer %4’dür.

Bazı uluslararası kuruluşlarca araştırması yapılan (Uluslararası Enerji Ajansı, BP gibi) enerji kaynakları olarak gelecek yıllar dünya enerji talebi tahminlerine göre, petrol ve doğal gazın birincil enerji tüketimi içindeki paylarını uzun dönemde de koruyacakları düşünülmektedir. Aşağıdaki Çizelge 3.4’de 2040 yılı projeksiyonuna kadar kaynak bazında dünya enerji talebi dağılımı ve her bir kaynak için bin tep/gün değerleri gözükmemektedir.

Çizelge 3.4. Dünya birincil enerji kaynakları tüketimi [144]

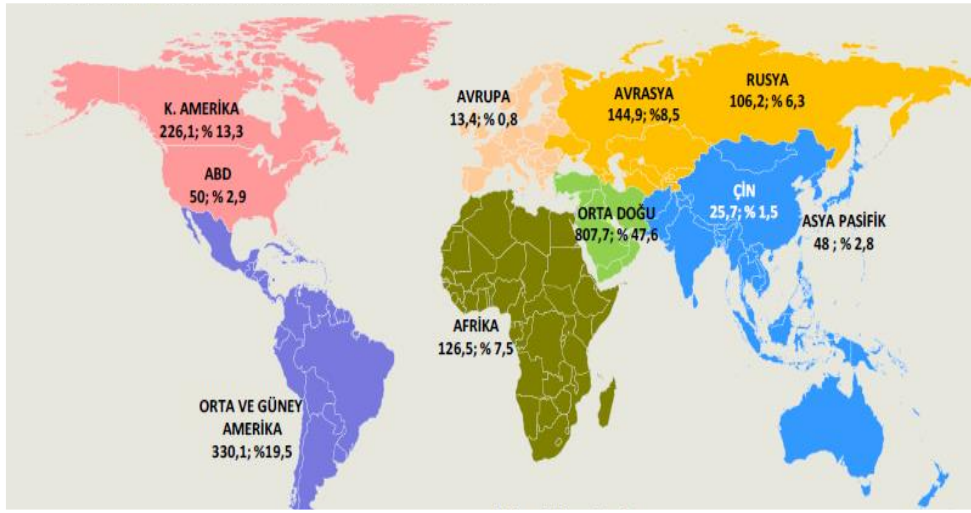
Kaynak Türü	1980		1990		2000		2011		2016		2040	
	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%	Mtep	%
Petrol	3 107	43,0	3 230	36,4	3 649	36,4	4 130	31,5	4 336	32,7	4 836	28,1
Kömür	1 788	24,8	2 331	26,3	2 295	22,9	3 776	28,8	3 732	28,1	3 762	21,9
Doğal Gaz	1 235	17,0	1 668	18,8	2 088	20,8	2 793	21,3	3 204	24,1	4 707	27,4
Nükleer	186	2,6	526	5,9	675	6,7	669	5,1	592	4,5	912	5,3
Hidrolik	148	2,1	184	2,1	225	2,2	301	2,3	910	6,9	1 241	7,2
Biyokütle	748	10,4	903	10,2	1 045	10,4	1 313	10,0				
Diğer Yenilenebilir	12	0,1	36	0,4	55	0,5	131	1,0	502	3,8	1 741	10,1
Toplam	7 224	100	8 878	100	10 032	100	13 113	100	13 276	100	17 199	100

Çizelge 3.4’e baktığımızda; dünya birincil enerji kaynakları tüketiminde, petrolün payının yıllar itibariyle azaldığı görülmektedir. Örneğin, 1980 yılında petrolün payı %43 iken, 2016 yılında %33’e gerilemiştir. Aynı yıllar içinde kömür ve doğal gazın paylarının ise arttığı görülmektedir. Genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının paylarında artış gözlenmektedir. 1980 ve 2040 yıllar karşılaştırılırsa fosil yakıtların hala önemli bir paya sahip olacağı görülmektedir.

Petrol

Petrol, milyarlarca yıl öncesinde dünyada bulunan canlıların ve bitki kalıntılarının ayrışmasından meydana gelen, çeşitli karbon ve bitki kalıntılarının zamanla fosilleşmesi ile oluşan bir enerji kaynağıdır. Ancak ham petrol enerji maddesi olarak tüketilememekte olup, belirli işlemler ya da rafineride işlenmesi halinde belirli ürünlere çevrilmesi sonucu enerji maddesi olarak kullanılabilir. Petrolün kimyasal bileşiminde ana öge, karbon elementi olup, bu elementin petrol içeriğinde %80-85 arasında bulunduğu bilinilmektedir [145]. Bunun anlamı petrol ağırlık olarak karbon temellidir. Bu durumun sonucu, petrol tüketimini havayı etkilemekte ve olumsuz bir şekilde karbondioksit gazı salınımına neden olmaktadır [145]. Buna rağmen petrol, ulaştırma ve sanayileşmenin ve hatta günlük yaşamın daha fazla petrole dayanmasıyla petrolün insan yaşamındaki önemi hızlı bir şekilde artarak, kömür kullanımının yerini aldığı görülmektedir. Dünya enerji gereksinimin büyük bir oranının petrol ve kömürden karşılanmakta olduğundan; yaşadığımız yüzyılda yeterli düzeyde petrole sahip olmak yalnızca bir enerji kaynağına sahip olmak anlamına gelmemekte, bir ülkenin diğer ülkelere karşı kullandığı bir güç anlamına da gelmektedir. Aşağıdaki Harita 3.1’de 2017 yılı bölgelere göre petrol rezervleri gösterilmektedir.

2017 yılı dünya petrol rezervi, toplam 1,7 trilyon varildir. Yukarıdaki şekilden de görüleceği üzere bölgesel olarak bakıldığında, Orta Doğu Bölgesi dünya petrol rezervlerinin %47,6'lık bölümüne sahiptir [144]. Orta Doğu'yu, %19,5'lik rezerv miktarıyla Orta ve Güney Amerika bölgesi, sonrasında %13,3'lük rezerv miktarı ile de Kuzey Amerika bölgesi izlemektedir. Daha sonrasında ise sırası ile Avrasya bölgesi %8,5; Afrika bölgesi %7,5; Asya Pasifik bölgesi %2,8 ve Avrupa bölgesi %0,8'lik paya sahiptir.



Harita 3.1. 2017 yılı bölgelere göre ispatlanmış petrol rezervleri (milyar varil) [143, 144]

Dünyadaki petrol rezerv miktarı teknolojik gelişmelerle birlikte devamlı artmaktadır. 2016 yılındaki petrol rezerv ömrü dünya açısından 50,6 yıl iken, 2017 yılında dünya açısından 50,2 yıl olarak hesaplaması yapılmıştır [144]. Dünyadaki petrol rezerv miktarında; Orta Doğu'nun en çok rezerv miktarına sahip olduğu, Orta ve Güney Amerika'nın ikinci en çok rezerv miktarına sahip olduğu, Kuzey Amerika ise en çok rezerv miktarına sahip olmada üçüncü sırada yer almaktadır.

Doğalgaz

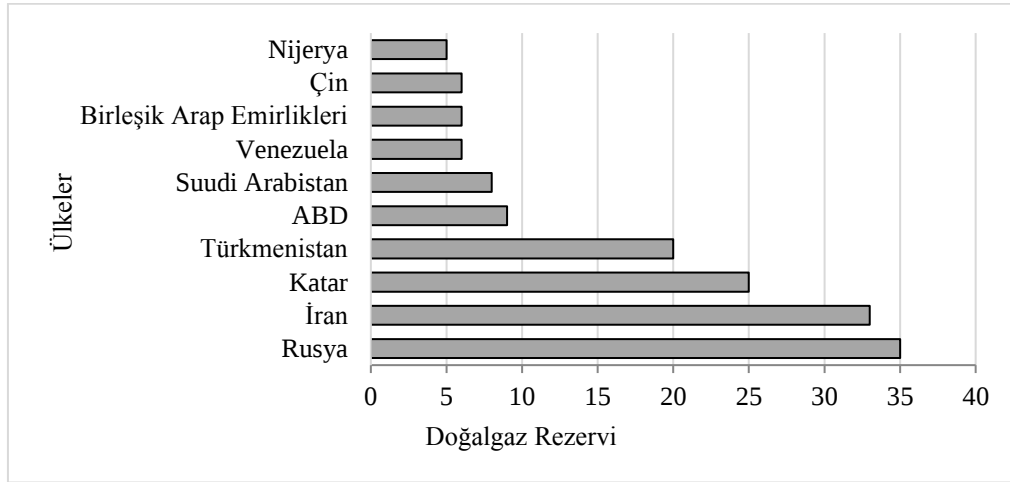
Doğalgaz tam yanmanın gerçekleştiği, yanıcı, yanması kolay ayarlanabilen ve verimliliği oldukça yüksek olan bir enerji kaynağı olup, organik maddelerin fosilleşmesi neticesinde basınç veya ısı altında değişikliğe uğraması sonucu oluşmaktadır. Dolayısıyla yanma sonucu oluşabilecek is, kurum ve kül gibi olumsuz etkiler oluşmadığı görülmektedir. İçeriğindeki karbon oranı sebebiyle petrol ve kömüre oranla daha düşük olmasından çevre dostu temiz bir yakıttır [146]. Günümüz dünyasında petrole göreceli olarak daha çevreci olduğundan

özellikle elektrik üretiminde kullanılması ve bundan dolayı da toplam enerji kullanımındaki payı hızlı bir şekilde artmaktadır [147]. 2017 yılı en fazla doğalgaz rezervine sahip 10 ülke aşağıdaki Çizelge 3.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. 2017 yılı en fazla doğalgaz rezervine sahip 10 ülke [143, 144]

Ülke	Trilyon m ³
Rusya	35
İran	33
Katar	25
Türkmenistan	20
ABD	9
Suudi Arabistan	8
Venezuela	6
Birleşik Arap Emirlikleri	6
Çin	6
Nijerya	5

Çizelge 3.5’den de görüleceği üzere dünya içerisinde doğalgaz olarak en çok rezerve sahip ülke Rusya’dır. Bunu sırası ile İran, Katar ve Türkmenistan takip etmektedir. Şekil 3.9’da 2017 yılı en fazla doğalgaz rezervine sahip 10 ülkenin durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.9. 2017 yılı en fazla doğalgaz rezervine sahip 10 ülkenin durumu

Kömür

Kömür homojen olmayan ve çeşitli bileşenlerden meydana gelen bir maddedir. Tabakalı tortulların arasında yer alan koyu renkte bulunan, katı ve karbon açısından da oldukça zengin kayaç olarak adlandırılmaktadır. Fosil yakıtlar içerisinde dünyada en çok ve en geniş biçimde bulunan enerji kaynağı olan kömür; dünyada elektrik üretiminin ortalama %40’ını

sağlamaktadır [148]. Türkiye de ise 2017 yılı 145,3 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) olan ülkemizin toplam birincil enerji tüketiminde kömürün payı %27'dir [149]. Kömürün diğer farklı enerji kaynaklarına göre rezervlerinin daha fazladır, coğrafi olarak da geniş alanda bulunması, taşınmasının, kullanımının ve depolanmasının kolay ve güvenli olması, ayrıca düşük maliyeti ve fiyatlarının rekabetçi piyasada belirlenmesi gibi nedenlerle sürdürülebilir kalkınma ve enerji arz güvenliği bakımından en önemli kaynaklardan biridir [150].

Dünya Enerji Konseyi (DEK) tarafından hazırlanan raporda, dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı 250,9 milyar ton ile ABD'de bulunmakta, ABD'yi 160,4 milyar ton ile Rusya ve 144,8 milyar ton ile Avustralya izlemekte, sonrasında ise sırası ile Çin 138,8 milyar ton, Hindistan 97,7 milyar ton, Almanya 36,1 milyar ton, Ukrayna 34,4 milyar ton, Polonya 25,8 milyar ton, Kazakistan 25,6 milyar ton ve Endonezya 22,6 milyar ton kömür rezervleri bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak, dünya kömür rezervlerinin %90'dan fazlası bu dokuz ülkenin sınırları içinde yer almaktadır [149].

Nükleer enerji

Enerji kaynakları açısından diğerlerine göre daha yeni bir enerji kaynağıdır. Ağır radyoaktif (uranyum gibi) atomların bir nötronun çarpışmasıyla daha küçük atomlara bölünmesi (füzyon) veya hafif radyoaktif atomların birleşerek daha ağır atomları oluşturması (füzyon) sonucu oluşan enerjidir [151].

Bazı bilim insanları, yapılar ve kurumlar sürdürülebilir büyüme ve kalkınma amacına uygun olduğunu, bunun yanında temiz ve ucuz olması, atık ve zararlı ürünlerin yeraltı sularını kirletmesi durumunun düşük olması, sera etkisi ve asit yağmurlarını daha da azaltması, karbondioksit salınımının azaltılması ve enerji arz güvenliği için nükleer enerjiyi doğru bir enerji kaynağı olarak bulurlarken; terör saldırısı tehlikesi, nükleer silahın bir anlamda tamamlayıcı olması, yakıt çubuklarının (atıkların) depolanması sorunu ve işletme sırasında bir hata veya kaza gerçekleşmesi sonucunda gerçekleşecek çevre zararları gibi nedenlerle nükleer enerjiye karşı çıkmaktadırlar [152]. Bu noktada nükleer enerji kaynağı kullanımı sağlık, bilim merkezi ortak koordinesinde genel olarak irdelenmeli, bilim insanlarının geniş kapsamda değerlendirme yaparak ülkeler açısından uygulanabilirlik noktasını gündeme getirmesi gerekmektedir. Bu noktada fayda ve zarar analizleri yapılarak en doğru tercih yapılması sağlanmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, hidrolik, jeotermal, rüzgâr vb.)

Yenilenebilir enerji kaynakları doğada mevcut olan ve doğadaki bulunduğu haline herhangi bir işlem yapılmaksızın ya da herhangi bir üretim sürecine gereksinim duyulmadan yapılabilen enerji türleridir. Bu tür kaynaklardan sağlanacak enerji potansiyeli, karbon açısından oldukça düşüktür. Devamlı olarak dönüşüm halinde olduğundan tükenmez bir durumdadır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak güneş, rüzgâr, okyanus, hidrojen, biyokütle ve jeotermal enerji gibi enerji türleri sıralanabilir [153].

Bilindiği üzere, fosil kaynaklı yakıtlar hem parasal olarak olumsuzluk hem de çevreye verdiği zararlar nedeniyle uzak durulmaya çalışılan enerji türleridir. Bu yakıt türlerinde uluslararası fiyat değişimleri ile dalgalanmaların fazla ve yoğun olduğundan, bu da ülke ekonomilerinin üretim alanındaki çeşitli dalgalanmalara ve darboğazlara sebep olabilmektedir [154]. Ayrıca, fosil kaynaklı yakıtların kullanımında atmosfere salınan karbondioksit gazı ile küresel ısınma gibi olumsuzluklara neden olmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların bu olumsuzluklarına rağmen, yenilenebilir enerji kaynakları hem sürdürülebilir kalkınma için önemli hem de sera gazı emisyonunun azlığı nedeniyle son derece çevre ile dosttur. Diğer taraftan; fosil kaynaklı yakıtlara göre oldukça ucuzdur. Ayrıca, yerli kaynak kullanımından dolayı enerjide dışa bağımlılığı azaltmada etkili ve enerji kaynaklarını çoğaltılması bakımından istihdamın artmasına yardımcı olmaktadır [154].

İkincil enerji kaynakları

İkincil enerji kaynakları, birincil enerji kaynaklarından dönüştürülerek oluşturulan elektrik enerjisi, hidrojen ve bor gibi enerji kaynaklarıdır [155]. İkincil enerji kaynaklarının kendisi doğrudan olarak bir enerji kaynağı değil, işlem yapılarak üretilmek zorundadırlar. Bunlara enerji taşıyıcıları da denilmektedir, çünkü enerjiyi bir yerden başka bir yere kullanabileceğimiz şekilde devrederler [155].

Elektrik enerjisi

Elektrik enerjisi; elektron akımı yoluyla, kimyasal ve mekanik enerji kullanılarak ya da santraller gibi çeşitli yollardan üretilmektedir. Bu santraller, genellikle termik ya da hidroliktir. Termik santraller ısı enerjisiyle çalışan santraller olup, hidrolik santraller ise

suyun itme kuvvetinden faydalanılarak elektrik enerjisi üretim yapan santrallerdir. Termik santrallerde ısı maddesi olarak kömür ya da petrol kullanılmakta, hidrolik santrallerde ise büyük akarsuların üzerine kurularak burada üretilen elektrik iletkenler havai ve yeraltı hattı olmak üzere kullanıcılara dağıtılmaktadır [156].

Elektrik enerjisi, termik (doğal gaz, petrol, kömür gibi) santrallerden de üretilir aynı zamanda rüzgâr, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından da ve hatta nükleer santrallerden de üretilir. Termik santrallerindeki kaynaklar dışındaki diğer üretim teknikler çevreyle dosttur. Üretilen elektrik enerjisi yüksek gerilim hatlarıyla taşınması ve kullanımı oldukça kolaydır. Elektrik enerjisi günümüzde kapsamlı bir kullanım sahasına sahiptir. Radyo, televizyon, bilgisayar gibi birçok mekanizma elektrikle çalışır. Bunların da dışında üretimde, ulaşımda ve iletişimde de elektrik enerjisi olmazsa olmaz öğelerden biridir. Bundan dolayı elektrik enerjisi tüketim seviyesi gelişmişlik göstergelerindendir [157].

Diğer taraftan; elektrik enerjisinin stoklanması mümkün değildir. Bu sebepten, üretildiği zaman tüketilmeli, dolayısı ile de üretim ile tüketim arasında devamlı bir planlama ile dengenin gözetilmesi gerekmektedir.

Hidrojen

Hidrojen dünyanın yapıtaşlarından olup, yeryüzünde en çok bulunan element olarak nitelendirilebilir. Hidrojen, genel olarak serbest halde bulunmayıp, diğer elementler ile bileşik halde bulunmaktadır. Hidrojen sahip olduğu geniş yaygın alanda bulunmasından (örneğin suda iki atom hidrojen bulunmaktadır) enerjiye ekonomik şartlarda dönüştürülebilmesi durumunda enerji sorununu büyük ölçekte çözecek bir kaynaktır [158].

Daha önce de denildiği gibi yaşadığımız dünyada çok fazla bulunan element olan hidrojen; üretim kaynakları fazla ve oldukça çeşitlidir. Fosil yakıtlı kaynaklardan elde edilebildiği gibi güneş, rüzgâr, dalga ve hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıyla suyun elektroliz edilmesiyle ve biyokütle ile veya biyolojik süreçlerden de üretimi olasıdır. Tüm bu aşamalarda hidrokarbonlardan, hidro olan kısmı ayrılması ortak özellik olup; bu yöntemler içerisinde maliyeti daha ucuz olanı buhar dönüşümü yöntemidir. Ayrıca büyük oranda saflık gerektiren ve elektriğin daha ucuz olduğu bölgelerde, suyun elektrik enerjisi yardımı ile

hidrojen ve oksijen olarak ayrıştırılması anlamına gelen elektroliz yöntemiyle de hidrojen üretmek mümkündür [159].

Bor

Bor, tek başına bir enerji kaynağı olmamakla birlikte, diğer kimyasallar ile birleşmesi durumunda enerji kaynağı olabilen bir maden türüdür. Borun enerji kaynağı olarak kullanılması ile ilgili araştırmalar, borun yanma enerjisi olarak değil de hidrojeni en uygun durumda taşıyan bir element olarak görülmesi nedeniyledir [160]. Bu durumun sonucu olarak, alternatif ve emisyonuz bir enerji kaynağı olarak bilinen hidrojen ortaya çıkmış ve yapılan araştırmalar ile bilimsel çalışmaların, hidrojen üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bor türlerinden olan bor hidrür, hidrojenin taşınma depolanma ve patlama gibi riskleri ve tehlikelerini ortadan kaldıran bir taşıyıcıdır [160].

3.5. Enerjide Genel Yaklaşım

Ülkelerin hem ekonomik hem de sosyal gelişimlerini artırıcı ve bunu devam ettirmesini sağlayan en başlıca gereksinimlerden birisi enerjidir. Bu sebeple, enerji kullanımından oluşabilecek sorunlar ve gereksinimler birçok kurum, kuruluş ve bilimsel merkezler tarafından incelenmekte ve araştırılmaktadır. Bu inceleme ve araştırmalar arasında OECD kuruluşu tarafından yapılan 21. yüzyıl genel enerji yaklaşımı 5 ana madde üzerine kurulmuştur.

Bunlar [161];

- Dünya çapında enerji verimliliğini arttırmak,
- Temiz enerji kaynaklarını arttırmak,
- Yenilikçi çevre dostu teknolojileri geliştirmek,
- Sera gazları emisyonunu azaltmak,
- Yeni nesil enerji teknolojileri geliştirmek.

OECD tarafından kurulan bu 5 ana madde hem enerji verimliliğini gerçekleştirmede hem de uymamız ve izlememiz gereken ana yol haritasını bizlere sunmaktadır. Bunları

gerçekleştirmek amacıyla ülkeler enerji konusunda birçok araştırma yapmakta; güvenli, çevre standartlarını uygun ve sera gazı emisyonlarının insan yaşamını tehdit eden boyutlara ulaşması gibi sorunlarda riski en aza indirmeye çalışarak enerji politikaları geliştirmeyi hedeflemektedirler.

Dünyada enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artan eğilimde olduğu görülmektedir. Dünya nüfusunun artması sonucunda enerjiye olan gereksinim de büyük ölçüde artmakta ve etkilenmektedir. Bu durum Çin ve Hindistan gibi gelişmekte olan ülkeler açısından enerji talebini diğer ülkelere nispeten daha da artırmaktadır. Yapılan araştırmalardan hâlihazırdaki enerji politikalarının devam etmesi durumunda, 2040 yılındaki dünya enerji talebinin 2014 yılına göre %43,5 daha fazla olacağı öngörülmektedir [162]. Diğer taraftan; 2040 yılı dünyada en fazla enerji tüketen ülkenin Çin olacağı, Çin'i sıra ile ABD ve Hindistan izleyeceği tahmin edilmektedir [163].

3.6. Enerji Talebi ve Enerji Arzı Kavramları

3.6.1. Enerji talebi

Enerji, ülkelerdeki ekonomik büyümeyi, sosyal gelişmişliği ve yaşam standartlarının yükselmesinde oldukça önemli olduğu düşünülürse; enerjinin ekonomi talep ve arz öğeleri içinde önemli faktörlerinden biri olduğunu söylemek mümkündür [164]. Bu itibarla, enerji talebi de dikkatle incelenmeli ve üzerine düşülmesi gereken bir konu olduğu açık ve net olarak görülmektedir. Enerji talebi tanım olarak, günlük tüketim ve ekonomik faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için şahıslar ve bazı kurumlar tarafından talep edilen enerji miktarıdır [165].

Sanayi devrimi sonrasında yeni buluşların artması ve teknolojik gelişmelerin endüstride çok fazla kullanılması ile birlikte enerji talebinde, küresel boyutta hızlı bir artış yaşandığı gözlenmektedir [166]. Küreselleşmenin artması, nüfusun çoğalması, şehirleşme, teknolojik gelişme ve modern yaşam biçiminin hayatımıza yerleşmesi ile birlikte artmaya da gelecekte de devam edeceği öngörülmektedir [25]. Dünya enerji fiyatlarındaki belirsizlikler; enerji talebi araştırmalarının ve çalışmalarının önemini vurgulamaktadır. Her türlü mal ve hizmetin talebinde olduğu gibi enerji talebini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır [165].

Enerji talebinin ana belirleyicisi genel olarak gelir seviyesi faktörü kabul edilmekte ve gelir seviyesi ile birlikte, ülke ekonomisinin yapısal durumu, bulunduğu coğrafya, mevcut teknoloji düzeyi ile kullanımı gibi benzeri faktörlerde enerji talebinin belirleyicileri arasında bulunmaktadır [167]. Sermayenin daha ucuz olan enerji ile karşılanması sonucunda, sektörler üretimde enerjiye bağımlı hale gelmiştir. Böylece enerjiye bağımlı hale gelen ülkelerde enerji, ekonomik büyümenin en önemli faktörü olmuş; enerji ve ekonomik büyüme faktörleri birbirlerinin tamamlayıcı değişkenleri olarak ifade edilmiştir [168]. Dolayısıyla enerji tüketimi genel olarak ekonomik büyüme göstergelerinden biri olan Gayri Safi Milli Hasılası ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Kişi başına GSMH'si yüksek olan ülkelerde kişi başına düşen enerji tüketimi de aynı ölçüde yüksek olduğu görülmektedir [168].

Artan sanayileşmeyle birlikte gelir seviyesindeki yükselme enerji talebini de giderek artırmakta ve ekonomi için %1 oranında bir büyümenin olması, genel enerji talebinin de %1 oranında arttırdığı gözlenmektedir [165].

Enerji talebini belirleyen bir diğer faktör ise teknolojik gelişmeler olduğu ifade edilebilir. Çünkü teknolojik gelişmeler yardımıyla üretim için kullanılan enerjinin daha verimli kullanılması sağlanmaktadır. Başka bir ifade ile gelişen teknoloji ile daha az enerji kullanımıyla daha çok çıktı elde edilmektedir [169].

Enerji talebi, ekonomik faktörlerle birlikte, nüfus artışının yanında kentleşme, konut ve buna benzer demografik faktörlerden de etkilenmektedir [170]. Yapılan enerji yatırımları ve üretimini artırma çalışmaları, ülkelerin sosyo-ekonomik gelişimini hızlandırmakta, enerji yatırımları hem yeni istihdam alanları oluştururken hem de kullanılabilir enerjiyi artırarak enerji dışı yatırım ve üretimde de artışlar sağlamaktadır. Ülkelerin sosyo-ekonomik yönden gelişimi arttıkça enerji talebinin hızla artacağı ve yeterli enerjinin bulunmaması durumunda ise, kişi başına gelir azalacak, işsizlik artacak, mal ve emek arzında darboğazlar oluşması gibi bazı olumsuz durumlar ile karşılaşılacaktır [171].

3.6.2. Enerji arzı

Enerji arzı, tanım olarak mevcut ekonomik koşullarda enerji talebinin karşılanması amacıyla üretilen enerji miktarı olarak ifade edilebilir. Enerji arzında kararlılığın sağlanabilmesi ve

kararlılığın korunabilmesi, sürdürülebilir politikaların temel hedeflerinden birisidir. Enerji talebini karşılayamayan, enerjide dışa bağımlı olan ülkeler, daha çok enerji arzına gereksinim duymaktadırlar [172]. Çünkü herhangi bir ülkenin enerji arzı, enerji talebine eşit ya da daha yüksek değilse yani enerji talebini karşılamıyor ve yetersiz geliyor ise söz konusu ülke ihtiyaç duyduğu enerjiyi ithal etmek durumunda kalacaktır. Diğer taraftan, enerjide dışa bağımlılık sadece ekonomik bir problem olmamakla beraber siyasi olarak da önemli bir sorundur [173]. Dünyada meydana gelen ekonomik ve siyasi süreçlerdeki gelişmeler enerji talebini etkilerken, etkilenen talep enerji arzı üzerinde de etki oluşturmaktadır [169].

Ülkelerin enerji ihtiyacında kendi kaynaklarının eksik gelmesi ve yetersiz enerji rezervlerine sahip olması, enerji arzında dışa bağımlı olması durumunu oluşturmaktadır. Bu durumun sonucu olarak, enerji arzı ülkeler için önemli olmuş, enerji politikaları ve stratejilerinde dikkate alınması ve çözülmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Bu problemin çözümü için enerji arzını belirleyen faktörler araştırılarak, incelenmeye ve bu konuya dair çalışmalar yapılması gerektiği görülmektedir [169].

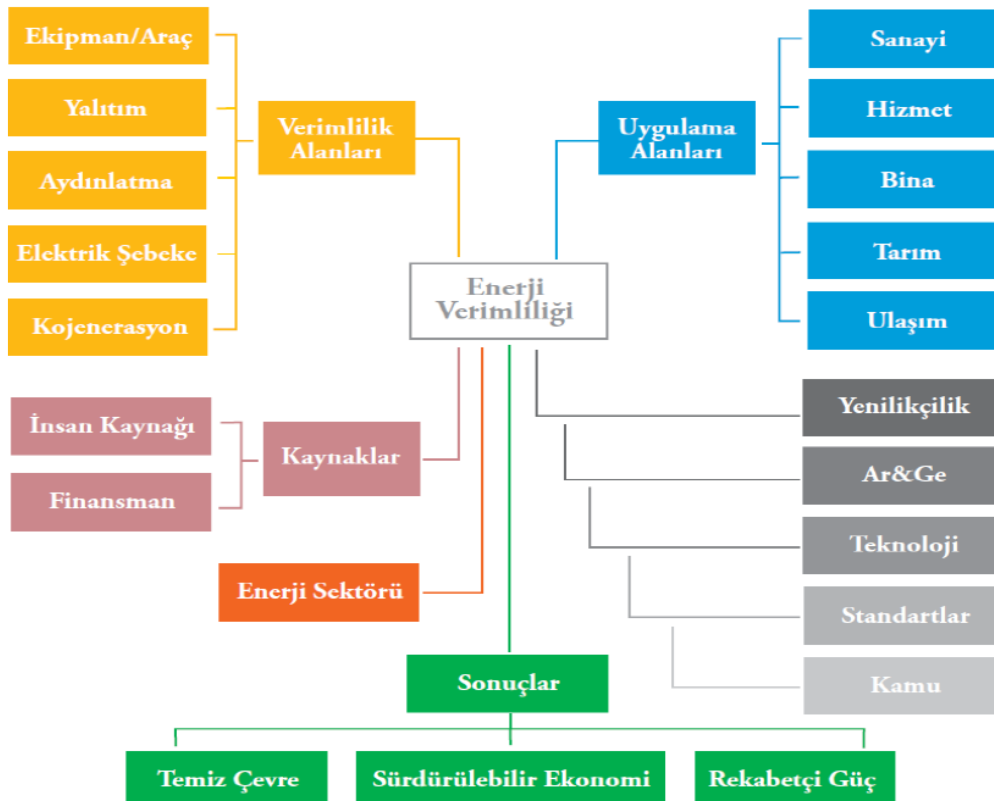
Enerji arzını etkileyen en önemli unsur enerji fiyatları olup, enerji fiyatlarının artmasının sonucu olarak arz edilen enerji miktarını artıracak ve enerji fiyatlarının düşmesi de arz edilen enerji miktarını azaltacaktır [25]. Diğer taraftan, coğrafi öğeler yaşamı ve geleceği biçimlendiren faktörlerden biri olduğu düşünülürse; uzaklık, güzergâh ve ülkenin mevcut durumu, jeopolitik konumu, iklim değişikliği, enerji kaynağının rezerv durumu ile kalitesi, tüketiciye erişme olanağı, tedarik durumu ve benzeri durumlarda enerji arzını belirleyen faktörler arasında yer almaktadır [174].

3.7. Enerji Verimliliği

Yaşadığımız yüzyılda sınırlı olan fosil enerji kaynakları nedeniyle ülkeler genel olarak güvenli ve sürdürülebilir enerji için enerji çeşitliliklerini artırmaya çalışmakta ve buna yönelik gelişmeler, politikalar izlenmektedir. Bunda, fosil enerji kaynaklarının belirli bir sınırdan olmasının yanı sıra, ülkeler arasında da bu kaynakların eşit dağılmaması oldukça etkilidir. Bu yüzden, ülkelerin sınırlı olan enerjiyi oldukça verimli bir politika izleyerek, bu çerçevede düzenlemesi gerekmektedir. Bu nedenle, enerji verimliliği konusuna dünyadaki tüm ülkeler oldukça önem göstermektedir. Enerji verimliliğini tanımlamak gerekirse; mevcut enerji kaynaklarında herhangi bir artış gerçekleştirilmeden daha çok enerji üretiminin

sağlanması çalışmalarının bütünü olarak söylemek mümkündür [175]. Diğer taraftan; sadece enerji kaynakların sınırlı olması ve fosil enerji yakıtları fiyatlarının artması sebebiyle değil, aynı zamanda çevre ve iklimin de korunması sebebiyle de enerji kullanımının verimli hale getirilmesi gereklidir [176].

Enerji verimliliği; enerjinin üretimi ve iletimi ile tüketimi sahasındaki temel etkinlik çalışmalarının tümünü kapsamaktadır [177]. Bunun için daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımı ile daha çok enerji üretimi yönünde çalışmalar ve araştırmalar yapılmak iken, diğer taraftan da aynı miktar enerji ile daha çok iş yapılması veya aynı işi daha az bir enerji tüketilerek yapılmasına yönelik farklı çalışmaların ve araştırmaların da yapıldığı görülmektedir. Enerjinin verimli kullanılması, sürdürülebilir kalkınmanın dolayısı ile de sürdürülebilir ulaştırmayı sağlamanın da bir ön koşulu olarak görülebilir. Çünkü yenilenebilir enerji kaynaklarına göre enerji verimliliği hem daha etkin hem de teknolojisi hazır olan maliyeti daha düşük bir politika olduğu görülmektedir. Enerji verimliliğiyle ilgili planlamaların ve bu stratejinin temelini enerji tasarrufu oluşturmaktadır. Şekil 3.10'da enerji verimliliğinin temel öğeleri gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Enerji verimliliğinin temel öğeleri [161,178]

Şekil 3.10'dan da görüleceği üzere enerji verimliliği, enerji kaynaklarının üretiminden tüketimine kadar olan tüm aşamalarında en yüksek etkinlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca; tez konusu kapsamında bulunan ulaşım sektörünün de enerji verimliliğinin uygulama alanlarından birisi olduğu görülmektedir.

Enerji verimliliğindeki gelişmelerin ve iyileşmelerin birçok kazanımı vardır. Bunlardan bazıları, sera gazı emisyonları, enerji güvenliği, endüstriyel verimlilik, sağlık ve refah olmak, çevre kirliliği de olmak vb. olmak üzere çeşitli faydası bulunmaktadır [179].

3.8. Enerji Verimliliğini Artırmaya Yönelik Çalışmalar

Enerji verimliliği; enerji politikaları açısından oldukça önemli olup, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de stratejik öneme sahiptir. Ancak, Türkiye'de yürütülen enerji politikalarında ve stratejilerinde dünyaya oranla yeterince önem gösterilmediği, genellikle enerji gereksinimini enerji arzıyla gideren bir strateji benimsendiği görülmektedir 2007 yılında yürürlüğe giren “Enerji Verimliliği Kanunu” bu hususta öne çıkan önemli bir gelişme olmasına rağmen kanunun uygulanma noktasında tam manası ile yeterli olmadığı gözlenmektedir [175].

Bu tez kapsamı, ulaştırma alanıyla ilgilendiğinden enerji verimliliğinin artırılmasını sadece ulaştırma sektörü kapsamında değerlendirilmesi yapılmış ve buna yönelik çalışmalar ile önerilere yer verilmiştir.

3.8.1. Ulaştırma sektöründe enerji verimliliğini artırıcı çalışmalar

Dünyada enerji kullanımı her geçen gün artmakta ve bu tüketilen enerji içerisinde önemli paylardan birini de ulaştırma sektörü aldığı görülmektedir. Türkiye'de enerji kullanımının ortalama olarak %20'si ulaştırma sektörü tarafından kullanılmaktadır. Türkiye'de ulaştırma sektöründe kullanılan enerjinin de tamamına yakın bir bölümünü ise petrol ürünlerinden oluşmaktadır. Buna karşın, Türkiye petrol gereksiniminin büyük bir payını ise ithal ederek karşılamaktadır. Bu itibarla, ulaştırma sektöründe enerji tüketiminin hem verimli hem de tüketilen enerjinin çok etkin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan, sektördeki enerji verimliliğini artırma çalışmaları ve enerji tasarrufunun artırılması hem

zararlı emisyonların azaltılması noktasında hem de sürdürülebilir gelişmenin sağlanabilmesi için çok önemlidir [180].

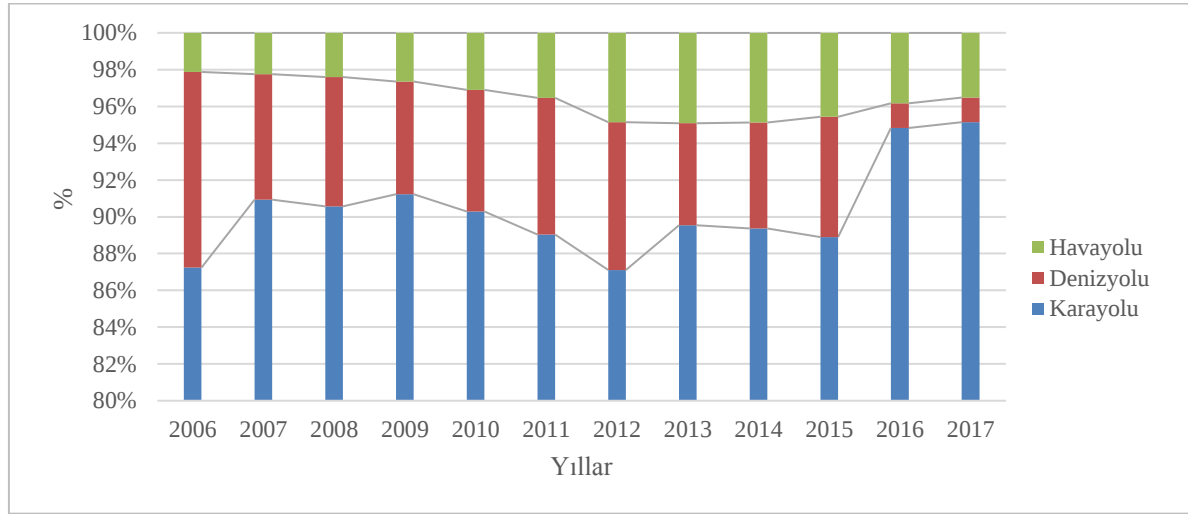
Ulaştırma enerji verimliliği ana hat olarak genel olarak üç ana başlık altında incelendiği görülmektedir. Bunlar; enerji tüketiminde verimliliğin ve tasarrufun artırılması (verimli yakıt kullanımı teşvik edilmesi, birim enerji tüketimi daha düşük olan ulaştırma sistemlerine (demiryolu ve denizyolu) öncelik verilmesi, yolculuk alışkanlıklarının değiştirilmesine yönelik programlar hazırlanması, araçların verimlilik standartlarının yükseltilmesine; temiz enerji kaynaklarının kullanılmasının özendirilmesine yönelik çalışmalar), fosil yakıtlarla ilgili stratejik depolama olanaklarının geliştirilmesi (Türkiye'nin hem doğalgaz açısından hem de ham petrol açısından herhangi bir stratejik depolama kapasitesine sahip olmadığı bilinmektedir), enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına daha çok önem verilmesidir (sera gazı emisyonu, küresel ısınma ve iklim değişikliği durumunu dikkate alarak temiz enerji planlamalarının ve politikalarının geliştirilmesi) [180].

Bunların yanında ulaştırma sektörü enerji verimliliğini arttırıcı çalışmalar ve gelecekteki ihtiyaçlar durumu genel olarak değerlendirmek gerekirse aşağıdaki çıkarımlar Türkiye için yapılabilir.

Türkiye'de gerek yolcu gerekse de yük taşımacılığında hâkim ve payı en çok olan ulaştırma sistemi, en çok yakıt tüketimine de sahip olan karayolu ulaştırma sistemleri ile yapılmaktadır [181]. 2017 yılı için, karayollarında 30 565 439 ton, denizyollarında 430 870 ton, havayollarında 1 129 055 ton yakıt tüketilmiştir. Diğer taraftan; denizyollarında yakıt tüketim miktarında yıllara göre azalan eğilim gösterdiği görülmektedir. Çizelge 3.6'da Türkiye'de ulaşım tipine göre yakıt tüketim miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir [22, 182]. Aşağıdaki Şekil 3.11'de yakıt tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmektedir [22, 182].

Çizelge 3.6. Türkiye’de ulaşım tipine göre yakıt tüketim miktarları (ton) [22, 182]

Yıllar / Tür	Karayolu	Denizyolu	Havayolu	Toplam
2006	16 937 978	2 065 326	413 222	19 416 526
2010	18 461 624	1 349 945	635 696	20 447 265
2014	22 557 586	1 453 360	1 229 406	25 240 352
2015	25 740 274	1 898 474	1 319 436	28 958 184
2016	27 848 652	396 816	1 123 702	29 369 170
2017	30 565 439	430 870	1 129 055	32 125 364



Şekil 3.11. Ulaşım tipine göre yakıt tüketim miktarlarının pay olarak yıllara göre değişimi

Yukarıdaki Çizelge 3.6 ve Şekil 3.11 genel olarak değerlendirilirse; Türkiye için bu şekilde, sürdürülebilir, enerji verimliliğine uygun olan bir ulaşım sisteminden söz edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle ulaştırma sistemleri arasında dengenin ve uyumunun sağlanması çok önemlidir. Yolcu ve yük taşımacılığında karayolunun payının azaltılarak diğer ulaştırma sistemlerine ağırlık verilmesinin özellikle demiryollarına oluşan ulaştırma talebinin aktarılması önemli miktarda yakıt tasarrufu sağlayacağı açık ve net olarak görülmektedir. Ulaşım talebinin demiryollarına yönlendirilmesi ile enerji tasarrufu arasında doğrusal bir bağ olduğu bilinmektedir [180].

Havayolu ulaştırma sisteminde uçuş rotası kısaltma çalışmaları devam ederek artırılmalı ve hava trafik sistemini modernize etmek ile enerji verimliliği sağlanmasını amaçlayan “SMART” projeleri devam etmeli ve artırılmalıdır.

Artan nüfus artışı ile gelişim göstererek büyüyen ekonomi sonucunda meydana gelen hareketlilik gereksinimleri için daha etkin ulaştırma altyapısının oluşturulması ve taşıma paylarının ulaştırma sistemleri arasında dengeli bir şekilde paylaşılması gerektiği daha önce de görüldüğü üzere ifade edilmiştir [183]. Bu itibarla; demiryolu ağının ve altyapısının daha etkin hale getirilmesi, geliştirilmesi ve iyileştirilmesi sonucunda karayolu ve havayolu trafiğinin demiryoluna aktarılması sağlanarak, sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım katkı sunacağı açıktır.

Ulaşımda kullanılan motor teknolojisinde yakıt tüketimlerinin ve emisyonların kontrolüne yönelik yaklaşımların artarak gelişmesi gerekmektedir. Taşıt boyutunun ve ağırlığının daha az olmasına yönelik çalışmaların yapılması ile araçların aerodinamik yapısının iyileştirilmesi, lastik performansının artırılması, hibrit ve elektrikli taşıt vb. uygulamalarında kullanımının yaygınlaştırılması gereklidir. Araç tasarımlarında iyileştirilme yapılması enerji verimliliği artırmada önemli rol alacağı düşünülmektedir.

Sera gazı emisyonu düşük olan ulaşım türlerine yönelik ulaştırma politikalarının düzenlenmesi ve ulaşım taleplerinin yönetiminin ve kontrolünün yapılması oldukça önem arz etmektedir.

Emisyon kontrol sistemi içermeyen araçlar, çok fazla miktarda CO₂ emisyonu ve diğer zararlı olabilecek gazlar meydana getirdiği bilinmektedir. Söz konusu bu araçların, trafikten kaldırılması ya da hurdaya çıkartılması yolunda sağlanacak teşvikler ve ayrıcalıklar, ulaşımda sera gazı emisyonlarının azaltılmasında son derece önemli olacaktır. Örneğin, Türkiye’de yapılan böyle bir uygulama sonucunda tanınan vergi avantajı sebebiyle 2003-2004 yılında hurdaya çıkarılan 320 000 araç CO₂ emisyonlarında %4,87 azalma sağlamıştır [184]. Ayrıca, araçların yakıt tüketimlerine ve yakıt türüne göre vergilendirilmesi, satılırken avantajlı indirimler sağlanması veya ödül sistemleri gibi satış düzenlemeleri yoluyla da etkin stratejiler oluşturulmalıdır. Yasal mevzuata dair iyileştirmeler ve düzenlemelerle araç verimi için performans ve yakıt tüketimi standartlarını belirli ilkelere göre yeniden düzenlenmelidir. Ayrıca devlet desteğiyle, araç verimliliğinin iyileştirilmesi ve daha az zararlı sera gazı emisyon salınımı yapan alternatif yakıtlar için altyapı oluşturulması gibi doğrudan yatırımlar yapılmalıdır [185].

Günümüzde olduğu gibi gelecekte de karayolu taşımacılığında petrole bağımlı durumun devam edeceği yapılan araştırmalar ve çalışmalardan gözüktüğü açıktır. Trafığe kayıtlı otomobillerin Türkiye’de yakıt cinsine göre yüzdesel dağılımı Çizelge 3.7’de gösterilmektedir [186].

Çizelge 3.7. Trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre yüzdesel dağılımı [186]

Yıl / Tür	Benzin (%)	Dizel (%)	LPG (%)	Bilinmeyen (%)	Toplam (%)
2005	67,3	6,8	21,8	4,1	100
2010	42,4	18,3	38,4	0,9	100
2015	27,6	31,6	40,4	0,4	100
2016	26,8	33,6	39,2	0,4	100
2017	25,9	35,4	38,3	0,4	100

Trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımına bakıldığında, 2017 yılı sonu itibarıyla trafığe kayıtlı 12 035 978 adet otomobilin %38,3’ü LPG’li, %35,4’ü dizel, %25,9’u benzin yakıtlı olup, yakıt türü bilinmeyen otomobillerin oranı ise %0,4’tür [186].

Bu sebeple de araç tasarımında uygulanacak iyileştirmeler haricinde alternatif olabilecek başka yakıtlar da yani petrole alternatif olacak yakıtların enerji verimliliğini artırıcı ve zararlı emisyonları azaltma noktasında oldukça önemli bir unsur olacağını belirtmek mümkündür. Tüm dünyada olduğu gibi alternatif yakıt kullanımı olarak sayılan LPG kullanımı ile dahi hem çevresel olarak olumlu etki hem de yakıt tüketim maliyetinde bir azalma meydana getirdiği açıktır.

Gelişimi devam eden teknolojiler sonucunda ulaşım sektöründe elektrikli ve doğalgazlı araçların kullanımının artacağı düşünülmektedir. Bu durumun sonucu ile emisyon değerlerini petrole alternatif olan bu yakıtlar azaltacaktır. Doğalgaz Kullanan Araçlar Birliği’nce yapılmış olan bir değerlendirmeye göre; doğalgazın yakıt olarak kullanıldığı araçlarda benzinli araçlara göre %23 dolaylarında, dizel araçlara göre ise %7 ile %17 arasındaki oranlarda daha az karbon salınımı gerçekleştirdiğini belirtmektedir [187].

Ulaştırma çevreci olabilecek alternatif yakıtlar olarak görülen; hidrojen enerji sisteminin uygulanması [188], kimyasal enerjiyi elektrot-elektrolit sistemi aracılığıyla elektrik enerjisine çeviren bir elektrokimyasal mekanizmalar olan yakıt pilleri [189], bor [190],

biyokütle enerjisi [191], biyodizel ile güneş enerjisi ve güneş pilleri detaylı olarak araştırılmalı ve incelenmeli, yeni enerji kaynağı olup olamayacağı değerlendirilmelidir.

Gelecekte kullanılan araç sayısı da artacak olup, araç kullanımının artmasına bağlı olarak trafik düzeyinin de artmasının gelecekte olacağı öngörülmektedir. Bu durumun sonuçları olarak, yol kapasitesinin yetersiz kalması, dolayısıyla da trafik sıkışıklığının oluşmasına neden olmaktadır. Tıkanıklık koşullarında araçların daha çok yakıt tüketeceği için daha çok sera gazı emisyonu üreteceği gözlenecektir. Bu itibarla; tıkanıklığın az olmasına yönelik çalışma ve düzenlemelerden olan ulaşım sistemlerinin herkes tarafından kullanılabilirliğinin kolay bir şekilde olması, ulaşım kullanıcısının basit ve mantıksal yolculuk planlamaları ve yol bulma bilgilerini kolay bir şekilde oluşturması gerekliliği açık olarak görülmektedir. Bu nedenle akıllı ulaşım sistemi uygulamalarının geliştirilmesi, sürücü ve yolcu bilgilendirme ve yönlendirme, yol ve yolculuk planlamasını olabildiğince kolaylıkla uygulanabilir olması ve bu sistemleri geliştirerek trafik düzenlemelerinin yapılması gerekmektedir.

Araç kullanımının diğer ulaşım sistemlerine oranla, taşınan yolcu başına oluşturduğu emisyonlar ve hava kirliliğine verdiği zararlar ve enerji tüketimi açısından verimsiz bir seçenek olduğu bilindiğinden, yolculuklarda ve ulaşım ihtiyacında araç kullanımı yerine daha çevre dostu ve sürdürülebilir ulaştırmaya da katkısı olacağı düşünülen yaya ulaşımının artırılması ve bisiklet gibi motorsuz olarak kullanılabilen araçlarla yolculuğun yapılabilmesine yönelik düzenlemelerin gerçekleştirilmesi ve desteklenmesi gerekmektedir. Bunun içinde geniş alanlara yayılmış, güvenilir olan yaya yolları ve motorsuz araçların kullanımına yönelik yolculuk ağları yapılmalı, geliştirilmeli ve buna yönelik planlamalar ve politikalar oluşturulmalıdır.

Kurulan yerleşim yerlerinde ve oluşturulma sürecinde; enerji, çevre, ekonomi, konut ve arazi politikalarında sürdürülebilir geniş kapsamlı bir kent içi ulaşım sistemi ve stratejisi oluşturmaya yönelik planlamalar yapılması gerekmektedir. Bu planlamalarda mutlaka ulaştırmada enerji verimliliğini artırıcı tedbirlere dair kurallar belirlenmeli, yeni yapılacak yollarda ve şehir içi yol ağının geometrik tasarımında ve fiziki standartlarının daha az yakıt yakılmasını sağlayacak bir düzenlemenin oluşturulması ile toplu taşımanın teşviki, yaya ve bisiklet gibi motorsuz ulaştırma araçlarının desteklenmesine yönelik alt yapı oluşturulmalıdır. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerin sürdürülebilir bir toplu ulaştırma sisteminin oluşturulabilmesi için uygun mevzuatının ve yasal zeminin olması oldukça

önemli olup, yapılacak mevzuatla ilgili düzenlemelerin olabildiğince net ve açık, etkin ve etkili olmasının yanı sıra, gerektiği kadar detaylı ve anlaşılması zor olmaması gerekmektedir [192].

Ulaştırma açısından en önemli unsurun insan olduğundan, ulaştırmada enerji verimliliğine yönelik planlama-projelendirme, uygulama, denetim ve her türlü iş akışı oluşturulması esnasında eğitimin rolü de asla unutulmamalı, çevreye duyarlı bu konuda hassas bireyler olmasına yönelik çalışmalar da yapılmalıdır.

Ulaştırmada enerji verimliliğinde diğer önemli etkenlerden birisi de karar verici mekanizmalar olduğudur. Karar vericilerin ve toplumların, sürdürülebilir ulaşım ve ulaştırma kavramı ve bu doğrultudaki bilgi birikimlerini artırıcı çalışmalar ile farkındalık oluşturulacak programlar yapılması oldukça önemlidir. Sürdürülebilir ulaşım planlaması alanında yeterli bilgi birikimine sahip ve donanımlı uzman sayısının artması da sağlanmalıdır.

Tüm bunlarla birlikte; ulaştırmada enerji verimliliği ekonomik, çevresel ve sosyal açıdan bir bütün olarak ele alınıp, sürdürülebilir ulaştırma planlaması için gerekli her türlü bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile ar-ge çalışmalarının yapılması gereklidir. Bu çalışmalara yönelik yapılacakların neler olabileceği belirlenmeli hem yasal zemin olarak hem de finansman desteği olarak gereken politikalara öncelik verilmesi gerekmektedir.

3.9. Tür Tabanlı Enerji Formülü Yaklaşımı ve Enerji Analizi

Bu tez kapsamında Türkiye için ulaştırma sisteminde 1998 yılı sonrası incelenmektedir. Ancak 1998-2017 yılları arası verilerdeki hatalar ve eksikler tamamlanarak analiz edilmekte ve 2035 yılına kadar olacak olası değişimler dikkate alınarak, ulaştırma sistemindeki enerji tüketimine dair gelişimi üzerine etkileri araştırılmaktadır. Diğer taraftan geleceğe dair senaryolar oluşturulması [193] ile ulaştırma türleri arasındaki ayrı taşımacılık oranlarının enerji verimliliğe olan etkisini incelenmekte ve gelecek yıllar ulaştırma senaryoları ile de türler arasındaki taşımacılık oranlarının değişmesi durumunda ulaştırmada oluşacak durumların enerji tüketimine etkisi analiz edilerek değerlendirilmektedir. Bu sebeple; taşımacılık konusu enerji analizi için oldukça önem arz etmektedir.

Ulaştırma sektöründe genel olarak enerji analizine yönelik kritik öneme sahip olan veri ton-km ve yolcu-km; yani birim taşıma veya yolculuk için gerekli olan enerji miktarıdır. Ton-km başına düşen enerji miktarının hesaplama yapılmasında çeşitli yöntemler ve işlemler kullanılmakta olup; bu yöntemler ve işlemler arasında deney ortamında bir ton-km için gerekli enerjinin belirlenmesi, işletme şartlarında bir ton-km için gerekli enerjinin belirlenmesi [194], enerji tüketim verileri ve toplam ton-km verilerinden yararlanılarak bir ton-km için gerekli enerji miktarının belirlenmesi yer almaktadır [195].

Aynı şekilde daha önce de bahsedildiği üzere; ulaştırma sektörü enerji tüketimi hesaplamalarında ya da başka bir söylem ile ulaştırma türleri arasında değerlendirme yapılmasında kullanılan yolcu-km başına düşen enerji miktarlarının hesaplanmasında çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler çok çeşitli olmakla birlikte, bir kısım çalışmalarda deneysel metotlar kullanılarak hesaplanırken, bazılarında işletme ortamındaki şartlar dikkate alınarak bir yolcu-km veya ton-km için gerekli enerji miktarı belirlenmektedir [194].

Diğer bir yolcu-km veya ton-km başına düşen enerji miktarlarının hesaplanmasında kullanılan yöntem ise eğer taşıtlar bazında tüketilen enerji miktarı biliniyorsa, toplam yolcu-km veya ton-km değerleri kullanılarak bir yolcu km veya bir ton-km için gerekli enerji miktarına ulaşılabileceği durumudur [195]. Burada gerekli deney şartları oluşturularak, her bir aracın birbirinden ayrı yük miktarlarında harcadığı enerji miktarı bulunup, ülke için geçerli olabilecek ortalama doluluk oranı da hesapta kullanılarak bir ton-km için gerekli olan enerji miktarı tespit edilir. Bulunan enerji değerleri taşınan yük miktarları da kullanılarak bir ton-km için gerekli olan enerji değerlerine dönüştürülmektedir [194]. Her farklı ulaştırma türünde, hatta türlerde kullanılan her farklı araç cinsinde tüketilen toplam enerjiler biliniyor ve bu araç cinslerinde yapılan toplam ton-km değerleri belli ise bunlar kullanılarak her bir araç için bir ton-km başına düşen enerji miktarı da hesaplanabilmektedir [195].

Ulaştırma türünün enerji verimliliği analizlerinde genellikle tercih edilen ve kullanılan yöntem tür bazlı tüketilen verilerin kullanımının dikkate alındığı tür-tabanlı enerji verimliliği analizi yöntemidir [27]. Bu yöntemle; enerji verimliliği analizi tür bazından, türlerde kullanılan araçlar bazına genişletilerek daha detaylı bir analiz yapılabilme durumu da bulunmaktadır. Ayrıca; taşınacak yük çeşidine göre de analizler (yük-tabanlı) yapılması mümkün olup, bu çeşit analizler daha çok endüstrileşmenin çok olduğu ülkelerde gerçekleştirilmektedir [196].

Ulaştırma politikaları geliştirilirken, yük taşımacılığında zamana bağlı enerji tüketim tahminlerinin yapılabilmesi ve enerji verimliliğinin hedeflenmesi çok önemli olup, yük taşımacılığında toplam enerji tüketim tahmini için bir ton-km'ye düşen enerji miktarının değerine gereksinim duyulmaktadır. Toplam enerji tüketimine yönelik temel faktörlerin birleştirildiği tür-tabanlı enerji verimliliği analizi yöntemi aşağıda verilmektedir [196].

$$E_{tot} = \sum_k \mu_k \times s_k \times XD \quad (3.1)$$

$$\sum_k s_k = 1 \quad (3.2)$$

Formüllerde bulunan;

E_{tot} ; toplam enerji tüketimi,

μ_k ; enerji yoğunluğu (MJ/ton-km);

s_k ; k türü için tür payı yüzdesi,

XD ; taşınan toplam ton-km'dir.

Tür-tabanlı enerji verimliliği analizi yöntemi yaklaşımında toplam enerji tüketimini etkileyen üç önemli öge bulunmaktadır. Bunlar; türel verimlilik, türel dağılım ve ton-km olarak ifade edilir [27]. Böylece, sadece türel dağılım veya türel verimliliğe bağlı olarak değil, ayrıca temel problemlerin etkisini azaltan ton-km eğilimi de kullanılarak kazanım elde edilmiş olur. Buna ilişkin olarak; tüm problemler daha iyi yönetilebilir bir duruma gelmekte ve yük akışının bu şekilde sağlanmasıyla doğrudan taşıma yapılan toplam ton-km değeri artmaktadır.

Ayrıca; yük tabanlı enerji verimliliği modeli kullanımında, ulaştırma ağındaki başlangıç noktaları ile bitiş noktaları arasındaki yük taşımacılığı hareketlerinin tahmininde karşılaştırmalar yapılarak çözüme gidilmesi hedeflenmektedir [27]. Başka bir ifade ile her bir türün sadece enerji verimliliğindeki ton-km toplamı yönetilmekte ve toplam ton-km'nin türel dağılım değişikliklerinde gözlem yapılabilmektedir. Bu kısım sonrasında ise, çözülmüş problemin mevcut durumunda kontrol yapılarak yük taşımacılığının dağılımı, ticari mal ağının bileşenlerinde analiz için düzenlenme yapılmaktadır. Aynı yaklaşım yolcu-km için de uygulanmış ve yolcu tabanlı enerji verimliliği modeli kullanılmıştır.

3.10. Performans Değerlendirme ve Hata Ölçüm Teknikleri

Yapılan işlemlerde oluşturulan algoritmaların yapmış olduğu tahminine yönelik ve oluşturulan modellerin performansını ölçerek doğruluğunu değerlendirebilmek amacıyla farklı istatistiksel hata ölçüm teknikleri bulunmaktadır. Ayrıca çeşitli kullanılan algoritma ve modeller ile elde edilen sonuçların birbiriyle karşılaştırılması ve öngörü doğruluğuna göre sıralama yapılarak değerlendirilmesi amacıyla da hata ölçüm tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerin temel aldığı ana öge, gerçekleştirilen andaki gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin arasındaki farklardır [116].

3.10.1. Hata nedir?

Hata tanım olarak herhangi bir ölçümün öngörü değeri ile gerçek değeri arasında fark olarak ifade edilebilir. Söz konusu öngörü değeri ölçüm ya da işlem sonucu bulunan sayısal sonuç; yapılan hataların sınırı konusunda bilgi sağlar. Hata denklemi, Eş. 3.4' de gösterilmiştir [197].

$$\varepsilon_t = y_t^* - y_t \quad (3.4)$$

Denklemde yer alan;

t; i zaman periyodunu gösteren endeksini,
 ε ; öngörü hatasını ,
 y ; veri seti gerçek değerlerini,
 y^* ; öngörü değerlerini

ifade etmektedir.

3.10.2. Ortalama mutlak hata (MAE)

Ortalama mutlak hata (MAE); istatistiksel hata ölçüm tekniklerine göre, tahmin periyodu sayısınca tahmin edilen ve gerçekleşen değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin aritmetik ortalaması alınması ile bulunur [116]. Bu istatistiksel ölçüm tekniği, tahminlerin gerçek sonuçlara yaklaşımının ne kadar olduğunu görebilmeyi amaçlar. Diğer taraftan ortalama mutlak hata tahmin kümesindeki hataların ortalama büyüklüklerini, yönlerini göz önünde bulundurmaksızın ölçmektedir [198]. Ortalama mutlak hata denklemi, aşağıda gösterilmektedir.

$$MAE = (\sum_{i=1}^n |y_i^* - y_i| /) / n \quad (3.5)$$

Denkleimde bulunan;

t; i zaman periyodunu gösteren endeksini,
y; veri seti gerçek değerlerini,
y*; öngörü değerlerini
n; öngörülen periyot sayısını,

ifade etmektedir. Bu ölçüme göre, ortalama mutlak hata hatası en küçük olan tahmin modeli, en iyi model olarak kabul edilir.

3.10.3. Hata kareleri ortalaması (MSE)

Hata kareleri ortalaması (MSE), istatistiksel ölçüm yönteminde, öngörü veya tahmin periyodu sayısının tahmin edilen ve gerçekleşen değerler arasındaki farkların karelerinin, aritmetik ortalaması alınarak bulunmasıdır. Hata kareleri ortalaması, Eş. 3.6'da gösterilmiştir.

$$MSE = (\sum_{i=1}^n |y_i^* - y_i|^2 /) / n \quad (3.6)$$

Denkleimde bulunan;

t; i zaman periyodunu gösteren endeksini,
y; veri seti gerçek değerlerini,
y*; öngörü değerlerini
n; öngörülen periyot sayısını,

ifade etmektedir. Bu ölçüme göre, hata kareleri ortalaması (MSE) değeri daha küçük olan tahmin modeli, daha iyi model olarak kabul edilir. Eğer tahmin modelinin hata kareleri ortalaması hata değeri, ortalama mutlak hata değerinden daha küçükse, bu hata değerlerinin 0 ila 1 arasında ve bu aralık içerisinde olduğu anlamına gelmektedir [116].

3.10.4. Hata kareleri ortalaması karekökü (RMSE)

Hata kareleri ortalaması karekökü (RMSE) istatistiksel ölçüm yönteminde, hata değeri; tahmin

periyodu sayısının tahmin edilen ve gerçekleşen değerler arasındaki farkların karelerinin, aritmetik ortalamasının karekökü alınarak hesaplanır. Hata kareleri ortalaması karekökü denklemi, Eş. 3.7’de gösterilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (y_i^* - y_i)^2) / n} \quad (3.7)$$

Denklemde bulunan;

t; i zaman periyodunu gösteren endeksini,
y; veri seti gerçek değerlerini,
y*; öngörü değerlerini,
n; öngörülen periyot sayısını,

ifade etmektedir. Bu yöntemle göre, hata kareleri ortalaması karekökü küçük değere sahip olan öngörü modeli, en iyi model olarak kabul edilir.

3.10.5. Yüzde mutlak ortalama hata (MAPE)

Yüzde mutlak ortalama hata (MAPE) istatistiksel hata ölçüm tekniğinde, öngörü periyodu sayısının farklar gerçek değerlere oranlanır ve bunların mutlak değerlerinin, aritmetik ortalaması alınarak, çıkan sonuç yüzdesel olarak sayısal değere çevrilmesi sonucu yüzde hata ortalaması hesaplanmış olur. Yüzde mutlak ortalama hata denklemi, Eş.3.7’de gösterilmiştir.

$$MAPE = \frac{(\sum_{i=1}^n \frac{|y_i^* - y_i|}{y_i})}{n} \times 100 \quad (3.8)$$

Denklemde bulunan;

t, i zaman periyodunu gösteren endeksini,
y veri seti gerçek değerlerini,
y* öngörü değerlerini,
n öngörülen periyot sayısını,

ifade etmektedir. Bu yöntemle göre, yüzde mutlak ortalama hata küçük değere sahip olan öngörü modeli, en iyi model olarak kabul edilir. Ayrıca; gerçek değerden sapma yüzdesi, bu hata ölçüm yöntemiyle görülebilir.

3.10.6. Değerlendirme

Tez kapsamında; öngörü performansı ölçülmesi ve değerlendirilmesinde, hata ölçümü yukarıda açıklanan MAPE, MSE, RMSE ve MAE istatistiksel hata yöntemlerinden yararlanılmıştır. Model sonucunda alınan sonuçlar, kullanılacak olan hata yöntemlerine göre sıralı ve toplu şekilde değerler sıralanmıştır. Genel olarak tez kapsamında; MAPE ve MSE kullanılmıştır. MAPE hata yüzdeleri küçük olanlara, daha sonra MSE hata kareleri ortalaması küçük olanlara öncelik verilmiştir. Bu şekilde [0-1] aralığındaki hata oranı ve gerçek değere daha yakın tahminler belirlenmek istenilmiştir. Sonuç olarak; öngörü algoritmalarının performansları en iyiden en kötüye doğru sıralanmaya çalışılarak, bir karşılaştırılma yapılmış, hata ölçümü neticesinde en az hataya sahip olan model seçilmiştir.

4. TÜRKİYE'DE DEMİRYOLLARI ULAŞTIRMA SİSTEMİ

4.1. Genel Durum ve Bilgiler

Türkiye; Asya, Kafkaslar, Balkanlar, Ortadoğu, Akdeniz Bölgeleri, Afrika ve hatta dünyanın diğer ülkeleri ile ticarete artan rolü taşımacılıktaki durumunu daha da önemli kılmaktadır. Diğer taraftan hem jeopolitik konumu nedeniyle hem de Asya'dan Avrupa'ya yapılan ticaretlerde ve doğudan-batıya ulaştırma koridorlarının içinde yer almasından dolayı taşımacılıktaki payının artmasına neden olmuş olup, bu Türkiye'nin ulaştırma sektöründeki durumunu daha da önemli hale gelmesini sağlamıştır [183]. Bu açıdan bakıldığında; Türkiye, doğu-batı ülkeleri arasında bir geçiş ülkesi olması ve Orta Asya ülkeleri ile de ortak tarihi değerlere sahip olması sebebiyle uluslararası ulaştırma ağlarında ve enerji koridorlarda merkez konumda olduğu açıktır [183].

Türkiye'de ulaştırma sistemlerini ele aldığımızda, karayolunun daha etkin ve yoğun olduğu görülmektedir. Karayolunun egemen olması hem verimsiz hem de dengesiz bir ulaştırma sisteminin oluşmasına neden olmuştur [181]. Türkiye'de ulaştırma sektöründe yolcu ile yük taşımacılığında karayolu ulaştırma sisteminin etkin ve yoğun olduğu durumunun düzeltilmesi ile mevcut duruma göre daha dengeli ve daha verimli bir ulaştırma planlaması elde edilmesi için karayolunda oluşan talebin kademeli bir şekilde diğer ulaştırma sistemlerine, özellikle de demiryollarına aktarılması gerekmekte olduğu görülmektedir [183]. Bununla birlikte; enerji ithal eden ülkelere birisi olan Türkiye'nin demiryolları kullanımının artırılması ve taşıma payının mevcut duruma göre daha iyi seviyelere getirilmesi, Türkiye'nin enerji dışa bağımlılığını en azından ulaştırma sistemlerinde önemli oranda azaltacağı ifade edilebilir. Diğer taraftan; demiryollarının kullanımının artmasının sonucu olarak taşıma maliyetlerinin azaltılmasına ve Türkiye'nin diğer ülkeler ile ticari ilişkilerini de geliştirmeye yardımcı olacağı bir gerçektir. Çünkü ülkelerin ekonomik büyümeleri ile ulaşım sektörüne olan talepleri arasında bağ olduğu açık olup; Türkiye için ekonomik büyümede gerçekleşen her bir %1,0'luk artışa karşılık, ulaşım talebinin %1,43 nispetinde arttığı görülmektedir [181, 199]. Ayrıca; Türkiye jeopolitik konumu ile bulunduğu coğrafya içerisindeki geçiş güzergâhları içerisinde olması nedeniyle oluşan fırsatları ve avantajları ülke ekonomisi ve ticari gelişmesine de yeterli ölçüde katkı sağlayamadığı görülmektedir. Bunun farklı nedenleri olduğu söylenebilirse de bir nedeni

olarak da Türkiye demiryollarının alt yapısının yeterli ölçüde gelişmemesi ve dinamik bir biçimde verimli kullanılmaması da söylemek mümkündür. Bu açıdan bakıldığında, Türkiye'nin küresel rekabet gücü düzeyinin artırılması açısından da demiryollarının genel durumu, alt yapısı ve kullanımı oldukça önemlidir [183]. Aşağıdaki çizelgede Türkiye'nin ulusal demiryolu alt yapısı ile ilgili 2017 yılı değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Türkiye'nin ulusal demiryolu alt yapısı 2017 yılı değerleri [8]

Demiryolu Ulaştırma Türü	2017 yılı
Yüksek Hızlı Demiryolu Hattı Uzunluğu (km)	1 213
Konvansiyonel Demiryolu Hatları Uzunluğu (km)	11 395
Toplam	12 608

Çizelgeden de görüleceği üzere 2017 yılında Toplam demiryolu uzunluğu 12 608 km olup, bunun 11 395 km'si konvansiyonel demiryolu hattı iken 1 213 km'si yüksek demiryolu hattı oluşturmaktadır. 2017 yılında Türkiye'nin demiryollarında ortalama taşıma mesafesi 449 km, yurtiçi yük taşımacılığı değeri 26 435 000 netton, uluslararası yük taşımacılığı 1 814 000; yurtiçi netton-km bazında değeri ise 12 251 milyon, uluslararası yük taşımacılığında netton-km değeri ise 420 olduğu Çizelgeden görülmektedir Çizelge 4.2'de Türkiye'nin demiryollarında yük taşımaları ile ilgili bilgiler gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Türkiye'nin demiryollarında yük taşımaları 2017 yılı ile ilgili bilgiler [8]

Yük taşımacılığı	2017
Netton (Yurtiçi)	26 435 000
Netton (Uluslararası)	1 814 000
Netton – km (Yurtiçi/milyon)	12 251
Netton – km (Uluslararası/milyon)	420
Ortalama taşıma mesafesi (uluslararası dâhil / km)	449

Türkiye'de ulaşırma sistemlerine göre yıllar itibari ile değişimi Çizelge 4.3.'de gösterilmektedir. [5-7].

Çizelge 4.3. Türkiye’de taşımacılığın ulaştırma türlerine göre yüzdesel dağılımı [5-7, 200]

Yıllar	Yük (%) (Netton-Km)				Yolcu (%) (Yolcu-Km)			
	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu
1950	25,0	68,2	6,8	0	50,3	42,2	7,5	0
1960	45,0	52,9	2,0	0,1	72,9	24,3	2,0	0,8
1970	75,4	24,3	0,2	0,1	91,4	7,6	0,3	0,7
2014	89,5	4,6	5,9	...	89,8	1,1	0,59	8,52
2015	89,8	3,9	6,3	...	89,2	1,1	0,56	9,14
2016	89,7	4,1	6,1	...	89,3	1,0	0,33	9,41
2017	89,2	4,3	6,4	...	88,8	1,0	0,59	9,59

Çizelge 4.3’e göre demiryollarının taşımacılık durumu değerlendirilirse; 1950’li yılına bakıldığında demiryolunda yolcu taşımacılığı oranı %42,2 yük taşımacılığında aynı yıl için demiryollarının oranı %68,2 olduğu, 1960 yılında demiryolunda yolcu taşımacılığı oranı %52,9 yük taşımacılığında aynı yıl için demiryollarının oranı %24,3; 1970 yılında demiryolunda yolcu taşımacılığı oranı %7,6 yük taşımacılığında aynı yıl için demiryollarının oranı %24,3; 2017 yılında ise demiryolunda yolcu taşımacılığı oranı %1,0 yük taşımacılığında aynı yıl için demiryollarının oranı %4,3 olduğu görülmektedir. Karayolunun payı ise 1950 yılında yük taşımacılığında %25,0 yolcu taşımacılığında %50,3 olduğu; 1970 yılında yük taşımacılığında payı %75,4 yolcu taşımacılığında ise %91,4 olduğu, 2017 yılındaysa karayollarının yük taşımacılığında oranı %89,2 yolcu taşımacılığında ise payı %88,8 olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılabacağı üzere 1950’li yıllarda oldukça yüksek payları sahip olan demiryolları taşımacılığının azaldığı, buna karşın ise karayollarında taşımacılık paylarının arttığı gözükmemektedir. Diğer taraftan; karayolları ulaştırma sisteminin hem yük hem de yolcu taşımacılığında günden güne artan üstünlüğü net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, havayolu yolcu taşımacılığının son yıllar itibari ile taşımacılık oranında da yükselme görülmektedir. Örnek vermek gerekirse 1970 yılında havayolu yolcu taşımacılık payının değeri %0,7 olduğu, 2014 yılında %8,52, 2017 yılındaysa bu değerin %9,59’a yükseldiği açık olarak görülmektedir.

Demiryollarının yüksek hızlı trenler son zamanlarda artmasına rağmen yine de yeterli düzeyde istenilen taşımacılık değerlerine ulaşamadığı, diğer ulaştırma sistemleriyle oransal olarak karşılaştırdığımızda yolcu taşımacılık payının çok az bir paya sahip olduğu, bunun yanında da 1950'den itibaren genel durum olarak da düşme eğilimindedir. Bu itibarla; 1950 yıllarından sonra çok da dengeli bir ulaştırma planlarının izlenmediği buna uygun ulaştırma politikalarının oluşturulmadığı, bunların sonucu olarak da hem yük taşımacılığında hem de yolcu taşımacılığında demiryollarının payında düşüşlerin yaşandığı belirtilebilir [200].

4.2. Küresel Rekabet Edilebilirlik Endeksi (GCI/KRE) Açısından Türkiye'de Demiryolları

Küresel rekabet edebilirlik endeksi (KRE/GCI); bir ülkenin çeşitli alanlardaki yenilikleri ile geliştirilmeye açık olan ulusal rekabet gücünü, ülkelerin uzun süreli üretkenlik noktasında nasıl ve hangi yönde etkilenebileceğine yönelik araştırmalar ve çalışmalar yapmayı hedeflemektedir. Küresel rekabet edebilirlik endeksi ilk olarak 2005 yılında yayımlanmış olup, günümüze kadar artarak devam eden sayıda ülkeler ve kurumlarca, ulusal rekabet gücü konusuna dair karşılaştırma yaptığı görülmektedir [183]. Bu endeksin genel yapı olarak, inceleme ve araştırmaya aldığı her bir ülkenin rekabet gücünün durumunu göstererek, olumlu ve olumsuz yönlerinin belirlemesinde yardımcı olacak politika yenilikleri için gelecek planlamalarında yardımcı olmasını ve yararlı olabilecek bakış açısını katmayı amaçlamaktadır. Diğer taraftan; devletlerin, iş dünyası ile ilgili kurumlar ve kuruluşları ile sivil toplum oluşumlarının bir araya gelmesini sağlayan bir platform oluşturmasını sağlayarak, insanların yaşam kalite düzeyini daha iyi duruma getirmek ve iyileştirmek için gereken yeniliklerin oluşturulması noktasında katkı sağlama ve bağdaştırıcı görev görmektedir [183].

KRE/GCI endeksinde, eksik veriler ya da endeksi ilgilendiren değişkenler arasında mevcut bağıntının tam anlamıyla belirlenemediğinden endekse dâhil olmayan unsurlar da mevcut olduğundan dolayı verilerin ilk ve başlangıç olarak dikkate alınması gerekmektedir [201]. Bununla birlikte, KRE/GCI endeksinde endeks hesaplaması yapılırken yaklaşık 20 000 veri kullanılmaktadır [202]. Bu verilerden bir bölümü ulusal istatistik birimleri kurumlarından, ilgili ajanslardan, bilgilerin elde edileceği Bakanlıklardan, Dünya Ekonomik Forumu (WEF) ile birlikte çalıştığı enstitülerden, Ekonomi İstihbarat Biriminden, Uluslararası Para Fonundan (IMF) ve bölgesel kalkınma bankaları vb. kurumlar ile kuruluşlardan

sağlanmaktadır [183]. Bu itibarla, uluslararası alanda ortak bir sistemle sağlanan verilerin kullanılması yoluyla yapılacak olan karşılaştırmalarda oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Bu yukarıda sayılan kurumlar ve kuruluşlardan küresel düzeyde veri elde edilemez ise gerekli olan veriler; Dünya Ekonomik Forumunca hazırlanarak yapılan anketlerle derleme yöntemiyle hazırlanılmaktadır. Bu anketlerle de ortalama olarak 12 000 veri elde edilmektedir [202]. Anketler ile elde edilen bilginin dışında da eğer kalan eksik veriler varsa bu verilerin oranı elde edilen veriler içerisinde genel olarak neredeyse %0,5'in de altında kalmaktadır [203]. KRE/GCI son derece yaygın, ulusal rekabetçilik hususunda mikro ekonomik ve makroekonomik durumu analiz eden bir yapıya sahiptir. Bu durumu genel olarak değerlendirmek gerekirse, rekabet gücünü etkileyen çok çeşitli sayıda bileşenin ağırlıklı ortalaması olarak da tanımlamak mümkündür. Her bir bileşen, rekabetçilik olarak bilinen karmaşık kavramın bir boyutunu yansıtmaktadır. Bahse konu bu bileşenler, rekabetçiliğin dayandığı 12 adet bileşenin nelerden oluştuğunu ve bu duruma dair özelliklerini açıklar [204].

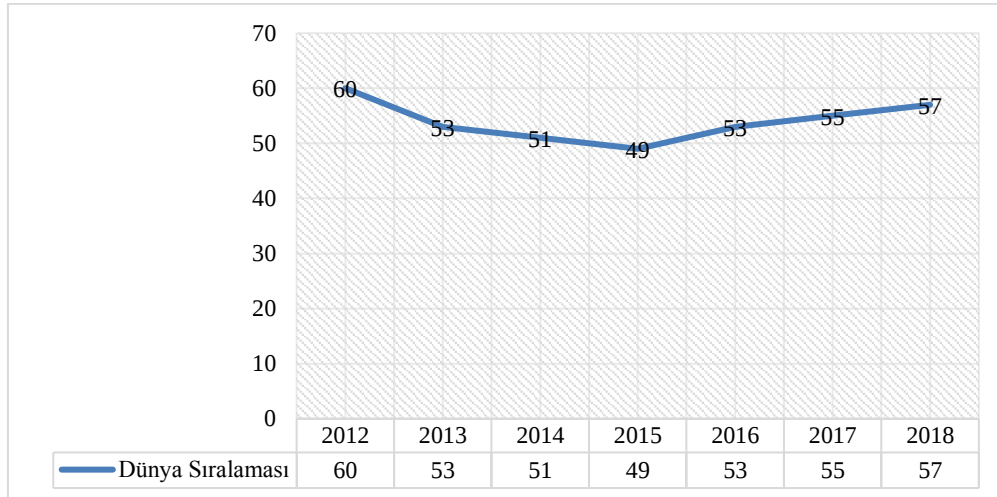
Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanılan küresel rekabet endeksinde; Türkiye, demiryolu altyapısı kalitesinde 2018 yılında 57'inci sırada yer almıştır [205]. Bu sıralama hazırlanırken; demiryolu altyapısının, ülke içindeki ve ülkenin bölgesinde bulunan pazarları da birbirlerine ne ölçüde iyi olduğu ile ekonomik açıdan bağladığı, kalitesi ve kapsamlı olarak değerlendirilmesiyle ekonomik büyümeye ve bölgeler arasındaki eşitsizliğin azaltılmasına ne kadar katkıda bulunduğu dikkate alınmaktadır. Sıralamada taşıma sisteminin güvenliği ve hızı, kesinti ve olumsuzluk oluşturabilecek ya da kalitesini artıracak diğer faktörler de oldukça önemlidir [204, 206]. 2018 yılında küresel rekabet endeksinde demiryolları kalitesi açısından sıralaması ilk 10 sırası ile İsviçre, Japonya, Hong Kong, Singapur, Fransa, Hollanda, Güney Kore, Almanya ve ABD'dir [205]. Çizelge 4.4'de Türkiye demiryolu altyapısı kalitesinin küresel rekabet endeksine göre sıralamasının yıllara göre değişimi gösterilmektedir [183, 205].

Yıllar itibari ile demiryolu kalitesinde Türkiye'nin sıralamasında genel olarak iyileşme olduğu ifade edilebilir. Çünkü 2010 yılı için Türkiye demiryolu altyapısı kalitesinin küresel rekabet endeksine göre sıralaması dünya ülkeleri içine 63 iken, 2014 yılına gelindiğinde ise 51'inci, 2015 yılında ise 49'uncu sırada olduğu gözükmemektedir. Ancak 2016 yılı, 2017 yılı ile 2018 yılları için demiryolu kalitesine göre Türkiye'nin sıralamasında genel bir düşme eğilimi gözlemlendiği; 2015 yılındaki 49'uncu sıraya göre 8 basamak gerileyerek 2018 yılında

dünya sıralamasında 57'inci sırada olduğu görülmektedir [102, 114, 115]. Şekil 4.1'de de yıllara itibari ile demiryolu kalitesinin durumuna dair Türkiye'nin sıralamasındaki değişimi gösterilmiştir [183, 205].

Çizelge 4.4. Türkiye'nin demiryolu altyapısı açısından dünya sıralamasının yıllara göre durumu [183]

Yıl	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Sıralama	60	53	51	49	53	55	57



Şekil 4.1. Yıllara göre demiryolu kalitesindeki Türkiye'nin sıralamasındaki değişimi [183]

Türkiye'nin ulaşım koridorları içerisinde bulunan diğer ülkelerin sıralamasına baktığımızda; 2015 yılında Rusya; 26'ncı, Gürcistan; 33'üncü, Azerbaycan; 37'inci, İran; 45'inci, Bulgaristan; 51'inci ve Yunanistan; 57'inci sırada olduğu görülmektedir [207]. 2018 yılında bu ülkelerin sıralaması şu şekilde olmuştur; Rusya, 23'üncü, Gürcistan; 39'uncu, Azerbaycan; 20'inci, İran; 42'inci, Bulgaristan; 58'inci ve Yunanistan; 66'ıncı sıradadır [205]. Türkiye ile demiryolu küresel rekabet endeksinde 2015 yılında benzer koşullarda olduğu varsayılabilir ülke olan İran'da demiryolunun payı %11,0 iken küresel rekabet endeksi sıralamasında daha gerilerde bulunan Sırbistan'ın ise demiryollarının payı %30,0 olduğu görülmektedir [183]. Bu itibarla, Türkiye'de belirli bir uzunlukta ve seviyede

demiryolu ağının olmasına karşın demiryolu kullanımı payının çok az olduğu ifade edilebilir.

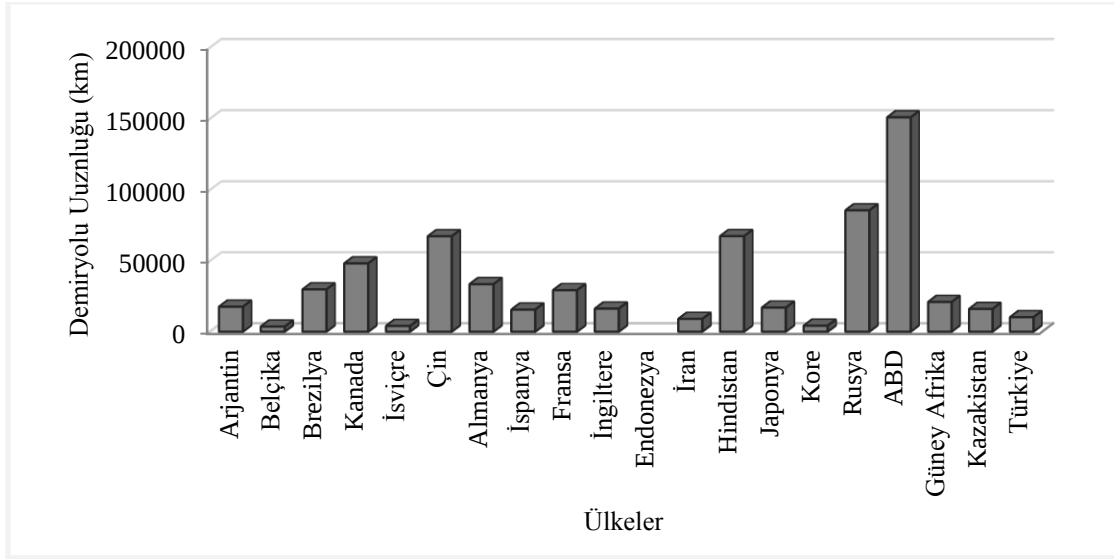
4.3. Türkiye'nin Demiryollarının Mevcut Durumu ve Uluslararası Karşılaştırmalar

Bu bölüm başlığı altında ilk başta Türkiye'nin demiryolları uzunluğunun yıllara göre durumu ile yıllara göre değişimi gösterilmiş, sonrasında dünya karşılaştırılması için diğer ülkelerin durumlarıyla karşılaştırılma yapılarak değerlendirilmiştir. Demiryolu uzunluğunun karşılaştırılması bazı dünyadaki ülkelerin nüfus değerleri, demiryollarında yük ve yolcu taşıma payı oranları ile miktarları ve bu ülkelerin yüz ölçümü değerlerinin yer aldığı bilgilerde tezin bu bölümünde gösterilmektedir. Çizelge 4.5'de Ülkelerin yıllara göre demiryolu uzunluğu (km) gösterilmektedir. Çizelgedeki ülkelerin 2017 yılı için Demiryolu uzunluğu değerleri grafiksel gösterimi ise Şekil 4.2'de gösterilmiştir [200, 208].

Çizelge 4.5. Ülkelerin yıllara göre demiryolu uzunluğu (km) [200, 208]

Ülke İsmi	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Arjantin	25 023	...	...	18 097	18097	...	17 609	17 609
Belçika	...	3 578	3 592	3 582	3 631	3 607	3 602	...
Brezilya	29 817	29 817	29 817	29 817	29 817	...	...	...
Kanada	58 345	52 002	52 002	52 002	58 651	45 626	48 498	48 150
İsviçre	3 574	3 551	3 558	3 592	4 019	3 976	4 034	4 036
Çin	66 239	66 041	66 298	66 585	66 989	67 212	67 092	67 278
Almanya	33 714	33 576	33 506	33 449	33 426	33 331	33 380	33 488
İspanya	15 590	15 681	15 438	15 582	15 506	15 711	15 650	15 557
Fransa	29 929	30 071	29 406	29 979	30 013	28 866	29 237	29 248
İngiltere	15 888	16 210	15 847	15 861	16 534	16 245	16 257	16 257
Endonezya	4 684	4 684	4 684	4 684	4 684	...	...	...
İran	8 217	8 368	8 368	8 593	8 560	8 560	8 576	9 021
Hindistan	63 974	64 460	64 600	65 436	65 808	66 030	66 687	67 368
Japonya	20 140	20 087	19 435	19 436	16 703	16 704	16 835	16 976
Kore	3 618	3 637	3 650	3 666	3 668	3 944	4 071	4 192
Rusya	85 292	85 166	85 248	85 266	85 266	85 262	85 375	85 545
ABD	194 431	194 136	15 3517	154 322	152 933	151 735	151 270	150 966
Güney Afrika	22 051	20 500	20 500	20 500	20 500	20 953	20 953	20 953
Kazakistan	14 184	14 319	14 759	14 767	14 767	14 767	15 529	16 040
Türkiye	9 594	9 642	9 642	9 718	10 087	10 131	10 131	10 207

Çizelge 4.5’den de açık ve net olarak görüleceği üzere; 2017 yılı değerleri için en uzun demiryolu uzunluğuna sahip olan ülkenin 150 966 km ile Amerika Birleşik Devletleri’nin olduğu, daha sonra sırası ile 85 545 km ile Rusya ikinci, 67 368 km ile Hindistan üçüncü ve bunu 67 278 km ile Çin izlemektedir. Türkiye’nin demiryolu uzunluğu 2010 yılında 9 594 km iken, 2014 yılında 10 087 km’ye, 2017 yılında ise 10 207 km’ye çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan; Türkiye’nin de demiryolu uzunluğunu yıllar itibariyle artırdığı görülmektedir. Ayrıca çizelgeye göre bu ülkeler için en az demiryolu uzunluğuna sahip olan ülkenin 3 602 km ile Belçika olduğu, bunu sırasıyla 4 036 km ile İsviçre ve 4 192 km ile Kore izlemektedir.



Şekil 4.2. Türkiye ile Dünya demiryolu uzunluklarının karşılaştırılması

Dünyadaki bazı belirli ülkeler ve Avrupa Birliğine üye bazı ülkeler ile Türkiye’nin demiryolu uzunluk değerinin 2015 ve 2016 yılları için yüzölçümüne, nüfusuna göre durumunu karşılaştırılması ve bu değerleri gösteren bilgiler Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6’ya baktığımızda 100 000 nüfusa düşen demiryolunun değerinde 2016 yılında Türkiye’nin 13 km iken; Çin ile Hindistan için bu değer 5 km, Japonya’nın 13 km, Rusya’nın 59 km, ABD’nin 47 km olduğu görülmektedir. Avrupa ülkelerinden bazılarını bakıldığında ise 100 000 nüfusa düşen demiryolunun değerinde 2016 yılı için Almanya’nın 41 km, Fransa’nın bu değeri 42 km iken İngiltere için bu değerin 25 km olduğu görülmektedir. Aynı şekilde 2016 yılı için 1 000 km²’ye düşen demiryolu uzunluk değerine bakılacak olursa Türkiye’nin 13 km olduğu buna karşın bu değer içerisinde birinci sırada yer alan

Almanya'nın Türkiye'den 7 kattan daha fazla olan 94 km olduğu görülmektedir. Diğer ülkelerin ise 1 000 km² 'ye düşen demiryolu uzunluk değerleri ise Fransa'nın 54 km, İngiltere'nin 67 km, ABD'nin 15 km, Çin'in 7 km, Hindistan'ın 20 km Japonya'nın 43 km ve Rusya'nın 5 km'dir.

Çizelge 4.6. Dünyanın bazı ülkeleri ile Türkiye'nin demiryollarının nüfus, yüzölçümü durumlarına göre karşılaştırılması [5-8, 200, 208]

Ülke	Ülke Yüz Ölçümü (1 000 km ²)	Nüfus (10 ⁶)		Demiryolu Uzunluğu (km)		1 000 km ² 'ye Düşen Demiryolu (km)		100 000 Nüfusa Düşen Demiryolu (km)	
Yıllar		2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Türkiye	785	78	79	10 131	10 131	13	13	13	13
Almanya	357	81	82	33 331	33 380	93	94	41	41
Fransa	544	66	67	28 866	29 237	53	54	44	44
İngiltere	243	64	66	16 245	16 257	67	67	25	25
AB -28 Ülkeleri	4 380	507	510	210 723	211 409	48	48	42	41
ABD	9 834	318	323	151 735	151 270	15	15	48	47
Çin	9 597	1 364	1 382	67 212	67 092	7	7	5	5
Hindistan	3 287	1 296	1 324	66 030	66 687	20	20	5	5
Japonya	390	127	127	16 704	16 835	43	43	13	13
Rusya	17 098	146	144	85 262	85 375	5	5	58	59

Fransa'nın yüz ölçümü ile nüfus değerinin oransal açıdan Türkiye ile en yakın ülke olduğu varsayımı ile bu iki ülkeyi birbirleri ile karşılaştırır isek; Fransa'nın 1 000 km² düşen yüz ölçümüne göre demiryolu değeri Türkiye'nin bu değerinden 4 katından daha fazla olduğu, yine Fransa'nın 100 000 nüfusa düşen demiryolunda ise neredeyse Türkiye'nin bu değerinden 3,5 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda; Türkiye'nin eş değeri olabilecek ülke olan Fransa'ya göre yüz ölçümü ve nüfusuna düşen demiryolu uzunluğu değerlerinde çok geride kaldığı görülmektedir

4.4. Türkiye Demiryollarında Sorunlar, Beklentiler ve Rekabet Etkisini Artırmaya Yönelik Öneriler

Türkiye’de demiryolları ulaştırma sisteminin yük taşımacılığında aldığı pay aşağı yukarı %4,0 dolaylarında; yolcu taşımacılığında payı ise %1,5’nin altında olduğu görülmekte, bunun sonucu olarak da ulaştırma sistemlerinde verimliliğin azaldığı ve demiryolu ulaştırma sisteminin olması gerekenden daha az kullanıldığı görünmektedir [183]. Küresel rekabet endeksinde, Türkiye’nin demiryolu altyapısı kalitesi sıralamasında 2015, 2016, 2017 yıllarında sırasıyla 49’uncu, 53’üncü, 55’inci ve 2018 yılında ise 57’inci sıradadır. Bu yüzden, Türkiye’de hem demiryolları alt yapı kalitesinde hem de taşımacılıktaki payının ülkelere oranla oldukça gerilerde olduğu ve bu ülkelerle rekabet düzeyini artırmak için demiryolu kullanılmasının artırılmasına yönelik araştırmaların yapılması gerektiği ve hem altyapı hem de yeni güzergâhlar olmak üzere gerekli düzenlemeler ve çalışmaların yapılması gerektiği ifade edilebilir. Bu bağlamda; yapılması gerekli olması muhtemel düzenlemeler ve çalışmalar aşağıdaki maddeler halinde sıralanmıştır. Bunlar [183, 200];

Altyapı düzenleme ve çalışmaları; nüfusun artmasının sonucu ve gelişim göstererek büyüyen ekonomiyle oluşan hareketlilik gereksinimine yönelik daha dinamik ve daha verimli bir ulaştırma altyapısı ile taşıma paylarının ulaştırma sistemleri arasında dengeli ve düzenli bir biçimde dağıtılmalıdır. Bu husus düşünülerek, ulaştırma alt sektörlerinin birbirleri uyum içerisinde ve birbirlerini tamamlayan bir şekilde çalışması ve kombine taşımacılığın yaygınlaştırılması için gerekli olan her türlü işlem ile altyapı hazırlıklarının ve çalışmaların yapılması gereklidir. Ayrıca; mevcut hatlarda gerekli olduğu düşünülen kısımlarda altyapının iyileştirilmesi ile modernizasyonunun sağlanması, demiryolları altyapısının her geçen gün artan ulaşım talebini de karşılayacak şekilde geliştirilmesi ve buna yönelik düzenlemelerin yapılması gerekmektedir [183].

İdari yapı ve mevzuat düzenleme ve çalışmaları; demiryollarında işletme niteliğinin daha iyi hale getirilmesi, hatların modernize edilmesi hızlı bir şekilde yapılması, fiyat düzenlemesi gibi önlemlerin alınmasını sağlamak gerektiği ve buna yönelik planlamalar yapılarak demiryollarının mevcut hatlarından en verimli olacak şekilde faydalanılması gerekmektedir. Ayrıca, Türkiye demiryolları alanında dünyadaki rekabet koşullarını karşılamasının yanında, artan ve hatta değişen talep koşullarına çözümler sunabilmesi gereklidir [183]. Ayrıca; gelişen teknolojilerden yararlanarak farklı seçenekler sunması veya oluşturması

mecburiyet olduğundan; demiryollarının altyapı yenilenmesi ve demiryolu kullanımını ilgilendiren mevzuatlarla eksik, yanlış, olumsuzluklar olduğu düşünülen kısımlar tespit edilerek, değişiklik yapılmalı; taşımacılık ile ilgili prosedürlerin azaltılması ve işlemlerin hızlandırılmasına yönelik gerekli görülmesi halinde yeni mevzuatlar ve yönetmeliklerin yapılması sağlanmalıdır.

Strateji ve planlama düzenleme ve çalışmaları; dünyada seçkin bir konumda bulunan Türkiye'nin bu konumunu iyi değerlendirerek dünya pazarındaki payını artırması gerekmekte ve bunu gerçekleştirmesi içinde uygun ulaştırma planlamaları ve stratejileri izlemesi gereklidir [183]. Ulaştırma politikaları oluşturulurken; Avrupa ülkelerini en başta dikkate almak üzere, Asya ülkelerini ve Ortadoğu ülkelerini de içine alan ve bulunduğu bölgelerin ihtiyaçları doğrultusunda ulaşım koridorlarının etkin hale getirilmesi ve oluşturulan ulaştırma politikalarına uyan yeni ulaşım güzergâhları planlanması yapılması durumunu inceleyerek bunları yapması ve mevcut demiryolu altyapılarının da yenilenmesinde öncelik verilmesi gereklidir. Türkiye, ulaşım koridorlarının içerisinde olduğu bölgeleri ve bölgeler arasında oluşan ulaştırma sektörü eğilimlerini de dikkate alması gerekmektedir. Yük ve yolcu taşımacılığında daha çok ve verimli kullanımın teşvik edildiği planlamalar yapılarak, ödül ve ceza sistemleri oluşturulmalıdır. Demiryollarının her anlamda kalitesinin artırılması ile taşımalarındaki payının özellikle yük taşımacılığı payının artması, bunun sonucu olarak da şehirlerin ekonomik ve sosyal gelişimine katkı sağlayacak, şehir içi trafiği rahatlatacak ve taşımacılığı hızlandıracağı açık olarak görülmektedir [183]. Böylelikle, Türkiye'de üretilmekte olan malzemeler ve ürünler, dünya ile daha kolay rekabet edebilecek olup, dünya genelinde de dolaşımı hem daha kapsamlı ve daha hızlı olacaktır. Bu durum, toplumun refah düzeyini artıracak ve hayat kalitesini daha da artıracak, gelişmiş ülkeler seviyesine ulaşmasında etkili olacaktır.

Sonuç olarak; Türkiye demiryolu ulaştırma sistemini ve ağını daha da geliştirmeli ve dünyadaki diğer ülkeler ile arasında ulaştırma olanaklarını ve kullanımını da artırarak rekabet avantajı sağlamayı hedeflemelidir [183, 200]. Bunun yanında, değişen ve yeni gelişmelere uyan teknolojik gelişmeleri de yakalayan ve rekabet ortamına uyan yeni planlamalar ile buna uyacak stratejiler belirlemelidir.

4.5. Demiryollarının Genel Enerji Görünümü

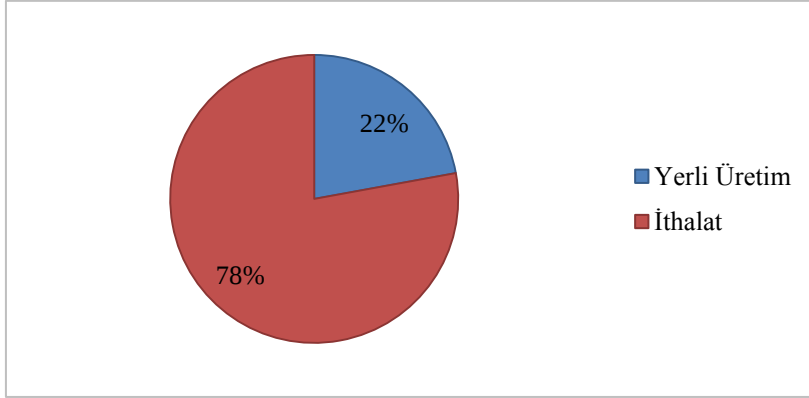
Türkiye’de birincil enerji üretiminin yıllar itibari ile arttığı görülmekte olup; 1990 yılında 25 138 bin TEP iken, birincil enerji üretimi 2016 yılına gelindiğinde 35 374 bin TEP birincil enerji üretimi olduğu görülmektedir. 2017 yılında bu değeri neredeyse değişmediği görülmektedir. Çizelge 4.7’de Türkiye için birincil enerji üretimi değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Yıllara göre birincil enerji üretimi değişimi aşağıda Şekil 4.7’de gösterilmektedir [21, 22].

Çizelge 4.7. Türkiye için birincil enerji üretimi yıllara göre değişimi [21, 22]

Yıllar	Üretim Miktarı (Mtep)
1990	25,14
1995	26,29
2000	26,46
2005	24,24
2010	31,56
2011	30,77
2012	30,45
2013	29,11
2014	28,59
2015	30,94
2016	35,37
2017	35,40

Türkiye de en çok enerji arz dağılımı değerine sahip kaynak linyit olduğu bu değer 2017 yılı için 13 752 bin TEP, sonrasındaki kaynağın hidrolik olduğu 2017 yılı değeri 5 007 Bin TEP’tir. Enerji arz dağılımında en az paya sahip olan kaynak 292 bin TEP ile doğalgaz olduğu görülmektedir. Toplam yerli üretimin enerji arz dağılımındaki değeri 2017 yılı için 35 356 bin TEP’tir. Bunun dışındaki tüm enerji ihtiyacını Türkiye genel olarak ithalat yoluyla karşılamaktadır. Bu değer 124 425 bin TEP’tir [21]. Şekil 4.3’de Türkiye’nin enerji arz dağılımı gösterilmektedir.

