



**HAYVANSAL ATIK YAĞLARINDAN BİYODİZEL ÜRETİMİNİN  
FİZİBİLİTE ANALİZİ**

**Fatıma Büşra ASLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2023**

## 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.

Fatıma Büşra ASLAN

16/06/2023

# HAYVANSAL ATIK YAĞLARINDAN BİYODİZEL ÜRETİMİNİN FİZİBİLİTE ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fatıma Büşra ASLAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2023

## ÖZET

Bu çalışmada hayvansal atık yağlarının (sığır, koyun ve domuz) biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılmasında teknik ve ekonomik analiz incelemesi kimya ve süreç mühendisliği çerçevesinde yapılmıştır. Dizel yakıtın direkt alternatifi olan biyodizel ulaşım sektöründe kullanılabilir. Türkiye için nüfus menşeli yöntem esas alınarak gelecek yıllar için hayvan sayısı modeli geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile toplam hayvansal atık yağ miktarı hesaplanmış, ardından yıllık potansiyel biyodizel miktarı bulunmuştur. Hammadde kaynağı olan hayvansal atık yağlarının belli bir kısmının biyodizel üretiminde kullanılması durumuna göre üç farklı ulaşılabilirlik faktörü (%10=0,1; %50=0,5; %100=1,0) göz önüne alınmıştır. 2030 yılında %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve bu miktardaki biyodizelin net değeri sırasıyla yaklaşık 112 bin ton ve 2,9 milyar TL (2022 yılı TL kuru baz alınarak) bulunmuştur. Ayrıca, 2010-2021 yılları arasında hayvansal atık yağları biyodizel üretiminde kullanılsaydı %10, %50 ve %100 ulaşılabilirlik faktörlerine göre Türkiye'nin biyodizel üretiminin ortalama yaklaşık %27, %135 ve %270'ini karşılanabileceği hesaplanmıştır. Bunun sonucunda eğer hayvansal atık yağlarından biyodizel üretilmiş olsaydı, Türkiye'nin hâlihazırdaki biyodizel üretim kapasitesinin çok üzerinde bir değerlerde (takribi üç katına kadar) olacağı bulunmuştur. Son olarak, biyodizelin çevresel kazanımları hesaplanmıştır. Teorik olarak hesaplanan karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gazı salınım kazanımları, literatürden bulunan ulaştırma ile meydana gelen CO<sub>2</sub> gaz salınım miktarları arasında oran kurulmuştur. 2010-2021 yılları arasında %10, %50 ve %100 oranlarındaki ulaşılabilirlik faktörlerine göre Türkiye'nin CO<sub>2</sub> gazı salınım kazanım miktarları ortalama yaklaşık %0,039, %0,146 ve %0,292 olarak hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 91206

Anahtar Kelimeler : Atık yağ, biyodizel, modelleme, sürdürülebilirlik, tekno-ekonomik

Sayfa Adedi : 68

Danışman : Prof. Dr. Kırali MÜRTEZAOĞLU

İkinci Danışman : Prof. Dr. Mehmet MELİKOĞLU

FEASIBILITY ANALYSIS OF BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE  
ANIMAL FATS  
(M. Sc. Thesis)