Enerji kaynakları açısından Türkiye dışa bağımlı bir ülkedir. Türkiye’nin yıllar itibariyle enerji ithalatının kaynak dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.8’de gösterilmektedir.



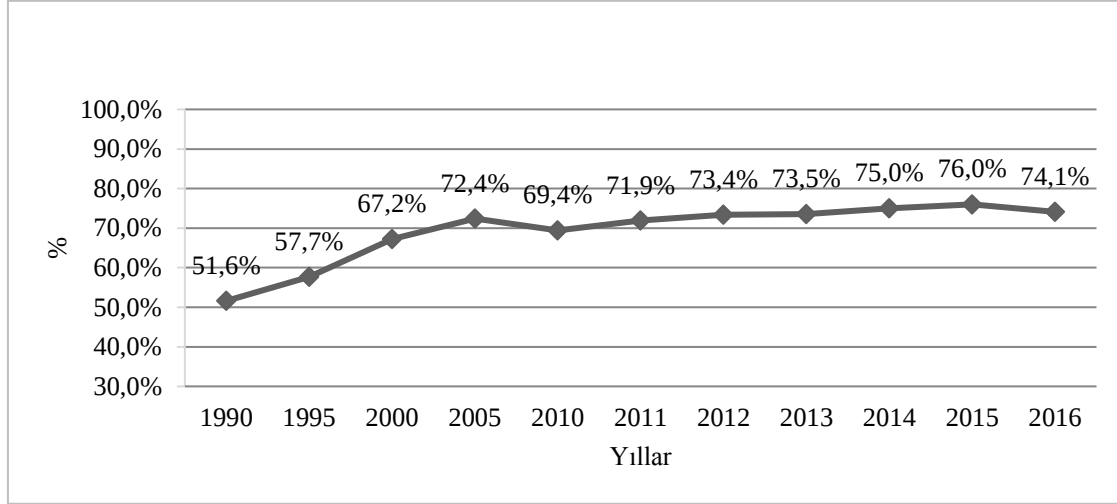
Şekil 4.3. Türkiye'nin enerji arz dağılımı

Çizelge 4.8. Türkiye'nin enerji ithalatının kaynak dağılımı (milyon dolar) [209]

Kaynak / Yıl	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%	2016	%	2017	%
Kömür	4 574	7,6	3 152	6,2	3 204	5,8	3 082	8,1	2 744	10,1	4 385	11,7
Petrol ve Ürünleri	32 105	53,4	30 880	55,2	28 805	52,4	18 932	50,3	15 134	55,7	20 028	53,8
Petrol Gazları, Doğal Gaz	23 181	38,5	21 190	37,9	22 441	40,8	15 503	40,9	9 706	33,4	12 695	34,1
Elektrik Enerjisi	255	0,4	334	0,6	439	0,8	325	0,8	214	0,7	86	0,2
Toplam	60 116	100	55 196	100	54 889	100	37 842	100	27 167	100	37 194	100

Çizelge 4.8'den görüleceği üzere; Türkiye'de enerji ithalatında kömürün payının artış eğilimi içinde olduğu, doğalgazın payının ise azalma eğiliminde olduğu söylenebilir. 2017 yılı için Türkiye'nin yıllar itibariyle enerji ithalatının kaynak dağılımına bakılırsa kömür %11,7, petrol ve ürünleri %53,8, petrol gazları, doğal gaz %34,1'ini ve elektrik enerjisini %0,2'sini oluşturmaktadır.

Birincil enerji talebinde Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı 2016 yılında 2015 yılına göre yaklaşık %1,9 azalarak %74,1 olmuştur. Yani Türkiye'nin yerli üretim ile birincil enerji talebini karşılanması oranı 2016 yılında %25,9 olmuştur. Dışa bağımlılık oranı, özellikle 1990'lardan itibaren doğal gaz tüketimin artması ile ilgili olarak önemli bir artış göstermiş olup, 2000 yılından sonra Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı %70-76 arasında bir oranda değişim göstermiştir. Şekil 4.4'de yıllara göre Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı gösterilmiştir [210, 211].

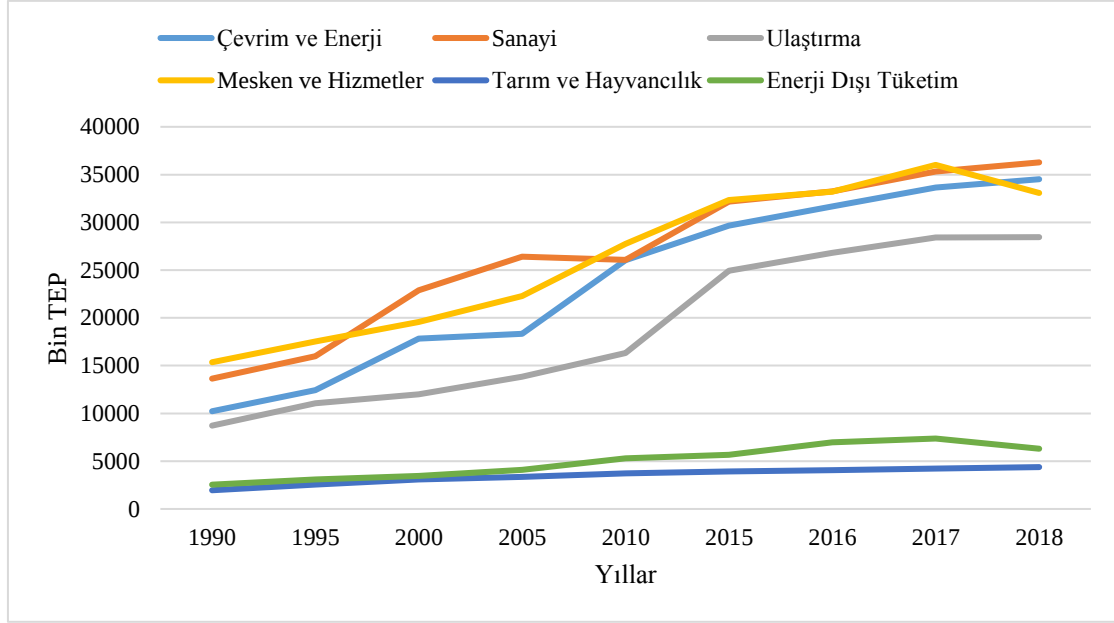


Şekil 4.4. 1990-2016 yılları Türkiye enerji talebinin dışa bağımlılık oranı

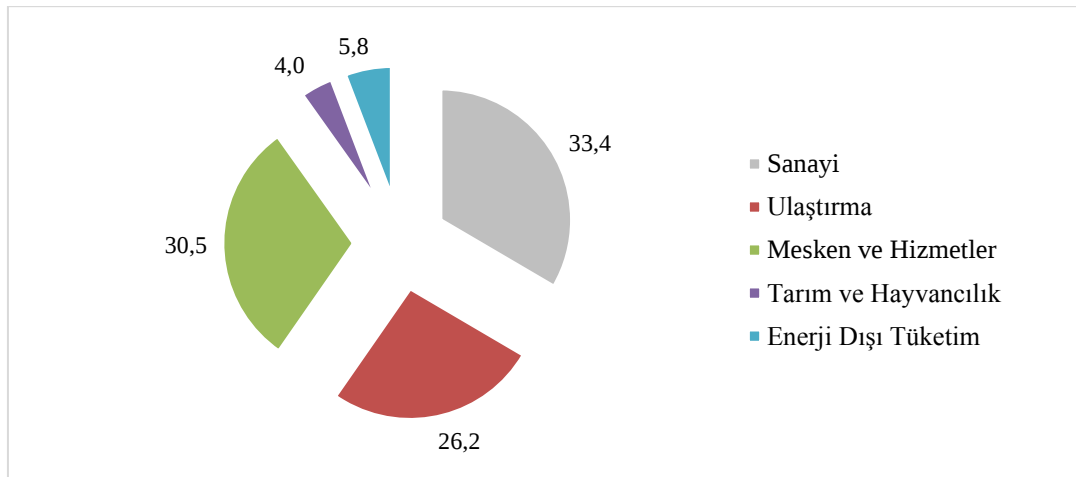
4.5.1. Sektörlere göre Türkiye’de enerji tüketimi

Türkiye’de 2018 yılındaki toplam enerji tüketiminin 143,67 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) olmuş olduğu görülmektedir [21]. Toplam enerji tüketiminin 2018 yılı için Türkiye’de toplam enerji tüketimi, 1990 yılındakine göre %173 oranında, 2005 yılındakine göre %62,02 oranında artmıştır. Ayrıca, 2018 yılı için sektörlere göre enerji tüketimine bakıldığında; konut ve ticaret sektörü 33,07 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol), sanayi sektörü 35,33 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol), çevrim ve enerji sektörü 34,52 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol), ulaştırma sektörü 28,45 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol), enerji dışı tüketim sektörü 6,30 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) ve tarım ve hayvancılık 4,38 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) enerji tüketimi yapmıştır.

Çizelge 4.9’da sektörlere göre toplam enerji tüketimi değerleri gösterilmektedir. Sektörlere göre enerji tüketiminin dağılımına bakıldığında ağırlıklı payı sanayi, konut ve çevrim sektörü oluşturmakta olup, bu sektörlerin sonrasında ise 2017 yılında ortalama %19,6 pay ve 2018 yılında da %19,9 oran ile ulaştırma sektörü izlemektedir. Türkiye’de, 2017 ve 2018 yılları için toplam enerji tüketiminin dağılımı aşağıdaki Çizelge 4.10’da gösterilmektedir. Şekil 4.5’de sektörlere göre enerji tüketimi değişimi gösterilmektedir [21]. Şekil 4.6’da Türkiye’de 2018 yılı sektörlere göre nihai enerji tüketimi dağılımı gösterilmektedir [21].



Şekil. 4.5. Sektörlere göre toplam enerji tüketiminin yıllara göre değişimi



Şekil 4.6. Türkiye’de 2018 yılı sektörlere göre nihai enerji tüketimi dağılımı (%) [21]

Çizelge 4.9. Sektörlere göre toplam enerji tüketimi (Bin TEP) [21]

Sektörler / Yıllar	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Toplam Enerji Ürünleri Arzı	52 465	62 968	79 428	88 672	105 888	129 139	136 229	145 305	143 666
Çevrim ve Enerji	10 228	12 442	17 834	18 347	26 048	29 672	31 655	33 654	34 517
Sanayi	13 641	15 986	22 876	26 410	26 077	32 157	33 254	35 318	36 277
Ulaştırma	8 723	11 077	12 007	13 849	16 314	24 936	26 812	28 429	28 452
Mesken, Ticaret ve Hizmetler	15 356	17 514	19 556	22 284	27 762	32 329	33 222	36 015	33 074
Tarım ve Hayvancılık	1 956	2 556	3 073	3 359	3 736	3 932	4 056	4 227	4 381
Enerji Dışı Tüketim	2 543	3 087	3 455	4 089	5 314	5 652	6 989	7 372	6 296

Çizelge 4.10. 2017 ve 2018 yılları sektörler göre enerji tüketimi türel dağılımı [21, 22]

Sektörler / Yıl	2017	2018	2018 (nihai enerji tüketimi için)
Çevrim ve Enerji Sektörü	%23,1	%24,1	-
Sanayi	%24,4	%25,4	%33,4
Ulaştırma	%19,6	%19,9	%26,2
Konut (Mesken)	%24,8	%23,1	%30,5
Tarım ve Hayvancılık	%2,9	%3,1	%4,0
Enerji Dışı Tüketim	%5,1	%4,4	%5,8
Toplam	%100	%100	%100

1990 yılında ulaştırma sektöründe tüketilen toplam enerji miktarı 8 723 bin TEP olup, 2018 yılında ulaştırma sektöründe tüketilen toplam enerji miktarı 1990 yılına oranla %225,9 artarak 28 452 bin TEP olduğu görülmektedir [21, 22]. Ayrıca, 2018 yılında 1990 yılına göre havayolları ulaşımında kullanılan enerji %300,75 oranında artmıştır. Bunu; 1990 yılına göre %228 artış oranıyla karayolları izlemiştir. 2018 yılı için demiryolu ulaşımında tüketilen enerji miktarı ise 1990 yılına oranla %10 azalmıştır.

4.5.2. Türkiye demiryolları enerji tüketiminin diğer ulaştırma türlerine göre durumu

Ulaştırma tipine göre Türkiye'nin nihai enerji tüketimi Çizelge 4.11'de gösterilmektedir. Türkiye'de 2017 ve 2018 yılı için tüketilen toplam enerji miktarının ulaştırma türleri arasında dağılımı Çizelge 4.12'de gösterilmektedir.

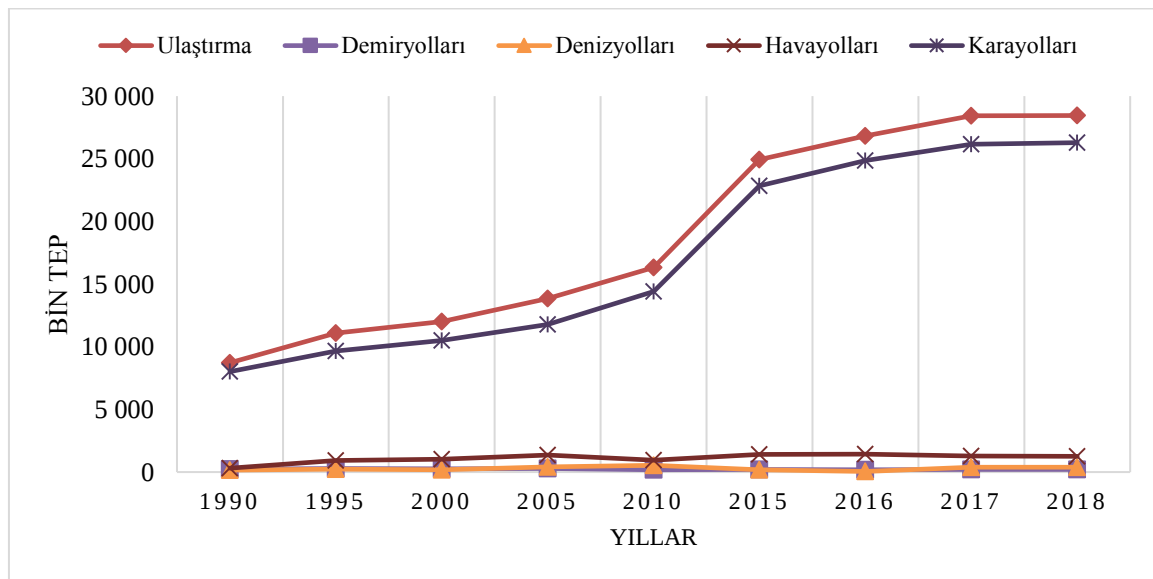
Çizelge 4.11. Ulaştırma türlerine göre Türkiye'nin nihai enerji tüketimi (Bin TEP) [21]

Türler/Yıl	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
Toplam	8 723	11 077	12 007	13 849	16 314	24 936	26 812	28 429	28 452
Demiryolları	238	276	270	285	184	209	185	207	215
Denizyolları	158	226	195	411	541	189	48	393	398
Havayolları	311	924	1 034	1 368	956	1 405	1 430	1 272	1 247
Karayolları	8 015	9 651	10 508	11 785	14 416	22 833	24 866	26 164	26 287
Boru Hatları	...	...	...	...	218	300	284	393	306

Çizelge 4.12. 2017 ve 2018 yılları ulaştırma türlerinde tüketilen enerjinin dağılımı [21]

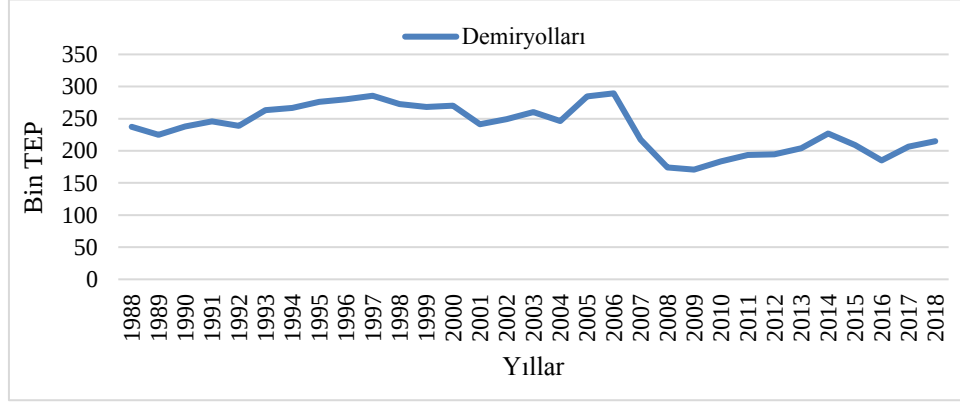
Ulaştırma Türü / Yıl	2017	2018
Demiryolları	%0,7	%0,8
Denizyolları	%1,4	%1,4
Havayolları	%4,5	%4,4
Karayolları	%93,3	%93,4

Çizelge 4.12'ye göre; 2017 yılı için boru hatları için kullanılan 392 bin TEP hariç tutulursa, 28 033 bin TEP enerjinin %93,3'ü karayolu, %4,5'i havayolları, %1,4'ü denizyolları ve %0,7'si demiryollarında; 2018 yılında ise yine boru hatları dâhil edilmediğinde toplam tüketilen nihai enerjinin %93,4'ü karayolunda, %4,4'ü havayollarında, %1,4'ü denizyollarında ve %0,8'i demiryollarında kullanılmıştır. Ulaştırma sektöründe en çok enerji kullanımı karayolları ulaştırma türünde gerçekleştiği görülmektedir. Aşağıdaki Şekil 4.7'de ulaştırma türlerinin nihai enerji tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Demiryolları ulaştırma türünün 1988-2018 yılları arasındaki nihai enerji tüketim değerlerinin değişimi Şekil 4.8'de gösterilmektedir. Türkiye için 2017 yılındaki enerji dengesinin yani arz ve tüketim durumunun mevcut durumu, ulaştırma sektörü için tüketilen enerjinin dağılımı ve ulaştırma sektöründe kullanılan yakıt ve kaynaklarının değişimi Çizelge 4.13'de verilmiştir [21].



Şekil 4.7. Ulaştırma türlerinin nihai enerji tüketiminin yıllara göre değişimi

Şekil 4.7’den de anlaşılacağı üzere demiryolları ulaştırma türünün nihai enerji tüketiminin yıllara göre değişimi değişken olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Demiryolu ulaştırma türünün 1988-2018 yılları arası nihai enerji tüketimi değişimi

Şekil 4.8’den görüleceği üzere demiryollarında en az enerji tüketimi değeri 2009 yılında 171 Bin TEP ile olmuş olup, en çok enerji tüketimi 289 Bin TEP ile 2006 yılında gerçekleşmiştir. Demiryollarının enerji tüketimi genel olarak yıllar itibari ile azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.13. 2017 yılı ulaştırma sektörü enerji dengesi [21]

	Petrol Ürünleri (Bin TEP)	Doğalgaz (Bin TEP)	Biyoenerji ve Atıklar (Bin TEP)	Elektrik (Bin TEP)	Toplam (Bin TEP)	Ulaştırma Türleri Dağılım (%)
Demiryolları	122			85	207	0,73
Denizyolları	393				393	1,38
Havayolları	1 272				1 272	4,47
Boru Hatları		367		27	393	1,38
Karayolları	25 970	69	125		26 164	92,03
Toplam (Bin TEP)	27 757	436	125	111	28 429	100,00
Yakıt Dağılım (%)	97,64	1,53	0,44	0,39	100,00	%

Çizelge 4.13’e göre ulaştırma sektöründe kullanılan enerjinin %92,03 oranla karayollarında, havayolları %4,47’si; demiryolları %0,73’ü; denizyollarında %1,38 ve geri kalan ise boru hatlarında kullanılmaktadır. Yakıt miktarı açısından bakıldığında ise; petrol ürünleri 27 757 Bin TEP, doğalgaz 436 Bin TEP, biyoenerji ve atıklar 125 Bin TEP, elektrik 111 Bin TEP’ dir. Yakıt dağılımı açısından ulaştırma sektöründe 2017 yılına en çok petrol ürünleri kullanılmakta olup, bu oran %97,64’dür.

5. TÜRKİYE DEMİRYOLLARININ ENERJİ ANALİZİ

Tezin bu bölümünde, Türkiye ulaştırma sisteminin hem yük hem de yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı enerji analizi yapılmakta ve ulaştırma sistemleri türleri ile demiryolları ulaştırma türünün karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, ulaştırma türleri için enerji analizi kapsamında bir birimlik taşımacılık için tüketilen enerji değerleri bulunmaktadır. Tez kapsamında hem yük hem de yolcu taşımacılığı için bir birimlik taşımacılık değeri tüketilen enerji değeri enerji yoğunluğu olarak ifade edilmektedir. Bu itibarla, yük taşımacılığı için enerji yoğunluğu birimi MJ/ton-km; yolcu taşımacılığı için enerji yoğunluğu birimi MJ/yolcu-km olmaktadır. Tezin ilk bölümünde genel bilgiler verilmekte, ardından yük taşımacılığı için ve yolcu taşımacılığı için ayrı olarak enerji analizi yapılmaktadır.

5.1. Metodoloji

Enerji analizi için öncelikle enerji yoğunluğuna ve enerji analizine etkisi olduğu düşünülen değişkenler tespit edilmektedir. Bu öğeler; ulaştırma sistemlerinin taşımacılık faaliyetlerinin miktarları, enerji tüketimlerinin değişimi, nüfus, GSYH ile Türkiye’de ve ulaştırma sistemlerinde her yıl için tüketilen enerji değerleridir. Ardından bu değişkenler, derlenerek çizelge haline getirilmektedir. Çizelge haline getirilen verilerin yıllara göre durumu ve değişimi yorumlanarak, grafik olarak gösterilerek analiz edilmekte ve yıllara göre değişimleri gösterilmektedir. Sonrasında, tüm ulaştırma türlerinin enerji yoğunlukları yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı olmak üzere, tür tabanlı enerji analizi formülünden yararlanılarak bulunmakta ve ulaştırma türlerinin birbirleri ile karşılaştırılması yapılarak genel olarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, enerji tüketimlerinin daha iyi gözlemlenebilmesi için kişi başına düşen enerji tüketimi hem yük taşımacılığı hem de yolcu taşımacılığı için gösterilmiş, her ulaştırma türleri arasındaki durumu gösterilerek, yıllara göre değişimleri karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında kullanılan veriler, 1988-2018 yılları arasındadır. Eksik olan verilerin düzenlenmesi ve hataların giderilmesi EK-1 ve EK-2 de açıklanmaktadır.

5.1.1. Kullanılan veriler ve veriler hakkında bilgiler

Bu bölümde, çalışmada kullanılan veriler ile verilerin kaynakları belirtilmektedir. Tez

kapsamında kullanılan veriler, taşımacılık faaliyetleri (yolcu-km ve ton-km), nüfus, GSYH, enerji tüketim değerlerinden oluşmaktadır.

Geçmiş yıllar nüfus ve Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYH) değerleri, Dünya Bankası'nda elde edilmektedir [18, 19].

Taşımacılık faaliyetlerinin değerleri farklı kaynaklardan sağlanılmaktadır. Bunlar; karayolu yük ve yolcu taşımacılık değerleri Karayolları Genel Müdürlüğünden elde edilmektedir [9-11]. Demiryolu yolcu ve yük taşımacılık değerleri TÜİK ve TCDD istatistik yıllıklarından alınmaktadır [4-7, 12]. Denizyolu yolcu-km ile ton-km değerleri, TCDD ve KGM istatistikleri [4, 7, 10-11] dikkate alınarak EK-1 ve EK-2'de gösterildiği gibi verilerin düzenlenmesi yönelik açıklamalar yapılmış ve tezde kullanılan değerler gösterilmiştir. Havayolu ulaştırma türünün; yük taşımacılık değerleri Dünya Bankası'ndan [17, 212]; Yolcu taşımacılığı değerleri ise, TCDD [4, 7] ve KGM [10, 11] istatistikleri dikkate alınarak ekte gösterildiği gibi verilerin düzenlenmesi yönelik açıklamalar yapılmış ve tezde kullanılan değerler gösterilmiştir.

Ulaştırma türlerinin her birisi için yıllar itibari ile enerji tüketim değerleri; Enerji İşleri Genel Müdürlüğü denge tablolarından derlenerek elde edilmektedir [21]. Denge tablolarındaki enerji tüketim verileri TEP' den PJ'e dönüştürülerek Çizelge haline getirilmiştir. Ayrıca ulaştırma sektöründeki toplam enerji tüketim değerleri bulunmakta olup, taşımacılık faaliyetleri açısından yük ve yolcu için ayrılmamıştır. Bu yüzden yük ve yolcu taşımacılığı enerji tüketim değerleri EK-3'de gösterildiği şekilde kabuller yapılarak işlemler yapılmıştır. Kabullerde daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınmaktadır [23-28, 57]. Bu yapılan kabullerde belirlenen oranlar; bir birimlik yük taşımacılık faaliyeti (ton-km) için gerekli enerji tüketim değeri, bir birimlik yolcu taşımacılık faaliyeti (yolcu-km) için gerekli enerji tüketim değeri için kaç katı olduğunu belirleme üzerinedir. Sera gazı emisyonu değerleri ise çeşitli kurum ve kuruluşlardan kaynaklardan elde edilmektedir [16, 22]

Türkiye için 1998-2018 yılları için elde edilen veriler derlenerek tablo haline getirilmiştir. Çizelge 5.1'de 1998-2018 yılları verileri gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Türkiye için 1998-2017 yıllarına dair veriler [18, 19, 21, 22]

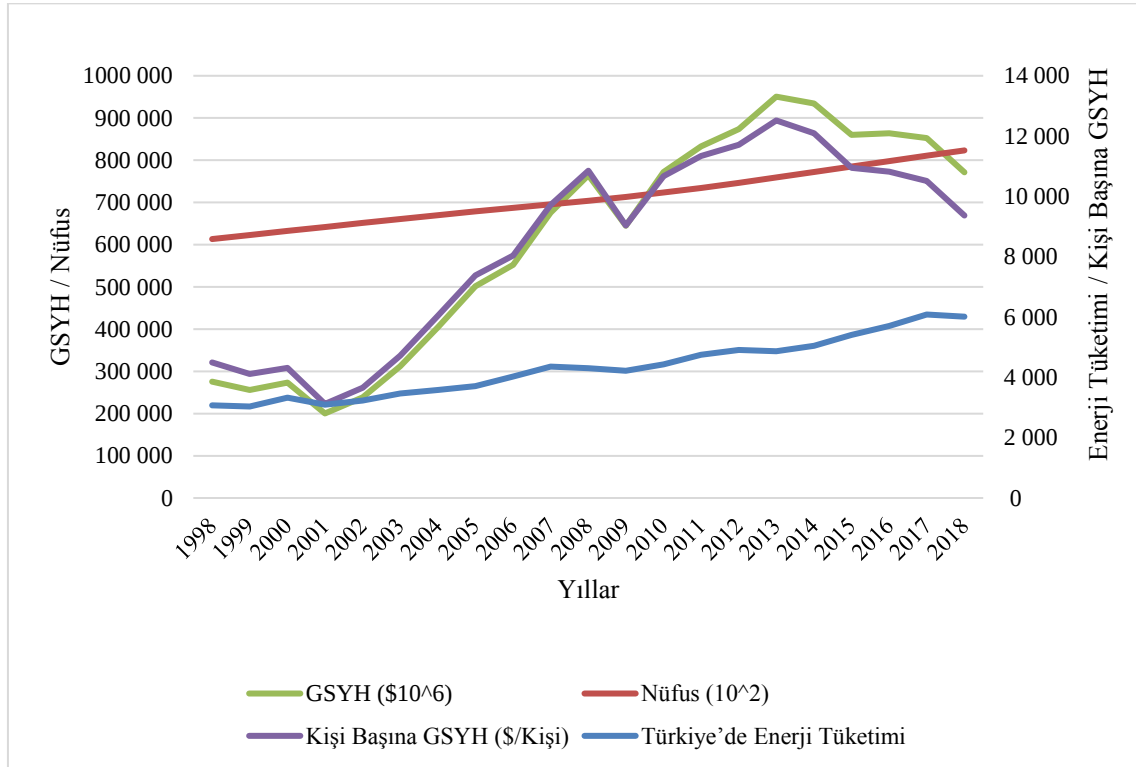
Yıllar	Nüfus (Bin Kişi)	GSYH (\$10 ⁶)	Kişi Başına GSYH (\$/Kişi)	Türkiye’de Enerji Tüketimi (PJ)	Türkiye Enerji Tüketimi Yıllık Değişim Oranı (%)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (GJ/Kişi)	Ulaştırma Enerji Tüketimi (PJ)	Ulaştırmanın Enerji Tüketiminde Payı (%)
1998	61 330	275 769	4 496	3 069	-	50,04	450	14,68
1999	62 287	255 884	4 108	3 033	-1,17	48,70	475	15,67
2000	63 240	272 979	4 317	3 325	9,63	52,59	503	15,12
2001	64 192	200 252	3 120	3 092	-7,02	48,17	502	16,25
2002	65 145	238 428	3 660	3 227	4,37	49,54	477	14,80
2003	66 089	311 823	4 718	3 463	7,32	52,40	519	14,98
2004	67 011	404 787	6 041	3 587	3,56	53,52	577	16,08
2005	67 903	501 416	7 384	3 713	3,51	54,67	580	15,62
2006	68 757	552 487	8 035	4 026	8,45	58,56	622	15,46
2007	69 582	675 770	9 712	4 357	8,22	62,62	716	16,44
2008	70 419	764 336	10 854	4 305	-1,19	61,14	662	15,37
2009	71 321	644 640	9 039	4 218	-2,03	59,14	658	15,60
2010	72 327	771 902	10 672	4 433	5,11	61,30	674	15,20
2011	73 444	832 524	11 336	4 747	7,07	64,63	762	16,04
2012	74 653	873 982	11 707	4 912	3,48	65,79	805	16,39
2013	75 929	950 579	12 519	4 870	-0,85	64,14	858	17,61
2014	77 232	934 186	12 096	5 045	3,60	65,33	905	17,94
2015	78 529	859 797	10 949	5 407	7,16	68,85	1 031	19,08
2016	79 822	863 722	10 821	5 704	5,49	71,45	1 111	19,47
2017	81 102	852 677	10 514	6 084	6,66	75,01	1 174	19,29
2018	82 320	771 350	9 370	6 015	-1,13	73,07	1 178	19,59

Çizelge 5.1’den de görüleceği üzere; Türkiye nüfusu 1998 yılında 61 330 bin kişi iken, 2017 yılına gelindiğinde 81 102 bin, 2018 yılında ise 83 230 bin kişi olmuştur. Buna göre, 2018 yılı için, 1998 yılına göre Türkiye nüfusu yaklaşık 1,34 kat artmıştır. GSYH değeri Türkiye’de 1998 yılında 275 769 10⁶ \$ iken, 2017 yılına gelindiğinde 852 677 10⁶ \$, 2018 yılında ise 771 350 10⁶ \$ olmuştur. Buna göre, 2018 yılı için, 1998 yılına göre GSYH değeri Türkiye’de yaklaşık 2,80 kat artmıştır. Kişi başına GSYH ise 1998 yılında 4 496 \$ iken, 2017 yılına gelindiğinde 10 514 \$ ve 2018 yılında 9 370 \$ olmuştur. Buna göre, 2018 yılı için, 1998 yılına göre kişi başına GSYH yaklaşık 2,08 kat artmıştır.

Türkiye’de enerji tüketimi 1998 yılında 3 069 PJ iken, 2017 yılına gelindiğinde 6 084 PJ, 2018 yılında ise 6 015 PJ olmuştur. Buna göre 2017 yılı için, 1998 yılına göre Türkiye’de

enerji tüketimi yaklaşık 1,98 kat, 2018 yılı için ise 1,96 kat artmıştır. Türkiye’de en çok olumlu olan değişim %9,63 oran ile 1999-2000 yılları arasında, en olumsuz değişim ise 2000-2001 yılları arasında olmuş olup, bu değişim -%7,02’dir. Önceki yıllara göre değişimi negatif olan yıllar 1999, 2001, 2008, 2009, 2013 ve 2018’dir.

Kişi başına enerji tüketimi (GJ/Kişi) 1998 yılında 50,04 iken, 2018 yılına gelindiğinde 73,07 olmuştur. Buna göre 2018 yılı için, 1998 yılına göre kişi başına enerji tüketimi (GJ/Kişi) yaklaşık 1,46 kat artmıştır. Şekil 5.1’de Türkiye nüfusu, GSYH değerleri, Türkiye’de kişi başına GSYH ve Türkiye’de enerji tüketimi değerleri ile yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Türkiye nüfusu, GSYH, kişi başına GSYH ve toplam enerji tüketimi değerleri ile yıllara göre değişimi

Ulaştırmadaki enerji tüketim değerinin, Türkiye’de enerji tüketimi içindeki payı; 1998 yılında bu değer %14,68 iken, 2017 yılında %19,29, 2018 yılında %19,59 olmuştur. Genel olarak son 7 yıl öncesine kadar enerji tüketimi içerisinde payı ulaştırmanın ortalama %15 dolaylarında olduğu görülmektedir. Çizelge 5.2’de Türkiye, ulaştırma (boru hattı ulaşımı hariç) ve yük ve yolcu taşımacılığında enerji tüketim değerleri ile taşımacılık faaliyetlerinin yıllara göre değişimleri gösterilmektedir.

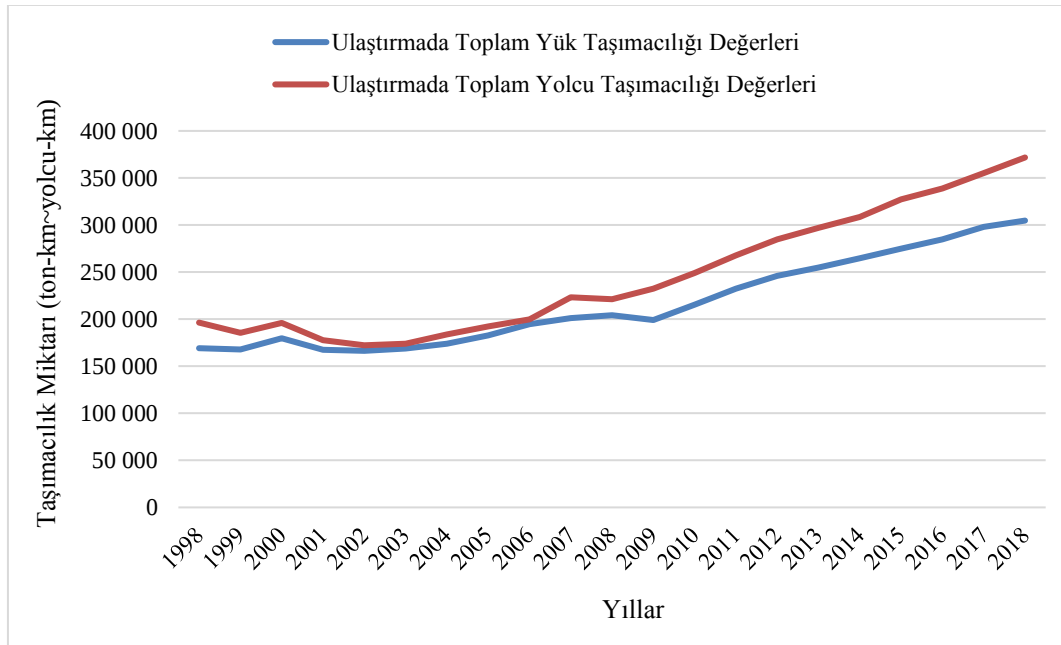
Çizelge 5.2. 1998-2017 yılları için ulaşırmada enerji tüketimi, yıllık değişimi ile taşımacılık faaliyetleri enerji tüketimi ile taşımacılık değerleri [4, 7, 9, 11, 17, 21, 212]

Yıllar	Ulaştırma Enerji Tüketimi (PJ)	Ulaştırma Enerji Tüketiminde Yıllık Değişim Oranı (%)	Kişi Başına Ulaştırma Enerji Tüketimi (GJ/Nüfus)	Yük Taşımacılığında Enerji Tüketimi (PJ)	Yolcu Taşımacılığında Enerji Tüketimi (PJ)	Ulaştırma Toplam Yük Taşımacılığı Değerleri (ton-km x10 ⁶)	Ulaştırma Toplam Yolcu Taşımacılığı Değerleri (yolcu-km x10 ⁶)
1998	450	-	7,35	244	207	168 995	196 321
1999	475	5,49	7,63	265	210	167 933	185 555
2000	503	5,79	7,95	283	219	179 732	195 958
2001	502	-0,07	7,83	288	214	167 433	177 593
2002	477	-4,96	7,33	281	197	166 342	172 257
2003	519	8,68	7,85	303	216	168 760	174 026
2004	577	11,14	8,61	330	247	173 917	183 922
2005	580	0,54	8,54	333	247	182 805	192 420
2006	622	7,35	9,05	359	263	194 623	199 696
2007	716	15,07	10,29	393	323	201 290	223 099
2008	662	-7,61	9,40	365	297	204 269	221 074
2009	658	-0,58	9,22	357	300	199 034	232 252
2010	674	2,44	9,32	377	297	215 546	249 133
2011	762	13,01	10,37	429	333	232 252	267 733
2012	805	5,71	10,78	450	355	245 950	284 662
2013	858	6,53	11,30	477	380	254 833	296 979
2014	905	5,52	11,72	508	397	264 686	308 476
2015	1 031	13,98	13,13	571	461	274 889	327 188
2016	1 111	7,68	13,91	615	496	284 848	338 966
2017	1 174	5,68	14,47	658	516	298 007	355 289
2018	1 178	0,39	14,32	655	524	304 733	371 793

Çizelge 5.2'ye bakıldığında ulaşırmada enerji tüketimi her geçen yıl genel olarak arttığı görülmektedir. 1998 yılındaki ulaşırmada enerji tüketimi (boru hattı hariç) değeri 450,49 PJ iken, 2017 yılına gelindiğinde ise 1 173,82 PJ, 2018 yılında ise 1 178,43 PJ olmuştur. Ulaştırma enerji tüketimi 1998 yılına göre 2018 yılında neredeyse 2,62 kat artmıştır. Ulaştırma yıllık değişim en çok 2006 ile 2007 yılları arasında olmuş olup, bu değer %15,07'dir. Bir önceki yıla göre en çok azalmanın olduğu yıl ise 2008 yılı olup, bu değer -%7,61'dir.

1998 yılında ulaşırmada yük taşımacılığı faaliyetlerinin toplam miktarına bakılırsa; 168 995 milyon ton-km olduğu, 2017 yılında ise 298 007 milyon ton-km ve 2018 yılında ise 304 733 milyon ton-km olduğu görülmektedir. 2017 yılında ve 2018 yılında toplam ulaşırmadaki

yük taşımacılığı faaliyetleri miktarı 1998 yılına göre neredeyse 1,8 kat arttığı görülmektedir. 1998 yılında ulaşırmada yolcu taşımacılığı faaliyetlerinin toplam miktarına bakılırsa; 196 321 milyon yolcu-km olduğu, 2017 yılında ise 355 289 milyon yolcu-km ve 2018 yılında ise 371 793 milyon yolcu-km olduğu görülmektedir. Toplam ulaşırmadaki yolcu taşımacılığı faaliyetleri miktarı 1998 yılına göre 2017 yılında 1,8 kat, 2018 yılında ise neredeyse 1,9 kat arttığı görülmektedir. Diğer taraftan her yıl genel olarak ulaşırmada taşımacılık faaliyetleri miktarının hem yolcu hem de yük için arttığı Çizelge 5.2'ye bakıldığında gözlemlenebilir. Şekil 5.2'de ulaşırmada toplam yük ve yolcu taşımacılık faaliyetleri miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

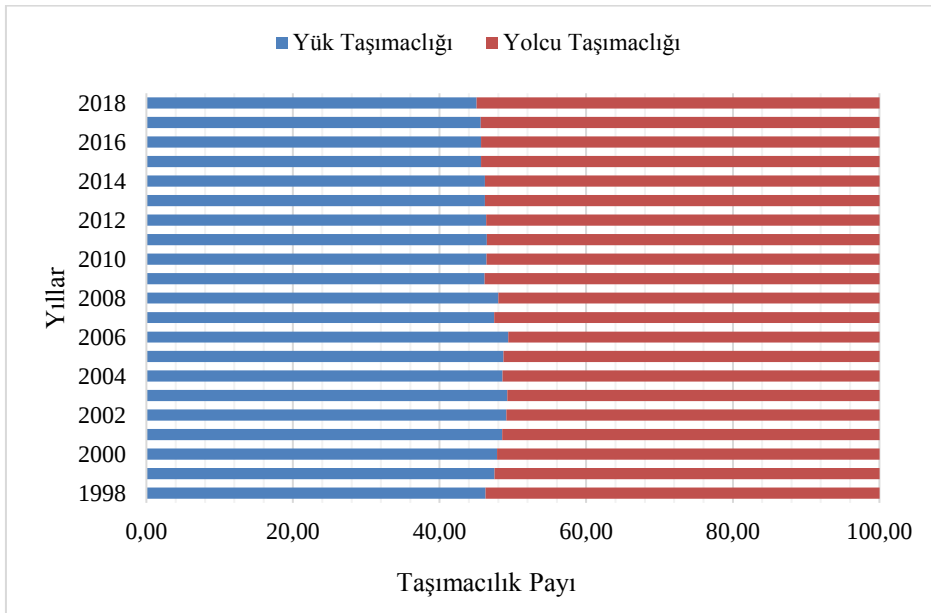


Şekil 5.2. Ulaştırma Toplam Yük ve Yolcu Taşımacılığı Değerlerinin Yıllara Göre Değişimi

Ulaştırma Toplam Taşımacılık Faaliyetlerinin 1998 yılında %53,74'ü yolcu taşımacılığında, %46,26'sı yük taşımacılığında iken; 2018 yılı için taşımacılık faaliyetlerinin %54,96'sı yolcu taşımacılığında, %45,04'ü ise yük taşımacılığında gerçekleşmiştir. Çizelge 5.3'de ulaştırma sistemlerine göre toplam taşımacılık faaliyetlerinin paylarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.3'de ulaştırma için taşımacılık paylarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.3. Ulaştırma türlerine göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre payları

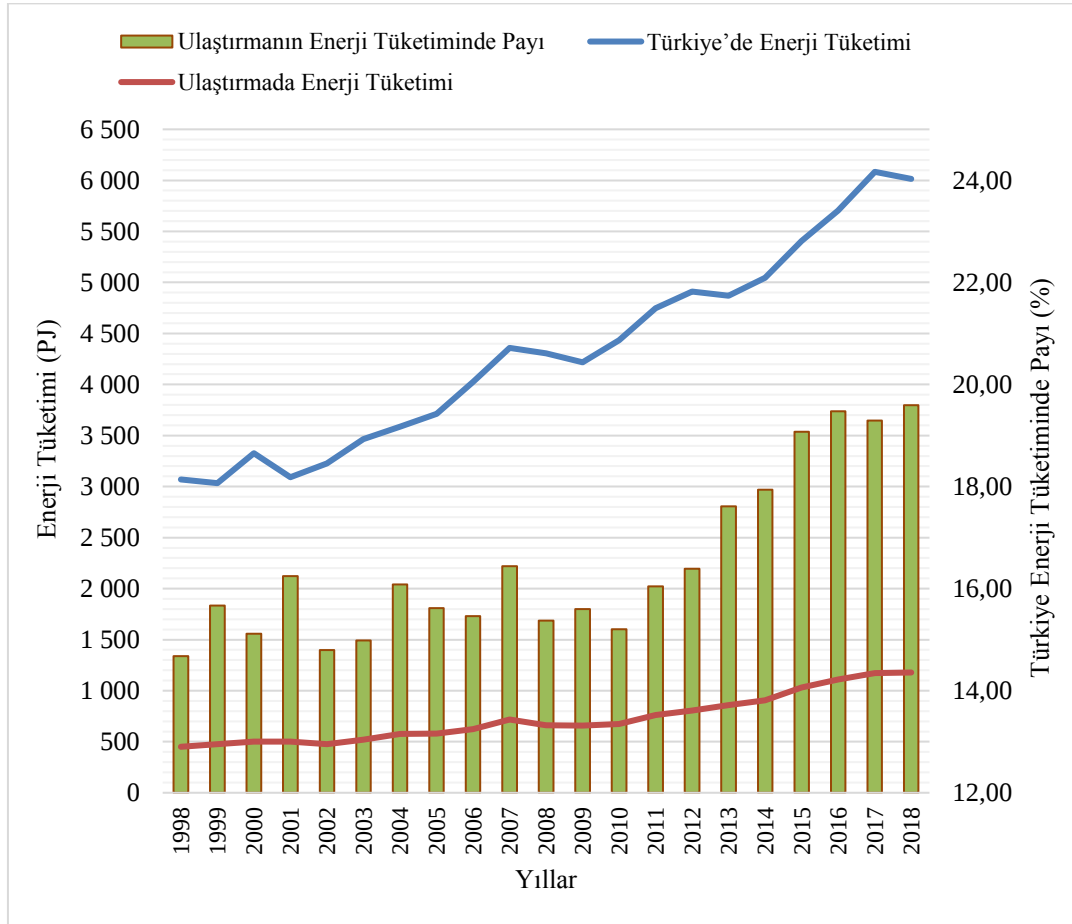
Yıllar	Yük Taşımacılığı	Yolcu Taşımacılığı	Ulaştırma Taşımacılık Faaliyeti
1998	%46,26	%53,74	%100
1999	%47,51	%52,49	%100
2000	%47,84	%52,16	%100
2001	%48,53	%51,47	%100
2002	%49,13	%50,87	%100
2003	%49,23	%50,77	%100
2004	%48,60	%51,40	%100
2005	%48,72	%51,28	%100
2006	%49,36	%50,64	%100
2007	%47,43	%52,57	%100
2008	%48,02	%51,98	%100
2009	%46,15	%53,85	%100
2010	%46,39	%53,61	%100
2011	%46,45	%53,55	%100
2012	%46,35	%53,65	%100
2013	%46,18	%53,82	%100
2014	%46,18	%53,82	%100
2015	%45,66	%54,34	%100
2016	%45,66	%54,34	%100
2017	%45,62	%54,38	%100
2018	%45,04	%54,96	%100



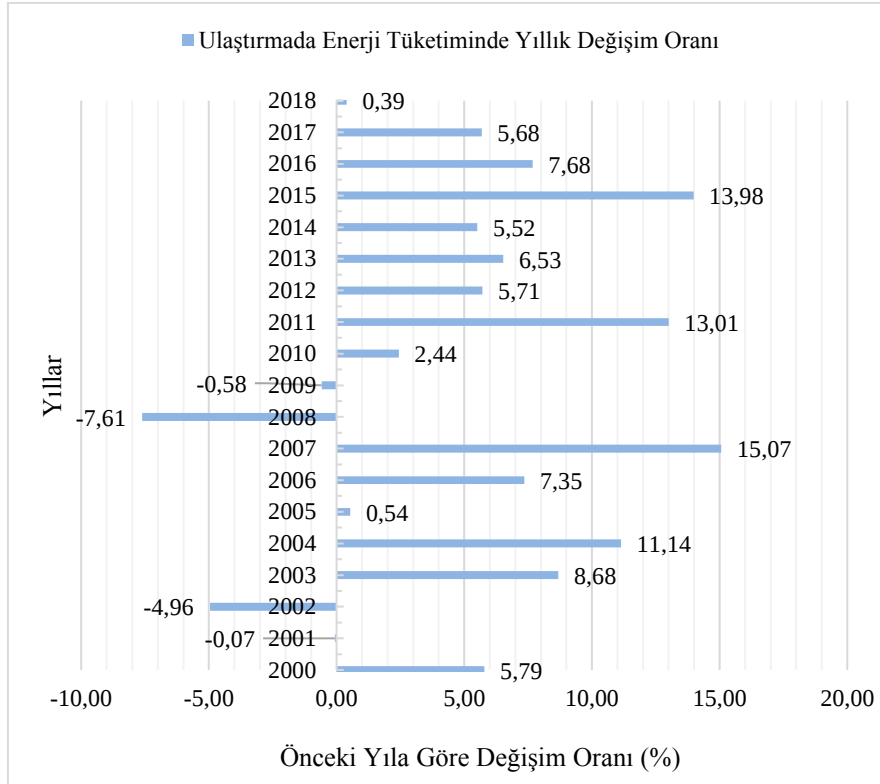
Şekil 5.3. Ulaştırmada taşımacılık paylarının yıllara göre değişimi

Şekil 5.4’de Türkiye’de enerji tüketimi değerleri ile ulaşırmada tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi ile ulaşırmının enerji tüketimi içerisindeki payının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.5’de ulaşırmada enerji tüketiminde yıllık değişim oranının (%) yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

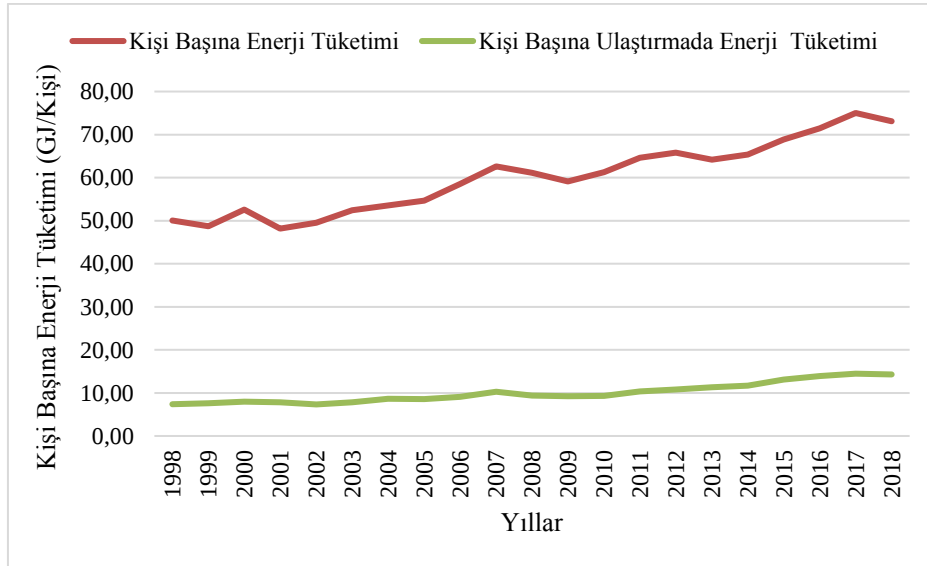
Kişi başına ulaşırmada enerji tüketimine bakıldığında ise 1998 yılında 7,35 GJ/Kişi iken, 2017 yılında 14,47 GJ/Kişi ve 2018 yılında 14,32 GJ/Kişi olmuştur. Genel olarak bu değerin yıllar itibari ile arttığı söylenebilir. Şekil 5.6’da Türkiye’de kişi başına enerji tüketimi ile kişi başına ulaşırmada enerji tüketimi değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.7’de ulaşırmada ve yolcu ile yük taşımacılığında enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Türkiye’de enerji tüketimi değerleri ile ulaşırmada tüketilen enerjinin payı ve değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.5. Ulaştırmada enerji tüketiminde yıllık değişim oranı (%)

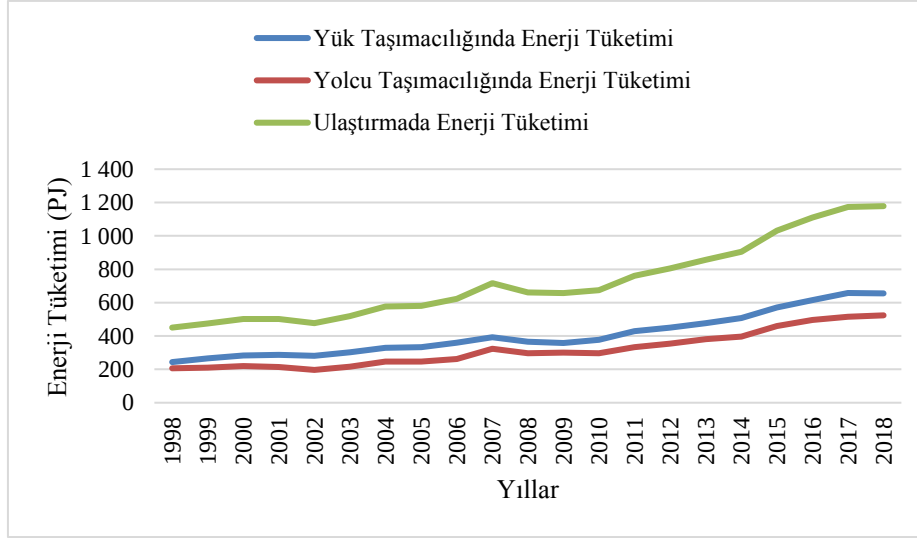


Şekil 5.6. Türkiye’de kişi başına enerji tüketimi ile kişi başına ulaştırmada enerji tüketimi değerlerinin yıllara göre değişimi

Ulaştırma sistemlerinde türlere göre enerji tüketim durumu

Ulaştırmada tüketilen enerji (boru hattı ulaştırması hariç) 1998 yılında 450,49 PJ iken, 2010 yılında 673,91 PJ, 2015 yılında 1 031,45 PJ, 2017 yılında 1 173,82 PJ ve 2018 yılında ise bu

değerin 1 178,43 PJ olduğu görülmektedir. Çizelge 5.4’de ulaştırma sektöründe türlere göre enerji tüketim miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.7. Ulaştırmada ve yolcu ile yük taşımacılığında enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

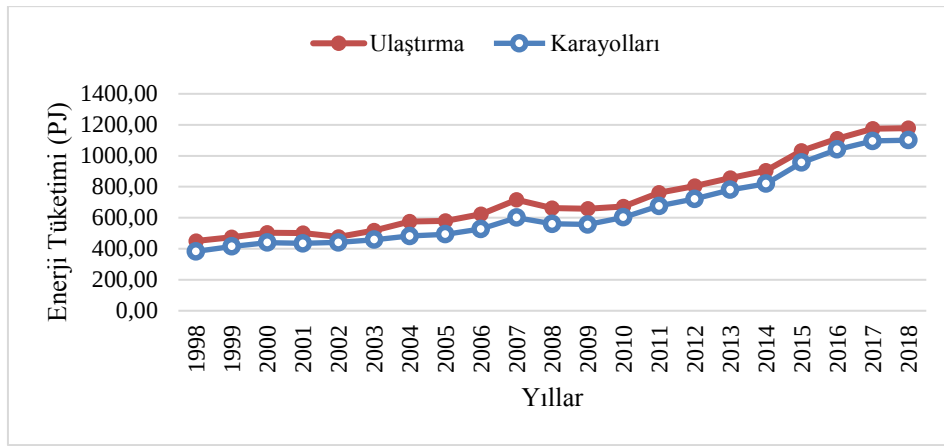


Şekil 5.7. Ulaştırma, yolcu ve yük taşımacılığında enerji tüketim değerlerinin değişimi

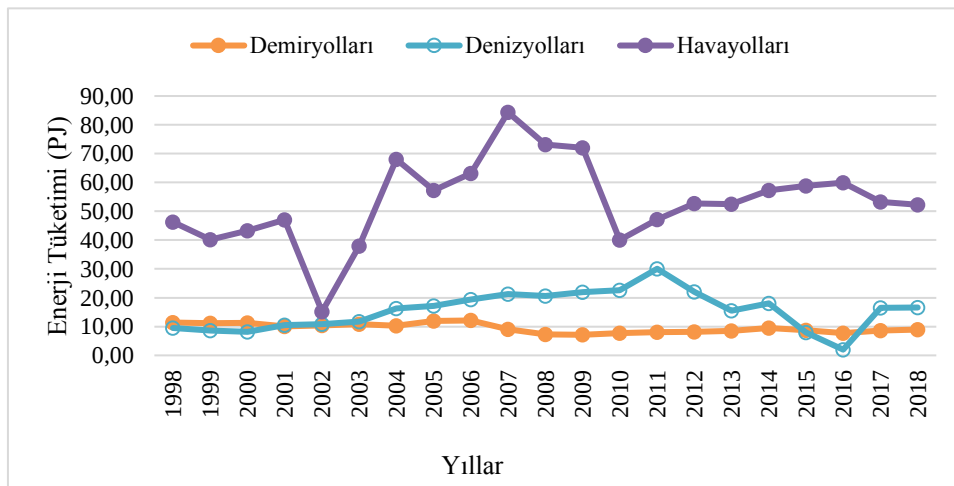
Çizelge 5.4. Ulaştırma türlerine göre enerji tüketim değerleri [21]

Yıllar	Ulaştırma (PJ)	Demiryolları (PJ)	Denizyolları (PJ)	Havayolları (PJ)	Karayolları (PJ)
1998	450,49	11,41	9,47	46,30	383,31
1999	475,20	11,22	8,62	40,11	415,25
2000	502,71	11,30	8,16	43,29	439,95
2001	502,38	10,10	10,54	47,04	434,69
2002	477,46	10,44	10,82	15,19	441,01
2003	518,91	10,89	11,72	37,93	458,41
2004	576,72	10,30	16,27	68,08	482,07
2005	579,83	11,93	17,22	57,28	493,40
2006	622,45	12,12	19,44	63,19	527,71
2007	716,24	9,09	21,24	84,33	601,57
2008	661,73	7,29	20,56	73,20	560,68
2009	657,88	7,15	21,99	72,05	556,69
2010	673,91	7,68	22,65	40,03	603,55
2011	761,57	8,10	30,06	47,19	676,22
2012	805,08	8,14	22,11	52,67	722,17
2013	857,63	8,54	15,49	52,46	781,14
2014	904,94	9,49	18,09	57,23	820,13
2015	1 031,45	8,74	7,92	58,82	955,97
2016	1 110,69	7,74	1,99	59,88	1 041,07
2017	1 173,82	8,65	16,47	53,26	1 095,45
2018	1 178,43	9,00	16,64	52,22	1 100,57

Çizelge 5.4'den de görüleceği üzere; demiryolları enerji tüketimi ise; 1998 yılında 11,41 PJ iken, 2017 yılında 8,65 PJ'e ve 2018 yılında 9,00 PJ'e düşmüştür. Denizyolları ulaştırma türünde 1998 yılında 9,47 PJ iken, 2017 yılında 16,47 PJ, 2018 yılında ise bu değer 16,64 PJ olduğu, havayollarının 1998 yılında 46,3 PJ olan değeri 2017 yılında 53,26 PJ'e ve 2018 yılında ise 52,22 PJ'e yükselmiştir. Karayolları için 1998 yılında enerji tüketimi değeri 383,31 PJ iken, 2017 yılında 1 095,45 PJ ve 2018 yılında ise 1 100,57 PJ olmuştur. Karayollarında 2018 yılında tüketilen enerji değeri 1998 yılına göre 2,87 kat artmıştır. Şekil 5.8'de ulaşırmada ve karayollarında enerji tüketiminin, Şekil 5.9'da ise denizyolları, havayolları ve demiryolları ulaştırma türlerini enerji tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Ulaşırmada ve karayollarında enerji tüketiminin yıllara göre değişimi



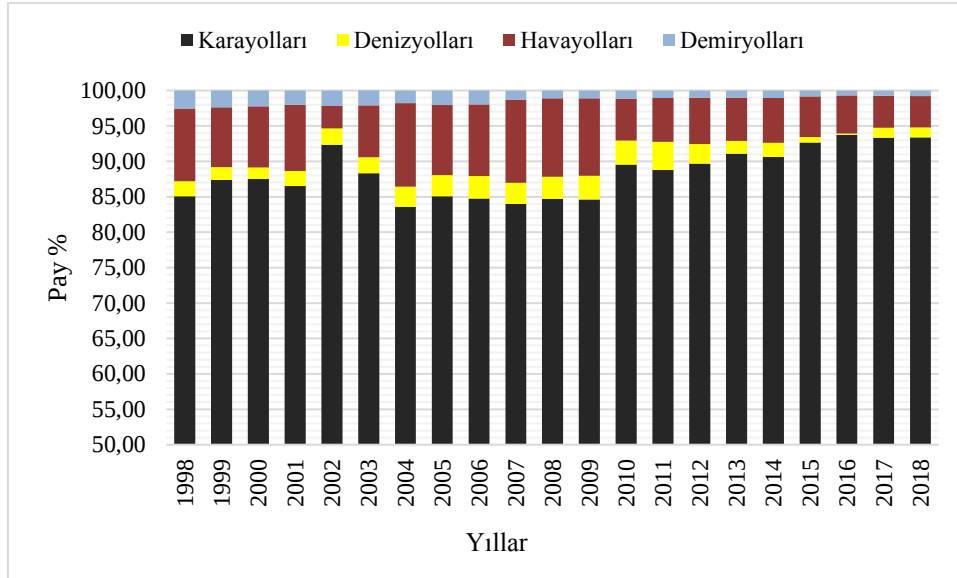
Şekil 5.9. Denizyolları, havayolları ve demiryolları ulaştırma türlerinin enerji tüketiminin yıllara göre değişimi

Türkiye’de ulaştırmada tüketilen enerjinin 1998 yılında %85,09’u karayollarında iken, %2,53 demiryollarında, %2,10’u denizyollarında ve %10,28’i havayollarında olmuştur. Ancak bu değerler 2018 yılına gelindiğinde ise %93,39’u karayollarında iken, %0,76 demiryollarında, %1,41’i denizyollarında ve %4,53’ü havayollarında olmuştur. Çizelge 5.5’de ulaştırma sektöründe türlerin enerji tüketiminin dağılımı gösterilmektedir. Şekil 5.10’da ulaştırma türlerinin ulaştırmada tüketilen enerji içerisindeki paylarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Ulaştırma sektöründe türlerin enerji tüketim dağılımı

Yıllar	Ulaştırma (%)	Demiryolları (%)	Denizyolları (%)	Havayolları (%)	Karayolları (%)
1998	100	2,53	2,10	10,28	85,09
1999	100	2,36	1,81	8,44	87,38
2000	100	2,25	1,62	8,61	87,52
2001	100	2,01	2,10	9,36	86,53
2002	100	2,19	2,27	3,18	92,37
2003	100	2,10	2,26	7,31	88,34
2004	100	1,79	2,82	11,80	83,59
2005	100	2,06	2,97	9,88	85,09
2006	100	1,95	3,12	10,15	84,78
2007	100	1,27	2,97	11,77	83,99
2008	100	1,10	3,11	11,06	84,73
2009	100	1,09	3,34	10,95	84,62
2010	100	1,14	3,36	5,94	89,56
2011	100	1,06	3,95	6,20	88,79
2012	100	1,01	2,75	6,54	89,70
2013	100	1,00	1,81	6,12	91,08
2014	100	1,05	2,00	6,32	90,63
2015	100	0,85	0,77	5,70	92,68
2016	100	0,70	0,18	5,39	93,73
2017	100	0,74	1,40	4,54	93,32
2018	100	0,76	1,41	4,43	93,39

Kişi başına tüketilen enerji miktarı; ulaştırma türünde tüketilen enerji tüketiminin o yıldaki nüfus değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Bu hesaplamalar yapıldığında ulaştırmada türlere göre kişi başına düşen enerji miktarı için; ulaştırma sektöründe 1998 yılında kişi başına düşen enerji 7,35 GJ/Kişi iken, 2018 yılında 14,32 GJ/Kişi değerine yükselmiştir. 1998-2018 yılları için genel olarak ulaştırma sektöründe kişi başına düşen enerji miktarının arttığı görölmektedir. Çizelge 5.6’da ulaştırmada türlere göre kişi başına düşen enerji miktarı gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Ulaştırma türlerinin ulaşırmada tüketilen enerji içerisindeki paylarının yıllara göre değişimi

Çizelge 5.6. Ulaştırmada türlere göre kişi başına düşen enerji miktarı [18, 21]

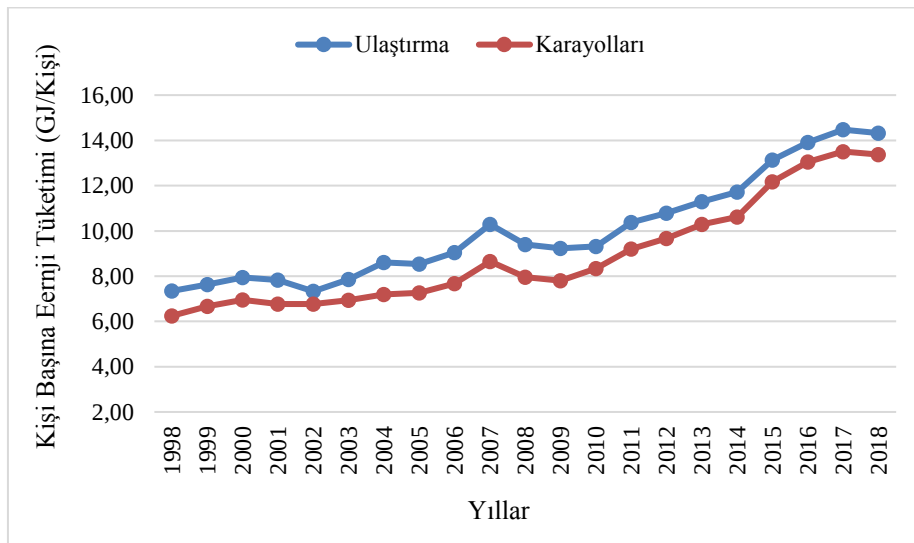
Yıllar	Ulaştırma (GJ/Kişi)	Demiryolları (GJ/Kişi)	Denizyolları (GJ/Kişi)	Havayolları (GJ/Kişi)	Karayolları (GJ/Kişi)
1998	7,35	0,19	0,15	0,75	6,25
1999	7,63	0,18	0,14	0,64	6,67
2000	7,95	0,18	0,13	0,68	6,96
2001	7,83	0,16	0,16	0,73	6,77
2002	7,33	0,16	0,17	0,23	6,77
2003	7,85	0,16	0,18	0,57	6,94
2004	8,61	0,15	0,24	1,02	7,19
2005	8,54	0,18	0,25	0,84	7,27
2006	9,05	0,18	0,28	0,92	7,67
2007	10,29	0,13	0,31	1,21	8,65
2008	9,40	0,10	0,29	1,04	7,96
2009	9,22	0,10	0,31	1,01	7,81
2010	9,32	0,11	0,31	0,55	8,34
2011	10,37	0,11	0,41	0,64	9,21
2012	10,78	0,11	0,30	0,71	9,67
2013	11,30	0,11	0,20	0,69	10,29
2014	11,72	0,12	0,23	0,74	10,62
2015	13,13	0,11	0,10	0,75	12,17
2016	13,91	0,10	0,02	0,75	13,04
2017	14,47	0,11	0,20	0,66	13,51
2018	14,32	0,11	0,20	0,63	13,37

Ulaştırma sektörü demiryolları türünde; 1998 yılında kişi başına düşen enerji 0,19 GJ/Kişi iken, 2018 yılında 0,11 GJ/Kişi değerine düşmüştür. 1998-2018 yılları için ulaştırma sektöründe demiryolları türünde genel olarak kişi başına düşen enerji miktarının yıllara göre azaldığı görülmektedir.

Ulaştırma sektörü denizyolları türünde; 1998 yılında kişi başına düşen enerji 0,15 GJ/Kişi iken, 2017 yılında 0,20 GJ/Kişi değerine yükselmiştir. 1998-2018 yılları için ulaştırma sektöründe denizyolları türünde genel olarak kişi başına düşen enerji miktarının yıllara göre dalgalı eğilim gösterdiği görülmektedir.

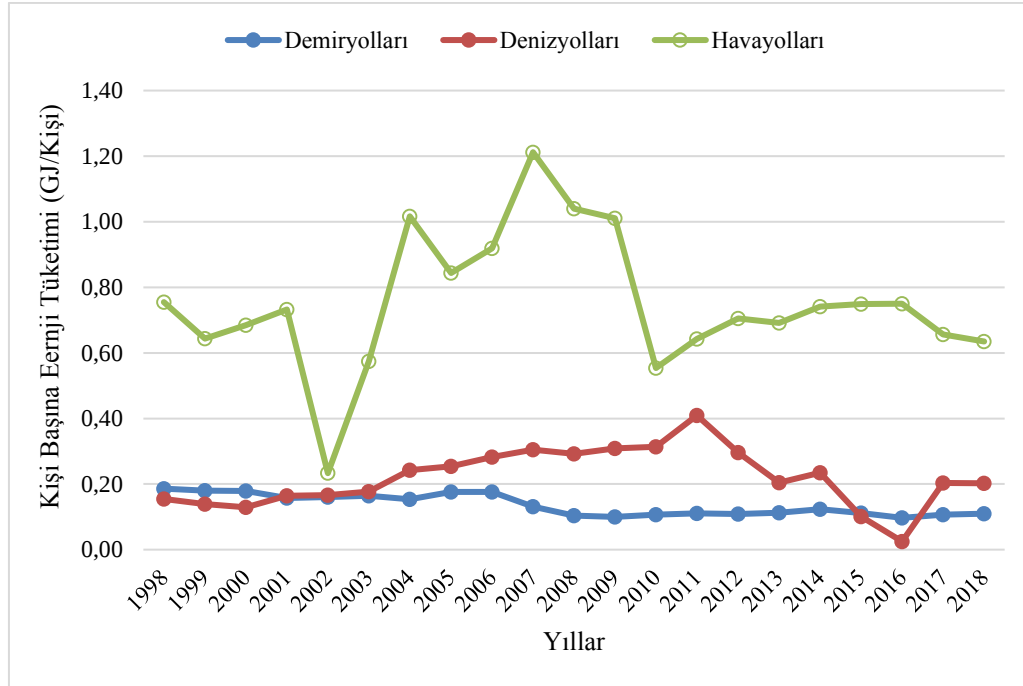
Ulaştırma sektörü havayolları türünde; 1998 yılında kişi başına düşen enerji 0,75 GJ/Kişi iken, 2017 yılında 0,63 GJ/Kişi değerine inmiştir. 1998-2018 yılları için ulaştırma sektöründe havayolları türünde genel olarak kişi başına düşen enerji miktarının yıllara göre dalgalı eğilim gösterdiği ve genel olarak 1 GJ/Kişi altında değerler aldığı görülmektedir.

Ulaştırma sektörü karayolları türünde; 1998 yılında kişi başına düşen enerji 6,25 GJ/Kişi iken, 2017 yılında 13,37 GJ/Kişi değerine çıkmıştır. 1998-2018 yılları için ulaştırma sektöründe karayolları türünde genel olarak kişi başına düşen enerji miktarının yıllara göre genel olarak arttığı görülmektedir. Şekil 5.11’de ulaştırma sektöründe tüketilen kişi başı enerjinin ve karayolları ulaştırma türünde kişi başına tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Ulaştırma sektöründe tüketilen kişi başı enerjinin ve karayolları ulaştırma türünde kişi başına tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi

Şekil 5.12’de ulaştırma sektöründe demiryolları ulaştırma türü tüketilen kişi başı enerjinin yıllara göre değişimi, denizyolları ulaştırma türü tüketilen kişi başı enerjinin yıllara göre değişimi ve havayolları ulaştırma türünde kişi başına tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Ulaştırma sektöründe demiryolları, denizyolları ve havayolları ulaştırma türlerinin kişi başına tüketilen enerjinin yıllara göre değişim

5.2. Yük Taşımacılığında Enerji Analizi

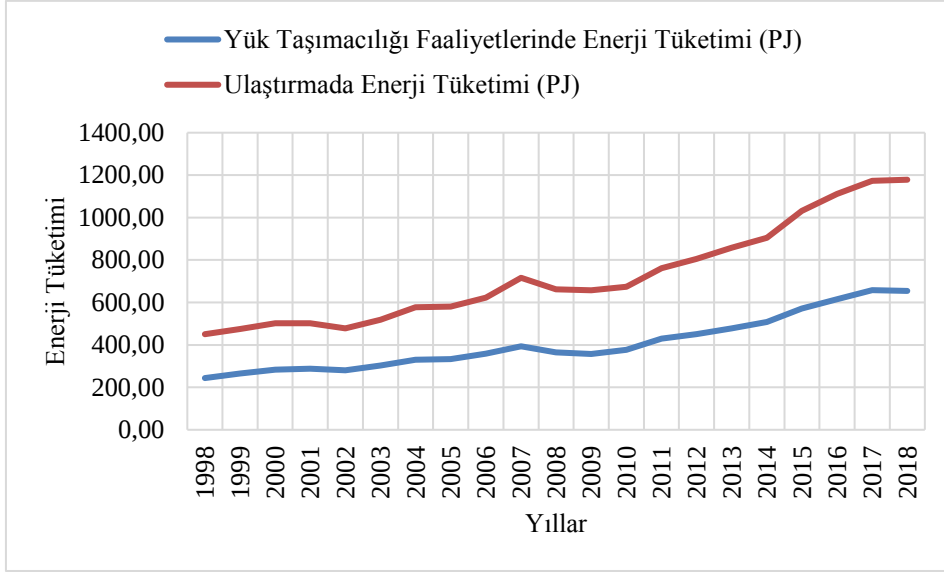
5.2.1. Yük taşımacılığında enerji tüketimi

Yük taşımacılığında enerji tüketimi 1998 yılında 243,68 PJ iken, 2010 yılında 377,17 PJ’e ve 2018 yılında ise 654,57 PJ yükselmiştir. Yük taşımacılığında tüketilen enerji ulaşırmada tüketilen enerjinin 1998 yılında %54,09 iken 2018 yılında %55,55’e yükselmiştir. Türkiye’de tüketilen enerji miktarının ise 1998 yılında %7,94’ü yük taşımacılığı faaliyetlerinde tüketilirken, 2018 yılında ise bu değer %10,88’e yükselmiştir. Çizelge 5.7’de yük taşımacılığı, ulaştırma enerji tüketimi ve Türkiye’de enerji tüketimi ile karşılaştırılması ile yük taşımacılığının ulaştırma ve Türkiye’de tüketilen enerji içerisindeki payının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

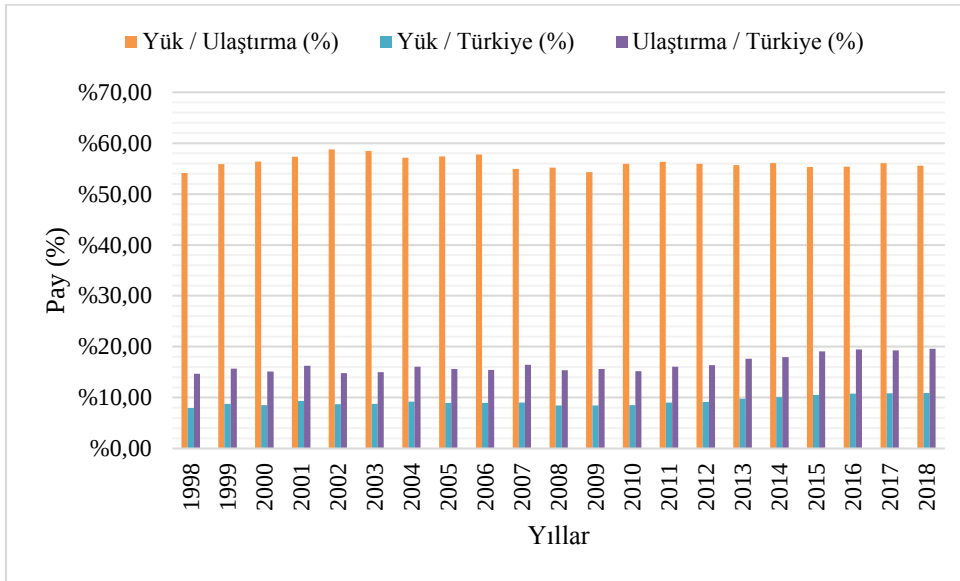
Çizelge 5.7. Yük taşımacılığının ulaştırma ve Türkiye’de tüketilen enerji içerisindeki durumu ve payının yıllara göre değişimi [21, 22]

Yıllar	Yük Taşımacılığı Faaliyetlerinde Enerji Tüketimi (PJ)	Ulaştırmada Enerji Tüketimi (PJ)	Türkiye’de Enerji Tüketimi (PJ)	Yük / Ulaştırma (%)	Yük / Türkiye (%)	Ulaştırma/Türkiye (%)
1998	243,68	450,49	3069,18	%54,09	%7,94	%14,68
1999	265,46	475,20	3033,38	%55,86	%8,75	%15,67
2000	283,35	502,71	3325,49	%56,37	%8,52	%15,12
2001	287,94	502,38	3091,95	%57,31	%9,31	%16,25
2002	280,68	477,46	3226,98	%58,79	%8,70	%14,80
2003	303,28	518,91	3463,32	%58,45	%8,76	%14,98
2004	329,63	576,72	3586,62	%57,16	%9,19	%16,08
2005	332,75	579,83	3712,52	%57,39	%8,96	%15,62
2006	359,48	622,45	4026,24	%57,75	%8,93	%15,46
2007	393,32	716,24	4357,08	%54,91	%9,03	%16,44
2008	365,14	661,73	4305,08	%55,18	%8,48	%15,37
2009	357,49	657,88	4217,74	%54,34	%8,48	%15,60
2010	377,17	673,91	4433,32	%55,97	%8,51	%15,20
2011	428,90	761,57	4746,62	%56,32	%9,04	%16,04
2012	450,42	805,08	4911,62	%55,95	%9,17	%16,39
2013	477,45	857,63	4869,83	%55,67	%9,80	%17,61
2014	507,67	904,94	5045,30	%56,10	%10,06	%17,94
2015	570,86	1031,45	5406,79	%55,35	%10,56	%19,08
2016	614,86	1110,69	5703,64	%55,36	%10,78	%19,47
2017	657,95	1173,82	6083,63	%56,05	%10,82	%19,29
2018	654,57	1178,43	6015,01	%55,55	%10,88	%19,59

Şekil 5.13’de ulaştırmada toplam yük taşımacılığında tüketilen enerji tüketimi ile ulaştırmada tüketilen enerji tüketiminin karşılaştırılarak, yıllar itibarı ile değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.14’de yük taşımacılığının ulaştırmada tüketilen enerji tüketimine göre payı, yük taşımacılığının Türkiye’de tüketilen enerji tüketimine göre payı ve ulaştırmada tüketilen enerji ile Türkiye’de tüketilen enerji tüketimine payının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.13. Ulaştırma toplam yük taşımacılığında tüketilen enerji tüketimi ile ulaşımda tüketilen enerji tüketiminin yıllar itibari ile değişimi



Şekil 5.14. Türkiye’de ulaşımda yük taşımacılığın, ulaşımda enerji tüketimi ile Türkiye’de tüketilen enerji içerisinde payının değişimi

5.2.2. Yük Taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları

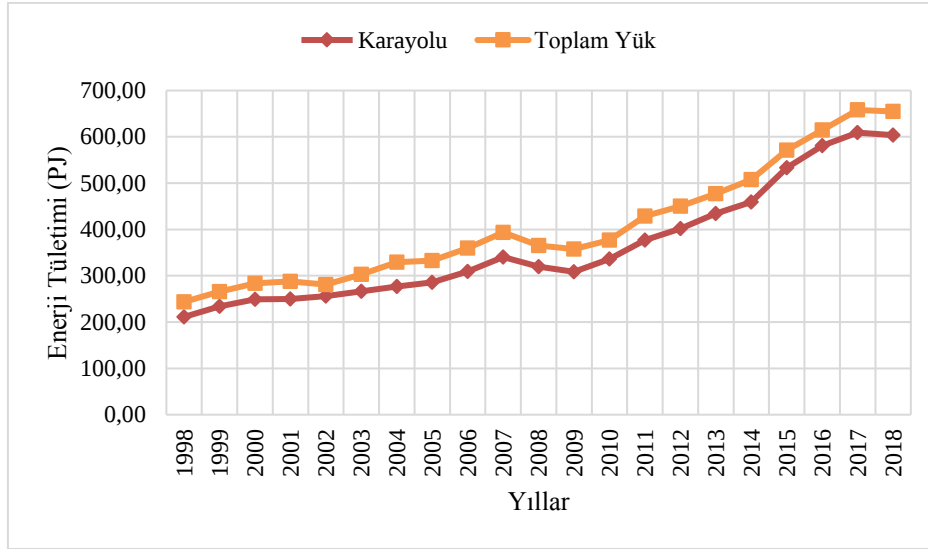
Türkiye’de karayolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010, 2015 ve 2018 yılları için sırası ile 211,15 PJ; 336,30 PJ; 533,08 PJ ve 603,41 PJ’dir. Türkiye’de demiryolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010, 2015 ve 2018 yılları için sırası ile 7,41 PJ; 5,67 PJ; 6,51 PJ ve 7,07 PJ’dir. Türkiye’de denizyolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010, 2015 ve

2018 yılları için sırası ile 9,04 PJ; 21,32 PJ; 7,52 PJ ve 15,72 PJ'dir. Türkiye'de havayolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010, 2015 ve 2018 yılları için sırası ile 16,08 PJ; 13,88 PJ; 23,75 PJ ve 28,37 PJ'dir. Çizelge 5.8'de Türkiye'de ulaştırma açısından yük taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları gösterilmektedir.

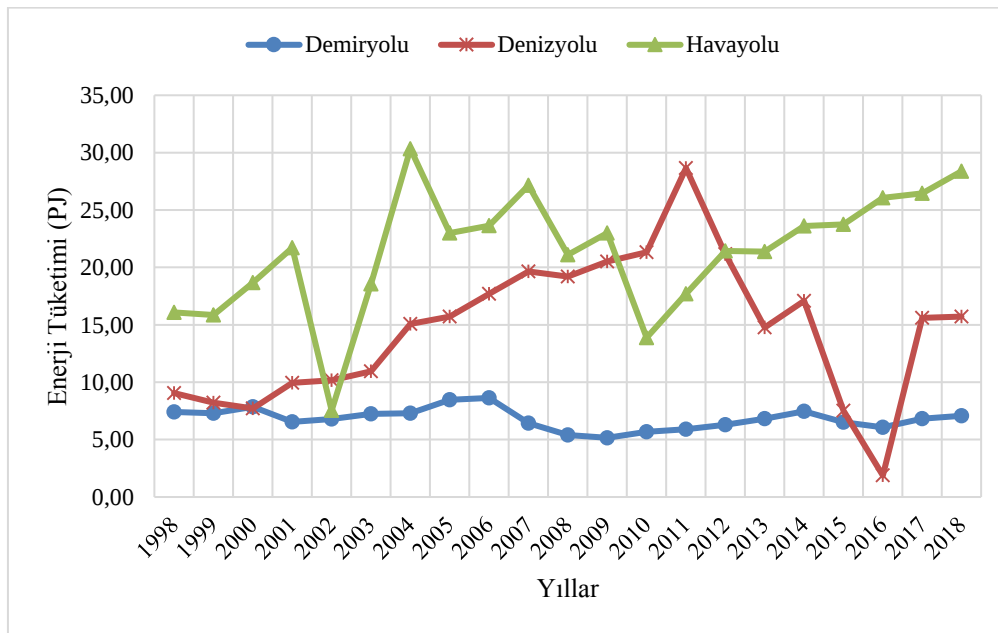
Çizelge 5.8. Türkiye'de ulaştırma açısından yük taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları

Yıllar	Karayolu (PJ)	Demiryolu (PJ)	Denizyolu (PJ)	Havayolu (PJ)	Toplam Yük (PJ)
1998	211,15	7,41	9,04	16,08	243,68
1999	234,10	7,29	8,21	15,86	265,46
2000	249,09	7,87	7,73	18,67	283,35
2001	249,74	6,54	9,95	21,71	287,94
2002	256,18	6,81	10,16	7,54	280,68
2003	266,54	7,25	10,94	18,56	303,28
2004	276,91	7,30	15,08	30,34	329,63
2005	285,55	8,47	15,71	23,01	332,75
2006	309,51	8,63	17,69	23,65	359,48
2007	340,10	6,43	19,64	27,16	393,32
2008	319,44	5,39	19,20	21,10	365,14
2009	308,81	5,16	20,51	23,01	357,49
2010	336,30	5,67	21,32	13,88	377,17
2011	376,66	5,90	28,65	17,69	428,90
2012	401,53	6,30	21,16	21,43	450,42
2013	434,46	6,83	14,78	21,38	477,45
2014	459,49	7,46	17,10	23,62	507,67
2015	533,08	6,51	7,52	23,75	570,86
2016	580,85	6,07	1,88	26,07	614,86
2017	609,06	6,84	15,60	26,47	657,95
2018	603,41	7,07	15,72	28,37	654,57

Şekil 5.15'de de Türkiye'de ulaştırma açısından yük taşımacılığında ve karayolu ulaştırmasında yük taşımacılığında enerji tüketim değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.16'da Türkiye'de ulaştırma yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türünde enerji tüketim durumun yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Türkiye’de ulaştırma yük taşımacılığında ve karayollarında enerji tüketimi değişiminin gösterilmesi

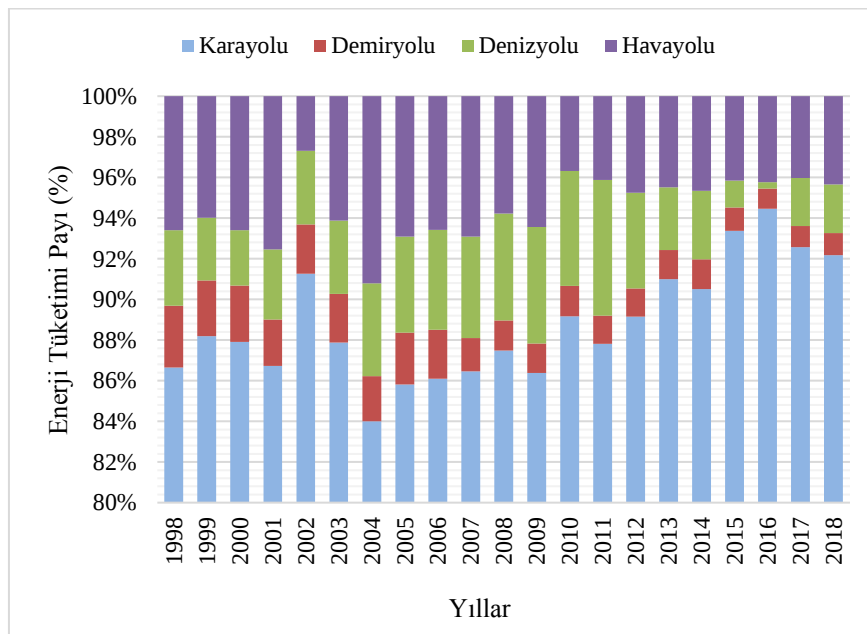


Şekil 5.16. Türkiye’de ulaştırma yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türünde enerji tüketiminin değişimi

Yük taşımacılığında 2018 yılında tüketilen enerjinin; %92,18’i karayolu ulaştırma türünde iken, demiryollarında %1,08’i; denizyollarında %2,40’ı ve havayollarında %4,33’ü olmuştur. Çizelge 5.9’da yük taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim paylarının dağılımı gösterilmektedir. Şekil 5.17’de yük taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim payları dağılımı gösterilmektedir.

Çizelge 5.9. Yük taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim payları dağılımı

Yıllar	Karayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)	Havayolu (%)	Toplam Yük (%)
1998	86,65	3,04	3,71	6,60	100,00
1999	88,19	2,75	3,09	5,97	100,00
2000	87,91	2,78	2,73	6,59	100,00
2001	86,73	2,27	3,46	7,54	100,00
2002	91,27	2,43	3,62	2,69	100,00
2003	87,88	2,39	3,61	6,12	100,00
2004	84,01	2,21	4,57	9,21	100,00
2005	85,82	2,55	4,72	6,92	100,00
2006	86,10	2,40	4,92	6,58	100,00
2007	86,47	1,63	4,99	6,90	100,00
2008	87,49	1,48	5,26	5,78	100,00
2009	86,38	1,44	5,74	6,44	100,00
2010	89,16	1,50	5,65	3,68	100,00
2011	87,82	1,38	6,68	4,13	100,00
2012	89,15	1,40	4,70	4,76	100,00
2013	91,00	1,43	3,10	4,48	100,00
2014	90,51	1,47	3,37	4,65	100,00
2015	93,38	1,14	1,32	4,16	100,00
2016	94,47	0,99	0,31	4,24	100,00
2017	92,57	1,04	2,37	4,02	100,00
2018	92,18	1,08	2,40	4,33	100,00



Şekil 5.17. Yük taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim payları dağılımı

5.2.3. Yük taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim miktarları

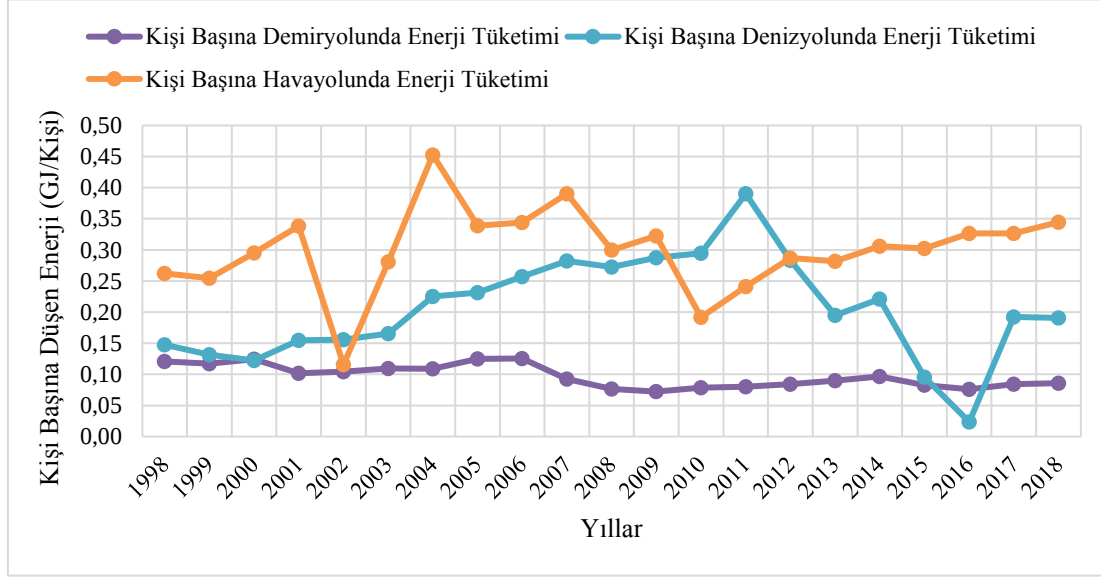
Türkiye’de ulaştırma yük taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerine bakıldığında ise; karayollarında 1998 yılında 3,44 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 7,33 GJ/Kişi; demiryollarında 1998 yılında 0,12 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 0,09 GJ/Kişi; denizyollarında 1998 yılında 0,15 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 0,19 GJ/Kişi; havayollarında 1998 yılında 0,26 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 0,34 GJ/Kişi olmuştur. Çizelge 5.10’de Türkiye’de yük taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Yük taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji miktarı

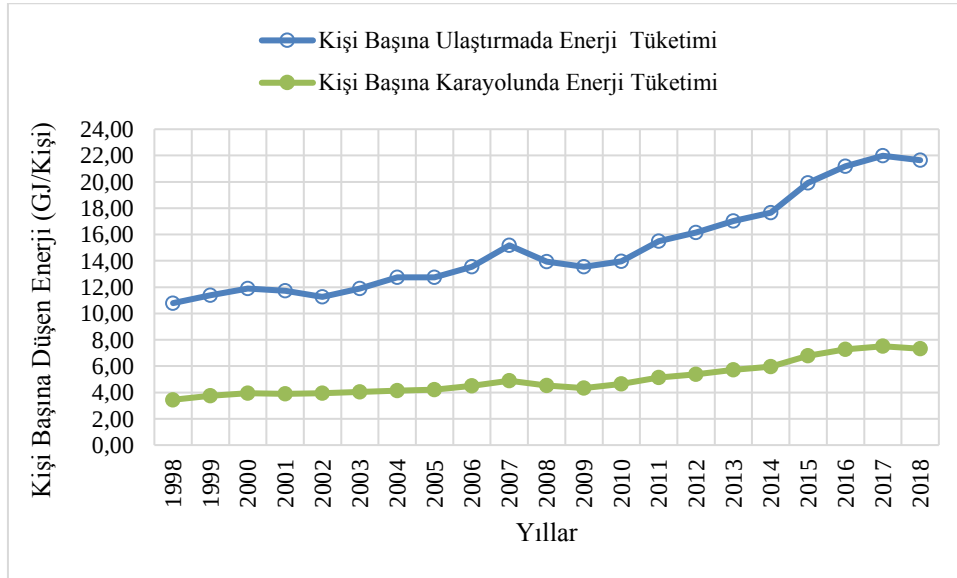
Yıllar	Karayolu (GJ/Kişi)	Demiryolu (GJ/Kişi)	Denizyolu (GJ/Kişi)	Havayolu (GJ/Kişi)
1998	3,44	0,12	0,15	0,26
1999	3,76	0,12	0,13	0,25
2000	3,94	0,12	0,12	0,30
2001	3,89	0,10	0,15	0,34
2002	3,93	0,10	0,16	0,12
2003	4,03	0,11	0,17	0,28
2004	4,13	0,11	0,22	0,45
2005	4,21	0,12	0,23	0,34
2006	4,50	0,13	0,26	0,34
2007	4,89	0,09	0,28	0,39
2008	4,54	0,08	0,27	0,30
2009	4,33	0,07	0,29	0,32
2010	4,65	0,08	0,29	0,19
2011	5,13	0,08	0,39	0,24
2012	5,38	0,08	0,28	0,29
2013	5,72	0,09	0,19	0,28
2014	5,95	0,10	0,22	0,31
2015	6,79	0,08	0,10	0,30
2016	7,28	0,08	0,02	0,33
2017	7,51	0,08	0,19	0,33
2018	7,33	0,09	0,19	0,34

Şekil 5.18’de yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerine göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Şekil

5.19’da ise ulaştırmada ve karayolu ulaştırma türüne göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerine göre kişi başına düşen enerji tüketimi miktarının yıllara göre değişimi



Şekil 5.19. Ulaştırmada ve karayolu ulaştırma türünde kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi

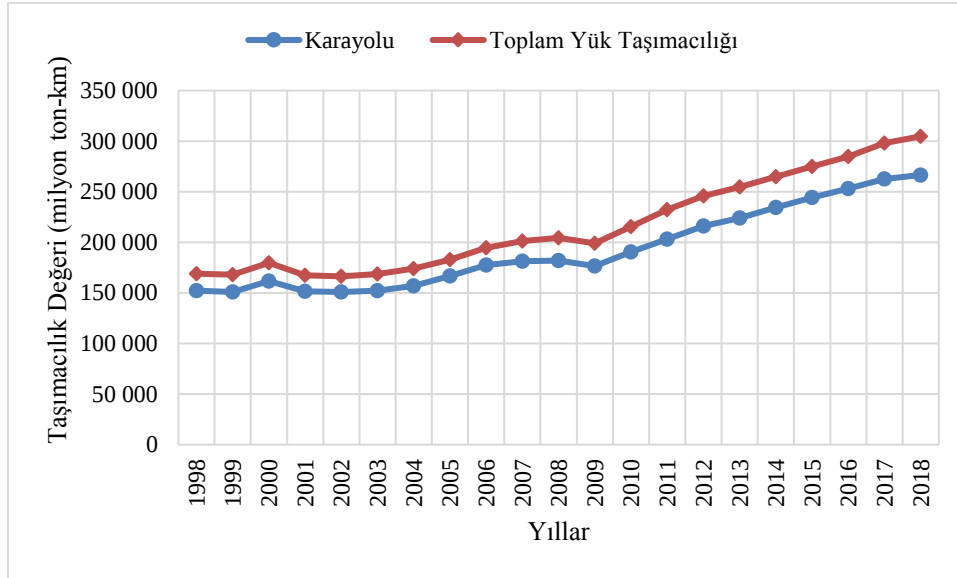
5.2.4. Türkiye’de yük taşımacılığında türlere taşımacılık faaliyeti miktarları ve payları

Türkiye’de karayolu ulaştırmasında 1998 ve 2017 yıllarında sırası ile taşımacılık değerleri; 152 210 milyon ton-km ve 266 502 milyon ton-km olmuştur. Demiryolu ulaştırmasında ise

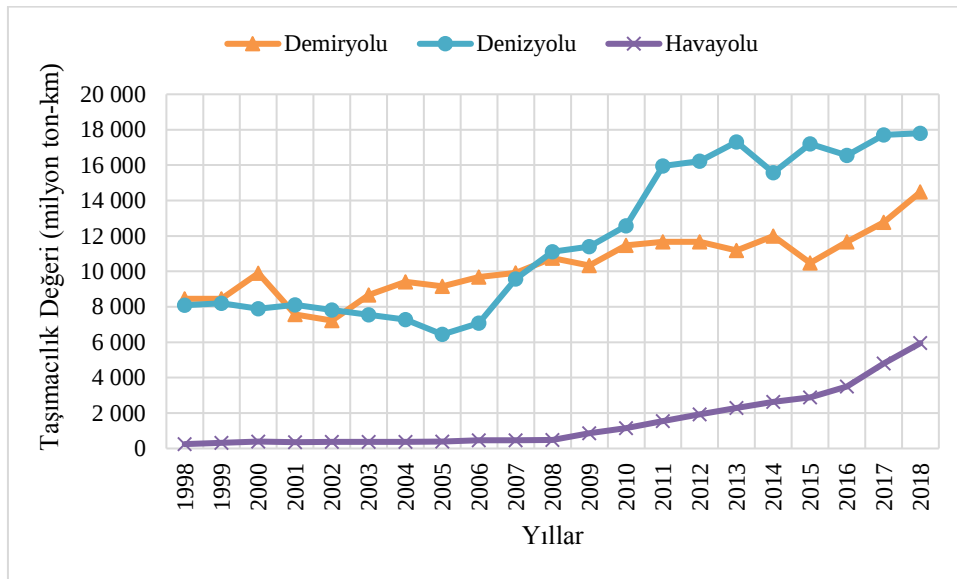
1998 yılında 8 446 milyon ton-km iken, 2018 yılında 14 481 milyon ton-km olmuştur. Denizyolu ulaştırmasında ve havayolu ulaştırmasında 1998 yılındaki yük taşımacılığı faaliyetlerinin miktarları ise sırası ile 8 093 milyon ton-km ve 247 milyon ton-km olmuştur. 2018 yılı için ise denizyolu ulaştırmasında ve havayolu ulaştırmasında yük taşımacılığı değerleri sırasıyla 17 801 milyon ton-km ve 5 949 milyon ton-km olmuştur. Çizelge 5.11’de Türkiye’de yük taşımacılığında türlere göre taşımacılık faaliyeti miktarları gösterilmektedir. Şekil 5.20’de yük taşımacılığında toplam ve karayolu ulaştırma türünün yıllara göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.21’de yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerinin yıllara göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.11. Türkiye’de yük taşımacılığında türlere göre miktarları [4-13, 17]

Yıllar	Karayolu (milyon ton-km)	Demiryolu (milyon ton-km)	Denizyolu (milyon ton-km)	Havayolu (milyon ton-km)
1998	152 210	8 446	8 093	247
1999	150 974	8 446	8 200	313
2000	161 552	9 895	7 900	385
2001	151 421	7 562	8 100	350
2002	150 912	7 224	7 826	381
2003	152 163	8 669	7 551	377
2004	156 853	9 417	7 277	370
2005	166 831	9 152	6 439	383
2006	177 399	9 676	7 084	464
2007	181 330	9 921	9 573	466
2008	181 935	10 739	11 114	481
2009	176 455	10 326	11 397	856
2010	190 365	11 462	12 570	1 149
2011	203 072	11 677	15 959	1 544
2012	216 123	11 670	16 223	1 934
2013	224 048	11 177	17 312	2 296
2014	234 492	11 992	15 572	2 630
2015	244 329	10 474	17 204	2 882
2016	253 139	11 661	16 554	3 494
2017	262 739	12 763	17 705	4 800
2018	266 502	14 481	17 801	5 949



Şekil 5.20. Yük taşımacılığında toplam ve karayolu ulaştırma türünün yıllara göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi

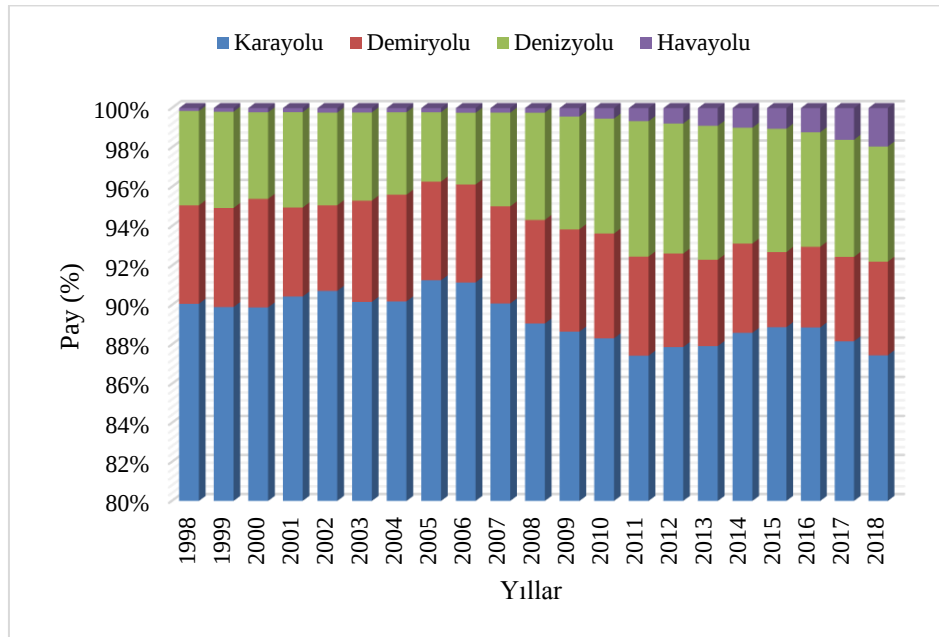


Şekil 5.21. Yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerinin yıllara göre taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi

Türkiye’de 2017 yılı için yük taşımacılığındaki toplam taşımacılığın %87,79’u karayollarında, %4,27’si demiryollarında, %6,33’ü denizyollarında ve %1,60’ı havayollarında gerçekleşmektedir. Çizelge 5.12’de Türkiye’de ulaştırma türlerine göre yük taşımacılığı (ton-km) paylarının dağılımı gösterilmektedir. Şekil 5.22’de yük taşımacılığında türlere göre dağılımının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.12. Türkiye yük taşımacılığında ulaştırma türlerine göre yüzdesel dağılımı

Yıllar	Karayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)	Havayolu (%)	Yük Toplam (%)
1998	%90,07	%5,00	%4,79	%0,15	%100,00
1999	%89,90	%5,03	%4,88	%0,19	%100,00
2000	%89,88	%5,51	%4,40	%0,21	%100,00
2001	%90,44	%4,52	%4,84	%0,21	%100,00
2002	%90,72	%4,34	%4,70	%0,23	%100,00
2003	%90,17	%5,14	%4,47	%0,22	%100,00
2004	%90,19	%5,41	%4,18	%0,21	%100,00
2005	%91,26	%5,01	%3,52	%0,21	%100,00
2006	%91,15	%4,97	%3,64	%0,24	%100,00
2007	%90,08	%4,93	%4,76	%0,23	%100,00
2008	%89,07	%5,26	%5,44	%0,24	%100,00
2009	%88,66	%5,19	%5,73	%0,43	%100,00
2010	%88,32	%5,32	%5,83	%0,53	%100,00
2011	%87,44	%5,03	%6,87	%0,66	%100,00
2012	%87,87	%4,74	%6,60	%0,79	%100,00
2013	%87,92	%4,39	%6,79	%0,90	%100,00
2014	%88,59	%4,53	%5,88	%0,99	%100,00
2015	%88,88	%3,81	%6,26	%1,05	%100,00
2016	%88,87	%4,09	%5,81	%1,23	%100,00
2017	%88,17	%4,28	%5,94	%1,61	%100,00
2018	%87,45	%4,75	%5,84	%1,95	%100,00



Şekil 5.22. Türkiye’de ulaşırmada türlere göre yük taşımacılığı dağılımı (%)

5.2.5. Ulaştırma sektörü yük taşımacılığında enerji yoğunluğu

Türkiye’de ulaştırma sektöründe yük taşımacılığı açısından enerji yoğunluğu değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılları için sırası ile 1,44 MJ/ton-km; 1,75 MJ/ton-km ve 2,15 MJ/ton-km’dir. Çizelge 5.13’de Yük taşımacılığında, türlere göre enerji yoğunluğu değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.13. Yük taşımacılığında ulaştırma türlerine göre enerji yoğunluğu değerleri

Yıllar	Toplam Yük (MJ/ton-km)	Karayolu (MJ/ton-km)	Demiryolu (MJ/ton-km)	Denizyolu (MJ/ton-km)	Havayolu (MJ/ton-km)
1998	1,44	1,39	0,88	1,12	65,22
1999	1,58	1,55	0,86	1,00	50,69
2000	1,58	1,54	0,80	0,98	48,48
2001	1,72	1,65	0,86	1,23	62,03
2002	1,69	1,70	0,94	1,30	19,80
2003	1,80	1,75	0,84	1,45	49,28
2004	1,90	1,77	0,77	2,07	81,97
2005	1,82	1,71	0,93	2,44	60,09
2006	1,85	1,74	0,89	2,50	50,97
2007	1,95	1,88	0,65	2,05	58,26
2008	1,79	1,76	0,50	1,73	43,89
2009	1,80	1,75	0,50	1,80	26,88
2010	1,75	1,77	0,49	1,70	12,07
2011	1,85	1,85	0,51	1,80	11,46
2012	1,83	1,86	0,54	1,30	11,08
2013	1,87	1,94	0,61	0,85	9,31
2014	1,92	1,96	0,62	1,10	8,98
2015	2,08	2,18	0,62	0,44	8,24
2016	2,16	2,29	0,52	0,11*	7,46
2017	2,21	2,32	0,54	0,88	5,51
2018	2,15	2,26	0,49	0,88	4,77
1998 - 2018 Yılları Ortalama		1,84	0,68	1,43 ¹	33,16
Son 5 Yıl Ortalama		2,20	0,56	0,82 ¹	6,99

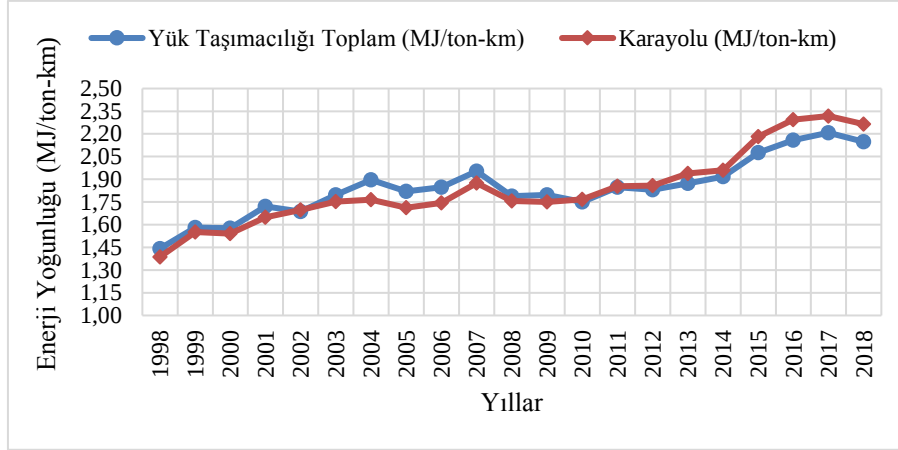
Çizelge 5.13’den görüleceği üzere; karayolu ulaştırma türünün yük taşımacılığında enerji

¹ Denizyolu ulaştırma türünün 2016 yılı enerji yoğunluğu değeri genel duruma göre farklılık göstermesi nedeniyle 1998-2018 yılları ile son 5 yıl ortalamaları hesaplarına dâhil edilmemiştir.

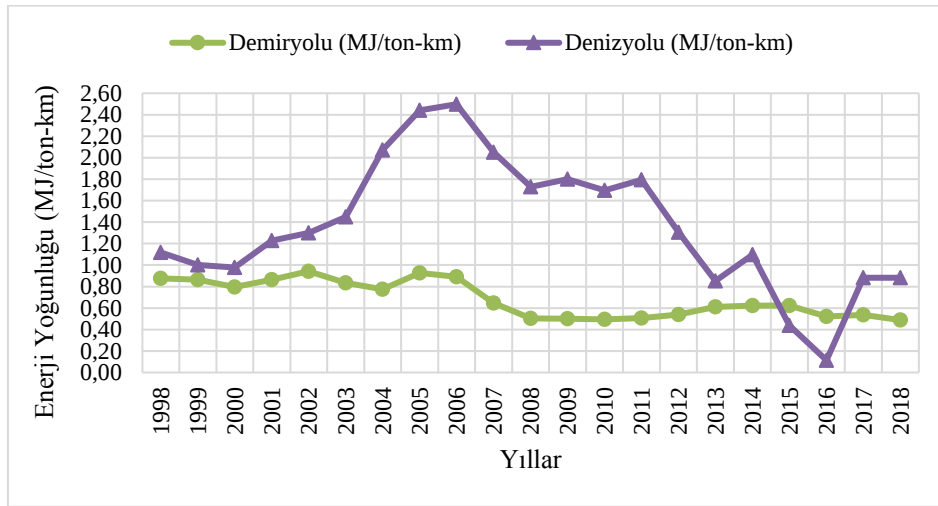
yoğunluk değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılları için sırasıyla; 1,39 MJ/ton-km, 1,77 MJ/ton-km ve 2,26 MJ/ton-km'dir. Demiryolu için; bu yıllarda sırası ile 0,88 MJ/ton-km; 0,49 MJ/ton-km ve 0,49 MJ/ton-km'dir. Denizyolu ulaştırma türünün yük taşımacılığında 1998, 2010 ve 2018 yılları için enerji yoğunluk değerleri sırasıyla; 1,12 MJ/ton-km, 1,70 MJ/ton-km ve 0,88 MJ/ton-km'dir. Havayolu ulaştırma türünün yük taşımacılığında 1998, 2010 ve 2018 yılları için enerji yoğunluk değerleri sırasıyla; 65,22 MJ/ton-km, 12,07 MJ/ton-km ve 4,77 MJ/ton-km'dir.

1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en az olan ulaştırma türü demiryolu olduğu görülmektedir. 2018 yılında ise yine demiryolu ulaştırma türünün olduğu görülmektedir. 1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en çok olan ulaştırma türü havayolu iken, 2018 yılı için yine enerji yoğunluğu açısından en büyük değere sahip ulaştırma türü havayolu olduğu görülmektedir. 1998-2018 yılları için ortalama enerji yoğunluğu değerlerine bakılırsa, karayolu ulaştırma türünün 1,84 MJ/ton-km, demiryolunun 0,68 MJ/ton-km, denizyolunun 1,43 MJ/ton-km ve havayolunun 33,16 MJ/ton-km olduğu görülmektedir. Son 5 yıl için enerji yoğunluğu ortalama değerlerine bakılacak olursa; karayolu ulaştırma türünün 2,20 MJ/ton-km, demiryolunun 0,56 MJ/ton-km, denizyolunun 0,82 MJ/ton-km ve havayolunun 6,99 MJ/ton-km olduğu görülmektedir. Buradan karayolu enerji yoğunluğunun son 21 yıla göre son 5 yılda değeri artarken, diğer ulaştırma türlerinin enerji yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Enerji yoğunluğu değerlerinde denizyolu ve demiryolu ulaştırma türlerindeki değişimin dalgalı bir seyir izlediği görülürken, karayolu ulaştırmasının enerji yoğunluğu değeri artmakta ve havayolu ulaştırmasının değerinin ise azaldığı görülmektedir. Şekil 5.23'de yük taşımacılığı toplamında ve karayolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi karşılaştırılarak gösterilmektedir.

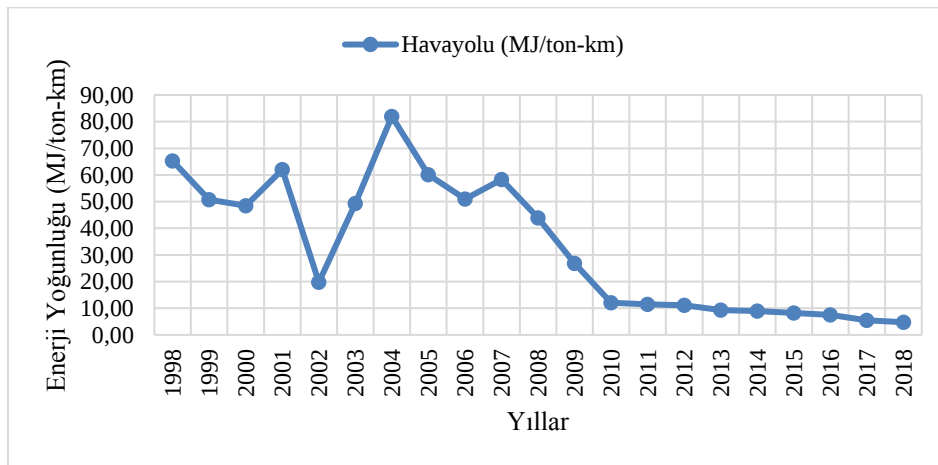
Şekil 5.24'de yük taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi karşılaştırılarak gösterilmektedir. Şekil 5.25'de ise yük taşımacılığında havayolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi karşılaştırılarak gösterilmektedir. Şekil 5.26'da yük taşımacılığı türünde karayolu, demiryolu ve denizyolu enerji yoğunlukları 1998-2018 yılları ve son 5 yıl ortalama değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.



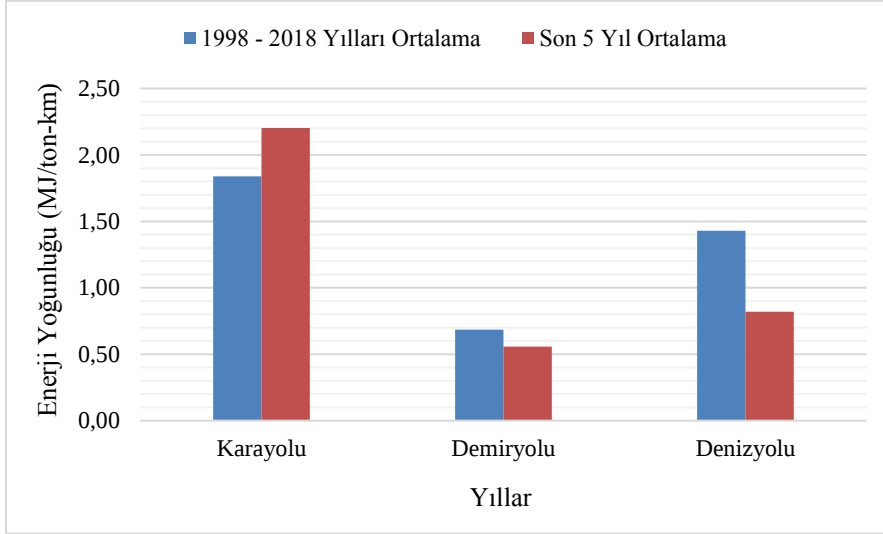
Şekil 5.23. Yük taşımacılığı toplamında ve karayolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.24. Yük taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.25. Yük taşımacılığında havayolu ulaştırma türünün enerji yoğunluğu değerleri



Şekil 5.26. Yük taşımacılığı türünde karayolu, demiryolu ve denizyolu enerji yoğunlukları 1998-2018 yılları ve son 5 yıl ortalama değerlerinin karşılaştırılması

5.3. Yolcu Taşımacılığında Enerji Analizi

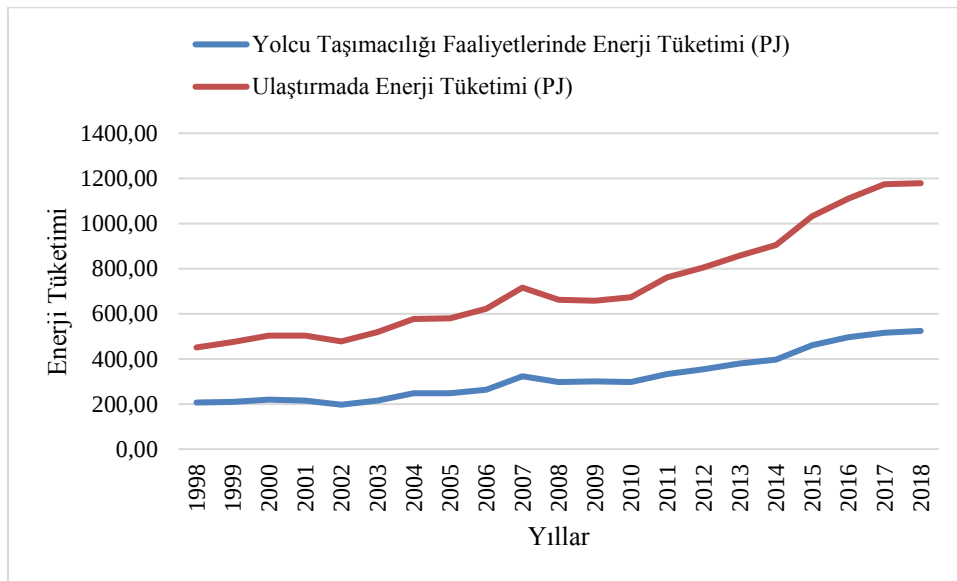
5.3.1. Yolcu taşımacılığında enerji tüketimi

Yolcu taşımacılığında enerji tüketimi 1998 yılında 206,81 PJ iken, 2018 yılında 523,86 PJ'e yükselmiştir. Yolcu taşımacılığında tüketilen enerji ulaşırmada tüketilen enerjinin 1998 yılında %45,91'i iken, 2018 yılında %44,45'i oranına düşmüştür. Yolcu taşımacılığı; Türkiye'de tüketilen enerji miktarının ise 1998 yılında %6,74 iken, 2018 yılında bu değer %8,71'ine yükselmiştir. Çizelge 5.14'de yolcu taşımacılığı, ulaştırma enerji tüketimi ve Türkiye'de enerji tüketimi ile karşılaştırılması yapılarak, yolcu taşımacılığının ulaştırma ve Türkiye'de tüketilen enerji içerisindeki payının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

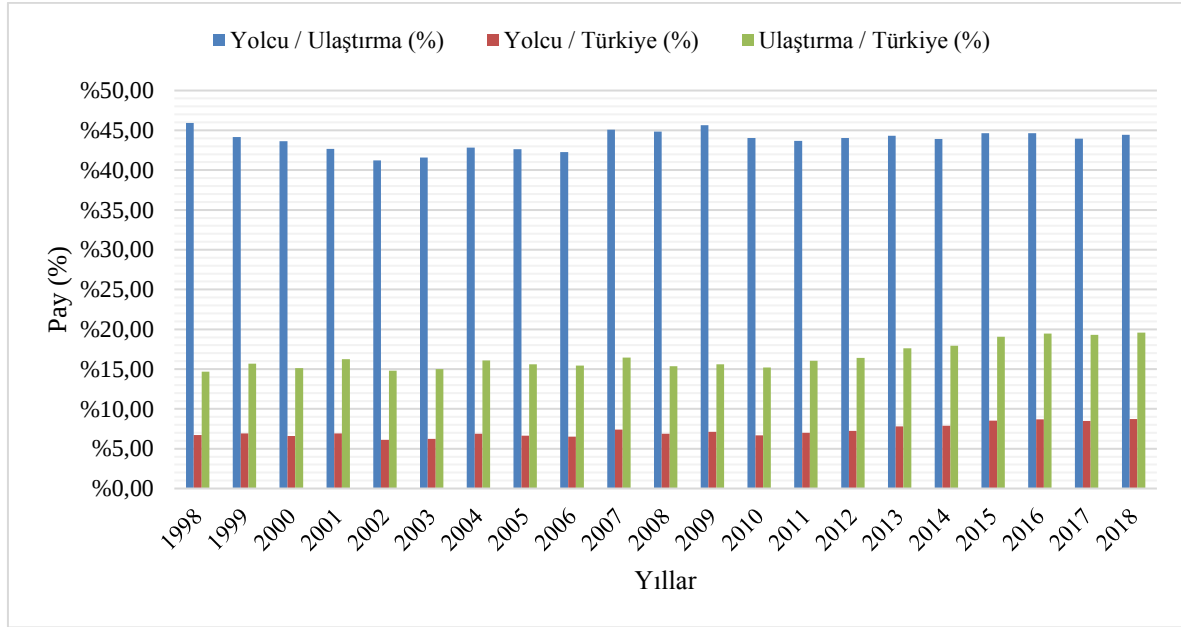
Şekil 5.27'de Türkiye'de enerji tüketimi ve ulaştırma sektörü ile yolcu taşımacılığında tüketilen enerjinin değişiminin gösterilmektedir. Şekil 5.28'de Türkiye'de ulaşırmada yolcu taşımacılığın, ulaşırmada enerji tüketimi ile Türkiye'de tüketilen enerji içerisinde payının değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.14. Yolcu taşımacılığının, ulaştırma ve Türkiye’de tüketilen enerji içerisindeki durumu ve payının yıllara göre değişimi [21, 22]

Yıllar	Toplam Yolcu (PJ)	Ulaştırma Enerji Tüketimi (PJ)	Türkiye’de Enerji Tüketimi (PJ)	Yolcu/Ulaştırma (%)	Yolcu/Türkiye (%)	Ulaştırma/Türkiye (%)
1998	206,81	450,49	3 069,18	%45,91	%6,74	%14,68
1999	209,74	475,20	3 033,38	%44,14	%6,91	%15,67
2000	219,35	502,71	3 325,49	%43,63	%6,60	%15,12
2001	214,44	502,38	3 091,95	%42,69	%6,94	%16,25
2002	196,78	477,46	3 226,98	%41,21	%6,10	%14,80
2003	215,67	518,91	3 463,32	%41,56	%6,23	%14,98
2004	247,09	576,72	3 586,62	%42,84	%6,89	%16,08
2005	247,08	579,83	3 712,52	%42,61	%6,66	%15,62
2006	262,97	622,45	4 026,24	%42,25	%6,53	%15,46
2007	322,92	716,24	4 357,08	%45,09	%7,41	%16,44
2008	296,60	661,73	4 305,08	%44,82	%6,89	%15,37
2009	300,39	657,88	4 217,74	%45,66	%7,12	%15,60
2010	296,74	673,91	4 433,32	%44,03	%6,69	%15,20
2011	332,67	761,57	4 746,62	%43,68	%7,01	%16,04
2012	354,67	805,08	4 911,62	%44,05	%7,22	%16,39
2013	380,18	857,63	4 869,83	%44,33	%7,81	%17,61
2014	397,27	904,94	5 045,30	%43,90	%7,87	%17,94
2015	460,58	1 031,45	5 406,79	%44,65	%8,52	%19,08
2016	495,82	1 110,69	5 703,64	%44,64	%8,69	%19,47
2017	515,86	1 173,82	6 083,63	%43,95	%8,48	%19,29
2018	523,86	1 178,43	6 015,01	%44,45	%8,71	%19,59



Şekil 5.27. Türkiye’de ulaştırma sektörü ile yolcu taşımacılığında tüketilen enerjinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.28. Türkiye’de ulaşırmada yolcu taşımacılığın, ulaşırmada enerji tüketimi ile Türkiye’de tüketilen enerji içerisinde payının yıllara göre değişimi

5.3.2. Yolcu taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları

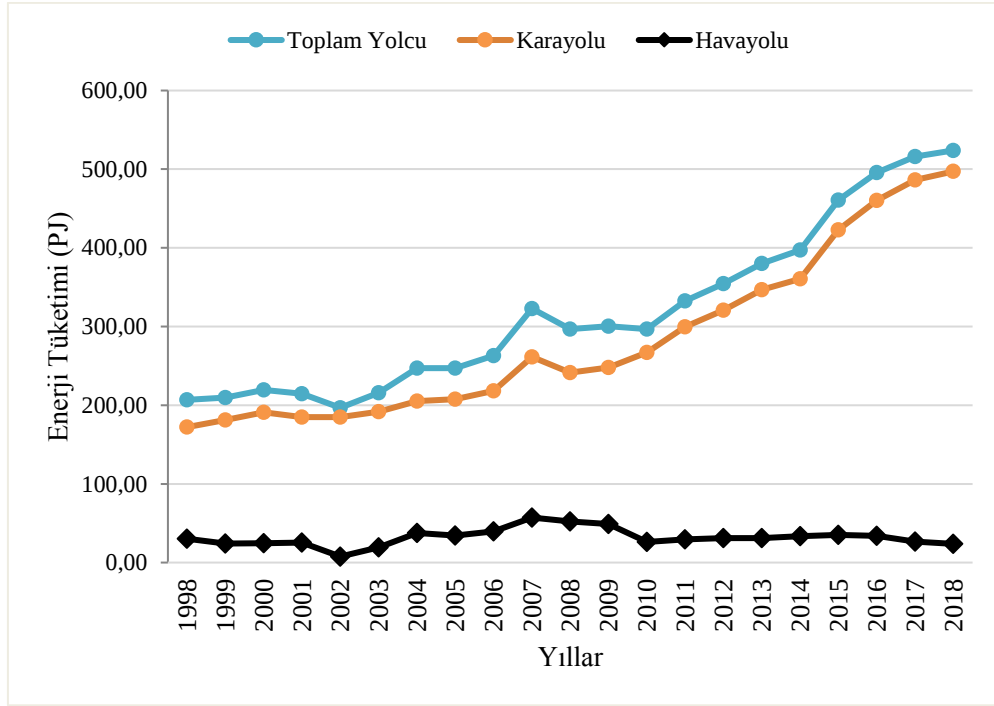
Türkiye’de yolcu taşımacılığında karayolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılları için sırası ile 172,16 PJ; 267,25 PJ ve 497,16 PJ’dir. Türkiye’de demiryolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılları için sırası ile 4,00 PJ; 2,01 PJ ve 1,93 PJ’dir. Türkiye’de denizyolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılları için sırası ile 0,42 PJ; 1,33 PJ ve 0,93 PJ’dir. Türkiye’de havayolu ulaştırma türünün yıllar itibari ile enerji tüketimi değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılları için sırası ile 30,22 PJ; 26,15 PJ ve 23,84 PJ’dir.

Çizelge 5.15’de Türkiye’de ulaştırma açısından yolcu taşımacılığında türlere göre enerji tüketim miktarları gösterilmektedir. Şekil 5.29’da Türkiye’de yolcu taşımacılığında toplam enerji tüketimi, karayolu ulaştırma türünün ve havayolu ulaştırma türünün enerji tüketimi değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.30’da ise Türkiye’de yolcu taşımacılığında demiryolu ulaştırma türü, denizyolu ulaştırma türü ve havayolu ulaştırma türü enerji tüketimi değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

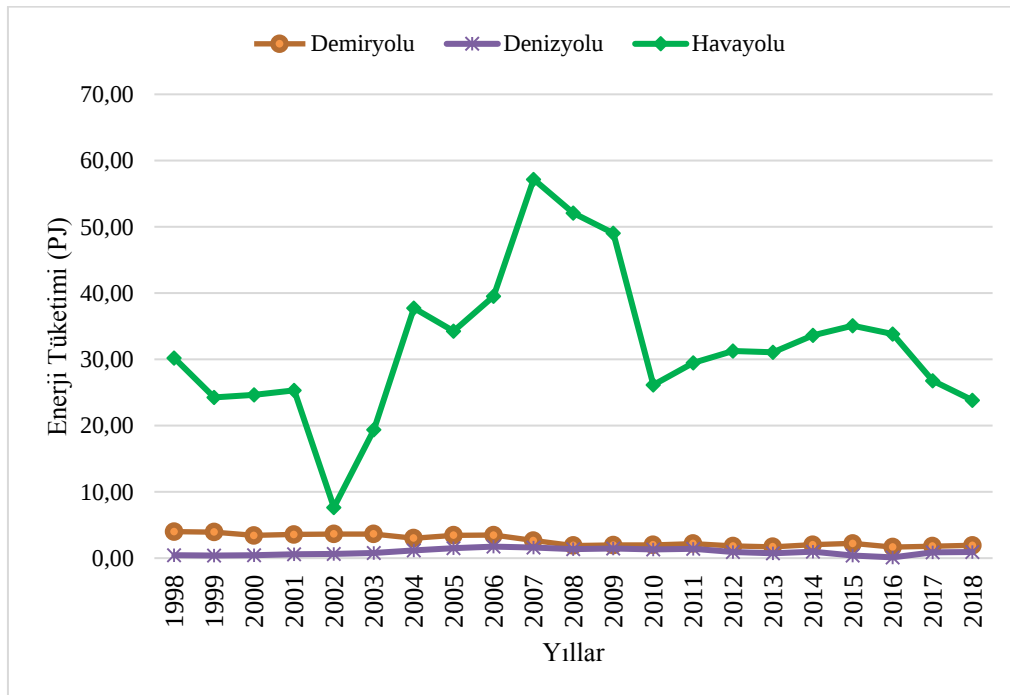
Çizelge 5.15. Türkiye yolcu taşımacılığında türlere göre enerji tüketim değerleri

Yıllar	Karayolu (PJ)	Demiryolu (PJ)	Denizyolu (PJ)	Havayolu (PJ)	Toplam Yolcu (PJ)
1998	172,16	4,00	0,42	30,22	206,81
1999	181,15	3,93	0,41	24,25	209,74
2000	190,86	3,44	0,43	24,62	219,35
2001	184,95	3,57	0,59	25,33	214,44
2002	184,83	3,63	0,66	7,65	196,78
2003	191,88	3,64	0,79	19,37	215,67
2004	205,16	3,01	1,19	37,74	247,09
2005	207,85	3,45	1,51	34,27	247,08
2006	218,20	3,49	1,74	39,55	262,97
2007	261,47	2,67	1,60	57,18	322,92
2008	241,24	1,90	1,36	52,10	296,60
2009	247,88	1,99	1,48	49,04	300,39
2010	267,25	2,01	1,33	26,15	296,74
2011	299,57	2,20	1,41	29,49	332,67
2012	320,64	1,84	0,95	31,24	354,67
2013	346,69	1,71	0,71	31,08	380,18
2014	360,64	2,03	0,99	33,61	397,27
2015	422,89	2,22	0,40	35,07	460,58
2016	460,22	1,67	0,12	33,82	495,82
2017	486,39	1,81	0,87	26,79	515,86
2018	497,16	1,93	0,93	23,84	523,86

Türkiye yolcu taşımacılığında, 2018 yılında tüketilen enerjinin; %94,90'u karayolu ulaştırma türünde iken, demiryollarında %0,37'si; denizyollarında %0,18'i ve havayollarında %4,55'i olmuştur. Çizelge 5.16'da yolcu taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim payları dağılımı gösterilmektedir. Şekil 5.31'de yolcu taşımacılığında tüketilen enerjide, türlerin enerji tüketim paylarının dağılımı grafiksel olarak gösterilmiştir



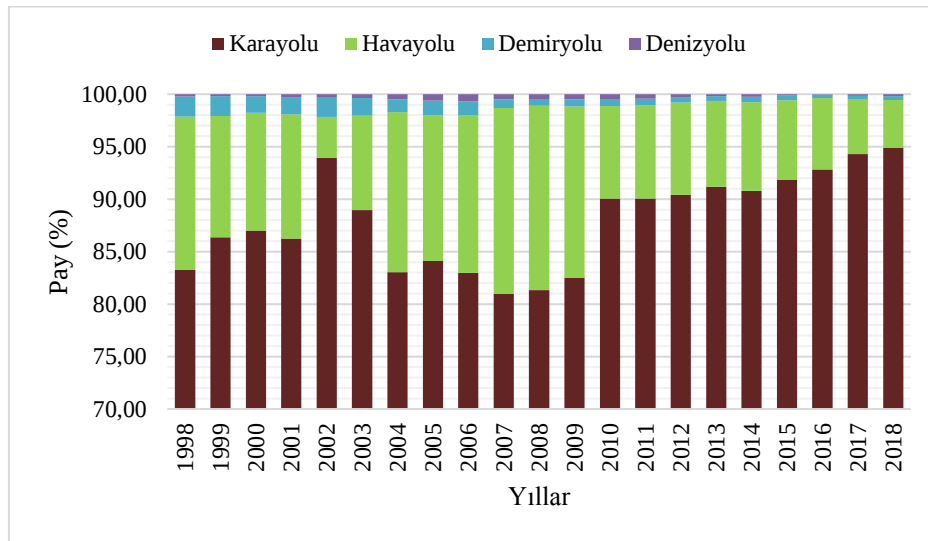
Şekil 5.29. Türkiye’de yolcu taşımacılığında toplam enerji tüketimi, karayolu ulaştırma türü ve havayolu ulaştırma türü enerji tüketim değerlerinin değişimi



Şekil 5.30. Türkiye’de yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türü enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi

Çizelge 5.16. Türkiye yolcu taşımacılığında ulaştırma türlerine göre enerji tüketim payları

Yıllar	Karayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)	Havayolu (%)	Toplam Yolcu (%)
1998	83,25	1,93	0,20	14,61	100
1999	86,37	1,87	0,20	11,56	100
2000	87,01	1,57	0,20	11,23	100
2001	86,25	1,66	0,27	11,81	100
2002	93,93	1,85	0,34	3,89	100
2003	88,97	1,69	0,36	8,98	100
2004	83,03	1,22	0,48	15,27	100
2005	84,12	1,40	0,61	13,87	100
2006	82,97	1,33	0,66	15,04	100
2007	80,97	0,83	0,50	17,71	100
2008	81,34	0,64	0,46	17,57	100
2009	82,52	0,66	0,49	16,33	100
2010	90,06	0,68	0,45	8,81	100
2011	90,05	0,66	0,42	8,86	100
2012	90,41	0,52	0,27	8,81	100
2013	91,19	0,45	0,19	8,17	100
2014	90,78	0,51	0,25	8,46	100
2015	91,82	0,48	0,09	7,61	100
2016	92,82	0,34	0,02	6,82	100
2017	94,29	0,35	0,17	5,19	100
2018	94,90	0,37	0,18	4,55	100



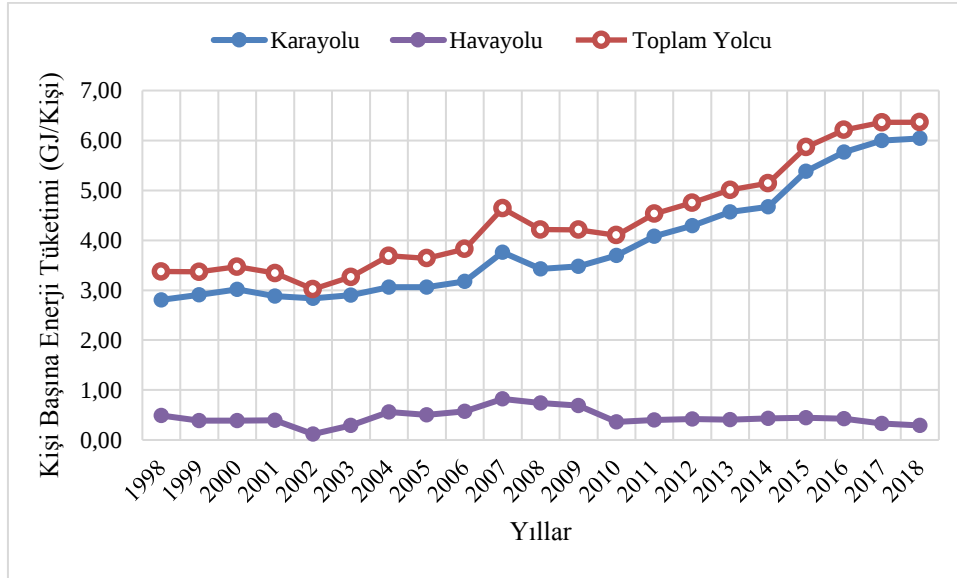
Şekil 5.31. Yolcu taşımacılığında türlerin enerji tüketim payları dağılımı

5.3.3. Yolcu taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim miktarları

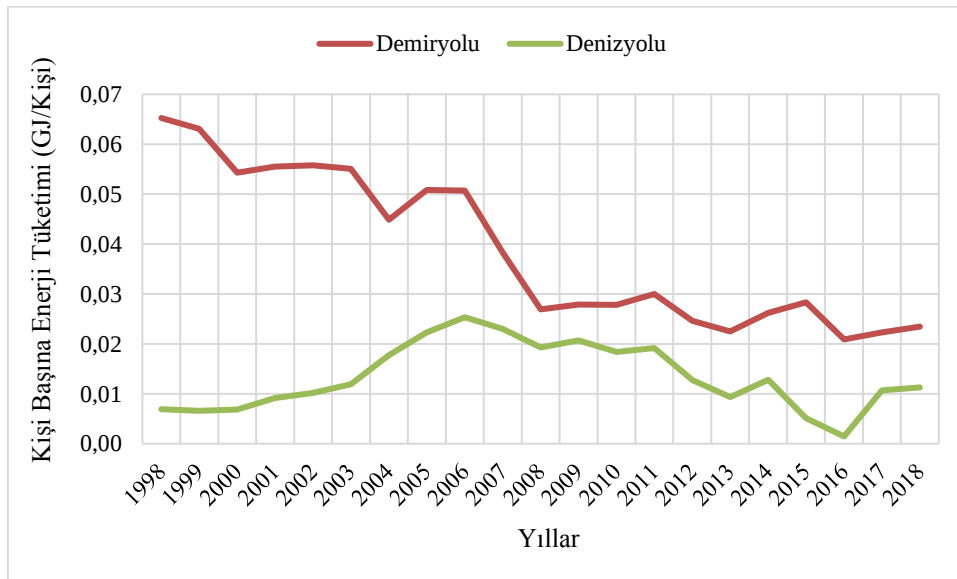
Türkiye’de ulaştırma yolcu taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerine bakıldığında ise; karayollarında 1998 yılında 2,81 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 6,04 GJ/Kişi; demiryollarında 1998 yılında 0,07 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 0,02 GJ/Kişi; denizyollarında 1998 yılında 0,01 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 0,01 GJ/Kişi; havayollarında 1998 yılında 0,49 GJ/Kişi iken 2018 yılında bu değer 0,29 GJ/Kişi olmuştur. Çizelge 5.17’de Türkiye’de yolcu taşımacılığında türlere göre kişi başına düşen enerji tüketim değerleri gösterilmiştir. Şekil 5.32’de yolcu taşımacılığı, karayolu ve havayolu ulaştırma türlerinin kişi başına düşen enerji tüketiminin yıllara göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.33’de yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türüne göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.17. Türkiye yolcu taşımacılığında ulaştırma türlerine göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre durumu

Yıllar	Karayolu (GJ/Kişi)	Demiryolu (GJ/Kişi)	Denizyolu (GJ/Kişi)	Havayolu (GJ/Kişi)	Toplam Yolcu (GJ/Kişi)
1998	2,81	0,07	0,01	0,49	3,37
1999	2,91	0,06	0,01	0,39	3,37
2000	3,02	0,05	0,01	0,39	3,47
2001	2,88	0,06	0,01	0,39	3,34
2002	2,84	0,06	0,01	0,12	3,02
2003	2,90	0,06	0,01	0,29	3,26
2004	3,06	0,04	0,02	0,56	3,69
2005	3,06	0,05	0,02	0,50	3,64
2006	3,17	0,05	0,03	0,58	3,82
2007	3,76	0,04	0,02	0,82	4,64
2008	3,43	0,03	0,02	0,74	4,21
2009	3,48	0,03	0,02	0,69	4,21
2010	3,69	0,03	0,02	0,36	4,10
2011	4,08	0,03	0,02	0,40	4,53
2012	4,30	0,02	0,01	0,42	4,75
2013	4,57	0,02	0,01	0,41	5,01
2014	4,67	0,03	0,01	0,44	5,14
2015	5,39	0,03	0,01	0,45	5,87
2016	5,77	0,02	0,00	0,42	6,21
2017	6,00	0,02	0,01	0,33	6,36
2018	6,04	0,02	0,01	0,29	6,36



Şekil 5.32. Yolcu taşımacılığı, karayolu ve havayolu ulaştırma türüne göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 5.33. Yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türüne göre kişi başına düşen enerji tüketim değerlerinin yıllara göre değişimi

5.3.4. Türkiye’de yolcu taşımacılığı değerlerinin türlere göre değerleri ve dağılımı

Türkiye’de karayolu ulaştırmasında 1998 ve 2018 yıllarında sırası ile yolcu taşımacılığı değerleri; 186 159 milyon yolcu-km ve 329 363 milyon yolcu-km olmuştur. Demiryolu ulaştırmasında ise 1998 yılında taşımacılık değeri 6 161 milyon yolcu-km iken, 2018 yılında 5 333 milyon yolcu-km olmuştur. Denizyolu ulaştırmasında ve havayolu ulaştırmasında

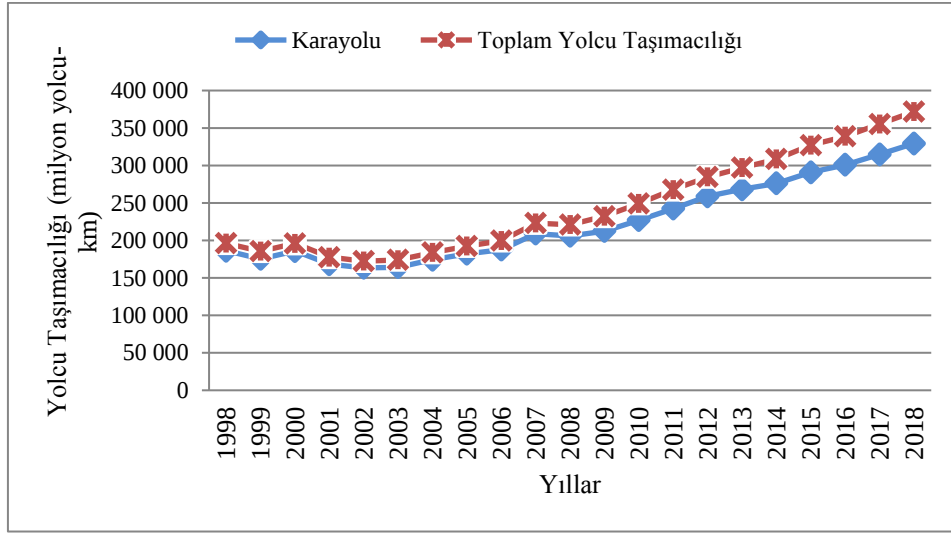
1998 yılındaki yolcu taşımacılığı değerleri ise sırası ile 758 milyon yolcu-km iken ve 2 101 milyon yolcu-km iken olmuştur. 2018 yılı için ise denizyolu ulaştırmasında ve havayolu ulaştırmasında yolcu taşımacılığı değerleri sırasıyla 3 243 milyon yolcu-km ve 34 996 milyon yolcu-km olmuştur. Çizelge 5.18’de Türkiye’de yolcu taşımacılığında türlere değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.18. Türkiye’de yolcu taşımacılığının ulaştırma türlerine göre değerleri [4-13, 17]

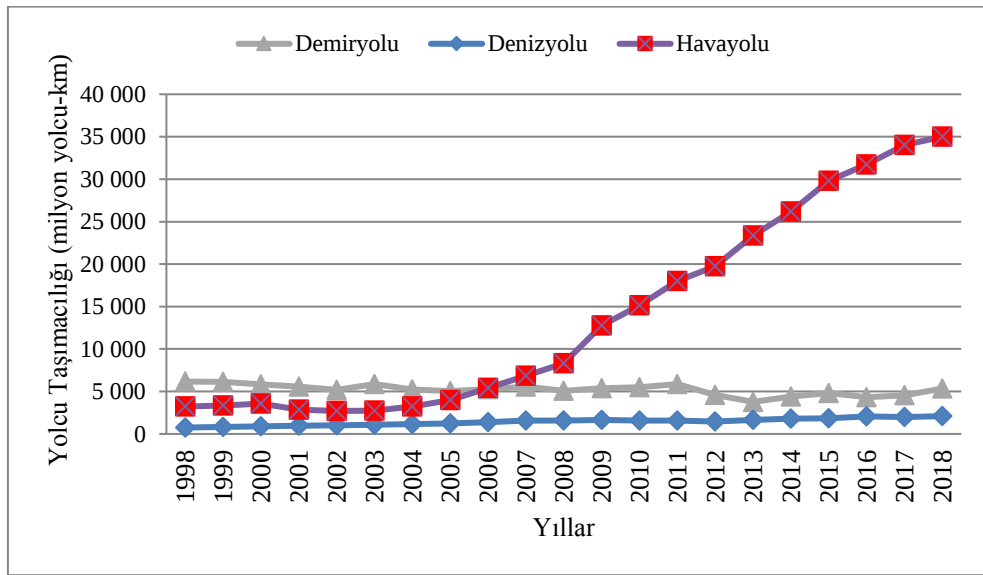
Yıllar	Karayolu (milyon yolcu-km)	Demiryolu (milyon yolcu-km)	Denizyolu (milyon yolcu-km)	Havayolu (milyon yolcu-km)	Toplam Yolcu Taşımacılığı (milyon yolcu-km)
1998	186 159	6 161	758	3 243	196 321
1999	175 236	6 146	824	3 349	185 555
2000	185 681	5 833	889	3 555	195 958
2001	168 211	5 568	954	2 859	177 593
2002	163 327	5 204	1 019	2 706	172 257
2003	164 311	5 878	1 085	2 752	174 026
2004	174 312	5 237	1 150	3 223	183 922
2005	182 152	5 036	1 240	3 992	192 420
2006	187 593	5 277	1 395	5 431	199 696
2007	209 115	5 553	1 561	6 870	223 099
2008	206 098	5 097	1 570	8 309	221 074
2009	212 464	5 374	1 643	12 771	232 252
2010	226 913	5 491	1 570	15 159	249 133
2011	242 265	5 882	1 570	18 016	267 733
2012	258 874	4 598	1 459	19 731	284 662
2013	268 178	3 777	1 667	23 357	296 979
2014	276 073	4 393	1 806	26 204	308 476
2015	290 734	4 828	1 836	29 790	327 188
2016	300 852	4 325	2 059	31 730	338 966
2017	314 734	4 566	1 971	34 018	355 289
2018	329 363	5 333 ¹	2 101	34 996	371 793

Şekil 5.34’de Türkiye’de ulaştırmada yolcu taşımacılığı ve karayolu ulaştırma türünde taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5.35’de Türkiye’de ulaştırmada yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerinde taşımacılık değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

¹ 2018 yılı ana hat yolcu-km değeri belli olup, banliyö yolcu-km belli olmadığı için 2013-2017 yılları banliyö yolcu-km değerleri ortalaması eklenerek bulunmuştur.



Şekil 5.34. Türkiye’de ulaşırmada toplam yolcu taşımacılığı ve karayolu ulaştırma türünde taşımacılık değerin yılara göre değışimi



Şekil 5.35. Türkiye’de ulaşırmada yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türlerinin yılara göre değışimi

Türkiye’de 2018 yılı için yolcu taşımacılığındaki toplam taşımacılık değerin %88,59’u karayollarında, %1,43’ü demiryollarında, %0,5’si denizyollarında ve %9,41’i havayollarında gerçekleşmektedir. Havayolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılık payının genel olarak arttığı görülmekte iken, demiryolları ulaştırmasının taşımacılık payının azaldığı, karayolları ulaştırma türünün ise 1998-2018 yılları arasında hiçbir zaman %88 payın altına düşmediği görülmektedir. Denizyollarının yolcu taşımacılığında payı oldukça az olup, genel olarak %1 altında bir pay almaktadır. Çizelge 5.19’da Türkiye yolcu taşımacılığında türlere göre değlerinin dağılımları ve değışimleri gösterilmektedir. Şekil

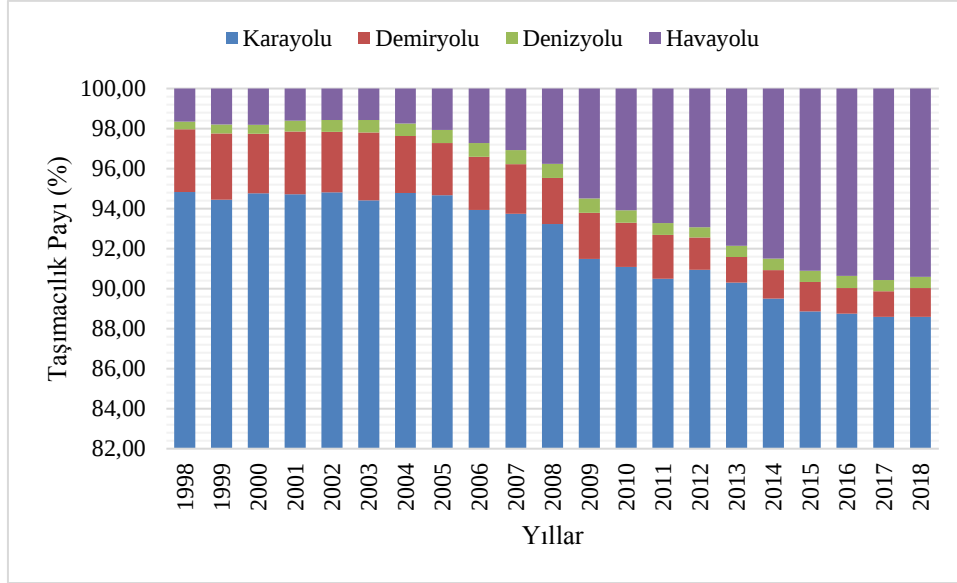
5.36’da Türkiye’de ulaştırmada yolcu taşımacılığında karayolu, demiryolu, denizyolu ve havayolu ulaştırma türünde taşımacılık değerlerinin paylarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 5.19. Türkiye yolcu taşımacılığında(yolcu-km) türlere göre yüzdesel payları

Yıllar	Karayolun (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)	Havayolu (%)	Yolcu Toplam (%)
1998	94,82	3,14	0,39	1,65	100,00
1999	94,44	3,31	0,44	1,80	100,00
2000	94,76	2,98	0,45	1,81	100,00
2001	94,72	3,14	0,54	1,61	100,00
2002	94,82	3,02	0,59	1,57	100,00
2003	94,42	3,38	0,62	1,58	100,00
2004	94,77	2,85	0,63	1,75	100,00
2005	94,66	2,62	0,64	2,07	100,00
2006	93,94	2,64	0,70	2,72	100,00
2007	93,73	2,49	0,70	3,08	100,00
2008	93,23	2,31	0,71	3,76	100,00
2009	91,48	2,31	0,71	5,50	100,00
2010	91,08	2,20	0,63	6,08	100,00
2011	90,49	2,20	0,59	6,73	100,00
2012	90,94	1,62	0,51	6,93	100,00
2013	90,30	1,27	0,56	7,86	100,00
2014	89,50	1,42	0,59	8,49	100,00
2015	88,86	1,48	0,56	9,10	100,00
2016	88,76	1,28	0,61	9,36	100,00
2017	88,59	1,29	0,55	9,57	100,00
2018	88,59	1,43	0,57	9,41	100,00

5.3.5. Ulaştırma sektörü yolcu taşımacılığında enerji yoğunluğu

Türkiye’de ulaştırma sektöründe yolcu taşımacılığı açısından enerji yoğunluğu değerleri 1998, 2010 ve 2018 yılın için sırası ile 1,05 MJ/yolcu-km; 1,19 MJ/yolcu-km ve 1,41 MJ/yolcu-km’dir. Aynı yıllar için karayolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılığında enerji yoğunluk değerleri sırasıyla; 0,92 MJ/yolcu-km, 1,18 MJ/yolcu-km ve 1,51 MJ/yolcu-km’dir. Demiryolları için sırası ile 1998, 2010 ve 2018 yılları için enerji yoğunluğu değerleri; 0,65 MJ/yolcu-km, 0,37 MJ/yolcu-km ve 0,36 MJ/yolcu-km’dir.



Şekil 5.36. Türkiye yolcu taşımacılığında türlere göre yığılmış olarak yıllara göre yüzdesel değişimi

Denizyolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılığında 1998, 2010 ve 2018 yılları için enerji yoğunluk değerleri sırasıyla; 0,56 MJ/yolcu-km, 0,85 MJ/yolcu-km ve 0,44 MJ/yolcu-km'dir. Havayolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılığında 1998, 2010 ve 2018 yılları için enerji yoğunluk değerleri sırasıyla; 9,32 MJ/yolcu-km, 1,72 MJ/yolcu-km ve 0,68 MJ/yolcu-km'dir. Çizelge 5.20'de yolcu taşımacılığında, türlere göre enerji yoğunluğu değerleri gösterilmektedir.

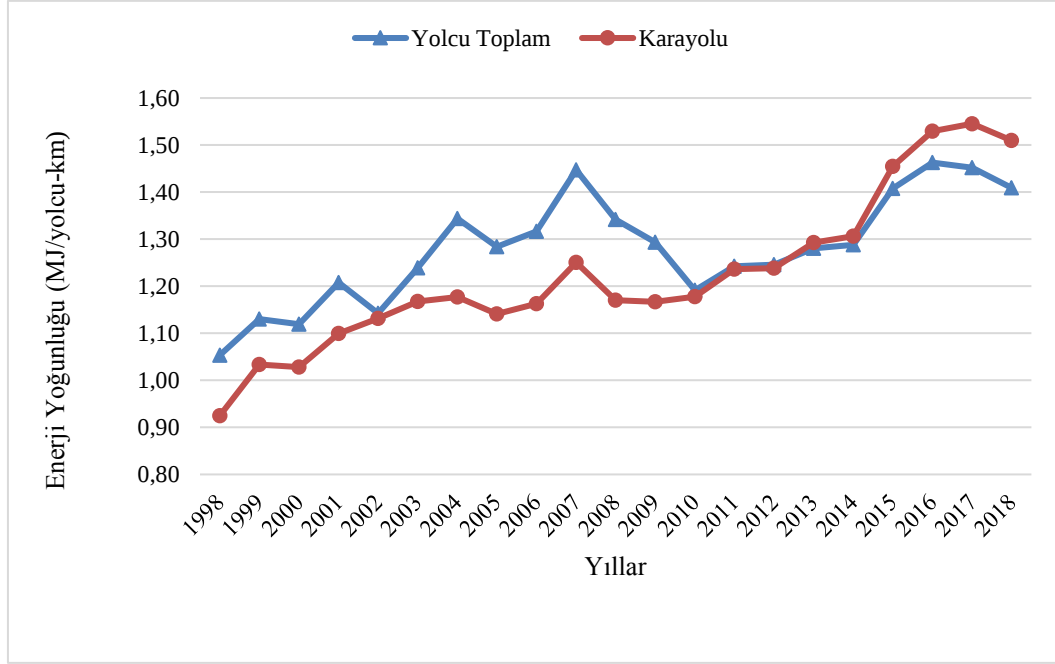
1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en az olan ulaştırma türü denizyolu olduğu görülmektedir. 2018 yılında ise demiryolu ulaştırma türünün olduğu görülmektedir. 1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en çok olan ulaştırma türü havayolu iken, 2018 yılı için enerji yoğunluğu açısından en büyük değere sahip ulaştırma türü karayolu ulaştırma türüdür. 1998-2018 yıllarındaki 21 yıl için ortalama enerji yoğunluğu değerlerinde karayolu ulaştırma türünün 1,23 MJ/yolcu-km, demiryollarının 0,51 MJ/yolcu-km, denizyolunun 0,72 MJ/yolcu-km ve havayolunun 4,74 MJ/yolcu-km olduğu görülmektedir. Son 5 yıldaki enerji yoğunluğu ortalamasında ise karayolunun 1,47 MJ/yolcu-km, demiryolunun 0,41 MJ/yolcu-km, denizyolunun 0,41 MJ/yolcu-km ve havayolunu 1,00 MJ/yolcu-km olduğu görülmektedir. Karayolunun enerji yoğunluğunun arttığı buna karşın havayolu ulaştırmasının yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Denizyolu ve demiryolu enerji yoğunluklarının ise yıllar itibari ile değişken ve dalgalı bir değişim izlediği görülmektedir. Şekil 5.37'de yolcu taşımacılığı toplamında ve karayolu ulaştırma türünde enerji yoğunluğu

değerlerinin yıllara göre değişimi karşılaştırılarak gösterilmektedir. Şekil 5.38’de demiryolu ve denizyolu ulaştırma türlerinde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi karşılaştırılarak gösterilmektedir. Şekil 5.39’da ise ulaştırmada yolcu taşımacılığında karayolu ve havayolu ulaştırma türlerinde enerji yoğunluğu değerlerinin yıllara göre değişimi karşılaştırılarak gösterilmektedir.

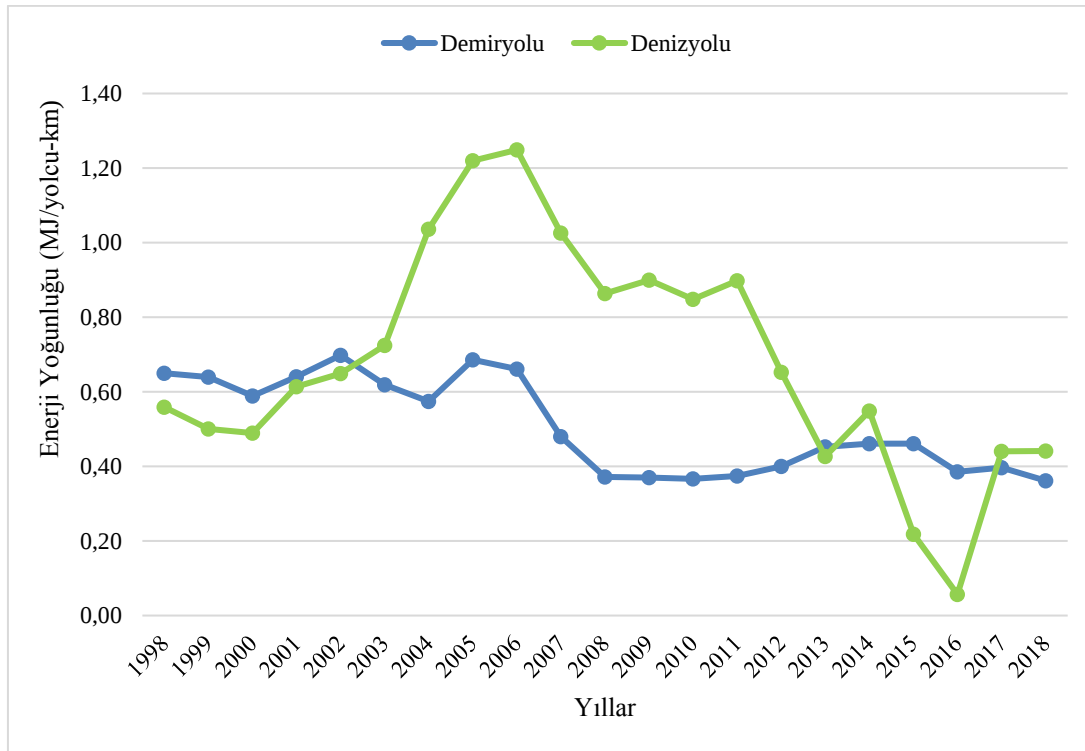
Çizelge 5.20. Yolcu taşımacılığında, türlere göre enerji yoğunluğu değerleri

Yıllar	Yolcu Toplam (MJ/yolcu-km)	Karayolu (MJ/yolcu-km)	Demiryolu (MJ/yolcu-km)	Denizyolu (MJ/yolcu-km)	Havayolu (MJ/yolcu-km)
1998	1,05	0,92	0,65	0,56	9,32
1999	1,13	1,03	0,64	0,50	7,24
2000	1,12	1,03	0,59	0,49	6,93
2001	1,21	1,10	0,64	0,61	8,86
2002	1,14	1,13	0,70	0,65	2,83
2003	1,24	1,17	0,62	0,72	7,04
2004	1,34	1,18	0,57	1,04	11,71
2005	1,28	1,14	0,69	1,22	8,58
2006	1,32	1,16	0,66	1,25	7,28
2007	1,45	1,25	0,48	1,03	8,32
2008	1,34	1,17	0,37	0,86	6,27
2009	1,29	1,17	0,37	0,90	3,84
2010	1,19	1,18	0,37	0,85	1,72
2011	1,24	1,24	0,37	0,90	1,64
2012	1,25	1,24	0,40	0,65	1,58
2013	1,28	1,29	0,45	0,43	1,33
2014	1,29	1,31	0,46	0,55	1,28
2015	1,41	1,45	0,46	0,22	1,18
2016	1,46	1,53	0,39	0,06*	1,07
2017	1,45	1,55	0,40	0,44	0,79
2018	1,41	1,51	0,36	0,44	0,68
1998-2018 yılları Ortalaması		1,23	0,51	0,72 ¹	4,74
Son 5 yıl Ortalaması		1,47	0,41	0,41 ¹	1,00

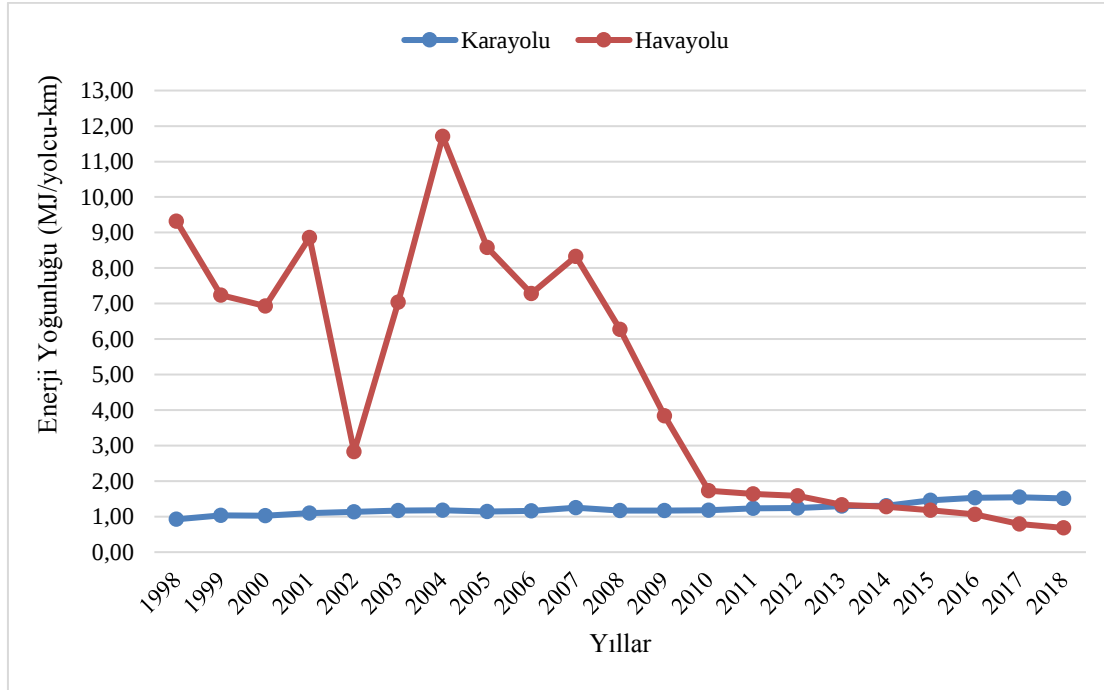
¹ Denizyolu ulaştırma türünün 2016 yılı enerji yoğunluğu genel duruma göre farklılık göstermesi nedeniyle 1998-2018 yılları ile son 5 yıl ortalamaları hesaplarına dâhil edilmemiştir.



Şekil 5.37. Yolcu taşımacılığında ve karayolu enerji yoğunluğu değerlerinin değişimi

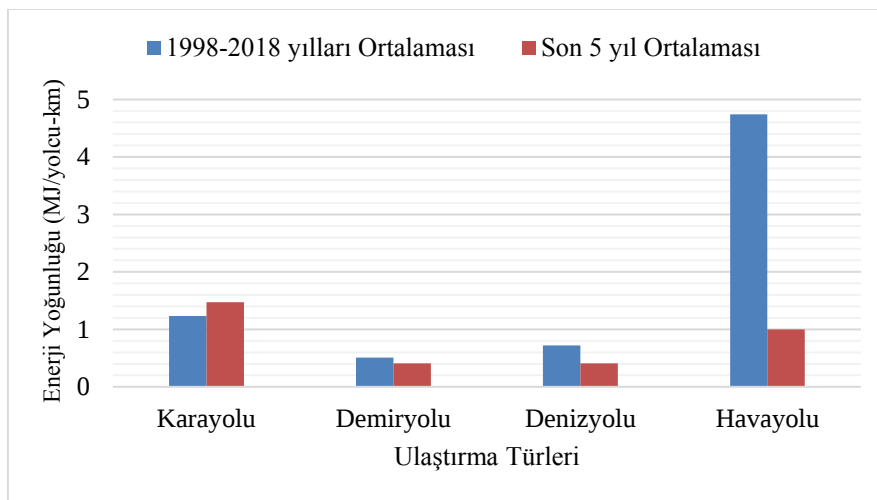


Şekil 5.38. Yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu ulaştırma türlerinde enerji yoğunluğunun yıllara göre değişimi



Şekil 5.39. Yolcu taşımacılığında denizyolu ve havayolu ulaştırma türleri enerji yoğunluğunun yıllara göre değişimi

Yolcu taşımacılığında ulaştırma türlerinin enerji yoğunluğu dikkate alınarak genel bir değerlendirme yapılır ise; ulaştırma sektörü yolcu taşımacılığında, enerji verimliliği açısından ilk sırada demiryolu, ikinci sırada denizyolu ve bunu karayolu izlemektedir. Şekil 5.40'da ulaştırma türlerinin yolcu taşımacılığında 1998-2018 yılları ve son 5 yıl için ortalama yoğunluklarının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 5.40. Ulaştırma türlerinin yolcu taşımacılığında 1998-2018 yılları ve son 5 yıl için ortalama yoğunluklarının karşılaştırılması

6. GELECEK YILLAR DEMİRYOLLARI ENERJİ ANALİZİ

Tezin bu bölümünde, geçmiş yıllardaki verilerden elde edilen değerleri kullanarak ve belirli bir ilke dâhilinde bu enerji tüketim koşullarının değişmediği düşünülerek gelecek yıllara dair hâlihazır yaklaşımı ile tahminleri yapılmaktadır. Bunun için, 1998-2018 yılları için daha önceki bölümde hesapları yapıldığı için hem demiryollarının hem de ulaştırma sektöründeki diğer ulaştırma türleri için tüketilen enerji değerleri, taşımacılık değerleri ve bunlardan hareketle bulunan enerji yoğunlukları bellidir. Bu durum göz önünde bulunarak sonraki 20 yıl olan 2019-2038 yılları için geleceğe yönelik mevcut eğilimlerden ve durumlardan enerji tüketiminin değerleri tahminleri yapılmaktadır. Burada dikkate alınan ve kabul edilen durum, geçmiş yıllarda elde edilen enerji yoğunluklarından gelecek yıllara dair taşımacılık faaliyeti tahminleri bulunarak, tür tabanlı enerji analizi formülünden yararlanılarak enerji tüketimi tahminleri bulmaktır. Bulunan değerler sonraki senaryo yaklaşımında temel alınan durum kabul edilerek, farklı ulaştırma türlerinin desteklenmesi halinde elde edilen getiriler ve değişimler ile karşılaştırılma yapılmasında kullanılacaktır.

Hâlihazır durum yaklaşımında tür tabanlı enerji analizinden yararlanılarak gelecek yıllar enerji tüketim tahmini işlemleri için, öncelikle 2019-2038 yılları arasındaki taşımacılık değerlerinin tahmini yapılmaktadır. Bulunan taşımacılık değerleri 2019-2038 yıllarındaki ulaştırma türlerindeki geçmiş verilerden elde edilen yüzdesel oranlarla aynı şekilde dağılımı yapılarak, türlerin taşımacılık faaliyeti miktarları bulunmaktadır. Başka bir ifade ile 2019-2038 yılları için hem yolcu taşımacılığında hem de yük taşımacılığında türel dağılımının geçmiş yıllardan elde edilen türel dağılımıyla aynı olduğu kabul edilerek işlemler yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, 2019-2038 yılları enerji yoğunluk değerlerinin geçmiş yıllar enerji yoğunlukları değerleri dikkate alınarak hem yolcu hem de yük taşımacılığında enerji yoğunlukları değerleri bulunmuştur. Diğer bir ifade ile 2019-2038 yılları için ulaştırma türlerinde geçmiş yıllardan elde edilen koşullarda herhangi bir enerji yoğunluğu değerinde değişiklik olmadığı kabul edilerek işlemler yapılmaktadır. Son olarak ise ulaştırma türlerinin taşımacılık miktarlarıyla, bu kabul edilen enerji yoğunlukları kullanılarak, daha önce bahsedilen tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı dikkate alınarak gelecek yıllar için enerji tüketim değerleri belirlenmektedir.

Sonrasında, gelecek yıllar demiryolları enerji talebinin bulunması için iki farklı YSA modeli

oluşturularak hesaplanmıştır. Bu iki farklı YSA modelinde bağımsız değişkenler farklı veriler olarak seçilmiş, bu farklı değişkenlere göre demiryolları gelecek yıllar enerji talebi tahmini yapılmaktadır. İlk YSA modelinde, bağımsız değişkenler olarak nüfus, GSYH, demiryollarında taşınan ton ve yolcu sayısı dikkate alınarak, gelecek yıllar için demiryollarında tüketilecek enerji tahmini yapılmıştır. İkinci YSA modelinde ise bağımsız değişkenler olarak nüfus, GSYH, demiryollarında taşımacılık değerleri (yük için ton-km ve yolcu için yolcu-km) dikkate alınarak, gelecek yıllar için demiryollarında tüketilecek enerji tahmini yapılmıştır.

Yapılan işlemler sonrasında iki farklı YSA modeli ile hâlihazır yaklaşım sonucu elde edilen değerler derlenerek çizelge haline getirilmiş ve genel bir değerlendirme yapılarak karşılaştırılmıştır.

6.1. 2019-2038 Yılları için Hâlihazır Durum Yaklaşımı ile Enerji Tüketimi Değerleri

6.1.1. Yöntem ve kabuller

Gelecek yıllar ulaştırma enerji analizi 2018'den sonraki 20 yıl (2019-2038 yılları) projeksiyonu için yapılacağından, geçmiş dönemdeki son 20 yıl verilerinden (1999-2018 yılları) faydalanılarak analizler ve değerlendirmeler yapılmaktadır. Ulaştırma enerji analizi; yük ve yolcu taşımacılığı olmak üzere iki ayrı kısım olarak hesaplamalar ve genel olarak incelenmesi ile analizi yapılmaktadır. Bunun için hem yük taşımacılığında hem de yolcu taşımacılığında enerji tüketimlerini tahmin etmek için taşımacılık faaliyetlerinin değerlerini belirlemek gerekmektedir.

Taşımacılık değerlerinin gelecek yıllar tahmininde geçmiş yıllardaki (1999-2018 yılları) veriler dikkate alınmaktadır. Taşımacılık faaliyetleri için öncelikle 1999-2018 yılları arasında yıllık ortalama artış değeri bulunmaktadır. Bulunan yıllık ortalama artış miktarı 2018 yılı verisine eklenerek 2038 yılına kadar yıllık taşımacılık değerlerini bulunmaktadır. Taşımacılık değerleri, yük taşımacılığı için ton-km olarak, yolcu taşımacılığı için yolcu-km olarak tahmin edilmektedir. Bu işlem sonucunda, 2019-2038 yılları için taşımacılık faaliyeti değerleri bulunmaktadır. Bu tahmin edilen toplam taşımacılık değerleri sonrasında, her ulaştırma türünün taşımacılık değerlerinin 2019-2038 yılları türel dağılımları ile çarpılarak her bir ulaştırma türünün hesabı yapılan yıldaki yük taşımacılığı için ton-km, yolcu

taşımacılığı için yolcu-km olarak değerleri hesaplanılmaktadır. Yük ve yolcu taşımacılığı için her bir ulaştırma türleri 2019-2038 yılları taşımacılık türel payları son iki yılın (2017-2018) ortalama dağılımlarının payı olarak kabul edilmektedir. Başka bir ifade ile 2019-2038 yılları için yük taşımacılığında her bir ulaştırma türünün 2017 ve 2018 yıllarında yük taşımacılık paylarının ortalama değeri o ulaştırma türünün payını, yolcu taşımacılığı için her bir türün 2017 ve 2018 yıllarındaki taşımacılık paylarının ortalaması da o ulaştırma türünün payı olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu noktadan sonra, Bölüm 3.9'da detaylı açıklamaları yapılan tür tabanlı enerji formülünden yararlanılarak hem yük taşımacılığı için hem de yolcu taşımacılığı için enerji tüketim değerleri bulunmaktadır.

Tür tabanlı enerji analizi formülünde geçmiş yıllar ulaştırma türleri için bulunan enerji yoğunluğu değerleri için yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı olmak üzere; her bir ulaştırma türü için son 5 yıldaki ortalama enerji yoğunluğu değeri olacağı kabulü yapılmıştır. Başka bir ifade ile gelecek yıllardaki taşımacılık faaliyetleri neticesinde ulaştırma türleri için geçmiş 5 yıldaki ortalama enerji yoğunluğu değerlerinde herhangi bir değişiklik olmadığı düşünülmektedir. Son olarak ise tür tabanlı enerji analizi formülü ile yük ve yolcu için enerji tüketim değerleri hesaplaması yapılmaktadır. Her yıl için enerji tüketim değerleri hesabında, o yıldaki tahmin edilen ulaştırma türü için yük taşımacılığı için ton-km ve yolcu taşımacılığı için yolcu-km değeri ile o yıldaki enerji yoğunluğu değerinin hesaplamada dikkate alınması ile bulunmaktadır. Böylece hem yük hem de yolcu taşımacılığı için her ulaştırma türüne yönelik enerji tüketim değerleri hesaplanılmış olmaktadır. İşlem akışı Çizelge 6.1'de sunulmaktadır. Çizelge 6.2.'de hâlihazır durum yaklaşımına yönelik işlem adımları ile örnek hesaplamalar gösterilmektedir

Çizelge 6.1. Tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı

Amaç	Yararlanılan Analiz/Formül	Analiz Girdileri	Analiz Çıktıları
Gelecek Yıllar (2019-2038 yılları) Enerji Tüketim Değerlerinin Bulunması	Tür Tabanlı Enerji Analizi	▪ Enerji Yoğunluğu ▪ Taşımacılık Değeri (yük için ton-km, yolcu için yolcu-km)	Enerji Tüketim Değeri (TJ)

Çizelge 6.2. Gelecek yıllar hâlihazır durum yaklaşımı işlem adımları ile örnek hesaplamaları

Amaç	İşlemler	Hesaplamalar
2019-2038 yılları taşımacılık değerlerini bulmak (yük için ton-km, yolcu için yolcu-km)	1. Adım	1999-2018 yılları taşımacılık değerlerindeki yıllık ortalama artış miktarı bulunur. 1999 yılı yük taşımacılığı değeri: 167 933 milyon ton-km 2018 yılı yük taşımacılığı değeri: 304 733 milyon ton-km Yıllık ortalama artış miktarı: $(304\,733 - 167\,933) / 19 = 7\,200,03$ 1999 yılı yolcu taşımacılığı değeri: 185 555 milyon yolcu-km 2018 yılı yolcu taşımacılığı değeri: 371 793 milyon yolcu-km Yıllık ortalama artış miktarı: $(371\,793 - 185\,555) / 19 = 9\,802$
	2. Adım	2018 yılından itibaren yıllık ortalama artış miktarı eklenerek 2038 yılına kadar olan taşımacılık değeri bulunur. Yük taşımacılığı 2019 toplam değeri= 2018 yılı toplam değeri + 7 200,03 Yük taşımacılığı 2020 toplam değeri= 2019 yılı değeri + 7 200,03 . . Yük taşımacılığı 2038 toplam değeri= 2037 yılı değeri + 9 802 Aynı işlemler yolcu taşımacılığı içinde yapılmaktadır. Yolcu taşımacılığı 2019 toplam değeri= 2018 yılı değeri + 9 802 Yolcu taşımacılığı 2020 toplam değeri= 2019 yılı değeri + 9 802 . . Yolcu taşımacılığı 2038 yılı değeri= 2037 yılı değeri + 9 802
2019-2038 yılları için her bir tür için taşımacılık değerlerini bulmak (yük için ton-km, yolcu için yolcu-km)	3. Adım	2017-2018 yılları her bir tür için türel dağılım ortalaması bulunur (Yük için Bkz. Bölüm 5.2.4 ve Yolcu için Bkz. 5.3.4) *Yük taşımacılığı türel dağılımı: 2019-2038 yılı karayolu yük taşımacılığı türel dağılımı = $(2017 \text{ dağılımı} + 2018 \text{ dağılımı}) / 2$; $(\%88,17 + \%87,45) / 2 = \%87,81$ Diğer ulaştırma türleri içinde benzer hesaplamalar yapılmış olup, demiryolunun payı: %4,52; denizyolunun payı: %5,89 ve havayolunun payı: %1,78 olarak bulunmaktadır. *Yolcu taşımacılığı türel dağılımı: 2019-2038 yılı karayolu yolcu taşımacılığı türel dağılımı = $(2017 \text{ dağılımı} + 2018 \text{ dağılımı}) / 2$; $(\%88,59 + \%88,59) / 2 = \%88,59$ Diğer ulaştırma türleri içinde benzer hesaplamalar yapılmış olup, demiryolunun payı: %1,36; denizyolunun payı: %0,56 ve havayolunun payı: %9,49 olarak bulunmaktadır.
	4. Adım	Toplam bulunan taşımacılık değeri hangi ulaştırma türü hesabı yapılıyor ise o ulaştırma türünün türel dağılımı ile çarpılır. 2019-2038 yılı karayolu ton-km: 2019-2038 toplam değer x %87,81 2019-2038 yılı demiryolu ton-km: 2019-2038 yılı toplam değer x %4,52 2019-2038 yılı denizyolu ton-km: 2019-2038 toplam değer x %5,89 2019-2038 yılı havayolu ton-km: 2019-2038 toplam değer x %1,78 2019-2038 yılı karayolu yolcu-km: 2019-2038 toplam değer x %88,59 2019-2038 yılı demiryolu ton-km: 2019-2038 yılı toplam değer x %1,36 2019-2038 yılı denizyolu ton-km: 2019-2038 toplam değer x %0,56 2019-2038 yılı havayolu ton-km: 2019-2038 toplam değer x %9,49
Enerji Yoğunluğu	5. Adım	Tez Bölümü 5.2.5 ve 5.3.5'deki enerji yoğunlukları son 5 yıl ortalama değerleri kullanılmaktadır. Yük taşımacılığı için; Karayolu: 2,20 MJ/ton-km, Demiryolu: 0,56 MJ/ton-km, Denizyolu: 0,82 MJ/ton-km, Havayolu: 6,99 MJ/ton-km. Yolcu taşımacılığı için; Karayolu: 1,47 MJ/ton-km, Demiryolu: 0,41 MJ/ton-km, Denizyolu: 0,41 MJ/ton-km, Havayolu: 1,00 MJ/ton-km.
Enerji tüketimi değeri hesaplanması	6. Adım	Çizelge 6.'daki yaklaşım ile her yıl için yük ve yolcu taşımacılığı içi enerji tüketim değerleri bulunmaktadır.

6.1.2. 2019-2038 yılları arasında yük taşımacılığında enerji analizi

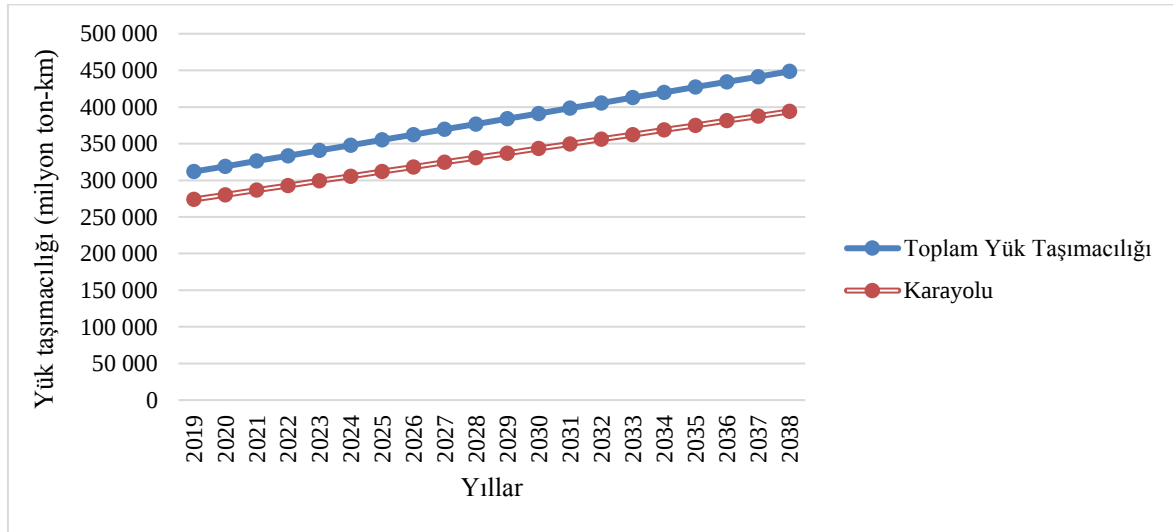
2019-2038 yılları yük taşımacılığı değerlerinin tahmini için daha önce de bahsedildiği üzere 1999-2018 yılları arasındaki verilerden faydalanılmaktadır. 1999-2018 yılları için taşımacılık değerinin yıllık ortalama artış miktarının 2018 yılından itibaren eklenerek, 2038 yılına kadar katlanarak her yıl bu değerde yıllık ortalama artış miktarı kadar arttığı düşünülmektedir. Bu şekilde 2019-2038 yılları için tüm ulaştırma türlerinin toplam yük taşımacılığı değerleri bulunmaktadır. Yıllara göre bulunan bu değerler, ulaştırma türlerinin 2019-2038 yılları türel dağılımı (2017 ve 2018 yılı yük taşımacılığındaki paylarının ortalaması) ile çarpılarak türlere göre ton-km değerlerinin hesabı yapılmaktadır. 2019-2038 arası yılları için, yük taşımacılığında gelecek yıllar için bulunan ton-km değerleri aşağıdaki Çizelge 6.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. 2019-2038 yılları ulaştırma türlerine göre yük taşımacılığı değerleri

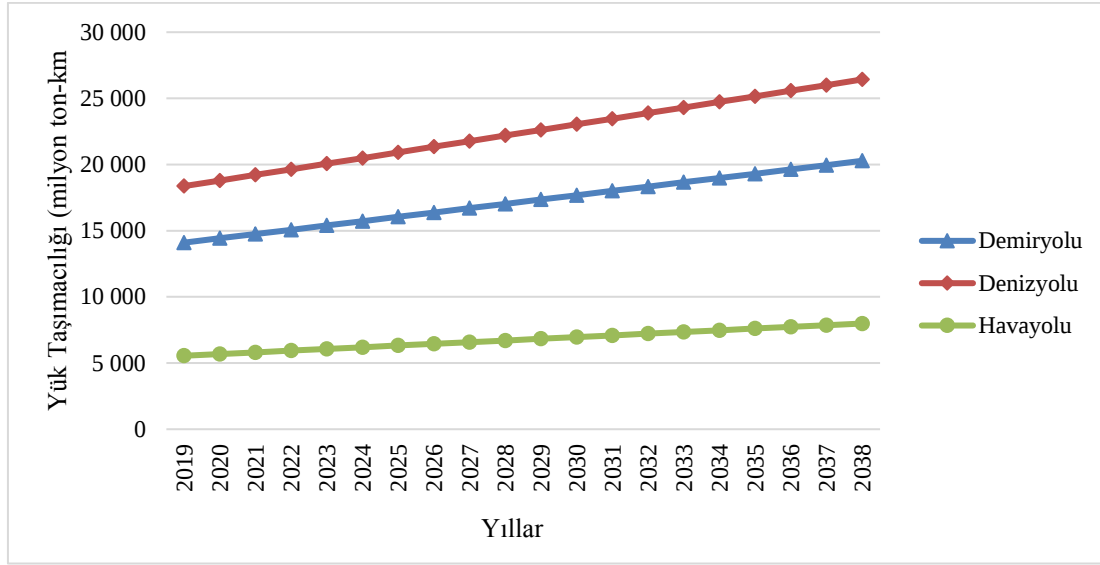
Yıllar	Toplam milyon ton-km	Karayolu milyon ton-km	Demiryolu milyon ton-km	Denizyolu milyon ton-km	Havayolu milyon ton-km
2019	311 933	273 909	14 099	18 373	5 552
2020	319 133	280 231	14 425	18 797	5 681
2021	326 333	286 553	14 750	19 221	5 809
2022	333 533	292 876	15 076	19 645	5 937
2023	340 733	299 198	15 401	20 069	6 065
2024	347 933	305 520	15 727	20 493	6 193
2025	355 133	311 843	16 052	20 917	6 321
2026	362 333	318 165	16 377	21 341	6 450
2027	369 533	324 487	16 703	21 766	6 578
2028	376 734	330 810	17 028	22 190	6 706
2029	383 934	337 132	17 354	22 614	6 834
2030	391 134	343 454	17 679	23 038	6 962
2031	398 334	349 777	18 005	23 462	7 090
2032	405 534	356 099	18 330	23 886	7 218
2033	412 734	362 421	18 656	24 310	7 347
2034	419 934	368 744	18 981	24 734	7 475
2035	427 134	375 066	19 306	25 158	7 603
2036	434 334	381 388	19 632	25 582	7 731
2037	441 534	387 711	19 957	26 006	7 859
2038	448 734	394 033	20 283	26 430	7 987

Çizelge 6.3'e göre gelecek yıllar ulaştırma türlerinin yük taşımacılığı değerlerine bakılırsa; toplamda 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 355 133 milyon ton-km; 391 134 milyon ton-km ve 427 134 milyon ton-km olacağı; karayolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 311 843 milyon ton-km; 343 454 milyon ton-km ve 375 066 milyon ton-km olacağı, demiryolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 16 052 milyon ton-km; 17 679 milyon ton-km ve 19 306 milyon ton-km olacağı, denizyolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 20 917 milyon ton-km; 23 038 milyon ton-km ve 25 158 milyon ton-km olacağı, havayolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 6 321 milyon ton-km; 6 962 milyon ton-km ve 7 603 milyon ton-km olacağı öngörülmektedir.

Şekil 6.1'de 2019-2038 yılları arası yük taşımacılığı ve karayolları aktivite miktarlarının değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.2'de 2019-2038 yılları arası yük taşımacılığında, demiryollarının, denizyollarının ve havayollarının aktivite miktarlarının değişiminin gösterilmektedir. Çizelge 6.4'de 2019-2038 arası yük taşımacılığındaki enerji yoğunluğu değerlerinin türlere göre durumu ve yük taşımacılığında payları gösterilmektedir.



Şekil 6.1. 2019-2038 yılları arası toplam yük taşımacılığı ve karayolları yük taşımacılığı miktarlarının değişimi



Şekil 6.2. 2018-2035 yılları arası yük taşımacılığında, demiryollarının, denizyollarının ve havayollarının miktarlarının değişimi

Çizelge 6.4. 2019-2038 arası yük taşımacılığındaki enerji yoğunluğu değerlerinin türlere göre durumu ve yük taşımacılığı yüzdesel payları değişimi

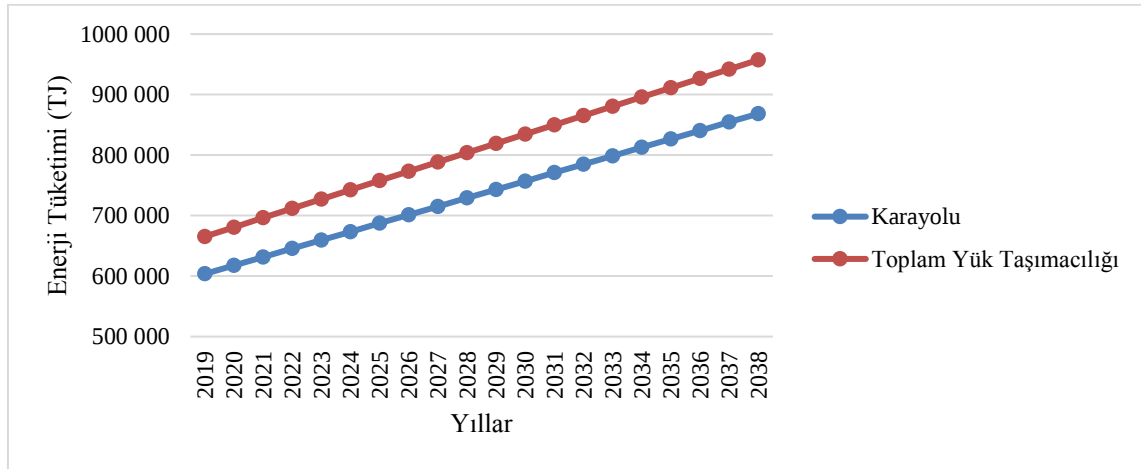
Yıllar	Değişken adı	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu
2019-2038	Enerji yoğunluğu (MJ/ton-km)	2,20	0,56	0,82	6,99
	Yük taşımacılığı payları (%)	87,81	4,52	5,89	1,78

Gelecek yıllar ulaştırma türlerinin yük taşımacılığında enerji tüketimine bakılırsa; toplamda 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 757 596 TJ; 834 394 TJ ve 911 192 TJ olacağı; karayolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 687 189 TJ; 756 849 TJ ve 826 510 TJ olacağı, demiryolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 8 953 TJ; 9 861 TJ ve 10 769 TJ olacağı, denizyolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 17 250 TJ; 18 998 TJ ve 20 747 TJ olacağı, havayolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 44 204 TJ; 48 685 TJ ve 53 166 TJ olacağı öngörülmektedir. Türkiye yük taşımacılığında ulaştırma türleri için, 2019-2038 yılları için, taşımacılık değerleri ve enerji yoğunluklarına göre elde edilen yıllık enerji tüketim değerleri Çizelge 6.5’de yer almaktadır. Şekil 6.3’de gelecek yıllar toplam yük taşımacılığında tüketilen enerji değerleri ile karayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.4’de gelecek yıllar ulaştırmada yük taşımacılığında demiryolu,

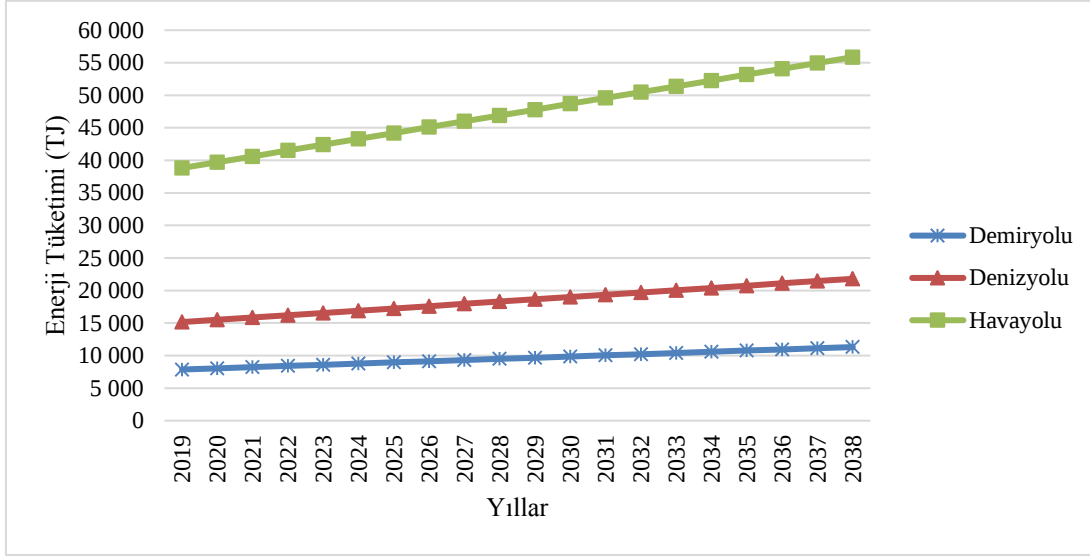
denizyolu ile havayolu ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 6.5. Türkiye yük taşımacılığında ulaştırma türleri için, 2019-2038 yılları için enerji tüketim miktarları

Yıllar	Toplam (TJ)	Karayolu (TJ)	Demiryolu (TJ)	Denizyolu (TJ)	Havayolu (TJ)
2019	665 438	603 596	7 864	15 151	38 827
2020	680 798	617 528	8 046	15 501	39 723
2021	696 157	631 460	8 227	15 851	40 619
2022	711 517	645 392	8 409	16 201	41 515
2023	726 877	659 324	8 590	16 550	42 411
2024	742 236	673 256	8 772	16 900	43 308
2025	757 596	687 189	8 953	17 250	44 204
2026	772 955	701 121	9 135	17 600	45 100
2027	788 315	715 053	9 317	17 949	45 996
2028	803 675	728 985	9 498	18 299	46 892
2029	819 034	742 917	9 680	18 649	47 789
2030	834 394	756 849	9 861	18 998	48 685
2031	849 753	770 782	10 043	19 348	49 581
2032	865 113	784 714	10 224	19 698	50 477
2033	880 473	798 646	10 406	20 048	51 373
2034	895 832	812 578	10 587	20 397	52 270
2035	911 192	826 510	10 769	20 747	53 166
2036	926 552	840 443	10 950	21 097	54 062
2037	941 911	854 375	11 132	21 447	54 958
2038	957 271	868 307	11 313	21 796	55 854



şekil 6.3. Toplam yük taşımacılığında tüketilen enerji değerleri ile karayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi



Şekil 6.4. Ulaştırma yük taşımacılığında demiryolu, denizyolu ile havayolu ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değerlerinin değişimi

6.1.3. 2019-2038 yılları arasında yolcu taşımacılığında enerji analizi

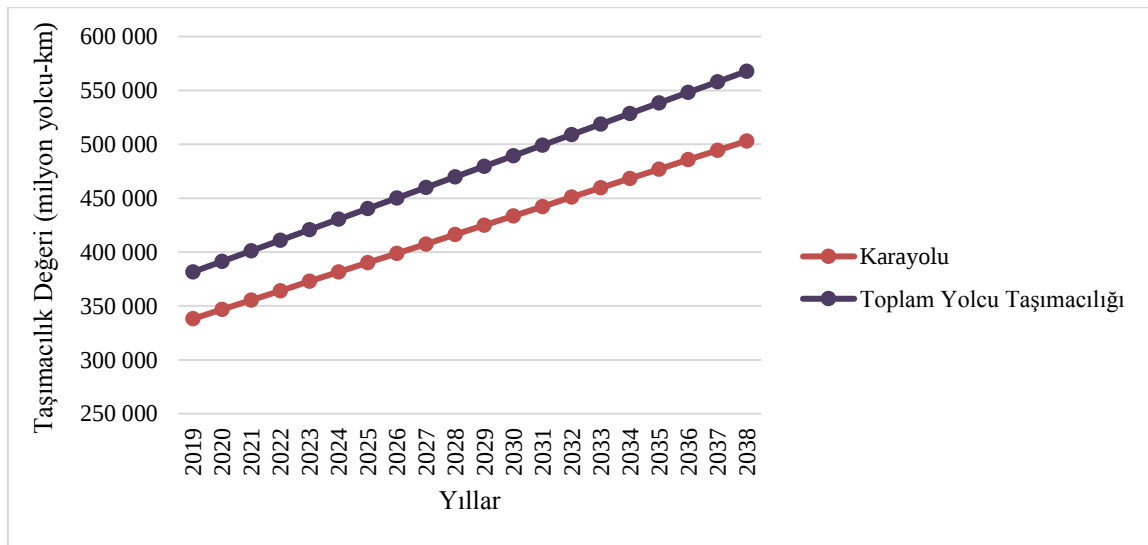
2019-2038 yılları yolcu taşımacılığı değerlerinin tahmini için daha önce de bahsedildiği üzere 1999-2018 yılları arasındaki verilerden faydalanılmaktadır. 1999-2018 yılları için yolcu taşımacılığı değerlerinin yıllık ortalama artış miktarının 2018 yılından itibaren her yılına eklenilerek 2038 yılına kadar lineer olarak arttığı düşünülmektedir. Bu şekilde 2019-2038 yılları için tüm ulaştırma türlerinin toplam yolcu taşımacılığı değerleri hesaplanılmaktadır. Yıllara göre bulunan toplam yolcu taşımacılığı değerleri, ulaştırma türlerinin türel dağılımı (2017 yılı ve 2018 yılı yolcu taşımacılığının ortalama payları) ile çarpılarak, türlere göre yolcu-km değerlerinin hesabı yapılmaktadır.

Gelecek yıllar ulaştırma türlerinin yolcu taşımacılığı değerlerine bakılırsa; toplamda 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 440 407 milyon yolcu-km; 489 417 milyon yolcu-km ve 538 427 milyon yolcu-km olacağı; karayolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 390 157 milyon yolcu-km; 433 575 milyon yolcu-km ve 476 992 milyon yolcu-km olacağı, demiryolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 5 990 milyon yolcu-km; 6 656 milyon yolcu-km ve 7 323 milyon yolcu-km olacağı, denizyolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 2 466 milyon yolcu-km; 2 741 milyon yolcu-km ve 3 015 milyon yolcu-km olacağı, havayolu ulaştırma türünün 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 41 795 milyon yolcu-km; 46 446 milyon yolcu-km ve 51 097 milyon yolcu-km olacağı öngörülmektedir. 2019-2038 arası yılları için, yolcu taşımacılığında yıllık

yolcu-km değerleri aşağıdaki izelge 10.4’de bulunmaktadır. şekil 6.5’de 2018-2038 yılları arası yolcu taşımacılığı ve karayolları aktivite miktarlarının değişimi gösterilmektedir.