Fatıma Büşra ASLAN

GAZİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
June 2023

ABSTRACT

In this study, technical and economic analysis of the utilization of waste animal fats (bovine, sheep and pig) as a raw material in biodiesel production was carried out within the framework of chemical and process engineering. Biodiesel, which is a direct alternative to diesel fuel, can be used in the transportation sector. Based on the Turkey's population model, the animal population model has been developed for the coming years. With the results obtained, the total amount of waste animal fat was calculated, and then the annual potential amount of biodiesel was found. Three different accessibility factors (10%; 50%; 100%) were considered, depending on the use of a certain part of the waste animal fats, which are the raw material, in biodiesel production. Based on 100% availability factor in 2030, the potential biodiesel production amount and the net value of this amount of biodiesel were found nearly 112 thousand tons and 2.9 billion TL (based on the 2022, TL exchange rate), respectively. Moreover, if waste animal fats were used in biodiesel production between 2010 and 2021, it was calculated that almost 27%, 135% and 270% of Turkey's biodiesel production could be met, according to 10%, 50% and 100% availability factors. As a result, it has been found that if biodiesel was produced from waste animal fats, it would be much higher than Turkey's current biodiesel production capacity (up to three times). Lastly, environmental gains of biodiesel were calculated in this study. The ratio between the theoretically calculated carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas emission gains and the amount of CO<sub>2</sub> gas emissions that occur with transportation, which is found in the literature, has been established. According to the availability factors of 10%, 50% and 100% between 2010 and 2021, Turkey's CO<sub>2</sub> emission gains were found nearly 0.029%, 0.146% and 0.292%, respectively.

Science Code : 91206

Key Words : Waste fat, biodiesel, modelling, sustainability, techno-economic

Page Number : 68

Supervisor : Prof. Dr. Kıralı MÜRTEZAOĞLU

Co-Supervisor : Prof. Dr. Mehmet MELİKOĞLU

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesiyle desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Kırallı MÜRTEZAOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, motive eden, bilgi birikimleriyle farklı bakış açıları sunan ikinci danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet MELİKOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Akademik ve günlük hayatta yardımlarını esirgemeyen ve her zaman desteğini gördüğüm Sayın Prof. Dr. Nuray OKTAR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda yol gösteren ve destek olan Sayın Doç. Dr. Dilşad Dolunay ESLEK KOYUNCU, Dr. Öğr. Üyesi Emine KAYA EKİNCİ, Dr. Öğr. Üyesi Birce PEKMEZCİ KARAMAN ve Gazi Üniversitesi araştırma görevlilerine çok teşekkür ederim.

Her sorunuma çözüm odaklı yaklaşan ve mantıklı düşünmemi sağlayan Gebze Teknik Üniversitesi'ndeki oda arkadaşım Dr. Tansel KEMERLİ KALBARAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca sorularımı hiçbir zaman cevapsız bırakmayan ve bana her konuda yardımcı olan arkadaşlarım Can GÜVENÇ, Enez ALAN ve Ezgi ARPACI'ya çok teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan, yol gösteren ve cesaretlendiren diğer tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                                             | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ÖZET .....                                                                                                                  | iv    |
| ABSTRACT.....                                                                                                               | v     |
| TEŞEKKÜR.....                                                                                                               | vi    |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                                                           | vii   |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                                                                                   | ix    |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                                                                                    | xi    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                                                                                | xiii  |
| 1. GİRİŞ.....                                                                                                               | 1     |
| 2. HAYVANSAL ATIK YAĞLAR.....                                                                                               | 5     |
| 2.1. Hayvansal Atık Yağların Sınıflandırılması .....                                                                        | 5     |
| 2.2. Hayvansal Yağların Yağ Asitleri Oranları .....                                                                         | 6     |
| 3. BİYODİZEL.....                                                                                                           | 9     |
| 3.1. Biyodizelin Fizikokimyasal Özellikleri .....                                                                           | 10    |
| 3.2. Biyodizel Eldesi .....                                                                                                 | 11    |
| 3.2.1. Hayvansal atık yağların transesterifikasyonu.....                                                                    | 11    |
| 4. VERİLER VE METODOLOJİ .....                                                                                              | 15    |
| 4.1. Hayvan Verilerinin Bulunması ve Karşılaştırılması .....                                                                | 15    |
| 4.2. Hayvan Sayısı Tahmini için Metotların Geliştirilmesi .....                                                             | 24    |
| 4.2.1. Metot A - 2010-2021 yılları arasında kişi başına düşen hayvan<br>sayısı ve GSYH verilerinin orantısal ilişkisi ..... | 25    |
| 4.2.2. Metot B - 2010-2021 yılları arasında hayvan sayıları ile doğrusal<br>regresyon analizinin yapılması .....            | 26    |
| 4.2.3. Metot C - Kişi başına düşen hayvan sayısının sabit bir değeri ve<br>Türkiye nüfusu verileri ile analiz.....          | 28    |
| 4.3. Toplam Hayvansal Atık Yağ Miktarının Bulunması .....                                                                   | 29    |