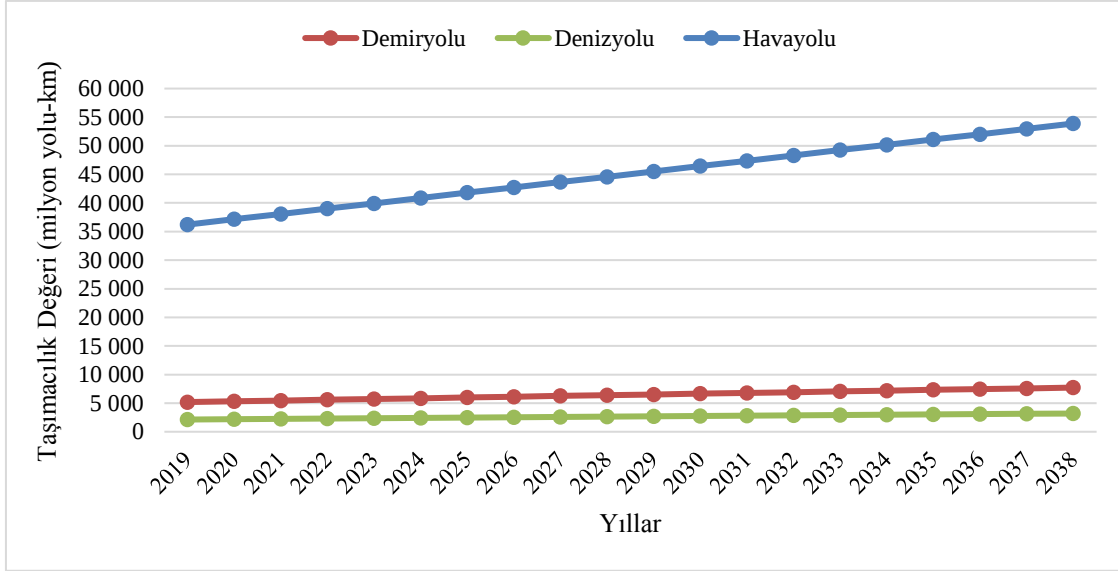
Çizelge 6.6. 2019-2038 yılları ulaştırma türleri yolcu taşımacılığının yıllara göre değişimi

Yıllar	Karayolu (milyon yolcu- km)	Demiryolu (milyon yolcu- km)	Denizyolu (milyon yolcu- km)	Havayolu (milyon yolcu- km)	Toplam (milyon yolcu- km)
2019	338 055	5 190	2 137	36 213	381 595
2020	346 739	5 323	2 192	37 144	391 397
2021	355 422	5 456	2 247	38 074	401 199
2022	364 106	5 590	2 302	39 004	411 001
2023	372 789	5 723	2 356	39 934	420 803
2024	381 473	5 856	2 411	40 864	430 605
2025	390 157	5 990	2 466	41 795	440 407
2026	398 840	6 123	2 521	42 725	450 209
2027	407 524	6 256	2 576	43 655	460 011
2028	416 207	6 389	2 631	44 585	469 813
2029	424 891	6 523	2 686	45 515	479 615
2030	433 575	6 656	2 741	46 446	489 417
2031	442 258	6 789	2 796	47 376	499 219
2032	450 942	6 923	2 851	48 306	509 021
2033	459 625	7 056	2 905	49 236	518 823
2034	468 309	7 189	2 960	50 167	528 625
2035	476 992	7 323	3 015	51 097	538 427
2036	485 676	7 456	3 070	52 027	548 229
2037	494 360	7 589	3 125	52 957	558 031
2038	503 043	7 723	3 180	53 887	567 833



şekil 6.5. 2018-2035 yılları toplam yolcu taşımacılığı ve karayolu ulaştırma türünün durumu

Şekil 6.6’da 2018-2038 yılları arası yolcu taşımacılığında, demiryollarının, denizyollarının ve havayollarının taşımacılık durumu gösterilmektedir. Çizelge 6.7’de 2019-2038 arası yolcu taşımacılığındaki enerji yoğunluğu değerlerinin ulaştırma türlerine göre durumu ve yolcu taşımacılığı yüzdesel olarak payları aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 6.6. 2018-2039 yılları arası demiryolları, denizyolları havayolları ulaştırma türleri yolcu taşımacılığı değerleri

Çizelge 6.7. 2019-2038 arası yolcu taşımacılığındaki enerji yoğunluğu değerlerinin türlere göre durumu ve yolcu taşımacılığı yüzdesel payları

Yıllar	Değişken adı	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu
2019-2038	Enerji yoğunluğu (MJ/yolcu-km)	1,47	0,41	0,34	1,00
	Yolcu taşımacılık payları (%)	88,59	1,36	0,56	9,49

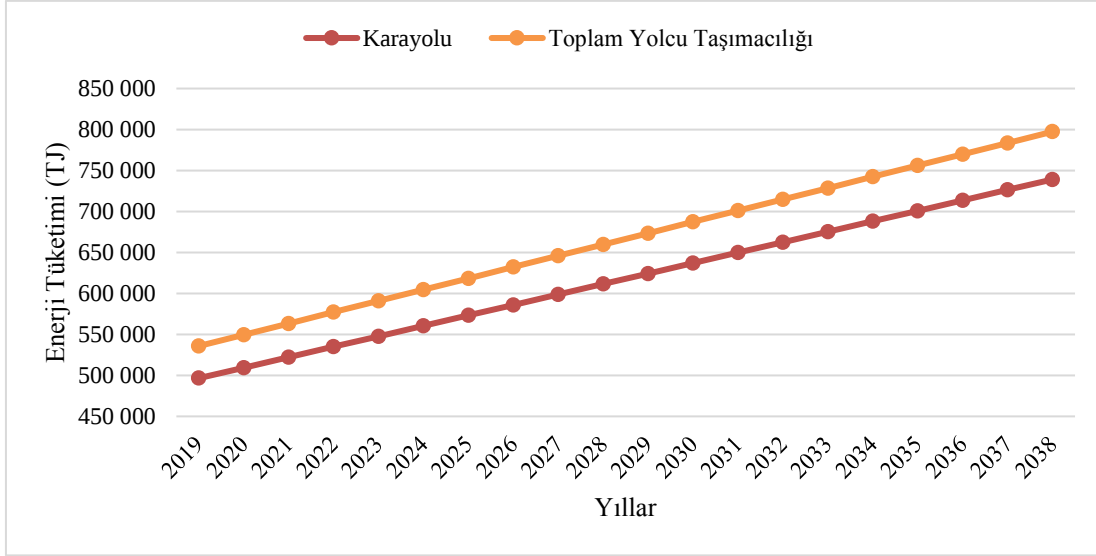
Gelecek yıllar ulaştırma türlerinin yolcu taşımacılığında enerji tüketimine bakılırsa; toplamda 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 618 419 TJ; 687 239 TJ ve 756 059 TJ olacağı; karayolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 573 176 TJ; 636 961 TJ ve 700 746 TJ olacağı, demiryolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 2 475 TJ; 2 750 TJ ve 3 025 TJ olacağı, denizyolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 1 017 TJ; 1 130 TJ ve 1 243 TJ olacağı, havayolu ulaştırma türünün enerji tüketimi 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 41 751 TJ; 46 398 TJ ve 51 044 TJ olacağı öngörülmektedir. Türkiye

yolcu taşımacılığında ulaştırma türleri için, 2019-2038 yılları için, yolcu taşımacılığı miktarları ve enerji yoğunluklarına göre bulunan yıllık enerji tüketim değerleri Çizelge 6.8’de yer almaktadır.

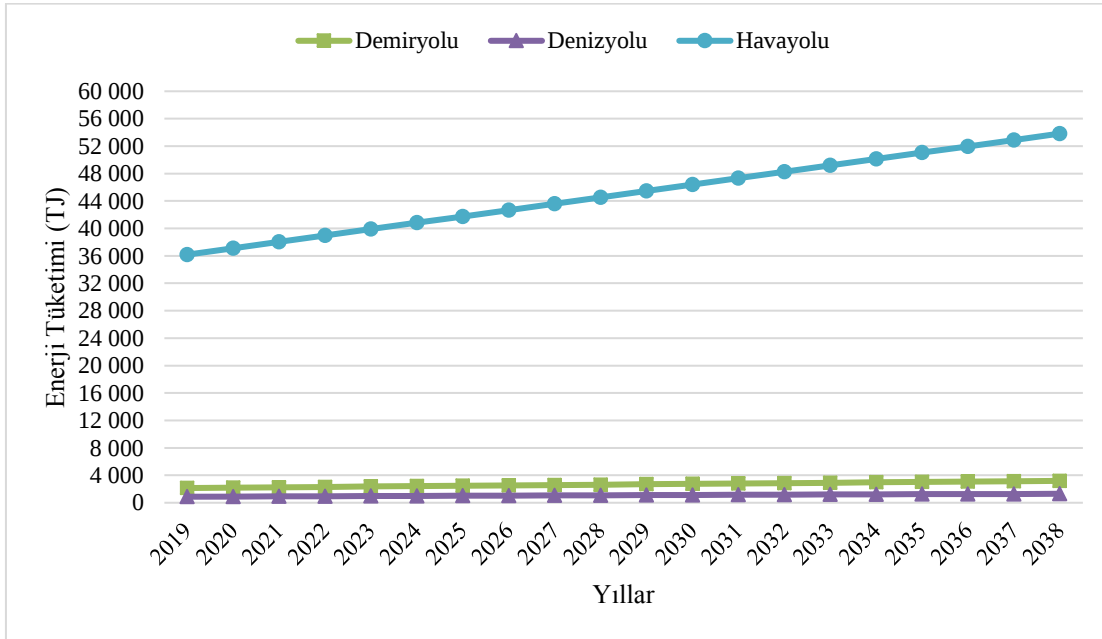
Çizelge 6.8. Türkiye yolcu taşımacılığında ulaştırma türleri için, 2019-2038 yılları için enerji tüketim miktarı değerleri

Yıllar	Karayolu (TJ)	Demiryolu (TJ)	Denizyolu (TJ)	Havayolu (TJ)	Toplam (TJ)
2019	496 634	2 144	881	36 176	535 835
2020	509 391	2 199	904	37 105	549 599
2021	522 148	2 254	926	38 034	563 363
2022	534 905	2 309	949	38 964	577 127
2023	547 662	2 365	972	39 893	590 891
2024	560 419	2 420	994	40 822	604 655
2025	573 176	2 475	1 017	41 751	618 419
2026	585 933	2 530	1 040	42 681	632 183
2027	598 690	2 585	1 062	43 610	645 947
2028	611 447	2 640	1 085	44 539	659 711
2029	624 204	2 695	1 107	45 468	673 475
2030	636 961	2 750	1 130	46 398	687 239
2031	649 718	2 805	1 153	47 327	701 003
2032	662 475	2 860	1 175	48 256	714 767
2033	675 232	2 915	1 198	49 185	728 531
2034	687 989	2 970	1 221	50 115	742 295
2035	700 746	3 025	1 243	51 044	756 059
2036	713 503	3 081	1 266	51 973	769 823
2037	726 260	3 136	1 289	52 902	783 587
2038	739 017	3 191	1 311	53 832	797 351

Şekil 6.7’de gelecek yıllar toplam yolcu taşımacılığı ile karayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 6.8’de gelecek yıllar yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ile havayolu ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Gelecek yıllar toplam yolcu taşımacılığında tüketilen enerji değeri ile karayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değerlerinin yıllara göre değişimi

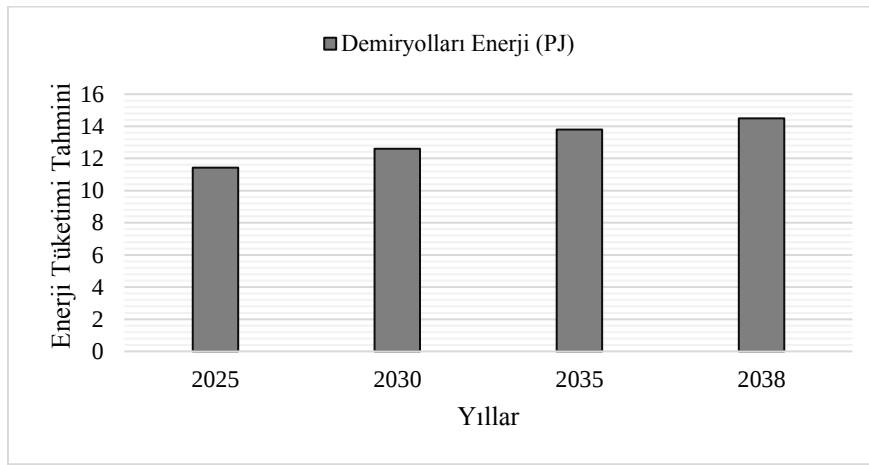


Şekil 6.8. Ulaştırma yolcu taşımacılığında demiryolu, denizyolu ile havayolu ulaştırma türünde tüketilen enerji değeri yıllara göre değişimi

Bu işlemlerden sonra, son 5 yıldaki enerji yoğunluğu değeri ve 2017 il 2018 yılları taşımacılık değerlerinin yüzdesel oranı dikkate alınarak bulunan Türkiye’de demiryollarının gelecek yıllara dair enerji tüketimi tahmini değerleri aşağıdaki Çizelge 6.9’da gösterilmektedir. Şekil 6.9’da demiryollarının tür tabanlı enerji analizi yaklaşımından yararlanılarak hâlihazır duruma göre gelecek yıllara göre enerji talebi tahminlerinin değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 6.9. Hâlihazır durum ile demiryollarında gelecek yıllara enerji tüketim tahmini değerleri

Yıllar	Demiryolları Enerji (PJ)
2025	11,428
2030	12,611
2035	13,794
2038	14,504



Şekil 6.9. Demiryollarının hâlihazır duruma göre gelecek yıllar enerji talebi tahminlerinin değişimi

Şekil 6.9'dan görüleceği üzere hâlihazır durum yaklaşımında 2025 yılında demiryollarında gereken enerji miktarı 11,428 PJ, 2030 yılında 12,611 PJ, 2035 yılında 13,794 PJ ve 2038 yılında 14,504 PJ olacağı hesaplamalar sonucu öngörülmüştür.

Tezin bu bölümünde bulunulan enerji tüketim değerleri senaryo yaklaşımıyla ulaştırmada enerji verimliliği bölümü için temel alınan (hâlihazır durum) değerler olarak kabul edilmektedir. Senaryolarda; bu bölümde elde edilerek temel alınan enerji tüketim değerlerinin aynı koşulların devam etmesi neticesinde sadece oluşturulan senaryolarda desteklenen ulaştırma türünün türel dağılımının değişimine göre hesaplanan taşımacılık değişimleri ile elde edilen enerji tüketim değerleri ile karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

6.2. YSA ile Gelecek Yıllar Demiryolları Enerji Tüketimi

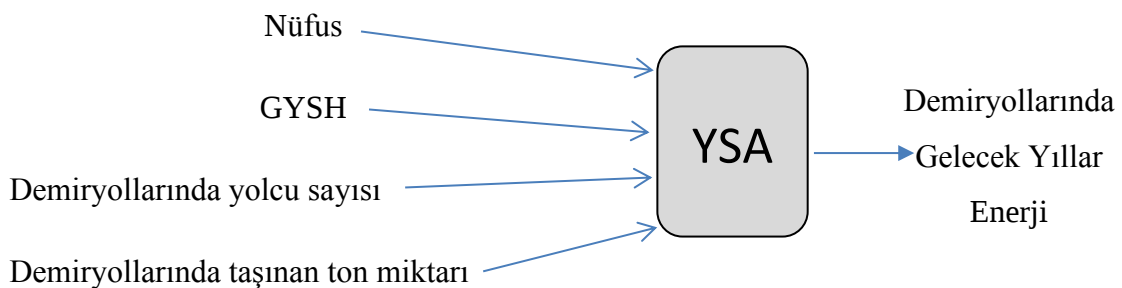
Tezin bu bölümünde, gelecek yıllar için demiryollarında enerji tüketimini etkileyen parametrelerin gelecek değerleri bulunarak, mevcut eğilimler ve benzer şekilde değişkenlerin yönelimi devam etmesi durumunda demiryollarında gerekli olan ya da başka bir ifade ile gelecekte talep edilen enerji miktarları YSA ile iki farklı model ile hesaplanmaktadır. Bilindiği üzere, önceki bölümde birim taşımacılık faaliyetine düşen enerji miktarından hareketle enerji yoğunluğu değerleri elde edilmiş, elde edilen enerji yoğunluklarına göre gelecekteki taşımacılık faaliyeti değişimi tahmini dikkate alınarak enerji tüketim değerleri bulunulmuştur. Bu yüzden, taşımacılık değerlerinin artması neticesinde enerji tüketim değerinin de artacağı bir durum oluşmuştur. Bu yüzden, bu bölümde farklı değişkenler sonucu oluşturulan yapay sinir ağlarının gelecek yıllardaki demiryolları enerji tüketim talebi tahmin değerleri bulunacaktır. Başka bir ifade ile demiryollarında tüketilecek enerji miktarının durumunu görebilmek için, sağlanan mevcut veriler ile YSA modeli oluşturulacak bu model yardımı ile gelecek yıllara ait demiryolları enerji tüketim tahminleri yapılacaktır.

Demiryolları enerji durumunu yük taşımacılığında gelecek yıllara dair ton-km değerinin ve yolcu taşımacılığı için ise yolcu-km değerlerinin gelecek etkilediği düşünülmektedir. Bu itibarla, demiryolları ton-km değerini demiryollarında taşınan ton miktarının etkilediğini, demiryolları yolcu-km değerini ise demiryollarındaki yolcu sayısının etkilediği düşünülerek işlem adımları yapılmaktadır. Çünkü, ton-km değerini gelecek yıllar için taşınan ton miktarı, yine aynı şekilde yolcu-km değerini de gelecek yıllar için durumunu belirlemek için yolcu sayısının oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden, iki farklı yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. YSA-1 modeli için demiryollarında gelecek yıllar harcanan ya da gereken enerji durumunu bulmak için bağımsız olarak alınan değişkenler nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, demiryolları yolcu sayısı ve demiryollarında taşınan ton miktarı, bunlara dair bağımlı değişken ise demiryollarında gereken enerji olarak belirlenmiştir. YSA-1 modeli için matlab programı kullanılmıştır. YSA-2 modeli için demiryollarında gelecek yıllar harcanan ya da gereken enerji durumunu bulmak için bağımsız olarak alınan değişkenler nüfus, gayri safi yurtiçi hâsıla, demiryollarında yolcu-km ve demiryollarında ton-km miktarları, bunlara dair bağımlı değişken ise demiryollarında gereken enerji olarak belirlenmiştir. YSA-2 modeli için WEKA’da “Multilayer Perceptron” yapay öğrenme algoritması kullanılmıştır. Matlab programı, daha önce Bölüm 3.2.1.’de MatLab: Neural

Network Toolbox” alt başlığı altında, WEKA hakkında bilgi ise Bölüm 3.2.3’de “WEKA 3.9.3- Waikato Environment for Knowledge Analysis” alt başlığı altında açıklanmıştır. Ayrıca, WEKA ile de veriler ile yapılan işlemler, işlemin yapıldığı bölümün altında detaylı olarak açıklanmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 6.10’da YSA-1 modeli için izlenen yol açıklanmıştır. Tasarlanan YSA-1 modeli Şekil 6.10’da basitleştirilmiş bir biçimde gösterilmektedir. Aşağıdaki Çizelge 6.11’de YSA-2 modeli için izlenen yol açıklanmıştır. Tasarlanan YSA-2 modeli Şekil 6.11’de basitleştirilmiş bir biçimde gösterilmektedir.

Çizelge 6.10. Demiryolları enerji talebi tahminlerine yönelik YSA-I modeli için izlenen aşamalar

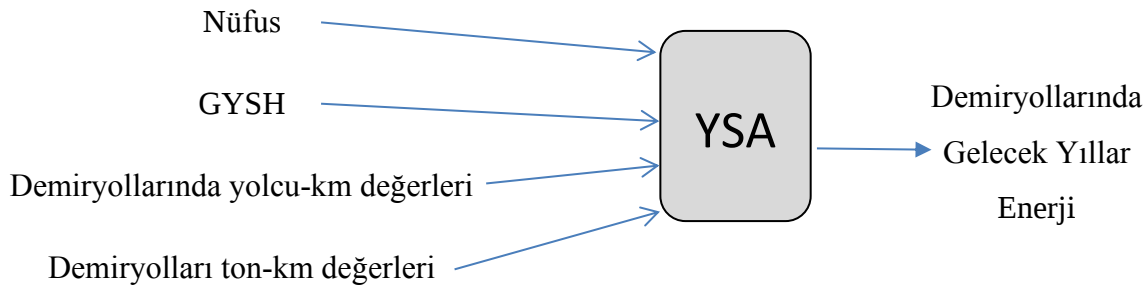
Amaç	Aşama I	Aşama II	Aşama III		
			Yöntem	YSA Bağımsız Değişkenler	YSA bağımlı değişken
Demiryollarında gelecek yıllar gereken enerjiyi bulmak	Gelecek yıllar yolcu sayısını belirleme	Gelecek yıllar değeri için; eğilim ile formül yaklaşımı ve WEKA 'da yapay sinir ağlarının kullanılması	Matlab ile YSA kullanımı	Nüfus, GYSH, demiryolları yolcu sayısı ve demiryolları taşınan ton miktarı	Demiryollarında tüketilen enerji
	Gelecek yıllar taşınan ton miktarı belirleme	WEKA 'da yapay sinir ağlarının kullanılması			
	Gelecek yıllar Nüfus ve GSYH	Çeşitli yaklaşımlar ve Kurumların gelecek projeksiyonları			



Şekil 6.10. Tasarlanan YSA-1 modeli basitleştirilmiş gösterimi

Çizelge 6.11. Demiryolları enerji talebi tahminlerine yönelik YSA-2 modeli için izlenen aşamalar

Amaç	Aşama I	Aşama II	Aşama III		
			Yöntem	YSA Bağımsız Değişkenler	YSA bağımlı değişken
Demiryollarında gelecek yıllar gereken enerjiyi bulmak	Gelecek yıllar yolcu-km değerlerinin bulunması	Tezin 6.1. Bölümü Hâlihazır yaklaşımı demiryolları ton-km ve yolcu-km verilerinin kullanılması	WEKA’da “Multilayer Perceptron” yapay öğrenme algoritması ile YSA kullanımı	Nüfus, GYSH, demiryolları yolcu-km ve demiryolları ton-km değerleri	Demiryollarında tüketilen enerji
	Gelecek yıllar taşınan ton-km değerlerinin bulunması				
	Gelecek yıllar Nüfus ve GSYH	Çeşitli yaklaşımlar ve Kurumların gelecek projeksiyonları			



Şekil 6.11. Tasarlanan YSA-2 modeli basitleştirilmiş gösterimi

6.2.1. Metodoloji ve kabuller

Demiryolları geleceğe yönelik enerji tüketim tahminleri yapılması için YSA kullanılmış olup, YSA-1 modeli için MATLAB programından, YSA-2 modelinde ise WEKA’dan yararlanılmıştır.

YSA-1 modeli için; MATLAB programında mevcut bulunan yapay sinir ağı araç kutusu olan ve daha önce bu tezin Bölüm 3.2.1’de açıklanan “nntool” kullanılmıştır. 1988-2018 yılları verileri programın çalışma alanına (workspace) aktarılarak işlemler yapılmıştır. Daha sonra ağ oluşturma işlemine geçilmiş, parametreler seçilerek ağın eğitimi işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğitme işlemi sonrasında ağ hiç görmediği yıllardaki veriler simülasyon

işlemi yapılarak ağıın bu giriş değerleri girilmesinde oluşturduğu çıkış değerleri bulunmuştur. Bu değerleri bulmak amacıyla daha önce de bahsedildiği üzere bağımsız değişkenler olarak nüfus, GSYH, yolcu sayısı ve taşınan ton değerleri alınmış, bağımlı değişken olarak ise demiryolları enerji tüketimi kabul edilmiştir.

YSA-1 modeli için toplam veriler; iki kısma ayrılarak eğitim verisi ve test verisi elde edilmiştir. Eğitim verileri oluşturduğumuz yapay sinir ağıının algoritmasını eğitmek için, test verileri ise eğitilmiş olan yapay sinir ağı algoritmasının performansını görebilmek için kullanılmaktadır. Ayrıca hem ağıın eğitimindeki durumu hem de test etme amacıyla oluşturulan setlerin geçmiş verilerinin birbirinden tamamen farklı olacak şekilde ayrı bir ağıın tahmin performansını ölçmek için de veri seti oluşturulmuştur. Bunun nedeni yapay sinir ağlarının eğitimi sonrasında oluşturulan modelin, şimdiye kadar karşılaşmadığı durumlarda veya verilerde deneme ve genelleme yapma yetkinliğinin incelenmesi konusunda daha gerçekçi yorum ve daha doğru değerlendirmeye ulaşmaktır [213]. Çünkü tez kapsamında tahmin edilen değerler ile test verilerinin durumuna göre deneme-yanılma yöntemiyle model performansının artırılması amacı bulunmaktadır.

YSA-2 modeli için; WEKA’da demiryollarının gelecek yıllar enerji tüketimini tahmin etmek için çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron) yöntemi kullanılmıştır. 1988-2018 yılları verileri programın çalışma alanına (preprocess) aktararak işlemler yapılmıştır. Daha sonra ağ oluşturma işlemine geçilmiş, parametreler on kat çapraz doğrulama sonucunda en az hatayı veren değerler seçilerek ağıın eğitime işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğitme işlemi için daha önce de bahsedildiği üzere bağımsız değişkenler olarak nüfus, GSYH, yolcu-km ve ton-km değerleri alınmış, bağımlı değişken olarak ise demiryolları enerji tüketimi kabul edilmiştir.

Diğer taraftan, unutulmaması gereken bir nokta ise Bölüm 3.10’da açıklanan performans ve hata ölçüm kriterleridir. Tahmin için oluşturulmuş olan modellerde performans kontrolü için; hangi performans hesabı kullanılıyor ise, o ölçüt hesabının değeri en aza indirilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan modellerin birbirleri ile karşılaştırılmasında bu belirtilen aynı ölçütlere göre karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Karşılaştırılma neticesinde hangi modelin ölçüt değeri daha küçük ise o modelin daha başarılı model olduğu kabul edilmektedir. Bu çalışmada, oluşturulan tahmin modellerin birbirleri ile karşılaştırılmasında MAE (Ortalama Mutlaka Hata) ve MAPE (Yüzde Mutlak Ortalama Hata) performans

ölçütleri kullanılmıştır. Hangi modelin ortalama mutlak hata değeri ya da MAPE değeri küçük ise model en başarılı model olarak kabul edilmiştir.

Her iki YSA modelinde de en iyi modelin seçiminde dikkat edilen veriler, ağın hiç görmediği yılların tahmini sonucu ile gerçek değerlerin mutlaka hata değerleridir. Çünkü herhangi bir yapay sinir ağı modelinin mevcut yıllardaki eğitim verileri ile oldukça iyi çalışarak daha az hataya sahip oluyorken, daha önce yapay sinir ağı modelinin hiç karşılaşmadığı veriler ile yani test (ağın görmediği) verilerinin tahmininde oldukça kötü performansa sahip sonuçlar elde edilebilmektedir.

6.2.2. YSA modellerinde kullanılan girdi verileri

Bu bölümde YSA için kullanılan veriler ile ilgili bilgiler verilmiş ve elde edildiği kaynaklara yönelik açıklamalar sunulmuştur. Oluşturulan YSA-1 ve YSA-2 modellerindeki değişkenler olarak, nüfus, GSYH, demiryollarında yolcu sayısı, demiryollarında taşınan ton değeri, demiryolları yolcu taşımacılığı yolcu-km değerleri ile demiryolları yük taşımacılığı ton-km değerleridir. Bu verilere dair detaylı açıklamalar ile gelecek yıllara dair elde edilme yaklaşımları aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

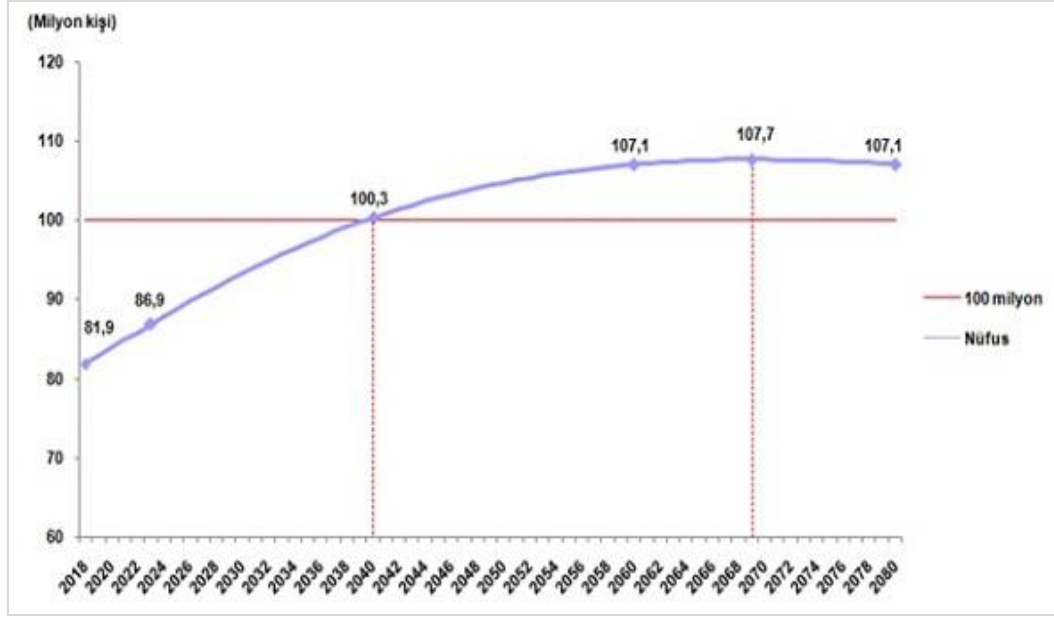
Nüfus

Enerji tüketimi miktarı nüfusun değişimi ile değişim göstermekle birlikte nüfus ulaştırma sistemini de son derece etkilemektedir. Bu yüzden nüfus hem taşınan ton miktarında hem de yolcu sayısı tahmininde bağımsız değişken olarak kabul edilmiştir.

Geleceğe yönelik nüfus tahminin yapılması geleceğe yönelik stratejiler için oldukça önem arz etmektedir. Türkiye'nin gelecek nüfus eğiliminin bulunması ve bu eğilimlerin devamı sonucunda üretilen gelecekteki nüfus hakkında tahmin yapılması Türkiye'nin daha doğru politikalar geliştirmesini sağlayacaktır.

Türkiye nüfusunun 2025 yılına gelindiğinde 88 844 934 kişi olacağı, 2040 yılına gelindiğinde ise 100 331 233 kişiye ulaşacağı tahmin edilmekle beraber; Türkiye'nin nüfusunun 2069 yılına kadar artarak 107 664 079 kişi ile en yüksek değerine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu yıl sonrasında ise Türkiye nüfusu azalmaya geçeceği ve Türkiye nüfusunun 2080 yılında 107 100 904 kişi olacağı düşünülmektedir [14, 15].

Diğer taraftan dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10,2 milyar, 2100 yılında ise 19,3 milyar seviyesine yükseleceği beklenilmektedir [214]. Aşağıdaki Çizelge 6.12’de yıllara göre Türkiye’nin nüfus projeksiyonu ve gelecek bazı yıllara göre durumu gösterilmiştir. Şekil 6.12’de nüfus projeksiyonu grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 6.12. Nüfus projeksiyonu [15]

Çizelge 6.12. 2020-2080 yılları nüfus projeksiyonu

Bilgiler / Nüfus	2020	2025	2040	2070	2080
Nüfus (Bin kişi)	83 900	88 845	100 331	107 653	107 101
Nüfus Artış Hızı (%)	1,22	1,09	0,58	-0,01	-0,07
Nüfus Yoğunluğu (kişi/km ²)	109	115	130	140	139

Tez kapsamında YSA için hesaplamada dikkate aldığımız nüfus verileri 1998-2018 yılları için veriler Dünya Bankası’ndan (World Bank) elde edilmiş olup [18], gelecek yıllar için TÜİK’in hazırlamış olduğu nüfus projeksiyonu olduğundan bu değerler dikkate alınmıştır [14, 15].

Tezde elde edilen ve çalışmada kullanılan verilere dair bilgilerin bulunduğu Çizelge 6.13’de yıllar itibari ile nüfus verileri gösterilmektedir.

Çizelge 6.13. Kullanılan nüfus verileri [14, 15, 18]

Alınan Kaynak	Yıllar	Nüfus	Alınan Kaynak	Yıllar	Nüfus
Dünya Bankası (World Bank) Verileri	1998	61 329 676	TÜİK Nüfus Projeksiyonu Verileri	2019	82 886 421
	1999	62 287 397		2020	83 900 373
	2000	63 240 194		2021	84 908 658
	2001	64 192 243		2022	85 911 035
	2002	65 145 367		2023	86 907 367
	2003	66 089 402		2024	87 885 571
	2004	67 010 930		2025	88 844 934
	2005	67 903 469		2026	89 784 584
	2006	68 756 810		2027	90 703 600
	2007	69 581 848		2028	91 601 117
	2008	70 418 604		2029	92 476 323
	2009	71 321 399		2030	93 328 574
	2010	72 326 988		2031	94 153 776
	2011	73 443 863		2032	94 951 512
	2012	74 653 016		2033	95 721 347
	2013	75 928 564		2034	96 463 090
	2014	77 231 907		2035	97 176 768
	2015	78 529 409		2036	97 862 549
	2016	79 821 724		2037	98 520 720
	2017	81 101 892		2038	99 151 467
	2018	61 329 676			

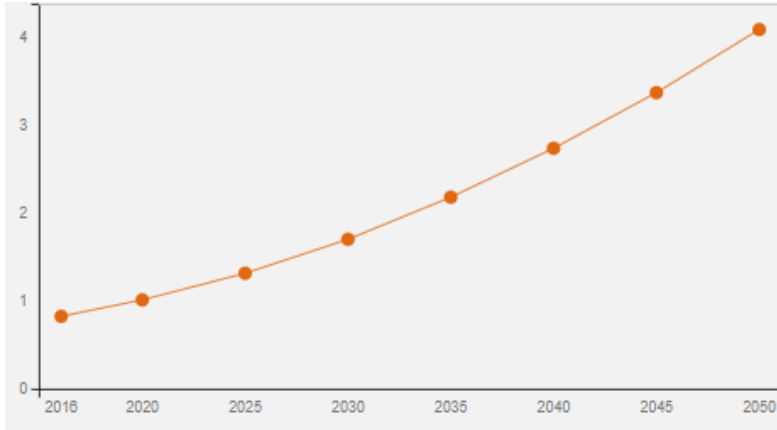
GSYH

Ülkelerin büyüme göstergesini GSYH'nin yansıttığı bilinen bir gerçektir. Herhangi bir ülkenin büyümesi ile o ülkedeki ekonomik etkinliklerinin artması, enerjiye olan ihtiyacı arttıracaktır; diğer bir ifade ile enerjiye olan gereksinime yönelik talebin de artacağı beklenilmektedir. Bu konuya dair bilgiler, bu tezin Bölüm 4.1 başlığında detaylı olarak açıklanmaktadır. Ayrıca GSYH'nin durumu ve değişimi o ülkedeki kişilerin ulaştırma sistemleri seçimlerini de doğrudan etkilemektedir. Bu sebepten dolayı, enerji tüketiminde GSYH de bağımsız değişken olarak seçilmiştir. GSYH, 1999-2018 yılları için, 20 yıllık zaman süreci değerleri olarak Dünya Bankası verileri kullanılmıştır [19]. 2019 yılından 2038 yılına kadar olan kısımdaki GSYH değerleri için ise 1998-2018 yılları değerleri kullanılarak geleceğe yönelik tahmin yapılmaktadır. Bu tahminlere yönelik yaklaşımlar aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

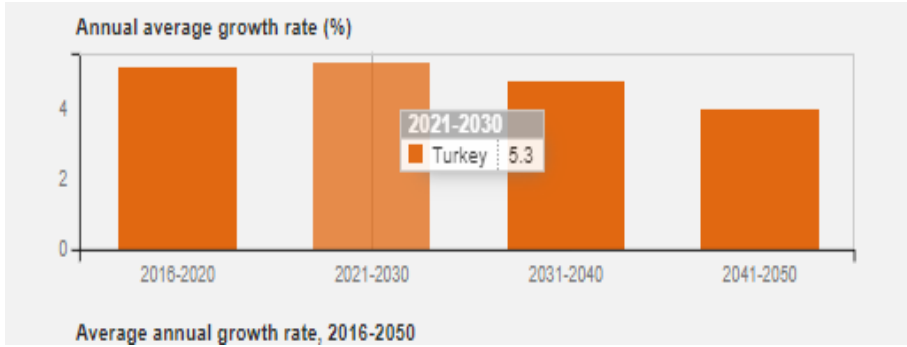
I. Yaklaşım: Dünya Bankası ve PwC yıllık büyüme artışı tahminlerinin dikkate alınması

GSYH ile ilgili olarak tahmin yapılan çerçeveyi görmek adına; PwC (Price waterhouse Coopers) yani Londra merkezli bu uluslararası profesyonel şirketin ekonomi uzmanlarının

en son olarak hazırlamış olduğu “World in 2050” (2050’de Dünya) raporunda; Türkiye için 2021-2030 yılları için %5,3 yıllık ortalama büyüme, 2031-2040 yılı için ise %4,8 yıllık ortalama büyüme tahmin ettiklerini belirtmektedir [215, 216]. Ayrıca, GSYH için ise 2030 tahmini değer olarak 1 705 milyar \$, 2050 yılında ise 4 087 milyar \$ tahmininde bulunmaktadır [215]. Diğer taraftan; ilgili tahminlere yönelik 2016-2050 yılları için GSYH değişimini gösteren grafik ve yıllık ortalama büyüme oranları değerlerine ilişkin değişim Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’de gösterilmektedir.



Şekil 6.13. PwC raporuna göre Türkiye GSYH değerinin 2050 yılına kadar değişimi [215]



Şekil 6.14. “2050’de Dünya Türkiye” raporuna göre ortalama yıllık büyüme oranları [215]

Bu açıklamalardan ve Şekil 6.13’de de görüleceği üzere Türkiye yıllık GSYH değerinin 2050 yılına kadar artan bir eğilim izleyeceği öngörülmektedir. Ancak, 2031 yılı ve bu yıldan sonraki yıllardaki süreçte, 2021-2030 yıllarındaki eğilimdeki yıllık ortalama artmadan daha az olacağı tahmini yapılmaktadır.

Diğer taraftan Bulkan ve Ceylan yaptıkları çalışmada, Dünya Bankasının tahmin senaryolarından yararlandığı ve Türkiye için 2017-2020 yıllarında ortalama %2,9-3,4 değerleri arasında artma yaşanacağı beklenildiğini, bu yüzden tahmin yaptıkları yıllar için modellerinde kullanmak üzere GSYH değeri için ortalama olacak şekilde %3,3'lük bir artmaya dikkate alarak hesaplama yaptıkları görülmektedir [68]. Son güncel Dünya Bankasının yıllık GSYH artışı değerlerine bakılacak olur ise 2019 yılında %-1, 2020 yılında %3, 2021 yılında ise %4 büyüme beklemekte olduğu görülmektedir [20].

Bu itibarla bu yaklaşımda; 2018 yılı GSYH değeri 2019 yılında %1 azaldığı, 2020 yılında 2019 yılına göre %3 arttığı ve 2021 yılında ise 2020 yılına göre %4 arttığı düşünülmektedir. 2021 yılı sonrası için; 2030 yılına kadar bir önceki yıla göre %5,3 arttığı, 2031 yılından 2038 yılına kadar ise %4,8 arttığı düşünülerek GSYH değerleri bulunmaktadır. Söz konusu yıllar için elde edilen değerler EK-4'de gösterilmektedir.

II. Yaklaşım: Excel tahmin işlevi yaklaşım

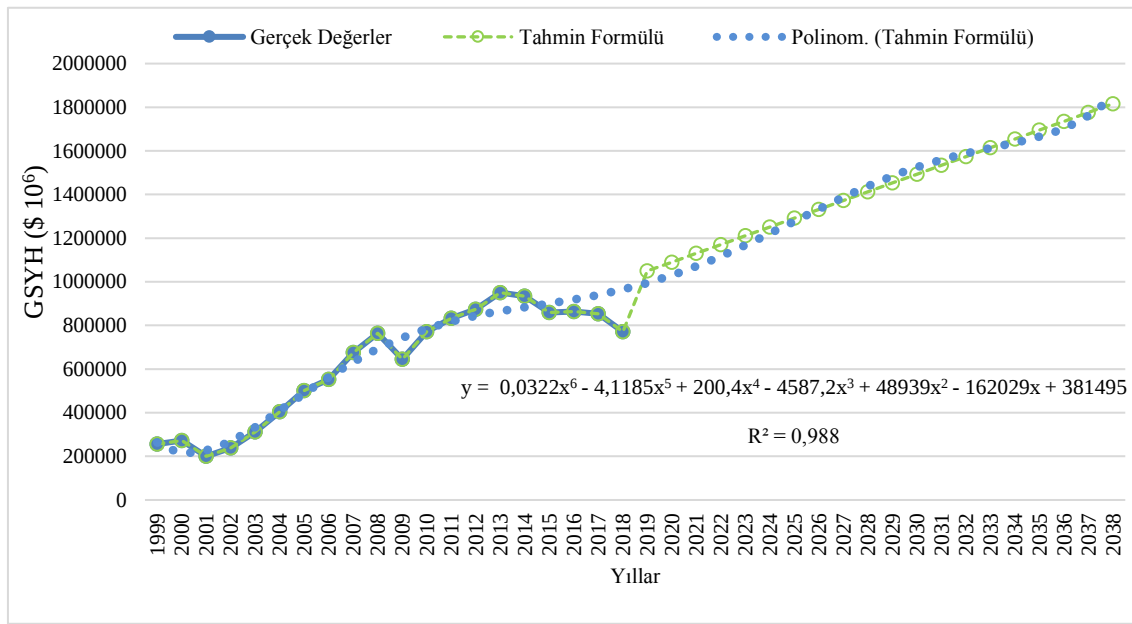
Bu yöntemde, mevcut olan değerlerin kullanılması ile gelecekteki bir değeri eğilim boyunca hesaplama veya tahmin yapılmasıdır. Formül yazımı aşağıda gösterilmektedir [217].

Tahmin edilecek veri = TAHMİN(Tahmin hücresinin bilenen karşılık değeri; bilenen değerler; bilinen tahmin hücrelerine karşılık değerler) (6.1)

Yukarıdaki formül yardımı ile sırası ile 2019 yılı için 1999-2018 yılı verileri, 2020 yılı için 1999-2019 yılı verileri, 2021 yılı için 1999-2020 yılı verilerinden yararlanılmıştır. Resim 6.1'de 2021 yılı tahmini için yapılmış işleme dair ekran resmi gösterilmektedir. Kalan diğer yıllar için de aynı adımlar uygulanarak ve 2038 yılı için 1999-2037 yılları verileri kullanılarak hesaplama sonucu GSYH gelecek yıllar değerleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler ile geçmiş veriler birleştirilerek eğilim çizgisi yaklaşımı ile formül elde edilmektedir. Eğilim yaklaşımı ve elde edilen grafik Şekil 6.15'de gösterilmektedir. GSYH tahmininde eğilim yaklaşımı sonucundaki oluşturulan polinom formülü kullanılarak değerler elde edilmiştir. Elde edilen değerler EK-4'de gösterilmektedir.

2	1999	255884,3006		
3	2000	272979,3903		
4	2001	200251,9252		
5	2002	238428,1259		
6	2003	311823,0038		
7	2004	404786,7396		
8	2005	501416,3015		
9	2006	552486,9129		
10	2007	675770,1122		
11	2008	764335,6576		
12	2009	644639,902		
13	2010	771901,7689		
14	2011	832523,6809		
15	2012	873982,2466		
16	2013	950579,4131		
17	2014	934185,9154		
18	2015	859796,8727		
19	2016	863721,6481		
20	2017	852676,7783		
21	2018	771350,3305		
22	2019	1049940,687	1,361172	763636,8
23	2020	1090251,604	1,038394	786545,9
24	2021	=TAHMİN(B24;C2:C23;B2:B23)		
25	2022	TAHMİN(x; bilinen_y'ler; bilinen_x'ler)		

Resim 6.1. 2021 yılı GSYH değerinin “TAHMİN” formülünden yararlanma ile bulunması

Şekil 6.15. GSYH yıllara göre değişimi tahmin formülü yardımı ile eğilim çizgisi ve gelecek yıllar formülü ile R² değeri

III. Yaklaşım: WEKA zaman serileri yapay zekâ algoritmaları ile tahmin edilmesi

Bu yaklaşımda WEKA ile gelecek yıllar GSYH değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Daha öncede belirtildiği üzere WEKA programında “.arff”, “.csv”, “.dat”, “.libsvm”, “.data”, “.names” vb. uzantılı dosyaların kullanılması gereklidir. Çünkü WEKA uygulaması bu tür dosya formatlarıyla işlem yapmaya olanak sunmaktadır. Bu nedenle, diğerlerine oranla daha

kolay olduğundan veriler WEKA'ya “.csv” uzantılı olarak yüklenilmesi seçilmiştir. Bunun için; sağlanan veriler excel yardımıyla WEKA'da işlem yapılacak “.csv” dosya uzantılı duruma getirilmiştir. Daha sonra WEKA programında, “Explorer” bölümü açılmış burada yeni dosya açılarak, “.csv” dosyasının konumuna gidilerek verilerin WEKA'ya okutulması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, “Forecast” menüsü seçilerek “Basic Configuration” kısmında temel işlemler yapılmıştır. Ardından, “Advanced” kısmından da “choose” butonu yardımıyla; buradaki algoritma gruplarından sırası ile “Gaussian Processes”, “Linear Regression”, “Multilayer Perceptron” ve “SMOReg” öğrenme algoritmaları seçilmiştir. Seçilen öğrenme algoritma sonrasında “evaluation” ve “output” kısımlarından gerekli tercihler yapıp, “start” ile de tahminlerin yapılması işlemi gerçekleştirilmiştir.

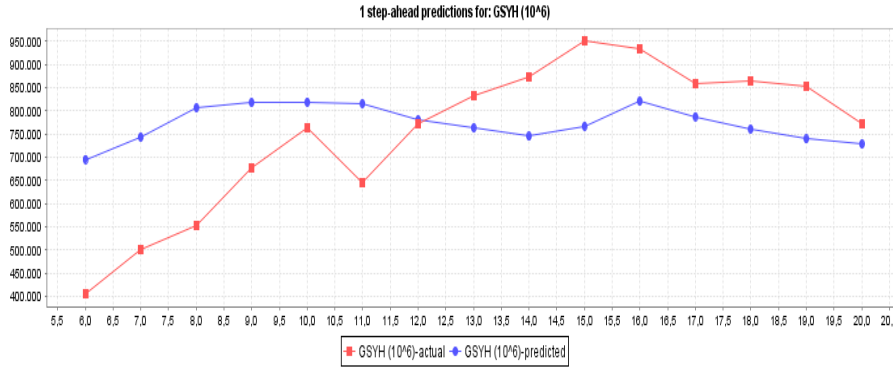
Hangi algoritmanın daha iyi sonucu verdiğini bulmak için WEKA'da veri girişi olarak ilk önce 1999-2014 yılları GSYH değerleri girilmiş ve algoritmaların 2015-2018 yılları tahmin edilmesi yapılmıştır. Sonrasında algoritmaların tahmini ile gerçekleşen değerler karşılaştırılmıştır. Algoritmalar sonucu elde edilen 2015-2018 yılları tahmin değerleri ile gerçek değer arasındaki mutlak fark ve MAPE değerleri Çizelge 6.14'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.14. WEKA ile GSYH değerlendirme sonuçları

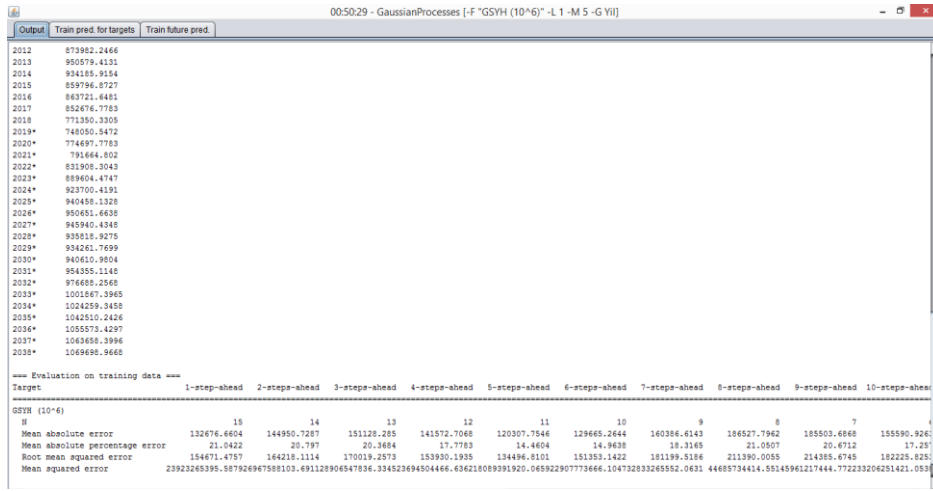
Yıl	Gerçek Değerler	Gaussian Processes	MAPE %	Linear Regression	MAPE %	Multilayer Perceptron	MAPE %	SMOReg	MAPE %
2015	859 797	748 105	12,99	1 034 857	20,36	1 009 903	17,46	1 042 607	21,26
2016	863 722	689 795	20,14	1 063 032	23,08	1 029 152	19,15	1 093 519	26,61
2017	852 677	633 347	25,72	1 127 704	32,25	1 029 074	20,69	1 161 094	36,17
2018	771 350	602 139	21,94	1 190 413	54,33	1 042 459	35,15	1 225 747	58,91
		Ortalama MAPE	20,20	Ortalama MAPE	32,50	Ortalama MAPE	23,11	Ortalama MAPE	35,74

Gelecek yıllar tahmin çalışması için en az hata değerlerini GAUSS algoritması verdiği için gelecek yıllar GSYH tahmininde bu öğrenme ve yaklaşım algoritması ile tahmin yapılması seçilmiştir. Benzer işlemler WEKA'da zaman serileri yöntemiyle gelecek yıllar GSYH tahmini için 1999-2018 yılları girilerek, 2019-2038 yıllarına yönelik yapılmıştır. Diğer taraftan, WEKA tahminleri ile gerçek değerlerin test sonucu grafiğinin karşılaştırılması (mavi tahmin, kırmızı gerçek değerler) aşağıda Şekil 6.16'da gösterilmektedir.

Tahmin yılı için 20 (2038 yılına kadar) seçilmiştir. “Gaussian Processes” sonucu tahmin edilen yıllar için bulunan değerlere dair WEKA ekranı aşağıda Resim 6.2'de gösterilmektedir.

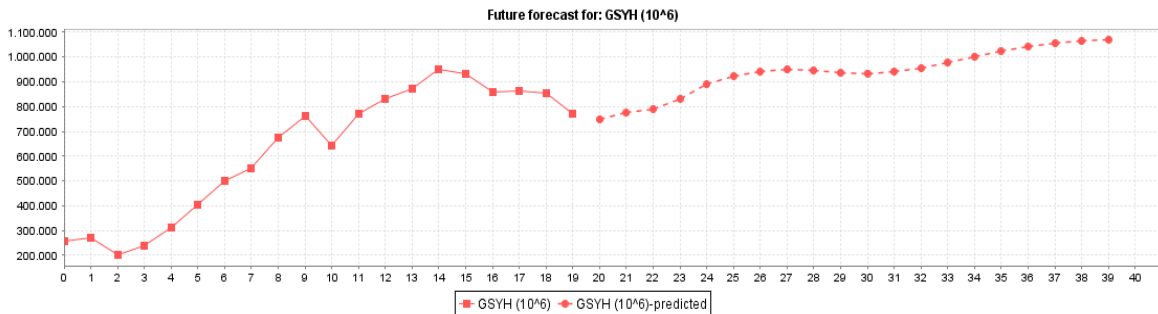


Şekil 6.16. WEKA “Gaussian Processes” tahminleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

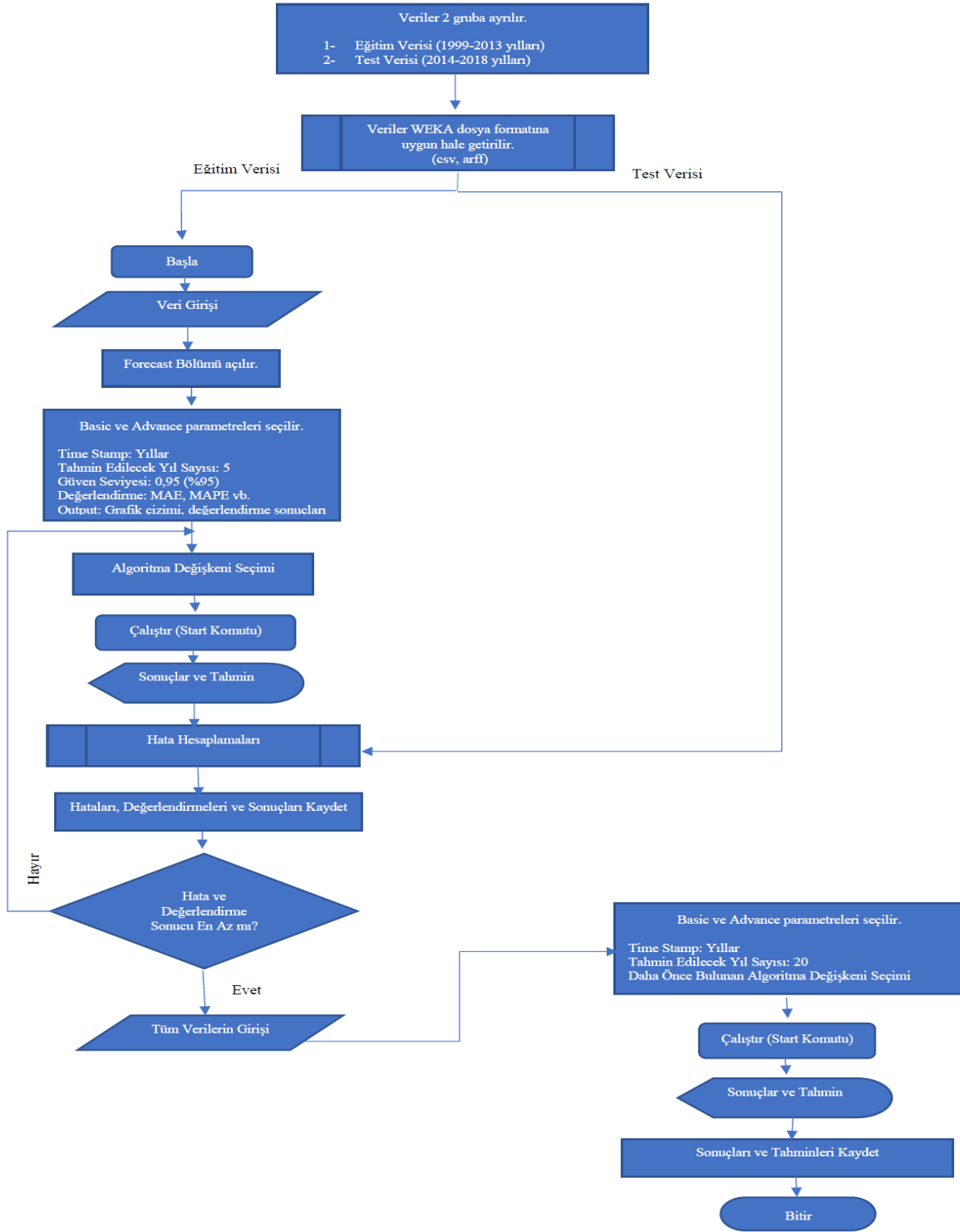


Resim 6.2. GSYH için WEKA zaman serileri tahminlerinin ekran resmi

WEKA’da bulunan GSYH gelecek yıllar tahmininin yıllara göre değişimi Şekil 6.17’de gösterilmektedir. Yapılan işlemlerin akış şeması aşağıda Şekil 6.18’de gösterilmektedir. Buna göre GSYH değeri 2030 yılında 940 610,98 10⁶ \$ olacağı, 2035 yılında ise 1 042 510,24 10⁶ \$ olacağı tahmin edilmektedir. Tahmin edilen GSYH değerleri EK-4’de gösterilmektedir.



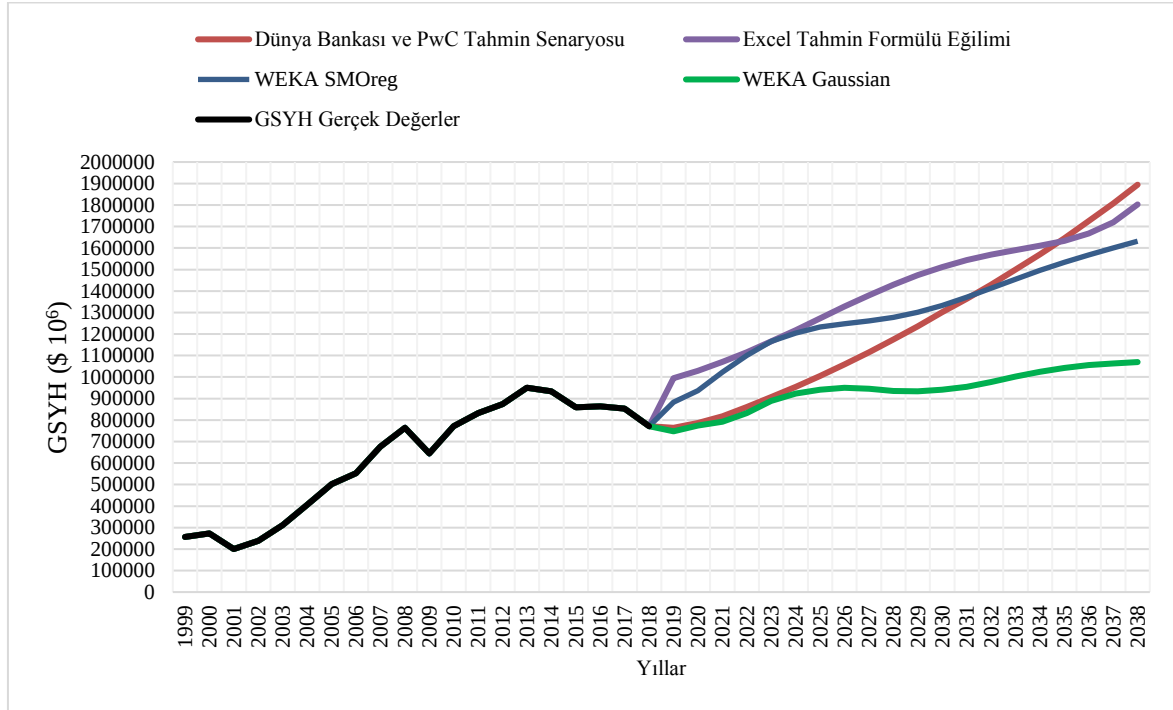
Şekil 6.17. WEKA ile bulunan GSYH gelecek yıllar tahminin yıllara göre değişimi



Şekil 6.18. GSYH için zaman serileri algoritması ve işleyişi

GSYH için yukarıdaki üç yaklaşımın yanında her ne kadar gelecek tahmin başarısında “Gaussian Processes” algoritmasına göre tahmin etme hata performansı daha kötü çıksa da gelecek için ön fikir verebileceği düşünülen algoritma olan SMOreg (regresyon için destek

vektör makineleri) için de tahmini yaklaşım yapılmıştır. GSYH yaklaşımların karşılaştırılması Şekil 6.19’da gösterilmektedir.



Şekil 6.19. Yaklaşımlar sonucu elde edilen GSYH tahminlerinin karşılaştırılması

GSYH tahmininde birçok etmen olduğu ekonomik durumların ve dalgalanmalarında çok detaylı şekilde incelenmesi ve irdelenmesi gerekmektedir. Tüm yaklaşımlar değerlendirildiğinde; GSYH değerlerinde, Dünya bankası ile PWC’nin yapmış olduğu yakın tarihteki değerlerin (2019-2024) daha az hata oranı veren WEKA “Gaussian Processes” yaklaşımıyla aşağı yukarı aynı olduğu görülmektedir. Bu yüzden ekonomik koşullar ve geçmiş veriler dışındaki durumların dikkate alındığı, aynı zamanda yakın tarih olarak da “Gaussian Processes” sonucu ile benzerlik olduğu durumunu daha çok dikkate aldığı düşünülen Dünya bankası ve PWC tahmini artış değerleri sonucu elde edilen değerler kullanılmıştır. Kullanılan tüm değerler EK-4’de gösterilmektedir.

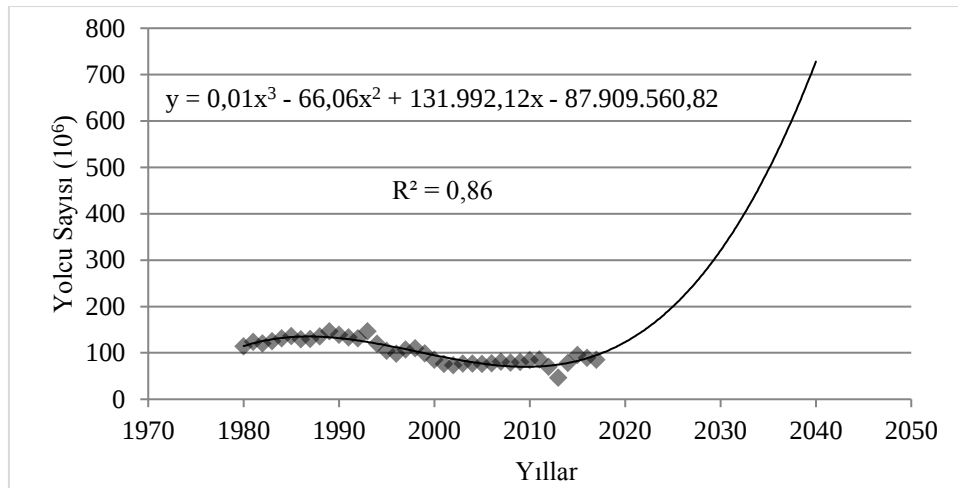
Demiryolları yolcu sayısı değerleri

Yolcu sayıları için söz konusu yıllara ait veriler TÜİK’den alınmıştır [12]. Bu yıllar için veriler incelendiğinde yolcu sayısının azalan bir eğilimde olduğu görülmektedir. Ancak gelecek yıllara ait tahminler ileride hızlı trenlerin yaygınlaşması ve demiryollarının teşvik

edilmesi gibi programların artacağı düşüncesinden hareket edilerek ileriki süreçlerde oluşacak yolcu sayısında artışın yaşanacağı düşünülerek demiryolları yolcu sayısı değerleri tahmin edilmektedir.

I. Yaklaşım: yolcu sayısında zamana karşı geçmiş verilerden eğilim oluşturularak gelecek verilerin bulunması

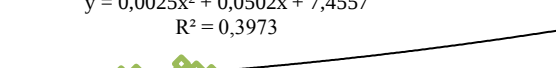
Yolcu sayısı tahmininde 1980-2017 yılları arasındaki veriler kullanılarak excelde x-y dağılımı ile fonksiyon oluşturulmuştur. Eğilim için seçilen fonksiyon, hızlı tren teknolojisinin kullanımının yaygınlaşması ile ileriki dönemlerdeki yolcu sayısındaki artış beklentisini yansıtacağı düşünülen seçilmeye çalışılmıştır. Demiryolu yolcu sayısı yıllara göre değişimi 1998-2017 yıllarını dikkate aldığımızda aşağıdaki grafik olan Şekil 6.20’de eğilimi ve formülleri oluşmaktadır.



Şekil 6.20. Demiryolları yolcu sayısı değerlerinin yıllara göre değişimi (normal koşulları yansıtmadığı, beklenilmeyen durum)

Şekil 6.20’deki grafikten de görüleceği üzere gelecek yıllarda böyle bir artış olması pek beklenilmediği ve grafiğin normal koşullardaki durumu yansıtmadığı düşünülmektedir. Bu itibarla; aşağıda Çizelge 6.15’de gösterilen çeşitli verilerle gelecek yıllara dair eğilim yaklaşımları ve formülleri denenmiş ve en uygun olabilecek eğilim seçilmiştir.

Çizelge 6.15. Demiryolları yolcu sayısı gelecek tahmini için uygulanan yıllar ve grafik eğilimi ve görünümü

Uygulanan Veri Yılları	Uygulanan Fonksiyon	Grafik Eğilim ve Görünüm
1977-2017	Üstel fonksiyon	$y = 143581e^{-0,017x}$ $R^2 = 0,6083$ 
1977-2017	Polinom 2. Derece	$y = -18,532x^2 - 897,17x + 133335$ $R^2 = 0,6284$ 
1977-2017	Polinom 3. Derece	$y = 9,1235x^3 - 593,31x^2 + 8876x + 97085$ $R^2 = 0,8493$ 
2001-2017	Polinom 2. derece	$y = 67,763x^2 - 790,62x + 78363$ $R^2 = 0,066$ 
2001-2017	Polinom 3. derece	$y = 33,392x^3 - 833,82x^2 + 5887,8x + 66943$ $R^2 = 0,1589$ 
2001-2017	Doğrusal eğilim	$y = 429,1x + 74501$ $R^2 = 0,0448$ 
2001-2017 (2013 yılı genel eğilime aykırı olduğundan dâhil edilmemiştir.)	Polinom 2. derece	$y = 0,0025x^2 + 0,0502x + 7,4557$ $R^2 = 0,3973$ 

En iyi sonuç ve eğilim 2011-2017 yılları arası (2013 yılı dâhil edilmemiştir) ile oluşturulan gelecek yıllar tahmini kabul edilmiş ve gelecek yıllar için EK-5'te gösterilen değerler elde edilmiştir.

II. Yaklaşım: WEKA zaman serileri yapay zekâ algoritmaları ve yapay sinir ağı ile gelecek yıllar yolcu sayısının tahmin edilmesi

Bu yaklaşımda izlenen işlem adımları aşağıda sıralanmıştır.

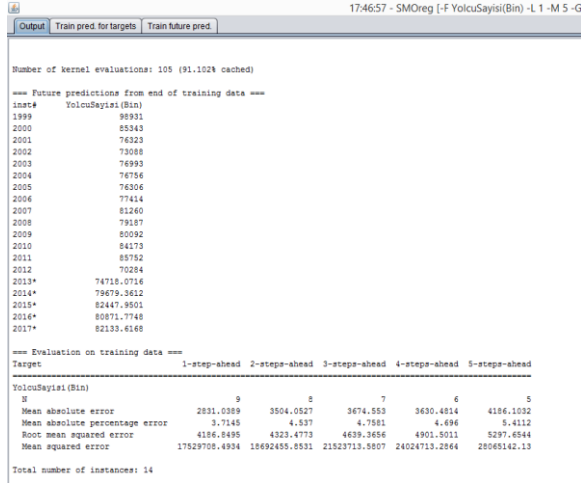
- Aykırı veriler düzenlenmiştir. (2013 yılı verisi zaman serileri analizi ile tahmin edilmiştir.)
- Yapay sinir ağı için girdi değişkenleri, nüfus, GSYH ve yıllar olarak seçilmiş olup; çıktı değeri demiryolları yolcu sayısı olarak belirlenmiştir.
- İlk olarak en iyi YSA değişkenleri bulunulmaya çalışılmıştır. Bunun için gelecek 1988-2011 yılları ile ağ eğitilmiş ve 2012-2017 yılları tahmin edilmiştir.
- Farklı modellerle elde edilen 2012-2017 yılları tahmin verileri ile gerçek değerleri karşılaştırılarak en iyi performansa sahip parametreler belirlenmiştir.
- En iyi performansa sahip değişkenler ve ağ yapısında 1988-2017 yılları verileri ile ağ eğitilmiş ve 2017 yılından sonraki süreç için demiryolları yolcu sayısı tahmini hesaplanmıştır.

2013 yılının demiryolları yolcu sayısı değerine bakıldığında genel duruma ve yaklaşıma göre hatalı ve düzensiz bir değer olduğu görülmektedir [7, 12]. Demiryolları yolcu sayısı değerlerinde 2013 yılının genel duruma aykırı değer olması nedeniyle verilerin gelecek tahmininde ilk olarak 2013 yılı değeri tahmin edilmektedir. 2013 yılı tahmini için izlenen yöntem; ilk olarak WEKA zaman serilerinde gelecek yıllar tahmini için öncelikle 1999-2012 yılları dikkate alınarak işlemler yapılmış, bu verileri yardımıyla 2013-2018 yılları verileri tahmini gerçekleştirilmiştir. 2014-2018 yılları gerçek değerler ile WEKA algoritmalarının tahmini sonucunda en aza hataya sahip algoritma seçimi ile elde edilen 2013 yılı değeri kaynaklarda [7, 12] bulunan değer yerine kullanılmıştır. Çizelge 6.16’da 2013 yılı değerinin en iyi tahmin edilmesine yönelik elde edilen zaman serileri sonuçları gösterilmektedir.

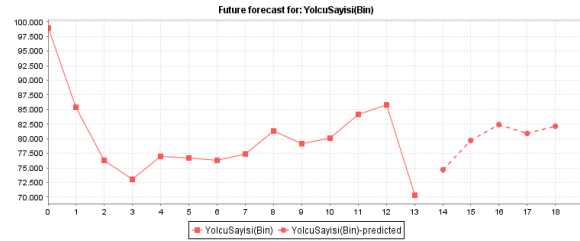
Resim 6.3’de 1999-2012 yılları verileri ile zaman serileri SMOReg algoritması sonucu 2013-2017 yılları tahmin değerleri ekran görüntüsü gösterilmektedir

Çizelge 6.16. 2014-2018 yılları için WEKA algoritmaları tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

Yıl	Yolcu Sayısı (Bin)	Tahminler							
	Gerçek Değerler	Gaussian Processes	MAPE %	Linear Regression	MAPE %	Multilayer Perceptron	MAPE %	SMOReg	MAPE %
2014	78 404	77 181	1,56	80 136	2,21	76 238	2,76	79 679	1,63
2015	95 317	77 640	18,55	80 136	15,93	73 323	23,07	82 448	13,50
2016	89 038	75 988	14,66	80 136	10,00	71 853	19,30	80 872	9,17
2017	85 338	77 004	9,77	80 136	6,10	76 616	10,22	82 134	3,75
		Ortalama MAPE	11,13	Ortalama MAPE	8,56	Ortalama MAPE	13,84	Ortalama MAPE	7,01



a)



b)

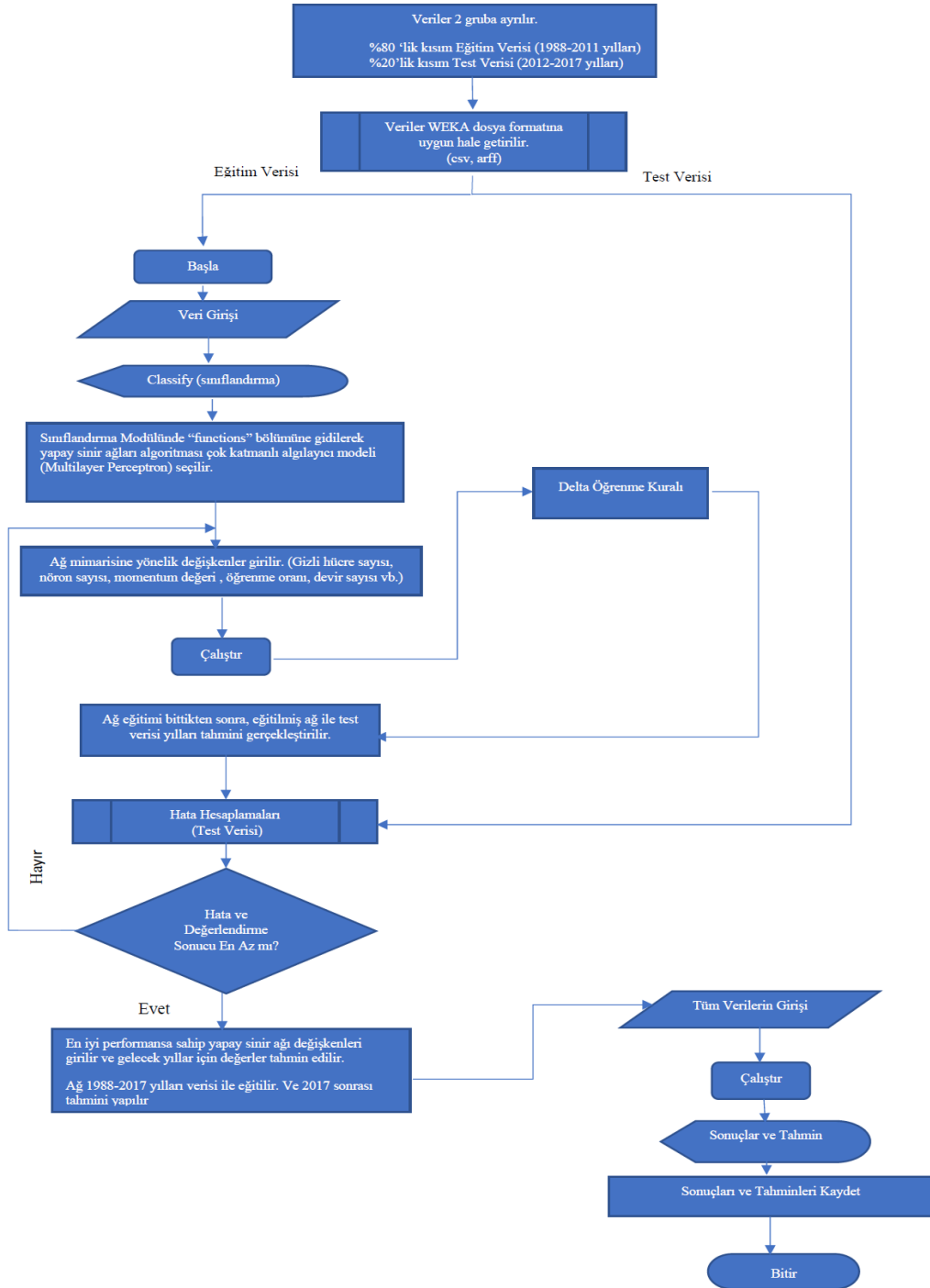
Resim 6.3. a) 2013-2017 yılları için SMOreg algoritması ile tahmini değerleri b) değişimi

Resim 6.3'den de görüleceği üzere 2013 yılı değeri 74 718 071,6 olarak değeri bulunmuştur. Demiryolları yolcu sayısı 2013 yılı için sonraki işlemlerde bu değer kullanılacaktır.

Demiryolları yolcu sayısı için 2013 yılı değeri elde edildikten sonra gelecek yıllar tahmini için yapay sinir ağları modeli oluşturularak bulunmuştur. Yapay sinir ağı modeli WEKA uygulaması yardımıyla oluşturulmakta olup, modelde 1988-2017 yılları geçmiş verileri kullanılmaktadır. WEKA programı, çok katmanlı algılayıcı model ile geri besleme algoritmasını kullanmakta ve öğrenme metodu olarak ise delta kuralı kullanılmaktadır [127].

Oluşturulan yapay sinir ağları modelinde ağın mimari yapısı doğru tahmin için çok önemli olmasından dolayı, en uygun ağın tespiti için farklı ağ yapıları ile deneme yanılma işlemi yapılmaktadır. Bunun için, verilerin %80'lik kısmı olan 1988-2011 yılları ağı eğitmek için kullanılmıştır. Eğitilen ağda verileri %20'lik kısmı olan 2012-2017 yılları tahmin edilerek, gerçek değerler ile her bir oluşturulan ağ yapısı karşılaştırılmaktadır. Son olarak, oluşturulan farklı modeller neticesinde en az hataya sahip ve en iyi performans ölçütünü veren model belirlenerek, Aynı ağ yapısı değişkenleri kullanılarak 2017 sonrası yılları için demiryolları yolcu sayısı değerleri bulunmuştur. İzlenen işlem adımları ile algoritması Şekil 6.21'de gösterilmektedir.

Demiryolları yolcu sayısı bulunması için 17 farklı model tasarlanmış olup, eğitim verileri kullanılarak eğitilen ağ değişkenlerine ait bilgiler Çizelge 6.17’de gösterilmektedir.



Şekil 6.21. Demiryolları yolcu sayısı bulmak için oluşturulan YSA’nın akış diyagramı

Çizelge 6.17. Demiryolları yolcu sayısı bulmak için tasarlanmış YSA ağ değişkenlerine ait bilgiler

Yapay sinir ağı mimarisi	Çok katmanlı algılayıcı geri beslemeli		
Girdiler	Yıllar, Nüfus, GSYH		
Çıktılar	Demiryolları Yolcu Sayısı		
Başlangıç ağırlıkları ve eşikler	WEKA tarafından rastgele belirlenmektedir.		
Öğrenme kuralı	Delta öğrenme kuralı		
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid		
Gizli nöron sayısı	a (WEKA tarafından otomatik olarak girdi sayısını göre belirlenmektedir)		
Ağ eğitim yaklaşımı	Cross Validation değeri 5 (%20) olarak seçilmiştir.		
Yapay Sinir Ağı Model Adı	Öğrenme Oranı	Momentum	Epoch(Devir Sayısı)
DYaydemirH1	0,15	0,2	500
DYaydemirH2	0,15	0,4	500
DYaydemirH3	0,15	0,6	500
DYaydemirH4	0,15	0,8	500
DYaydemirH5	0,3	0,2	500
DYaydemirH6	0,3	0,4	500
DYaydemirH7	0,3	0,2	250
DYaydemirH8	0,3	0,2	100
DYaydemirH9	0,3	0,1	100
DYaydemirH10	0,3	0,1	500
DYaydemirH11	0,1	0,2	100
DYaydemirH12	0,1	0,4	100
DYaydemirH13	0,1	0,6	100
DYaydemirH14	0,1	0,8	100
DYaydemirH15	0,15	0,8	100
DYaydemirH16	0,15	0,05	100
DYaydemirH17	0,15	0,3	100

Yapay sinir ağları eğitim verileri ile 17 farklı modele göre eğitilmiş ve 2012-2017 yılları tahmin verileri farklı değişkenlere göre belirlenmiştir. Oluşturulan modellerde test verileri olan 2012-2017 yılları için tahminleri yapılmış ve bu tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması ve mutlak hata değerlerine ait hesaplamalar yapılmıştır. Modeller sonucu elde edilen değerler ve mutlak hata değerleri Çizelge 6.18’de gösterilmektedir.

Modeller sonucu gerçek değerler ile tahmin sonuçlarının mutlak hata değerleri Çizelge 6.19’da gösterilmektedir

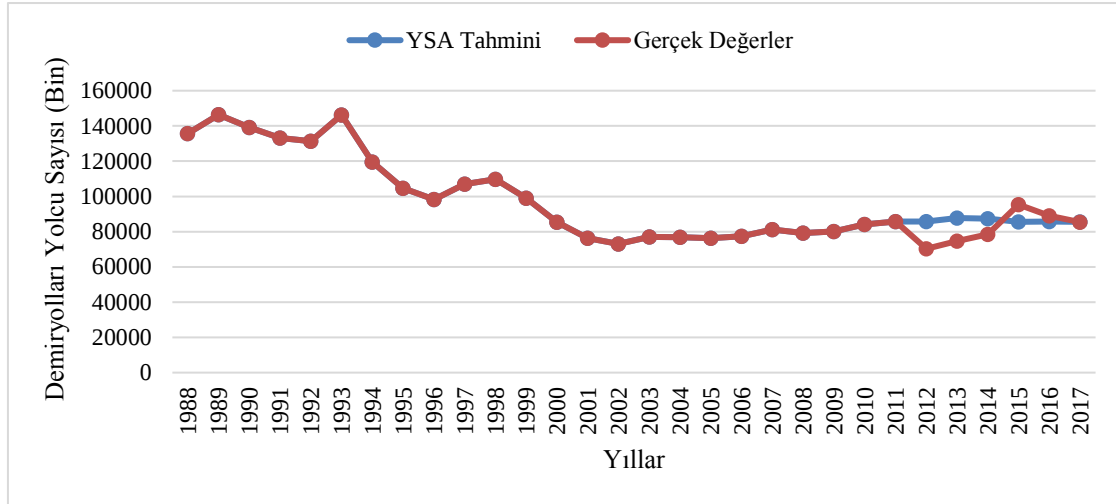
Çizelge 6.18. Demiryolları yolcu sayısı için oluşturulan 17 farklı yapay sinir ağı modelinin gelecek tahmin sonuçları

Yapay Sinir Ağı Model Adı	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Ağın öğrenme korelasyon Katsayısı
Gerçek Yolcu Sayısı (Bin)	70 284	74 718	78 404	95 317	89 038	85 338	-
DYaydemirH1	83 909	85 964	84 857	81 777	81 777	80 795	0,9572
DyaydemirH2	83 684	86 055	84 727	81 173	80 859	79 981	0,9589
DyaydemirH3	84 213	87 661	86 099	81 683	81 520	80 649	0,9547
DyaydemirH4	81 806	87 518	85 528	79 662	80 115	79 593	0,9442
DyaydemirH5	90 268	94 695	94 993	92 864	94 218	94 926	0,9568
DyaydemirH6	93 259	99 148	99 505	96 577	98 266	99 068	0,9504
DyaydemirH7	87 207	90 253	89 831	87 284	87 728	87 623	0,9541
DyaydemirH8	85 771	87 890	87 518	85 585	85 814	85 637	0,9517
DyaydemirH9	85 714	87 790	87 431	85 543	85 775	85 609	0,9532
DyaydemirH10	89 265	93 227	93 481	91 555	92 781	93 432	0,9555
DyaydemirH11	83 779	85 531	84 623	81 918	81 634	80 875	0,9438
DyaydemirH12	83 795	85 741	84 709	81 653	81 314	80 439	0,9471
DyaydemirH13	82 097	84 234	82 901	79 236	78 728	78 728	0,9554
DyaydemirH14	75 415	77 905	75 343	70 071	69 113	67 547	0,9523
DyaydemirH15	76 322	77 782	75 793	72 660	72 184	71 454	0,956
DyaydemirH16	84 353	86 169	85 398	82 893	82 736	82 121	0,9439
DyaydemirH17	83 898	85 863	84 873	81 901	81 604	80 785	0,9481

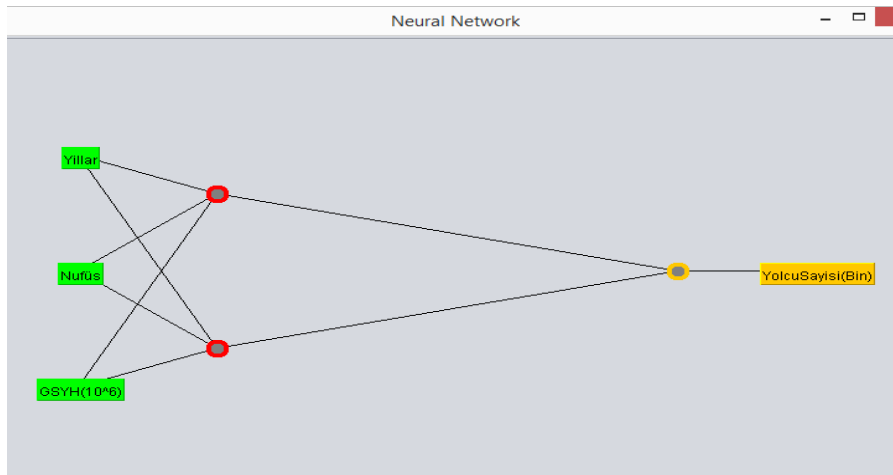
Çizelge 6.19. Modellerin test verisi tahmin sonuçlarının mutlak hata değerleri

Yapay Sinir Ağı Model Adı	2012 Mutlak Hata	2013 Mutlak Hata	2014 Mutlak Hata	2015 Mutlak Hata	2016 Mutlak Hata	2017 Mutlak Hata	Ortalama Mutlak Hata
DyaydemirH1	13 625	11 246	6 453	13 540	7 261	4 543	9 445
DyaydemirH2	13 400	11 337	6 323	14 144	8 179	5 357	9 790
DyaydemirH3	13 929	12 943	7 695	13 634	7 518	4 689	10 068
DyaydemirH4	11 522	12 800	7 124	15 655	8 923	5 745	10 295
DyaydemirH5	19 984	19 977	16 589	2 453	5 180	9 588	12 295
DyaydemirH6	22 975	24 430	21 101	1 260	9 228	13 730	15 454
DyaydemirH7	16 923	15 535	11 427	8 033	1 310	2 285	9 252
DyaydemirH8	15 487	13 172	9 114	9 732	3 224	299	8 505
DyaydemirH9	15 430	13 072	9 027	9 774	3 263	271	8 473
DyaydemirH10	18 981	18 509	15 077	3 762	3 743	8 094	11 361
DyaydemirH11	13 495	10 813	6 219	13 399	7 404	4 463	9 299
DyaydemirH12	13 511	11 023	6 305	13 664	7 724	4 899	9 521
DyaydemirH13	11 813	9 516	4 497	16 081	10 310	6 610	9 805
DyaydemirH14	5 131	3 187	3 061	25 246	19 925	17 791	12 390
DyaydemirH15	6 038	3 064	2 611	22 657	16 854	13 884	10 851
DyaydemirH16	14 069	11 451	6 994	12 424	6 302	3 217	9 076
DyaydemirH17	13 614	11 145	6 469	13 416	7 434	4 553	9 439

Modeller sonucu gelecek yılları tahmin etmede en az ortalama mutlak hata değerine sahip model DyaydemirH9 modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin 2012-2017 yılları tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması Şekil 6.22’de gösterilmektedir. Şekil 6.23’de ise modelin yapay sinir ağı modeli mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 6.22. DyaydemirH9 modeli sonucu gelecek tahmini ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

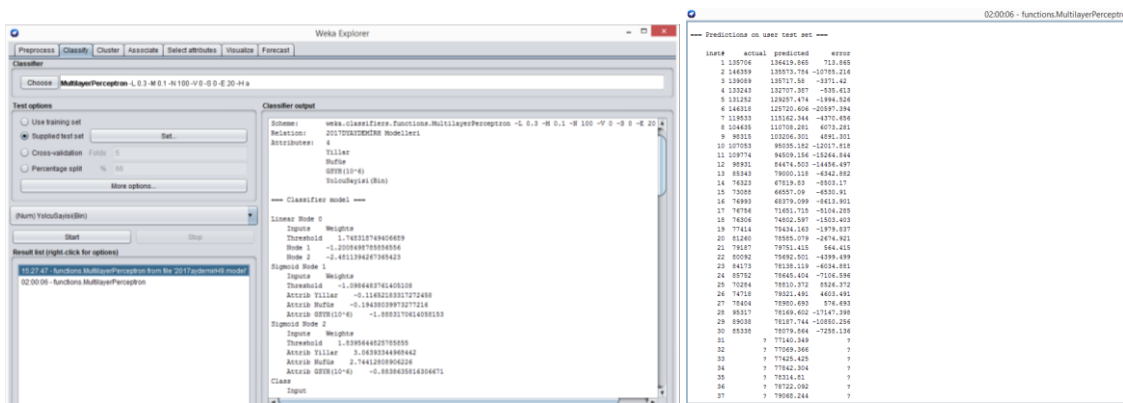


Şekil 6.23. Yapay sinir ağı DyaydemirH9 modeli mimari yapısı

1988-2011 yılları GSYH, nüfus ve yıl verileri ile çeşitli modeller oluşturularak ağ eğitilmiş ve modellerin 2012-2017 yılları tahmin sonuçlarından en iyi performansa sahip modele dair değişkenler belirlenmiştir. Belirlenen en iyi modele dair parametreler kullanılarak 2017 yılı sonrasına dair demiryolları yolcu sayıları tahmini gerçekleştirilecektir. Bunun için yukarıda en iyi performansa sahip modelin değişkenleri ve yapısı kullanılarak 1988-2017 yılları için

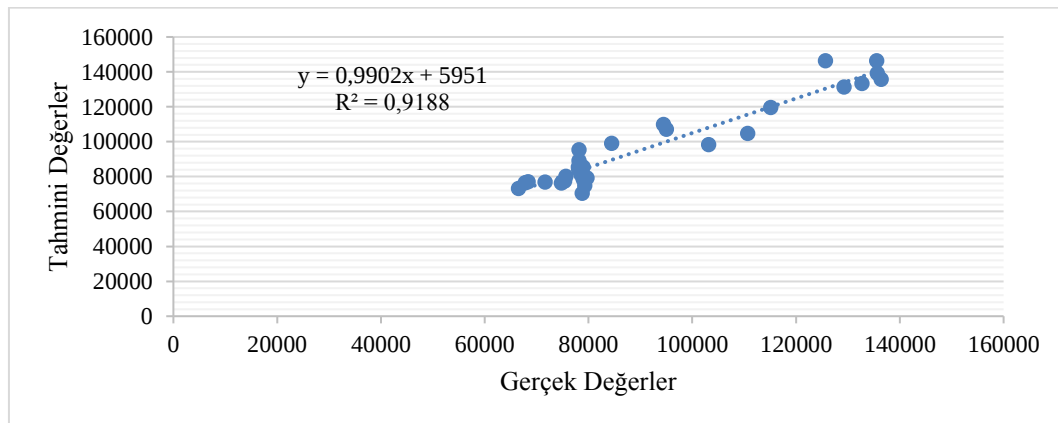
ağı eğitilerek 2017 yılı sonrasındaki süreç (2038 yılına kadar) için demiryollarının yolcu sayısı değerleri tahmin edilmiştir. En iyi gelecek yıllar değişkenlerine sahip olan DyaydemirH9 modelindeki YSA değişkenleri yine aynı şekilde WEKA 'ya girilmiş ve 2018-2038 yılları değerleri elde edilmiştir.

1988-2017 yılları verileri ile eğitilen DyaydemirH9 yapay sinir ağı modelinin verilerle eğitilme sonrasına dair ağırlık değerleri ve eşik değerlerine ait bilgilerin bulunduğu WEKA ekran resmi ile tahmin ekranı görüntüleri Resim 6.4'de gösterilmektedir.



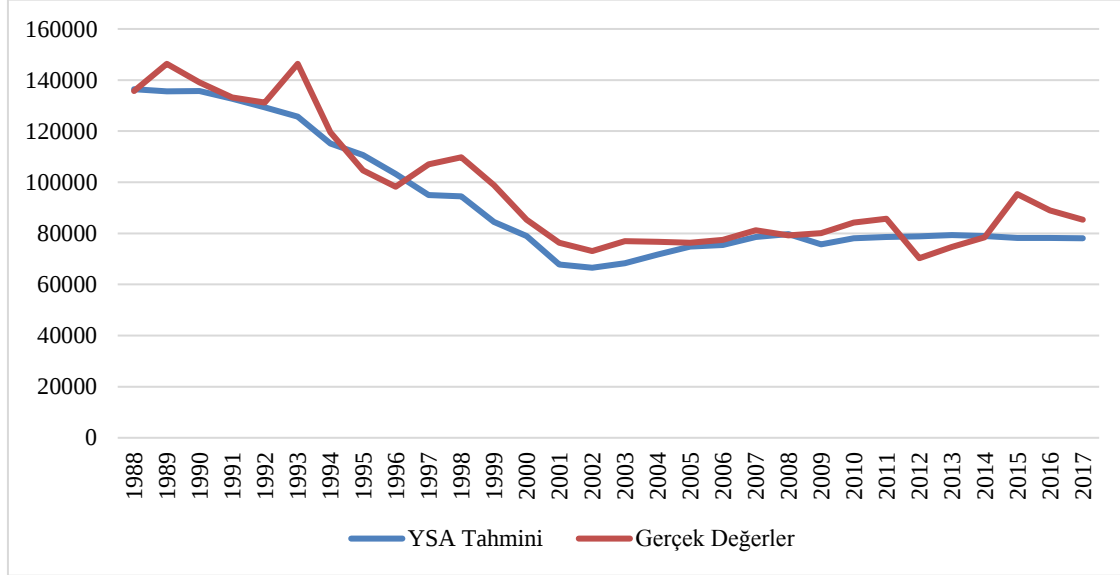
Resim 6.4. DyaydemirH9 yapay sinir ağı modelinin eğitim sonrası ağırlık değerleri ve eşik değerlerine ait bilgilerin bulunduğu WEKA ekran görüntüleri

Tahmin sonucu olarak korelasyon katsayısı 0,9585, MAE 6 779,7826 olarak bulunmuştur. Gerçek değer ile tahmin değerlerinden yola çıkılarak bulunan MAPE değeri ise %7,10 olarak hesaplanmıştır. YSA tahmini ile gerçek değerlerin saçılma diyagramı ile karşılaştırılması Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'te gösterilmektedir.

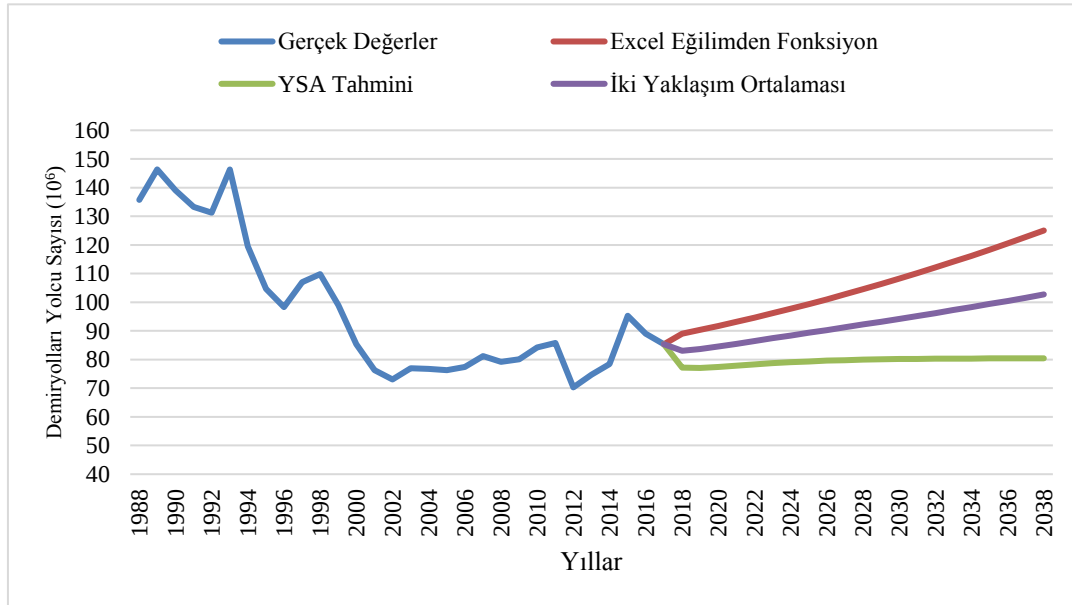


Şekil 6.24. YSA tahmini ile gerçek değerlerin saçılma diyagramı

Demiryolları yolcu sayısı için yapılan yaklaşımların karşılaştırılması Şekil 6.26’da gösterilmektedir.



Şekil 6.25. Demiryolları yolcu sayısı DyaaydemirH9 YSA modeli tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması



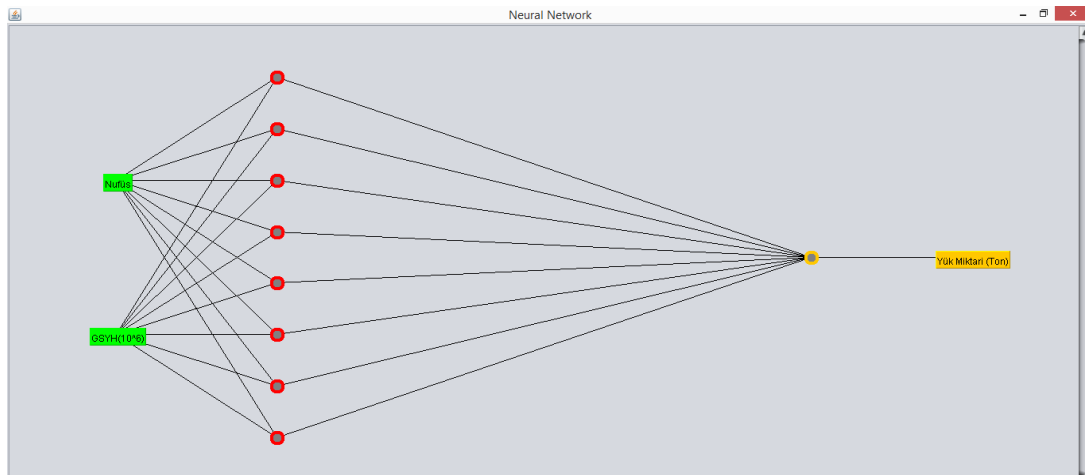
Şekil 6.26. Demiryolları yolcu sayısı için yapılan yaklaşımlar

Her iki yaklaşım değerlendirilirse, eğilimden fonksiyon oluşturma sonucu elde edilen demiryolları yolcu sayısının değerinin çok hızlı bir şekilde arttığı görülürken, YSA ile elde edilen değerlerin daha durağan bir şekilde arttığı görülmektedir. Geçmiş yıllardaki 2002-

2011 yılları arasındaki süreçte yolcu sayısında değişim daha düzenli olduğu görülmektedir. Bu yıllar için yıllık ortalama demiryolları yolcu sayısı değişim değeri 1 407 110'dur. 2017 yılından itibaren bu sayı eklenerek 2038 yılına gelinir ise YSA tahminin geride kaldığı, eğilim fonksiyonu yaklaşımın ise daha büyük değer alması nedeniyle her iki yaklaşımında gelecek yıllar demiryolları yolcu sayısı değerini tam anlamıyla aktarmadığı düşünülmektedir. Çünkü ileride hem demiryollarının yolcu sayısını etkileyecek olan demiryolları hatlarının çoğalması hem de yeni tren seferlerinin ekleneceği ve sefer sayılarının artacağı düşünülmektedir. YSA tahmininde nüfus, GSYH ve yıl faktörü dikkate alınırken bunlar alınmadığı için geçmiş verilere yönelik daha durağan tahmin değerleri elde ettiği görülmektedir. Bu yüzden gelecek yıllar demiryolları yolcu sayısı değeri her iki yaklaşımın ortalaması olarak kabul edilmiştir. Kullanılan demiryolu yolcu sayısı verileri EK-5'te gösterilmektedir.

Demiryollarında taşınan yük miktarı

Taşınan ton değerleri gelecek yıllar için WEKA'da yapay sinir ağları ile tahmin edilmektedir. Yapay sinir ağlarında girdi değişkenleri olarak nüfus ve GSYH seçilmiş olup, çıktı değeri olarak demiryollarında taşınan yük miktarı olarak belirlenmiştir. YSA ağ mimarisi Şekil 6.27'de gösterilmektedir.



Şekil 6.27. Demiryolları yük miktarı için oluşturulan YSA modeli ve ağ mimarisi

Demiryollarının yük miktarı değerlerine bakıldığında 2002 yılından itibaren daha düzenli bir değişim gösterdiği görülmektedir. Bu yüzden, gelecek yılları tahmin etme verileri olarak 2002-2018 yılları değerleri temel alınmıştır [7, 12] WEKA programında işlem adımları

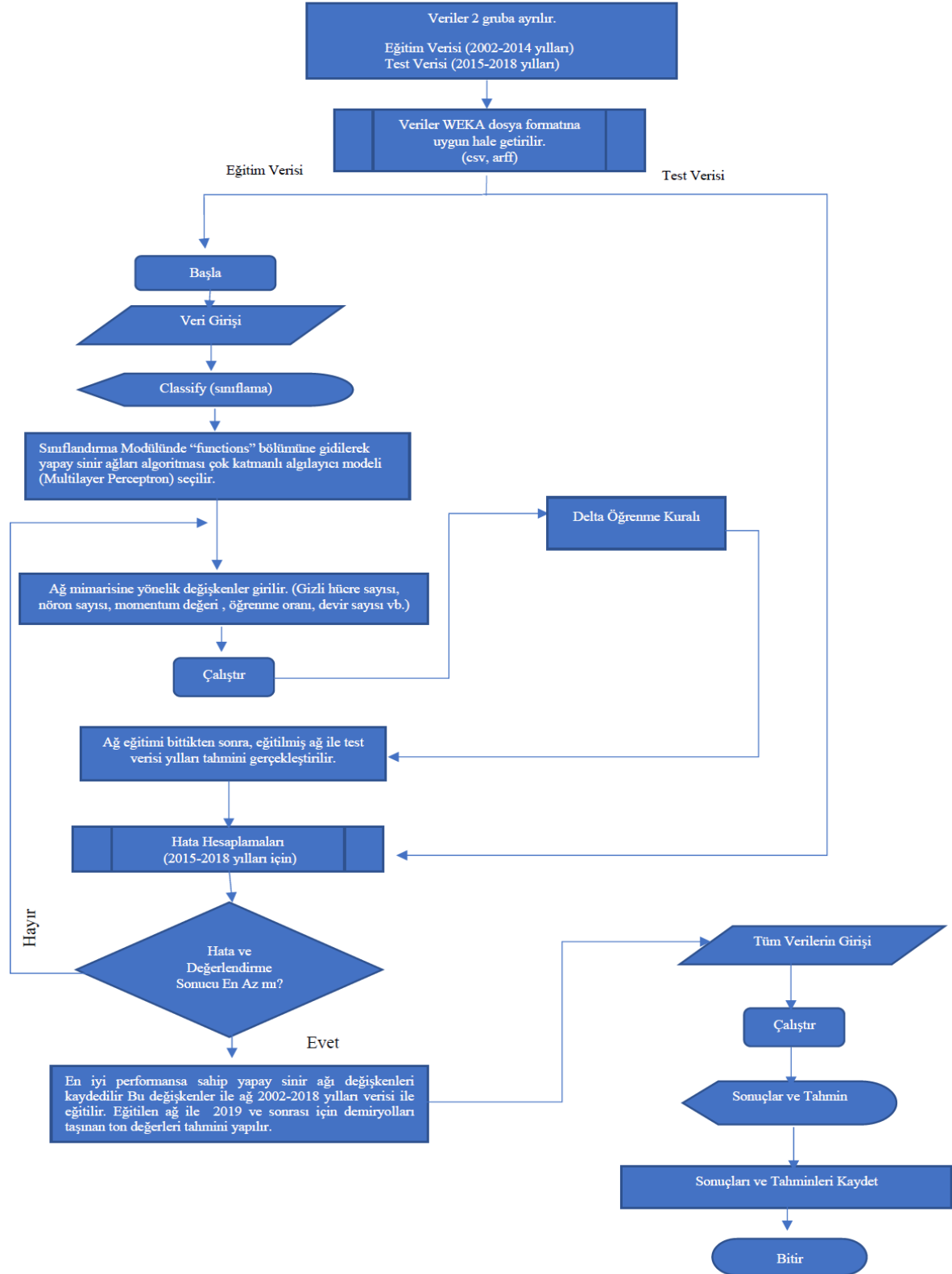
demiryolları yolcu sayısı yapay sinir ağları ile gelecek yıllar verileri tahmin çalışmasında anlatıldığı gibi taşınan ton için ayrıca uygulanmıştır. En iyi performansı gösteren algoritmayı bulmak için öncelikle temel değerler kabul edilen 2002-2018 yılları verisinin; 2002-2014 yılları verileri ile ağ farklı algoritmalar ile eğitilmiş ve 2015-2018 yılları değerleri tahmini yapılarak en az hataya sahip ağ değişkenleri belirlenmiş, belirlenen en iyi performans gösteren değişkenler ile de 2002-2018 yılları verileri aynı model ile eğitilerek 2019 ve sonrası demiryolları taşınan yük miktarı verileri tahmin edilmiştir. Oluşturulan algoritma aşağıda Şekil 6.28’de gösterilmektedir. Demiryolları yük miktarlarının gelecek yıllar değerinin bulunması için 17 farklı model tasarlanmış olup, eğitim verileri kullanılarak eğitilen ağ değişkenlerine ait bilgiler Çizelge 6.20’de gösterilmektedir.