**Sayfa**

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4. Potansiyel Biyodizel Üretim Miktarının Bulunması .....                    | 32        |
| 4.5. Biyodizel Üretim Oranının Bulunması .....                                 | 33        |
| 4.6. Biyodizelin CO <sub>2</sub> Gazı Kazanım Oranının Bulunması.....          | 34        |
| 4.7. Model Doğruluğunun İncelenmesi.....                                       | 36        |
| <b>5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....</b>                                           | <b>37</b> |
| 5.1. Hayvan Sayısı Tahmini için Geliştirilen Metotlar .....                    | 37        |
| 5.1.1. Metot A ile ilgili elde edilen sonuçlar ve tartışma .....               | 37        |
| 5.1.2. Metot B ile ilgili elde edilen sonuçlar ve tartışma .....               | 37        |
| 5.1.3. Metot C ile ilgili elde edilen sonuçlar ve tartışma .....               | 39        |
| 5.1.4. Metot B ve metot C'nin karşılaştırılması.....                           | 41        |
| 5.2. Toplam Hayvansal Atık Yağ Miktarı.....                                    | 43        |
| 5.3. Potansiyel Biyodizel Üretim Miktarı ve Net Değerleri (TL) .....           | 45        |
| 5.4. Biyodizel Üretim Oranı.....                                               | 48        |
| 5.5. Biyodizelin CO <sub>2</sub> Gazı Kazanım Miktarları .....                 | 50        |
| 5.6. Biyodizelin CO <sub>2</sub> Gazı Kazanım Oranları .....                   | 53        |
| 5.7. Model Doğruluğunun Sonuçları.....                                         | 55        |
| <b>6. SONUÇ .....</b>                                                          | <b>57</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                                         | <b>59</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                              | <b>61</b> |
| EK-1. Türkiye ve diğer ülkelerin gayri safi yurt içi hâsıla verileri.....      | 62        |
| EK-2. Türkiye ve diğer ülkelerin insan nüfusu verileri .....                   | 63        |
| EK-3. Doğrusal regresyon metodunun örnek çözümü.....                           | 64        |
| EK-4. Türkiye'nin nüfus projeksiyonu .....                                     | 66        |
| EK-5. Türkiye'deki yerli firmaların yıllık biyodizel üretim kapasiteleri ..... | 67        |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                          | <b>68</b> |



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                                                                              | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Sığır, koyun ve domuzun yağ asitlerinin yüzdelik oranda kompozisyon .....                                               | 7     |
| Çizelge 3.1. Biyodizelin standart ve farklı türdeki hayvansal yağlara göre fizikokimyasal özellikleri.....                           | 10    |
| Çizelge 4.1. 2010-2021 yılları arasında Türkiye'nin kişi başına düşen hayvan sayıları .....                                          | 20    |
| Çizelge 4.2. Hayvan sayısı tahmini için doğrusal regresyon analizi .....                                                             | 27    |
| Çizelge 4.3. 2010-2021 yılları arasında kesilen hayvan sayıları ve yüzdesel oranları .....                                           | 29    |
| Çizelge 4.4. Hayvanların canlı ağırlık, karkas, atık yağ ve atık yağ oranları.....                                                   | 30    |
| Çizelge 4.5. Türkiye'deki sığır ve koyunun farklı ırklara göre canlı ağırlıkları.....                                                | 31    |
| Çizelge 4.6. Türkiye'de bitkisel yağlardan veya atık yemeklik yağlardan elde edilen biyodizelin yıllık toplam üretim miktarları..... | 33    |
| Çizelge 4.7. Ulaşım sektörü bazlı yıllık CO <sub>2</sub> emisyon miktarları (ton) .....                                              | 35    |
| Çizelge 4.8. Tahmin doğruluğu için MAPE sonuçlarının yorumlanması .....                                                              | 36    |
| Çizelge 5.1. Doğrusal regresyon ile hesaplanan hayvan sayısı tahmini .....                                                           | 38    |
| Çizelge 5.2. Metot C ile yapılan 2021 yılı sonrası için hayvan sayısı tahmini .....                                                  | 39    |
| Çizelge 5.3. 2010-2030 yılları arasında hayvansal atık yağ miktarları .....                                                          | 44    |
| Çizelge 5.4. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri .....                              | 45    |
| Çizelge 5.5. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri .....                              | 46    |
| Çizelge 5.6. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri .....                             | 47    |
| Çizelge 5.7. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre yıllık biyodizel üretim oranı .....                                                  | 48    |
| Çizelge 5.8. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre yıllık biyodizel üretim oranı .....                                                  | 49    |