Çizelge 6.20. 17 farklı model tasarlanmış olup, eğitim verileri kullanılarak eğitilen ağ değişkenleri

Yapay sinir ağı mimarisi	Çok katmanlı algılayıcı geri beslemeli		
Girdiler	Nüfus, GSYH		
Çıktılar	Demiryolları Yük Miktarı		
Başlangıç ağırlıkları ve eşikler	WEKA tarafından rastgele belirlenmektedir.		
Öğrenme kuralı	Delta öğrenme kuralı		
Aktivasyon fonksiyonu	Sigmoid		
Gizli nöron sayısı	8		
Ağ eğitim yaklaşımı	Cross Validation (çapraz doğrulama) değeri 5 kat (%20) olarak seçilmiştir.		
Yapay Sinir Ağı Model Adı	Öğrenme Oranı	Momentum	Epoch (Devir Sayısı)
DtaydemirH1	0,15	0,20	500
DtaydemirH2	0,15	0,40	500
DtaydemirH3	0,15	0,60	500
DtaydemirH4	0,15	0,80	500
DtaydemirH5	0,30	0,20	500
DtaydemirH6	0,30	0,40	500
DtaydemirH7	0,30	0,20	250
DtaydemirH8	0,30	0,20	100
DtaydemirH9	0,30	0,10	100
DtaydemirH10	0,30	0,10	500
DtaydemirH11	0,10	0,20	100
DtaydemirH12	0,10	0,40	100
DtaydemirH13	0,10	0,60	100
DtaydemirH14	0,10	0,80	100
DtaydemirH15	0,15	0,80	100
DtaydemirH16	0,15	0,05	100
DtaydemirH17	0,15	0,30	100

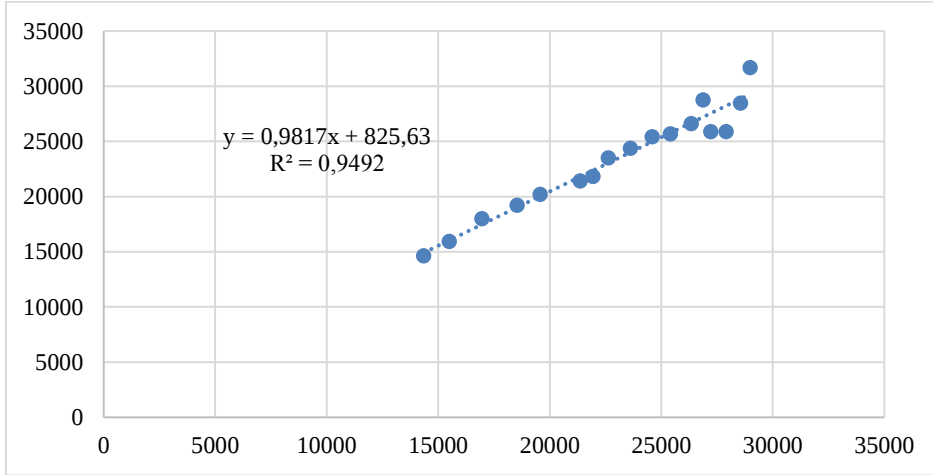
Yapay sinir ağları eğitim verileri ile 17 farklı modele göre eğitilmiş ve 2015-2018 yılları tahminleri belirtilen değişkenlere göre yapılmıştır Oluşturulan modellere göre test

verilerinin (2015-2018 yılları) modellere göre tahmin sonuçları ile karşılaştırılması ve mutlak hata değerleri Çizelge 6.21’de gösterilmektedir.

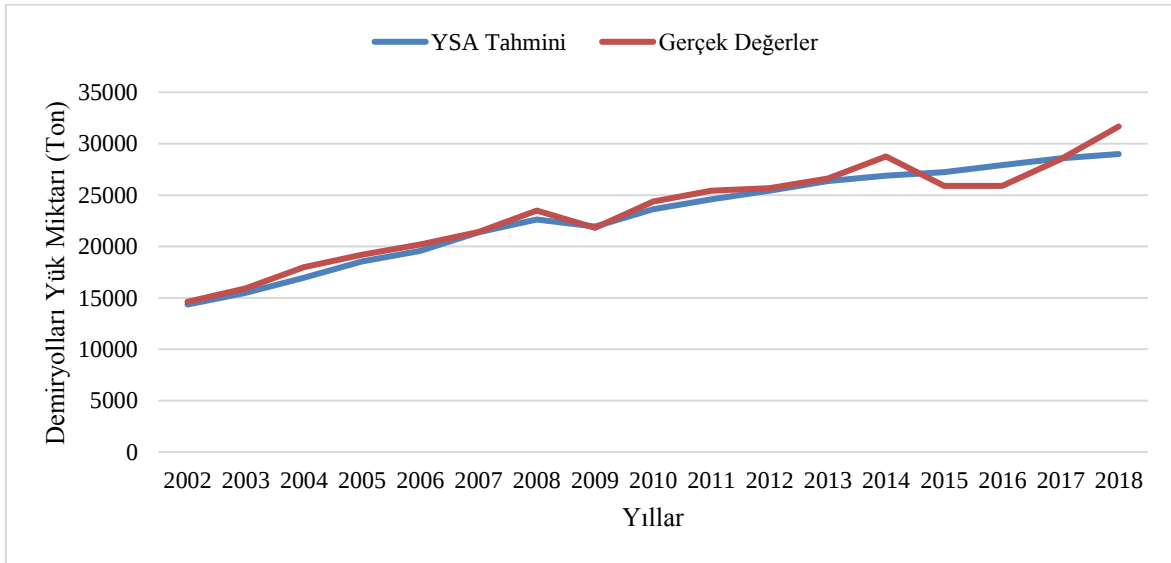


Şekil 6.28. Demiryolları yük miktarı tahmini için oluşturulan YSA modeli algoritması

2002-2018 yılları verileri ile eğitilen DtaydemirH5 yapay sinir ağı modeli tahminleri ile gerçek değerlerin saçılma diyagramı Şekil 6.29'da YSA tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması ise Şekil 6.30'da gösterilmektedir.



Şekil 6.29. DtaydemirH5 YSA modeli tahminleri ile gerçek değerlerin saçılma diyagramı



Şekil 6.30. YSA demiryolları yük miktarları tahmini ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

Buna göre DtaydemirH5 YSA modeli ile korelasyon katsayısı 0,87, MAPE değeri ise %3,39 çıkmıştır. Bu değerler, gelecek yıllar için oluşturulan YSA tahminleri için oldukça uygun değerlerdir. Bulunan değerler ve demiryollarında gelecek yıllar için yük miktarlar EK-6'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.22. Demiryolları yük miktarlarının gerçek değerler ile DtaydemirH5 modeli tahminlerinin karşılaştırılması ve MAPE değeri

Yıllar	DtaydemirH5 Modeli Tahmini	Gerçek Değerler (Ton)	Mutlak Fark	MAPE (%)
2002	14 354	14 616	262	1,80
2003	15 502	15 941	439	2,75
2004	16 965	17 989	1 024	5,69
2005	18 541	19 195	654	3,41
2006	19 582	20 185	603	2,99
2007	21 366	21 404	38	0,18
2008	22 638	23 491	853	3,63
2009	21 950	21 813	137	0,63
2010	23 619	24 355	736	3,02
2011	24 597	25 421	824	3,24
2012	25 411	25 666	255	0,99
2013	26 354	26 597	243	0,91
2014	26 879	28 747	1 868	6,50
2015	27 224	25 878	1 346	5,20
2016	27 910	25 886	2024	7,82
2017	28 562	28 469	93	0,33
2018	28 993	31 673	2 680	8,46
Ortalama MAPE (%)				3,39

Demiryollarında gelecek yıllar yolcu-km ve ton-km değerleri

Demiryollarında gelecek yıllar için ton-km değerleri bu tezin Çizelge 6.3’de gösterilen değerler kullanılmaktadır. Demiryollarında gelecek yıllar için yolcu-km değerleri bu tezin Çizelge 6.6’da gösterilen değerler kullanılmaktadır.

6.2.3. YSA-1 modeli ve gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimleri tahmin değerleri

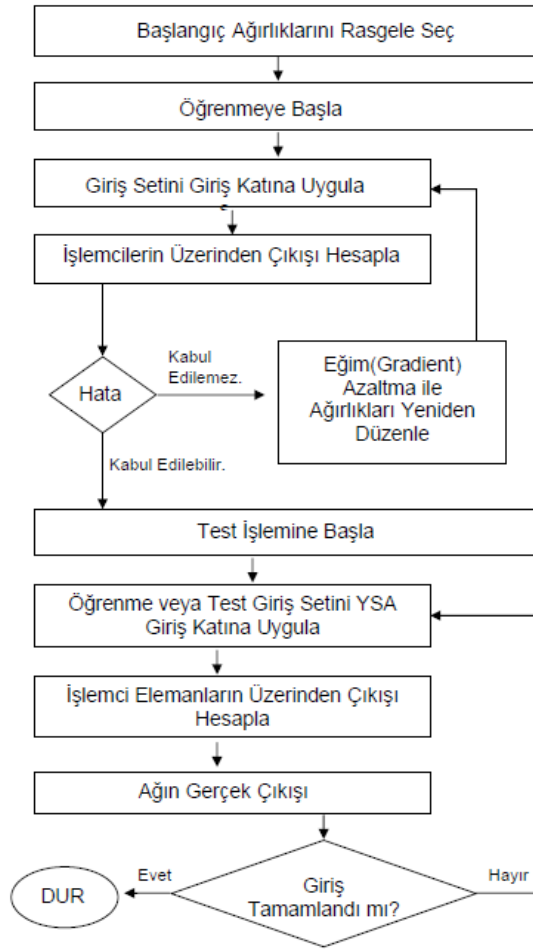
İlk olarak; oluşturulan YSA modelinin en uygun değişkenlere sahip değişkenlerin bulmasına yönelik, öncelikle elimizdeki mevcut bulunan veriler iki bölümü ayrılmaktadır. Bu verilerin bazı yıllardaki verileri ile ağ farklı değişkenlere göre eğitilmiş ve eğitilen yapay sinir ağına modeline göre ve daha önce ağa tanıtılmayan 1995, 2000, 2005, 2010 ve 2015 yılları verileri tahmin edilmiştir. Mevcut ağ eğitiminde kullanılan test verisi dışındaki 1988-2018 yıllarındaki verilerin ise toplam verilerin %13’ü ayrıca test ve %13’ü de doğrulama için yapay sinir ağının eğitiminde kullanılmıştır. Diğer bir ifade ile yapay sinir ağlarının gelecek tahmin başarısını yapay sinir ağının hiç görmediği yıllar olan rastgele seçilen 1995, 2000, 2005, 2010 ve 2015 yılları verileri için gelecekteki tahmin başarısını değerleri ile

ölçülmektedir. Diğer veriler ile de ağ eğitimi gerçekleştirilmektedir. YSA-1 modeli için verilerin dağılımına ilişkin bilgiler Çizelge 6.23’de gösterilmektedir.

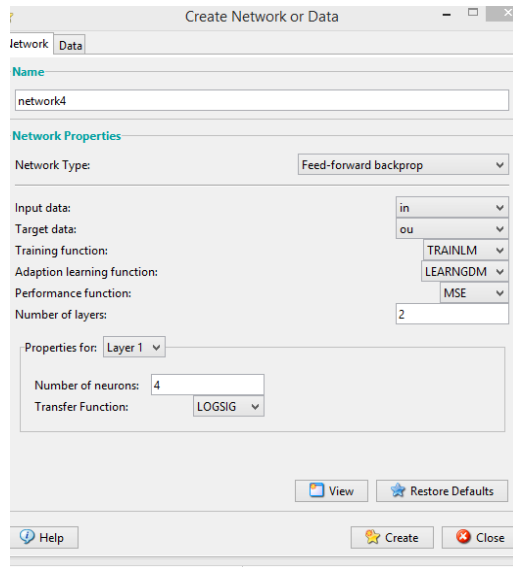
Çizelge 6.23. YSA-1 modeli tüm veriler ve verilerin dağılımı

Açıklama		Veri Sayısı		Tüm Verilere Göre Yüzdesi	
Gelecek yıllar tahmin başarısı performansı (Ağın hiç görmediği ve tahmin yaptırılması için seçilen rastgele yıllar olan; 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 yılları)		5		%16	
Ağın Eğitimi	Ağ Eğitimi Verileri	26	18	%58	%84
	Ağ Eğitimi için Test Verileri		4	%13	
	Ağ Eğitimi için Geçerlilik Verileri		4	%13	
Yapay sinir ağı modeli için deneme yapılan toplam yıl verileri (tahmin, test ve geçerlilik verileri toplamı)		13 (5 + 4 + 4)		%42	
Toplam Veri Sayısı		1988-2018 yılları (31 adet veri)		%100	

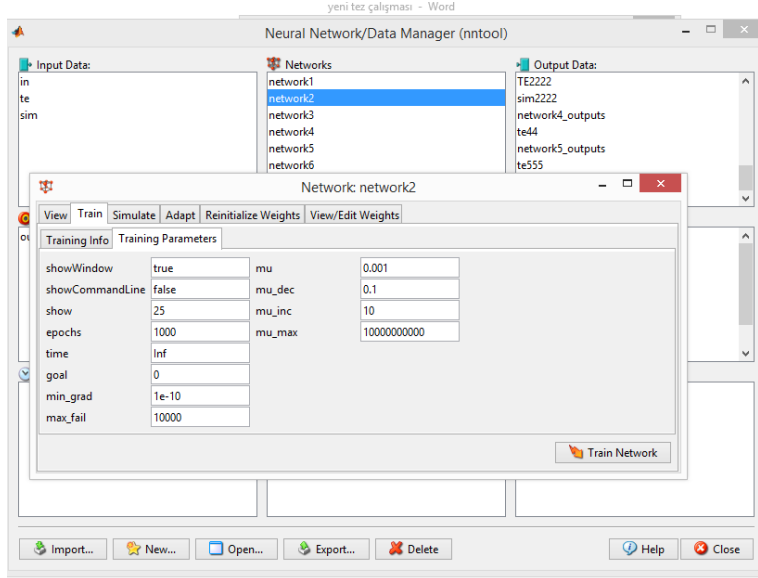
YSA-1 modeli için; çeşitli parametrelerde ve tasarımında seçimler yapılarak bunlarda değişikliğe gidilmeksizin en iyi modele ulaşmak amacıyla sadece gizli katmandaki nöron sayıları değiştirilerek her bir model için denemeler yapılmış, bu denemelerdeki nöron sayısına göre ağ eğitilmiştir. Eğitilen yapay sinir ağında, ağın daha önce eğitilmesi için ağa tanıtılmayan ve hiç görmediği, tahmin yaptırılması için seçilen rastgele yıllar olan; 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 yılları sonuçlarının değerleri ile gerçek değerleri karşılaştırma yapılarak irdelenmiştir. Bulunan tahmin ve gerçek değerler için en küçük MAE değerine sahip model en iyi performans gösteren model olarak seçilmiştir. Seçilen bu model parametreleri modeli gelecek demiryolları enerji tüketimi tahminine yönelik oluşturulan YSA modeli olarak kabul edilmektedir. Yapay sinir ağında geri yayılım algoritması seçilmiş olup, algoritma işleyişi Şekil 6.31’de gösterilmektedir. Diğer taraftan nöron sayısı hariç yapay sinir ağı oluşturmaya dair belirlenen değişkenler ile YSA modellerinin matlab’da nasıl oluşturulduğu, matlab ekran resmi olarak verilen Resim 6.6’da ve Resim 6.7’de gösterilmektedir.



Şekil 6.31. Yapay sinir ağında geri yayılım algoritması işleyişi [218]



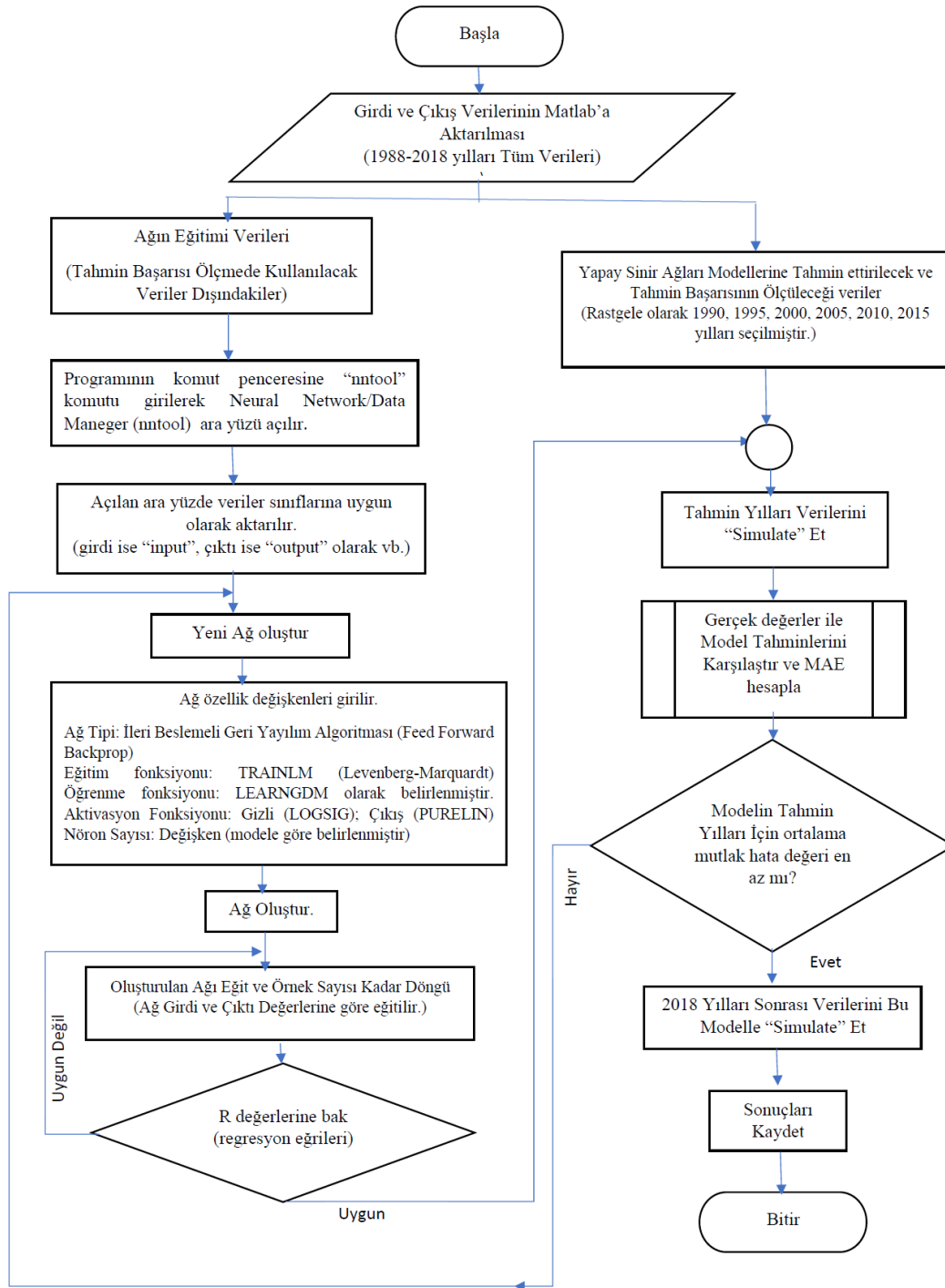
Resim 6.6. YSA-1 modelleri için ağ oluşturmaya yönelik değişkenler



Resim 6.7. Oluşturulan ağların eğitim parametreleri MATLAB ekran görüntüsü

Resim 6.6 ve 6.7’den görüleceği üzere YSA demiryolları enerji talebi tahmin modellerinin oluşturulduğu ağlar, ileri beslemeli geri yayımlı (Feed-Forward Backpropagation) bir ağ olup; eğitim fonksiyonu TRAINLM (Levenberg-Marquardt), öğrenme fonksiyonu LEARN_GDM olarak belirlenmiştir. Ayrıca TARINLM algoritmasıyla ağın eğitilmesinde daha hızlı probleme yönelik çözümler oluşturduğu görülmektedir [219]. Performans fonksiyonu olarak “MSE” hata kareleri ortalaması seçilmiştir. Ağlarda; dört girdi değişkenleri olup, bir çıktı değeri olmak üzere gizli katman ve çıkış katmanları olmak üzere toplam iki katmandan oluşmaktadır. Gizli katman transfer fonksiyonu olarak LOGSIG, çıkış katmanı olarak ise PURELIN seçilmiştir. Ağ eğitiminde hedef sıfır, epoch 1000 maksimum hata 10000 ve minimum gradient 1^{-10} seçilmiştir.

YSA için 1988-2018 yılları için, her yıla dair demiryollarındaki enerji tüketim, yolcu sayısı, taşınan ton miktarı, nüfus, GSYH verisi kullanılmıştır. YSA-1 modeli için izlenen işlem adımları ve modelin oluşturulmasına yönelik algoritma aşağıda Şekil 6.32’de gösterilmektedir.



Şekil 6.32. YSA-1 modeli için izlenen işlem adımları ve algoritması

Her modelde bu parametreler aynı kalarak sadece nöron sayıları değiştirilmiş ve değiştirilen modellerin tahmin yılları verileri için en az hata değerine sahip yapay sinir ağı modeli en iyi performansı gösteren model olarak belirlenmiştir. Bu modelle girdi verileri girilerek 2019 ve sonrası yılları demiryolları enerji talebi tahmini çıktı verileri olarak elde edilmiştir.

Resim 6.6 ve Resim 6.7’deki parametreler aynı olmak kaydı ile nöron sayılarında deneme yöntemi uygulanmış, uygulanan modeller Çizelge 6.24’de sıralı olarak verilmektedir.

Çizelge 6.24. Oluşturulan YSA-1 modeline ilişkin bilgiler

Ağ Tipi	İleri Beslemeli Geri Yayılım Algoritması (Feed Forward Backprop)
Eğitim Fonksiyonu	Trainlm
Öğrenme Fonksiyonu	Learnlrm
Aktivasyon Fonksiyonu	Logsig/purelin
Performans fonksiyonu	MSE
Model Tahmin Performansı	Ağa girilmeyen 1995, 2000, 2005, 2010 ve 2015 yılları mutlak hata değerleri
Model Adı	Model Tasarımı (Girdi Sayısı-Nöron Sayısı-Çıktı Sayısı)
NN1	4-2-1
NN2	4-4-1
NN3	4-6-1
NN4	4-8-1
NN5	4-10-1
NN6	4-12-1
NN7	4-14-1
NN8	4-16-1
NN9	4-18-1
NN10	4-20-1

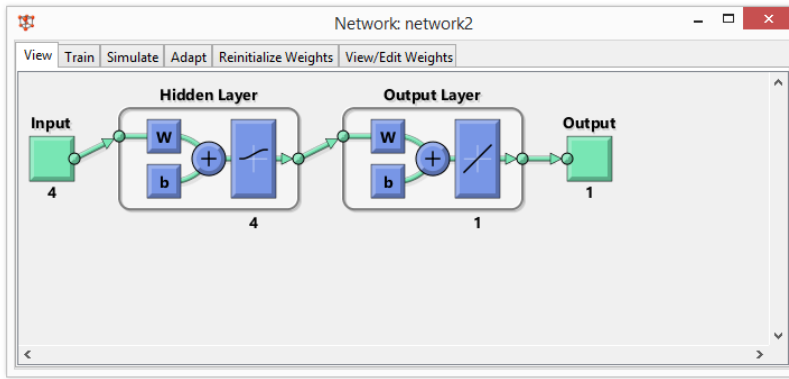
Çizelge 6.24’de belirtilen tüm modeller ağ eğitimi yapılarak tahmin yılları değerleri elde edilmiştir. Modeller sonucu ağa daha önce tanıtılmayan değerler için sonuçları ve mutlak hata değerleri Çizelge 6.25. gösterilmektedir.

Çizelge 6.25. Nöron sayısı belirlemek için en iyi YSA modelinin geliştirilmesi amacıyla oluşturulan modellerin tahmin sonuçları ile mutlak hata değerleri

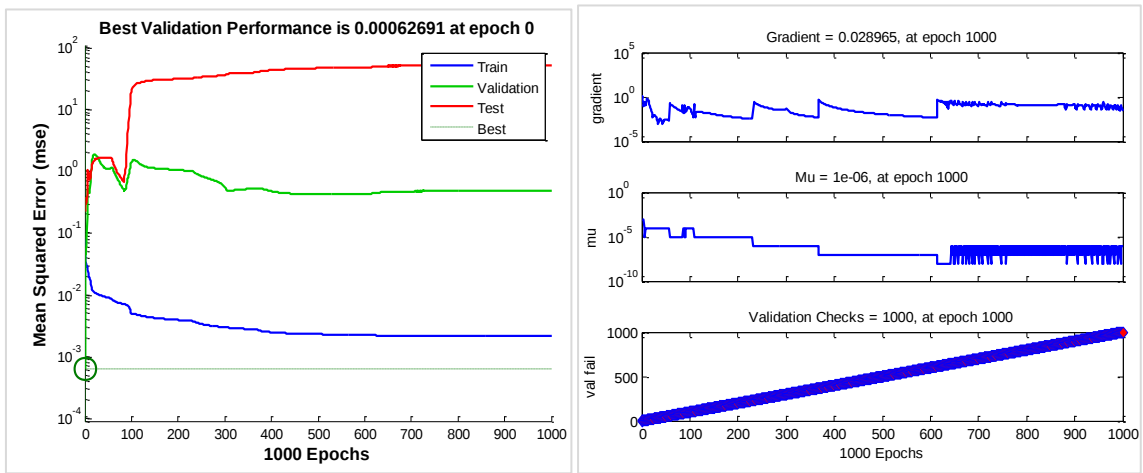
Yıl	Gerçek Değerler	Model NN1	Model NN2	Model NN3	Model NN4	Model NN5	Model NN6	Model NN7	Model NN8	Model NN9	Model NN10
1995	11,556	10,730	11,479	11,518	12,371	11,497	11,462	11,316	11,421	11,568	12,177
2000	11,304	11,636	11,689	11,865	10,991	11,534	11,591	11,769	10,446	12,701	8,676
2005	11,927	11,828	11,228	11,409	13,170	10,693	11,551	11,624	11,819	13,230	11,427
2010	7,684	7,669	8,067	6,676	7,719	6,401	7,726	6,897	7,124	8,039	6,131
2015	8,739	7,860	8,796	7,717	6,140	7,545	7,822	7,185	8,780	8,223	7,815
Mutlak Hata Değerleri											
Yıl	Model NN1	Model NN2	Model NN3	Model NN4	Model NN5	Model NN6	Model NN7	Model NN8	Model NN9	Model NN10	
1995	0,826	0,076	0,037	0,816	0,059	0,093	0,240	0,135	0,013	0,621	
2000	0,332	0,384	0,560	0,313	0,230	0,286	0,464	0,858	1,397	2,629	
2005	0,099	0,698	0,518	1,243	1,234	0,376	0,303	0,108	1,303	0,500	
2010	0,015	0,383	1,008	0,036	1,282	0,042	0,787	0,559	0,355	1,552	
2015	0,879	0,057	1,022	2,599	1,195	0,917	1,554	0,040	0,516	0,924	
Ortalama Mutlak Hata	0,4301	0,3198	0,6291	1,0012	0,7999	0,3428	0,6695	0,3401	0,7168	1,2453	

Çizelge 6.25’den görüldüğü üzere en iyi sonucu 4-4-1 modeli vermiş olup, MAE değeri diğerlerine göre daha düşük olup; 0,3198’dir. Bu yüzden, nöron sayısı 4 olarak seçilmiştir.

Şekil 6.33’de belirlenen değişkenlere göre oluşturulan YSA-1 modeli sonucu MATLAB programı çıktı değerleri gösterilmektedir. Oluşturulan model sonucu eğitim verileri ile ilgili verilerin değerlendirme grafikleri Şekil 6.34 ve oluşturulan YSA-1 modeli test, eğitim, geçerlilik eğrileri ve R değerleri ise Şekil 6.35’te gösterilmektedir.

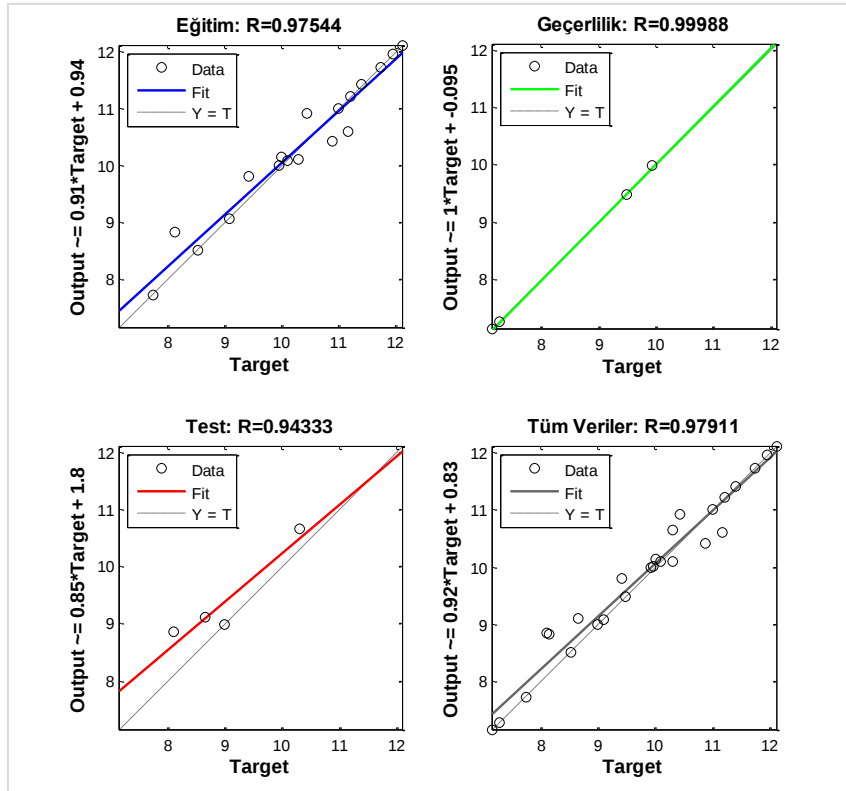


Şekil 6.33. Kullanılacak olan YSA-1 model mimarisi ve tasarımı



Şekil 6.34. En iyi geçerlilik değeri ve hata grafiği ile devir sayısı-eğim değişimi

Şekil 6.34’den görüleceği üzere en iyi performans değeri 0,00062691 ile o epoch değerinde olmuştur.



Şekil 6.35. Oluşturulan YSA’da modelin ağ eğitimi verileri için; eğitim, geçerlilik, test ve tüm verilerin R değerleri ve gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğimi

Şekil 6.35’ten de görüleceği üzere geçerlilik R değeri 0,99988, tüm verilerin 0,97911 olarak bulunmuştur. Bu değerler gerçek değerler ile tahmin değerlerinin oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir.

YSA-1 modelinin eğitimi sonucunda oluşan ağırlık ve bias değerleri aşağıda belirtilmiş ve ekran matlab ekran resimleri görüntüleri Resim 6.8’de gösterilmiştir.

YSA-1 modelinin eğitimi sonucunda oluşan ağırlık ve eşik değerleri;

iw{1,1} - Weight to Layer 1 from input 1;

[0.028778 -0.75463 1.4223 0.66408;

16.8363 2.9898 -4.0394 19.9796;

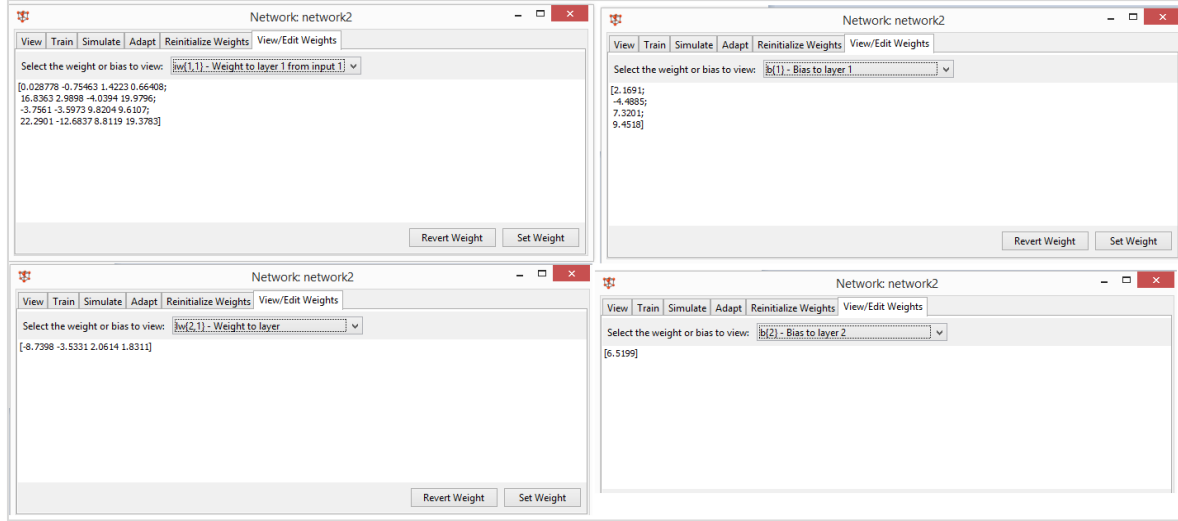
-3.7561 -3.5973 9.8204 9.6107;

22.2901 -12.6837 8.8119 19.3783]

lw{2,1}-Weight to Layer 2; [-8.7398 -3.5331 2.0614 1.8311]

b{1}-Bias to Layer 1;

[2.1691;
 -4.4885;
 7.3201;
 9.4518]
 b{2}-Bias to Layer 2; [6.5199]



Resim 6.8. YSA-1 modelinde eğitim sonucu oluşan ağırlık ve bias değerleri ekran görüntüleri

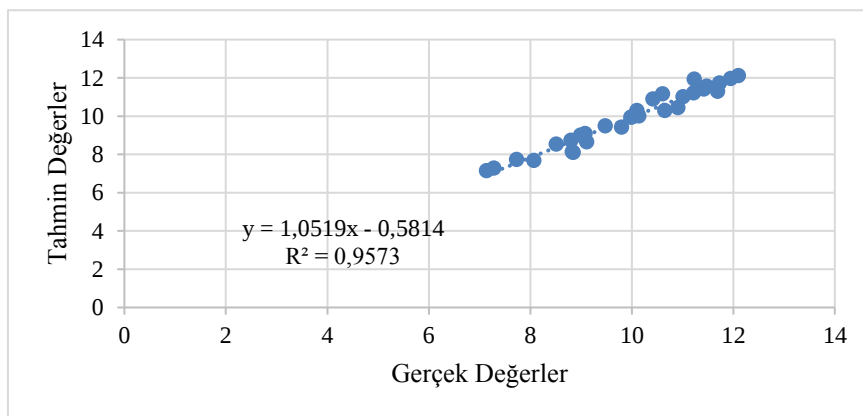
Oluşturulan YSA modelinin 1988-2018 yılları tahmini ile gerçek değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 6.26.'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.26'dan da görüleceği üzere YSA-1 modeli için MAPE değeri hata oranı %2,12; RMSE değeri 0,318 dolaylarında olmuş olup, oldukça başarılı olduğu kabul edilebilir düzeydedir. Bu değerler, performans olarak modelin iyi düzeyde olduğunu göstermektedir.

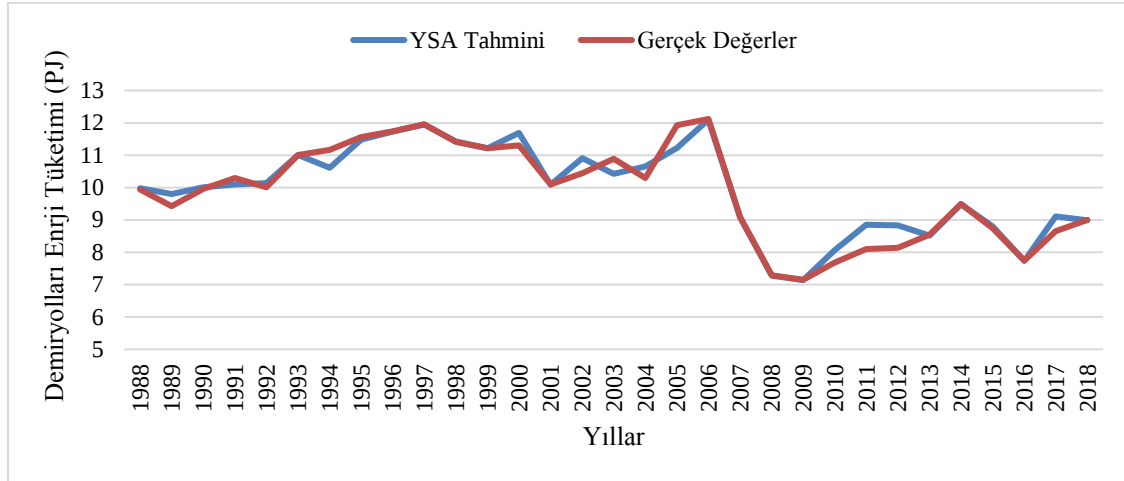
Şekil 6.36'da YSA-1 modelinin tahminleri ile girdi verilerinin gerçek değerlerinin dağılımı gösterilmektedir. Çizelge 6.27'de YSA-1 modeli ile gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerleri gösterilmektedir. Şekil 6.37'de ise YSA-1 modelinin tahminleri ile girdi verilerinin gerçek değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil 6.38'de YSA-1 modeli ile bulunan gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Çizelge 6.28'de YSA-1 modeli ile gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerleri ile diğer değerler birlikte gösterilmektedir.

Çizelge 6.26. Oluşturulan YSA-1 modelinin tahmin ve hata değerleri

Yıl	YSA Tahmini	Gerçek Değerler	Mutlak Hata	Mutlak Yüzde Hata (%)
1988	9,98	9,94	0,04	0,40
1989	9,80	9,42	0,38	4,03
1990	10,01	9,96	0,05	0,50
1991	10,10	10,30	0,20	1,94
1992	10,14	10,01	0,13	1,30
1993	11,01	11,01	0,00	0,00
1994	10,61	11,17	0,56	5,01
1995	11,48	11,56	0,08	0,69
1996	11,73	11,74	0,01	0,09
1997	11,95	11,96	0,01	0,08
1998	11,42	11,41	0,01	0,09
1999	11,22	11,22	0,00	0,00
2000	11,69	11,30	0,39	3,45
2001	10,09	10,10	0,01	0,10
2002	10,91	10,44	0,47	4,50
2003	10,42	10,89	0,47	4,32
2004	10,65	10,30	0,35	3,40
2005	11,23	11,93	0,70	5,87
2006	12,10	12,12	0,02	0,17
2007	9,08	9,09	0,01	0,11
2008	7,28	7,29	0,01	0,14
2009	7,14	7,15	0,01	0,14
2010	8,07	7,68	0,39	5,08
2011	8,85	8,10	0,75	9,26
2012	8,83	8,14	0,69	8,48
2013	8,51	8,54	0,03	0,35
2014	9,48	9,49	0,01	0,11
2015	8,80	8,74	0,06	0,69
2016	7,73	7,74	0,01	0,13
2017	9,11	8,65	0,46	5,32
2018	8,99	9,00	0,01	0,11
MAE (ortalama mutlak hata)			0,20	
RMSE (karesel hata ortalamalarının karekökü)			0,318	
MAPE(ortalama mutlak yüzde hata)			%2,12	



Şekil 6.36. YSA modelinin tahminleri ile gerçek değerlerin dağılımı

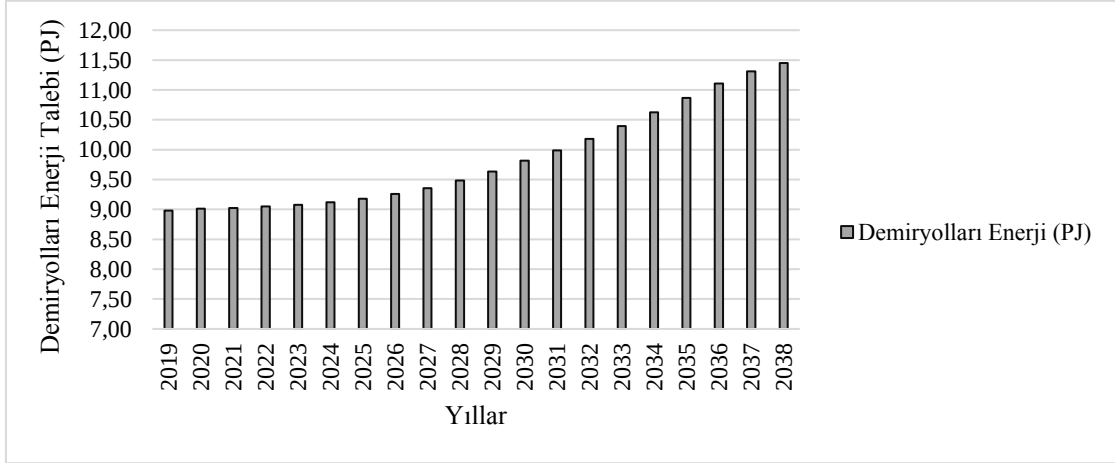


Şekil 6.37. YSA-1 modelinin tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

Çizelge 6.27. YSA-1 modelinin gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerleri

Yıl	Demiryolları Enerji (PJ)
2019	8,979
2020	9,013
2021	9,022
2022	9,050
2023	9,080
2024	9,120
2025	9,178
2026	9,257
2027	9,358
2028	9,484
2029	9,637
2030	9,817
2031	9,986
2032	10,179
2033	10,394
2034	10,627
2035	10,868
2036	11,105
2037	11,311
2038	11,452

Şekil 6.36'dan da görüleceği üzere tahmin ile gerçek değerler arasında korelasyon(R) değeri 0,98 olmakta, determinasyon katsayısı (R^2) ise 0,96 bulunmuştur.



Şekil 6.38. YSA-1 modeli ile bulunan gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerlerinin değişimi

Çizelge 6.28. YSA-1 modeli girdi değerleri ile gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerleri

Yıllar	Nüfus	GSYH (10 ⁶ \$)	Yolcu Sayısı (milyon)	Taşınan Ton (Bin)	Demiryolları Enerji (PJ)
2025	88 844 934	1 005 706	89,343	33 030,482	9,178
2030	93 328 574	1 302 005	94,194	35 103,140	9,817
2035	97 176 768	1 645 960	99,370	36 358,353	10,868

YSA ile yapılan işlemler sonucunda demiryollarında 2025, 2030 ve 2035 yılı için tüketilecek olan enerji değerleri tahminleri sırası ile 9,178 PJ, 9,817 PJ ve 10,868 PJ bulunmuştur. Ayrıca demiryollarında yolcu sayısı değerleri 2025, 2030, 2035 yılları için hesaplanmış ve sırası ile 89,343 milyon; 94,194 milyon ve 99,370 milyon bulunmuştur. Bunun yanı sıra, demiryollarında taşınan ton miktarı ile ilgili de 2025, 2030, 2035 yılları değerleri elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile 33 030 482 ton, 35 103 140 ton, 36 358 353 tondur. Diğer taraftan GSYH değerleri de bulunmuş, 2025, 2030, 2035 yılları için sırası ile 1 005 706 10⁶ \$, 1 302 005 10⁶ \$, ve 1 645 960 10⁶ \$'dır.

Genel olarak gelecek yıllar için demiryollarında harcanacak enerji tahmini değerlendirilmek gerekirse; 2030 yılında 2025 yılına göre 1,18 kat daha fazla enerji harcanacağı ancak yine de geçmiş yıllarda tüketilen değerler içinde kalabileceği ve enerji tüketiminin çok fazla artmaların olmayacağı düşünülmektedir. Yakıt ve tren teknolojilerinin gelişmesinin yanı sıra, gelecek yıllar içinde artacak olan alternatif ve daha az enerji harcamaya elverişli

sistemler nedeniyle bulunan değerlerin daha da altında bir enerji gereksinimi olabileceği değerlendirilmektedir.

6.2.4. YSA-2 modeli ve gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimleri tahmin değerleri

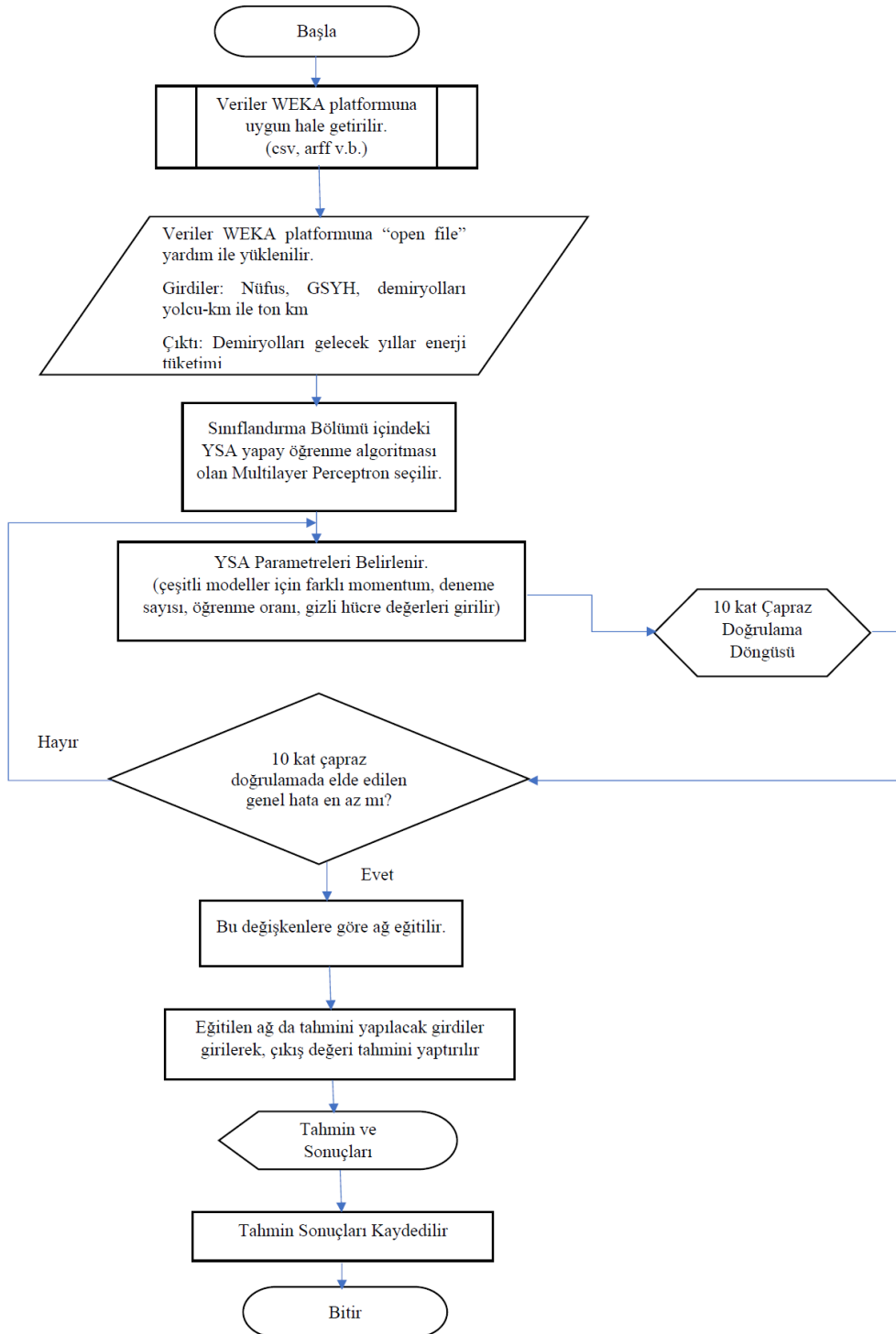
Bu modelde YSA-1 modelinden farklı olarak girdi değerlerinde demiryollarında yolcu-km ve ton-km ile GSYH ve nüfus dikkate alınmıştır. Demiryollarının gelecek yıllar enerji tüketim değerleri ise yine çıktı verimiz olarak tahmini yapılmaktadır.

YSA ile ilgili ağı eğitime yönelik değişkenlerin belirlenmesi için eğitilen ağdaki tahmin gücünün en az hataya sahip parametre girdi değerleri olmalıdır. Bunun için eğitilen ağda yapay öğrenmenin hata değerini görerek, en az hata değerine sahip değişken değerleri bulmak için 10 kat çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır. Farklı parametreler sonucu çapraz doğrulama neticesinde en az hatayı veren değerler gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimi tahmini için YSA-2 modelinin eğitimi için kullanılacaktır. Bu yöntemle göre tüm veri kümesi 10 kısma bölünerek sırasıyla 9 kısımlık veri ile ağ yapay öğrenme algoritması ile öğrenecek kalan 1 bölüm ile ağ test edilecektir. Bu işlem her 10 bölüm için ayrı ayrı yapılarak hata oranları bulunulmaktadır. Yani her farklı 9 bölüm için kalan farklı 1 bölüm test edilerek toplamda 10 farklı test ve eğitme gerçekleşecektir. En sonunda ise test verileri ile elde edile 10 farklı hata değerlerinin ortalaması dikkate alınması ile genel hata değeri bulunulmaktadır [220, 221]. Şekil 6.39'da 10 katlı çapraz doğrulama yaklaşımı şekil olarak anlatılmaktadır [221].



Şekil 6.39. 10 kat çapraz doğrulama yaklaşımı

10 katlı çapraz doğrulama sonucu WEKA’da çeşitli değişkenler girilmiş, değişkenlere göre oluşturulan modellere dair sonuçlar ve hatalar elde edilmiştir. Şekil 6.40’da YSA-2 modeli akış diyagramı gösterilmektedir.

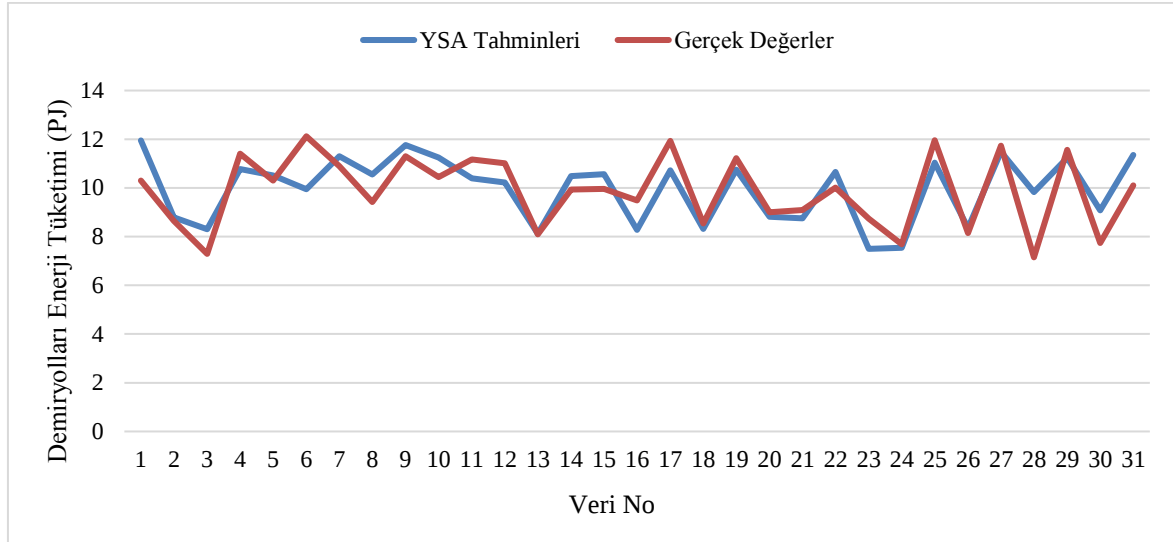


Çizelge 6.29’da oluşturulan modellere dair bilgiler ve bu oluşturulan farklı modeller sonucu elde edilen hata değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.29. Oluşturulan modellere dair bilgiler ve bu oluşturulan farklı modeller sonucu elde edilen hata değerleri

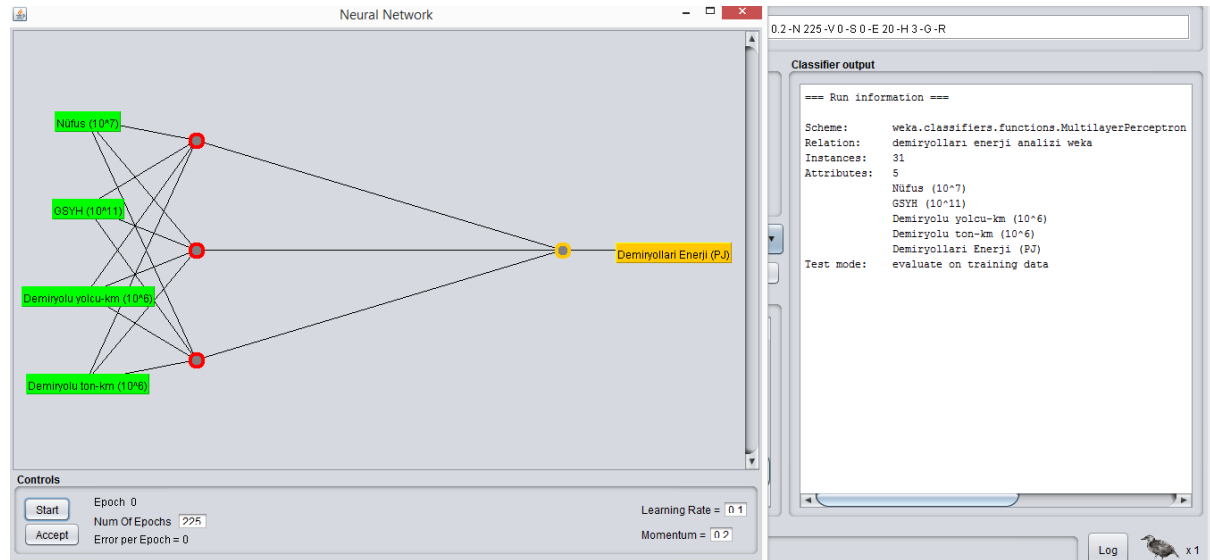
YSA Model Adı	Öğrenme Oranı	Momentum	Epoch (Devir Sayısı)	Nöron Sayısı	Sonuçlar			
					Korelasyon Katsayısı	MAE	RMSE	RAE
1	0,3	0,2	500	a	0,619	0,9939	1,4225	77,7469
2	0,3	0,2	400	a	0,6478	0,9509	1,3324	74,3822
3	0,3	0,2	300	a	0,674	0,9236	1,2561	72,2457
4	0,3	0,2	200	a	0,6957	0,9114	1,1985	71,2959
5	0,3	0,2	100	a	0,6854	0,9463	1,2236	74,0266
6	0,3	0,2	200	1	0,6188	1,0511	1,3191	82,22
7	0,3	0,2	200	2	0,6957	0,9114	1,1985	71,2959
8	0,3	0,2	200	3	0,7061	0,8713	1,131	68,1587
9	0,3	0,2	200	4	0,7411	0,8528	1,089	66,7125
10	0,3	0,2	200	5	0,7012	0,9038	1,1402	70,6971
11	0,2	0,2	200	4	0,7348	0,8363	1,0563	65,4216
12	0,1	0,2	200	4	0,7509	0,8056	0,9994	63,0167
13	0,05	0,2	200	4	0,7332	0,8117	1,0099	63,4963
14	0,1	0,3	200	4	0,7517	0,8032	1,0009	62,8261
15	0,1	0,4	200	4	0,7497	0,7988	1,0115	62,4883
16	0,1	0,2	200	4	0,7509	0,8056	0,9994	63,0167
17	0,1	0,4	200	3	0,7537	0,7855	0,9873	61,4477
18	0,1	0,4	200	5	0,7418	0,8037	1,0233	62,87
19	0,1	0,4	250	3	0,7515	0,7887	0,9962	61,6989
20	0,1	0,3	200	3	0,7558	0,7822	0,9754	61,1834
21	0,1	0,2	200	3	0,7507	0,7804	0,9912	61,0437
22	0,1	0,1	225	3	0,7549	0,7752	0,985	60,6372
23	0,1	0,15	225	3	0,7516	0,7754	0,992	60,6582
24	0,1	0,15	225	4	0,7551	0,7982	0,9916	62,4347
25	0,1	0,2	225	3	0,755	0,7747	0,9849	60,5994
26	0,1	0,25	225	3	0,7562	0,7783	0,9814	60,8788
27	0,1	0,2	225	10	0,719	0,8426	1,072	65,914
28	0,1	0,2	225	15	0,716	0,8454	1,0858	66,129

YSA için ağırlık eğitilmesinde en iyi performansı gösteren değerler 25 nolu modelin değerleri olduğu bulunmuştur. Çünkü en düşük MAE değerine sahip olduğu bunun yanı sıra RAE değeri de daha düşük olduğu görülmektedir. Diğer taraftan korelasyon sayısı ise uyumluluk açısından en yüksek değerdekine oldukça yakındır. 10 katlı çapraz geçerlilik için gerçek değerler ile YSA tahmin değerlerinin verilere göre değişim grafiği Şekil 6.41’de gösterilmektedir.



Şekil 6.41. 10 kat çapraz doğrulamada en düşük hata veren modelin sonuçları ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

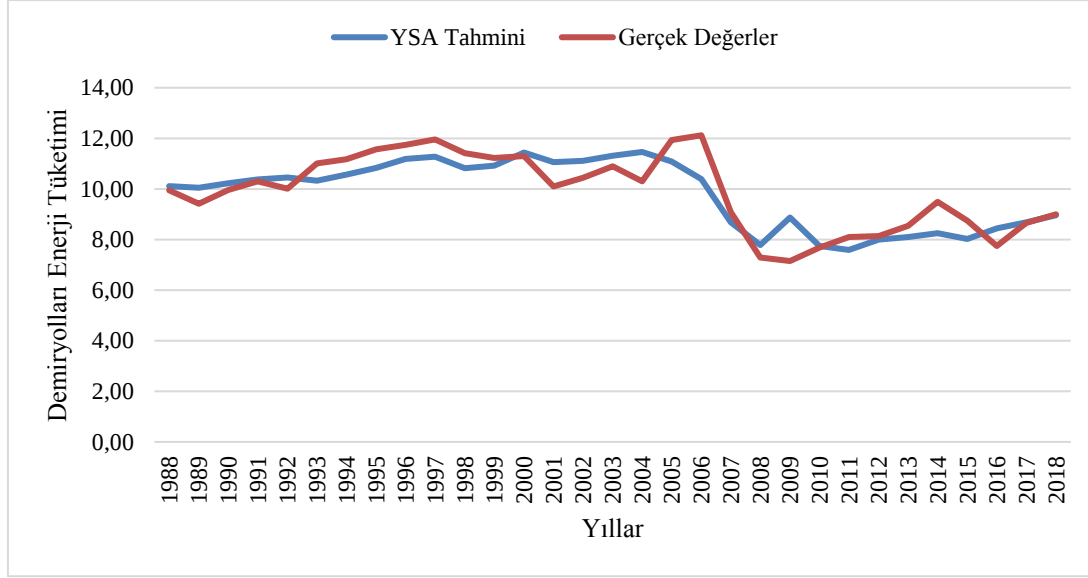
Parametreler belirlenmesi sonrası ağın yapısı ve mimarisi oluşmuş olmaktadır. Buna göre YSA-2 modeli mimari yapısı Şekil 6.42’de gösterilmektedir.



Şekil 6.42. YSA-2 modeli değişkenler ve mimari yapısı

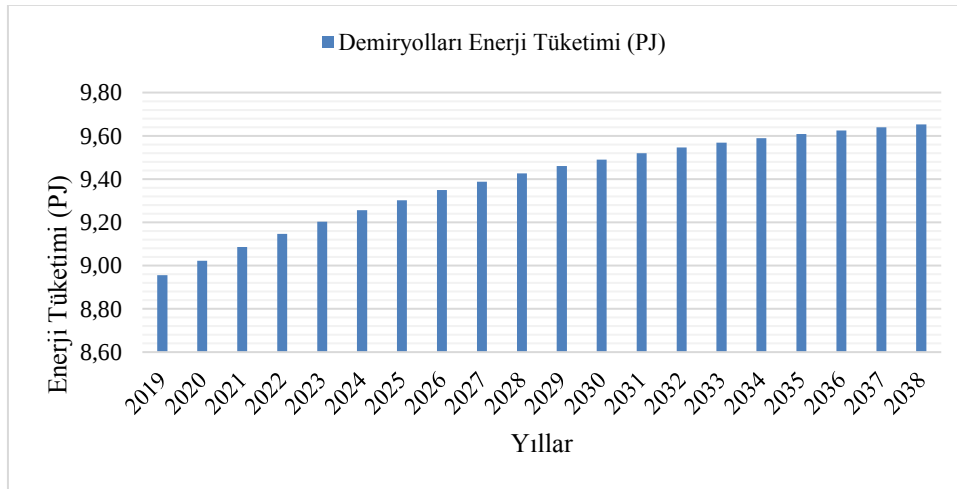
En az hata veren parametreleri bulunduktan sonra ağ, bu değişkenlere göre eğitilerek, gelecek yıllar için demiryolları enerji talebi tahmin değerleri bulunulmuştur. Yani bu belirlenen değişkenler seçilerek ağ 1988-2018 yılları için eğitilmiştir. Ağın eğitimi sonrasında gerçek değerler ile YSA modelinin tahmininin karşılaştırılması Şekil 6.43’de

gösterilmektedir. Çizelge 6.30'da gerçek değerler ile YSA-2 modeli sonuçlarından elde edilen hata değerleri ve MAPE değeri gösterilmektedir.



Şekil 6.43. Demiryolları enerji tüketimi gerçek değerler ile YSA-2 modeli tahminlerinin karşılaştırılması

Çizelge 6.30'dan da görüleceği üzere YSA-2 modeli uygulanması ile demiryollarında gelecek yıllar enerji tüketim değerleri 2020 yılında 9,02 PJ, 2025 yılında 9,30 PJ, 2030 yılında 9,49, 2035 yılında ise 9,61 PJ bulunmaktadır. Şekil 6.44'de YSA-2 modeli gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimi değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.44. YSA-2 modeli gelecek yıllar demiryolları enerji tüketimi değerlerinin değişimi

Çizelge 6.30. Demiryolları gerçek değerler ile YSA-2 modeli sonuçlarından elde edilen hata değerleri ve MAPE değeri

Yıllar	YSA Tahmini	Gerçek Değerler	Mutlak Yüzde Hata (%)
1988	10,11	9,94	1,70
1989	10,04	9,42	6,62
1990	10,22	9,96	2,65
1991	10,37	10,30	0,72
1992	10,45	10,01	4,39
1993	10,33	11,01	6,18
1994	10,57	11,17	5,36
1995	10,84	11,56	6,26
1996	11,18	11,74	4,77
1997	11,27	11,96	5,77
1998	10,82	11,41	5,16
1999	10,92	11,22	2,63
2000	11,43	11,30	1,18
2001	11,05	10,10	9,44
2002	11,11	10,44	6,45
2003	11,31	10,89	3,88
2004	11,46	10,30	11,28
2005	11,08	11,93	7,12
2006	10,39	12,12	14,24
2007	8,68	9,09	4,49
2008	7,79	7,29	6,81
2009	8,87	7,15	24,05
2010	7,75	7,68	0,89
2011	7,59	8,10	6,31
2012	8,00	8,14	1,75
2013	8,10	8,54	5,14
2014	8,25	9,49	13,09
2015	8,02	8,74	8,27
2016	8,44	7,74	8,98
2017	8,68	8,65	0,40
2018	8,96	9,00	0,41
MAPE (%)			6,01

Çizelge 6.30'dan da görüleceği üzere MAPE değeri %6,01 çıkmış olup, model tahmininin kabul edilebilir düzeyde olduğu söylemek mümkündür. Bu model sonucu gelecek yıllar demiryolları enerji talebi değerleri Çizelge 6.31'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.31. YSA-2 modeli sonucu bulunun gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim değerleri tahminleri

Yıllar	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Demiryolları Enerji (PJ)	8,96	9,02	9,09	9,15	9,20	9,26	9,30
Yıllar	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Demiryolları Enerji (PJ)	9,35	9,39	9,43	9,46	9,49	9,52	9,55
Yıllar	2033	2034	2035	2036	2037	2038	
Demiryolları Enerji (PJ)	9,57	9,59	9,61	9,62	9,64	9,65	

6.3. Demiryolları Enerji Tüketimi Genel Değerlendirme

Tezin bu bölümünde tür tabanlı enerji analizinden yararlanılarak hâlihazır durum yaklaşımı sonucunda yapılan demiryolları gelecek yılları için enerji tüketim değerleri ile yapay sinir ağları sonucu tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Tür tabanlı enerji analizi yaklaşımında gelecek yıllar için enerji tüketimine yönelik elde edilen değerler, yolcu taşımacılığı için bir birimlik yolcu-km için tüketilen enerji değerinden hareketle, yük taşımacılığı için ise bir birimlik ton-km için tüketilen enerji değerinden hareketle bulunmaktadır. Ayrıca; bu enerji yoğunluğu anlamı olarak tanımlanan hem yük hem de yolcu taşımacılığı için bir birim enerji tüketimi değeri olarak düşünülerek; bu değerin demiryollarının son 5 (2014-2018) yıldaki ortalaması kabul edilerek gelecek yıllar enerji tüketim değerlerinin bulunduğu modele "Tür Tabanlı Enerji Analizi 1 Modeli" denilmektedir. Demiryolları son yıl bulunan enerji yoğunluğu dikkate alınarak bulunan gelecek yıllar enerji tüketim değerlerinin bulunduğu modele ise "Tür Tabanlı Enerji Analizi 2 Modeli" denilmektedir. Bu yüzden, tür tabanlı enerji analizi 1 modelinde enerji yoğunluğu değerinin son 5 yıldaki ortalaması olduğu kabulüyle, tür tabanlı enerji analizi 2 modelinde ise demiryollarının son yıldaki (2018) enerji yoğunluğu değeri olduğu kabulüyle; gelecek yıllarda artan taşımacılık değeri ile enerji tüketimi arasında doğru orantı oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile demiryollarında her artan taşımacılık faaliyeti değeri enerji tüketimi değerini artırmaktadır. Burada gelecek yıllarda gelişen hızlı teknoloji ve enerji verimliliği sağlayan sistemlerin durumunda değişiklik olacağı düşünülür ise mutlaka enerji yoğunluğu değerinde değişme ve azalma yaşanacağını söylemek mümkündür. Ancak, tezin bir sonraki bölümünde senaryolar oluşturulması yaklaşımı ile farklı ulaştırma türlerinin enerji verimliliğini ortaya koymak için aynı düzleme (enerji yoğunluğu ve toplam taşımacılık değerlerinin aynı olması) getirilerek değişimlerin gözlenmesine olanak ve kolaylık sağlanmaktadır. Bu itibarla, tür

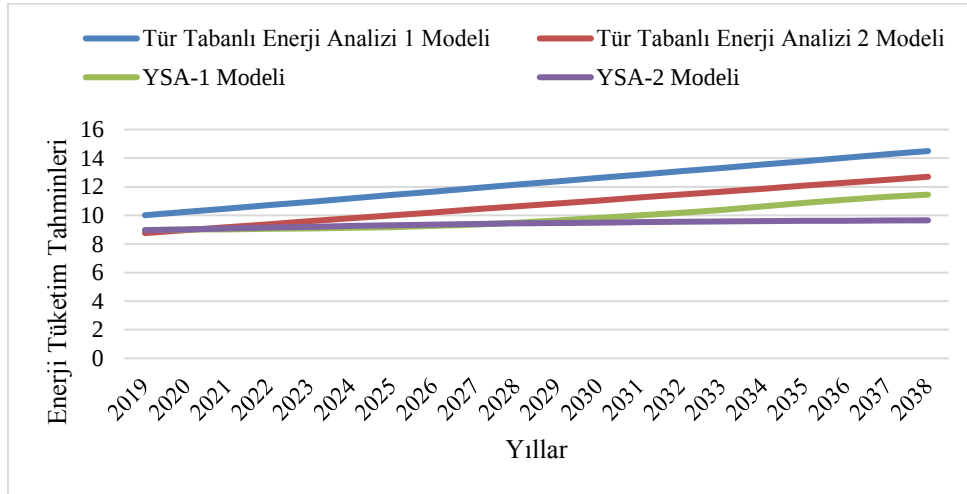
tabanlı enerji yaklaşımları sonucu elde edilen değerlerde enerji yoğunluğu değerinin azaltılması durumuna dair yaklaşımlarda dikkate alınması gereklidir. Ancak, gelecek teknolojileri ve enerji verimliliğine katkısına dair bir öngörü yapmak oldukça zor olmasından dolayı, farklı değişkenler ile yapay sinir ağları modeli ile gelecek yıllar enerji tüketim değerleri tahminleri yapılmıştır. Yapay sinir ağları modellerinden YSA-1 modelin 1988-2018 yıllar için MAPE değerinin %2,12 olduğu; YSA-2 modelinde ise MAPE değerinin %6,01 olduğu düşünülürse, modellerin kabul edilebilir olduğunu söylemek mümkündür. Tür tabanlı enerji analizinden yararlanarak ve YSA sonucu elde edilen gelecek yıllar enerji tüketim değerlerinin karşılaştırılması aşağıda Çizelge 6.32’de birlikte gösterilmektedir.

Çizelge 6.32. Tür tabanlı enerji analizi yaklaşım modelleri ve YSA modelleri gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin değerlerinin karşılaştırılması

Yıllar	Tür Tabanlı Enerji Analizi 1 Modeli (PJ)	Tür Tabanlı Enerji Analizi 2 Modeli (PJ)	YSA-1 Modeli (PJ)	YSA-2 Modeli (PJ)
2019	10,01	8,76	8,98	8,96
2020	10,25	8,97	9,01	9,02
2021	10,48	9,18	9,02	9,09
2022	10,72	9,38	9,05	9,15
2023	10,95	9,59	9,08	9,20
2024	11,19	9,80	9,12	9,26
2025	11,43	10,00	9,18	9,30
2026	11,66	10,21	9,26	9,35
2027	11,90	10,42	9,36	9,39
2028	12,14	10,63	9,48	9,43
2029	12,37	10,83	9,64	9,46
2030	12,61	11,04	9,82	9,49
2031	12,85	11,25	9,99	9,52
2032	13,08	11,45	10,18	9,55
2033	13,32	11,66	10,39	9,57
2034	13,56	11,87	10,63	9,59
2035	13,79	12,08	10,87	9,61
2036	14,03	12,28	11,10	9,62
2037	14,27	12,49	11,31	9,64
2038	14,50	12,70	11,45	9,65
Ortalama Enerji (PJ)	12,26	10,73	9,85	9,39
2038-2019 değişim (PJ)	4,49	3,94	2,17	0,69
YSA Modelleri / Tür Tabanlı Enerji Analizi 1 Modeli			%80,34	%76,59
YSA Modelleri / Tür Tabanlı Enerji Analizi 2 Modeli			%91,80	%87,51
YSA Modelleri ortalama enerji / Tür Tabanlı Enerji Modelleri ortalama			%83,69	
YSA Modelleri ortalama enerji / Tür Tabanlı Enerji Analizi 1 Modeli			%78,47	
YSA Modelleri ortalama enerji / Tür Tabanlı Enerji Analizi 2 Modeli			%89,66	

YSA modellerinde; önceki yıllardaki demiryolları enerji tüketim değerlerindeki dalgalanmaların dikkate alınması nedeniyle tahmin yılındaki değerlerin hata payının dağıtılması sonucu geçmiş yıllardaki dalgalanmaları daha çok dikkate almaktadır. Ayrıca enerji yoğunluğu değerinin son yılı dikkate alınarak bulunan değer YSA modellerinin

bulduğu değerlere daha çok yakın olduğu görülmektedir. Buradan, gelecek yıllarda demiryolları için 2014-2018 yıllarındaki ortalama değerinden ve son yıl enerji yoğunluğu değerlerinden daha az olacağı görülmektedir. Diğer taraftan, 2019-2038 yılları için gelecekte demiryollarında ortalama enerji tüketimi; tür tabanlı enerji analizi yaklaşımlarından model 1 ile 12,26 PJ ve model 2 ile 10,73 PJ; YSA modellerinden YSA-1 modeli ile 9,85 PJ ve YSA-2 modeli ile 9,39 PJ olacağı görülmektedir. Buna göre YSA modelleri ortalama enerji tüketimi tahmini 2019-2038 yılları için 9,62 PJ, tür tabanlı enerji analizi yaklaşımlarının enerji tüketim tahmini ortalaması ise 11,50 PJ olmaktadır. Buradaki, YSA modellerinin ortalama enerji tüketiminin, tür tabanlı enerji analizi yaklaşımlarının ortalama enerji tüketimlerinin %83,69'una denk geldiği görülmektedir. Ayrıca, enerji yoğunluğu değerinin demiryolları için YSA-1 ve YSA-2 modelleri ortalama enerji tüketimlerine göre 2019-2038 yılları için 2014-2018 yılları ortalama enerji yoğunluğu değerlerine göre %21,53 oranında, 2018 yılı enerji yoğunluğu değeri yaklaşımı modeline göre ise %10,34 oranında az olacağı tahmin edilmektedir. Bu değerler; YSA-1 modelinde sırası ile %8,20 ve %19,66; YSA-2 modelinde %12,49 ve %23,41 oranında demiryolları enerji yoğunluğunun ortalama olarak daha az olacağı tahmin edilmektedir. Şekil 6.45'te gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin modellerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 6.45. Gelecek yıllar demiryolları enerji tüketim tahmin modellerinin karşılaştırılması

Şekil 6.45'ten de görüleceği üzere modellerde 2030 yılına kadar olan tahminlerin değerleri birbirine daha yakındır. Buradan; modellerde yakın gelecek için demiryolları enerji tüketimi tahminlerinin yapılmasında modeller için birbirine daha yakın değerler verdiğini göstermektedir.

7. SENARYO YAKLAŞIMI İLE TÜRKİYE’DE ULAŞTIRMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Tezin bu bölümünde daha önce bulunan (Bkz. Bölüm 6.1.) ulaştırma sistemlerinin toplam taşımacılık değerleri dikkate alınarak, enerji tüketim koşulları ve durumunun değişmediği düşünülerek 2019-2038 yılları için farklı ulaştırma türlerinin desteklenmesi ile ulaştırma türlerinin yüzdesel dağılımlarından faydalanılarak alternatif modeller oluşturulmakta ve oluşturulan modellere göre enerji verimliliği durumu tahmin edilerek değerlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Başka bir ifade ile ulaştırmada taşımalarındaki türel dağılımların değişmesi üzerine inceleme ve değerlendirmeleri kapsamakta olup, özellikle demiryolları ulaştırma sisteminin desteklenmesi durumuna ilişkin enerji kazanımları ve enerji verimlilik değerleri ortaya konulmak istenilmektedir.

Ardından; ilk olarak enerji verimliliğine yönelik durum belirtilerek, değerlendirme yapılmıştır. Bunun için temel alınan referans senaryo olarak 6.1. bölümünde ulaştırma türlerinin 2019-2038 yılları için taşımacılık değerleri bulunan hâlihazır yaklaşım modeli kabul edilmiştir. Bu yaklaşımda, geçmişteki toplam taşıma miktarlarından faydalanılarak, 2019-2038 yılları için taşımacılık toplam değerleri tahmin edilmektedir. Bu bulunan değerlerde; tüm koşulların (hâlihazır durumdaki enerji tüketim koşulları, toplam taşımacılık değerleri) devam etmesi durumunda taşımacılıkta hem yolcu hem de yük taşımacılığında karayolunun hâkimiyeti olmasından dolayı bu durumun değiştirilerek yani karayolunun ulaştırma sistemleri içerisindeki payının kademeli bir şekilde diğer ulaştırma türlerine pay olarak aktarılması üzerine çeşitli alternatif senaryolar oluşturulmaktadır. Oluşturulan senaryolar ile yeni 2019-2038 yılları için taşımacılık değerleri bulunmakta, bulunan bu değerlere göre de tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı ile de bu yıllar için enerji tüketim değerleri hesaplanılmaktadır. Bulunan sonuçlar; temel alınan hâlihazır yaklaşımı enerji tüketim değerleri (referans senaryo) ile karşılaştırılarak elde edilen enerji verimliliği, tasarruf edilen enerji miktarı değerleri yüzdesel olarak kazanımlar gösterilmektedir. Bu itibarla, aşağıdaki tanıtılan senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar için değerlendirmeler yapılmıştır.

7.1. Senaryoların Oluşturulmasında Genel Yaklaşım

Senaryolarda yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı olmak üzere geçmiş dönemdeki

verilerden elde edilen her bir ulaştırma türünün paylarındaki değişimlerin dikkate alınmasıyla planlanmalar yapılmakta ve planlamalara uygun olarak türel dağılımının değişimi sonucu yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir. Senaryolarda ulaştırma türlerinin geçmişteki durumunun dikkate alınması, gelecekteki duruma dair bir ön bilgi vereceği ve geçmişteki durumun benzerinin yine olabilirliğini göstermektedir. Bu yüzden, geçmiş verilerden sağlanan hem yük hem de yolcu taşımacılığı türel dağılımlarının yıllar içerisindeki çeşitli değişimleri özellikle demiryolları ulaştırma türü için ayrıca dikkate alınarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan; oluşturulan planlamalarda farklı ulaştırma türlerinin desteklenmesi neticesinde türel dağılımının değişmesi durumu her bir oluşturulan senaryolar için irdelenmekte ve bu değişimler sonucu oluşan enerji verimliliği tahmin değerleri ile incelenen yıllar için toplam verimlilik oranlarının tahminleri de belirtilerek oluşturulan senaryoların birbirleri ile karşılaştırılması sağlanmaktadır.

7.2. Yolcu Taşımacılığı İçin Senaryolar

Yolcu taşımacılığı senaryoları; 2020 yılından itibaren yolcu taşımacılığı türel dağılımların değişmesi üzerine inceleme ve değerlendirmeleri kapsamakta olup, özellikle demiryolları ulaştırma sisteminin desteklenmesi durumuna ilişkin enerji kazanımları ve enerji verimlilik değerleri ortaya konulmak istenilmektedir. 2019 yılındaki türel dağılımları yine Bölüm 6.1.1’de anlatıldığı üzere 2017 ve 2018 yılları türel dağılımlarının ortalaması kabul edilmektedir. 2020 yılından itibaren ise oluşturulan senaryo yaklaşımlarında detaylı olarak anlatıldığı gibi türel dağılımlarının, desteklenen tür açısından değişimi dikkate alınarak sahip oldukları paylar oluşturulmaktadır. Bu itibarla, 1999-2018 yıllarındaki 20 yıllık süreç için yolcu taşımacılığında türel dağılımı ve değişimleri açısından genel bir değerlendirilme yapılır ise aşağıdaki durumlar görölmektedir.

Demiryollarının; yolcu taşımacılığında 1999(türel payı: %3,312) – 2018(türel payı: %1,434) yılları arasındaki türel dağılımının yıllık ortalama değişimine baktığımızda %0,0988 olduğu görölmektedir.

Demiryollarının yolcu taşımacılığında türel dağılımının en yüksek değeri 2003 yılında olup, bu oran %3,378’dir.

Demiryollarının yolcu taşımacılığı türel dağılımının en düşük olduğu değer ise %1,272 ile

2013 yılıdır.

Demiryolları yolcu taşımacılığı türel dağılımında en büyük düşme 2012 ile 2013 yılları arasında %0,582 ile olduğu görülmektedir. 2012 yılında %2,197 değerine sahip olan demiryollarının yük taşımacılık payı 2013 yılında %1,615'ye gerilemiştir.

Demiryolları yolcu taşımacılığı türel dağılımında en büyük artma 2002 ile 2003 yılları arasında %0,357 ile olduğu görülmektedir. 2002 yılında %3,021 değerine sahip olan demiryollarının yolcu taşımacılık payı, 2003 yılında %3,378'e yükselmiştir.

Denizyollarının yolcu taşımacılığı türel dağılımında en yüksek payı %0,707 ile 2009 yılı olduğu görülmektedir. 2009-2018 yılları için yıllık ortalama türel dağılımının değişimi %0,0158'dir.

Havayollarının yolcu taşımacılığı türel dağılımının düzenli olarak artma sağladığı yılın 2003 yılı olduğu görülmektedir. 2003(türel dağılımı: %1,581) - 2018 (türel dağılımı: %9,413) yılları ortalama türel dağılımı değişim değeri %0,5221'dir.

Geçmişteki yaşanan bu durumlar dikkate alınarak senaryolar oluşturulmaya çalışılmıştır. Ulaştırma yolcu taşımacılığı için 5 senaryo belirlenmiş olup, bunlar aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

Senaryo 1

Türkiye ulaştırma sistemi için yolcu taşımacılığında sadece demiryollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Demiryollarının payının her yıl 1999-2018 yıllarındaki ortalama yıllık türel dağılımı değişimi olan %0,0988 kadar arttığı düşünülen senaryodur. Demiryollarındaki bu artışın karayollarının payının indirilmesi ile gerçekleşeceği düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türlerinin payının 2019 yılı için ulaştırma türleri paylarının sabit olduğu kabul edilmiştir. Böylece; 2019 yılının üstüne her yıl ortalama dağılım olarak demiryollarının payı %0,0988 artarken, karayollarının payı 2019'dan sonraki yıllar için yıllık ortalama %0,0988 oranında payı azalacaktır. Bu durumda, 2019 yılında türel dağılımı demiryollarının %1,36 iken 2038 yılında %3,24 olacağı, karayollarının ise 2019 yılında %88,59 iken 2038 yılında %86,71 olacağı, bu iki sistem dışında kalan havayolları ve denizyollarının toplam %10,05

olan payının 2038 yılına kadar aynı oranda sabit olacağı kabul edilmiştir.

Senaryo 2

Türkiye ulaştırma sistemi için yolcu taşımacılığında sadece demiryollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Demiryollarının türel dağılımının en yüksek ile en düşük değerleri arasındaki ortalama yıllık türel dağılımı değişimi kadar, türel dağılımının arttığı düşünülen senaryodur. Başka bir ifade ile 2003 ile 2013 yılları arasındaki süreçte ortalama yıllık türel dağılımı değişimi %0,2106 olup, demiryollarının her yıl bu oranda türel dağılımının arttığı düşünülmektedir. Demiryolları payındaki artışı, karayollarının yine aynı oranda payının indirilmesi ile gerçekleşeceği düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türü olan denizyolları ile havayollarının türel dağılım paylarının 2019 yılı değerinin değişmediği kabul edilmiştir. Böylece; 2019 yılının üstüne her yıl ortalama dağılım olarak demiryollarının payı %0,2106 artarken, buna karşın karayollarının payı 2019'dan sonraki yıllar için yıllık ortalama %0,2106 oranında payı azalacaktır. Bu durumda; 2019 yılında türel dağılımına bakıldığında demiryollarının payı %1,36 iken 2038 yılında %5,36 olacağı, karayollarının ise 2019 yılında %88,59 iken 2038 yılında %84,59'a düşeceği, bu ulaştırma türleri dışında kalan denizyolları ile havayolları ulaştırma türlerinin toplam %10,05 olan payının aynı oranda sabit olacağı kabul edilmektedir.

Senaryo 3

Türkiye ulaştırma sistemi için yolcu taşımacılığında sadece demiryollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Ardışık yıllardaki en büyük türel dağılımdaki düşüş (2012 ile 2013 yılları arası) ile en büyük yükselme (2002 ile 2003 yılları arası) değerindeki türel dağılımının ortalaması %0,47'dir. Demiryollarının her yıl bu oranda arttığı düşünülmektedir. Demiryolu ulaştırma payının 2038 yılına kadar her yıl %0,47 artırılarak %10,29'a çıkartılması ve bu artışı karayollarının payının her yıl %0,47 azaltılarak 2038 yılına kadar karayollarının payının %79,66 olacağı düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türlerinin payının 2019 yılı türel paylarının sabit kalarak aynı türel dağılımda olacağı kabul edilmektedir.

Senaryo 4

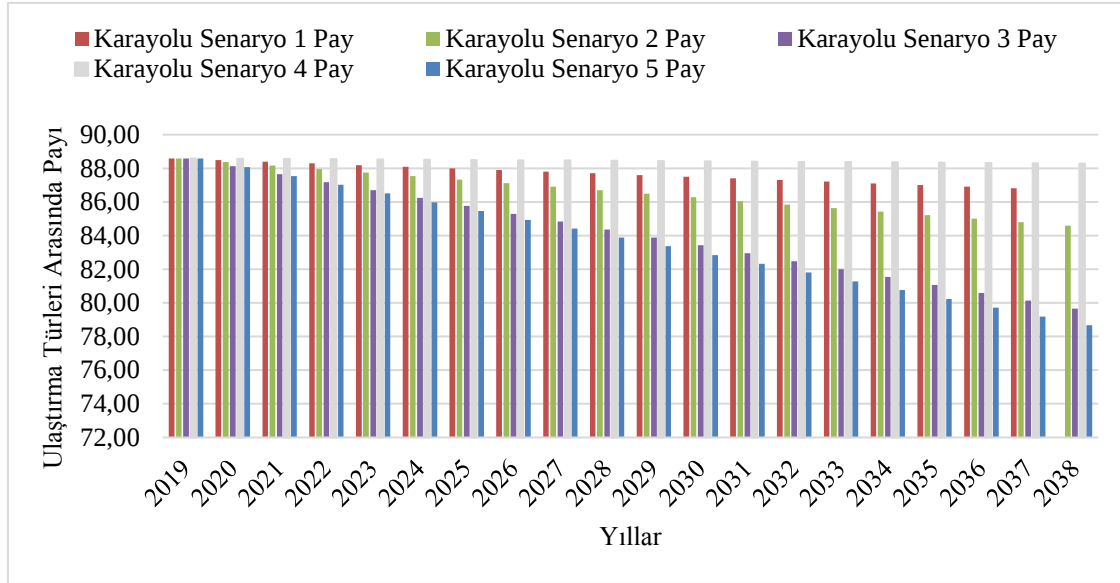
Türkiye ulaştırma sistemi için yolcu taşımacılığında sadece denizyollarının desteklenmesi

amaçlanmaktadır. Denizyollarının en yüksek payı %0,707 ile 2009 yılı olduğu görülmektedir. 2009-2018 yılları ortalama türel dağılımı değişimi %0,0158'dir. Denizyollarının türel dağılımının 2019 yılından itibaren her yıl bu oranda türel dağılımının arttığı düşünülmektedir. Denizyollarının payındaki artışı, karayollarının yine aynı oranda payının indirilmesi ile gerçekleşeceği düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türü olan demiryolları ile havayollarının türel dağılım paylarının 2019 yılı değerinin değişmediği kabul edilmektedir. Böylece; 2019 yılının üstüne her yıl ortalama dağılım olarak demiryollarının payı %0,0158 artarken, buna karşın karayollarının payı 2019'dan sonraki yıllar için yıllık ortalama %0,0158 oranında payı azalacaktır. Bu durumda; 2019 yılında türel dağılımına bakıldığında denizyollarının payı %0,56 iken 2038 yılında %0,86 olacağı, karayollarının ise 2019 yılında %88,59 iken 2038 yılında %88,29'a düşeceği, bu ulaştırma türleri dışında kalan denizyolları ile havayolları ulaştırma türlerinin toplam %10,85 olan payının aynı oranda sabit olacağı kabul edilmektedir.

Senaryo 5

Türkiye ulaştırma sistemi için yolcu taşımacılığında sadece havayollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Havayollarının türel dağılımının düzenli olarak artma sağladığı yılın 2003 yılı olduğu görülmektedir. 2003(%1,581 türel dağılımı) - 2018 (%9,413 türel dağılımı) yılları ortalama değişim değeri %0,5221'dir. Havayollarının her yıl bu oranda arttığı düşünülmektedir. Havayollarının türel dağılımındaki her yıl bu artış, karayollarının payındaki aynı orandaki düşüşle karayollarından karşılanacağı düşünülmektedir. Bu itibarla; havayolu ulaştırma türünün payının 2038 yılına kadar her yıl %0,5221 artırılarak %19,41'e çıkartılması ve bu artışı karayollarının payının her yıl %0,5221 azaltılarak 2038 yılına kadar karayollarının payının %78,67 olacağı düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türlerinin payının 2019 yılı türel paylarının sabit kalarak aynı türel dağılımda olacağı kabul edilmektedir.

Senaryolar sonucu yolcu taşımacılığı için 2019-2038 yıllarında karayollarının Türkiye ulaştırma sistemi içinde türel payının değişimi Şekil 7.1'de gösterilmektedir. Çizelge 7.1'de desteklenen ulaştırma türü ve yıllık ortalama değişim değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Senaryolar sonucu yolcu taşımacılığı için 2019-2038 yıllarında karayollarının Türkiye ulaştırma sistemi içinde türel payının değişimi

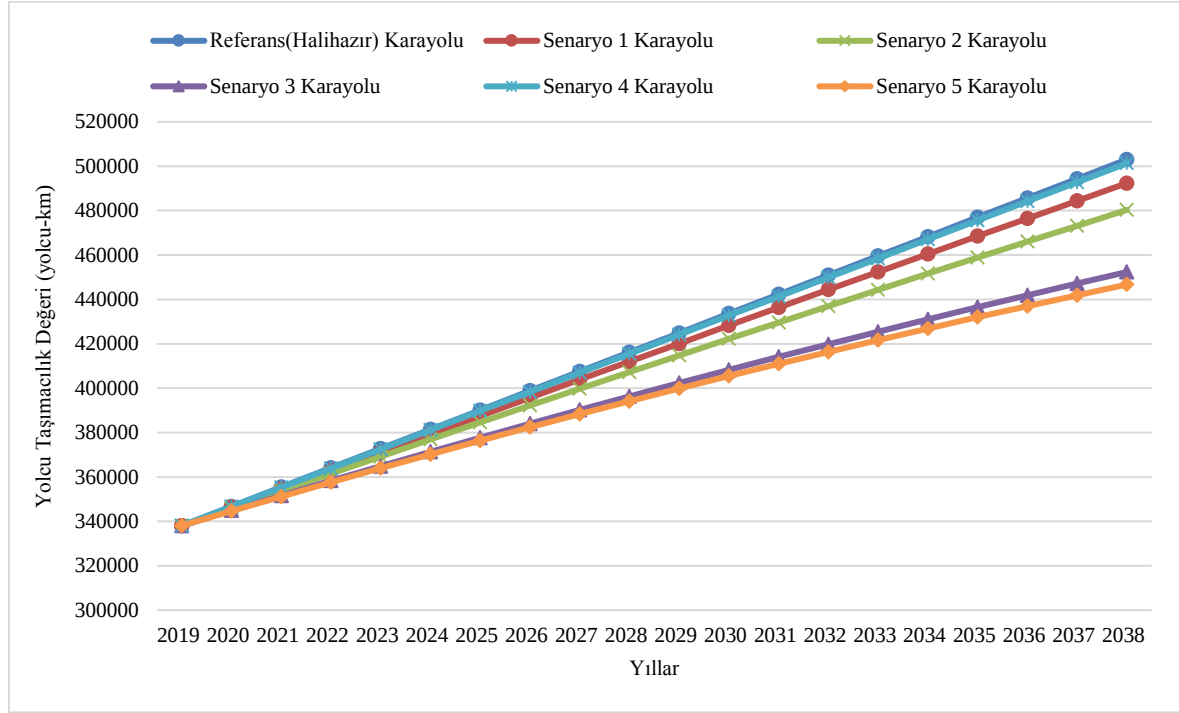
Çizelge 7.1. Desteklenen ulaştırma türü ve yıllık ortalama türel dağılımı değişim değerleri

Yolcu Taşımacılığı Model Adı	Desteklenen Ulaştırma Türü	Yıllık Ortalama Değişim
Senaryo 1	Demiryolları	%0,0988
Senaryo 2	Demiryolları	%0,2106
Senaryo 3	Demiryolları	%0,4700
Senaryo 4	Denizyolları	%0,0158
Senaryo 5	Havayolları	%0,5221

7.2.1. Yolcu taşımacılığı senaryolarının uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi

Yolcu taşımacılığında 2019-2038 yıllarındaki toplam taşımacılık faaliyeti hâlihazır yaklaşımı sonucu elde edilen değerleri önceki Bölüm 6.1.3'de hesaplanarak gösterilmektedir. Bulunan bu toplam yolcu taşımacılık faaliyetlerinin değerleri, her senaryo modelindeki ulaştırma türünün o yıldaki türel dağılımı oranında dağıtılarak her bir ulaştırma türünün o yıldaki yolcu taşımacılık değerleri yani yolcu-km miktarları bulunmaktadır. Bu şekilde elde edilen senaryolardaki yolcu taşımacılık değerlerinden ve daha önce Çizelge 6.7'de belirtilen enerji yoğunlukları değerlerinden yararlanılarak türlere göre enerji tüketim değerleri her yıl için tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı ile hesaplanılmaktadır. Senaryolarda hesaplanan enerji tüketim değerleri ile halihazır yaklaşımı ile gelecek yıllar için elde edilen enerji tüketim değerleri karşılaştırılarak, her senaryo için enerji verimliliği değerleri ile enerji verimliliği oranları ve kümülatif enerji verimliliği ile kümülatif enerji verimliliği

oranları bulunarak değerlendirilmektedir. Şekil 7.2’de karayolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılık değerinin senaryolara göre karşılaştırılması, Şekil 7.3’de desteklenen türlerin ilgili senaryolarda değişimi gösterilmektedir.



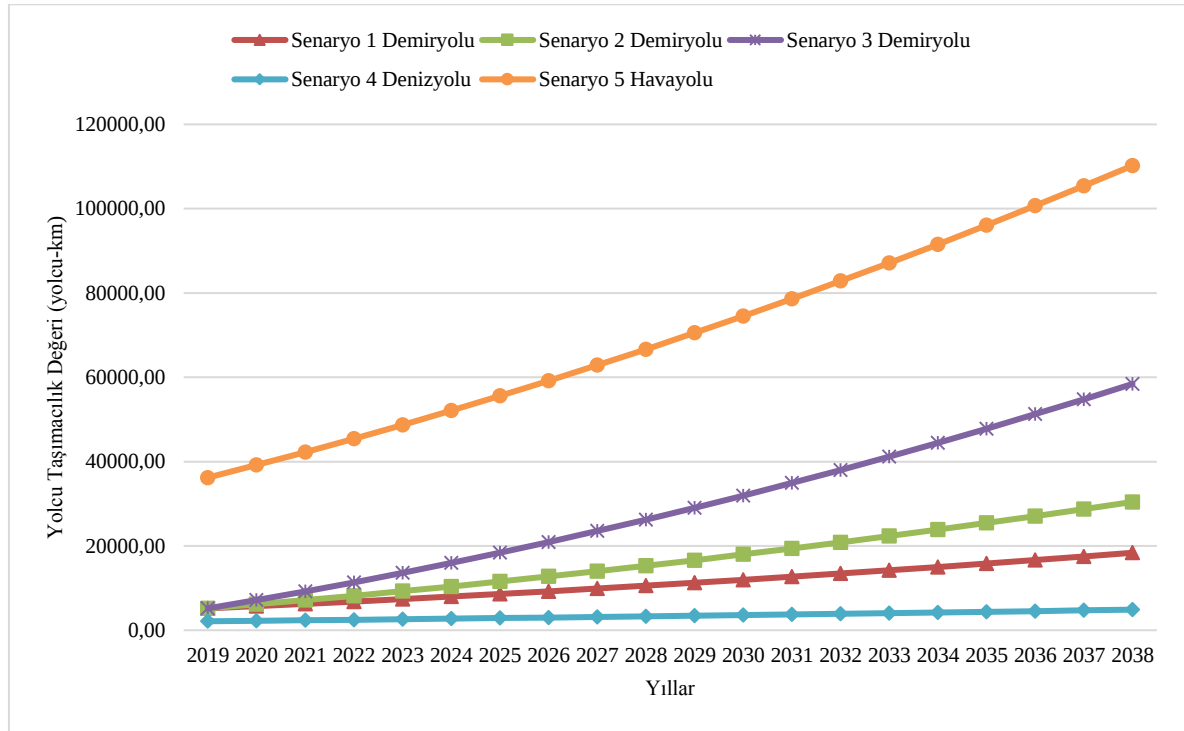
Şekil 7.2. Karayolu ulaştırma türünün yolcu taşımacılık değerlerinin senaryolara göre karşılaştırılması

Şekil 7.2’den görüleceği üzere karayollarının toplam yolcu taşımacılığı içerisindeki payı değişmekte olup, tüm senaryolarda taşımacılık faaliyetleri yani yolcu-km değerleri artmaktadır. Yine Şekil görüleceği üzere taşımacılık değerlerinin artma eğilimi değiştirilerek senaryolar sonucu taşımacılık değerleri elde edilmektedir.

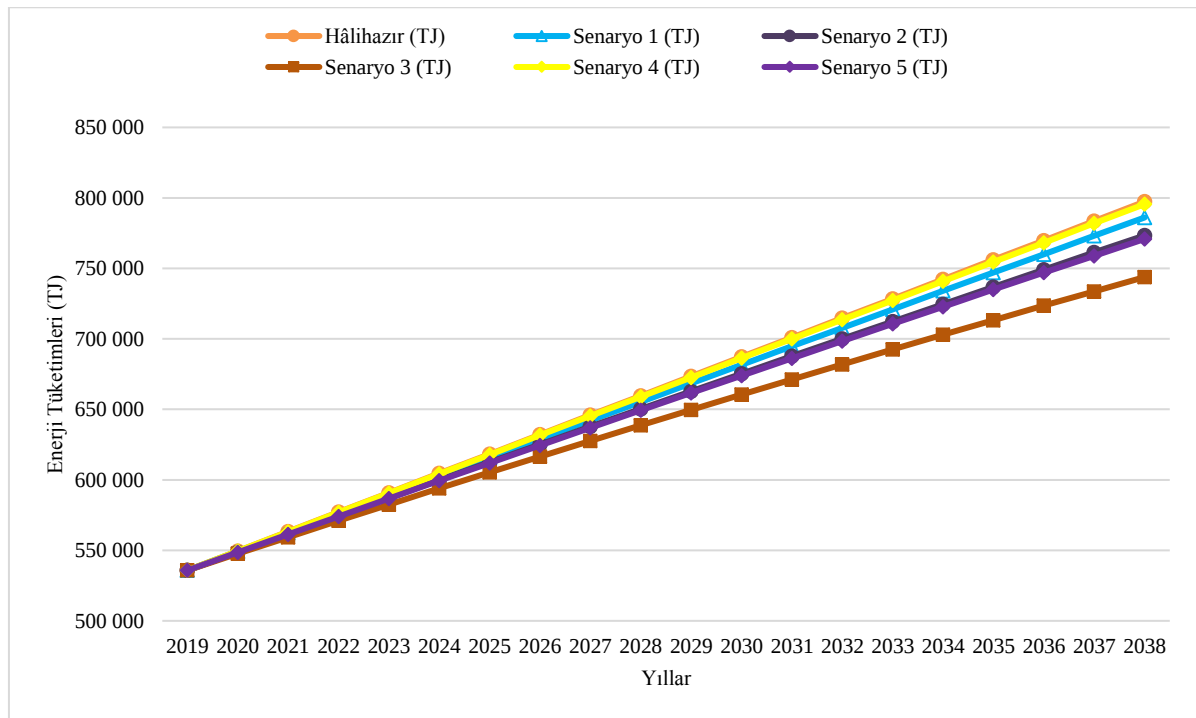
Yolcu taşımacılığı senaryoları sonucu enerji tüketim tahminleri

Senaryolar sonucunda hâlihazır durum yaklaşımı sonucunda 2038 yılında 797 351 TJ enerji tüketimi gerçekleşeceği tahmini yapılırken; senaryo 1 ile 786 095 TJ, senaryo 2 ile 773 359 TJ, senaryo 3 ile 743 807 TJ, senaryo 4 ile 795 549 TJ ve senaryo 5 ile 770 869 TJ olmuştur. Bu durumda, en çok enerji tüketimi sırası ile hâlihazır durumda, sonrasında senaryo 4, sonrasında senaryo 1, senaryo 2, senaryo 5 ve en son senaryo 3 ile olmuştur. Senaryolara göre enerji miktarlarının yıllara göre sonuçları Çizelge 7.2’de verilmiştir. Senaryoların yıllara göre değişim seyri Şekil 7.4’de gösterilmektedir. Tüm senaryolarda enerji tüketim

değeri yıllar itibari ile doğrusal bir seyir izlediği görülmektedir.



Şekil 7.3. Desteklenen ulaşırma türlerinin ilgili senaryolarda değışimi



Şekil 7.4. Senaryoların yolcu taşımacılığı için yıllara göre enerji tüketimi değışimi

Çizelge 7.2. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji tüketim miktarları

Yıllar	Hâlihazır (TJ)	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	535 835	535 835	535 835	535 835	535 835	535 835
2020	549 599	549 191	548 729	547 657	549 534	548 639
2021	563 363	562 526	561 579	559 381	563 229	561 394
2022	577 127	575 841	574 385	571 008	576 921	574 101
2023	590 891	589 135	587 148	582 538	590 610	586 760
2024	604 655	602 409	599 867	593 970	604 296	599 371
2025	618 419	615 662	612 543	605 305	617 978	611 933
2026	632 183	628 895	625 175	616 543	631 657	624 448
2027	645 947	642 108	637 763	627 683	645 333	636 914
2028	659 711	655 300	650 308	638 727	659 005	649 332
2029	673 475	668 471	662 809	649 672	672 674	661 703
2030	687 239	681 622	675 267	660 521	686 340	674 025
2031	701 003	694 753	687 681	671 272	700 003	686 299
2032	714 767	707 863	700 052	681 926	713 662	698 525
2033	728 531	720 953	712 378	692 483	727 318	710 702
2034	742 295	734 022	724 662	702 943	740 971	722 832
2035	756 059	747 071	736 901	713 305	754 620	734 913
2036	769 823	760 100	749 097	723 570	768 267	746 947
2037	783 587	773 108	761 250	733 737	781 910	758 932
2038	797 351	786 095	773 359	743 807	795 549	770 869

Senaryoların 2019-2038 yılları enerji tüketim değerleri incelendiğinde; senaryo 1’de 2038 yılında 2019 yılına göre enerji tüketim değeri %46,7 arttığı, senaryo 2’de %44,3 arttığı, senaryo 3’de %38,8 arttığı, senaryo 4’de %48,5 arttığı ve senaryo 5’de ise %43,9 arttığı görülmektedir.

Yolcu taşımacılığı Senaryoları enerji verimliliği tahminleri

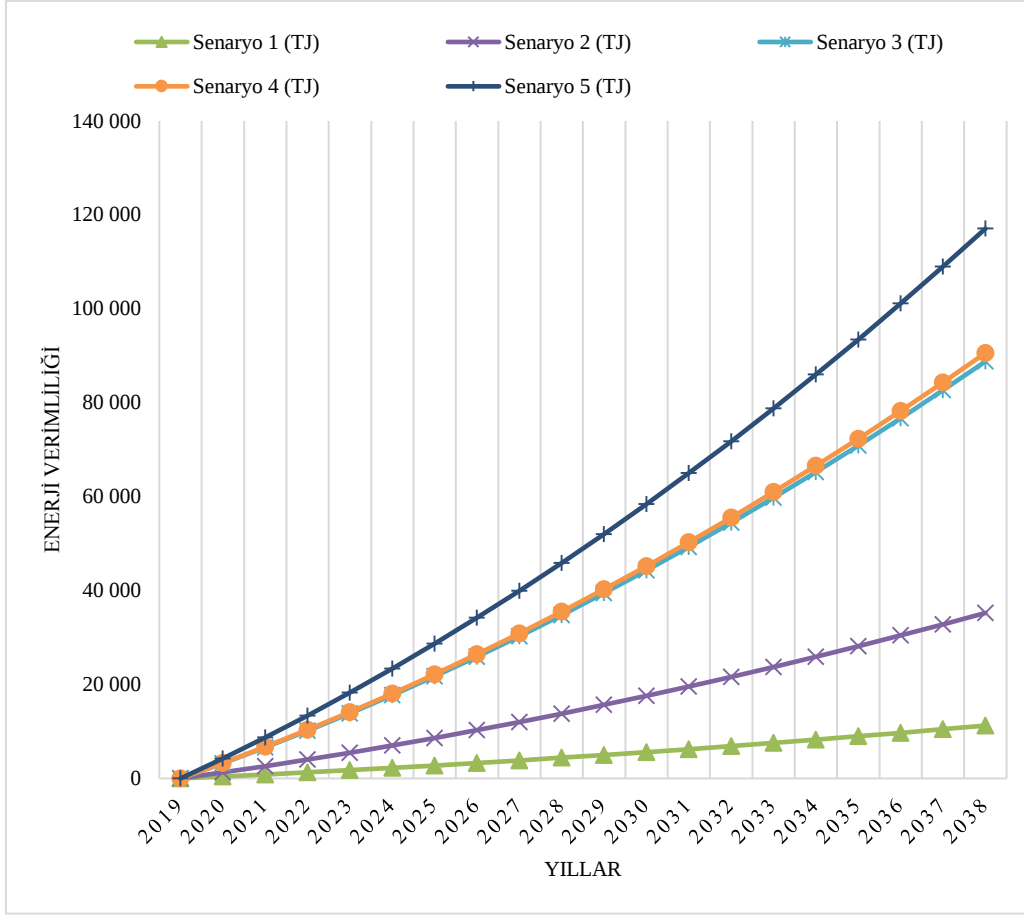
Daha önce Bölüm 6.1’de bulunan hâlihazır yolcu taşımacılığı enerji tüketim miktarları ile senaryolar sonucunda öngörü hesaplamalarında bulunan enerji tüketim miktarları arasındaki fark enerji verimliliği olarak nitelendirilmektedir. Senaryolar uygulanması sonucunda enerji verimliliği miktarlarını bazı yıllar olarak değerlendirirsek; senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 2 757 TJ, 5 616 TJ ve 8 987 TJ olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 5 876 TJ, 11 972 ve 19 157 TJ, senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında

sırası ile 13 114 TJ, 26 718 TJ ve 42 754 TJ, senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 441 TJ, 899 TJ ve 1 438 TJ ve senaryo 5 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 6 486 TJ, 13 214 TJ ve 21 145 TJ, olmuştur. Bu durumda 2025, 2030 ve 2035 yıllarında enerji verimliliği açısından en fazla kazanım senaryo 3 ile sonrasında senaryo 5 uygulanması sonucu olmuştur. Çizelge 7.3’de yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 7.3. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği miktarları

Yıllar	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	0	0	0	0	0
2020	408	870	1 942	65	961
2021	837	1 784	3 982	134	1 970
2022	1 286	2 742	6 119	206	3 026
2023	1 756	3 743	8 354	281	4 132
2024	2 246	4 788	10 685	359	5 285
2025	2 757	5 876	13 114	441	6 486
2026	3 288	7 008	15 640	526	7 735
2027	3 839	8 184	18 264	614	9 033
2028	4 411	9 403	20 984	706	10 379
2029	5 004	10 666	23 803	801	11 772
2030	5 616	11 972	26 718	899	13 214
2031	6 250	13 322	29 731	1 000	14 704
2032	6 903	14 715	32 840	1 105	16 242
2033	7 578	16 152	36 048	1 213	17 829
2034	8 272	17 633	39 352	1 324	19 463
2035	8 987	19 157	42 754	1 438	21 145
2036	9 723	20 725	46 253	1 556	22 876
2037	10 479	22 337	49 850	1 677	24 655
2038	11 255	23 992	53 543	1 801	26 482

Şekil 7.5’de senaryoların yolcu taşımacılığı için yıllara göre her yıl için enerji verimliliği değişimi gösterilmektedir. Senaryolar sonucu her yıl artan doğrusal bir seyir izleyen bir enerji verimliliği artışı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.5. Senaryoların yolcu taşımacılığı için yıllara göre her yıl için enerji verimliliği değişimi

Yolcu taşımacılığı senaryoları enerji verimliliği oranları

Enerji verimliliği oranları daha önce bulunan hâlihazır yolcu taşımacılığı enerji tüketim miktarları ile senaryolarda tahmin edilen enerji verimliliği miktarlarına bölünerek, yüzdesel olarak değeri ile bulunmaktadır. Çizelge 7.4’ de senaryolar ile yolcu taşımacılığında elde edilen enerji verimliliği oranlarının yüzdesel olarak yıllara göre her yıl için değişimi gösterilmektedir.

Enerji verimliliği açısından senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,45; %0,82 ve %1,19 olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,95, %1,74 ve %2,53 olmakta, senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %2,12; %3,89 ve %5,65; senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,07; %0,13 ve %0,19 olmakta ve senaryo 5 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %1,05, %1,92 ve %2,80 olmuştur.

Çizelge 7.4. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre her yıl için enerji verimliliği oranları %

Yıllar	Senaryo 1 (%)	Senaryo 2 (%)	Senaryo 3 (%)	Senaryo 4 (%)	Senaryo 5 (%)
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,07	0,16	0,35	0,01	0,17
2021	0,15	0,32	0,71	0,02	0,35
2022	0,22	0,48	1,06	0,04	0,52
2023	0,30	0,63	1,41	0,05	0,70
2024	0,37	0,79	1,77	0,06	0,87
2025	0,45	0,95	2,12	0,07	1,05
2026	0,52	1,11	2,47	0,08	1,22
2027	0,59	1,27	2,83	0,10	1,40
2028	0,67	1,43	3,18	0,11	1,57
2029	0,74	1,58	3,53	0,12	1,75
2030	0,82	1,74	3,89	0,13	1,92
2031	0,89	1,90	4,24	0,14	2,10
2032	0,97	2,06	4,59	0,15	2,27
2033	1,04	2,22	4,95	0,17	2,45
2034	1,11	2,38	5,30	0,18	2,62
2035	1,19	2,53	5,65	0,19	2,80
2036	1,26	2,69	6,01	0,20	2,97
2037	1,34	2,85	6,36	0,21	3,15
2038	1,41	3,01	6,72	0,23	3,32

Yolcu taşımacılığı senaryoları sonucu kümülatif enerji verimliliği tahminleri ve oranları

Kümülatif enerji verimliliği miktarlarının hesaplanması, daha önce bulunan halihazır yaklaşımı yolcu taşımacılığındaki kümülatif enerji tüketim miktarları ile senaryolar sonucu öngörülen kümülatif enerji tüketim miktarlarının arasındaki farkla hesaplanmaktadır. Senaryolar sonucu elde edilen kümülatif enerji tüketim değerleri Çizelge 7.5’de gösterilmektedir.

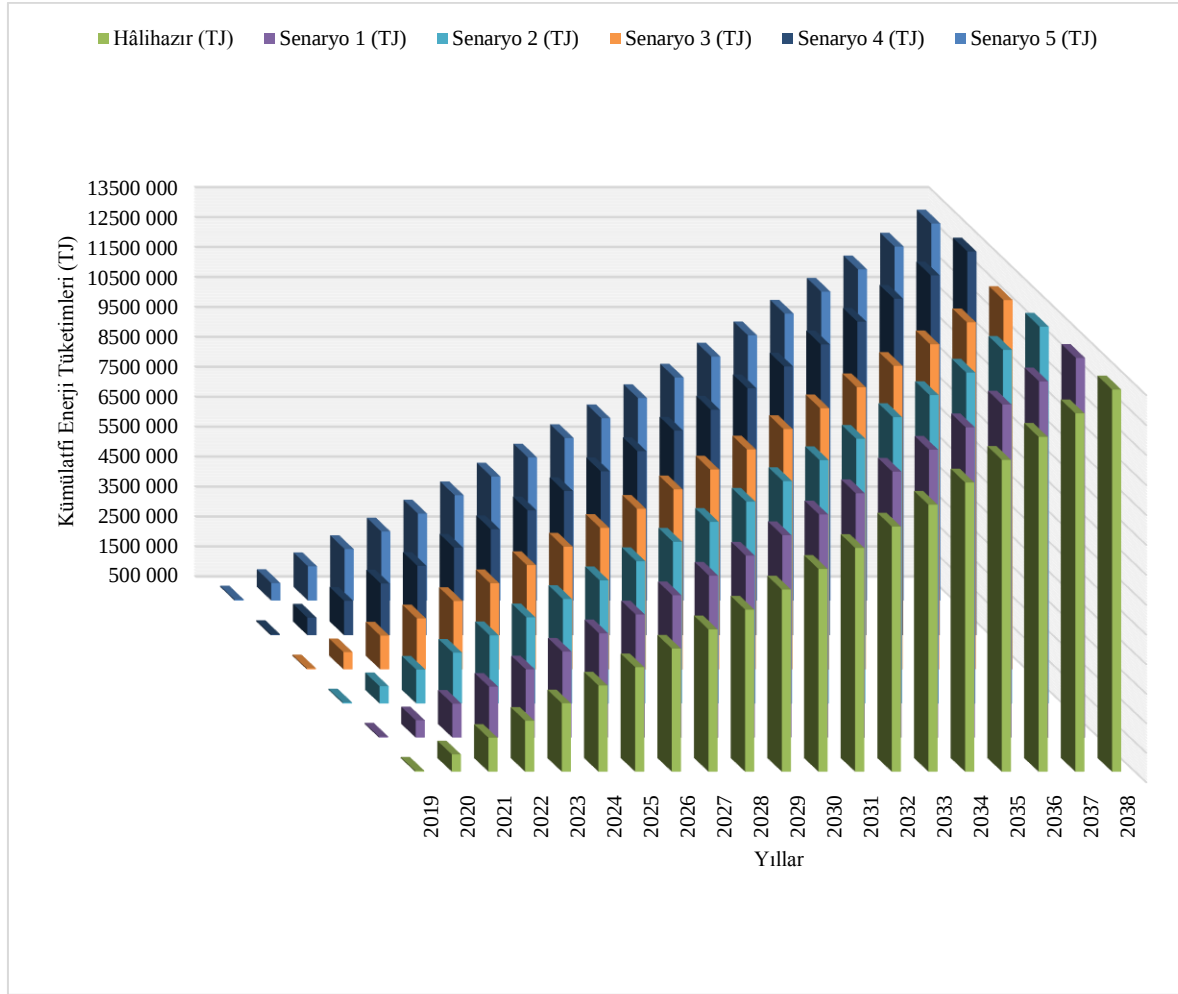
Yolcu taşımacılığı senaryolarında kümülatif enerji tüketim tahminlerinin değerlerine bakıldığında senaryo 1’de 2025 yılında 4 030 600 TJ iken 2035 yılında 10 911 660 TJ olmuştur. Senaryo 2 ‘de 2025 yılında 4 020 087 TJ iken 2035 yılında 10 833 084 TJ olmuştur. Senaryo 3’de 2025 yılında 3 995 694 TJ iken 2035 yılında 10 650 770 TJ olmuştur.

Senaryo 4’de 2025 yılında 4 038 404 TJ iken 2035 yılında 10 969 986 TJ olmuştur. Senaryo 5’de ise 2025 yılında 4 018 032 TJ iken 2035 yılında 10 817 724 TJ olmuştur. Şekil 7.6’da kümülatif enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi ve senaryoların karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 7.5. 2019-2038 yılları arası yolcu taşımacılığı gelecek senaryo modellerine göre kümülatif enerji tüketimleri

Yıllar	Hâlihazır (TJ)	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	535 835	535 835	535 835	535 835	535 835	535 835
2020	1 085 435	1 085 026	1 084 564	1 083 492	1 085 369	1 084 474
2021	1 648 798	1 647 553	1 646 143	1 642 873	1 648 599	1 645 868
2022	2 225 925	2 223 393	2 220 529	2 213 881	2 225 520	2 219 969
2023	2 816 816	2 812 529	2 807 677	2 796 419	2 816 130	2 806 728
2024	3 421 472	3 414 938	3 407 544	3 390 389	3 420 426	3 406 099
2025	4 039 891	4 030 600	4 020 087	3 995 694	4 038 404	4 018 032
2026	4 672 074	4 659 495	4 645 262	4 612 237	4 670 061	4 642 480
2027	5 318 021	5 301 603	5 283 025	5 239 921	5 315 393	5 279 394
2028	5 977 732	5 956 903	5 933 334	5 878 647	5 974 398	5 928 726
2029	6 651 207	6 625 374	6 596 143	6 528 320	6 647 073	6 590 429
2030	7 338 446	7 306 997	7 271 410	7 188 841	7 333 413	7 264 454
2031	8 039 449	8 001 750	7 959 091	7 860 113	8 033 415	7 950 752
2032	8 754 216	8 709 613	8 659 143	8 542 039	8 747 077	8 649 277
2033	9 482 746	9 430 567	9 371 521	9 234 523	9 474 395	9 359 979
2034	10 225 041	10 164 589	10 096 183	9 937 465	10 215 366	10 082 811
2035	10 981 100	10 911 660	10 833 084	10 650 770	10 969 986	10 817 724
2036	11 750 923	11 671 760	11 582 181	11 374 339	11 738 253	11 564 671
2037	12 534 509	12 444 868	12 343 431	12 108 076	12 520 163	12 323 603
2038	13 331 860	13 230 963	13 116 790	12 851 884	13 315 712	13 094 472

Çizelge 7.6’da yolcu taşımacılığı senaryolarında elde edilen kümülatif enerji verimliliği miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



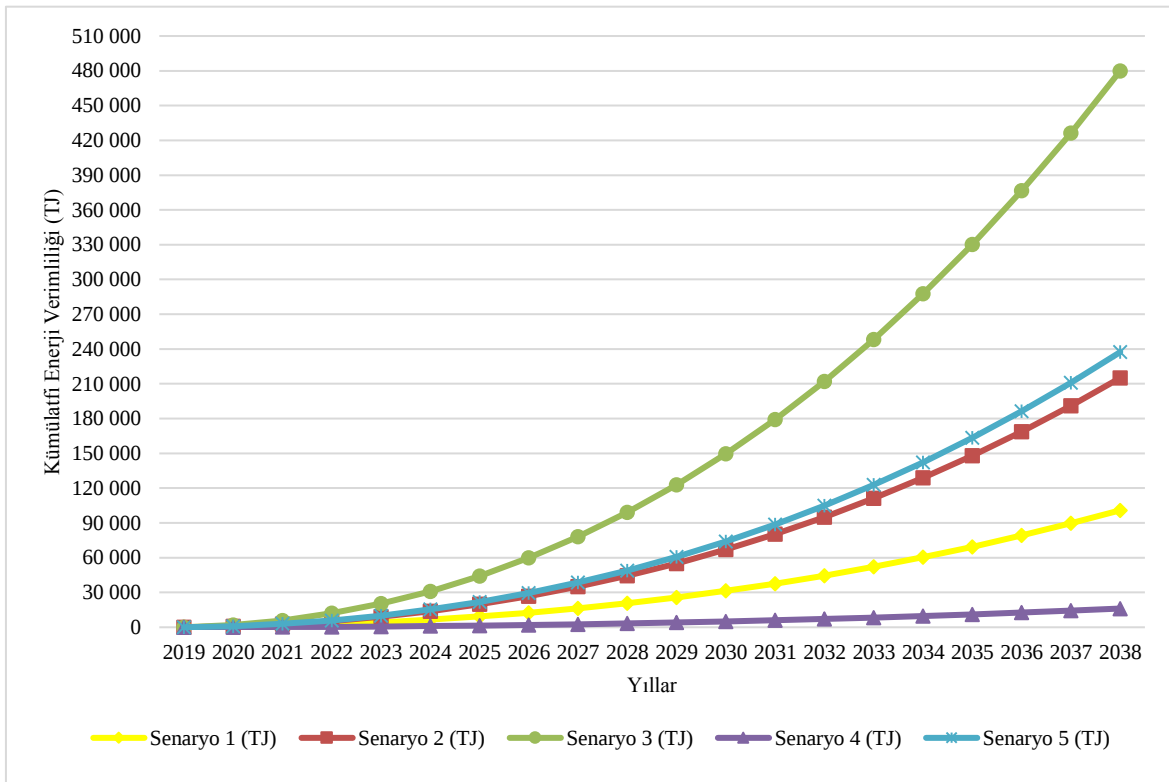
Şekil 7.6. Senaryoları sonucu kümülatif enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi

Senaryolar sonucunda yolcu taşımacılığında kümülatif enerji verimliliği miktarlarını yıllar olarak değerlendirirsek; senaryo 1 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 9 291 TJ ve 69 440 TJ olurken, senaryo 2 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 19 804 TJ ve 148 016 TJ, senaryo 3 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 44 196 TJ ve 330 330 TJ, senaryo 4 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 1 487 TJ ve 11 114 TJ ve senaryo 5 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 21 859 TJ ve 163 376 TJ olmuştur. Bu durumda 2025 ve 2035 yıllarında enerji verimliliği açısından en fazla kazanım senaryo 3 sonucu olmuştur.

Şekil 7.7’de senaryolar sonucu yolcu taşımacılığı için yıllara göre her yıl için kümülatif enerji verimliliği değişimi gösterilmektedir. Senaryolar sonucu her yıl daha çok artan eğilimde bir seyir izleyen bir enerji verimliliği artışı olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.6. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği miktarları

Yıllar	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	0	0	0	0	0
2020	408	870	1 942	65	961
2021	1 245	2 655	5 925	199	2 930
2022	2 532	5 397	12 044	405	5 957
2023	4 288	9 140	20 397	686	10 088
2024	6 534	13 928	31 082	1 046	15 373
2025	9 291	19 804	44 196	1 487	21 859
2026	12 578	26 812	59 837	2 013	29 594
2027	16 418	34 996	78 100	2 628	38 627
2028	20 829	44 398	99 085	3 334	49 006
2029	25 832	55 064	122 887	4 134	60 778
2030	31 449	67 036	149 605	5 033	73 992
2031	37 699	80 358	179 336	6 034	88 696
2032	44 602	95 073	212 176	7 138	104 939
2033	52 180	111 225	248 224	8 351	122 767
2034	60 452	128 859	287 576	9 675	142 230
2035	69 440	148 016	330 330	11 114	163 376
2036	79 163	168 741	376 583	12 670	186 252
2037	89 642	191 078	426 433	14 347	210 906
2038	100 897	215 070	479 976	16 148	237 388



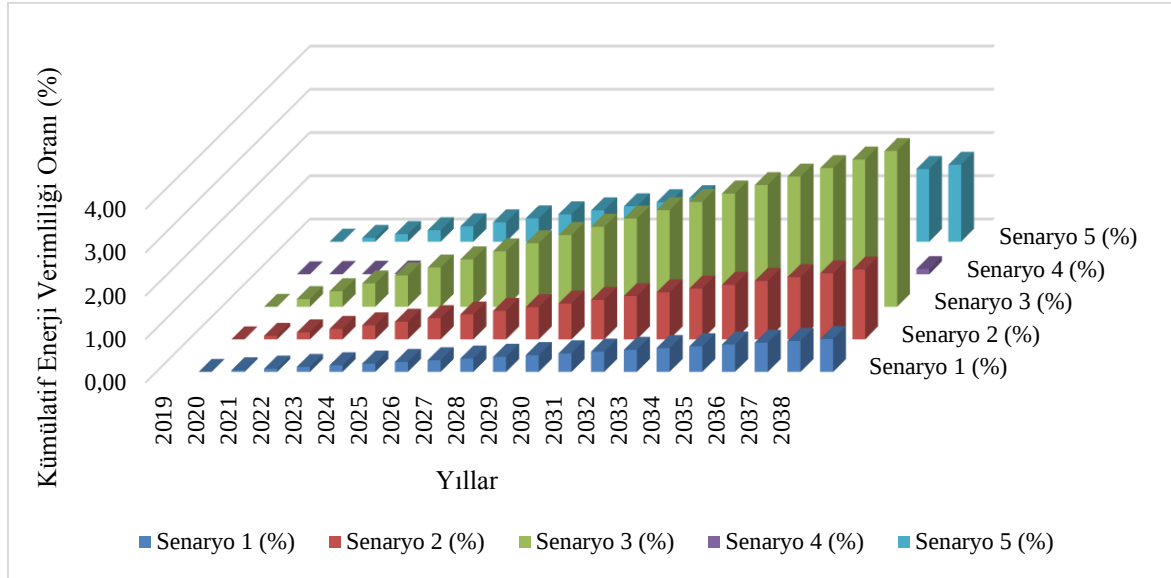
Şekil 7.7. Yolcu taşımacılığında senaryolara göre her yıl için kümülatif enerji verimliliği değişimi

Kümülatif enerji verimliliği oranları daha önce bulunan hâlihazır yük taşımacılığı enerji tüketim miktarları ile senaryolarda tahmin edilen enerji verimliliği miktarlarına bölünerek, yüzdesel olarak değeri ile bulunmakta olup, Çizelge 7.7’de senaryoların uygulanması sonucunda yolcu taşımacılığında elde edilen kümülatif enerji verimliliği oranlarının yüzdesel olarak yıllara göre her yıl için değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 7.7. Yolcu taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranları

Yıllar	Senaryo 1 (%)	Senaryo 2 (%)	Senaryo 3 (%)	Senaryo 4 (%)	Senaryo 5 (%)
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,04	0,08	0,18	0,01	0,09
2021	0,08	0,16	0,36	0,01	0,18
2022	0,11	0,24	0,54	0,02	0,27
2023	0,15	0,32	0,72	0,02	0,36
2024	0,19	0,41	0,91	0,03	0,45
2025	0,23	0,49	1,09	0,04	0,54
2026	0,27	0,57	1,28	0,04	0,63
2027	0,31	0,66	1,47	0,05	0,73
2028	0,35	0,74	1,66	0,06	0,82
2029	0,39	0,83	1,85	0,06	0,91
2030	0,43	0,91	2,04	0,07	1,01
2031	0,47	1,00	2,23	0,08	1,10
2032	0,51	1,09	2,42	0,08	1,20
2033	0,55	1,17	2,62	0,09	1,29
2034	0,59	1,26	2,81	0,09	1,39
2035	0,63	1,35	3,01	0,10	1,49
2036	0,67	1,44	3,20	0,11	1,58
2037	0,72	1,52	3,40	0,11	1,68
2038	0,76	1,61	3,60	0,12	1,78

Kümülatif enerji verimliliği oranlarında; senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,23; %0,43 ve %0,63 olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,49; %0,91 ve %1,35; senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %1,09; %2,04 ve %3,01; senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,04; %0,07 ve %0,10 ve senaryo 5 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,54; %1,01 ve %1,49 olmuştur. Şekil 7.8’de 2019-2038 yılları arası yolcu taşımacılığı gelecek senaryoların sonucunda yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.8. Ulaştırma yolcu taşımacılığı senaryolarının uygulanması sonucunda yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranlarının değişimi

7.3. Yük Taşımacılığı İçin Senaryolar

Yük taşımacılığı senaryoları; 2020 yılından itibaren yolcu taşımacılığı türel dağılımların değişmesi üzerine inceleme ve değerlendirmeleri kapsamakta olup, özellikle demiryolları ulaştırma sisteminin desteklenmesi durumuna ilişkin enerji kazanımları ve enerji verimlilik değerleri ortaya konulmak istenilmektedir. 2019 yılındaki türel dağılımları yine Bölüm 6.1.1’ de anlatıldığı üzere 2017 ve 2018 yılları türel dağılımlarının ortalaması kabul edilmektedir. 2020 yılından itibaren ise oluşturulan senaryo yaklaşımlarında detaylı olarak anlatıldığı gibi türel dağılımlarının, desteklenen tür açısından değişimi dikkate alınarak sahip oldukları paylar oluşturulmaktadır. Bu itibarla, 1999-2018 yıllarındaki 20 yıllık süreç için yük taşımacılığında türel dağılımı ve değişimleri açısından genel bir değerlendirilme yapılır ise aşağıdaki durumlar gözlenilmektedir.

Demiryollarının 1999 yılı (türel payı: %5,029) ile 2018 (türel payı: %4,752) yılları arasındaki türel dağılımı yıllık ortalama değişimine baktığımızda %0,0146 olduğu görülmektedir.

Demiryollarının türel dağılımının en yüksek değer 2000 yılında olup, bu oran %5,506’dır.

Demiryollarının türel dağılımının en düşük olduğu değer ise %3,810 ile 2015 yılında olduğu

görülmektedir.

Demiryolları türel dağılımında en büyük düşme 2000 ile 2001 yılları arasında %0,990 ile olduğu görülmektedir. 2000 yılında %5,506 değerine sahip olan demiryollarının yük taşımacılık payı 2001 yılında %4,516'ya gerilemiştir.

Demiryolları türel dağılımında en büyük artma 2002 ile 2003 yılları arasında %0,794 ile olduğu görülmektedir. 2002 yılında %4,343 değerine sahip olan demiryollarının yük taşımacılık payının 2003 yılında %5,137'e yükselmiştir.

Denizyollarının en yüksek payı %6,871 ile 2011 yılı olduğu görülmektedir. 2011-2018 yılları için 8 yıllık süreçte ortalama yıllık türel payı değişimi %0,147'dir.

Havayollarının türel dağılımının düzenli olarak artma sağladığı yılın 2007 yılı (türel dağılımı: %0,232) olduğu görülmektedir. 2007-2018 yıllarındaki süreçte türel dağılım payının yıllık ortalama değişim değeri %0,156'dır.

Geçmişteki yaşanan bu durumlar ve türel dağılımlarda yaşanan değişimler dikkate alınarak senaryolar oluşturulmaktadır. Diğer taraftan, oluşturulan bu senaryolarda 2020 yılından itibaren yük taşımacılığı türel dağılımlarının değişmesi üzerine inceleme ve değerlendirmeler yapılmakta olup, özellikle demiryolları ulaştırma sisteminin desteklenmesi durumuna ilişkin enerji kazanımları ve enerji verimlilik değerleri ortaya konulmak istenilmektedir. Bu itibarla, ulaştırmada yük taşımacılığı için 5 farklı senaryo belirlenmiş olup, bunlar aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

Senaryo 1

Türkiye ulaştırma sistemi için yük taşımacılığında sadece demiryollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Demiryollarının payının her yıl 1999-2018 yıllarındaki ortalama yıllık türel dağılımı değişimi olan %0,0146 kadar arttığı düşünülen senaryodur. Demiryollarındaki bu artışın karayollarının payının indirilmesi ile gerçekleşeceği düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türlerinin payının 2019 yılı için ulaştırma türleri paylarının sabit olduğu kabul edilmiştir. Böylece; 2019 yılının üstüne her yıl ortalama dağılım olarak demiryollarının payı %0,0146 artarken, karayollarının payı 2019'dan sonraki yıllar için yıllık ortalama %0,0146 oranında payı azalacaktır. Bu durumda, 2019 yılında türel dağılımı demiryollarının %4,52

iken 2038 yılında %4,80 olacağı, karayollarının ise 2019 yılında %87,81 iken 2038 yılında %87,53 olacağı, bu iki sistem dışında kalan havayolları ve denizyollarının toplam %7,67 olan payının 2038 yılına kadar aynı oranda sabit olacağı kabul edilmiştir.

Senaryo 2

Türkiye ulaştırma sistemi için yük taşımacılığında sadece demiryollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Demiryollarının türel dağılımının en yüksek ile en düşük değerleri arasındaki ortalama yıllık türel dağılımı değişimi kadar, türel dağılımının arttığı düşünülen senaryodur. Başka bir ifade ile 2000 (türel payı: %5,506) ile 2015 (türel payı: %3,810) yılları arasındaki süreçte ortalama yıllık türel dağılımı değişimi %0,1131 olup, demiryollarının her yıl bu oranda türel dağılımının arttığı düşünülmektedir. Demiryolları payındaki artışı, karayollarının yine aynı oranda payının indirilmesi ile gerçekleşeceği düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türü olan denizyolları ile havayollarının türel dağılım paylarının 2019 yılı değerinin gelecekte de değişmediği kabul edilmiştir. Böylece; 2019 yılının üstüne her yıl ortalama dağılım olarak demiryollarının payı %0,1131 artarken, buna karşın karayollarının payı 2019'dan sonraki yıllar için yıllık ortalama %0,1131 oranında payı azalacaktır. Bu durumda; 2019 yılında türel dağılımına bakıldığında demiryollarının payı %4,52 iken 2038 yılında %6,67 olacağı, karayollarının ise 2019 yılında %87,81 iken 2038 yılında %85,66'ya düşeceği, bu ulaştırma türleri dışında kalan denizyolları ile havayolları ulaştırma türlerinin toplam %7,67 olan payının aynı oranda sabit olacağı kabul edilmektedir.

Senaryo 3

Türkiye ulaştırma sistemi için yük taşımacılığında sadece demiryollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Ardışık yıllardaki en büyük türel dağılımdaki yıllık düşüş %0,990 ile en büyük yıllık yükselişin %0,794 ortalaması %0,892'dir. Demiryollarının her yıl bu oranda arttığı düşünülmektedir. Demiryolu ulaştırma payının 2038 yılına kadar her yıl %0,892 artırılarak 2019'daki %4,52 payı %21,47'ye çıkartılması ve bu artışı karayollarının payının her yıl %0,892 azaltılarak 2038 yılına kadar karayollarının payının %70,86 olacağı düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türlerinin payının 2019 yılı türel paylarının sabit kalarak aynı türel dağılımda olacağı kabul edilmektedir.

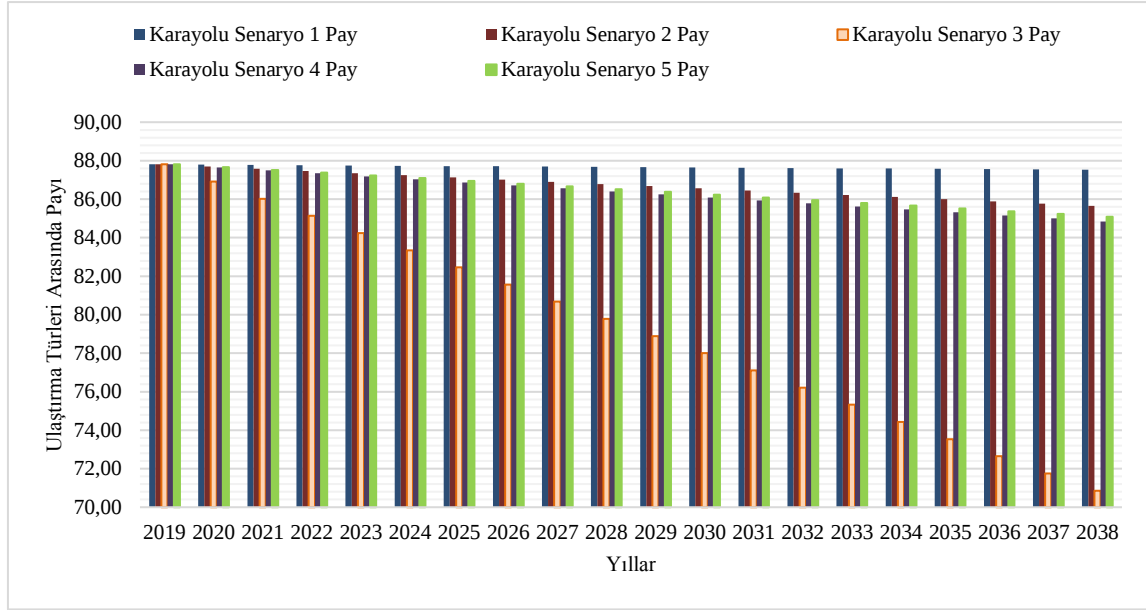
Senaryo 4

Türkiye ulaştırma sistemi için yük taşımacılığında sadece denizyollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Denizyollarının en yüksek payı %6,871 ile 2011 yılı olduğu görülmektedir. 2011-2018 yılları ortalama yıllık türel dağılımı değişimi %0,147'dir. Denizyollarının türel dağılımının 2019 yılından itibaren her yıl bu oranda türel dağılımının arttığı düşünülmektedir. Denizyollarının payındaki artışı, karayollarının yine aynı oranda payının indirilmesi ile gerçekleşeceği düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türü olan demiryolları ile havayollarının türel dağılım paylarının 2019 yılı değerinin değişmediği kabul edilmektedir. Böylece; 2019 yılının üstüne her yıl ortalama dağılım olarak demiryollarının payı %0,147 artarken, buna karşın karayollarının payı 2019'dan sonraki yıllar için yıllık ortalama %0,147 oranında payı azalacaktır. Bu durumda; 2019 yılında türel dağılımına bakıldığında denizyollarının payı %5,89 iken 2038 yılında %8,85 olacağı, karayollarının ise 2019 yılında %87,81 iken 2038 yılında %84,85'a düşeceği, bu ulaştırma türleri dışında kalan denizyolları ile havayolları ulaştırma türlerinin toplam %6,3 olan payının aynı oranda sabit olacağı kabul edilmektedir.

Senaryo 5

Türkiye ulaştırma sistemi için yük taşımacılığında sadece havayollarının desteklenmesi amaçlanmaktadır. Havayollarının türel dağılımının düzenli olarak artma sağladığı yılın 2003 yılı olduğu görülmektedir. 2007(%0,232 türel dağılımı) - 2018 (%1,952 türel dağılımı) yılları ortalama değişim değeri %0,156'dır. Havayollarının her yıl bu oranda arttığı düşünülmektedir. Havayollarının türel dağılımındaki her yıl bu artış, karayollarının payındaki aynı orandaki düşüşle karayollarından karşılanacağı düşünülmektedir. Bu itibarla; havayolu ulaştırma türünün payının 2038 yılına kadar her yıl %0,156 artırılarak %450'ye çıkartılması ve bu artışı karayollarının payının her yıl %0,156 azaltılarak 2038 yılına kadar karayollarının payının %85,09 olacağı düşünülen senaryodur. Diğer taşımacılık türlerinin payının 2019 yılı türel paylarının sabit kalarak aynı türel dağılımda olacağı kabul edilmektedir.

Senaryolar sonucu yük taşımacılığı için 2019-2038 yıllarında karayollarının Türkiye ulaştırma sistemi içinde türel payının değişimi Şekil 7.9'da gösterilmektedir. Çizelge 7.8'de ise desteklenen ulaştırma türleri ve yıllık ortalama yüzdesel değişimleri gösterilmektedir.



Şekil 7.9. Senaryolar sonucu yük taşımacılığı için 2019-2038 yıllarında karayollarının Türkiye ulaştırma sistemi içinde türel payının değişimi

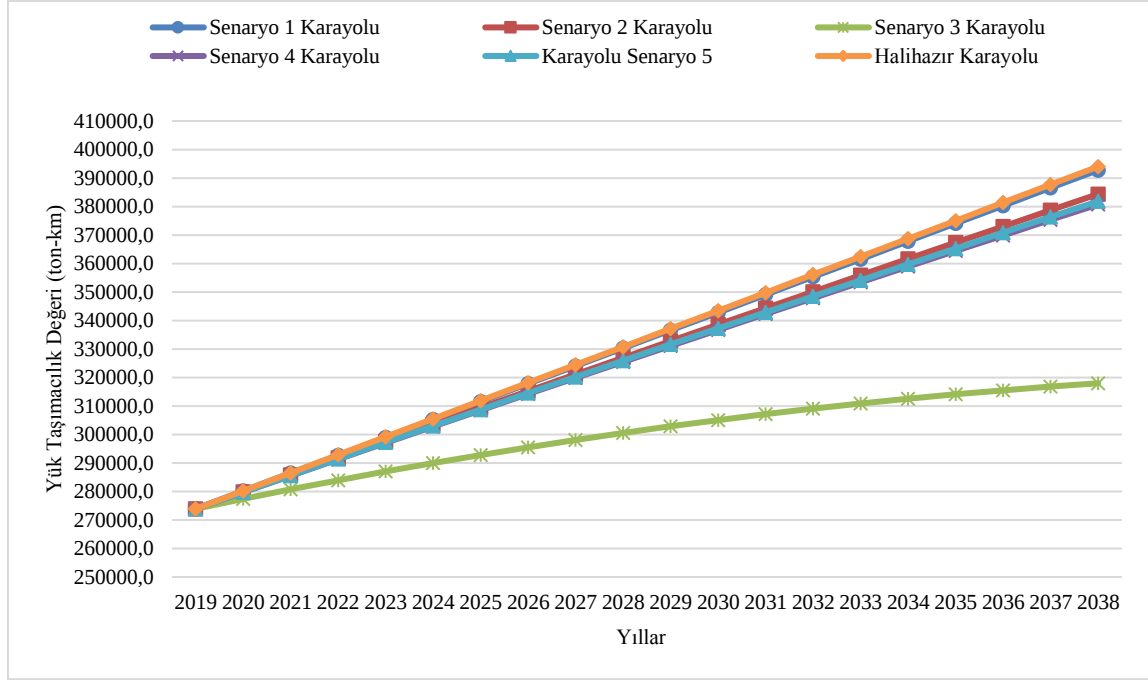
Çizelge 7.8. Yük taşımacılığında desteklenen ulaştırma türü ve yıllık ortalama değişimleri

Yük Taşımacılığı Model Adı	Desteklenen Ulaştırma Türü	Yıllık Ortalama Değişim
Senaryo 1	Demiryolları	%0,0146
Senaryo 2	Demiryolları	%0,1131
Senaryo 3	Demiryolları	%0,8920
Senaryo 4	Denizyolları	%0,1470
Senaryo 5	Havayolları	%0,1560

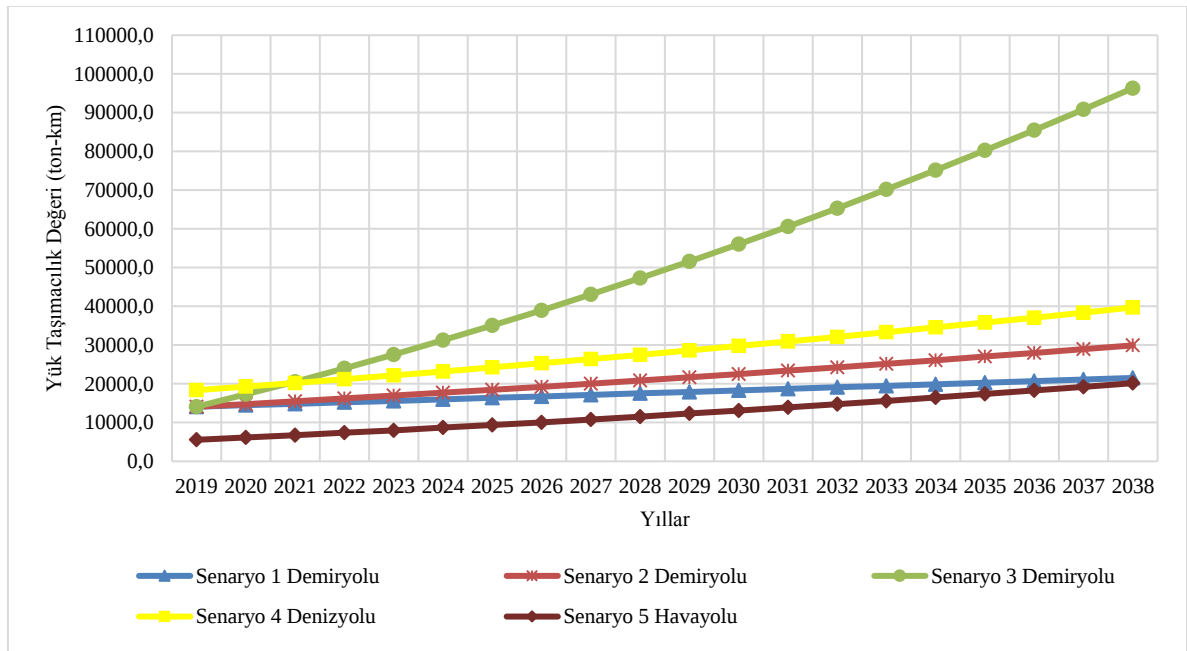
7.3.1. Yük taşımacılığı senaryolarının uygulanması ve sonuçların değerlendirilmesi

Yük taşımacılığında 2019-2038 yıllarındaki toplam taşımacılık faaliyeti hâlihazır yaklaşımı sonucu elde edilen değerleri Bölüm 6.1.2’de gösterilmektedir. Bulunan buradaki toplam yük taşımacılık faaliyetlerinin değerleri her senaryo modelindeki ulaştırma türünün o yıldaki türel dağılımı oranında dağıtılarak her bir ulaştırma türünün o yıldaki yük taşımacılık değerleri yani ton-km miktarları bulunmaktadır. Bu şekilde, elde edilen senaryolardaki yük taşımacılık değerlerinden ve daha önce Çizelge 6.4’de gösterilen enerji yoğunlukları değerlerinden yararlanılarak türlere göre enerji tüketim değerleri her yıl için tür tabanlı enerji analizi yaklaşımı ile hesaplanılmaktadır. Senaryolarda hesaplanan enerji tüketim değerleri ile halihazır yaklaşımı ile gelecek yıllar için elde edilen enerji tüketim değerleri karşılaştırılarak, her senaryo için enerji verimliliği değerleri ile enerji verimliliği oranları ve

kümülatif enerji verimliliği ile kümülatif enerji verimliliği oranları bulunarak genel olarak değerlendirilmektedir. Şekil 7.10'da karayolu ulaştırma türünün yük taşımacılık değerinin senaryolara göre karşılaştırılması, Şekil 7.11'de ise desteklenen ulaştırma türlerinin ilgili senaryolarda değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.10. Karayolu yük taşımacılık değerlerinin senaryolara göre değişimi

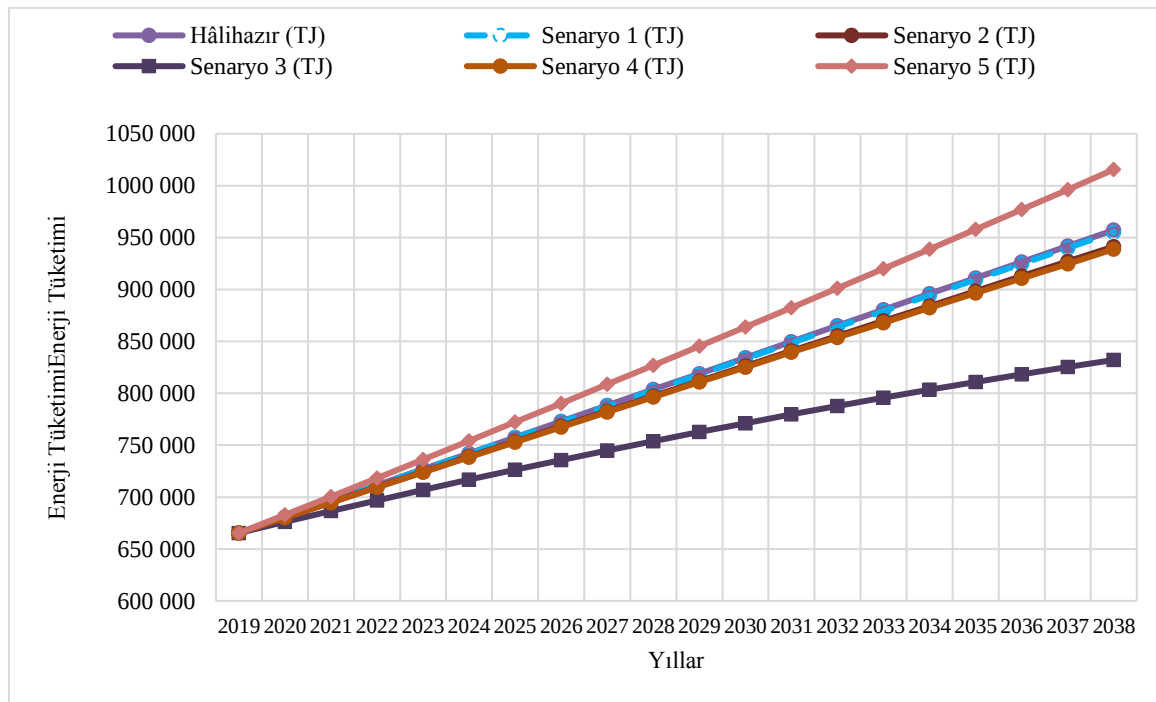


Şekil 7.11. Yük taşımacılığında desteklenen ulaştırma türlerinin ilgili senaryolarda değişimi

Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’den de görüleceği üzere karayollarının toplam yük taşımacılığı içerisindeki payı değişmekte olup, tüm senaryolarda taşımacılık faaliyetleri yani ton-km değerleri artmaktadır. Yine Şekil görüleceği üzere taşımacılık değerlerinin artma eğilimi değiştirilerek senaryolar sonucu taşımacılık değerleri elde edilmektedir.

Yük taşımacılığı senaryoları sonucu enerji tüketim tahminleri

2038 yılında hâlihazır durumda 957 271 TJ enerji tüketimi gerçekleşirken senaryolar sonucu; senaryo 1 ile 955 222 TJ, senaryo 2 ile 941 400 TJ, senaryo 3 ile 832 101 TJ, senaryo 4 ile 938 930 TJ ve senaryo 5 ile 1 015 660 TJ olmuştur. Bu durumda, en çok enerji tüketimi sırası ile senaryo 5 ile sonrasında hâlihazır durumda, sonrasında senaryo 1, sonrasında senaryo 2, senaryo 4 ve en az senaryo 3 ile olmuştur. Buradan da görüleceği üzere havayolları ulaştırma türünün desteklenmiş olduğu senaryo 5 enerji verimliliği sağlamamakta ve enerji tüketimi açısından referans alınan hâlihazır durum yaklaşımına göre de olumsuz olmaktadır. Senaryoların yıllara göre enerji tüketim değişimi Şekil 7.12’de gösterilmektedir. Tüm senaryolarda enerji tüketim değeri yıllar itibari ile doğrusal bir seyir izlediği görülmektedir. Çizelge 11.10. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji tüketim miktarları gösterilmektedir.



Şekil 7.12. Yük taşımacılığında senaryolara göre enerji tüketiminin yıllara göre değişimi

Çizelge 7.9. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji tüketimleri

Yıllar	Hâlihazır (TJ)	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	665 438	665 438	665 438	665 438	665 438	665 438
2020	680 798	680 721	680 204	676 112	680 111	682 983
2021	696 157	696 000	694 942	686 575	694 753	700 627
2022	711 517	711 277	709 654	696 827	709 364	718 369
2023	726 877	726 549	724 340	706 867	723 945	736 211
2024	742 236	741 818	738 998	716 696	738 494	754 150
2025	757 596	757 084	753 629	726 313	753 012	772 188
2026	772 955	772 346	768 234	735 719	767 499	790 325
2027	788 315	787 605	782 812	744 914	781 956	808 561
2028	803 675	802 860	797 363	753 897	796 381	826 895
2029	819 034	818 112	811 887	762 669	810 775	845 328
2030	834 394	833 360	826 385	771 229	825 138	863 859
2031	849 753	848 605	840 856	779 578	839 471	882 489
2032	865 113	863 846	855 300	787 715	853 772	901 218
2033	880 473	879 084	869 717	795 641	868 043	920 045
2034	895 832	894 319	884 107	803 356	882 282	938 971
2035	911 192	909 550	898 470	810 859	896 490	957 995
2036	926 552	924 777	912 807	818 151	910 668	977 118
2037	941 911	940 001	927 117	825 232	924 814	996 340
2038	957 271	955 222	941 400	832 101	938 930	1 015 660

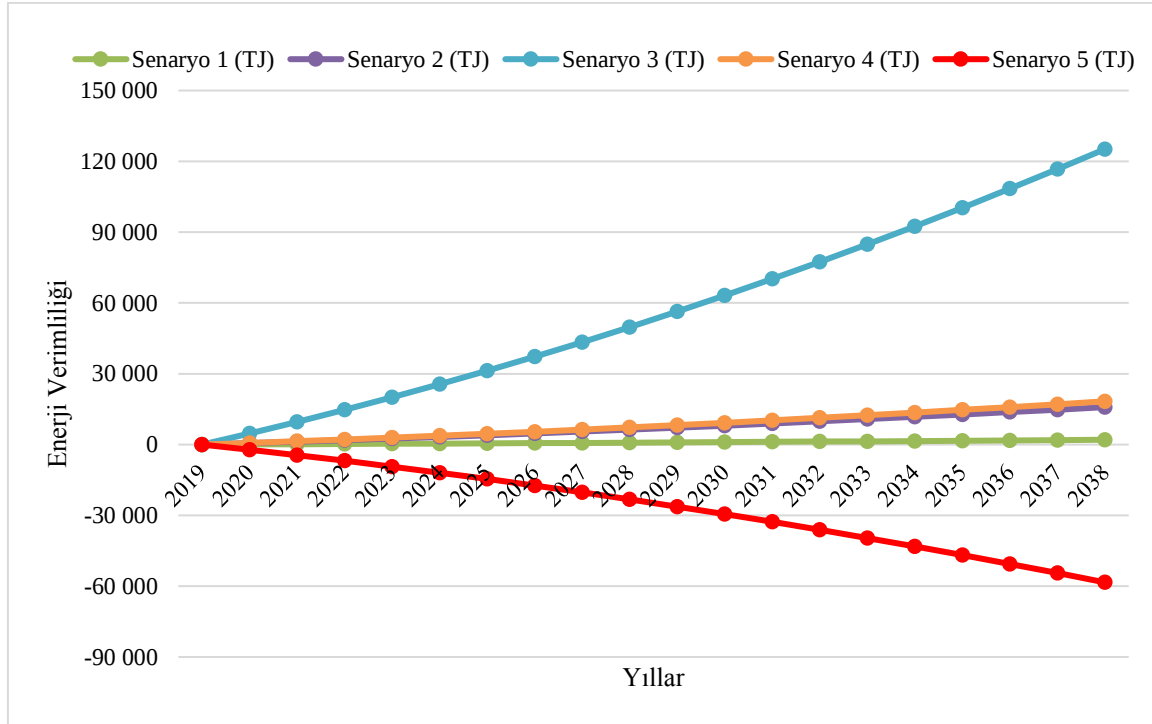
Yük taşımacılığı senaryoları sonucu enerji verimliliği tahminleri

Daha önce bulunan hâlihazır yük taşımacılığı enerji tüketim miktarları ile senaryolar sonucunda öngörü hesaplamalarında bulunan enerji tüketim miktarları arasındaki fark enerji verimliliği olarak nitelendirilmektedir. Çizelge 7.10’da yük taşımacılığı gelecek senaryolar sonucunda türlere göre elde edilen enerji verimliliği miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 7.10. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği miktarları

Yıllar	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	0	0	0	0	0
2020	77	594	4 685	687	-2 186
2021	157	1 215	9 582	1 404	-4 470
2022	240	1 863	14 690	2 152	-6 853
2023	328	2 537	20 009	2 932	-9 334
2024	418	3 238	25 540	3 742	-11 914
2025	512	3 966	31 282	4 584	-14 593
2026	609	4 721	37 236	5 456	-17 370
2027	710	5 503	43 401	6 360	-20 246
2028	815	6 311	49 778	7 294	-23 220
2029	923	7 147	56 366	8 259	-26 293
2030	1 034	8 009	63 165	9 255	-29 465
2031	1 149	8 898	70 176	10 283	-32 736
2032	1 267	9 814	77 398	11 341	-36 105
2033	1 388	10 756	84 831	12 430	-39 572
2034	1 514	11 725	92 476	13 550	-43 138
2035	1 642	12 722	100 333	14 702	-46 803
2036	1 774	13 744	108 400	15 884	-50 567
2037	1 910	14 794	116 679	17 097	-54 429
2038	2 049	15 871	125 170	18 341	-58 389

Senaryolar uygulanması sonucunda yük taşımacılığında enerji verimliliği miktarlarını yıllar olarak değerlendirirsek; senaryo 1 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 512 TJ ve 1 642 TJ olurken, senaryo 2 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 3 966 TJ ve 12 722 TJ, senaryo 3 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 31 282 TJ ve 100 333 TJ, senaryo 4 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 4 584 TJ ve 14 702 TJ olmuştur ve enerji verimliliği elde edilemeyen başka bir ifade ile referans alınan hâlihazır yaklaşımından daha çok enerji tüketildiği senaryo 5’de ise 2025 ve 2035 yıllarında enerji verimliliği sırası ile -14 593 TJ ve 46 803 TJ olmaktadır. Enerji verimliliği açısından en fazla kazanım senaryo 3 ile sonrasında senaryo 4 uygulanması sonucu olmuştur. Şekil 7.13’de senaryoların yük taşımacılığı için yıllara göre her yıl için enerji verimliliği değişimi gösterilmektedir. Senaryolar sonucu her yıl artan doğrusal bir seyir izleyen bir enerji verimliliği artışı olduğu görülmektedir.



Şekil 7.13. Senaryolara göre yük taşımacılığı için yıllara göre enerji verimliliği değişimi

Yük taşımacılığı senaryoları sonucu enerji verimliliği oranları

Enerji verimliliği oranları; daha önce bulunan hâlihazır yük taşımacılığı enerji tüketim miktarları ile senaryoların uygulanması neticesinde tahmin edilen enerji verimliliği miktarlarına bölünerek, yüzdesel olarak değeri ile bulunmaktadır. Çizelge 7.11’de senaryolar ile yük taşımacılığında elde edilen enerji verimliliği oranlarının yüzdesel olarak yıllara göre her yıl için değişimi gösterilmektedir.

Enerji verimliliği açısından senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,07; %0,12 ve %0,18 olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,52; %0,96 ve %1,40; senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %4,13; %7,57 ve %11,01; senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,61; %1,11 ve %1,61 ve senaryo 5 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile -%1,93; -%3,53 ve -%5,14 olmuştur.

Çizelge 7.11. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre enerji verimliliği oranları %

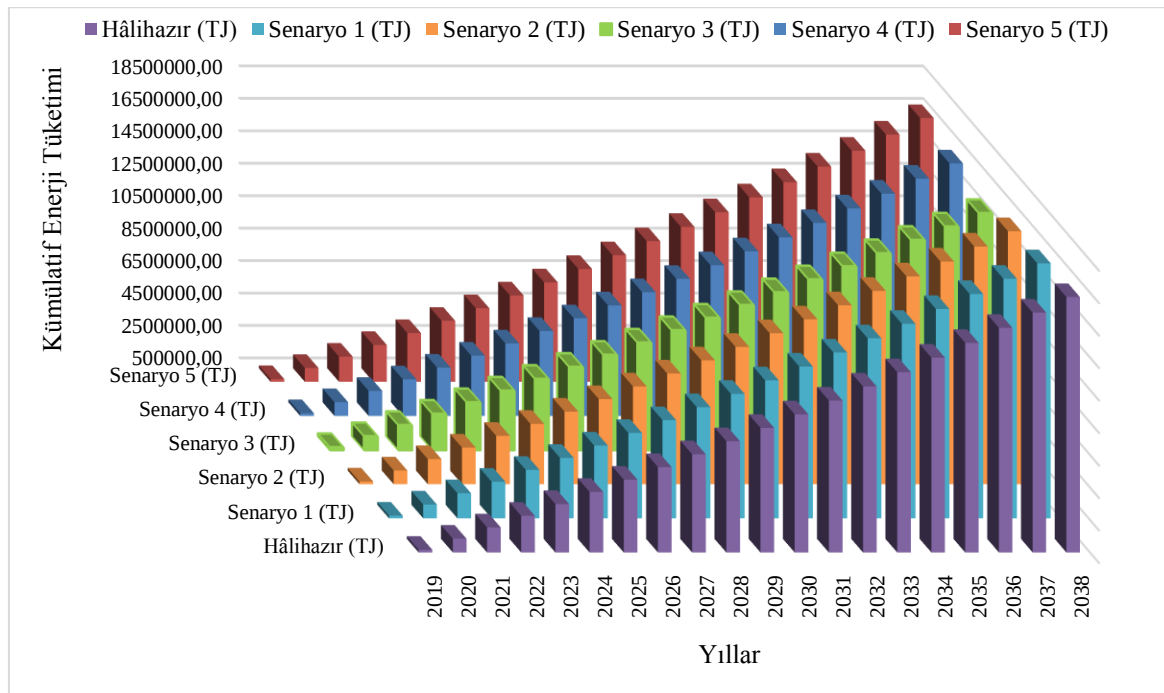
Yıllar	Senaryo 1 (%)	Senaryo 2 (%)	Senaryo 3 (%)	Senaryo 4 (%)	Senaryo 5 (%)
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,01	0,09	0,69	0,10	-0,32
2021	0,02	0,17	1,38	0,20	-0,64
2022	0,03	0,26	2,06	0,30	-0,96
2023	0,05	0,35	2,75	0,40	-1,28
2024	0,06	0,44	3,44	0,50	-1,61
2025	0,07	0,52	4,13	0,61	-1,93
2026	0,08	0,61	4,82	0,71	-2,25
2027	0,09	0,70	5,51	0,81	-2,57
2028	0,10	0,79	6,19	0,91	-2,89
2029	0,11	0,87	6,88	1,01	-3,21
2030	0,12	0,96	7,57	1,11	-3,53
2031	0,14	1,05	8,26	1,21	-3,85
2032	0,15	1,13	8,95	1,31	-4,17
2033	0,16	1,22	9,63	1,41	-4,49
2034	0,17	1,31	10,32	1,51	-4,82
2035	0,18	1,40	11,01	1,61	-5,14
2036	0,19	1,48	11,70	1,71	-5,46
2037	0,20	1,57	12,39	1,82	-5,78
2038	0,21	1,66	13,08	1,92	-6,10

Yük taşımacılığı senaryoları sonucu kümülatif enerji verimliliği tahminleri ve oranları

Senaryolar sonucu gelecek yıllar kümülatif enerji tüketim tahmini değerlerine bakıldığından 2038 yılında halihazır yaklaşımında 16 227 089 TJ, senaryo 1 ile 16 208 574; senaryo 2 ile 16 083 660 TJ, senaryo 3 ile 15 095 892 TJ, senaryo 4 ile 16 061 336 TJ ve senaryo 5 ile 16 754 771 TJ olmaktadır. Çizelge 7.12’de oluşturulan senaryolar neticesinde tüketilen kümülatif enerji değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 7.14’de ise kümülatif enerji tüketim değerlerinin durumu yıllara göre değişimi karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 7.12. Yük taşımacılığı gelecek senaryoları sonucuna göre kümülatif enerji değerleri

Yıllar	Hâlihazır (TJ)	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	665 438	665 438	665 438	665 438	665 438	665 438
2020	1 346 236	1 346 159	1 345 642	1 341 551	1 345 549	1 348 421
2021	2 042 393	2 042 160	2 040 584	2 028 126	2 040 303	2 049 048
2022	2 753 910	2 753 436	2 750 239	2 724 953	2 749 667	2 767 418
2023	3 480 787	3 479 985	3 474 578	3 431 820	3 473 612	3 503 628
2024	4 223 023	4 221 803	4 213 576	4 148 516	4 212 106	4 257 779
2025	4 980 619	4 978 887	4 967 205	4 874 830	4 965 118	5 029 967
2026	5 753 574	5 751 233	5 735 439	5 610 549	5 732 617	5 820 292
2027	6 541 889	6 538 838	6 518 251	6 355 463	6 514 572	6 628 853
2028	7 345 564	7 341 698	7 315 615	7 109 360	7 310 953	7 455 748
2029	8 164 598	8 159 809	8 127 502	7 872 028	8 121 728	8 301 076
2030	8 998 992	8 993 169	8 953 887	8 643 257	8 946 867	9 164 935
2031	9 848 745	9 841 774	9 794 743	9 422 835	9 786 337	10 047 424
2032	10 713 858	10 705 620	10 650 042	10 210 551	10 640 109	10 948 642
2033	11 594 331	11 584 705	11 519 759	11 006 192	11 508 152	11 868 687
2034	12 490 164	12 479 023	12 403 866	11 809 548	12 390 434	12 807 657
2035	13 401 356	13 388 573	13 302 336	12 620 408	13 286 924	13 765 653
2036	14 327 907	14 313 350	14 215 143	13 438 559	14 197 592	14 742 771
2037	15 269 818	15 253 352	15 142 260	14 263 791	15 122 406	15 739 111
2038	16 227 089	16 208 574	16 083 660	15 095 892	16 061 336	16 754 771



Şekil 7.14. Yük taşımacılığı kümülatif enerji tüketim değerlerinin değişimi

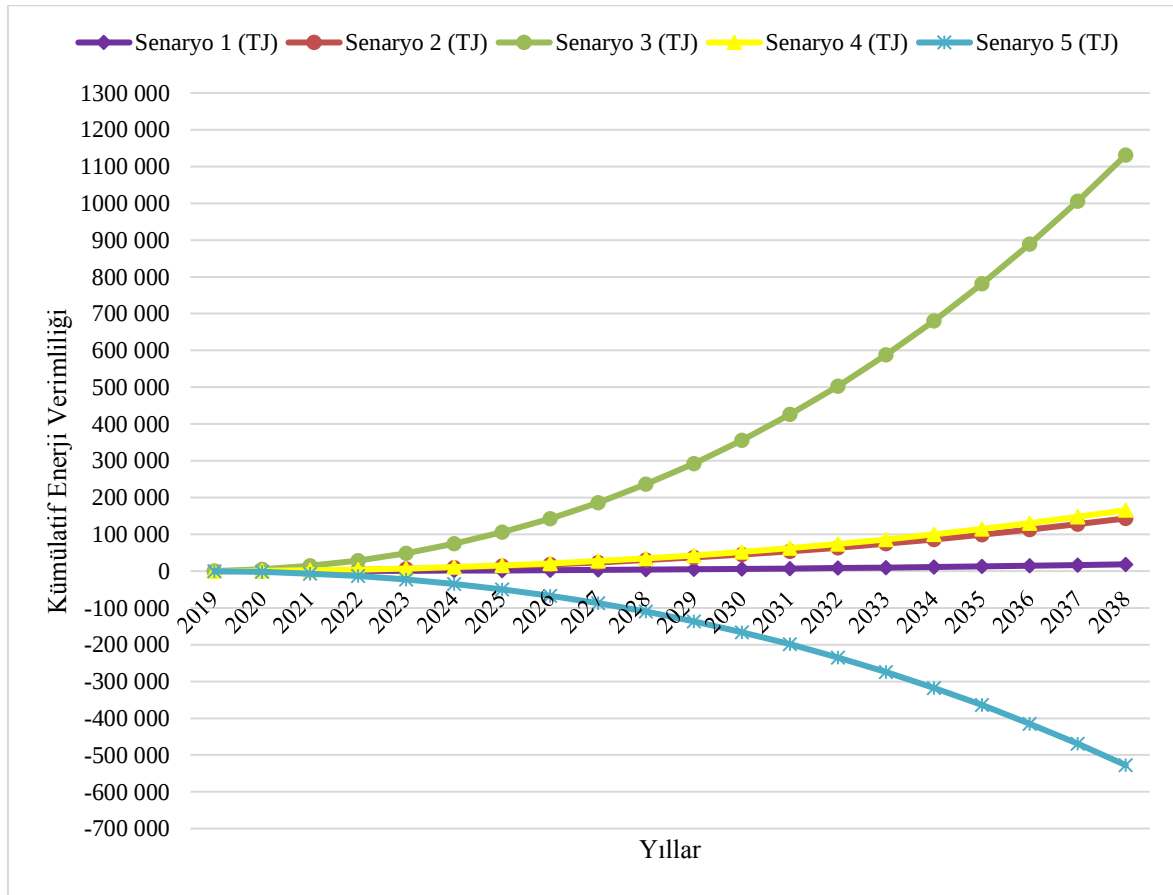
Kümülatif enerji verimliliği miktarlarının hesaplanması ise, bulunan gelecek yıllar için halihazır yaklaşımı kabulleri neticesinde bulunan yük taşımacılığındaki kümülatif enerji tüketim miktarları ile senaryolar sonucu öngörülerek bulunan kümülatif enerji tüketim miktarlarının arasındaki farkla hesaplanmaktadır. Çizelge 7.13’de senaryolar ile yük taşımacılığında elde edilen kümülatif enerji verimliliği miktarlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 7.13. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği tahmini miktarları

Yıllar	Senaryo 1 (TJ)	Senaryo 2 (TJ)	Senaryo 3 (TJ)	Senaryo 4 (TJ)	Senaryo 5 (TJ)
2019	0	0	0	0	0
2020	77	594	4 685	687	-2 186
2021	234	1 809	14 267	2 091	-6 655
2022	474	3 672	28 957	4 243	-13 508
2023	801	6 209	48 966	7 175	-22 842
2024	1 220	9 447	74 506	10 917	-34 756
2025	1 732	13 413	105 789	15 501	-49 348
2026	2 341	18 135	143 025	20 957	-66 718
2027	3 051	23 638	186 426	27 317	-86 964
2028	3 866	29 949	236 204	34 611	-110 185
2029	4 789	37 096	292 570	42 870	-136 478
2030	5 823	45 105	355 734	52 125	-165 943
2031	6 971	54 003	425 910	62 408	-198 679
2032	8 238	63 816	503 308	73 749	-234 783
2033	9 626	74 572	588 139	86 179	-274 356
2034	11 140	86 298	680 615	99 730	-317 494
2035	12 782	99 019	780 948	114 431	-364 297
2036	14 557	112 764	889 348	130 315	-414 864
2037	16 466	127 558	1 006 028	147 412	-469 292
2038	18 515	143 429	1 131 198	165 753	-527 682

Senaryolar sonucunda katlanmış tahmini enerji verimliliği miktarlarının değerlerini yıllar olarak değerlendirirsek; senaryo 1 ile 2025 ve 2035 yıllarında sırası ile 1 732 TJ ve 12 782 TJ olurken, senaryo 2 ile 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 13 413 TJ ve 99 019 TJ, senaryo 3 ile 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 105 789 TJ ve 780 948 TJ, senaryo 4 ile 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile 15 501 TJ ve 114 431 TJ, senaryo 5 ile 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile

49 348 TJ ve -364 297 TJ olmuştur. Bu durumda kümülatif enerji verimliliği açısından en fazla kazanım senaryo 3 sonucu olmuştur. Enerji verimliliği açısından faydalı olmayan senaryo ise senaryo 5 olmuştur. En az enerji verimliliği elde edilen senaryo ise senaryo 1 sonucu olmaktadır. Senaryolar sonucu her yıl artan doğrusal bir seyir izleyen bir enerji verimliliği artışı olduğu görülmektedir. Şekil 7.15’de senaryolara göre yük taşımacılığı için yıllara göre, her yıl için kümülatif enerji verimliliği değişimi gösterilmektedir.



Şekil 7.15. Senaryolara göre yük taşımacılığı için yıllara göre her yıl için kümülatif enerji verimliliği değişimi seyri

Yük taşımacılığı senaryoları sonucu kümülatif enerji verimliliği oranları

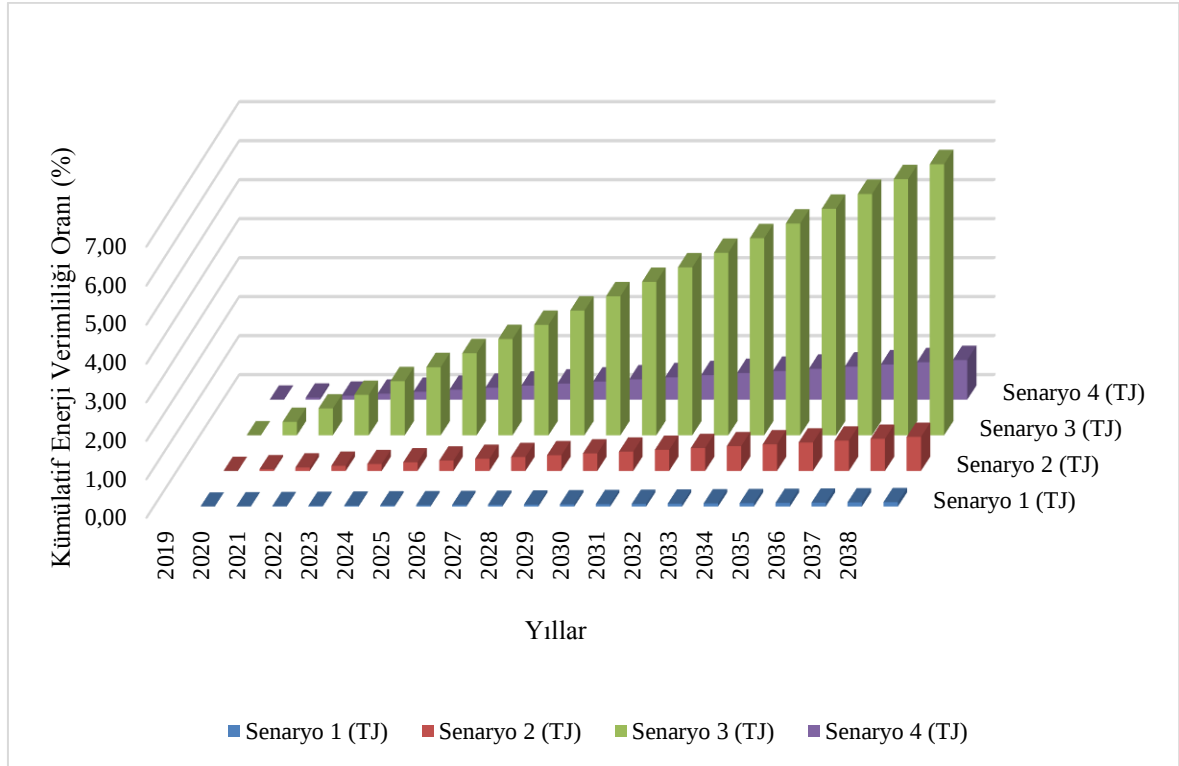
Kümülatif enerji verimliliği oranları daha önce bulunan hâlihazır yük taşımacılığı enerji tüketim miktarları ile senaryolarda tahmin edilen enerji verimliliği miktarlarına bölünerek, yüzdesel olarak değeri ile bulunmakta olup, Çizelge 7.14’de senaryolar ile yük taşımacılığında elde edilen kümülatif enerji verimliliği oranlarının yüzdesel olarak yıllara göre, her yıl için değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 7.14. Yük taşımacılığı gelecek senaryolarında yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranları %

Yıllar	Senaryo 1 (%)	Senaryo 2 (%)	Senaryo 3 (%)	Senaryo 4 (%)	Senaryo 5 (%)
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,01	0,04	0,35	0,05	-0,16
2021	0,01	0,09	0,70	0,10	-0,33
2022	0,02	0,13	1,05	0,15	-0,49
2023	0,02	0,18	1,41	0,21	-0,66
2024	0,03	0,22	1,76	0,26	-0,82
2025	0,03	0,27	2,12	0,31	-0,99
2026	0,04	0,32	2,49	0,36	-1,16
2027	0,05	0,36	2,85	0,42	-1,33
2028	0,05	0,41	3,22	0,47	-1,50
2029	0,06	0,45	3,58	0,53	-1,67
2030	0,06	0,50	3,95	0,58	-1,84
2031	0,07	0,55	4,32	0,63	-2,02
2032	0,08	0,60	4,70	0,69	-2,19
2033	0,08	0,64	5,07	0,74	-2,37
2034	0,09	0,69	5,45	0,80	-2,54
2035	0,10	0,74	5,83	0,85	-2,72
2036	0,10	0,79	6,21	0,91	-2,90
2037	0,11	0,84	6,59	0,97	-3,07
2038	0,11	0,88	6,97	1,02	-3,25

Kümülatif enerji verimliliği oranları açısından yük taşımacılığı senaryoları karşılaştırılacak olursa; senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,03; %0,06 ve %0,10 olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,27; %0,50 ve %0,74; senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %2,12; %3,95 ve %5,83; senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,31; %0,58 ve %0,85 ve enerji verimliliği sağlanamayan senaryo 5 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile -%0,99; -%1,84 ve -%2,72 olmuştur.

Şekil 7.16’da 2019-2038 yılları arası yük taşımacılığı gelecek senaryoların sonucunda yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranlarının yıllara göre değişimi gösterilmektedir (enerji verimliliği sağlanamayan havayollarının desteklendiği model olan senaryo 5 dahil edilmemiştir.).



Şekil 7.16. 2019-2038 yılları arası yük taşımacılığı gelecek senaryoların sonucunda yıllara göre kümülatif enerji verimliliği oranlarının yıllara göre değişimi

8. SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞTIRMA PLANLAMASI STRATEJİLERİ

Tezin bu bölümünde öncelikle sürdürülebilirlik ve sürdürülebilir ulaşım hakkında genel bilgiler verilmektedir. Ayrıca, bu bölümde ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları ile ilgili genel tanımlar ve bilgiler sunulmaktadır. Sonrasında, ulaştırma türlerinde tüketilen enerji değerleri ile ulaştırma türlerine göre sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) değerlerinin geçmiş yıllarındaki değerlerini dikkate alarak bir birimlik enerji tüketiminde (her bir ulaştırma türü için ayrı olmak üzere) oluşan sera gazı emisyonu değerleri bulunulacaktır. Diğer bir ifade ile 1990-2017 yılları için ulaştırma türlerinde tüketilen bir birimlik enerji için oluşan toplam sera gazı emisyonu değeri hesaplanarak, genel olarak değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Bu işlemler sonrasında, önceki bölümdeki detaylı olarak açıklanan senaryolarda gelecek yıllar enerji tüketimleri dikkate alınarak her ulaştırma türü için bir birimlik enerjide oluşacak sera gazı emisyonu değerleri dikkate alınarak, hesabı yapılan yıldaki sera gazı emisyonu değerlerinin hesabı yapılacaktır. Ardından, 2019-2030 yılları için senaryolara göre hesaplanan sera gazı emisyonu değerleri ile 6. Bölümde bulunan hâlihazır duruma göre oluşacağı tahmin edilen sera gazı emisyonu değerleri karşılaştırılarak elde edilen kazanımlar ile farklar belirtilerek, genel olarak değerlendirilmesi yapılacaktır. Senaryolardaki değişimleri görmek için bu yöntem izlenilmiş olup, gelecek yıllardaki oluşabilecek farklılıklar ile teknolojinin değişmesi ve daha çevreci sistemlerin çoğalması sonucu herhangi bir ulaştırma türünde bir birim enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerinin değişebileceği unutulmamalıdır. Ancak, tüm senaryolarda aynı koşullara göre değerlendirme yapıldığı için değişimlerin görülmesi için bu yaklaşım ile değerlendirilme yapılmakta ve kazanımlar açısından yol gösterici olmaktadır.

8.1. Sürdürülebilirlik

İklim felaketlerinin dünyamızda çok sık yaşanması ve bu durumun sonucu olarak çevrenin olumsuz etkilenmesi, çevrenin etkilenmesiyle de insan hayatı açısından önemli olan doğal kaynakların hızlı bir şekilde azaldığını hatta tükendiğini görmekteyiz. İnsanlar tarafından doğa farkında olarak ya da olmayarak bir şekilde kirletilirken, doğal kaynakların ise plansız bir şekilde tüketilmesi durumu gözlenmektedir. Bu noktada bu bilinçsiz ve plansız

yaklaşımların olması hem doğamızı hem de doğal kaynaklarımızı bizden sonraki kuşaklara bırakma kaygılarını da gündeme getirmiştir. Bu durum, dünyanın her yerinde sürdürülebilirlik kavramına olan ilgiyi arttırmakla kalmamış, geleceğimizi de sürdürebilirlik kavramı etrafında şekillendirmeye başlamıştır.

Sürdürülebilirlik latince kökenli olup, “sustinere” korumak veya dayanmak anlamlarına gelmektedir [222]. Sürdürülebilirlik; en basit tanımına şekliyle ise “gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama imkânlarına zarar vermeden günlük ihtiyaçların temin edilmesi” olarak tanımlanmaktadır [223]. Başka bir ifade ile tanımlanırsa; sürdürülebilirlik, “verimliliğin optimal koşullarda uzun yıllar boyunca devamlılığının sağlanması” olarak yorumlanmaktadır [224].

Sürdürülebilirlik kavramı ilk olarak 1982 yılında ortaya çıkarken, ulaştırma sektöründe bu kavramın ortaya çıkışı 1990’lı yıllara dayanmaktadır. 1992 yılında yayımlanmış olan “Ortak Ulaştırma Politikasının Gelecekteki Gelişimi” başlıklı Beyaz Kitap [225], ulaştırma politikası ve planlaması konusunda bir dönüm noktası olduğu görülmektedir. Yayımlanan Beyaz Kitap’ta ilk kez; “sürdürebilirlik” ile “sosyal uyum” tanımlarına yer verilmiş olduğu görülmektedir [225, 226]. Bu tanımların Avrupa Birliği ulaştırma politikaları üzerindeki etkileri, 1992 yılında Brezilya’da ilk defa yapılan Dünya Zirvesi’nde sürdürebilirlik kuralının gündem olması ile gerçekleşmiştir [226]. Sürdürebilirlik kavramıyla birlikte ulaştırmadan kaynaklanan karbondioksit salınımlarının azaltılması düşüncesi de öne çıkmıştır [226]. Ulaştırmadan kaynaklanan karbondioksit salınımlarının azaltılması düşüncesi oldukça önemli olup, bu düşünce daha temiz, daha çevre dostu ve daha verimli bir ulaştırma politikasının oluşturulmasına katkı sunmaktadır.

8.1.1. Sürdürülebilirlik kavramı

Sürdürülebilir kavramı ortaya çıkmasında ve sonrasında da olmak üzere çok çeşitli şekillerde yorumlanmış olup, bunlardan bazıları aşağıda verilmektedir.

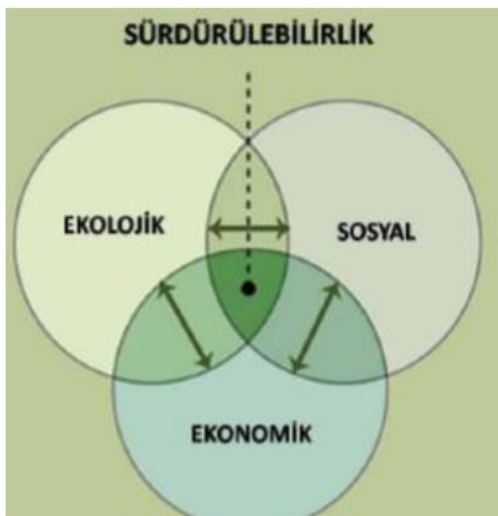
Ruckelshaus’a göre sürdürülebilirlik; “ekolojinin en geniş sınırları içinde ekonomik büyümenin ve kalkınmanın karşılıklı etkileşim ile sağlanacağı ve zaman içinde korunacağı doktrindir” olarak 1989 yılında tanımlamıştır [227, 228].

Gilman’a göre ise toplumun, ekosistemin ya da devam eden herhangi bir sistemin ana kaynaklarını tüketmeden belirsiz bir geleceğe kadar özelliğini sürdürmesi olarak 2003 yılında tanımlanmıştır [227, 229]

Sürdürülebilirlik Merkezine göre; “sürdürülebilirlik, uzun vadeli gelecekteki devamlılık kapasitesiyle özdeştir. Süresiz olarak yapılmasına devam edilebilen her şey sürdürülebilirdir. Süresiz olarak yapılamayan herhangi bir şey de sürdürülemezdir.” olarak tanımlanmıştır [230].

Ulaştırma Araştırma Kurulu’na göre; “sürdürülebilirlik tehdit analizi değil, sistemler analizidir. Çevresel, ekonomik ve sosyal sistemlerin, değişik ölçekteki işletmelerde, ne şekilde birbirlerinin yararına veya zararına etkileşim içinde olduklarını inceler.” olarak sürdürülebilirlik tanımını yapmıştır [230].

Yapılan tüm tanımları değerlendirdiğimizde ve incelediğimizde bir ortak durum görmekteyiz, bu ortak durum; bugün ve gelecek nesillerdeki insanların temel ihtiyaçlarının gözetilmesi ve bu ihtiyaçlar gözetilirken de sosyal, ekonomik ve çevresel etkilerin bütün bir şekilde ele alınmasıdır. Bu itibarla, tanımlardan da yola çıkarak sürdürülebilirliğin üç önemli temel eksenini olduğu, bunlarında sırası ile ekonomik, ekolojik ve sosyal sürdürülebilirlik olarak belirlendiği söylenebilir [231]. Şekil 8.1. ‘de sürdürülebilirlik döngüsü gösterilmektedir. Sürdürülebilirliğin üç temel ekseninin sorunları ise Çizelge 8.1’de gösterilmektedir.



Şekil 8.1. Sürdürülebilirlik döngüsü [231]

Çizelge 8.1. Sürdürülebilirlik sorunları [230, 232]

Ekonomik	Sosyal	Çevresel
Ödenebilirlik	Eşitlik	Kirlenmenin önlenmesi
Kaynak verimliliği	İnsan sağlığı	İklim değişikliği
Maliyetlerin içselleştirilmesi	Eğitim	Biyolojik çeşitlilik
Ticari ve iktisadi etkinlikler	Bir arada yaşanabilirlik	Tedbirli hareket etme
İstihdam	Yaşam kalitesi	Dönüşü olmayandan kaçınma
Üretkenlik	Halk katılımı	Doğal yaşamı koruma
Vergi yükü	Tarihi ve kültürel değerler	Estetik

Çizelge 8.1’den de görüldüğü üzere sürdürülebilirliğe dair sorunlar sürdürülebilirliğin üç temel eksenine göre farklılık göstermekte ve bu üç temel eksen başlığı altında verilebilmektedir.

8.2. Sürdürülebilirlik ve Ulaşım

Ulaşım yaşam kalitesini etkileyen en önemli öge olduğu bilinmekle birlikte, gün geçtikçe artan ihtiyacın birçok olumsuzluk oluşturan durumu da akabinde getirmekte olduğu görülmektedir. Bu olumsuzlukların en önemlileri ve en dikkat çekici olanları, insanları doğrudan etkileyen; sera gazı salınımı, hava ve gürültü kirliliği olarak sayılabilir.

Avrupa Çevre Ajansına göre, üye ülkelerdeki toplam enerji tüketiminin ortalama üçte birinin ve sera gazı emisyonlarının beşte birinin temel unsurunun ulaşım olduğunu belirtmektedir [233]. Ayrıca, toplam dünya enerjisinin %25’ini, dünyadaki toplam petrol üretiminin de yarısını ulaşım kullanmaktadır [234]. Bununla birlikte; ulaşımın gürültü kirliliğinin büyük bir kısmında ve çevre görünümü üzerinde de oldukça ciddi bir etkisi bulunmaktadır [233]. Günümüzde ulaşım ihtiyacından vazgeçilmeksizin, ulaşım kaynaklı bu olumsuzlukları azaltmak, tüm ülkelerin temel stratejilerinden ve hedeflerinden biri olmuştur [232, 235]. Bu itibarla, ulaştırma sisteminin çevre ve iklime verdiği çeşitli etkiler nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin bu etkilere karşı temel politika ve stratejiler geliştirdikleri ve bu alanlarda genel olarak daha çevreci ulaşım sistemleri ile bunların altyapılarının

oluşturulması ve çevreci ulaşım araçlarına doğru yönelim oluşturduğunu, her geçen gün de bu durumun arttığı açıktır.

Dünyadaki gelişmiş ve gelişmekte olan tüm ülkeler daha önce de bahsedildiği üzere, çevreye duyarlı ve daha çevreci sistemlere kullanmayı ve bunları artıracak politika ve stratejileri geliştirmeyi hedeflemektedirler. Bu noktada sürdürülebilir ulaşım kavramı ortaya çıkmaktadır.

Sürdürülebilir ulaşım tanımına baktığımızda 1996'da Kanada'da düzenlenen Vancouver Konferansı'nda sürdürülebilir bir ulaşım yapısı için belirli ilkeler belirlenmiştir. Bu ilkeler [236];

- *Sosyal olarak*; eşitlik, erişilebilirlik, sağlık ve güvenlik, bireysel sorumluluk, bütüncül planlama
- *Çevresel olarak*; kirlilik önleme, arazi ve kaynak kullanımı
- *Ekonomik olarak*; tam maliyet muhasebesi

olarak ifade edilmiştir.

Schipper'a [237] göre ise sürdürülebilir bir ulaştırma sistemi; "sürdürülebilir bir ulaştırma sisteminde kullanıcılar, gelecektekiler de dâhil olmak üzere tüm sosyal ve dışsal maliyetleri öderler. Bu dışsal maliyetler kazaları, hava kirliliğini, tıkanıklığı, gürültüyü, doğal yaşama olan zararı, karbondioksit miktarındaki artışı ve yakıt ithalatını kapsamaktadır." olarak tanımlamıştır.

İktisadi İş birliği ve Gelişme Teşkilatı'na (OECD) [238] göre ise sürdürülebilir ulaşım sistemleri; "Halk sağlığını ve ekosistemleri tehlikeye atmayan, kişilerin hareketlilik ihtiyaçlarını karşılayan, yenilenebilir kaynakları yenileme oranlarından daha düşük miktarlarda kullanan, yenilenemeyen kaynakları, yerine koyan yenilenebilir olanların gelişim hızından daha düşük miktarlarda kullanan ulaşım türüdür." olarak tanımlanmıştır.

Diğer taraftan sürdürülebilir ulaşım veya ulaştırma, sürdürülebilirlik döngüsü açısından değerlendirildiğinde, aşağıdaki açıklamaların olması temel olarak istenilmektedir.

Çevresel olarak sürdürülebilir ulaşım, en az sera gazları emisyonu oluşturanın daha çok kullanımda olduğu, otomobil kullanımının en az olması ve azaltıldığı, dağınık ve geniş

alanlara yayılmış kentsel gelişmeyi önleyebilen, kontrollü ve düzenli gelişme sağlayan bir ulaşım sistemi olmalıdır [239].

Ekonomik açıdan sürdürülebilir ulaşım, yakıt kullanımının az olduğu ve yakıt kullanımını olabildiğince azaltan, enerji tasarrufunu dikkate alan ve enerji verimliliğini artıran, altyapı yatırımlarının ve kullanımının doğru seçimler ve etkin bir şekilde yapıldığı, kaza ve kaybedilen zaman maliyetlerinin azaltılmasına yönelik çalışmaların olduğu, trafik sıkışıklığının azaltıldığı bir ulaşım sistemi olmalıdır [239].

Toplumsal açıdan sürdürülebilir ulaşım, maliyetinin herkes tarafından ödenebilir düzeyde olduğu, herkese de erişebilirlik sağlayan bir ulaşım sistemi olmalıdır [239].

Bu açıklamaların sürdürülebilir ulaşımın temel hedeflerinden olduğu kabul edilerek, dikkate alınarak planlamalar yapılması doğru olacaktır.

8.2.1. Sürdürülebilir ulaşım kapsamında olumsuzluk oluşturan bazı etkenler

Ulaşım sistemleri sosyal, ekonomik, hayat standartlarını yükseltmek gibi bizlere çok çeşitli konularda faydalar sağlamasının yanı sıra, olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Bu olumsuzluk oluşturan etkenler [240];

- Su, Hava, Gürültü Kirliliği
- Trafik Kazaları
- Toplum ve Kent Yaşamına Etkisi
- Trafik Tıkanıklığını Oluşturma
- Arazi Kullanımı
- Enerji kaynaklarını tüketme

olarak tanımlanabilir. Bu etkilerin dışında ek olarak dolaylı ve doğrudan ilgili olan sürdürülebilir ulaşımı olumsuz olacak şekilde etkileyen etkenler de bulunmaktadır. Bunlardan bazıları;

- Nüfus Artışı ve şehirleşme [240],
- Teknolojik gelişmeler [240],
- Ulaşım kaynaklı atıklar [241],

- Trafik kazaları [242],
- Trafik tıkanıklığı [243, 244],
- Ulaşım için kullanılan süre (zaman değeri) [245],
- Sera gazları (özellikle CO₂ gazı) [83, 246, 247]

olarak ifade edilebilir.

Sürdürülebilir ulaştırma planlamasında ana hedef oluşan bu olumsuz olan ve zararı olabilecek bu etkileri en aza ve hatta mümkün ise ortadan kaldırmaktır. Bu da sürdürülebilir ulaştırma politikalarının uygulanması ve sürdürülebilir ulaşım planlaması stratejilerinin gerçekleşmesi ile mümkündür. Sonuç olarak; sürdürülebilir ulaşım, ulaştırma sistemi verimliliğini arttıran ve olumsuz etkileri azaltan stratejiler ve hedefler bütünü olarak kısa açıklama olarak belirtilebilir.

8.2.2. CO₂ emisyonu

Çevreyi sera gazlarının etkilediği bilinmekte ve sera gazlarının içinde ise çevreyi en çok etkileyen karbondioksit gazı olup, dünya genelinde toplam sera gazı salınımlarının ortalama %75'i CO₂'ye aittir [246]. Sera gazı salınımlarının sektör olarak dağılımında ise ulaştırma sektörü en başlardaki sırada yer almaktadır. Bunun nedenleri arasında ise karayolu kullanımının çok olduğu bilinmektedir. Ulaştırma sektörü nedeniyle açığa çıkan sera gazlarının içerisinde büyük oranda CO₂ gazı bulunmasından dolayı, özellikle CO₂ gazı emisyonu üzerinde bu tez kapsamında ayrıca durulmuştur.

Enerji kaynakları genel olarak az ya da çok çevreye olumsuz olarak etkimesine karşın, en çok olumsuz etkileyenin ise fosil yakıtlar olduğu ve bu kaynakların çevre üzerinde daha çok önemli problemler oluşturduğu görülmektedir. Fosil yakıtların kullanımlarının dışında, bunların araştırılması aşaması, sondaj çalışmaları, çıkarılması ve dağıtımında da dikkate değer bir ölçüde çevre problemlerini meydana geldiği gözlemlenmektedir. Fosil yakıtlar, yaşadığımız yüzyıl içindeki en büyük çevre sorunlarından olan iklim değişikliğinin oluşmasında en başta bulunmakta, yani ilk sırasında yer almaktadır. Sera gazları içinde de en büyük paya sahip olan karbondioksit miktarı; genel olarak fosil yakıtların yanması nedeniyle oluşmaktadır [247].

1980’li yıllarda küresel iklim değişikliğinin fark edilecek seviyeye erişmesi ile birlikte, enerji-ekonomi-çevre beraber değerlendirilmeye başlanılmıştır. Bu üç durumun İngilizce yazılışlarının hepsi “E” harfi ile başlaması nedeniyle, bu kurala; 3 E (energy, economy, environment; enerji, ekonomi, çevre) yaklaşımı olarak ifade edilmiştir [248].

Diğer taraftan, sera gazı emisyonlarının miktarı ve genel durumu ile değişiminin takip edilmesi günümüzde oldukça önemlidir. Çünkü ülkeler sera gazına yönelik politikalar ve buna yönelik hedefleri için sera gazı emisyonlarını kontrol etmesi, değişim durumunu görerek adımlar atması oldukça önem arz etmektedir. Bu itibarla, sera gazı emisyonlarının ölçümü için en sık kullanılan teknik Sera Gazı Protokolü’dür. Bu protokol ile sera gazının ölçümü için kullanılan sera gazları, Kyoto Protokolü’nde de bahsi geçen; CO₂ (Karbondiyoksit), SF₆ (Kükürt Hekzaflorid), CH₄ (Metan), N₂O (Azot Oksit), HFC (Hidro Floro Karbon) ve PFC (Per Floro Karbon) gazlarıdır [246]. Bu gazlar içinde en çok değere sahip olan daha önce de bahsedildiği üzere fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondiyoksit gazıdır. Sera gazlarının sera etkisini dolayısıyla çevreye oldukça zararı olduğu düşünülürse, CO₂ gazının sera etkisini artırmada oldukça etkili olduğunu belirtmek mümkündür. CO₂ gazının sera etkisine ortalama olarak %60’na denk geldiği görülmektedir [246]. Enerji ile ilgili doğrudan işlemler CO₂ emisyonlarının azaltılması noktasında oldukça önemlidir. CO₂ emisyonlarının azaltılmasında karbon yakalama teknikleri ve karbon depolama teknikleri kullanılmaktadır. Karbon yakalama yöntemiyle, karbondiyoksit salınımını önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bu yöntemle, birçok OECD ülkesi ve Avrupa Birliği’nin birçok ülkesinde önemli bir enerji stratejisi olarak kullanılmaktadır [249].

Dünyadaki toplam karbondiyoksit emisyonuna baktığımızda; 2007 yılı için 30 078,7 milyon ton iken 2017 yılında 33 444,0 milyon tona yükselmiştir [250]. Çizelge 8.2’de dünyadaki toplam karbondiyoksit emisyonu değerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. Dünyadaki toplam karbondioksit emisyonu değerinin yıllara göre değişimi (milyon ton karbondioksit) [250]

Yerleşim / Yıllar	2007	2013	2016	2017	Yıllık Büyüme Oranı		Payı
					2017	2006-2016	2017
Kuzey Amerika	6 861,9	6 312,2	6 161,3	6 121,1	%-0,65	%-0,90	%18,30
Güney ve Orta	1 105,8	1 339,2	1 327,3	1 309,8	%-1,32	%2,30	%3,92
Avrupa	4 688,8	4 159,1	4 060,6	4 152,2	%2,26	%-1,50	%12,42
Diğer Bağımsız	2 303,3	2 297,9	2 212,3	2 213,3	%0,05	%-0,30	%6,62
Orta Doğu Ülkeleri	1 529,5	1 928,4	2 057,9	2 112,3	%2,64	%3,60	%6,32
Afrika	966,1	1 132,9	1 185,2	1 204,9	%1,66	%2,50	%3,60
Asya-Pasifik Ülkeleri	12 623,2	15 632,3	1 6013	16 330,4	%1,98	%3,10	%48,83
Dünya	30 078,7	32 802,0	33 017,6	33 444,0	%1,29	%1,30	%100,00

Çizelge 8.2’den de görüleceği üzere dünya genelinde 2017 yılı için karbondioksit emisyonu değeri salınımında en büyük oran %48,83 pay ile Asya-Pasifik ülkelerine (Avustralya, Bangladeş, Çin, Endonezya, Hindistan, Malezya gibi ülkeler) ait olup, bu değer 16 330,4 milyon ton olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, dünya genelinde karbondioksit emisyonu değeri salınımında en az orana sahip olan bölge ise %3,60 pay ile Afrika Ülkeleri (Mısır, Fas gibi ülkeler) olup, bu değer 1 204,9 milyon ton olduğu görülmektedir. 2017 yılı için Avrupa bölgesinin dünya genelinde oranı ise %12,42 ile 4 152,2 milyon ton karbondioksittir.

Türkiye ve dünyadaki bazı ülkelerin karbondioksit emisyonu değerleri ile dünyadaki payları Çizelge 8.3’de gösterilmektedir. Çizelge 8.3’den de görüleceği üzere; 2017 yılı için ABD’nin karbondioksit emisyonu salınımı değeri 5 087,7 milyon ton karbondioksit, Rusya’nın değeri 1 525,3 milyon ton karbondioksit, Çin’in ise 9 232,6 milyon ton karbondioksit olduğu görülmektedir. Yine 2017 yılı için Japonya’nın karbondioksit emisyonu salınımı değeri 1 176,6 milyon ton, Güney Kore’nin 679,7 milyon ton karbondioksit, Almanya’nın 763,8 milyon ton karbondioksit, Finlandiya’nın 45,0 milyon ton karbondioksit, Katarın 114,8 milyon ton karbondioksit, İspanya’nın değeri 301,9 milyon ton karbondioksit, Hindistan için bu değer 2 344,2 milyon ton karbondioksittir. Dünyada karbondioksit salınımında en çok paya sahip olan üç ülkenin (Çin, ABD, Hindistan) dünyadaki toplam payı ise dünyanın üçte birinden fazla olup, %35,8’dir.

Çizelge 8.3. Türkiye ve dünyadaki bazı ülkelerin karbondioksit emisyonu (milyon ton karbondioksit) [250]

Ülke / Yıl	2007	2016	2017	Değişim Oranı 2006-2016	Dünya Payı
					2017
ABD	5 881,4	5 129,5	5 087,7	%-1,2	%15,2
Brezilya	351,4	462,1	466,8	%3,2	%1,4
Finlandiya	67,6	46,9	45,0	%-3,9	%0,1
Fransa	371,2	314,8	320,3	%-1,9	%1,0
Almanya	807,2	765,4	763,8	%-0,9	%2,3
İtalya	460,9	339,7	344,0	%-3,2	%1,0
Hollanda	234,1	210,9	209,1	%-1,1	%0,6
Norveç	37,4	35,2	35,3	%-0,6	%0,1
Portekiz	59,2	54,8	59,8	%-1,1	%0,2
İspanya	378,6	283,2	301,9	%-2,5	%0,9
İsviçre	40,3	37,4	38,4	%-1,7	%0,1
Türkiye	273,0	365,6	410,9	%3,9	%1,2
İngiltere	568,4	410,4	398,2	%-3,4	%1,2
Rusya	1 528,1	1 510,5	1 525,3	%-0,2	%4,6
İsrail	70,4	69,9	71,4	%0,4	%0,2
Katar	53,8	104,7	114,8	%9,4	%0,3
Suudi Arabistan	392,5	590,8	594,7	%4,7	%1,8
Mısır	160,2	212,1	217,3	%3,4	%0,6
Güney Afrika	411,8	425,1	415,6	%0,6	%1,2
Çin	7 214,8	9 113,6	9 232,6	%3,2	%27,6
Hindistan	1 365,5	2 251,0	2 344,2	%6,0	%7,0
Endonezya	386,5	486,0	511,5	%3,1	%1,5
Japonya	1 266,0	1 180,5	1 176,6	%-0,6	%3,5
Singapur	151,4	218,6	226,7	%4,5	%0,7
Güney Kore	545,4	665,2	679,7	%2,5	%2,0
Dünya	30 078,7	33 017,6	33 444,0	%1,3	%100,0

Türkiye'nin karbondioksit emisyonu salınımı 2016 yılında 365,6 milyon ton karbondioksit, 2017 yılı için bu değer 410,9 Milyon ton karbondioksit; dünyadaki payı ise 2017 yılı için %1,2'dir.

Türkiye açısından CO₂ salınımını genel olarak değerlendirmek gerekirse; Türkiye'de her an artan enerji talebine bağlı olarak salınan CO₂ miktarı artmakta olduğu bilinene bir gerçektir.

Türkiye, Birleşmiş Milletler İklim Değişimi Çerçeve sözleşmesinde bir taraf olmasına ve 2009 yılından itibaren de Kyoto Protokolüne üye olmasına karşın, henüz CO₂ emisyonunu azaltmak ve belirli seviyede tutmak için bir sayısal bir hedef belirlemediği görülmektedir [251]. Bunu örneklemek gerekir ise; Türkiye’de toplam sera gazı emisyonu 1990 yılın için değeri 100 kabul edersek 2000 yılında bu değerin 158,8 ve 2010 yılında daha da artarak 214,9 olmuştur [252].

8.3. Sürdürülebilir Ulaştırma Planı

Sürdürülebilir ulaşım planından önce ulaşım planının tanımını yapılırsa, artan ve gelişimi her geçen gün devam eden kentleşmeyle nüfus artışının olması yaşam alanlarında bazı problemlerin oluşmasına ve çeşitli konularda (trafik, kirlilik gibi) olumsuzlara sebep olmaktadır. Bu oluşan sorunlara yönelik yeni çözümler üretilmesi zorunluluktur. Bu sorunlara yönelik bulunan çözümlerin hepsi ulaşım planı konusu içerisinde toplanmıştır. Ulaşım planlarının; ulaşım sistemlerinin verimli ve dengeli dağılımı, farklı ulaşım sistemlerinin kullanımı, trafikteki tıkanıkları ve trafiğe dair yeni düzenlemelerin yapılması, yaya ve bisiklet yolları, yaşam alanları gibi çeşitli kavramları içinde barındırmaktadır.

Ulaşım planlaması çalışmaları, dünyada 1945’li yıllarda başlamış olup, ABD’de yapılan ilk ulaşım planı çalışmalarında öncelikli amacın sadece trafik sorunlarının azaltılmasına ve bunların oluşturduğu problemlerin çözümüne yönelik olduğu görülmektedir [253]. Türkiye’ye baktığımızda ise ulaşım planları, ABD ve Avrupa ülkelerine göre oldukça geç bir süreçte başladığı görülmekte ve Türkiye’de ilk ulaşım planlaması çalışmalarının 1970 yılından önce yapıldığı, bu çalışmalarda da genellikle olarak yabancı kuruluşların ortaklığıyla gerçekleştirildiği görülmektedir. Ayrıca yapılan çalışmaların, daha dar kapsamlı ve kısa süreli olduğu ifade edilebilir. Türkiye’nin 1970 yılından sonra, özellikle 1970 ile 1985 yılları arasındaki süreçte yapılan düzenlemelerin ve çalışmaların kamu tarafından yürütüldüğü ve bu çalışmaların daha önceki yapılmış olan çalışmalar ile karşılaştırıldığında da daha kapsamlı olduğunu söylemek mümkündür. 1980’lerin ortalarından sonraki dönemde; ulaşım planlamaları için farklı etüt çalışmaları yapıldığı ve bu çalışmalar bilimsel düzeyde dikkate alınmış, raylı taşımacılık sistemleri, bisiklet yolları gibi alternatifler içeren etüt araştırmalarını ve çalışmalarını kapsamaktadır [254]. Günümüzde ulaşım planına yönelik süreçler dünyada olduğu gibi Türkiye içinde her geçen gün gelişmekle birlikte, meydana gelen teknolojik yenilikler, nüfus ve ekonomik büyümelerin artması bu çalışmalara yönelik

araştırmaların gelişerek ve değişerek devam edeceği açıktır. Çünkü ulaşım planlarının oluşturulma amaçları her zaman ülkeler için faydalı olacak çalışmalar sunmaktadır.

8.3.1. Sürdürülebilir ulaşım planı modeli

1960 yılından 1990 yılına kadar klasik(geleneksel) model yaklaşımında ulaşım planları; yalnızca trafiği düzenlemeyi amaçlamakta, yol ve kavşak düzenlemelerinden oluşmakta olduğu görülmektedir. Geleneksel modellerde trafik tıkanıklığı sorununun çözümünün tam anlamıyla bulanamadığı ve bunun sonucu olarak da yol güvenilirliğini azalttığı görülmekle birlikte, çok katlı kavşakların yapımları, yolların genişletilmesi ve yeni yol yapılması gibi düzenlemelerin trafik problemlerinin çözümünden daha çok araç kullanımına neden olduğu, bu durumda daha çok yol açılmasıyla daha çok trafik oluşumuna sebep olduğu görülmektedir [255]. 1990 yılından sonra yeni bir kavram ortaya çıkmış ve ulaşım planlamalarında yeni uygulamaların başlanılmasına sebep olmuştur. Bu kavram sürdürülebilir ulaşım kavramıdır.

Birleşmiş Milletler Asya ve Pasifik ülkeleri için ekonomik ve sosyal komisyonu sürdürülebilirlik ulaşım kavramını [256]; “ekonomik, çevre duyarlı, sosyal olarak güvenli, kültürel olarak canlı, değişen talepler ve eğilimlere uyumlu, üretilen faydaların toplumun tüm kesimleri tarafından paylaşıldığı bir ulaşım biçimi olduğudur.” şeklinde tanımlamaktadır. Günümüzde sürdürülebilir ulaşım dikkate alınarak yapılan ulaşım planları daha çok uygulanmaya başlanılmıştır. Bu yaklaşımlarda yapılan ulaşım planlarının hem çok büyük yatırımlar yapılmaksızın hem de çevreye duyarlılığı olan bir model olduğundan, ülkeler için daha büyük avantajlar sağladığı açıktır. Çizelge 8.4’de geleneksel ulaşım planlaması ile sürdürülebilir ulaşım planlanmasının karşılaştırılması verilmiştir.

Geleneksel yaklaşımdan farklı olarak sürdürülebilir ulaştırma yaklaşımında, daha köklü olabilecek bir anlayışın, düzenlemelerin ve değişimin yapılmasının gerektiği görülmektedir. Bunun sonucunda da dolaylı ve dolaysız olabilecek her türlü etkilerin detaylı bir şekilde incelenerek analizlerinin yapılması, buradan bağlantılı olan ulaştırma talebinin de çözümlemesi yapılarak, yeni yatırımların değerlendirilmesi ile değerlendirme yöntemlerinin yeniden geliştirilmesi konularının gündeme getirilmesi gerekmekte olmasıdır [259].

Çizelge 8.4. Geleneksel ulaşım planlaması ile sürdürülebilir ulaşım planlanmasının karşılaştırılması [257, 258]

Geleneksel Ulaşım Planlaması	Sürdürülebilir Ulaşım Planlanması
Trafiğe odaklanmaktadır.	İnsana odaklanmaktadır.
Trafiğin akış kapasitesi ve hızı temel hedefidir.	Sürdürülebilirlik, erişebilirlik ve yaşam kalitesi olduğu kadar ekonomik yaşanabilirlik, sosyal denge, sağlık ve çevresel kalite temel hedefidir.
Model yaklaşımı vardır.	Ulaşım türleri arasında çok daha temiz ve sürdürülebilir bir denklige odaklanmaktadır.
Altyapı odaklıdır.	Etkin bir maliyete ulaşabilmek için bütünleşmiş bir uygulama setidir
Sektörel planlama dokümantasyonudur.	Arazi kullanımı ve mekânsal planlama, sosyal servisler, sağlık ve politikaları tanımlayan bütüncül bir dokümandır.
Kısa ve orta vadeli planlamalar önermektedir.	Kısa ve orta vadeli planlamalardan öte, uzun süreli belirli vizyonu ve stratejisi bulunmaktadır.
Yönetsel bir bölümle ilgilidir.	Fonksiyonel bir bölümle ilgilidir.
Ulaşım mühendislerinin etkisi bulunmaktadır.	Disiplinler arası bir planlama ekibi bulunmaktadır.
Uzmanlarca planlama yapılır.	Çok katılımcı ve paylaşım oluşumuyla planlanır.
Etkileri sınırlı değerlendirilir.	Sistemli bir gözetleme ve değerlendirme yapılır.

8.3.2. Sürdürülebilir ulaştırma planlamasına yönelik stratejiler

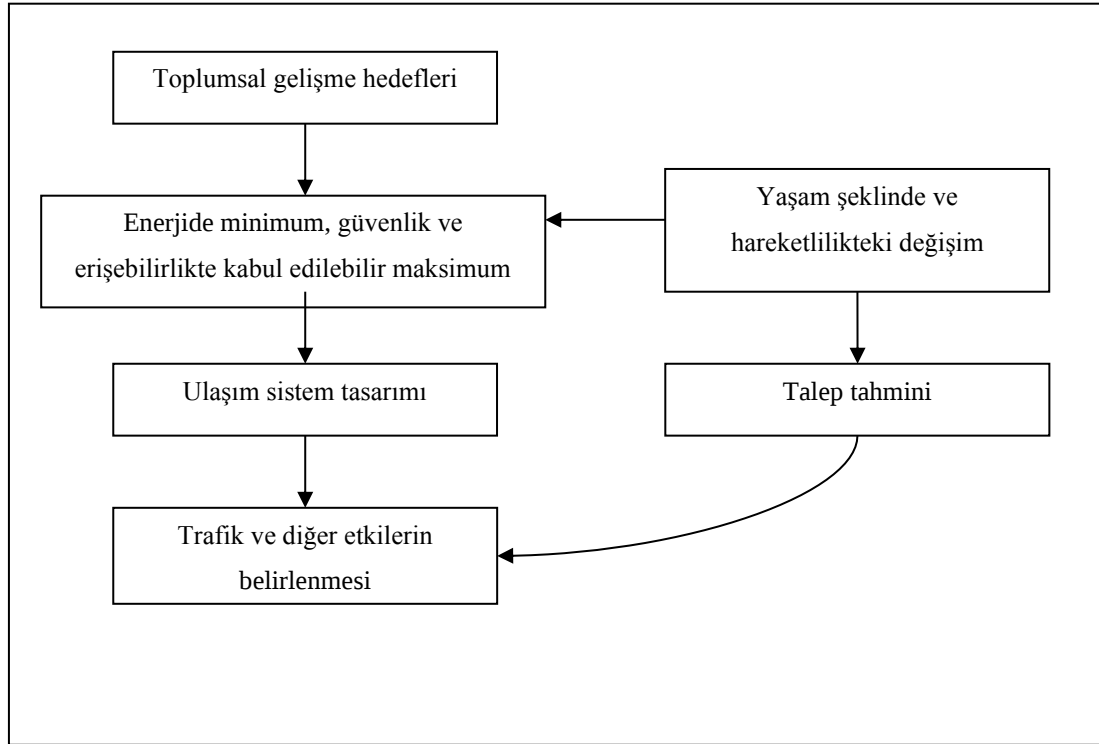
Ulaştırma sektörünün kapsamındaki tüm hareketlilik ve yapılan aktiviteler, sürdürülebilirlik ile ilintili çok fazla etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu yüzden, birden fazla amaca yönelik stratejiler belirlemek ve bu stratejileri belirlerken problemlerin bazılarını çözüm bulup, diğerlerine zararlı etkiler yapmamaya dikkat edilmesi gerekmektedir. Başka bir ifade ile trafik sıkışıklığını azaltmaya yönelik düzenlemeler ile çalışmalar yapılırken, diğer taraftan da bu durumun sonucu olarak çevre kirliliğini artıran veya kazaların oluşumunu arttıran bir politika ve uygulanan planın sürdürülebilir olması beklenemediği gibi bunun sürdürülebilir bir çözüm olması da kabul edilmesi mümkün değildir. Yine benzer bir biçimde, çevre kirliliğini veya zararlı emisyonları azaltan ya da olabildiğince en aza indirmeyi amaçlarken, sıkışıklığı, trafik kazalarının oluşumuna neden olan ya da artıran ve ekonomik olarak da olumsuz etkiye (maliyetleri arttıran vb.) sebep olan bir strateji yaklaşımının da sürdürülebilir olduğu kabul edilemez.

Bu itibarla; sürdürülebilir ulaştırma planlamasına yönelik stratejiler, aynı anda hem trafik tıkanıklığını azaltan veya olabildiğince en makul çözüm bulan, kazaları, çevre kirliliğini, zararlı emisyonları ve ekonomik olarak da olumlu etkiye sebep olurken, bisiklet ve yayalara yönelik hareketlilik alternatiflerini geliştirerek arttıran ve daha verimli enerji ile arazi kullanılmasını sağlayan veya minimum koşulda birbirleri ile çatışmayan amaçlardan oluşan stratejilerdir [260]. Ulaşım sistemleri ve faaliyetlerinin çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri olduğu bilinmekte olduğu daha önce de bahsedilmiştir. Sürdürülebilir planlama için ve buna yönelik stratejiler belirlemek için tüm bu etkileri birlikte değerlendirmek gereklidir.

Türkiye açısından genel bir değerlendirme yapılması gerekirse; Türkiye’de bulunan ulaştırma sistemlerinin alt yapısının yetersiz olduğu, bunu iyileştirmeye yönelik yatırımların daha fazla yapıldığı görülmektedir. Yapılan söz konusu yatırımlarda, sürdürülebilir sistem analizi yaklaşımı ile yapılp geleceğe yönelik değerlendirme yapıldığında çeşitli olumsuzlukların meydana geldiği görülebilmektedir. Yatırımların geçmiş geniş aralıktaki süreçte büyük oranda otomotiv ve karayolu ulaşımının altyapısında artmakta olduğu görüldüğünden, bu durum araç sayısının artmasına neden olmuştur. Diğer taraftan, genel olarak geleneksel ya da diğer ifade ile klasik yöntemler uygulandığının görüldüğü haliyle uzun süreli çevresel etkilerin, enerji verimliliği durumunun, kazaların daha az olmasına yönelik ya da azaltılmasının, arazi kullanım etkilerinin ve benzeri durumların yeterli olacak düzeyde hesaba katılmadığı görülmektedir.

Bunlarında yanında, genel olarak Türkiye ulaştırma planına bakıldığında; toplu taşımacılığa yeterince önem ve gereken değer verilmediği gözlemlenmekle birlikte, araç sahiplik oranının genel olarak arttığı, tarım alanları genel olarak ulaşım alt yapısı olarak değerlendirildiğinden bu da amaç dışı kullanılmayı oluşturduğu, karayollarının haricindeki ulaşım türlerinin yeterince geliştirilmediğinden dolayı bu durumun da bir sonucu olarak farklı seçenekler sunmayan bir ulaşım ağının oluşmasının olduğu, ulaşım arzının artırılmasına yapılırken ulaşımdaki talebin azaltılmasının hesaba katılmadığı gibi durumlar görülmektedir. Bu durumların sonucu olarak, ulaşımda kısa süreli rahatlamalar meydana gelirken, daha sonra daha büyük olumsuzluklar ve problemler ile karşılaşmaktadır [261]. Ancak tüm bunlara rağmen, sürdürülebilir sistem analizi yaklaşımıyla Türkiye’deki ulaşım sistemlerinin mevcut durumuna bakıldığında ileriye dönük olarak gelişmiş ülkelere göre daha iyi ve üstün durumda olduğu da gözükmemektedir. Çünkü Türkiye, araç sahipliliğindeki düşük oran ve arazi kullanımındaki yoğunluk gibi çeşitli değişkenler açısından

sürdürülebilirlik bakımından daha iyi ve avantajlı olduğu görülmektedir [261]. Sürdürülebilir ulaşım planlamasına yönelik genel yaklaşımının stratejilerini belirlemede izlenebilecek ölçütlerin şematik olarak durumu Şekil 8.2’de olarak gösterilmektedir.



Şekil 8.2. Sürdürülebilir ulaşım planlaması yaklaşımı [240, 262]

Şekil 8.2’den de görüleceği üzere sürdürülebilir ulaşım planlaması yaklaşımında, toplumsal gelişme ile değişim önemli ölçüde değerlendirilerek, enerji tüketiminin az ve güvenliğinin fazla olması durumunun dikkate alınması sonucunda ulaşım tasarımı seçimi yapılmaktadır.

8.3.3. Sürdürülebilir ulaşım planlamasının uygulandığı ülkelerden örnekler

Sürdürülebilir ulaşım planlamasına yönelik dünyada bazı ülkeler farklı uygulamalar yapmakta, uygulamalara yönelik planlar geliştirmektedir. Bunları kısa olarak bu bölümde değinilerek, dünyadaki sürdürülebilir ulaşım planlarına yönelik örnekler sunulacaktır.

Japonya örneği

Japonya sürdürülebilir ulaşım planlamasını en iyi uygulayan ülkelerden biri olarak görülmektedir. Japonya’nın yüzölçümü küçük ve denizlerin daha çok yer aldığı bir ada

ülkesi olmasından dolayı, ulaşım planlamasına yönelik detaylı çalışmalar yapmak zorunda kalmıştır [253]. Demiryolu taşımacılık sistemleri uygulamaları, yaya teşvikleri, bisiklet gibi yakıtsız araçların kullanımı, akıllı trafik sistemlerine yönelik yaklaşımlarla ulaşımındaki sorunların çözümünü bulmaya çalışmıştır. Japonya’da demiryolu ulaşımının öncelikli olan ulaşım sistemi olduğu görülmekte, ülkenin geniş bir alanına yayıldığı ve her köşesi hemen hemen demiryollarıyla donatıldığı görülmekle birlikte, düzeninde de herhangi bir eksiklik ve hata yaşanmamaktadır. Trenlerin hızı saatte 270 kilometreye ulaşabilmekte olup, uzun mesafeler oldukça bu hızla kısa sürede gidilmektedir [253]. Bir ada ülkesi olan Japonya, ulaşımında teknolojiden de son derece yararlanarak, sahip olduğu dört büyük adayı denizyolu, havayolu ve karayoluyla bağlamıştır [263].

İngiltere örneği

İngiltere özel şahsa ait araçların azaltılması için, çalışmalar ve planlamalar yapmış olduğu ve yaptığı çalışmalar ile planlamalar neticesinde de özel araç kullanıcılarının belirli bir bölümünü, bisiklet kullanımına yönlendirerek özel araç kullanımının azaltılmasını başardığı gözlenmektedir. Ayrıca, dünyanın ilk metrosunun Londra metrosu olduğu düşünülürse toplu taşımaya verdiği önem de görülecektir [264] Diğer taraftan; araçların çevreye verdiği olumsuz etkilere yönelik de bir çalışma yapmış; yine bu çalışma sonucunda tüm otobüslerin motorlarında değişiklik yapılmasını, yol kenarlarına da sera gazı etkisine neden olan karbon monoksit gazını azaltan bitki türlerinin yetiştirilmesini sağlamıştır. Ayrıca, şehir merkezindeki araç yoğunluğunu azaltma çalışmaları da yapmış olan İngiltere’de; akıllı ulaşım düzenlemeleri ile bilgi teknolojilerinden yararlanılan trafik sistemi uygulamalarıyla trafik güvenliğinin artırılmasına yönelik çalışmalara yer verdiği görülmekte, yayalaştırmanın yaygın hale getirilmesi, bisiklet kiralama sistemi ile motorsuz araç kullanımını, toplu taşıma araçlarının kullanılmasının artırılmasına ile diğer sürdürülebilir projelere yönelik işlemlerin geliştirilmesi ve artması için yasalar ve yönetmelikler ile bunları desteklemektedir [264, 265]

Güney Kore örneği

Güney Kore’de toplu ulaşım planlanmasına yönelik çalışma yapıldığı, bu çalışmanın trafiğin oluşturduğu sorunlardan etkilenmeyecek ve ana yolların orta şeridinde olacak şekilde hızlı otobüslerin kullanılması planlayarak, otobüs kullanan yolcu sayısında %14 dolaylarında bir

artış sağlamayı başarmıştır [266]. Ayrıca, özel araç kullanılmasını azaltmak için vergilendirme sistemi ve yolların ücretlendirilmesi için çeşitli çalışmalar yaparak, Güney Kore'nin bazı yerlerinde yolcu sayısına göre belirlenen geçiş ücreti alınması uygulanmasını gerçekleştirmiştir. Bu uygulama ile bu yerlerdeki araç sayısı daha azalmış ve trafik hızının ortalama %74 oranında artırılmasını sağlamıştır [267].

Hollanda örneği

Hollanda'da otomobil kullanılmasını azaltıcı stratejiler ve politikaların uygulanmasına yönelik gerekli işlemler (OV-Fiets olarak adlandırılan bisiklet kiralama sistemiyle) yapılmış ve bunun sonucu olarak; günlük yolculukların %38'i bisikletle, %37'si otomobille, %25'i de toplu taşıma ile yapılacak düzeye getirilmesini sağlamıştır [264, 268].

İsveç örneği

İsveç'in başkenti Stockholm'de uygulanan sürdürülebilir ulaşım politikaları ile trafik tıkanıklığının azaltılmasına ve emisyon gazlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan kent içi trafiğin ücretlendirme politikası, toplu taşıma kullanımının iyileştirilmesi uygulamalar ile toplu taşıma kullanımında %6 oranında bir artma, otomobil sayısındaki oldukça azalma ve otomobil kullanımındaki azalış nedeniyle de CO₂ emisyonunda yüzde %14 oranında düşüş gerçekleştirmiştir [264, 269].

Singapur örneği

Singapur hem insan odaklı hem de yaya kullanımını önemseyen, yol güvenliğine de oldukça dikkat etmenin yanı sıra taşıt kullanımında da belirli düzeyde kontrol edilerek toplu taşımacılık sistemlerinin oldukça koordineli bir şekilde bulunduğu sürdürülebilir ulaşım politikalarının başarılı uygulandığı dünyanın önemli kentlerinden birisidir. Singapur'da, taşıt sayısının fazla artmasını kontrol altına alarak belirli düzeyde olmasına yönelik araç kota sistemi planı uygulanmaktadır [264]. Bu sistem sayesinde yeni kayıt altına alınacak motorlu araçların sayısı kontrol altına alınarak, belirli bir düzeyde olması sağlanmıştır. Ayrıca; bir araç almak istenildiğinde, öncesinde araç sahibi olma ve kullanma yetki belgesi alma zorunluluğu vardır ve bu belgenin geçerliliği 10 yıl olup, her 10 yılda yenilenmesi gerekmektedir [264]. Bu belgenin alım maliyeti çok yüksek rakamlar olup, yeni taşıt

alacakların vereceği vergiler, belgeler, araç sahibi olma ve kullanma yetki belgesiyle birlikte normal fiyatının neredeyse araç 3 katı fiyatına ulaşmaktadır [270].

Yeni araç alımının zor olmasının yanında, yol ücretlendirme yöntemiyle yine taşıt kullanımı azaltılması amaçlanmıştır. 1988 yılında itibaren istihdamda %33 artış olmuş ve taşıt sayısında ise meydana gelen %77'lik bir artışa karşın, sistem sayesinde bölgedeki zirve saat trafik değerinde %33' oranında bir düşüş gerçekleşmiştir [271].

8.4. Ulaştırma Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları

Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonunlar ile CO₂, CH₄ (metan) ile N₂O (diazot monoksit) gazları ifade edilmektedir. Toplam ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonunu ise karayolu ulaştırma türü, demiryolu ulaştırma türü, havayolu ulaştırma türü ve denizyolu ulaştırma türü değerlerinin toplamı ile ifade edilmektedir. Kullanılan verilerde ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonunda uluslararası havayolu nedeniyle ve denizyolu nedeniyle oluşan sera gazı emisyonları değeri eklenilmeyerek, dâhil edilmemiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre ulaşım sektörü; en fazla emisyon üreten ikinci sektör olduğu ve enerji kaynaklı emisyonların %22,2'sini, ulusal toplam emisyonlarının ise %15'i oluşturmaktadır [82, 272, 273]. Ulaşım türleri arasında karayolu emisyonların %70'ini, havayolu %12'sini, denizyolu %11'ini ve demiryolu %2'sini oluşturmaktadır [274, 275].

Sera gazı emisyonlarının değerinin kontrolü ile değişiminin izlenmesi; çevre ve ulaştırma nedeniyle oluşacak iklim değişikliklerinin incelenmesi ile araştırılması için oldukça önem arz etmektedir. Bu itibarla, izlenen ve değerleri takip edilen sera gazı emisyonu değerlerine yönelik genel bir değerlendirme yaparak, ülkeler ulaşım politikaları ile stratejilerine yönelik çeşitli projeksiyonlar oluşturmakta ve bu değerlerin azaltılmasına yönelik çalışmalar yapmaktadır.

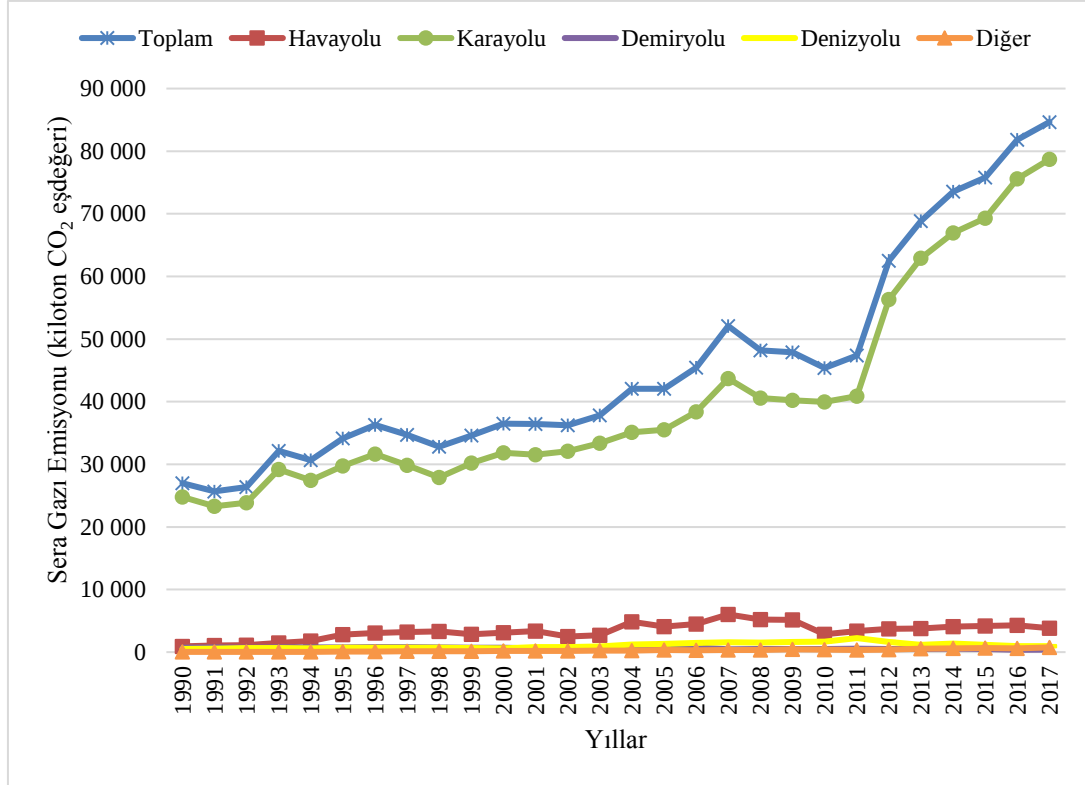
Çizelge 8.5'de ulaştırma türlerine göre yıllara göre sera gazı emisyonunun değerleri, Şekil 8.3'de de değişimi gösterilmektedir [16, 22].

Çizelge 8.5. Ulaştırma türlerine göre sera gazı emisyonunun yıllara göre durumu [16, 22]

Yıllar	(kiloton CO ₂ eşdeğeri)					
	Toplam	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu	Diğer
1990	26 969	24 777	721	509	923	39
1991	25 673	23 288	740	543	1 053	49
1992	26 366	23 871	685	638	1 118	54
1993	32 143	29 178	751	664	1 489	60
1994	30 640	27 419	768	623	1 764	65
1995	34 113	29 760	768	726	2 775	83
1996	36 271	31 628	799	699	3 048	97
1997	34 690	29 858	799	698	3 215	120
1998	32 782	27 881	740	726	3 311	124
1999	34 617	30 219	722	658	2 868	150
2000	36 465	31 850	713	623	3 099	180
2001	36 455	31 512	587	800	3 358	198
2002	36 234	32 084	612	822	2 503	213
2003	37 825	33 347	629	891	2 713	245
2004	42 048	35 090	629	1 228	4 859	242
2005	42 041	35 532	757	1 299	4 089	364
2006	45 424	38 370	761	1 464	4 512	317
2007	52 099	43 674	470	1 598	6 019	338
2008	48 166	40 559	499	1 543	5 218	348
2009	47 907	40 204	484	1 632	5 149	437
2010	45 392	39 941	517	1 682	2 862	390
2011	47 386	40 899	532	2 242	3 344	370
2012	62 525	56 310	492	1 614	3 727	381
2013	68 865	62 889	505	1 154	3 754	563
2014	73 559	66 967	562	1 348	4 090	593
2015	75 798	69 309	480	1 147	4 205	647
2016	81 841	75 595	374	970	4 281	621
2017	84 659	78 706	413	944	3 838	758

Çizelge 8.5’den görüleceği üzere ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu toplam değeri 1990 yılında 26 969 kiloton CO₂ eşdeğeri iken, 2017 yılında 84 659 kiloton CO₂ eşdeğeri olmuştur. Ulaştırma nedenli sera gazları emisyonları 1990-2017 yılları arasında %214 dolayında arttığı görülmektedir. Karayollarında 1990 yılında sera gazı emisyonu değeri 24 777 kiloton CO₂ eşdeğeri, demiryollarında 721 kiloton CO₂ eşdeğeri denizyolunda 509 kiloton CO₂ eşdeğeri ve havayollarında 923 kiloton CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2017 yılında ise sera gazı emisyonu değerleri karayollarında 78 706 kiloton CO₂ eşdeğeri, demiryollarında 413 kiloton CO₂ eşdeğeri, denizyolunda 944 kiloton CO₂ eşdeğeri ve havayolunda 3 838 kiloton CO₂ eşdeğeri olmuştur. 2017 yılı için en çok sera gazı emisyonu karayollarında olmakta olup, bunu havayolları izlemektedir. Hava yollar ve karayolları kaynak sera gazları

genel olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Demiryolu ulaştırma türü sebebiyle sera gazı emisyonu değerlerinde yıllar itibari ile genel olarak düşüş yaşandığı görülürken, denizyolları kaynaklı sera gazı emisyonlarının yıllar itibar ile artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

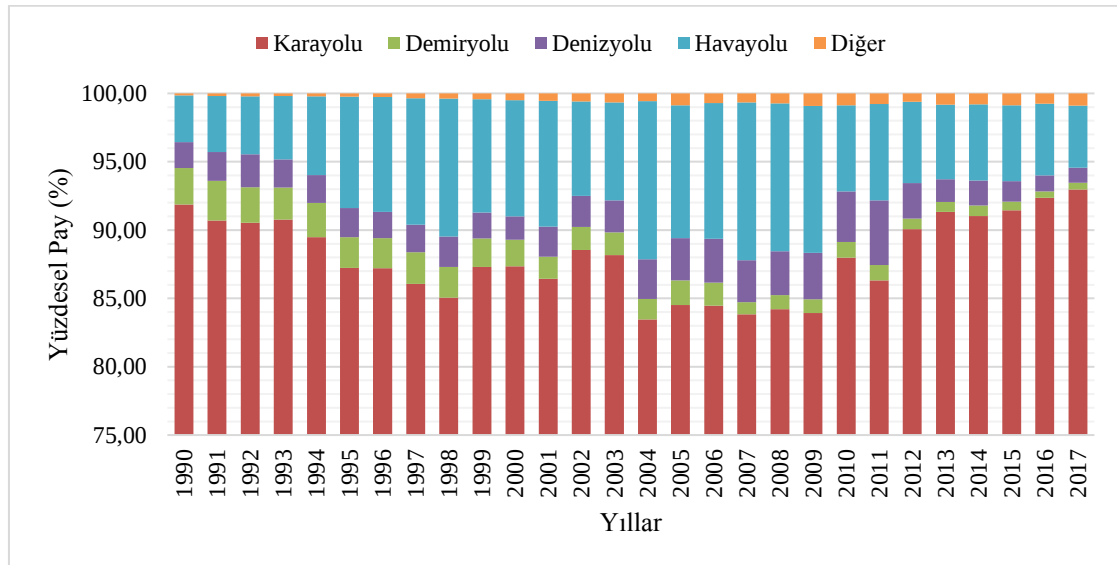


Şekil 8.3. Sera gazı emisyonlarının ulaştırma türlerine göre yıllar itibari ile değişimi

Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu dağılımında en yüksek payı karayolları almakta olup bu değer 2017 yılı için %92,97'dir. İkinci en yüksek payı ise havayolu ulaştırma türü almakta olup, 2017 yılı değeri %4,53'dür. Sera gazı emisyonunda 2017 yılı için demiryollarının yüzdesel olarak payı %0,49 olup, diğer ulaştırma türlerine göre oldukça az olduğu görülmektedir. Denizyolu ulaştırma türünün payı ise 2017 yılında %1,12'dir. Çizelge 8.6'da ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu değerlerinin yüzdesel dağılımı gösterilmektedir. Şekil 8.4'de sera gazı emisyonunda ulaştırma türlerinin yıllara göre yüzdesel olarak durumu gösterilmektedir.

Çizelge 8.6. Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu değerlerinin yüzdesel dağılımı

Yıllar	Karayolu (%)	Demiryolu (%)	Denizyolu (%)	Havayolu (%)	Diğer (%)
1990	91,87	2,67	1,89	3,42	0,15
1991	90,71	2,88	2,11	4,10	0,19
1992	90,54	2,60	2,42	4,24	0,20
1993	90,78	2,34	2,06	4,63	0,19
1994	89,49	2,51	2,03	5,76	0,21
1995	87,24	2,25	2,13	8,14	0,24
1996	87,20	2,20	1,93	8,40	0,27
1997	86,07	2,30	2,01	9,27	0,34
1998	85,05	2,26	2,21	10,10	0,38
1999	87,29	2,09	1,90	8,29	0,43
2000	87,35	1,96	1,71	8,50	0,49
2001	86,44	1,61	2,19	9,21	0,54
2002	88,55	1,69	2,27	6,91	0,59
2003	88,16	1,66	2,35	7,17	0,65
2004	83,45	1,50	2,92	11,56	0,58
2005	84,52	1,80	3,09	9,73	0,86
2006	84,47	1,68	3,22	9,93	0,70
2007	83,83	0,90	3,07	11,55	0,65
2008	84,21	1,04	3,20	10,83	0,72
2009	83,92	1,01	3,41	10,75	0,91
2010	87,99	1,14	3,70	6,31	0,86
2011	86,31	1,12	4,73	7,06	0,78
2012	90,06	0,79	2,58	5,96	0,61
2013	91,32	0,73	1,68	5,45	0,82
2014	91,04	0,76	1,83	5,56	0,81
2015	91,44	0,63	1,51	5,55	0,85
2016	92,37	0,46	1,19	5,23	0,76
2017	92,97	0,49	1,12	4,53	0,90



Şekil 8.4. Sera gazı emisyonunda ulaştırma türlerinin yıllara göre yüzdesel olarak durumu

8.5. Sürdürülebilir Ulaşım Planlaması Stratejileri ve Senaryolar Sonucu Sera Gazı Emisyonları Kazanımları

8.5.1. Metodoloji

Sürdürülebilir ulaştırma planlaması stratejilerinin değerlendirilmesi için; geçmiş yıllardaki ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) verilerinden, gelecek yıllara dair ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu değerleri hesaplanacaktır. Her ulaştırma türü için ayrı ayrı olmak üzere 1998-2017 yılları için aşağıda belirtilen formül yardımı ile bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değeri hesaplanacaktır.

$$\text{SeraBirim}_{xi} = \text{Sera Gazı Emisyonu (kiloton CO}_2 \text{ eşdeğeri)}_{xi} / \text{Enerji Tüketimi}_{xi} \quad (8.1)$$

Burada;

i; yıl

x; hesabı yapılan hangi ulaştırma türü ise ilgili değerlerini ifade etmektedir.

Buna göre Eş. 8.1 formülünü ifade etmek gerekirse; x ulaştırma türünün i'inci yıldaki bir birimlik enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonu değeri SeraBirim_{xi} olmaktadır.

Yukarıdaki formül yardımı ile bulunan bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen değerleri göz önüne alarak tezin Bölüm 6.1'de detaylı açıklanan ve hesapları yapılarak bulunan temel olarak alınan hâlihazır durum yaklaşımı enerji tüketimleri sonucu oluşan sera gazı emisyonları hesaplanacaktır. Sonrasında, 7. Bölümde detaylı açıklanan senaryoların sonucuna göre enerji tüketim değerleri ile geçmiş yıllardaki bir birimlik enerji tüketiminden hareketle sera gazı emisyon değerlerinin gelecek yıllar için tahmin değerleri hesaplanacaktır. Son olarak ise hâlihazır durum yaklaşımına göre kazanımlar ve farklar ortaya koyularak sera gazı emisyonu durumunun ulaştırma senaryolarına göre durumu değerlendirme yapılarak, getirilerin durumu açıklanacaktır.

8.5.2. Sera gazı emisyonları senaryolarının tanıtılması

Ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu değerlerinde temel olarak referans alınan durum 6. Bölümde açıklanan hâlihazır yaklaşımı olup, buna göre 7. Bölümde bahsedilen yük ve yolcu taşımacılığı senaryolarının birleşimi ile sera gazı emisyonları senaryoları oluşmuştur. Bu

itibarla, sera gazı emisyonları için 5 farklı senaryo modeli oluşturulmuştur. Bunlar aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1: Yolcu taşımacılığı senaryo 1 ile yük taşımacılığı senaryo 1'in uygulanması sonucu her bir tür için hesaplanan enerji tüketimlerinin dikkate alındığı senaryodur.

Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2: Yolcu taşımacılığı senaryo 2 ile yük taşımacılığı senaryo 2'nin uygulanması sonucu her bir tür için hesaplanan enerji tüketimlerinin dikkate alındığı senaryodur.

Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3: Yolcu taşımacılığı senaryo 3 ile yük taşımacılığı senaryo 3'ün uygulanması sonucu her bir tür için hesaplanan enerji tüketimlerinin dikkate alındığı senaryodur.

Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4: Yolcu taşımacılığı senaryo 4 ile yük taşımacılığı senaryo 4'ün uygulanması sonucu her bir tür için hesaplanan enerji tüketimlerinin dikkate alındığı senaryodur.

Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5: Yolcu taşımacılığı senaryo 5 ile yük taşımacılığı senaryo 5'in uygulanması sonucu her bir tür için hesaplanan enerji tüketimlerinin dikkate alındığı senaryodur.

8.5.3. Bir birim enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerleri

1998-2017 yılları için her bir ulaştırma türü için enerji tüketim değerleri bulunmaktadır [21]. Ayrıca her bir ulaştırma türünün neden olduğu sera gazı emisyonu değerleri de bilinmektedir [16, 22]. Bu iki veriden hareketle her bir ulaştırma türü için bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) hesaplanacaktır. Bu değer, hesabı yapılan yılın; hesabı yapılan ulaştırma türünün sera gazı emisyonu değerinin o yıldaki enerji tüketimi değerini bölünmesi ile bulunmaktadır. Çizelge 8.7'de her bir ulaştırma türü için bir birimlik enerji tüketimi için yıllara göre ulaşım kaynaklı sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) değerleri gösterilmektedir.

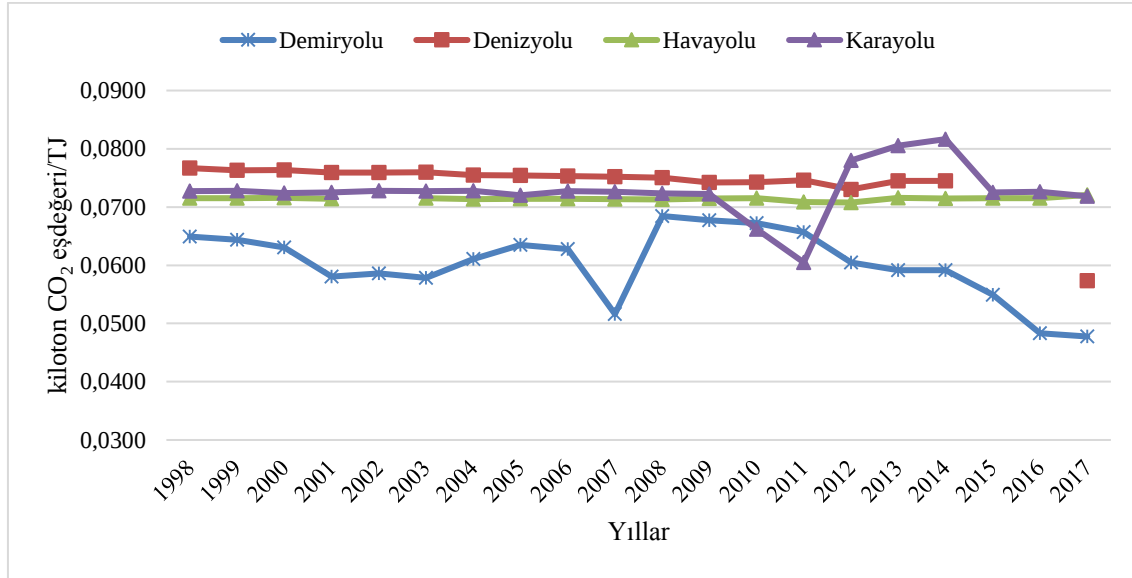
Çizelge 8.7. Her ulaştırma türü için bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerleri

Sera Gazı Emisyonu (kiloton CO ₂ eşdeğeri)/TJ				
Yıllar	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu	Karayolu
1998	0,0649	0,0767	0,0715	0,0727
1999	0,0644	0,0763	0,0715	0,0728
2000	0,0631	0,0763	0,0716	0,0724
2001	0,0581	0,0759	0,0714	0,0725
2002	0,0586	0,0759	0,1648*	0,0728
2003	0,0578	0,0760	0,0715	0,0727
2004	0,0611	0,0755	0,0714	0,0728
2005	0,0635	0,0754	0,0714	0,0720
2006	0,0628	0,0753	0,0714	0,0727
2007	0,0516	0,0752	0,0714	0,0726
2008	0,0684	0,0750	0,0713	0,0723
2009	0,0677	0,0742	0,0715	0,0722
2010	0,0672	0,0742	0,0715	0,0662
2011	0,0657	0,0746	0,0709	0,0605
2012	0,0605	0,0730	0,0708	0,0780
2013	0,0592	0,0745	0,0716	0,0805
2014	0,0592	0,0745	0,0715	0,0817
2015	0,0549	0,1449*	0,0715	0,0725
2016	0,0483	0,4866*	0,0715	0,0726
2017	0,0478	0,0573	0,0721	0,0718
Toplam ortalama	0,0602	0,0742	0,0714 ¹	0,0727
Son 5 yıl ortalama	0,0539	0,0688 ²	0,0716	0,0758
Son 3 yıl ortalama	0,0503	0,0573 ²	0,0717	0,0723

Çizelge. 8.7’den görüldüğü üzere bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerlerinde 1998-2017 yılları için ortalamaları değerlendirilirse, en az değer 0,0602 kiloton CO₂ eşdeğeri/TJ ile demiryollarının olduğu görülmektedir. Bu değer denizyolları için 0,0742; karayolları için 0,0727 ve havayolları için 0,0714’dür. (Denizyolu ulaştırma türünün aykırı yılları ve eğilim dışı değerleri olan 2015 ve 2016 yılları, havayollarının ise 2002 yılı ortalamalara dâhil edilmemiştir.) Şekil 8.5’de ulaştırma türlerinde bir birim enerji tüketimine karşılık sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri/TJ) değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

¹ Havayolu ulaştırma türünün aykırı yılları ve eğilim dışı değeri olan 2002 yılı ortalamalara dâhil edilmemiştir

² Denizyolu ulaştırma türünün aykırı yılları ve eğilim dışı değerleri olan 2015 ve 2016 yılları ortalamalara dâhil edilmemiştir



Şekil 8.5. Ulaştırma türlerinde bir birim enerji tüketimine karşılık sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri/TJ) değerlerinin yıllara göre değişimi¹

8.5.4. Gelecek yıllar sera gazı emisyonu değerleri tahmini

Hâlihazır ve oluşturulan senaryolardaki her ulaştırma türüne karşılık gelen enerji tüketimi değerleri ile bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerinin çarpılması ile gelecek yıllar sera gazı emisyonu değerleri tahmin edilmektedir. Bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerinde son 5 yıllık geçmiş yıl verileri kabul edilmiştir. Hâlihazır yaklaşımına göre ulaştırma türlerinde enerji tüketimine göre birim enerji tüketimine karşılık sera gazı emisyonu dikkate alınarak Gelecek yıllar sera gazı emisyonu değerlerinin ulaştırma türlerinde ve toplamda yıllara göre değerleri Çizelge 8.8’de gösterilmektedir.

Gelecek yıllar temel alınan duruma göre halihazır yaklaşımı ile 2020, 2025 ve 2030 yılları için ulaştırma sera gazı emisyonu değerleri sırası ile 92 631; 103 595; 114 559 kiloton CO₂ eşdeğeri bulunmuştur. Buradan sera gazı emisyonu değeri her yıl daha çok arttığı ifade edilebilir.

Sera gazı emisyonu senaryoları sonucu daha önce elde edilen her bir ulaştırma türünün enerji tüketim değerleri bir birimlik enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonu değerleri

¹ Denizyolu ulaştırma türünün aykırı yılları ve eğilim dışı değerleri olan 2015 ve 2016 yılları, havayollarının ise 2002 yılı grafiğe dahil edilmemiştir.

ile çarpılarak her bir senaryo için gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu değerleri tahmin edilmiştir. Çizelge 8.9’da senaryolara göre gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı karayolları sera gazı emisyonu değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 8.8. Hâlihazır enerji tüketimi neticesinde sera gazı emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) değerlerinin bulunması

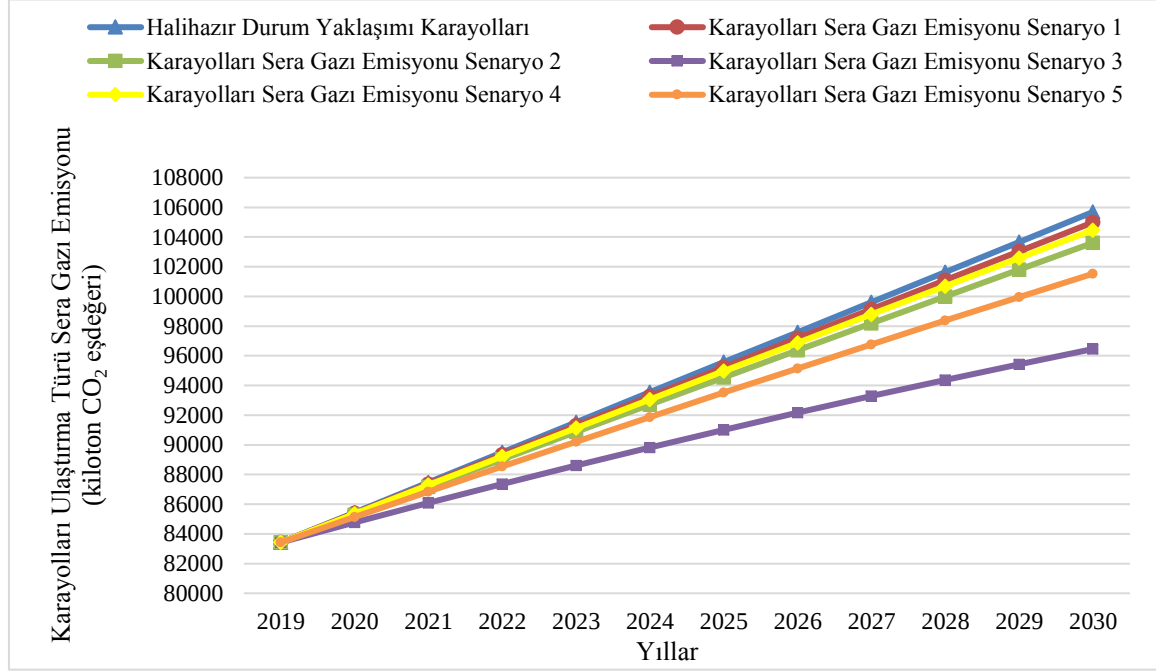
Yıllar	Karayolu	Demiryolu	Denizyolu	Havayolu	Toplam
2019	83 425	539	1 103	5 371	90 438
2020	85 449	552	1 128	5 502	92 631
2021	87 472	565	1 154	5 633	94 824
2022	89 496	577	1 179	5 763	97 016
2023	91 520	590	1 205	5 894	99 209
2024	93 544	603	1 231	6 025	101 402
2025	95 567	616	1 256	6 156	103 595
2026	97 591	628	1 282	6 286	105 787
2027	99 615	641	1 307	6 417	107 980
2028	101 638	654	1 333	6 548	110 173
2029	103 662	667	1 359	6 678	112 366
2030	105 686	679	1 384	6 809	114 559

Çizelge 8.9. Senaryolara göre gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı karayolları sera gazı emisyonu tahminleri

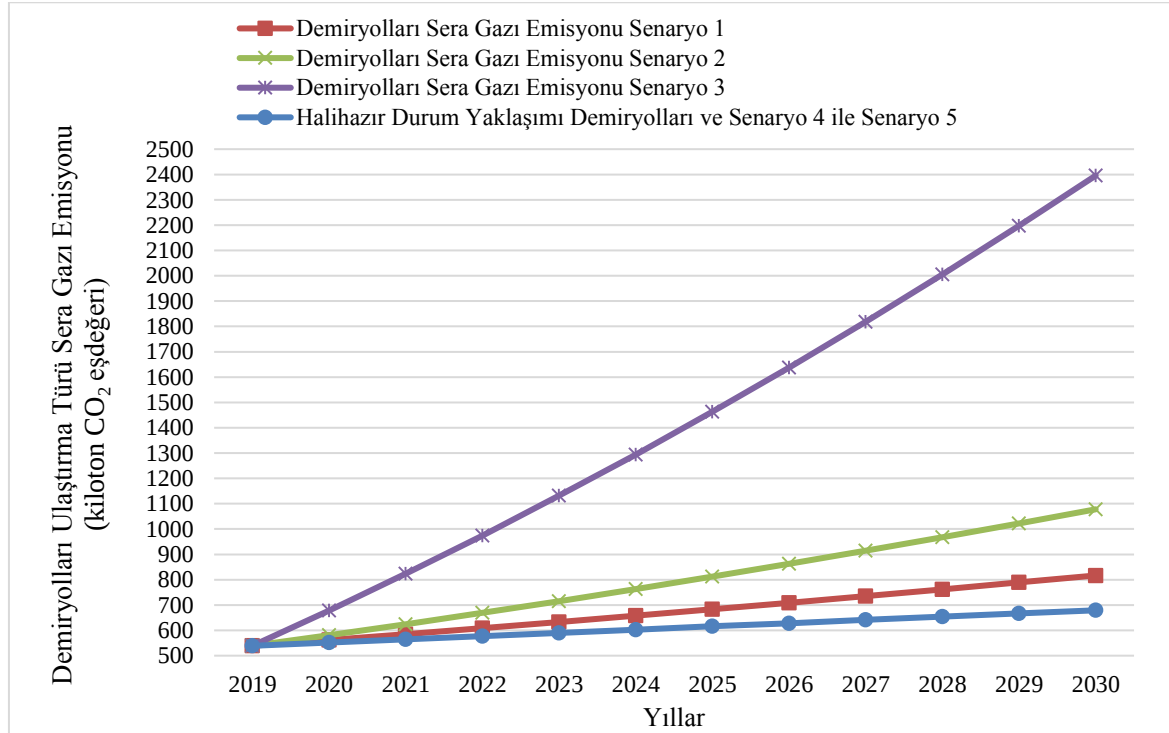
Yıllar	Hâlihazır Durum Yaklaşımı	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5
	Karayolları Ulaştırma Türü (kiloton CO ₂ eşdeğeri)					
2019	83 425	83 425	83 425	83 425	83 425	83 425
2020	85 449	85 398	85 297	84 768	85 359	85 145
2021	87 472	87 368	87 161	86 080	87 288	86 850
2022	89 496	89 336	89 018	87 359	89 214	88 540
2023	91 520	91 301	90 867	88 607	91 135	90 215
2024	93 544	93 264	92 710	89 823	93 052	91 876
2025	95 567	95 225	94 545	91 008	94 965	93 521
2026	97 591	97 182	96 372	92 161	96 874	95 152
2027	99 615	99 138	98 193	93 282	98 779	96 768
2028	101 638	101 090	100 006	94 371	100 680	98 369
2029	103 662	103 041	101 811	95 429	102 577	99 955
2030	105 686	104 988	103 610	96 455	104 470	101 527

Şekil 8.6’da senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre karayollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Şekil 8.7’de ise senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre demiryollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi, Şekil 8.8’de

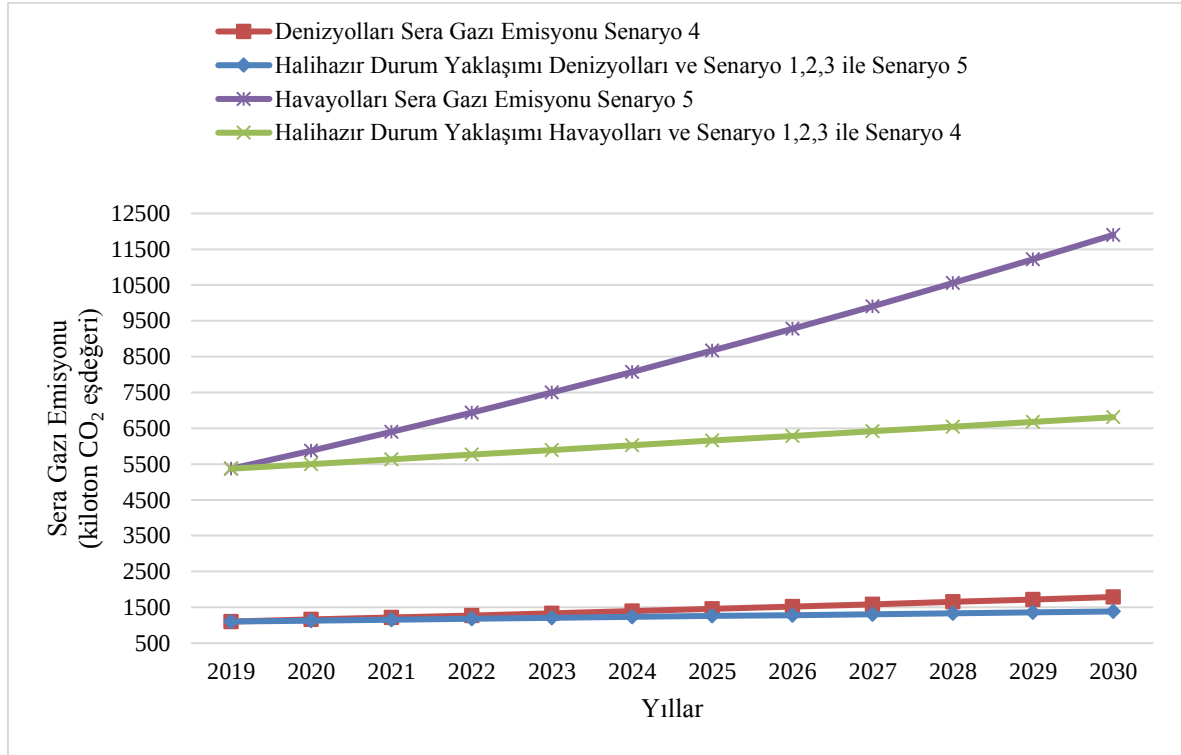
senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre denizyollarında ve havayollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 8.6. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre karayollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi

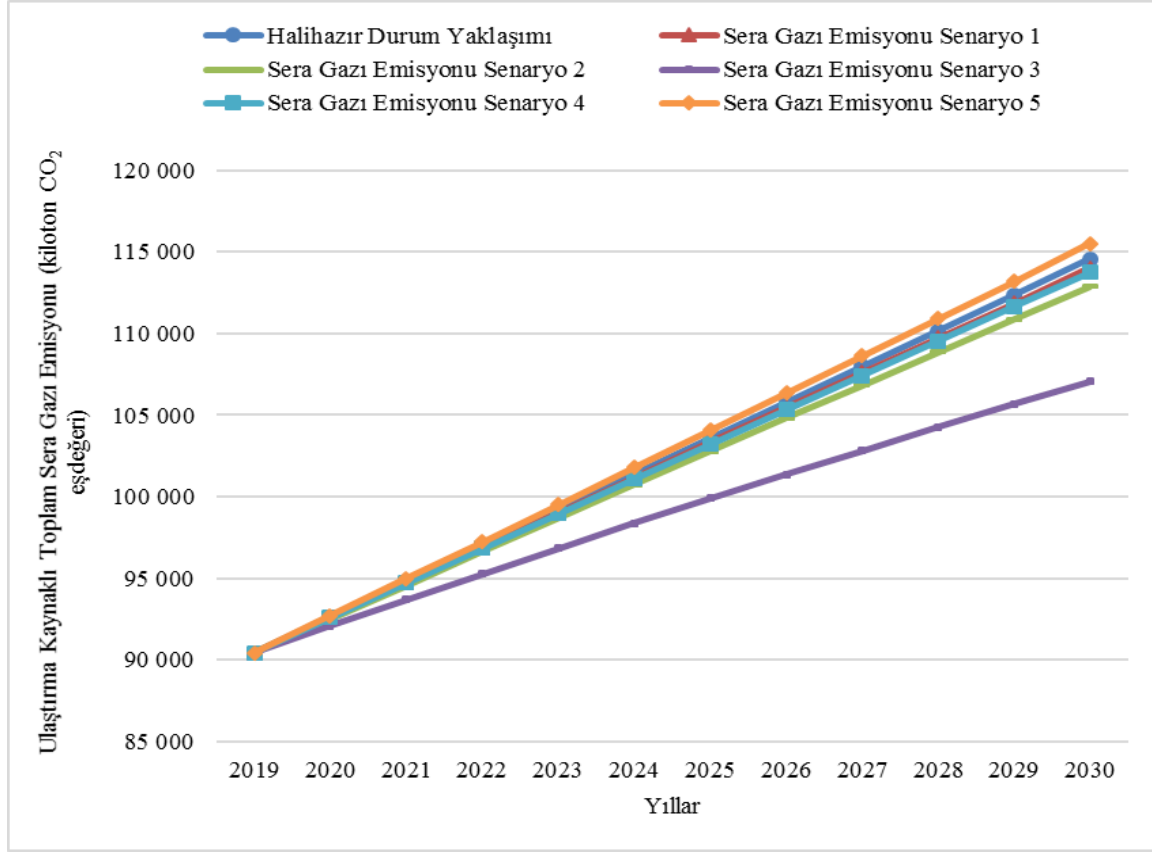


Şekil 8.7. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre demiryollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi



Şekil 8.8. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre denizyollarında ve havayollarında sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi

Şekil 8.6, Şekil 8.7 ve Şekil 8.7'den de görüleceği üzere sera gazı emisyonu değerlerinde yıllar itibari ile her senaryoda artış olmaktadır. Ancak taşımacılık faaliyetleri sonucu değişen enerji tüketimlerine bağlı olarak artma değerlerinde değişimler bulunmaktadır. Senaryolar uygulaması sonucunda karayollarındaki hâlihazır yaklaşımı ile oluşan sera gazı emisyonu değerindeki azalış diğer ulaştırma türlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonu değerindeki artıştan daha az olmakta olduğundan toplam sera gazı emisyonu değerinde azalma ve kazanım sağlamaktadır. Yalnızca havayollarının desteklenmiş olduğu senaryo olan senaryo 5 ile bu durum sağlanamamaktadır. Hâlihazır yaklaşımına göre bu yüzden toplam sera gazı emisyonu değerinden daha çok değer almaktadır. Şekil 8.9'da senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre toplam sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi gösterilmektedir. Çizelge 8.10'da senaryolara göre gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı toplam sera gazı emisyonu tahmin değerleri gösterilmektedir.



Şekil 8.9. Senaryoların uygulanması sonucu yıllara göre toplam sera gazı emisyonu değerlerinin değişimi

Çizelge 8.10. Senaryolara göre gelecek yıllar için oluşacak ulaştırma kaynaklı toplam sera gazı emisyonu tahmin değerleri

Yıllar	Hâlihazır Durum Yaklaşımı	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5
	kiloton CO ₂ eşdeğeri					
2019	90 438	90 438	90 438	90 438	90 438	90 438
2020	92 631	92 590	92 508	92 077	92 571	92 702
2021	94 824	94 740	94 572	93 690	94 701	94 968
2022	97 016	96 888	96 630	95 277	96 828	97 237
2023	99 209	99 034	98 682	96 838	98 952	99 509
2024	101 402	101 177	100 728	98 373	101 074	101 784
2025	103 595	103 319	102 768	99 883	103 193	104 062
2026	105 787	105 459	104 803	101 367	105 309	106 342
2027	107 980	107 597	106 831	102 825	107 423	108 625
2028	110 173	109 733	108 854	104 257	109 534	110 911
2029	112 366	111 867	110 870	105 663	111 642	113 200
2030	114 559	113 998	112 881	107 044	113 747	115 491

Sera gazı emisyonu değerlerinin senaryolara göre; sera gazı emisyonu senaryo 1 ile 2030 yılında 113 998 kiloton CO₂ eşdeğeri olacağı, sera gazı emisyonu senaryo 2 ile 2030 yılında 112 881 kiloton CO₂ eşdeğeri, sera gazı emisyonu senaryo 3 ile 2030 yılında 107 044 kiloton

CO₂ eşdeğeri, sera gazı emisyonu senaryo 4 ile 2030 yılında 113 747 kiloton CO₂ eşdeğeri ve sera gazı emisyonu senaryo 5 ile 2030 yılında 115 491 kiloton CO₂ eşdeğeri olacağı öngörülmektedir. Buna göre hâlihazır durum yaklaşımına göre daha çok sera gazı emisyonu oluşacak bir senaryo bulunmak olup, bu senaryo havayolları ulaştırmasının desteklenmiş olduğu senaryo 5'dir. En az ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu değeri ise senaryo 3 uygulanması durumunda olacağı görülmektedir. Bunu sırası ile senaryo 2, senaryo 4 ve senaryo 1 izlemektedir.

Senaryolar sonucu sera gazı (CO₂ eş değeri) farkları ve değişimlerinin tahminleri

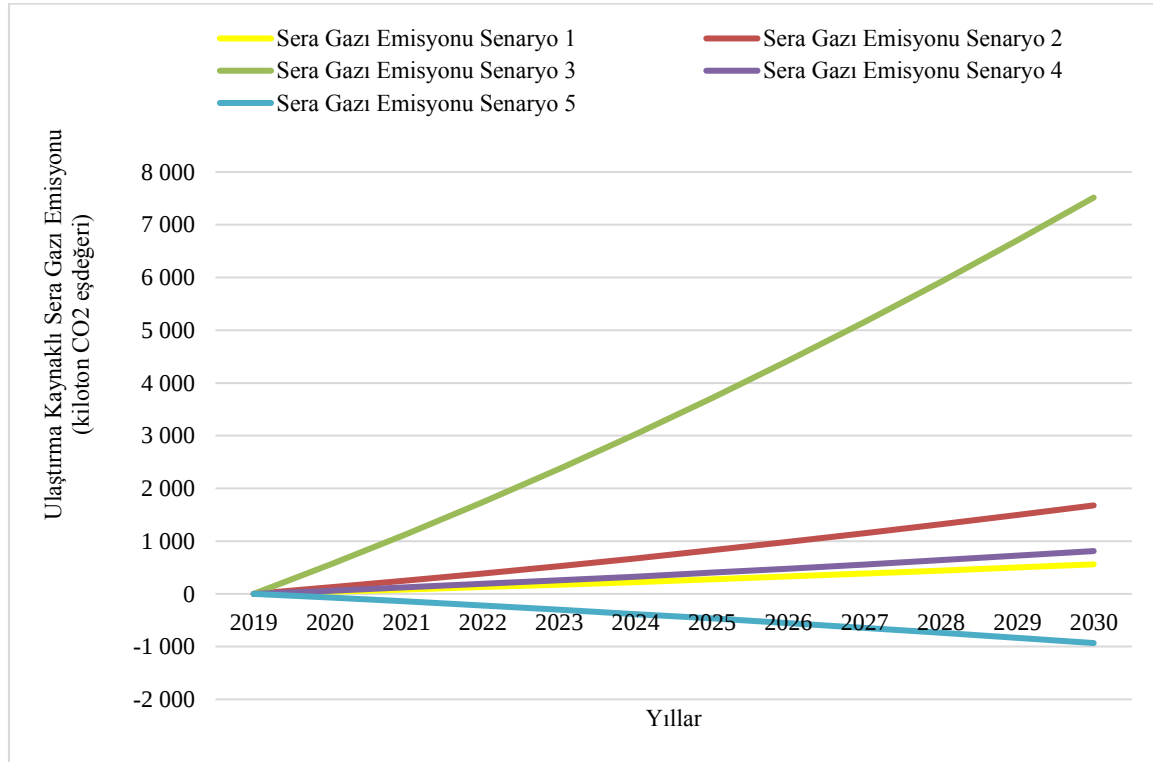
Bu bölümde referans alınan halihazır yaklaşımı sonucu elde edilen sera gazı emisyon değerinin senaryoların uygulanması ile oluşacağı tahmin edilen sera gazı emisyonu değerlerinin çıkarılması sonucu elde edilen kazanç gösterilmektedir. Çizelge 8.11'de senaryolarda oluşan sera gazı emisyon değerlerinden referans alınan sera gazı emisyon değerinin çıkarılması neticesinde elde edilen değerler gösterilmektedir.

Çizelge 8.11. Senaryolar ile referans alınan sera gazı emisyonu değerleri arasındaki fark

Yıllar	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5
kiloton CO ₂ eşdeğeri					
2019	0	0	0	0	0
2020	41	123	554	60	- 71
2021	84	252	1 134	123	- 144
2022	129	387	1 740	188	- 221
2023	176	527	2 371	257	- 300
2024	224	674	3 029	328	- 382
2025	275	826	3 712	402	- 467
2026	328	985	4 421	478	- 555
2027	383	1 149	5 156	557	- 645
2028	440	1 319	5 916	639	- 738
2029	499	1 495	6 703	724	- 834
2030	560	1 678	7 515	811	- 933

Senaryolar içinde en büyük fark senaryo 3 ile elde edilmiş olup 2030 yılı için bu değer 7 515 kiloton CO₂ eşdeğeridir. Senaryo 5 ile daha çok sera gazı emisyonu oluşacağı öngörülmekte olup 2030 yılı için bu değer 933 kiloton CO₂ olacağı öngörülmektedir. Diğer taraftan diğer senaryo 5 haricindeki tüm senaryolarda her yıl için sera gazı emisyonu değerinde kazanım

olmakta ve her yıl bu kazanımın arttığı görülmektedir. Şekil 8.10'da senaryoların uygulanması durumunda hâlihazır yaklaşıma göre farkları ve farkların değişimi gösterilmektedir.



Şekil 8.10. Senaryoların uygulanması durumunda hâlihazır yaklaşıma göre farkları ve farkların değişimi

Senaryolar uygulanması sonucunda sera gazı emisyonu kümülatif kazanım tahminleri

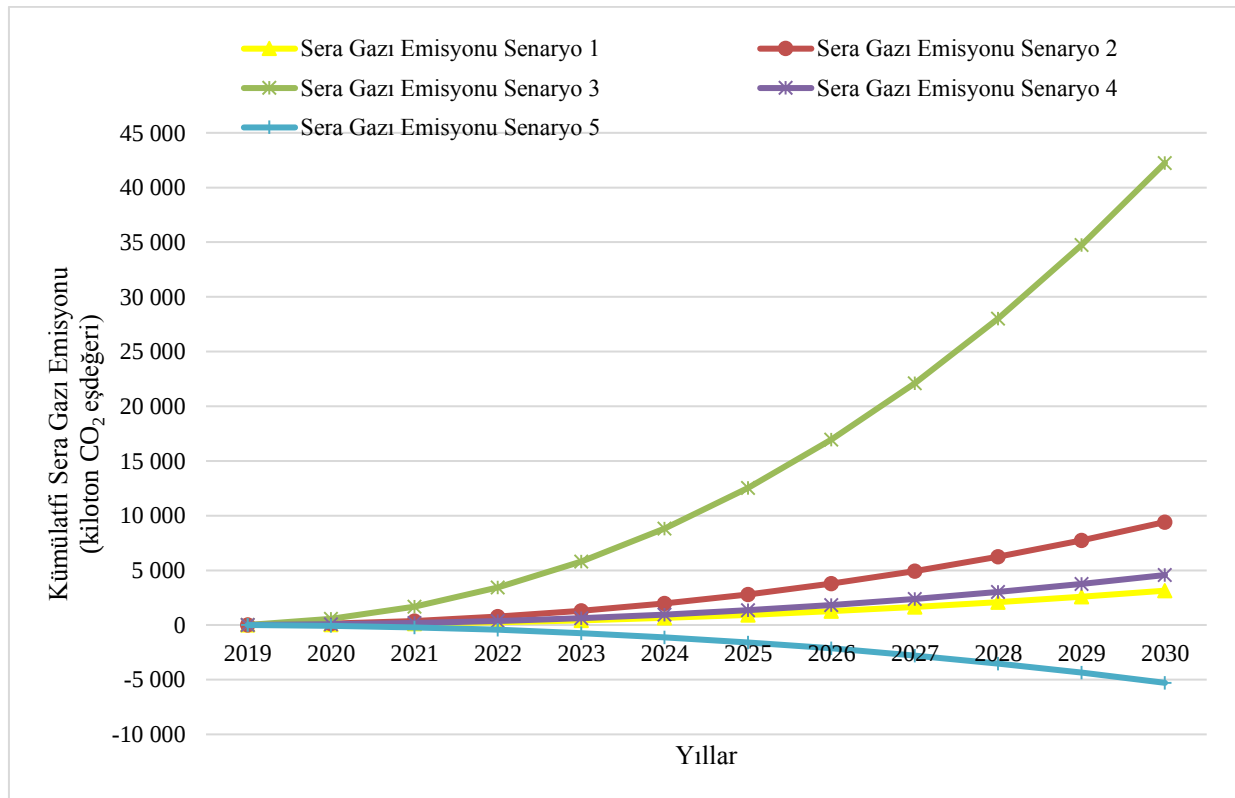
Senaryoların uygulaması sonucu oluşacağı tahmin edilen sera gazı emisyon değerlerinden referans alınan hâlihazır durum yaklaşımı sonucu oluşacağı öngörülen sera gazı emisyonu değerinin çıkarılması sonucu bulunan farkların, hesap yılı için her yıl önceki yıllardaki bu değerlerin toplanması sonucu ile kümülatif kazanımlar hesaplanılmaktadır. Çizelge 8.12'de senaryoların yıllara göre kümülatif kazanımları gösterilmektedir.

Çizelge 8.12'den de görüleceği üzere kümülatif olarak senaryo 3 ile 2030 yılında 42 250 kiloton CO₂ eşdeğeri, senaryo 2 ile 9 415 kiloton CO₂ eşdeğeri, senaryo 4 ile 4 568 kiloton CO₂ eşdeğeri ve senaryo 1 ile 3 140 kiloton CO₂ eşdeğeri sera gazı kazanımı yani daha az oluşacağı öngörülmektedir. Senaryo 5 modelinin uygulanması neticesinde ise temel alınan duruma göre daha fazla sera gazı emisyonu oluşacak olup 2030 yılında kümülatif olarak bu

değer 5 290 kiloton CO₂ eşdeğeri olmaktadır. Şekil 8.11’de yıllara göre kümülatif sera gazı emisyonları kazanımlarının durumu gösterilmektedir.

Çizelge 8.12. Sera gazı senaryolarına göre yıllara göre kümülatif kazanımlar

Yıllar	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5
	kiloton CO ₂ eşdeğeri				
2019	0	0	0	0	0
2020	41	123	554	60	- 71
2021	125	375	1 688	183	- 215
2022	253	761	3 428	371	- 436
2023	429	1 289	5 799	628	- 736
2024	653	1 962	8 828	956	-1 118
2025	928	2 789	12 540	1 358	-1 585
2026	1 257	3 773	16 960	1 836	-2 140
2027	1 640	4 922	22 116	2 393	-2 785
2028	2 080	6 242	28 032	3 032	-3 523
2029	2 579	7 737	34 735	3 756	-4 357
2030	3 140	9 415	42 250	4 568	-5 290



Şekil 8.11. Yıllara göre kümülatif sera gazı emisyonları kazanımlarının değişimi

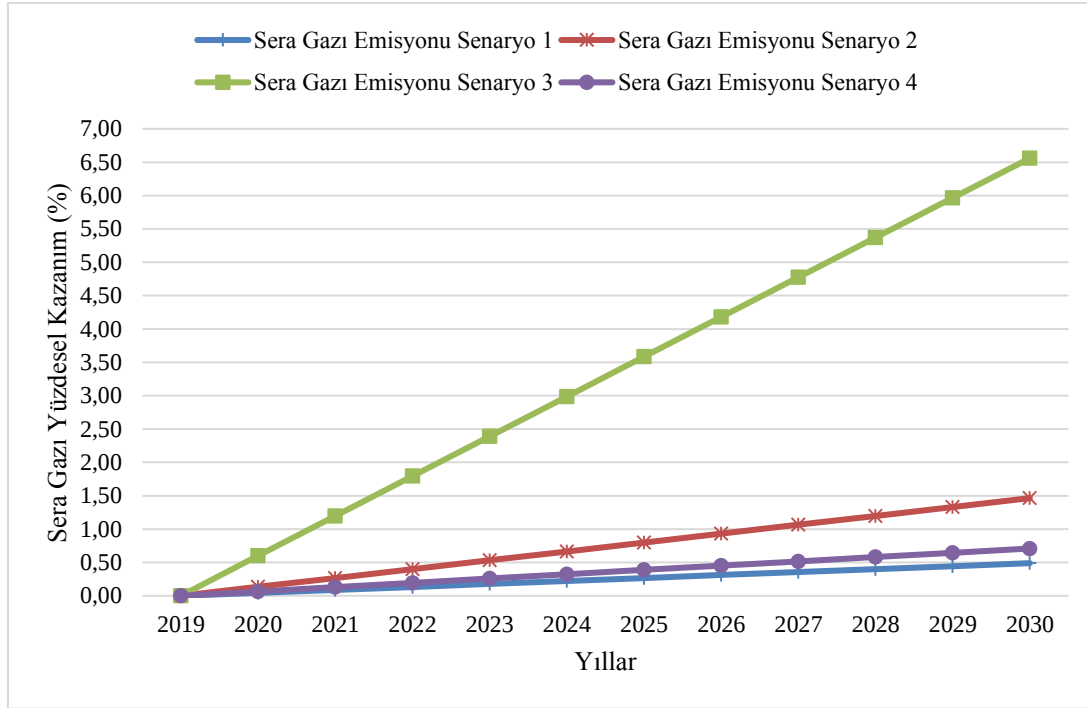
Senaryolar uygulanması sonucunda sera gazı (CO₂ eş değer) yüzdesel kazanım tahminleri

Senaryolar sonucu elde edilen sera gazı emisyon değerlerinden referans alınan hâlihazır durum sera gazı emisyonu değerinin çıkarılması sonucu bulunan farkların hesabı yapılan yıl için halihazır duruma göre yüzdesel durumu hesap yapılan yıl için sera gazı emisyonun yüzdesel olarak kazanımını vermektedir. Çizelge 8.13’de senaryolar sonucu elde edilen sera gazı yüzdesel kazanımları gösterilmektedir.

Çizelge 8.13. Senaryolar sonucu elde edilen sera gazı yüzdesel kazanımları

Yıllar	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5
	%				
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,04	0,13	0,60	0,06	-0,08
2021	0,09	0,27	1,20	0,13	-0,15
2022	0,13	0,40	1,79	0,19	-0,23
2023	0,18	0,53	2,39	0,26	-0,30
2024	0,22	0,66	2,99	0,32	-0,38
2025	0,27	0,80	3,58	0,39	-0,45
2026	0,31	0,93	4,18	0,45	-0,52
2027	0,35	1,06	4,77	0,52	-0,60
2028	0,40	1,20	5,37	0,58	-0,67
2029	0,44	1,33	5,97	0,64	-0,74
2030	0,49	1,46	6,56	0,71	-0,81

Çizelge 8.13’den de görüleceği üzere en büyük yüzdesel kazanım açısından her yıl en çok değer senaryo 3 ile olmuş olup 2025 yılında yüzdesel kazanım %3,58 iken, 2030 yılında bu değer %6,52’ye çıkmıştır. En az kazanım ise senaryo 1 ile olmuş olup 2030 yılında bu değer %0,49’dur. Senaryo 5 de ise kazanım olmamış artma olmakta olup, 2030 yılında yüzdesel olarak daha fazla sera gazı emisyonu artışı %0,81’dir. Şekil 8.12’de kazanım olan senaryoların yıllar itibari ile yüzdesel durumları gösterilmektedir.



Şekil 8.12. Sera gazı için kazanım olan senaryoların yıllar itibari ile yüzdesel değişimi

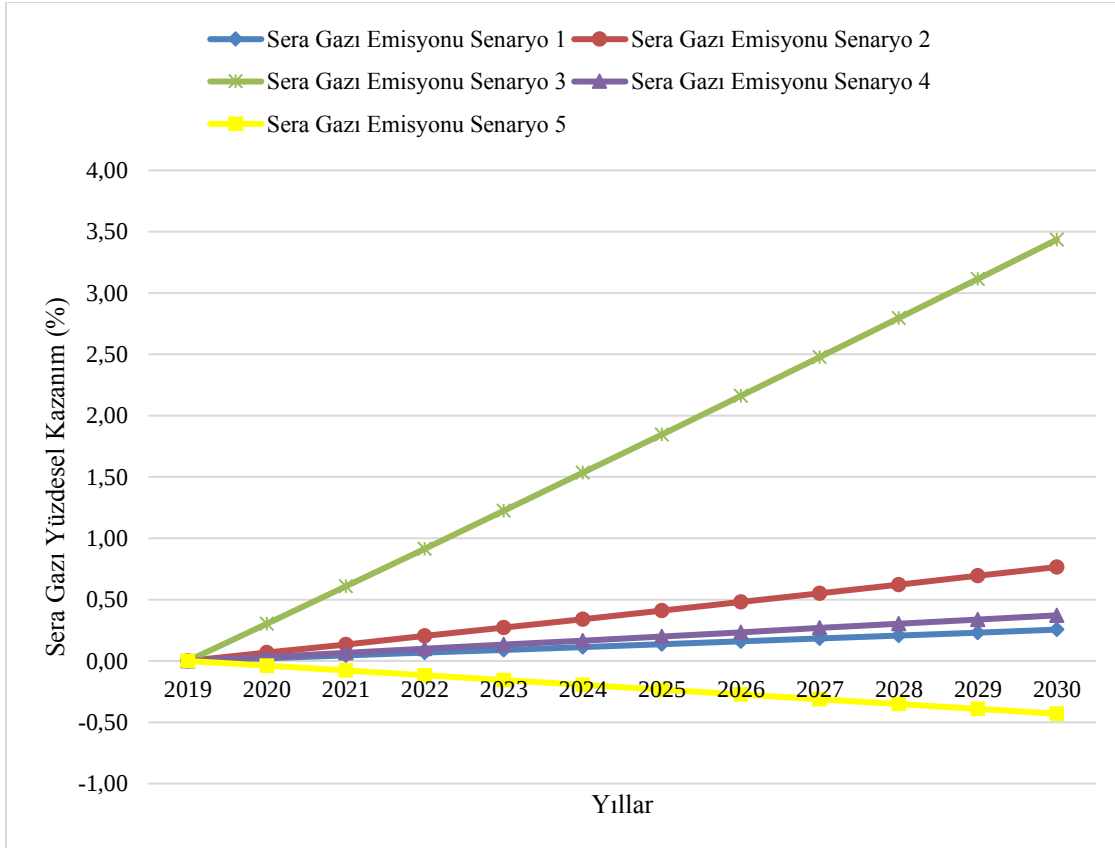
Senaryolar uygulanması sonucunda sera gazı kümülatif yüzdesel kazanım tahminleri

Sera gazı emisyonu senaryolarının uygulaması sonucu oluşacağı tahmin edilen sera gazı emisyon değerlerinden referans alınan hâlihazır durum yaklaşımı sonucu oluşacağı öngörülen sera gazı emisyonu değerinin çıkarılması sonucu bulunan farkların, hesabı yılı için her yıl önceki yıllardaki bu değerlerin toplanması ile elde edilen kümülatif kazanımların, hesabı yapılan yıl için halihazır duruma göre bulunan sera gazı kümülatif değerlere göre oranlanması ile hesaplanan yüzdesel değer, hesabı yapılan yıl için sera gazı emisyonun kümülatif yüzdesel olarak kazanımını vermektedir. Çizelge 8.14’de senaryolar sonucu elde edilen sera gazı kümülatif yüzdesel kazanımları gösterilmektedir.

En büyük kümülatif yüzdesel kazanım açısından her yıl en çok değer senaryo 3 ile olmuş olup 2025 yılında kümülatif yüzdesel kazanım %1,85 iken, 2030 yılında bu değer %3,44’e çıkmıştır. En az kazanım ise senaryo 1 ile olmuş olup 2030 yılında bu değer %0,26’dır. Sera gazı emisyonunda senaryo 5 uygulanması sonucunda artma olmakta olup, 2030 yılında kümülatif yüzdesel olarak daha fazla sera gazı emisyonu artışı %0,43’dür. Şekil 8.13’de sera gazı kümülatif yüzdesel kazanımların değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 8.14. Senaryoların uygulanması sonucu elde edilen sera gazı kümülatif yüzdesel kazanımları

Yıllar	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 2	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 3	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 4	Sera Gazı Emisyonu Senaryo 5
	%				
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	0,02	0,07	0,30	0,03	-0,04
2021	0,04	0,13	0,61	0,07	-0,08
2022	0,07	0,20	0,91	0,10	-0,12
2023	0,09	0,27	1,22	0,13	-0,16
2024	0,11	0,34	1,53	0,17	-0,19
2025	0,14	0,41	1,85	0,20	-0,23
2026	0,16	0,48	2,16	0,23	-0,27
2027	0,18	0,55	2,48	0,27	-0,31
2028	0,21	0,62	2,79	0,30	-0,35
2029	0,23	0,69	3,11	0,34	-0,39
2030	0,26	0,77	3,44	0,37	-0,43



Şekil 8.13. Sera gazı kümülatif yüzdesel kazanımların değerlerinin yıllara göre değişimi

8.6. Destek Vektör Regresyonu ile Gelecek Yıllar Sera Gazı Emisyonu Değerleri Tahmini

Destek Vektör Makinesi (DVM) yöntemi ile oluşturulan modeller sınıflandırma ve regresyon problemlerin çözümüne yönelik kullanılmaktadır. Destek Vektör Makinesi belirli düzeyde öğrenme örüntüsü üzerinden iyi bir genelleme seviyesi sağlayabilmek için yapısal risk minimizasyonu tümevarım yöntemini uygulayan bir öğrenme makinesidir [276].

Destek vektör makinesi regresyonu için 1990-2018 yılları verilerinden yararlanılmıştır. Bu verilerden bağımsız değişkenler olarak nüfus, karayolu yolcu-km, demiryolu yolcu-km, denizyolu yolcu-km, havayolları yolcu-km, karayolu ton-km, demiryolu ton-km, denizyolu ton-km, havayolları ton-km ve bunlara bağımlı olan değişken ise ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonudur. Destek vektör regresyonunda WEKA programından yararlanılmıştır. Girdi değişkenleri 1990-2017 yılları arası excel yardımıyla csv (virgülle ayrılmış olan değerler dosyası) formatına çevrilerek, uygulamaya veri girişleri yapılmıştır.

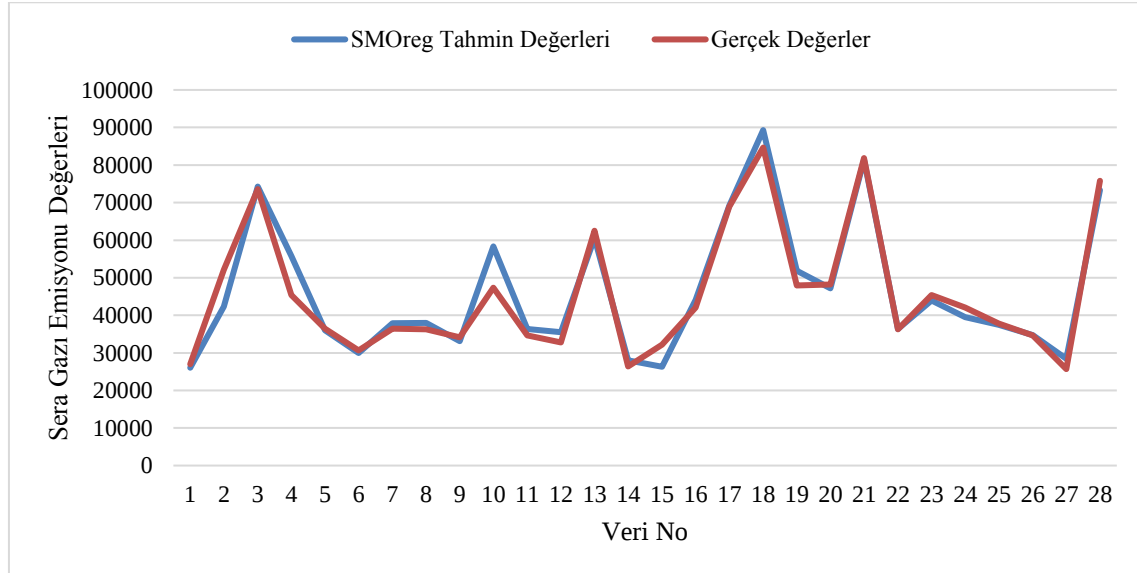
Bununla birlikte; işlem için öğrenmenin en doğru performansı ve en iyi tahmin değerlerini bulmak amacıyla çapraz doğrulama yöntemi seçilmiştir. Çapraz doğrulama yöntemi hem tüm verilerden son derece yararlanırken hem de daha kolay en uygun olacak doğru sonuca ulaştıran bir teknik olup, şematik olarak daha önceki bölümlerdeki Şekil 6.38'de gösterilmektedir. Çapraz doğrulama için WEKA 'da test kısmında çapraz doğrulama (cross validation) sekmesi için 10 seçilmiştir. Bunun anlamı; mevcut veri seti belirsiz bir kurala göre 10 parçaya bölünerek, her bir parça sırasıyla test verisi seçilirken, seçim dışında kalan diğer 9 parça ise program tarafından öğrenme için kullanılmaktadır. Burada; her işlem için oluşturulan model sonrası hata değeri hesaplanır. Tez kapsamında çapraz doğrulama 10 seçildiği için, seçilen algoritma toplamda 10 kere çalışarak, toplamda 10 doğrulama işlemi yapacaktır.

Yapılan işlem adımları ise; WEKA'da sınıflandırma (classify) bölümü altında, fonksiyon kısmının içerisinde bulunan SMOreg algoritması seçilmiş ve uygulanmıştır. Bu algorithmada çeşitli c katsayıları denenmiştir. Algoritmalar için hangisinin daha iyi sonuç verdiği bulabilmek amacıyla; korelasyon katsayısı, ortalama mutlak hata (mean absolute error) performans ölçütleri kullanılmıştır. SMOreg yapay öğrenme algoritması için değişkenler ve elde edilen mutlak hata değerleri Çizelge 8.15'de gösterilmektedir.

Çizelge 8.15. Sera gazı gelecek yıllar değerleri için oluşturulan modeller ve mutlak hataları

Destek Vektör Makineleri ile Regresyon (support vector machine for regression)			
Öğrenme Algoritması	RegSMOImproved		
Çekirdek (kernel) fonksiyonu	The polynomial kernel (üs değeri 1 olarak seçilmiştir.)		
Verilerin İşlenişi	Normalize edilecektir.		
Doğrulama	10 Kat Çapraz Doğrulama		
SMOreg Modeli	C (Karmaşıklık parametresi)	Korelasyon katsayısı	Ortalama mutlak hata
1	20	0,9699	2 839,3596
2	14	0,9721	2 720,8083
3	10	0,9732	2 668,8902
4	9	0,9734	2 644,0676
5	8	0,9734	2 678,8671
6	7	0,9733	2 704,9622
7	6	0,9734	2 713,5154
8	5	0,9734	2 753,1205

Çizelge 8.15’den de görüleceği üzere en az ortalama mutlak hata değeri veren c katsayısı (c; 9 olana, model 4 ile olmuştur. Bu model ile elde edilen tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılması Şekil 8.14’de gösterilmektedir.



Şekil 8.14. SMOreg model 4 sonucu tahmin ile gerçek değerlerin karşılaştırılması

Şekil 8.14’den görüleceği üzere tahmin ve gerçek değerler oldukça birbirine yakın olup, korelasyon değeri 0,9734 çıkmıştır. Bu modelin tahmin için uygun olduğu söylenebilir. Bu

parametreler değişmeksizin destek vektör makineleri tüm yıllar eğitim verisi olarak girilmiş ve hâlihazır durum yaklaşımı sonucunda 2030 yılına kadar sera gazı emisyonu değerleri Çizelge 8.16'daki belirtilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 8.16. SMOreg model 4 sonucu gelecek yıllar bulunan sera gazı emisyonu tahminleri

Yıllar	Sera Gazı Emisyonu Hâlihazır Yaklaşımı (kiloton CO ₂ eşdeğeri)
2019	86 653,419
2020	87 542,889
2021	88 429,193
2022	89 313,041
2023	90 195,444
2024	91 082,467
2025	91 966,521
2026	92 853,873
2027	93 739,830
2028	94 625,814
2029	95 509,205
2030	96 396,045

Buna göre ulaştırmada; SMOreg algoritması sonucu destek vektör makinesi regresyon ile 2030 yılında 96 396, 045 kiloton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu oluşacağı tahmin edilmektedir.

8.7. Destek Vektör Makinesi Regresyonu ve Birim Enerji Tüketimine Karşılık Oluşan Sera Gazı Emisyonu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

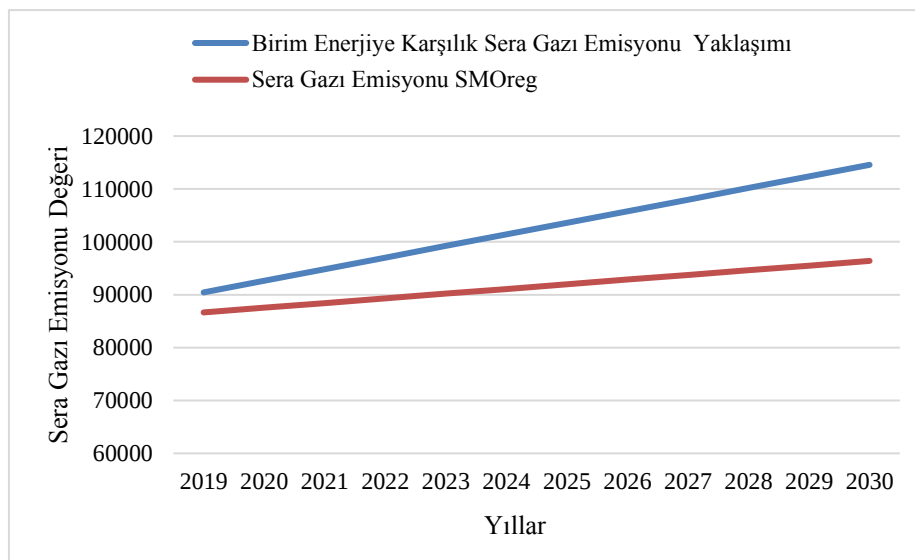
Birim enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonunda son 5 yıldaki değerler dikkate alınarak 2030 yılına kadar sera gazı emisyonu oluşumu dikkate alınmıştır. Bu değer gelecek yıllardaki yaşanan değişimler ve çevreci sistemlerin gelişmesi ile daha azalacağı ise ilgili başlık altında belirtilmişti. Bu itibarla destek vektör makinesi regresyon yaklaşımı gelecekte nasıl bir azalma olacağı durumuna yönelik değerlendirme yapılmasını sağlayacaktır.

Çizelge 8.17'de iki yaklaşım sonucu elde edilen sera gazı emisyonu değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir. Şekil 8.15'de ise iki yaklaşım sonucu elde edilen sera gazı emisyonu değerlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 8.17. İki yaklaşım sonucu elde edilen sera gazı emisyonu değerleri

Yıllar	Birim Enerji Tüketimine Karşılık Oluşan Sera Gazı Emisyonu Yaklaşımı	Sera Gazı Emisyonu SMOreg Yaklaşımı
	(kiloton CO ₂ eşdeğeri)	
2019	90 438	86 653,419
2020	92 631	87 542,889
2021	94 824	88 429,193
2022	97 016	89 313,041
2023	99 209	90 195,444
2024	101 402	91 082,467
2025	103 595	91 966,521
2026	105 787	92 853,873
2027	107 980	93 739,830
2028	110 173	94 625,814
2029	112 366	95 509,205
2030	114 559	96 396,045
2019-2030 ortalama	102 498,33	91 525,61
Yüzdesel Durum	%100	%89,29

Birim enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonu yaklaşımına göre 2019-2030 yıllarında ortalama olarak 102 498,33 kiloton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu oluşurken SMOreg algoritması yaklaşımı ile 2019-2030 yılları için ortalama olarak 91 525,61 kiloton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile 2019-2030 yıllarında sera gazı emisyonu değerinde gelecekte %10,71 düşüş yaşanacağı, birim enerji tüketimine karşılık 2013-2017 yıllarındaki oluşan sera gazı emisyonlarının toplam durumuna göre %10,71 oranında azalma yaşanacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 8.15. İki yaklaşım sonucu elde edilen sera gazı emisyonu değerlerinin yıllara göre değişimi

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de ulaştırma sektörünün tüm sektörler içerisinde enerji tüketimine bakıldığında; 2017 yılında ortalama %19,6 pay ve 2018 yılında da %19,9 oranda olduğu görülmektedir. Bu kullanılan enerjinin de en büyük payı petrol ürünlerinden oluşmaktadır. Buna karşın, Türkiye petrol gereksiniminin büyük bir payını ithal ederek karşılamaktadır. Bu itibarla, ulaştırma sektöründe enerji tüketiminin hem verimli hem de tüketilen enerjinin çok etkin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, ulaştırma sektöründe kullanımı çok olan petrol ve türevleriyle enerji verimliliği dışında; hava kirliliği, emisyon salınımı vb. gibi çevreye zararlı etkileri de bulunmaktadır. Bu yüzden ulaştırma, çevre ve enerji verimliliği bağlamında bütün olarak dikkate alınması gereklidir. Bunun için; çeşitli değerlendirmeler ve analiz çalışmaları yapılarak, geleceğe yönelik tahminlerin bulunması ile ortaya çıkan sonucun değerlendirilmesi gerekmektedir. Değerlendirme sonucu; hem en uygun ulaştırma planlaması seçilecek ve sürdürülebilir olan ulaştırma planına yönelik yeni stratejilerin bulunmasını sağlayacak hem de çevreye duyarlı olmasını sağlayan ve enerji verimliliği konusunda daha iyi olan bir ülkeler için izleyeceği yol haritası çizilmesini mümkün kılacaktır.

Bu tez kapsamında genel olarak Türkiye için 1998-2018 yılları verileri dikkate alınarak, 2019-2038 gelecek yıllarına dair bir değerlendirme yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ve önerilere ulaşılmıştır.

Enerji kaynakları açısından Türkiye dışa bağımlı bir ülkedir. Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığı 2016 yılında %74,1 olmuştur.

Türkiye’de karayolu ulaştırma sisteminin hem yük hem de yolcu taşımacılık payının oldukça yüksek olduğu, Türkiye’de demiryolları kullanımının gelişmiş ülkelere oranla oldukça gerisinde kaldığı ve küresel rekabet endeksinde (GCI) demiryolu altyapı kalitesi açısından da 2018 yılında dünya içerisinde sıralaması 57. sırada yer aldığı görülmektedir.

Türkiye nüfusu 2018 yılında, 1998 yılına göre yaklaşık 1,34 kat; GSYH değeri, 1998 yılına göre yaklaşık 2,80 kat; kişi başına GSYH ise 2018 yılı için, 1998 yılına göre 2,08 kat artmıştır. Türkiye’de genel olarak GSYH, nüfus ve kişi başına GSYH ile birlikte ulaştırmada

tüketilen enerji de artmış olup; 1998 yılında ulaşırmada enerji tüketimi (boru hattı hariç) değeri 450,49 PJ iken, 2018 yılında ise 1 178,43 PJ olmuştur. Ulaştırmada enerji tüketimi 1998 yılına göre, 2018 yılında ortalama 2,62 kat artmıştır.

Türkiye’de ulaşırtma sektöründe yük taşımacılığı açısından enerji yoğunluğu değerlerine bakılırsa; 1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en az olan ulaşırtma türü demiryolu olduğu görölmektedir. 2018 yılında ise yine demiryolu ulaşırtma türünün olduğu görölmektedir. 1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en çok olan ulaşırtma türü havayolu iken, 2018 yılı için yine enerji yoğunluğu açısından en büyük değere sahip ulaşırtma türü havayolu olduğu görölmektedir. 1998-2018 yılları için ortalama enerji yoğunluğu değerlerine bakılırsa, karayolu ulaşırtma türünün 1,84 MJ/ton-km, demiryolunun 0,68 MJ/ton-km, denizyolunun 1,43 MJ/ton-km ve havayolunun 33,16 MJ/ton-km olduğu görölmektedir. Son 5 yıl için enerji yoğunluğu ortalama değerlerinde; karayolu ulaşırtma türünün 2,20 MJ/ton-km, demiryolunun 0,56 MJ/ton-km, denizyolunun 0,82 MJ/ton-km ve havayolunun 6,99 MJ/ton-km olduğu görölmektedir. Buradan karayolu enerji yoğunluğunun son 21 yıla göre son 5 yılda değeri artarken, diğer ulaşırtma türlerinin enerji yoğunluk değerlerinin azaldığı görölmektedir. Enerji yoğunluğu değerlerinde denizyolu ve demiryolu ulaşırtma türlerindeki değişimin dalgalı bir seyir izlediğı görölmürken, karayolu ulaşırtmasının enerji yoğunluğu değeri artmakta ve havayolu ulaşırtmasının değerinin ise azaldığı görölmektedir.

Türkiye’de ulaşırtma sektöründe yolcu taşımacılığı açısından enerji yoğunluğu değerlerine bakılırsa; 1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en az olan ulaşırtma türü denizyolu olduğu görölmektedir. 2018 yılında ise demiryolu ulaşırtma türünün olduğu görölmektedir. 1998 yılında enerji yoğunluğu değeri en çok olan ulaşırtma türü havayolu iken, 2018 yılı için enerji yoğunluğu açısından en büyük değere sahip ulaşırtma türü karayolu ulaşırtma türüdür. 1998-2018 yıllarındaki 21 yıl için ortalama enerji yoğunluğu değerlerinde; karayolu ulaşırtma türünün 1,23 MJ/yolcu-km, demiryollarının 0,51 MJ/yolcu-km, denizyolunun 0,72 MJ/yolcu-km ve havayolunun 4,74 MJ/yolcu-km olduğu görölmektedir. Son 5 yıldaki enerji yoğunluğu ortalamasında ise karayolunun 1,47 MJ/yolcu-km, demiryolunun 0,41 MJ/yolcu-km, denizyolunun 0,41 MJ/yolcu-km ve havayolunu 1,00 MJ/yolcu-km olduğu görölmektedir. Karayolunun enerji yoğunluğunun arttığı buna karşın havayolu ulaşırtmasının yoğunluğunun azaldığı görölmektedir. Denizyolu ve demiryolu enerji yoğunluklarının ise yıllar itibari ile değişken ve dalgalı bir değişim izlediğı görölmektedir.

Demiryollarında yolcu sayısı değerleri 2025, 2030, 2035 yılları için tahminleri hesaplanmış ve sırası ile 89,343 milyon; 94,194 milyon ve 99,370 milyon bulunmuştur. Bunun yanı sıra, demiryollarında taşınan ton miktarı ile ilgili de 2025, 2030, 2035 yılları değerleri elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile 33 030 482 ton, 35 103 140 ton, 36 358 353 ton olarak tahmin edilmiştir. Diğer taraftan GSYH değerleri de bulunmuş, 2025, 2030, 2035 yılları için sırası ile $1\,005\,706\,10^6$ \$, $1\,302\,005\,10^6$ \$, ve $1\,645\,960\,10^6$ \$'dır.

Demiryollarının yük ve yolcu taşımacılığı için 2014-2018 yıllarındaki enerji yoğunluğu dikkate alınarak 2025 yılında 11,43 PJ, 2030 yılında 12,61 PJ, 2018 yılı enerji yoğunluğu değerleri ile ise 2025 yılında 10,00 PJ, 2030 yılında ise 11,04 PJ olarak bulunmuştur. Demiryollarının gelecek yıllar enerji tüketimi tahminleri; yapay zekâ tekniklerinden YSA ile iki farklı modelle de bulunmuştur. MAPE değeri %2,12 olan YSA-1 modeli ile 2025 yılında 9,18 PJ, 2030 yılında 9,82 PJ olarak bulunmuştur. MAPE değeri %6,01 olan YSA-2 modeli ile ise 2025 yılında 9,30 PJ, 2030 yılında 9,49 PJ olarak bulunmuştur.

YSA modelleri ortalama enerji tüketimi tahmini 2019-2038 yılları için 9,62 PJ, tür tabanlı enerji analizi yaklaşımlarının enerji tüketim tahmini ortalaması ise 11,50 PJ olmaktadır. Buradaki, YSA modellerinin ortalama enerji tüketiminin, tür tabanlı enerji analizi yaklaşımlarının ortalama enerji tüketimlerinin %83,69'una denk geldiği görülmektedir. Diğer bir ifade ile enerji yoğunluğu değerinin demiryolları için YSA-1 ve YSA-2 modelleri ortalama enerji tüketimlerine göre, 2019-2038 yılları için 2014-2018 yıllarına göre ortalama olarak %21,53 oranında, 2018 yılına göre ise %10,34 oranında daha az olacaktır. Demiryollarının birim taşımacılık için harcadığı enerjinin gelecek yıllarda daha az olacağı görülmektedir.

Gelecek yıllara dair oluşturulan; yük taşımacılığında geçmiş yıllardaki türel dağılımlarının durumu ve değişimi dikkate alınarak, 3'ü demiryollarının desteklendiği, 1'i denizyollarının desteklendiği ve 1'i havayollarının desteklendiği olmak üzere 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar sonucunda; kümülatif enerji verimliliği oranları açısından yük taşımacılığı senaryoları karşılaştırılacak olursa; senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,03; %0,06 ve %0,10 olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,27; %0,50 ve %0,74; senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %2,12; %3,95 ve %5,83; senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,31; %0,58 ve %0,85 ve enerji verimliliği sağlanamayan senaryo 5 ile 2025, 2030 ve

2035 yıllarında sırası ile -%0,99; -%1,84 ve -%2,72 olmuştur.

Gelecek yıllara dair oluşturulan; yolcu taşımacılığında geçmiş yıllardaki türel dağılımlarının durumu ve değişimi dikkate alınarak, 3'ü demiryollarının desteklendiği, 1'i denizyollarının desteklendiği ve 1'i havayollarının desteklendiği olmak üzere 5 farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolar sonucunda yolcu taşımacılığında; kümülatif enerji verimliliği oranları açısından senaryo 1 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,23; %0,43 ve %0,63 olurken, senaryo 2 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,49; %0,91 ve %1,35; senaryo 3 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %1,09; %2,04 ve %3,01; senaryo 4 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,04; %0,07 ve %0,10 ve senaryo 5 ile 2025, 2030 ve 2035 yıllarında sırası ile %0,54; %1,01 ve %1,49 olmuştur.

Bu itibarla, demiryollarının yolcu taşımacılığında mutlaka desteklenmesi gerektiği görülmektedir. Havayolu ulaştırma sisteminin ise yük taşımacılığında desteklenmesi olumsuz olarak mevcut duruma göre sonuçlar oluşturmaktadır. Diğer taraftan yolcu taşımacılığında havayolu ulaştırma sisteminin enerji verimliliğine olumlu yönde katkısı bulunmaktadır. Bu itibarla, havayollarının yolcu taşımacılığında desteklenmesinin doğru olduğu görülmektedir. Yük taşımacılığında denizyollarının desteklendiği senaryo 4 ile demiryollarının desteklendiği senaryo 2 sonucu elde edilen kazanımlar benzer olduğu, fakat yolcu taşımacılığında demiryollarının enerji verimliliğinin daha fazla kazanımlar sağladığı görülmektedir. Bu itibarla, denizyollarının yük taşımacılığında desteklenmesinin yolcu taşımacılığına göre daha doğru olduğu görülmektedir.

Ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonları genel olarak her yıl artmakta olup, ulaştırma kaynaklı sera gazı emisyonu dağılımında en yüksek payı karayolları almakta olup bu değer 2017 yılı için %92,97'dir. İkinci en yüksek payı ise havayolu ulaştırma türü almakta olup, 2017 yılı değeri %4,53'dür. Denizyolu ulaştırma türünün payı ise 2017 yılında %1,12'dir. Sera gazı emisyonunda 2017 yılı için demiryollarının yüzdesel olarak payı %0,49 olup, diğer ulaştırma türlerine göre oldukça az olduğu görülmektedir.

Ulaştırmada bir birimlik enerji tüketimine karşılık gelen sera gazı emisyonu değerlerinde 1998-2017 yılları için ortalamaları değerlendirilirse, en az değer 0,0602 kiloton CO₂ eşdeğeri/TJ ile demiryollarının olduğu görülmektedir. Bu değer denizyolları için 0,0742; karayolları için 0,0727 ve havayolları için 0,0714'dür.

Sera gazı emisyonu ile ilgili daha önceki yük ve yolcu taşımacılığı açısından oluşturulan 5 senaryo birlikte değerlendirilerek, sera gazı emisyonları ile ilgili 5 senaryo modeli geliştirilmiştir. Senaryoların uygulanması sonucu; kümülatif yüzdesel kazanımlar 2030 yılı için Sera Gazı Emisyonu Senaryo 1 ile %0,26; senaryo 2 ile %0,77; senaryo 3 ile %3,44; senaryo 4 ile %0,37 ve senaryo 5 ile -%0,43 olmuştur.

Birim enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonunda son 5 yıldaki değerler dikkate alınarak 2030 yılına kadar sera gazı emisyonu oluşumu 114 559 kiloton CO₂ eşdeğeri, destek vektör makinesi regresyon yaklaşımı (SMOreg öğrenme algoritması ile) gelecekte 96 396,045 kiloton CO₂ eşdeğeri olarak bulunmuştur. Birim enerji tüketimine karşılık oluşan sera gazı emisyonu yaklaşımına göre 2019-2030 yıllarında ortalama olarak 102 498,33 kiloton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu oluşurken SMOreg algoritması yaklaşımı ile 2019-2030 yılları için ortalama olarak 91 525,61 kiloton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile 2019-2030 yıllarında sera gazı emisyonu değerinde gelecekte %10,71 düşüş yaşanacağı, birim enerji tüketimine karşılık 2013-2017 yıllarındaki oluşan sera gazı emisyonlarının toplam durumuna göre %10,71 oranında azalma yaşanacağı tahmin edilmektedir.

Karayollarının hem enerji verimliliği için hem de sera gazı emisyonu için olumsuz etkileri olduğu görülmektedir. Bu yüzden karayolundaki oluşan talebin ve taşımacılık payının kademeli bir şekilde, diğer ulaştırma türlerine özellikle demiryollarına aktarılması durumunda enerji verimliliği ve enerji tüketimi açısından olumlu etkiler oluşturmakta, sera gazı emisyonu için de enerjide dışa bağımlı olan Türkiye için faydalı sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan hem denizyolları hem de demiryollarında çeşitli düzenlemeler (altyapı, idari yapı ve mevzuat, yeni projeler ile hatlar, strateji ve planlama çalışmaları vb.) mutlaka yapılması gerektiği görülmektedir.

Türkiye'nin ulaştırma sektöründen kaynaklanan emisyonların hesaplanması; arşiv ve dokümantasyon oluşturulması aşamasında daha detaylı ve daha doğru sonuca götüren çalışmalar yapmak için emisyon envanteri oluşturulmalıdır. Sera gazı emisyonları kömür, petrol ve gaz yanması ile çok yakın bağlantılı olmasından; karayollarında petrol kullanımının çok olması nedeniyle sürdürülebilir bir ulaşım için petrole bağımlı olmayan taşıt kullanımına yönelik teşvikler artırılmalı ve bu sayede hem enerji verimliliği hem de

sera gazı emisyonu açısından olumlu etkiler olması amaç edinilmelidir.

Sürdürülebilir bir ekonomi ve kalkınma amacına ulaşabilmek enerji kaynaklarının her sektör için nerede kullanıldığı ve paylarının bilinmesi gereklidir. Bu duruma yönelik çözümler artırılmalı ve araştırmalar yapılmalıdır.

Ulaştırma sektöründeki gelecek yıllar için enerji talep tahmini, daha dengeli ve verimli taşımacılık sistemlerinin tasarlanması ve aynı zamanda sürdürülebilir ulaşım planlaması stratejilerinin geliştirilmesi için bu talebi kontrol etmek gelecek için en önemli amaçlardan biri olmalıdır. Bu amaç için, belirli aralıklarla ve farklı değişkenlerle enerji analizleri ve çalışmalar yapılması gereklidir. Ayrıca, ulaştırma türlerinde birim taşımacılık sonucu tüketilen enerji değeri ve birim enerji tüketimleri sonucu oluşan sera gazı emisyonlarının durumu ile ne kadar etki yaptığını belirli örneklemeler oluşturarak farklı süreçlerde ve deney teknikleriyle belirlenmeye çalışmalı, değerler ölçülmeli ve kayıtları tutulmalıdır. Ayrıca; oluşan birim taşımacılık için tüketilen enerji değerleri ile birim enerji tüketimi sonucu oluşan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik tekniklerin araştırılarak Türkiye’de uygulanabilirliği incelenmelidir. Diğer taraftan, ulaştırma türlerine dair enerji analizi ilerleyen zamanlarda da yapılarak enerji verimliliğindeki ve tüketimindeki durum ve değişim, bu tez ile karşılaştırılma yapılabilir. Kullanılan YSA modellerinde ve yapay zekâ tekniklerinde farklı girdi değişkenleri denenerek sonuçlar karşılaştırılmalıdır. Ulaştırmada enerji tüketimleri ve sera gazı emisyonlarının değerleri yolcu ve yük taşımacılığı için ayrılmadığı görülmektedir. Bu yüzden daha kapsamlı enerji ve sürdürülebilir ulaşım planlaması analizleri için, verilerin yük ve yolcu taşımacılığı için ayrı ayrı olarak kayıt altında tutulması gerekmektedir. Ayrıca; ulaştırma senaryoları farklılaştırılarak ve artırılarak daha kapsamlı ve daha detaylı gelecek ulaştırma planlarına ve stratejilerine yönelik net durum ortaya koyularak, gereken adımların neler olması gerektiğine yönelik değerlendirmeler ve daha detaylı çıkarımlar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. James, D. B., Vincent, A. M., Ashok, K. S. and Munirpallam, A. V. (2004). *Forecasting including an introduction to forecasting using the SAP R/3 system*. Indiana University Kelley School of Business, ABD, 3.
2. Demir, H. ve Gümüsoğlu, S. (2003). *Üretim yönetimi-işlemler yönetimi*. Türkiye: Beta Yayınları.
3. Ateş, S. (2012). *Mikroekranlı Hatların Veri Madenciliği Yöntemleri ile Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
4. TCDD APK Dairesi Başkanlığı. (2006). *T.C. devlet demiryolları işletmesi genel müdürlüğü istatistik yılı 2001 – 2005*. .8ISSN 1300-2503). Ankara: T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 108, 109
5. T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı İstatistik Şubesi. (2016). *T.C. devlet demiryolları istatistik yılı 2011-2015* (TCDD ISSN 1300-2503. Yayın No: 2016-2). Ankara: Türkiye: T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 1-3, 9-11: (1-39, 101-114).
6. T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı İstatistik ve Analiz Şubesi. (2017). *T.C. devlet demiryolları istatistik yılı 2012 – 2016* (TCDD Yayın No: 2017-1). Ankara: Türkiye: T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 61-68, 101-108.
7. T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı İstatistik ve Analiz Şubesi. (2018). *T.C. devlet demiryolları istatistik yılı 2013 – 2017*. Ankara: T.C. Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü, 88-91. 94-103.
8. TCDD. (2018). *2017 istatistik yılı*. Ankara: TCDD Taşımacılık A.Ş. Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı Yayın No: 2019-1.
9. T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü. (2011). *Karayolu ulaşım istatistikleri* (2010). Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, 4,5, 7, 10.
10. T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü. (2013). *Karayolu ulaşım istatistikleri* (2012). Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, 7-10.
11. İnternet: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü. (Temmuz, 2019). *Karayolu ulaşım istatistikleri* (2018). URL: <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarayoluUlasimIstatistikleri2018.pdf>, Son Erişim Tarihi: 04.08.2019.

12. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, Konularına Göre İstatistikler. *Ulaştırma istatistikleri, istatistiksel tablolar ve dinamik sorgulama, demiryolları uzunluğu, tren, yolcu, yük taşımaları ve ton kilometre.* URL: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051, Son Erişim Tarihi: 25.12.2019.
13. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, Konularına Göre İstatistikler. Ulaştırma İstatistikleri, Dinamik Sorgulama, İstatistiksel Tablolar, Karayolu. Karayolu uzunlukları ve yolcu taşımaları. *Devlet yolu, il yolu ve otoyollar üzerindeki seyir ile yük ve yolcu taşımaları.* URL: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051, Son Erişim Tarihi: 25.12.2019.
14. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu, Konularına Göre İstatistikler. *Nüfus projeksiyonları.* URL: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1027 Son Erişim Tarihi: 23.12.2019.
15. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı. *Nüfus projeksiyonları, 2018-2080.* Haber Bülteni, Sayı: 30567. URL: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567>, Son Erişim Tarihi: 21.02.2019.
16. İnternet: Turkish Statistical Institute, Turkey. 2019 National Inventory Report (Nır), Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2017. *GHG inventorie. National Inventory Report for submission under the United Nations framework convention on climate change.* (April 2019). URL: <https://unfccc.int/documents/194819>, Son Erişim Tarihi: 28.12.2019.
17. İnternet: Dünya Bankası. Turkey, International Civil Aviation Organization, Civil Aviation Statistics of the World and ICAO staff estimates. *Air transport, freight (million ton-km).* URL: <https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.GOOD.MT.K1?locations=TR>, Son Erişim Tarihi: 28.12.2019.
18. İnternet: Dünya Bankası. *Population, total – Turkey.* URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=TR>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2019.
19. İnternet: Dünya Bankası. World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. *GDP (current US\$) – Turkey.* URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=TR> Son Erişim Tarihi: 27.12.2019.
20. İnternet: Dünya Bankası. *Küresel ekonomik beklentiler – tahminler, annual gdp growth (%).* <https://data.worldbank.org/country/TR?locale=tr>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2019.
21. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. *Ulusal enerji denge tabloları.* URL: <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları>, Son Erişim Tarihi: 25.12.2019.

22. İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı Veri Değerlendirme Şube Müdürlüğü. Çevresel Göstergeler 2017. URL: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cevreselgostergeler/duyurular/ek-3-gostergeler-2017-k-tapcigi-20190920092232.pdf>, Son Erişim Tarihi:25.12.2019.
23. Davis, S. T., Diegel, S. W. and Boundy, R. G. (2012). *Transportation Energy Data Book*, Washington, DC: Department of Energy.
24. Düzgün, B. (2014). *Türkiye'nin Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi: Beyaz Sertifikalar Sisteminin Türkiye'ye Uygulanabilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
25. Yılmaz, A. (2012). *Türkiye'de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Enerji Politikaları*, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın.
26. Solak, A. O. (2013). Türkiye'de ulaştırma sektörü enerji tüketiminin azaltılması: bir senaryo yaklaşımı. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9 (1), 125-140.
27. Cansız, Ö. F. (2007). *Enerji Politikalarının Ulaştırma Sistemlerinin Optimizasyonu ile Geliştirilmesi ve Uygulamadan Elde Edilen Getirilerin Ortaya Konması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
28. Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, (24), 377-90.
29. Himanshu, A. A. and Lester, C. H. (2008). Electricity demand for Sri Lanka: a time series analysis. *Energy*, 33 (5), 724-739.
30. Akay, D. and Atak, M. (2007). Grey prediction with rolling mechanism for electricity demand forecasting of Turkey. *Energy*, 32 (9), 1670-1675.
31. Bessec, M. and Fouquau, J. (2008). The non-linear link between electricity consumption and temperature in Europe: a threshold panel approach. *Energy Economics*, 30 (5), 2705-2721.
32. Wang, J., Zhu, S., Zhang, W. and Lu, H. (2010). Combined modeling for electric load forecasting with adaptive particle swarm optimization. *Energy*, 35 (4), 1671-1678.
33. Lee, Y. S. and Tong, L. I. (2011). Forecasting energy consumption using a grey model improved by incorporating genetic programming. *Energy Conversion and Management*, 52 (1), 147-152.
34. Küçükali, S. and Barış, K. (2010). Turkey's short-term gross annual electricity demand forecast by fuzzy logic approach. *Energy Policy*, 38 (5), 2438-2445.
35. Hamzaçebi, C. (2007). Forecasting of Turkey's net electricity energy consumption on sectoral bases. *Energy Policy*, 35 (3), 2009-2016.
36. Suganthi, L. and Samuel, A. A. (2012). Energy models for demand forecasting-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2), 1223-1240 2012.

37. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E. and Özkaymak, M. (2005). Turkey's net energy consumption. *Applied Energy*, 81 (2), 209-221.
38. Sözen, A. and Arcaklıoğlu, E. (2007). Prediction of net energy consumption based on economic indicators (GNP and GDP) in Turkey. *Energy Policy*, 35 (10), 4981-4992.
39. Pao, H.T. (2006). Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan's electricity consumption. *Energy*, 31 (12), 2129-2141.
40. Kavaklıoğlu, K., Ceylan, H., Öztürk, H. K. and Canyurt, O. E. (2009). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using artificial neural networks. *Energy Conversion and Management*, 50 (11), 2719-2727.
41. Geem, Z. W. and Roper, W. E. (2009). Energy demand estimation of South Korea using artificial neural network. *Energy Policy*, 37 (10), 4049- 4054.
42. Ekonomou, L. (2010). Greek long-term energy consumption prediction using artificial neural networks. *Energy*, 35, 512-517.
43. Limanond, T., Jomnonkwao, S. and Srikaew, A. (2011). Projection of future transport energy demand of Thailand. *Energy Policy*, 39 (5), 2754- 2763.
44. Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M. İ. and Özşahin, T. Ş. (2011). Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socioeconomic and demographic variables, *Applied Energy*, 88 (5), 1927-1939.
45. Geem, Z.W. (2011). Transport energy demand modeling of South Korea using artificial neural network. *Energy Policy*, 39 (8), 4644-4650.
46. Pabuçcu, H. ve Bayramoğlu, T. (2016). Yapay sinir ağları ile CO₂ emisyonu tahmini: Türkiye örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 18 (3), 762-778.
47. Çodur, M. Y. and Ünal, A. (2019). An estimation of transport energy demand in Turkey via artificial neural networks. *Promet – Traffic & Transportation*, 31 (2), 151-161.
48. Ceylan, H. and Öztürk, H. K. (2004). Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach. *Energy Conversion and Management*, 45 (15-16), 2525–2537.
49. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F. (2004). Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 19 (3), 227-233.
50. Sözen, A., Arcaklıoğlu, E. And Özalp, M. (2004). Estimation of solar potential in Turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45 (18-19), 3033-3052.
51. Haldenbilen, S. and Ceylan, H. (2005). Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey. *Energy Policy*, 33 (1), 89-98.

52. Ediger, V. Ş., Akar, S. and Uğurlu, B. (2006). Forecasting production of fossil fuel sources in Turkey using a comparative regression and ARIMA model. *Energy Policy*, 34 (18), 3836-3846.
53. Murat, Y. S. and Ceylan, H. (2006). Use of artificial neural networks for transport energy demand modeling, *Energy Policy*, 34 (17), 3165– 3172.
54. Ediger, V. Ş. ve Akar, S. (2007). ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energy Policy*, 35 (3), 1701-1708.
55. Toksarı, M. D. (2007). Ant colony optimization approach to estimate energy demand of Turkey. *Energy Policy*, 35 (8), 3984-3990.
56. Ünler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. *Energy Policy*, 36 (6), 1937-1944.
57. Kaşıkçı, L. (2011). *Türkiye Boru Taşımacılığında Enerji Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
58. Çınar, D., Kayakutlu, G. and Daim, T. (2010). Development of future energy scenarios with intelligent algorithms: case of hydro in Turkey. *Energy*, 35 (4), 1724-1729.
59. Demirel, Ö., Kakilli, A. and Tektaş, M. (2010). Anfis ve arma modelleri ile elektrik enerjisiyük tahmini. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25 (3), 601-610.
60. Filik, Ü.B., Gerek, Ö. N. and Kurban, M. (2011). A novel modeling approach for hourly forecasting of longterm electric energy demand. *Energy Conversion and Management*, 52 (1), 199-211.
61. Kavaklıoğlu, K. (2011). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using support vector regression. *Applied Energy*, 88 (1), 368-375.
62. Dilaver Z. and Lester C. H. (2011). Industrial electricity demand for Turkey: A structural time series analysis. *Energy Economics*, 33 (3), 426- 436.
63. Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M. and Paksoy, T. (2012). A novel hybrid approach based on particle swarm optimization and ant colony algorithm to forecast energy demand of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 53 (1), 75-83.
64. Es, H. A., Kalender, F. Y. ve Hamzaçebi, C. (2014). Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (3), 495-504.
65. Bayrak, M. and Esen, Ö. (2014). Forecasting Turkey's energy demand using artificial neural networks: future projection based on an energy deficit. *Journal of Applied Economic Sciences (JAES)*, 9:2 (28), 191-204.
66. Durğun, S. (2018). *Türkiye'nin Enerji Talebinin Yapay Zekâ Teknikleriyle Uzun Dönem Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.

67. Sönmez, M., Akgüngör, A.P. and Bektaş, S. (2017). Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm. *Energy*, 122: 301-310.
68. Ceylan, Z. ve Bulkan, S. (2018). Türkiye ulaşım kaynaklı enerji ihtiyacının hibrit ANFIS-PSO metodu ile tahmini. *AKÜ FEMÜBİD*, 18 (2), 740-750, DOI: 10.5578/fmbd.67331.
69. Richardson, B. (1998). Toward a policy on a sustainable transportation system. *The University of Michigan Transportation Reserch Institute*, 20.
70. Litman, T. (1999). Transportation cost analysis for sustainability. *IATSS Research*, 19 (2), 68-78.
71. Plaut, P. and Shmueli, D. (2000). Sustainable transport-a comparative analysis of İsrail, the Netherlands and United Kingdom. *World Transport Policy&Practice*, 6 (1), 40-58.
72. Long, X., Naminse, E. Y., Du J. and Zhuang, J. (2015). Non renewable energy, renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in China from 1952 to 2012. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015/52, 680-688.
73. Ito, K. (2017). CO₂ emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 2017/15, 1-6.
74. Özen, S., Koldemir, B., Bak, O.A. ve Paksoy, A. (2001, Haziran). *Ulaştırma sektörünün politika belirleme, planlama sorunları ve genel yönetimi*. 5. Ulaştırma Kongresinde sunuldu, İstanbul.
75. Çatalpınar, Ş. S. (2001, Haziran). *Ulaştırma politikaları*. 5. Ulaştırma Kongresinde sunuldu, İstanbul.
76. Ceylan, H. ve Haldenbilen, S. (2005). Şehirlerarası ulaşım talebinin genetik algoritma ile modellenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 238, 3599-3618,
77. Say, N. and Yücel, M. (2006). Energy consumption and CO₂ emissions in turkey: empirical analysis and future projection based on an economic growth. *Energy Policy*, 34, 3870.
78. Gürbüz, T. (2008). *Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Türkiye'deki Ulaştırma Talebinin Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
79. Ergün, S., ve Atay Polat, M. (2015). OECD ülkelerinde CO₂ emisyonu, elektrik tüketimi ve büyüme ilişkisi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 45:115-141.
80. Bölük, G. ve Mert, M. (2017). Fossil & renewable energy consumption, ghgs (greenhouse gases) and economic growth: evidence from a panel of EU (European Union) countries. *Energy*, 2017/74, 439-446.
81. Akbulut, F. (2016). Kentsel ulaşım hizmetlerinin planlanması ve yönetiminde sürdürülebilir politika önerileri. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11 (1), 336-355.

82. Özen, M. ve Tüýdeş Yaman, H. (2013). Türkiye’de şehirlerarası yük trafiğı CO₂ emisyonlarının tahmini. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Science*, 17 (3), 56-64.
83. Pekin, M. A. (2006). *Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
84. Reis, A. Z. (2017). Bölüm 1.Yapay zekâ., O. Torkul, S. Gülseçen, Y. Uyaroglu, G. Çağıl ve M. K. Uçar. (Editörler). *Mühendislikte yapay zekâ ve uygulamaları*. Birinci Baskı. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi, ISBN, 978-605-4735-98-3, s.11-23.
85. Saraç, T. (2004). *Yapay sinir ağları*. Seminer Projesi Ödevi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Ana Bilim Dalı. Ankara, 4, 8.
86. İnternet: Durakcan, Y. C. (2015). Yapay Zekânın Kısa Tarihçesi, URL: <http://bit.ly/2geK8rS>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2019.
87. İnternet: Lewis, T. A Brief History of Artificial Intelligence, Live Science Retrieved URL: <http://www.livescience.com/49007-history-of-artificial-intelligence.html>, Son Erişim Tarihi: 04.04.2019.
88. İnternet: Güncel Türkçe Sözlük. URL: <http://sozluk.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 03.02.2019.
89. Altuntaş E. ve Çelik, T. (1998). *Yapay zekânın tarihçesi*. İstanbul: Otak Yayıncılık, 18-54.
90. Russel, S.J. and Norvig, P., (1995). Artificial intelligence a modern approach. In J. F. Canny, J. Malik and D. Edwards (Eds.), *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, s. 17-18.
91. İnternet: Akpınar, M. Y. Yapay Zekâ ve Tarihi. URL: <http://bit.ly/2gKUSzd>, Son Erişim Tarihi: 18.08.2017.
92. İnternet: Sönmez, S. Yapay Zekâ (Ders Notları). URL: <http://bit.ly/2ieeRcT>, Son Erişim Tarihi: 24.08.2017.
93. Cesur, M. R., Torkul, O., İpek, M., Selvi, İ. H. ve Cedimoğlu, İ. H. (2017). Bölüm 11. Derin öğrenmeye giriş., O. Torkul, S. Gülseçen, Y. Uyaroglu, G. Çağıl ve M. K. Uçar. (Editörler). *Mühendislikte yapay zekâ ve uygulamaları*. Birinci Baskı. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi, ISBN, 978-605-4735-98-3, s.159.
94. Yetkin, M. (2014). *Tanker Şamandıra Bağlama Sistemlerinin Yapay Sinir Ağları Tekniğıyle Optimizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği, İstanbul.
95. Trippi, R. R. and Turban, E. (1996). Neural network in finance and investing. *Irwin Professional Pub.*, Chicago.
96. Kohonen, T. (1988). An introduction to neural computing. *Neural Networks*, 1 (1), 3-16.
97. Öztemel, E. (2006). *Yapay sinir ağları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık, 975-67-97-39-8.

98. Freeman, J.A. and Skapura, D. M. (1991). *Neural networks algorithms, appliations, and programming techniques*. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
99. Özgen D. (2007). *Yapay Sinir Ağları Analizi ve Türk Finans Piyasaları: İMKB 30 Endeksi Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Bankacılık ve Sigortacılık Enstitüsü, İstanbul.
100. Yıldız Ö. (2006). *Döviz Kuru Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
101. İnternet: Mijwil, M. (2017). Yapay sinir ağlar yapısı ve fonksiyonu. *Researchgate*, 2017/1. Web: <https://www.researchgate.net/publication/323073864> adresinden Ocak 2019'da alınmıştır.
102. İnternet: Çayıröğlu, İ. İleri Algoritma Analizi 5, URL: <http://bit.do/frEQb>, Son Erişim Tarihi: 30.09.2018.
103. Sönmez, M. (2009). *Yapay Sinir Ağları Metodu ile Kalıp İşlerinde Bir Verimlilik ve Adam-Saat Tahmin Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
104. Hagan M. T., Demuth H. B. and Beale M. (1996). *Neural network design*, PWS Publishing Company, Boston, 3.
105. Hamzaçebi, C. (2011). *Yapay sinir ağları: tahmin amaçlı kullanımı matlab ve neurosolutions uygulamalı*. Bursa: Ekin Yayınevi, 1-105.
106. Haykin, S. (1994). *Neural network, a comprehensive foundation*. New York: Macmillan College Publishing Company.
107. Turhan, C., Gökçen, G. ve Kazanasmaz, T. (2013). Yapay sinir ağları ile İzmir'deki çok katlı binaların toplam enerji tüketimlerinin tahmin edilmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 134, Mart/Nisan.
108. İnternet: The Math Works Company Matlab Paket Programı. URL: <http://www.mathworks.com>, Son Erişim Tarihi: 12.0.2018
109. Kartal, E. ve Özen, Z. (2017). Dengesiz veri setlerinde sınıflandırma., O. Torkul, S. Gülseçen, Y. Uyaroglu, G. Çağıl ve M. K. Uçar. (Editörler). *Mühendislikte yapay zekâ ve uygulamaları*. Birinci Baskı. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi, ISBN, 978-605-4735-98-3, s.109.
110. Gezer, M. ve Saylan, S. (2017). Açık kaynaklı makine öğrenmesi kütüphaneleri., O. Torkul, S. Gülseçen, Y. Uyaroglu, G. Çağıl ve M. K. Uçar. (Editörler). *Mühendislikte yapay zekâ ve uygulamaları*. Birinci Baskı. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi, ISBN, 978-605-4735-98-3, s.53-58.
111. Nizam, H. ve Akın, S. S. (2014). *Sosyal medyada makine öğrenmesi ile duygu analizinde dengeli ve dengesiz veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması*. XIX. Türkiye'de İnternet Konferansında sunuldu.

112. Koyuncugil, A. S. (2009). Veri madenciliği: tıp ve sağlık hizmetlerinde kullanımı ve uygulamaları. *International Journal Of Informatics Technologies*, 2009/5.2 (2).
113. Alpaydın, E. (2011). *Yapay öğrenme*. (4. Baskı). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
114. Zocca, V., Spacagna, G., Slater and D. and Roelants, P. (2017). *Python Deep Learning*, Packt Publishing.
115. Doğan, F. ve Türkoğlu, İ. (2019). Derin öğrenme modelleri ve uygulama alanlarına ilişkin bir derleme. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10 (2), 409-445. DOI: 10.24012/dumf.411130, 412.
116. Erguvan, E. E. (2017). *Zaman Serilerinde Veri Madenciliği Öngörü Algoritmalarının Etkinlik ve Verimliliğinin Bist100 Hisse Senetleri Üzerinde Gerçeklenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
117. Aydılek, İ. B. (2013). *Veri Kümelerindeki Eksik Değerlerin Yeni Yaklaşımlar Kullanılarak Hesaplanması*, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği, Konya.
118. Piramuthu, S. (2004). Evaluating feature selection methods for learning in data mining applications. *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 483-494.
119. Fayyad U. M., Piatetsky-Shapiro G. and Smyth P. (1996). The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data, *Communications of the ACM*, 39 (11), The United States of America, November.
120. Sağaltıcı, D., Alay, F.D., Efil, C. ve İlhan, N. (2018). Veri madenciliği yöntemleri ile meteorolojik verilerden kayıp güneş ışıınım değerlerinin tahmini. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (2), 49-53.
121. Han J. and Kamber M. (2006). *Data mining concepts and techniques* (Second Edition). The United States of America: Morgan Kaufmann, ISBN 1-55860-901-6.
122. Özkan, Y. (2016). *Veri madenciliği yöntemleri*, İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim.
123. İnternet: WEKA. URL: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>, Son Erişim Tarihi: 04.05.2019.
124. Asilkan, Ö. (2008). *Veri Madenciliği Kullanılarak İkinci El Otomobil Pazarında Fiyat Tahmini*, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
125. Chatfield C. (2000). *Time-series forecasting*. The United States of America: Chapman & Hall/CRC, ISBN: 1-58488-063-5.
126. Cowpertwait P. S. P. and Metcalfe A. V. (2009). *Introductory time series with R*. USA: Springer, ISBN: 978-0-387-88697-8.
127. Olgun, S. (2009). *Tedarik zinciri yönetiminde talep tahmini yöntemleri ve yapay zekâ tabanlı bir talep tahmini modelinin uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 74.

128. Ekinci, M. E. (2017). *Destek vektör regresyon ile hava kirliliği tahmini*. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 37-40.
129. Uygunoğlu, T. ve Yurtcu, Ş. (2006). Yapay zekâ tekniklerinin inşaat mühendisliği problemlerinde kullanımı, teknolojik araştırmalar. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, ISSN:1305-631X, 2(1), 61-70.
130. Pala, C. (2001). *Sanayileşme Sürecinde Enerjinin Yeri ve Önemi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 21.
131. Kozak, M. ve Kozak, Ş. (2012). Enerji depolama yöntemleri. *SDU International Technologic Science*, 4 (2), 17-29.
132. Keskin, T. (2013). *Avrupa Birliğinde ve Türkiye’de enerji verimliliğinin enerji sektöründeki beklenen etkileri*. Enerji Kongresi, 1-15.
133. Tandoğan, A. (1984). Dünya enerji üretimi ve Türkiye’nin enerji sorunu. *Karadeniz Üniversitesi Dergisi (İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi)*, 1 (1), 10-28: 13–16.
134. Ghosh, S. (2002). Electricity consumption and economic growth in India. *Energy Policy*, 30 (2): 125-129.
135. Robinson, D. and Mollan, R. (1982). Energy management in agriculture. *Royal Dublin Society*, Dublin, 11, 143–154.
136. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2017). *Dünya ve Türkiye- enerji ve tabii kaynaklar görünümü*. ETKB Strateji Geliştirme Başkanlığı, 1 Ocak 2017 (Sayı : 15).
137. Çamurcu H. (2005). Dünya nüfus artışı ve getirdiği sorunlar. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Dergisi*, 8 (13), Mayıs 2005, Balıkesir.
138. Sheng Chen, S. and Chyn Chen, H. (2007). Oil prices and real exchange rates. *Energy Economics*, 29 (3), 390–404.
139. Yiğit, A. (2003). Küreselleşen dünyada enerji ve savaş. *Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, 418, 10-17.
140. Özdemir, A. (2005). *Petrol Ürünlerinin Makroekonomik Büyüklüklere Etkisi*, Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aydın, 16.
141. Koç, E. ve Şenel, M.C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639): 32-44.
142. İnternet: IEA-International Energy Agency-Energy Statistics Manual (2004). *What Are Primary and Secondary Energy Commodities*. (Paris: Head of Publication Service). http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/statistics_manual.pdf#search=%22Energy%20Statistic%20Manual%2C%22%3A18, Son Erişim Tarihi. 30. 11. 2017.
143. Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı. (2019). *2018 yılı ham petrol ve doğal gaz sektör raporu*. Ankara: Türkiye Petrolleri.

144. İnternet: BP. (2017). Statistical Review of World Energy. *BP Energy Outlook 2017*. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>, Son Erişim Tarihi. 25. 06. 2018.
145. Başol, K. (1992). *Doğal kaynaklar ekonomisi, doğal kaynaklar: Enerji ve Çevre Sorunları*. İzmir: Akliselim Ofset Tesisleri, 116, 200.
146. TMMOB (2006). *Enerji raporu*. Ankara: Yağmur Ofset, 152.
147. Başergil, B. (2009). *Petrol, petrol kimyası*. Bornova, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi, 133–134.
148. İnternet: TKİ-Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu. *Enerji ve Kömür*. URL: <http://www.tki.gov.tr/bilgi/komur/enerji-ve-komur/232>, Son Erişim Tarihi: 11.06.2019.
149. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. *Kömür*. URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur>, Son Erişim Tarihi: 12.06.2019.
150. Ersoy, M. (2004). *Genel enerji kaynakları katı fosil yakıtlar*. Ankara: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayınları.
151. U.S. Department of Energy (2008). History of nuclear energy, office of nuclear energy. *Science and Technology*, DOE/NN 0088, Washington D.C. 20585.: 5–21.
152. ATO. (2005). *Nükleer enerji raporu*, Ankara Ticaret Odası Yayınları, Ankara. Web: <http://www.atonet.org.tr/turkce/bulten/bulten.php3?sira=365> adresinden Mayıs 2019’da alınmıştır.
153. Ataman A.R. (2007). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara. 97.
154. Ege, A. Y. (2004). *Avrupa Birliği’nin enerji politikası ve Türkiye’nin uyumu, AB’nin enerji politikası ve Türkiye*. Ankara: UPAV Yayınları.
155. İnternet: Nuclear Power. *Secondary Energy Sources-Energy Carriers*. URL: www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/thermodynamics/what-is-energy-physics/secondary-energy-sources-energy-carriers/, Son Erişim Tarihi: 17.09.2019.
156. İnternet: Elektrik Sepeti. *Elektrik Enerjisi Nedir? Nasıl Üretilir?*. URL: <http://elektriksepeti.com/tuketici-sozlugu/elektrik-enerjisi-nedir-nasil-uretilir>, Son Erişim Tarihi: 01.02.2019.
157. Tamzok, N. (2007). *Kamu Politikası Analizi; Elektrik Enerjisi Sektörü*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara. 62-63.
158. Yaman, Y. (2007). *Enerji tasarrufu ve yenilenebilir enerji kaynakları*. İstanbul: Birsan Yayınevi, 253.
159. Hoffmann, P. (2001). *Tomorrow’s energy hydrogen, fuel cells and the prospects for a cleaner planet*, The M.I.T. Press Cambridge, MA 02142 USA.

160. İnternet: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. *Geleceğin Yenilebilir Enerjisinin Depolayıcısı: Bor*. URL: <http://www.etimaden.gov.tr/enerji>, Son Erişim Tarihi: 06.06.2019.
161. Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi. (2010). *Türkiye enerji ve enerji verimliliği çalışmaları raporu: yeşil ekonomiye geçiş*. Ankara: TEVEM, 2-54.
162. Taşkın, E. ve Yılmaz, M. (2018, 3-6 Ekim). *Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın yeri ve enerji ekonomisi açısından önemi*. International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM’da sunuldu, Ankara.
163. İnternet: IEA. (2016). Energy Policies of IEA Countries. *Turkey 2016 review*. URL: www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesTurkey.pdf, Son Erişim Tarihi:20.01.2018.
164. Güvenek, B. ve Alptekin, V. (2010). Enerji tüketimi ve büyüme ilişkisi: OECD ülkelerine ilişkin bir panel veri analizi, *Enerji, Piyasa ve Düzenleme*, 1 (2), 172-193.
165. Yılmaz, V. (2010). *Enerji Talebi ve Tokat’ta Elektrik Enerjisi Talebi Üzerine Bir Uygulama*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat.
166. Mucuk, M. ve Uysal, D. (2009). Türkiye ekonomisinde enerji tüketimi ve ekonomik büyüme. *Maliye Dergisi*, 157, 105-115.
167. Çermikli, A. H. ve Öztürkler H. (2010). Dünya enerji tüketimi: 1980–2005 döneminde enerji tüketimindeki değişim. *Ekonomik Yaklaşım*, 21 (74), 1-22.
168. Saatçioğlu, C. ve Küçükaksoy, İ. (2004). Türkiye ekonomisinin enerji yoğunluğu ve önemli enerji taşıma projelerinin ekonomiye etkisi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11, 19-39.
169. Tugal, N. (2014). *Enerji Talebi ve Enerji Talebini Belirleyen Faktörler: Türkiye Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Afyonkarahisar.
170. Ulusoy, A. ve Vural, T. (2001). Kentleşmenin sosyo ekonomik etkileri. *Belediye Dergisi*, 7 (12), 8-14, 10.
171. Dumrul, Y. (2011). *Enerji Tüketimi Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Teori ve Türkiye Uygulaması*, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 12.
172. DEK-TMK. (2010). *Enerji raporu-2010*. Türkiye 10. Enerji Kongresi Yayını.
173. Bilginoğlu, M. A. ve Dumrul C. (2012). Türk ekonomisinin enerji bağımlılığı üzerine bir eş-bütünleşme analizi. *Journal of Yasar University*, 26 (7), 4392-4414.
174. Erdal, L. ve Karakaya, E. (2012). Enerji arz güvenliğini etkileyen ekonomik, siyasi ve coğrafi faktörler. *Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi*, 31 (1), 107-136.

175. Yalkı İ. (2013). Türkiye'nin enerji politikasında enerji verimliliğinin yeri ve önemi. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli University Journal of Social Sciences*, 3 (1), 202-214.
176. Posch, D. (2009). Eine veröffentlichung im rahmen der schriftenreihe der aktionslinie hessen-unwelttech des hessischen menisteriums für wirtschaft, praxisleitfaden energieeffizienz in der produktion. *Verkehr und Landesentwicklung*, 1.
177. Kavak, K. (2005). *Dünyada ve Türkiye'de enerji verimliliği ve Türk sanayiinde enerji verimliliğinin incelenmesi*. Devlet Planlama Teşkilatı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, DPT: 2689.
178. İnternet: Enerji Verimliliği. URL: <https://docplayer.biz.tr/docs-images/66/55272433/images/17-0.jpg>, Son Erişim Tarihi: 01.06.2019.
179. International Energy Agency (IEA). (2014), *capturing the multiple benefits of energy efficiency. Exucutive summary*, International Energy Agency (IEA).
180. Taşın, G. (2011). *Karayolu Taşıtlarında Enerji Verimliliği ve Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
181. Aydemir, H. ve Çubuk, M. K. (2016). Karayollarının Türkiye'de genel durumunun araştırılması ile yaşanan değişimler ve gelecek stratejilerine dair tavsiyeler. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 2 (3), 129-146.
182. İnternet: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu EPDK. *Yıllık Resmi İstatistikler*. URL: www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-167/resmi-istatistikler, Son Erişim Tarihi: 07.06.2019.
183. Aydemir, H. ve Çubuk, M. K. (2018). Türkiye'nin küresel rekabet gücü açısından Türkiye demiryollarının değerlendirilmesi ve Türkiye'nin demiryollarında rekabet etkisini artırmaya yönelik öneriler, *Demiryolu Mühendisliği Dergisi*, 2018, 18 (2): 18-29.
184. Soruşbay, C., Ergeneman, M., Pekin, M.A., Kutlar, A. ve Arslan, H. (2008, Ekim). *Karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonları: Türkiye'deki durumun değerlendirilmesi*. Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumunda sunuldu, Hatay, 699-707.
185. Soruşbay, C. (2005). *Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazları: çevre ile uyumlu ulaştırma alternatifleri, iklim değişikliğinin Türkiye'ye ve sanayiye etkileri toplantısı*. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
186. İnternet: Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı. Motorlu Kara Taşıtları. *Tablo -6: Trafığe Kayıtlı Otomobillerin Yakıt Cinsine Göre Dağılımı*. Haber Bülteni 02/02/2018, Sayı: 2764. URL: <http://www.tuik.gov.tr/prehaberbultenleri.do?id=27640>, Son Erişim Tarihi: 01.04.2019
187. İnternet: Türkiye Doğalgaz Dağıtıcıları B. D. (2017). *Karbon Emisyonu*. URL: <http://www.gazbir.org.tr/uploads/page/Karbon%20Emisyonu-Rev-Son.pdf>, Son Erişim Tarihi: 01.03.2019.

188. İder, S. K. (2003). Hidrojen enerji sistemi. *TMMOB Metalürji Mühendisler Odası Metalürji Dergisi* 134, 1-8.
189. Yıldız, A. (2009). *Alternatif Yakıt-Enerji Kaynaklarının Ulaştırma Sistemindeki Yeri, Gelecekteki Durum*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
190. Kılınç, E., Mordogan, H. ve Tanrıverdi, M. (2001, 18-19 Ekim). *Bor minarelerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve ekonomisi*. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumunda sunuldu, İzmir.
191. Ölçüm, T. (2006). *Biyodizel Teknolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-2, 15-23, 31-32, 55-64, 68-691-2, 15-23, 31-32, 55-64, 68-69.
192. Sohail, M. Maunder, D. A. C. and Cavill, S. (2005). Effective regulation for sustainable public transport in developing countries. *Transport Policy*, 1–14.
193. Dhakal S. (2003). Implications of transportation policies on energy and environment in Kathmandu Valley, Nepal. *Energy Policy*, 2 (1): 1493-1507.
194. Staff Working Paper, (1982). Energy use in freight transportation. Congressional Budget Office, 1-71.
195. Kiang N. and Schipper L. (1996). Energy Trends in The Japanese Transportation Sector. *Transport Policy*, 3 (1/2): 21-35.
196. Vanek F. M. and Morlok E. K. (2000). Improving the energy efficiency of freight in the United States through commodity-based analysis: justification and implementation. *Transportation Research Part D*, 5, 11-29.
197. Witten I. H., Frank E., and Hall M. A. (2011). *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques*. (Third Edition). USA: Morgan Kaufmann, ISBN: 978-0-12-374856-0.
198. Wilmott C. J. and Matura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root, mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30 (1), 79-82.
199. Çabuk, S. Ö. (2010). *Türkiye Demiryolları Sektörü ve A.B.' Ye Katılım Sürecinde Yeniden Yapılanma Çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 7, 9.
200. Aydemir, H. ve Çubuk, M. K. (2019). Demiryolu ulaştırma türünün Türkiye analizi; dünyadaki durumu, sorunlar ve beklentiler. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (1), 260-273.
201. İnternet: T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı RYKGM. Ekonomik Analiz ve Değerlendirme Dairesi Ankara Yayın No: 936. *Küresel Rekabetçilik Raporu 2016-2017*. URL: http://risk.gtb.gov.tr/data/52c58a61487c8eca94a7c696/Kuresel%20Rekabetçilik%20Raporu%202016-2017%2025_05_2017.pdf, Son Erişim Tarihi: 02.11.2018.

202. İnternet: T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı RYKGM. Ekonomik Analiz ve Değerlendirme Dairesi Yayın No: 389. *Küresel Rekabet Edebilirlik Raporu 2013-2014*. URL: <http://risk.gtb.gov.tr/data/52c58a61487c8eca94a7c696/K%C3%BCresel%20Rekabet%20Edebilirlik%20Raporu%202013-2014.pdf>, Son Erişim Tarihi: 02.11.2018.
203. İnternet: T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı RYKGM. Ekonomik Analiz ve Değerlendirme Dairesi. *Küresel Rekabetçilik Raporu 2014-2015*. URL: <http://risk.gtb.gov.tr/data/52c58a61487c8eca94a7c696/K%C3%BCresel%20Rekabet%20A7ilik%20Endeksi%20Raporu%202014-2015.pdf>, Son Erişim Tarihi: 02.11.2018.
204. TÜSİAD-Sabancı Üniversitesi Rekabet Forumu (REF) ve Sektörel Dernekler Federasyonu. (2010). *Türkiye'nin küresel rekabet düzeyi dünya ekonomik forumu küresel rekabet raporuna göre bir değerlendirme*. İstanbul, Türkiye, 2010, sf. 12.
205. İnternet: World Economic Forum. Competitiveness Rankings, *Quality of Railroad Infrastructure*. URL: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-index-2017-2018/competitiveness-rankings/#series=EOSQrailroad>, Son Erişim Tarihi: 04.10.2018
206. İnternet: T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı RYKGM- Ekonomik Analiz ve Değerlendirme Dairesi. Yayın No: 936. *Küresel Rekabetçilik Raporu 2016-2017*. URL: http://risk.gtb.gov.tr/data/52c58a61487c8eca94a7c696/Kuresel%20Rekabet%20Raporu%202016-2017%2025_05_2017.pdf, Son Erişim Tarihi: 17.05.2019.
207. İnternet: Competitiveness Rankings, *Quality of Railroad Infrastructure*. *World Economic Forum*. URL: reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2014-2015/rankings/, Son Erişim Tarihi: 08.05.2017.
208. İnternet: Rail lines (total route-km). *The World Bank*. URL: <http://data.worldbank.org/indicator/IS.RRS.TOTL.KM/countries?display=default>, Son Erişim Tarihi: 25.05.2019.
209. İnternet: Ekonomi Bakanlığı. *Dış Ticaret ve Başlıca Ekonomik Göstergeler*. URL: www.ekonomi.gov.tr/İstatistik ve Yayınlar, Son Erişim tarihi: 15.03.2019.
210. İnternet: ETKB Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı. *Yayınlar*. URL: <https://www.enerji.gov.tr/>, Son Erişim Tarihi: 01.07.2019.
211. İnternet: EİGM Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. *İstatistik Raporları*. URL: <https://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Istatistik-Raporlari>, Son Erişim Tarihi: 05.07.2019.
212. İnternet: Türkiye'de Havayolu Yük Taşımacılığı. URL: <https://www.sektorix.com/istatistikler/turkiyede-havayolu-yuk-tasimaciligi/>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2019.
213. Akkurt, A. (2005). *Yapay Sinir Ağları ve Türkiye Elektrik Tüketimi Tahmin Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
214. İnternet: Total Population. *EEA*. URL: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/total-population-outlook-from-unstat-3/assessment-1>, Son Erişim Tarihi: 05.05.2019.

215. İnternet: 2050'de Dünya Raporu. *2050'de Dünya Küresel ekonomik düzen nasıl değişecek?*. URL: <https://www.pwc.com.tr/tr/yayinlar/arastirmalar/2050-dunya.html>, Son Erişim Tarihi: 27.12.2019.
216. İnternet: 2050 Dünya Raporu. *World in 2050*. URL: [https://www.pwc.com.tr/tr/publications/arastirmalar/assets/world-in-2050/2050-de du-nya-raporu.pdf](https://www.pwc.com.tr/tr/publications/arastirmalar/assets/world-in-2050/2050-de-du-nya-raporu.pdf), Son Erişim Tarihi: 28.12.2019.
217. İnternet: TAHMİN formülü. URL: <https://support.office.com/client/results?HelpID=xlmain11.chm60357&lcid=1055&syslcid=1055&uilcid=1055&ShowNav=true&VERSION=16&NS=EXCEL&app=webview&context=%7BAppVersionMajor%3A16%2CAppVersionMinor%3A0%2CAppVersionBuild%3A12228%2CAppVersionUpdate%3A20364%7D>, Son Erişim Tarihi: 28.12.2019.
218. Sağiroğlu, Ş. Beşdok, E. ve Erler, M. (2003). *Mühendislikte Yapay Zekâ Uygulamaları I Yapay Sinir Ağları*. Kayseri: Ufuk Kitabevi Ltd. Şti.
219. Kuryati, K., Mohd, S. M., Masniah, W. M., Nurdiani, Z., Kasumawati, L. and Dayang, A. A. M. (2012). Performance of levenberg-marquardt backpropagation for full reference hybrid image quality metrics. *Proceedings of International Multi Conference of Engineers and Compiter Scientists I*, Hong Kong, 1-4.
220. Refaeilzadeh P., Tang L. ve Liu, H. (2007). On comparison of feature selection algorithms. *In Proc. AAAI-07 Workshop on Evaluation Methods in Machine Learning II. Vancouver, British Columbia, Canada*.
221. Aksu, G. ve Doğan, N. (2010). An analysis program used in data mining: WEKA. *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi*, 10 (1), 80-95. DOI: 10.21031/epod.399832.
222. Jacques, P. (2014). *Sustainability: The Basics*. Routledge ISBN-10: 9780415608480.
223. Gezen, A. F. (2015). *İnşaat Sektöründe Sürdürülebilir Kent Yaşamı ve Karayollarında Uygulama Alanları*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Beykent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
224. Altuntaş, A. (2012). Sürdürülebilir toplumlar ve metropollerin baskılarından kurtulmak için alternatif bir yol: sürdürülebilir kentler. *M.K.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (17), 135-148.
225. İnternet: Avrupa Komisyonu (1992). Ortak Ulaştırma Politikasının Gelecekteki Gelişimi. *Beyaz Kitap*. URL: http://aei.pitt.edu/1116/1/future_transport_policy_wp_COM_92_494.pdf, Son Erişim Tarihi: 08.04.2019.
226. Servantie, D. (2014). Geçmişten geleceğe AB ulaştırma politikası. *İKV*, 101: Kasım.
227. Özmehmet, E. (2010). Dünyada ve Türkiye’de sürdürülebilir kalkınma yaklaşımları. *Journal of Yaşar University*, 3 (12), 1-23.
228. Ruckelshaus, W. (1989). Toward a sustainable world. *Scientific American*, 3 (261), 66-175.

229. İnternet: Gilman, R. (2003). Sustainability By Robert Gilman From The 1992 U1a/A1a Call For Sustainable Community Solutions. URL: www.context.org, Son Erişim Tarihi: 15.12.2015.
230. Litman, T., (2007). Well measured, developing indicators for comprehensive and sustainable transport planning. *Victoria Transport Policy Institute*, Canada.
231. Aksu, C. (2011). Sürdürülebilir kalkınma ve çevre. *Güney Ege Kalkınma Ajansı*, 3,7
232. TDM Encyclopedia, (2007). Sustainable transportation and tdm, planning that balances economic, social and ecological objectives. *Victoria Transport Policy Institute*.
233. İnternet: Avrupa Çevre Ajansı. *Ulaşım*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.eea.europa.eu%2Ftr%2Fthemes%2Ftransport%2Fintro&date=2016-08-10>, Son Erişim Tarihi: 10.08.2016.
234. Gorham, R. (2002). Air pollution from ground transportation: an assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community. *United Nations Division for Sustainable Development Department of Economic and Social Affairs*, 20-24.
235. Devlet Planlama Teşkilatı. (2005). *Uzun vadeli strateji ve sekizinci beş yıllık kalkınma planı 2001-2005*. Ankara: Devlet Planlama Teşkilatı, 188,189.
236. İnternet: Yüksel, N. (2018). *Sürdürülebilir Ulaşım*. URL: <https://prezi.com/icreiarodcsy/surdurulebilirulasim/>, Son Erişim: 31.08.2018.
237. Black, W. R. (2004, July 11-13). *Sustainable transport, definitions and responses*. Integrating sustainability into the transportation planning process, Conference Proceedings 37, TRB, Baltimore, Maryland, 35-43.
238. Organisation for Economic Co-operation and Development. (1996). *Towards Sustainable Transportation*. Vancouver: Government of Canada, 10-30.
239. İnternet: Yeşil Ekonomi Konferansı-3 (Kasım, 2013). *Kentlerde Yeşil Ulaşım*. URL: https://tr.boell.org/sites/default/files/yesil_ulasim_kitap.pdf, Son Erişim Tarihi: 04.04.2019.
240. Haldenbilen, S. (2003) *Genetik Algoritma Yaklaşımı ile Türkiye İçin Sürdürülebilir Ulaştırma Göstergelerinin Analizi ve Planlaması*, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
241. Benk, S. (2007). *Kent içi Ulaşım Sonucu Oluşan Negatif Dışsalılıklar ve Önleme Yolları*, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
242. Türkel, M. A. (2010). *Ulaştırma Sektöründe Dışsal Maliyetler ve Türkiye’de Trafik Kazalarının Ekonomik Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 53-54.
243. Candan, S. (2009). *Kara Ulaşımı Fayda ve Maliyetlerinin Ölçülmesinin Yöntemleri ve Uygulamalara Etkileri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 99-100.

244. Yıldıztekin, H. (2016), *Kentiçi Sürdürülebilir Ulaşım Modelleri İçerisinde Raylı Sistemler ve Ankara Banliyösü Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
245. Gerçek, H. (2001). Otoyolların mali ve ekonomik değerlendirilmesi. *Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s. 89-100.
246. Çevik, S., Kartal, M. ve Kılınç, E. F. (2017). Sanayi sektöründe petrol tüketimi ve petrol fiyatlarının CO₂ emisyonu üzerindeki etkisi, *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19 (4), 93-110.
247. DEK-TMK (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi). (2012). *Enerji raporu-2012*, Ankara: DEK-TMK Yayın No: 0021/2012, 216.
248. Çoban, O. ve Kılınç N. (2015). Yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonu ilişkisi: TR örneği. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 38 (1), 195-208.
249. İnternet: Finn Roar, A., Gang, L., Einar, R.K. and Lund, S.E. (2009). *Subsidising carbon capture: effects on energy prices and market shares in the power market*. www.ssb.no/a/publikasjoner/pdf/DP/dp595.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.01.2016, 76-77
250. BP. (2018). *BP Statistical review of World Energy, 67th edition, Carbon dioxide emission*.
251. Kıck, C. (2011). How is 100% renewable energy possible for Turkey by 2020. *Global Energy Network Institute (GENI)*, 12.
252. Erden Özsoy, C. (2015). Düşük karbon ekonomisi ve Türkiye'nin karbon ayak izi. *Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, ISSN: 2147-3668, 4 (9) :(2015/2), 198-215.
253. Öztürk, H. (2012). *Trafik Talep Yönetimi ve Gürsu İlçesinde Sürdürülebilir Ulaşım Planlaması*, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.
254. Musa, M. ve Öçalır E. V. (2008). Türkiye'deki kent içi ulaşım planlaması çalışmalarının değerlendirilmesi. *METU Journal of the Faculty of Architecture*, 25(2), 71-97.
255. İnternet: Sustainable Urban Transportation. URL: <https://www.ess.co.at/SUTRA/>, Son Erişim Tarihi:02.06.2019
256. İnternet: Sustainable Urban Transport Project (SUTP) URL: <http://www.sutp.org>, Son Erişim Tarihi:02.06.2019
257. Ayataç, H. (2016). Kentsel ulaşım planlaması ve İstanbul. *İTÜ Vakfı Dergisi, Ulaşım & Ulaştırma: Dosya- I*, 71, 34, https://www.ituvakif.org.tr/dergi/sayi_71.pdf
258. Ayataç, H. (2015). Yaşanabilir Şehirlerde Kentsel Ulaşımın Planlanması. *MMG Dergisi*, 82.
259. Evren, G. ve Ögüt, K.S. (2006, Aralık). *Türkiye demiryolları için gelişme stratejileri*. Uluslararası Demiryolu Sempozyumunda sunuldu, İstanbul.

260. Sayar, E. (2013). *Ulaştırma Yatırımları Değerlendirmesinin Sürdürülebilirlik Bağlamında İncelenmesi: Görüş ve Öneriler*, Yüksek Lisans Tezi, T. C. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul.
261. Haldenbilen, S., Baykan, N. ve Murat, Y. Ş. (2001, 30-31 Mayıs- 1 Haziran). *Sürdürülebilir gelişme ve ulaşım politikaları*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Ulaşım Kongresinde sunuldu, İstanbul, 113-120.
262. Akinyemi, E. and Zuidgest, M. (2000). Sustainable development&transportation: past experiences and future challenges. *World Transport Policy&Practice*, 6 (1), 31-39.
263. Kaynak, C. (1995). *Japonya'da kentsel ulaşım politikaları ve yerel hükümetin rolü*. Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresinde sunulmuştur, Ankara.
264. Cirit, F. (2014). *Sürdürülebilir kent içi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması*. Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı Yayınları, 65, 68, 70, 71, 79.
265. Kaplan H. ve Güzelküçük B. (2004, 05-07 Mayıs). *Trafik yönetim anlayışındaki değişim ve trafik durultma tasarımına gelişmiş ülke örnekleme*. II, Trafik ve Yol Güvenliği Ulusal Kongresinde sunuldu, Ankara, 582-601.
266. Puche, J., Park, H., Kim, M.H. and Song, J. (2005). Public transport reforms in seol: innovations movited by funding crisis. *Journal of Public Transportation*, 8 (5), 41-62.
267. Yoon S. W. (2003). Introduction of Traffic Congestion Pricing in Seoul, Korea. Asia Pacific Environmental Innovations Strategy Project (APEIS), *Research on Innovative and Strategic Policy Options (RISPO), Final Report*, 3 March 2005, 480-484, IGES, Japan.
268. İnternet: Amsterdam Marketing (Iamsterdam). *Cycling in Amsterdam*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.iamsterdam.com%2Fen%2Fbusiness%2Fmeetings%2Fwhy-amsterdam%2Ffacts-and-figures&date=2016-08-06>, Son Erişim Tarihi: 06.08.2016.
269. Stockholms Stad, (2006). Facts and Results from the Stockholm; Stockholms Stad 060815, Stockholms, 3, 4.
270. United Nations, (2010). A Guide for sustainable urban development in the 21st century, Shanghai: United Nations, 29-31.
271. Organisation for Economic Co-operation and Development, (2010), Implementing Congestion Charges; OECD 147, Paris, 58.
272. IEA. (2010). *International energy agency*. CO₂ Emissions from Fuel Combustion, Paris, 513.
273. Bıyık, Y. ve Civelekoğlu, G. (2018). Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2 (2), 157-166.

274. Çalışkan Doğan, Z., Kurt, Ü. ve Timur, M. C. (2017, 25-26 Mart). *İklim değişikliği ve ulaşım sektörü ilişkisinin ekonometrik analizi: Türkiye örneği*. International Congress of Energy, Economy and Policy’de sunuldu, İstanbul.
275. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and International Transport Forum Working Group (ITF). (2008). *Greenhouse gas reduction strategies in the transport sector: preliminary report*. Paris, OECD, 81.
276. Başer, F. ve Apaydın, A. (2015). Sınıflandırma Amaçlı Destek Vektör makinelerinin Lojistik Regresyon ile Karşılaştırması. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, 3 (2), 53-65.

EKLER

EK-1. Türkiye denizyolları yük ve yolcu taşımacılığı eksik verilerin düzenlenmesi

Bu tez kapsamında çalışılan yıllar içerisinde olan 1988-2018 yılları arasında, denizyolları ulaştırma türünün taşımacılık değerlerinde özellikle 2005 yılı öncesi değerlerinde düzensizlikler, eksiklikler ya da hatalı olan kısımlar olduğu görülmektedir. Bu itibarla; elde edilen kaynaklardaki değerler aşağıda çizelge haline getirilmiştir. Çizelge haline getirilen verilerde bulunan yıllar kullanılmış, iki kaynakta aynı yıl için farklı değerler elde ediliyorsa ortalaması alınmaktadır. Bulunamayan yıllardaki değerler ise bulunan ilk ve son yıllar arasında enterpolasyon yapılarak tamamlanmıştır. Enterpolasyonda yıllık ortalama artış veya azalış durumu dikkate alınarak lineer olarak arttığı, böylece geçmiş yıllardan ortalama artış miktarının üstüne katlanarak eksik olan yıla kadar ekleme yapılmıştır. Denizyolları ulaştırma türünün yük taşımacılığı değerleri Çizelge 1.1’de, denizyolları ulaştırma türünün yolcu taşımacılığı değerleri ise Çizelge 1.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 1.1. Denizyolları ulaştırma türünün yük taşımacılığı değerleri [4, 7, 10, 11]

Yıllar	Verinin Değeri (Mevcut veriler)				Kaynaklardan Elde Edilen	Enterpolasyon veys Ortalaması Alınan Değerler	Tezde Kullanılan Veriler
	2001-2005 TCDD YILLIK	2013-2017 TCDD YILLIK	KGM 2012	KGM 2018			
	milyon ton-km						
1988	9 454				9 454		9 454
1989	7 152				7 152		7 152
1990	7 234				7 234		7 234
1991	2 780				Yıllık Ortalama Değişim	7 341	7 341
1992	1 756					7 449	7 449
1993	901					7 556	7 556
1994	587					7 663	7 663
1995	276					7 771	7 771
1996	-					7 878	7 878
1997	-					7 985	7 985
1998	-					8 093	8 093
1999	8 200				8 200		8 200
2000	7 900		9 895		7 900		7 900
2001	8 100		15 001	15 001	8 100		8 100
2002	5 738	10 627	10 627	10 627	Yıllık Ortalama Değişim	7 826	7 826
2003	5 400	10 001	10 001	10 001		7 551	7 551
2004	-	7 277	7 277	7 277	7 277		7 277
2005		6 439	6 439	6 439	6 439		6 439
2006		7 084	7 084	7 084	7 084		7 084
2007		9 573	9 573	9 573	9 573		9 573
2008		11 114	11 114	11 114	11 114		11 114
2009		11 397	11 397	11 397	11 397		11 397
2010		12 570	12 570	12 570	12 570		12 570
2011		15 959	15 959	15 959	15 959		15 959
2012		16 223	15 768	16 223	16 223		16 223
2013		17 312		17 312	17 312		17 312
2014		15 572		15 572	15 572		15 572
2015		17 204		17 204	17 204		17 204
2016		17 279		15 829	Değerler/2	16 554	16 554
2017		18 946		16 463	Değerler/2	17 705	17 705
2018				17 801	17 801		17 801

EK-1. (devam) Türkiye denizyolları yük ve yolcu taşımacılığı eksik verilerin düzenlenmesi

Çizelge 1.2. Denizyolları ulaştırma türü yolcu taşımacılığı değerleri [4, 7, 10, 11]

Yıllar	Verinin Değeri (Mevcut veriler)				Kaynaklardan	Enterpolasyon veya Ortalaması Alınan Değerler	Tezde Kullanılan Veriler
	2001-2005 TCDD YILLIK	2013-2017 TCDD YILLIK	KGM 2012	KGM 2018	Elde Edilen		
	milyon yolcu-km						
1988	186				186		186
1989	171				171		171
1990	127				Yıllık Ortalama Değişim	236	236
1991	92					302	302
1992	58					367	367
1993	53					432	432
1994	47					497	497
1995	61					563	563
1996	58					628	628
1997	49					693	693
1998	54					758	758
1999	24					824	824
2000	30		5 833			889	889
2001	31		57	57		954	954
2002	21	39	39	39		1 019	1 019
2003	22	41	41	41		1 085	1 085
2004	-	1 150	1 150	1 150	1 150		1 150
2005		1 240	1 241	1 241	1 240		1 240
2006		1 395	1 393	1 393	1 395		1 395
2007		1 561	1 561	1 561	1 561		1 561
2008		1 570	1 570	1 570	1 570		1 570
2009		1 643	1 570	1 643	1 643		1 643
2010		1 570	1 417	1 570	1 570		1 570
2011		1 570		1 570	1 570		1 570
2012		1 459		1 417	1 459		1 459
2013		1 667		1 667	1 667		1 667
2014		1 806		1 806	1 806		1 806
2015		1 836		1 836	1 836		1 836
2016		1 112		2 059	2 059		2 059
2017		2 109		1 833	Değerler/2		1 971
2018				2 101	2 101		2 101

EK-2. Havayolları yolcu taşımacılığı eksik verilerin düzenlenmesi

Havayolu ulaştırma sistemi 2006 ve 2007 yılı yolcu-km bilgisi eksik olduğundan; 2005 ve 2008 yıllarındaki yolcu-km değerlerinden yararlanılarak, 2006 ve 2007 yılındaki değerler bulunmuş olup, bu 4 yıl için lineer değişim yaptığı kabul edilerek tahmin edilmiştir.

Çizelge 2.1. Tezde kullanılan havayolları yolcu taşımacılığı değerleri [4, 7, 10, 11]

Yıllar	2001-2005 TCDD YILLIK	2013-2017 TCDD YILLIK	KGM 2012	KGM 2018	Kaynaklardan Elde Edilen Değerler	Enterpolasyon veya Ortalaması Alınan Değerler	Tezde Kullanılan Veriler
	milyon yolcu-km						
1988	991				991		991
1989	1 079				1 079		1 079
1990	1 208		1 208		1 208		1 208
1991	845				845		845
1992	1 138				1 138		1 138
1993	1 721				1 721		1 721
1994	2 268				2 268		2 268
1995	2 666				2 666		2 666
1996	2 754				2 754		2 754
1997	3 007				3 007		3 007
1998	3 243				3 243		3 243
1999	3 349				3 349		3 349
2000	3 555		3 555		3 555		3 555
2001	2 859		2 859	2 859	2 859		2 859
2002	2 706	2 706	2 706	2 706	2 706		2 706
2003	2 752	2 752	2 750	2 750	2 752		2 752
2004	3 223	3 223	3 223	3 223	3 223		3 223
2005		3 992	3 992	3 992	3 992		3 992
2006					Yıllık Ortalama Değişim	5 431	5 431
2007						6 870	6 870
2008			8 309		8 309		8 309
2009			12 771		12 771		12 771
2010			15 159		15 159		15 159
2011			18 016	18 016	18 016		18 016
2012		19 731	19 731	19 731	19 731		19 731
2013		23 357		23 357	23 357		23 357
2014		26 204		26 204	26 204		26 204
2015		29 790		29 790	29 790		29 790
2016		31 730		31 730	31 730		31 730
2017		34 018		34 018	34 018		34 018
2018				34 996	34 996		34 996

EK-3. Ulaştırma türlerinde yük ve yolcu taşımacılığının enerji tüketim oranlarının belirlenmesi

Enerji Tabi Kaynaklar Bakanlığı ve Türkiye İstatistik Kurumundan alınan verilere göre, Türkiye ulaştırma sektöründe tüketilen enerji miktarı, karayolları, demiryolları, denizyolları ve havayolları olarak 4 farklı türde bulunmakta olup, ancak türlerde tüketilen enerji miktarlarını yük ve yolcu taşımacılığı olarak ayrılmadığı gözlenmektedir. Bu sorunun çözümü için her bir tür için, bir ton-km için gerekli enerji miktarı ile her bir yolcu-km için gerekli enerji miktarının kaç katı olabileceği üzerine kabuller yapılmaktadır. Bu amaçlar için yapılan kabullere yönelik çıkarımlar aşağıda bulunmaktadır.

Davis ve arkadaşları ulaştırma türlerine göre enerji tüketim değerlerini aşağıdaki şekilde belirtmiştir [23].

Çizelge 3.1. Davis ve arkadaşları türlere göre enerji tüketim değerleri [23, 24]

Ulaşım Türü	Yolcu Başına Enerji Tüketim Değeri (kJ/yolcu-km)
Arabalar	2 319
Hava Taşımacılığı	1 853
Demiryolu Taşımacılığı	1 596
Ulaşım Modu	Yük Başına Enerji Tüketim Değeri (kJ/ton-km)
Hava Taşımacılığı	6 900
Kamyonlar	2 426
Demiryolu Taşımacılığı	2 009
Denizyolu Taşımacılığı	160

Yılmaz [25]; DDY'den aldığı ve çalışmasında göstermiş olduğu ulaşım tiplerine göre enerji tüketim değerleri aşağıdaki gibidir

Çizelge 3.2. Yılmaz'ın DDY'den aldığı ve çalışmasında gösterdiği ulaştırma tiplerine göre enerji tüketim oranları [25]

Ulaşım Türü	Yolcu Taşımacılığı (kJ/yolcu-km)	Yük Taşımacılığı (kJ/ton-km)	Yolcu Taşımacılığı (kJ/yolcu-km) Oranlar	Yük Taşımacılığı (kJ/ton-km) Oranlar
Otomobil	705	2 132	1	3,0
Otobüs	149	591	1	4,0
Kamyon	-	1 139	Otomobil Değeri	1,6
Demiryolu	104	151	1	1,5
Havayolu	564	-		
Denizyolu	20	104	1	5,2

Solak'ın çalışmasındaki bulunan ve kullanılan değerler [26]; (yük ve yolcu taşımacılığında tüketilen enerji için yapılan bulunan değerler ve kabuller) aşağıdaki Çizelge 'de gösterilmektedir.

EK-3. (devam) Ulaştırma türlerinde yük ve yolcu taşımacılığının enerji tüketim oranlarının belirlenmesi

Çizelge 3.3. Solak'ın çalışması yük ve yolcu taşımacılığı enerji tüketim oranları [26]

Ulaştırma Türü	Oranlar
Karayolu Yolcu Taşımacılığı	1,00
Karayolu Yük Taşımacılığı	1,32
Demiryolu Yolcu Taşımacılığı	1,00
Demiryolu Yük Taşımacılığı	1,15

Türkiye için yapılan çalışmaya göre yük ve yolcu taşımacılığında tüketilen enerji için yapılan Cansız'ın etmiş olduğu kabuller de Çizelge 3.4'de yer almaktadır [27].

Çizelge 3.4. Cansız'ın yük ve yolcu taşımacılığında tüketilen enerji için yaptığı kabuller [27]

Karayolları		Demiryolları		Denizyolları		Havayolları	
Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu
1,50	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	7,00	1,00

Ayrıca Patterson çalışmasında aşağıdaki bilgileri vermiştir [28].

Çizelge 3.5. Patterson'un çalışmasında verilen enerji tüketimi değerleri [28]

Ulaştırma Türü	Yolcu başına enerji tüketim değeri (kj/yolcu-km)	Yük başına enerji tüketim değeri (kj/ton-km)	Ulaştırma Türü
Otomobil	567	921	Kamyonlar
Karayolu Oranlar	1,0	1,62	
Demiryolu Taşımacılığı	48	61	Demiryolu Taşımacılığı
Demiryolu Oranlar	1,00	1,27	

Tüm bu açıklamalar ve kaynaklar sonucunda genel bir değerlendirme yapılarak; yük ve yolcu taşımacılığı için aşağıda Çizelge 3.6'da gösterilen kabuller yapılmıştır.

Çizelge 3.6. Tez kapsamında daha önce yapılan çalışmalar değerlendirilmesi neticesinde yük ve yolcu için enerji tüketim ayırma oranları kabul değerleri

Karayolları		Demiryolları		Denizyolları		Havayolları	
Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu	Yük	Yolcu
1,50	1,00	1,35	1,00	2,00	1,00	7,00	1,00

Buna göre; enerji tüketim oranları her ulaştırma türünde yük ve yolcu enerji tüketimi değerlerini bulmak için sırası ile; karayolları için 1,50 ile 1,00; demiryolları için 1,35 ile 1,00; denizyollarında 2,00 ile 1,00 ve havayollarında 7,00 ile 1,00 kabul edilerek işlemler yapılmıştır.

EK-4. Yaklaşımlar sonucu elde edilen GSYH değerleri

Çizelge 4.1. GSYH yaklaşımları tahmin ve gerçek değerleri (\$) [19, 20]

Yıllar	Dünya Bankası ve PwC Tahmin Senaryosu	Excel Tahmin Formülü Eğilimi	WEKA SMOreg	WEKA Gaussian	GSYH Gerçek Değerler
1999	255 884	255 884	255 884	255 884	255 884
2000	272 979	272 979	272 979	272 979	272 979
2001	200 252	200 252	200 252	200 252	200 252
2002	238 428	238 428	238 428	238 428	238 428
2003	311 823	311 823	311 823	311 823	311 823
2004	404 787	404 787	404 787	404 787	404 787
2005	501 416	501 416	501 416	501 416	501 416
2006	552 487	552 487	552 487	552 487	552 487
2007	675 770	675 770	675 770	675 770	675 770
2008	764 336	764 336	764 336	764 336	764 336
2009	644 640	644 640	644 640	644 640	644 640
2010	771 902	771 902	771 902	771 902	771 902
2011	832 524	832 524	832 524	832 524	832 524
2012	873 982	873 982	873 982	873 982	873 982
2013	950 579	950 579	950 579	950 579	950 579
2014	934 186	934 186	934 186	934 186	934 186
2015	859 797	859 797	859 797	859 797	859 797
2016	863 722	863 722	863 722	863 722	863 722
2017	852 677	852 677	852 677	852 677	852 677
2018	771 350	771 350	771 350	771 350	771 350
2019	763 637	994 217	883 663	748 051	
2020	786 546	1 029 329	936 483	774 698	
2021	818 008	1 069 910	1 023 307	791 665	
2022	861 362	1 115 569	1 100 817	831 908	
2023	907 014	1 165 497	1 165 940	889 604	
2024	955 086	1 218 509	1 204 529	923 700	
2025	1 005 706	1 273 128	1 232 985	940 458	
2026	1 059 008	1 327 674	1 248 195	950 652	
2027	1 115 136	1 380 388	1 261 725	945 940	
2028	1 174 238	1 429 575	1 278 189	935 819	
2029	1 236 472	1 473 768	1 301 978	934 262	
2030	1 302 005	1 511 922	1 333 205	940 611	
2031	1 364 502	1 543 624	1 371 125	954 355	
2032	1 429 998	1 569 327	1 412 661	976 688	
2033	1 498 638	1 590 616	1 455 054	1 001 867	
2034	1 570 572	1 610 484	1 495 850	1 024 259	
2035	1 645 960	1 633 639	1 533 766	1 042 510	
2036	1 724 966	1 666 837	1 568 537	1 055 573	
2037	1 807 764	1 719 228	1 600 843	1 063 658	
2038	1 894 537	1 802 735	1 631 795	1 069 699	

EK-5. Yaklaşımlar sonucu elde edilen demiryolları yolcu sayısı değerleri

Çizelge 5.1. Gelecek yıllar demiryolları yolcu sayısı ve mevcut veriler (milyon) [12]

Yıllar	Gerçek Değerler (Mevcut Veriler)	Excel Eğilimden Fonksiyon Yaklaşımı	Oluşturulan YSA Tahmini	İki Yaklaşım Ortalaması
1988	135,706			
1989	146,359			
1990	139,089			
1991	133,243			
1992	131,252			
1993	146,318			
1994	119,533			
1995	104,635			
1996	98,315			
1997	107,053			
1998	109,774			
1999	98,931			
2000	85,343			
2001	76,323			
2002	73,088			
2003	76,993			
2004	76,756			
2005	76,306			
2006	77,414			
2007	81,26			
2008	79,187			
2009	80,092			
2010	84,173			
2011	85,752			
2012	70,284			
2013	74,718			
2014	78,404			
2015	95,317			
2016	89,038			
2017	85,338	85,338	85,338	85,338
2018		88,989	77,140	83,065
2019		90,316	77,069	83,693
2020		91,693	77,425	84,559
2021		93,120	77,842	85,481
2022		94,597	78,315	86,456
2023		96,124	78,722	87,423
2024		97,701	79,068	88,385
2025		99,328	79,358	89,343
2026		101,005	79,599	90,302
2027		102,732	79,794	91,263
2028		104,509	79,952	92,230
2029		106,336	80,077	93,206
2030		108,213	80,174	94,194
2031		110,140	80,243	95,192
2032		112,117	80,297	96,207
2033		114,144	80,338	97,241
2034		116,221	80,369	98,295
2035		118,348	80,392	99,370
2036		120,525	80,409	100,467
2037		122,752	80,421	101,586
2038		125,029	80,429	102,729

EK-6. YSA modeli gelecek yıllar demiryolları yük tahminleri ve mevcut veriler

Çizelge 6.1. Gelecek yıllar demiryolları yük miktarları ve mevcut veriler (ton) [12]

Yıllar	Gerçek Değerler (Mevcut Veriler)	Oluşturulan YSA Tahmini
2003	15 941	
2004	17 989	
2005	19 195	
2006	20 185	
2007	21 404	
2008	23 491	
2009	21 813	
2010	24 355	
2011	25 421	
2012	25 666	
2013	26 597	
2014	28 747	
2015	25 878	
2016	25 886	
2017	28 469	
2018	31 673	
2019		29 304
2020		29 975
2021		30 644
2022		31 302
2023		31 921
2024		32 497
2025		33 030
2026		33 523
2027		33 974
2028		34 388
2029		34 763
2030		35 103
2031		35 416
2032		35 697
2033		35 947
2034		36 167
2035		36 358
2036		36 523
2037		36 662
2038		36 775

EK-7. Demiryolları yük miktarı için oluşturulan YSA modeli (çok katmanlı algılayıcı ile sınıflandırmadan elde edilen) çıktı kodları

=== Model information ===

Filename: tasinanantonmodel.model
 Scheme: weka.classifiers.functions.MultilayerPerceptron -L 0.3 -M 0.2 -N 500 -V 0 -S 0 -E 20
 -H 8 -R
 Relation: demiryolları tasinan_tonhesabı
 Attributes: 3
 Nüfus
 GSYH(10^6)
 Yük Miktarı (Ton)

=== Classifier model ===

Linear Node 0
 Inputs Weights
 Threshold 0.2872526615614097
 Node 1 -0.0019689140433588707
 Node 2 -0.116000672087481
 Node 3 0.025993745620798123
 Node 4 -0.8017742174002165
 Node 5 -1.2943787706419438
 Node 6 0.48689807063171237
 Node 7 0.73828945934553
 Node 8 0.7566010472478536

Çizelge 7.1’de yukarıdaki elde edilen çıktı kodlarının devamı gösterilmektedir.

Çizelge 7.1. Demiryolları yük miktarı için oluşturulan YSA modeli çıktı kodları devamı

Çıktı Kodları Devamı 1. Bölüm	Çıktı Kodları Devamı 2. Bölüm
Sigmoid Node 1 Inputs Weights Threshold -1.1808225318952819 Attrib Nüfus 0.2574002251011658 Attrib GSYH(10^6) -0.2564375512847372 Sigmoid Node 2 Inputs Weights Threshold -1.154815130600192 Attrib Nüfus 0.13372894223823492 Attrib GSYH(10^6) -0.31553445172410904 Sigmoid Node 3 Inputs Weights Threshold -1.221146881377956 Attrib Nüfus 0.2798688374923347 Attrib GSYH(10^6) -0.2351767170770335 Sigmoid Node 4 Inputs Weights Threshold -0.9668004540317596 Attrib Nüfus -0.4468737112688216 Attrib GSYH(10^6) -0.8154024095924772	Sigmoid Node 5 Inputs Weights Threshold -0.7316740542977986 Attrib Nüfus -0.8287542402304595 Attrib GSYH(10^6) -1.1113798207222794 Sigmoid Node 6 Inputs Weights Threshold -1.4756303243342013 Attrib Nüfus 0.8217485628580987 Attrib GSYH(10^6) -0.21743138114942914 Sigmoid Node 7 Inputs Weights Threshold -1.626944345195101 Attrib Nüfus 1.086951989088763 Attrib GSYH(10^6) -0.27510264299016013 Sigmoid Node 8 Inputs Weights Threshold -1.6266471104547404 Attrib Nüfus 1.0580753305530934 Attrib GSYH(10^6) -0.0701340201202542 Class Input Node 0

EK-8. YSA-2 modeli (çok katmanlı algılayıcı ile sınıflandırmadan elde edilen) çıktı kodları

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.MultilayerPerceptron -L 0.1 -M 0.2 -N 225 -V 0 -S 0 -E 20
-H 3 -G -R

Relation: demiryolları enerji analizi weka

Instances: 31

Attributes: 5

Nüfus (10^7)

GSYH (10^{11})

Demiryolu yolcu-km (10^6)

Demiryolu ton-km (10^6)

Demiryolları Enerji (PJ)

Test mode: evaluate on training data

=== Classifier model (full training set) ===

Linear Node 0

Inputs Weights

Threshold -0.24338216645248464

Node 1 1.3880434806808535

Node 2 1.1379080409830467

Node 3 -2.1675438865413614

Sigmoid Node 1

Inputs Weights

Threshold 0.2828416170474949

Attrib Nüfus (10^7) 1.0943841205405862

Attrib GSYH (10^{11}) -0.2981237956147443

Attrib Demiryolu yolcu-km (10^6) -0.4764436984771439

Attrib Demiryolu ton-km (10^6) 0.8572165094096648

Sigmoid Node 2

Inputs Weights

Threshold -0.20208603990820984

Attrib Nüfus (10^7) 0.7782317186922945

Attrib GSYH (10^{11}) -0.03490692461316814

Attrib Demiryolu yolcu-km (10^6) -0.21009752008075033

Attrib Demiryolu ton-km (10^6) 0.7396004986177429

Sigmoid Node 3

Inputs Weights

Threshold -0.29721990447290125

Attrib Nüfus (10^7) 1.0690115198539618

Attrib GSYH (10^{11}) 3.734191644073747

Attrib Demiryolu yolcu-km (10^6) 0.00605497490982649

Attrib Demiryolu ton-km (10^6) 2.743340400588391

Class

Input

Node 0

Time taken to build model: 47.72 seconds

EK-8. (devam) YSA-2 modeli (çok katmanlı algılayıcı ile sınıflandırmadan elde edilen) çıktı kodları

=== Predictions on training set ===

inst#	actual	predicted	error
1	9.94	10.109	0.169
2	9.42	10.043	0.623
3	9.96	10.224	0.264
4	10.3	10.374	0.074
5	10.01	10.449	0.439
6	11.01	10.33	-0.68
7	11.17	10.572	-0.598
8	11.56	10.836	-0.724
9	11.74	11.18	-0.56
10	11.96	11.269	-0.691
11	11.41	10.821	-0.589
12	11.22	10.924	-0.296
13	11.3	11.434	0.134
14	10.1	11.054	0.954
15	10.44	11.114	0.674
16	10.89	11.312	0.422
17	10.3	11.461	1.161
18	11.93	11.081	-0.849
19	12.12	10.394	-1.726
20	9.09	8.682	-0.408
21	7.29	7.786	0.496
22	7.15	8.869	1.719
23	7.68	7.749	0.069
24	8.1	7.589	-0.511
25	8.14	7.998	-0.142
26	8.54	8.101	-0.439
27	9.49	8.248	-1.242
28	8.74	8.017	-0.723
29	7.74	8.435	0.695
30	8.65	8.685	0.035
31	9	8.963	-0.037

=== Evaluation on training set ===

Time taken to test model on training data: 0.01 seconds

=== Summary ===

Correlation coefficient	0.8716
Mean absolute error	0.5852
Root mean squared error	0.7242
Relative absolute error	46.624 %
Root relative squared error	49.3263 %
Total Number of Instances	31

=== Re-evaluation on test set ===

EK-8. (devam) YSA-2 modeli (çok katmanlı algılayıcı ile sınıflandırmadan elde edilen) çıktı kodları

User supplied test set

Relation: gelecke ysa 2 weka tahmini

Instances: unknown (yet). Reading incrementally

Attributes: 5

=== Predictions on user test set ===

inst#	actual	predicted	error
1	?	8.955	?
2	?	9.022	?
3	?	9.086	?
4	?	9.146	?
5	?	9.202	?
6	?	9.256	?
7	?	9.302	?
8	?	9.349	?
9	?	9.388	?
10	?	9.426	?
11	?	9.461	?
12	?	9.49	?
13	?	9.52	?
14	?	9.546	?
15	?	9.568	?
16	?	9.589	?
17	?	9.608	?
18	?	9.625	?
19	?	9.639	?
20	?	9.653	?

=== Summary ===

Total Number of Instances	0
Ignored Class Unknown Instances	20

EK-9. Sera gazı modeli (SMOreg öğrenme algoritması ile elde edilen) çıktı kodları

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.functions.SMOreg -C 9.0 -N 0 -I
 "weka.classifiers.functions.supportVector.RegSMOImproved -T 0.001 -V -P 1.0E-12 -L 0.001 -
 W 1" -K "weka.classifiers.functions.supportVector.PolyKernel -E 1.0 -C 250007"

Relation: SeraG1990-2017

Instances: 28

Attributes: 10

Nüfus (10⁶)
 Karayolu yolcu-km
 Demiryolu yolcu-km
 Denizyolu yolcu-km
 Havayollari yolcu-km
 Karayolu ton-km
 Demiryolu ton-km
 Denizyolu ton-km
 Havayollari ton-km
 Sera Gazi Degeri

Test mode: 10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) ===

SMOreg

weights (not support vectors):

+ 0.0018 * (normalized) Nüfus (10⁶)
 - 0.2676 * (normalized) Karayolu yolcu-km
 - 0.1853 * (normalized) Demiryolu yolcu-km
 + 0.1206 * (normalized) Denizyolu yolcu-km
 + 0.787 * (normalized) Havayollari yolcu-km
 + 0.2344 * (normalized) Karayolu ton-km
 + 0.0756 * (normalized) Demiryolu ton-km
 - 0.1292 * (normalized) Denizyolu ton-km
 + 0.0839 * (normalized) Havayollari ton-km
 + 0.1449

Number of kernel evaluations: 406 (99.627% cached)

Time taken to build model: 0.01 seconds

=== Predictions on test data ===

inst#	actual	predicted	error
-------	--------	-----------	-------

EK-9. (devam) Sera gazı modeli (SMOreg öğrenme algoritması ile elde edilen) çıktı kodları

Çizelge 9.1 ve Çizelge 9.2’de yukarıdaki elde edilen çıktı kodlarının devamı gösterilmektedir.

Çizelge 9.1. Sera gazı modeli çıktı kodları devamları

Çıktı Kodları Devamı 1. Bölüm	Çıktı Kodları Devamı 2. Bölüm
=== Classifier model for fold 1 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.2825 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.2924 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1878 * (normalized) Demiryolu yolcu-km - 0.1468 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.9288 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.2538 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0812 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.207 * (normalized) Denizyolu ton-km - 0.0135 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.1514 Number of kernel evaluations: 325 (99.792% cached) 1 26969 26044.714 -924.286 2 52099 42330.425 -9768.575 3 73559 74284.865 725.865 === Classifier model for fold 2 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.0784 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.1687 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1543 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.0939 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.7405 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.1897 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0881 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1243 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.0389 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.1058 Number of kernel evaluations: 325 (99.562% cached) 1 45392 55784.236 10392.236 2 36455 36003.266 -451.734 3 30640 29931.255 -708.745 === Classifier model for fold 3 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.0284 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.2592 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1703 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.1005 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.7622 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.2588 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0745 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1189 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.0693 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.1291 Number of kernel evaluations: 325 (99.715% cached) 1 36465 37880.701 1415.701 2 36234 37980.675 1746.675 3 34113 33108.277 -1004.723	=== Classifier model for fold 4 === SMOreg weights (not support vectors): - 0.0721 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.1894 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.0982 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.129 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.7093 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.3345 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0685 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.0593 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.0443 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.066 Number of kernel evaluations: 325 (99.734% cached) 1 47386 58327.92 10941.92 2 34617 36325.238 1708.238 3 32782 35500.502 2718.502 === Classifier model for fold 5 === SMOreg weights (not support vectors): - 0.0544 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.1035 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1704 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.223 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.697 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.0776 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0533 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1477 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.1294 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.187 Number of kernel evaluations: 325 (99.412% cached) 1 62525 60576.437 -1948.563 2 26366 28027.801 1661.801 3 32143 26336.306 -5806.694 === Classifier model for fold 6 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.2174 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.1923 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1942 * (normalized) Demiryolu yolcu-km - 0.0624 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.5178 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.2044 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0891 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1524 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.257 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.1187 Number of kernel evaluations: 325 (99.634% cached) 1 42041 44127.357 2086.357 2 68865 69160.43 295.43 3 84659 89297.271 4638.271

EK-9. (devam) Sera gazı modeli (SMOreg öğrenme algoritması ile elde edilen) çıktı kodları

Çizelge 9.2. Sera gazı modeli elde edilen çıktı kodları devamları

Çıktı Kodları Devamı 3. Bölüm	Çıktı Kodları Devamı 4. Bölüm																																																																												
=== Classifier model for fold 7 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.1332 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.233 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1884 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.0279 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.7867 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.189 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0737 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1503 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.0659 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.1518 Number of kernel evaluations: 325 (99.329% cached) <table><tr><td>1</td><td>47907</td><td>51838.645</td><td>3931.645</td></tr><tr><td>2</td><td>48166</td><td>47200.068</td><td>-965.932</td></tr><tr><td>3</td><td>81841</td><td>81472.288</td><td>-368.712</td></tr></table>	1	47907	51838.645	3931.645	2	48166	47200.068	-965.932	3	81841	81472.288	-368.712	=== Classifier model for fold 10 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.0465 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.1287 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.2206 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.1658 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.6238 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.0608 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0762 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.125 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.1614 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.1789 Number of kernel evaluations: 351 (99.689% cached) <table><tr><td>1</td><td>25673</td><td>28411.082</td><td>2738.082</td></tr><tr><td>2</td><td>75798</td><td>73331.686</td><td>-2466.314</td></tr></table>	1	25673	28411.082	2738.082	2	75798	73331.686	-2466.314																																																								
1	47907	51838.645	3931.645																																																																										
2	48166	47200.068	-965.932																																																																										
3	81841	81472.288	-368.712																																																																										
1	25673	28411.082	2738.082																																																																										
2	75798	73331.686	-2466.314																																																																										
=== Classifier model for fold 8 === SMOreg weights (not support vectors): + 0.0133 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.1781 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1801 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.0275 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.8381 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.2367 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0338 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1349 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.0526 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.156 Number of kernel evaluations: 325 (99.614% cached) <table><tr><td>1</td><td>36271</td><td>36391.748</td><td>120.748</td></tr><tr><td>2</td><td>45424</td><td>43915.961</td><td>-1508.039</td></tr><tr><td>3</td><td>42048</td><td>39520.827</td><td>-2527.173</td></tr></table>	1	36271	36391.748	120.748	2	45424	43915.961	-1508.039	3	42048	39520.827	-2527.173	=== Cross-validation === === Summary === <table><tr><td>Correlation coefficient</td><td>0.9734</td></tr><tr><td>Mean absolute error</td><td>2644.0676</td></tr><tr><td>Root mean squared error</td><td>3994.5586</td></tr><tr><td>Relative absolute error</td><td>18.9302 %</td></tr><tr><td>Root relative squared error</td><td>22.7972 %</td></tr><tr><td>Total Number of Instances</td><td>28</td></tr></table> === Re-evaluation on test set === User supplied test set Relation: GelecekyillarSeraGazi Instances: unknown (yet). Reading incrementally Attributes: 11 === Predictions on user test set === <table><tr><th>inst#</th><th>actual</th><th>predicted</th><th>error</th></tr><tr><td>1</td><td>?</td><td>86653.419</td><td>?</td></tr><tr><td>2</td><td>?</td><td>87542.889</td><td>?</td></tr><tr><td>3</td><td>?</td><td>88429.193</td><td>?</td></tr><tr><td>4</td><td>?</td><td>89313.041</td><td>?</td></tr><tr><td>5</td><td>?</td><td>90195.444</td><td>?</td></tr><tr><td>6</td><td>?</td><td>91082.467</td><td>?</td></tr><tr><td>7</td><td>?</td><td>91966.521</td><td>?</td></tr><tr><td>8</td><td>?</td><td>92853.873</td><td>?</td></tr><tr><td>9</td><td>?</td><td>93739.83</td><td>?</td></tr><tr><td>10</td><td>?</td><td>94625.814</td><td>?</td></tr><tr><td>11</td><td>?</td><td>95509.205</td><td>?</td></tr><tr><td>12</td><td>?</td><td>96396.045</td><td>?</td></tr></table>	Correlation coefficient	0.9734	Mean absolute error	2644.0676	Root mean squared error	3994.5586	Relative absolute error	18.9302 %	Root relative squared error	22.7972 %	Total Number of Instances	28	inst#	actual	predicted	error	1	?	86653.419	?	2	?	87542.889	?	3	?	88429.193	?	4	?	89313.041	?	5	?	90195.444	?	6	?	91082.467	?	7	?	91966.521	?	8	?	92853.873	?	9	?	93739.83	?	10	?	94625.814	?	11	?	95509.205	?	12	?	96396.045	?
1	36271	36391.748	120.748																																																																										
2	45424	43915.961	-1508.039																																																																										
3	42048	39520.827	-2527.173																																																																										
Correlation coefficient	0.9734																																																																												
Mean absolute error	2644.0676																																																																												
Root mean squared error	3994.5586																																																																												
Relative absolute error	18.9302 %																																																																												
Root relative squared error	22.7972 %																																																																												
Total Number of Instances	28																																																																												
inst#	actual	predicted	error																																																																										
1	?	86653.419	?																																																																										
2	?	87542.889	?																																																																										
3	?	88429.193	?																																																																										
4	?	89313.041	?																																																																										
5	?	90195.444	?																																																																										
6	?	91082.467	?																																																																										
7	?	91966.521	?																																																																										
8	?	92853.873	?																																																																										
9	?	93739.83	?																																																																										
10	?	94625.814	?																																																																										
11	?	95509.205	?																																																																										
12	?	96396.045	?																																																																										
=== Classifier model for fold 9 === SMOreg weights (not support vectors): - 0.0194 * (normalized) Nüfus (10^6) - 0.2059 * (normalized) Karayolu yolcu-km - 0.1819 * (normalized) Demiryolu yolcu-km + 0.1637 * (normalized) Denizyolu yolcu-km + 0.7415 * (normalized) Havayollari yolcu-km + 0.1799 * (normalized) Karayolu ton-km + 0.0775 * (normalized) Demiryolu ton-km - 0.1189 * (normalized) Denizyolu ton-km + 0.0874 * (normalized) Havayollari ton-km + 0.145 Number of kernel evaluations: 351 (99.449% cached) <table><tr><td>1</td><td>37825</td><td>37430.372</td><td>-394.628</td></tr><tr><td>2</td><td>34690</td><td>34758.304</td><td>68.304</td></tr></table>	1	37825	37430.372	-394.628	2	34690	34758.304	68.304	=== Summary === <table><tr><td>Total Number of Instances</td><td>0</td></tr><tr><td>Ignored Class Unknown Instances</td><td>12</td></tr></table>	Total Number of Instances	0	Ignored Class Unknown Instances	12																																																																
1	37825	37430.372	-394.628																																																																										
2	34690	34758.304	68.304																																																																										
Total Number of Instances	0																																																																												
Ignored Class Unknown Instances	12																																																																												

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYDEMİR, Hulusi
 Uyuğu : T.C.
 Doğum yeri : Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (312) 520 00 00
 e-mail : hulusiaydemir@tcdd.gov.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği (Müh. Fak.)	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği (Müh. Fak.)	2014
Lisans	Anadolu Üniversite / İşletme Fakültesi/İşletme Lisans (ikinci üniversite kapsamında)	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği(Onur derecesi)	2010
Lise	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	TCDD Genel Müdürlüğü	Yüksek Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Aydemir, H. ve Çubuk, K. M. (2016). Karayollarının Türkiye’de genel durumunun araştırılması ile yaşanan değişimler ve gelecek stratejilerine dair tavsiyeler. *Gazi Journal of Engineering Sciences*. 2: 3, 129-146.
2. Aydemir, H. (2016). Türkiye’de boru hattı ulaştırması: genel durumu, uluslararası karşılaştırmalar ve hedef ile politikalara yönelik öneriler. *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*. 18(3): 54, 399-408.

3. Aydemir, H. ve Çubuk, K. M. (2018). Türkiye'nin küresel rekabet gücü açısından Türkiye demiryollarının değerlendirilmesi ve Türkiye'nin demiryollarında rekabet etkisini artırmaya yönelik öneriler. *Demiryolu Mühendisliği*. 2018 (8),18-29, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/demiryolu/issue/35609/440699>.
4. Aydemir, H. ve Çubuk, K. M. (2019). Demiryolu ulaştırma türünün Türkiye analizi; dünyadaki durumu, sorunlar ve beklentiler. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 7, 260-273.

Hobiler

Gezi ve yeni yerler keşfetmek, araştırma yapmak, masa tenisi.

Ödüller/Onurlar

Lisans Mezuniyeti Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği “Onur” öğrencisi.

Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Dönem İlk 5 içerisinde yer almak.

Örnek Davranış ve Tutum Millî Eğitim Bakanlığı Onur Belgesi.



GAZİ GELECEKTİR..