| <b>Çizelge</b>                                                                                      | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 5.9. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre biyodizel üretim oranı .....                       | 49           |
| Çizelge 5.10. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO <sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları .....  | 50           |
| Çizelge 5.11. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO <sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları .....  | 51           |
| Çizelge 5.12. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO <sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları ..... | 52           |
| Çizelge 5.13. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO <sub>2</sub> emisyon oranı .....                | 53           |
| Çizelge 5.14. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO <sub>2</sub> emisyon oranı .....                | 54           |
| Çizelge 5.15. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO <sub>2</sub> emisyon oranı .....               | 55           |
| Çizelge 5.16. Sığır ve koyun nüfus modellerinin RMSE ve MAPE (%) değerleri .....                    | 55           |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                          | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Hayvansal atık yağların sınıflandırılması .....                                                     | 5     |
| Şekil 3.1. Transesterifikasyon reaksiyonun stokiometrik oranı.....                                             | 12    |
| Şekil 3.2. Hayvansal atık yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminin temel basamakları ..... | 13    |
| Şekil 4.1. 2010-2021 yılları arasında hayvan sayıları (sığır, koyun ve domuz) .....                            | 15    |
| Şekil 4.2. 2010-2020 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin sığır sayıları .....                          | 16    |
| Şekil 4.3. 2010-2020 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin koyun sayıları .....                          | 17    |
| Şekil 4.4. 2010-2020 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin domuz sayıları .....                          | 18    |
| Şekil 4.5. Türkiye'nin 2010-2021 yılları arasında kişi başına düşen GSYH (\$) .....                            | 19    |
| Şekil 4.6. 2010-2021 yılları arasında Türkiye nüfusu .....                                                     | 20    |
| Şekil 4.7. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen sığır sayıları .....        | 21    |
| Şekil 4.8. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen koyun sayıları .....        | 22    |
| Şekil 4.9. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen domuz sayıları .....        | 23    |
| Şekil 4.10. Hayvan sayısı tahmini için metodoloji akış diyagramı.....                                          | 25    |
| Şekil 4.11. Kişi başına düşen sığır sayısı ve GSYH verilerinin ilişkisi .....                                  | 26    |
| Şekil 4.12. Kişi başına düşen koyun sayısı ve GSYH verilerinin ilişkisi .....                                  | 26    |
| Şekil 5.1. Doğrusal regresyon ile sığır sayısı tahmini .....                                                   | 38    |
| Şekil 5.2. Doğrusal regresyon ile koyun sayısı tahmini .....                                                   | 39    |
| Şekil 5.3. Metot C ile yapılan sığır sayısı tahmini .....                                                      | 40    |
| Şekil 5.4. Metot C ile yapılan koyun sayısı tahmini .....                                                      | 41    |
| Şekil 5.5. Sığır için metot B ve metot C'nin karşılaştırılması .....                                           | 42    |
| Şekil 5.6. Koyun için metot B ve metot C'nin karşılaştırılması .....                                           | 42    |

**Şekil****Sayfa**

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.7. 2021 yılında sonra kesilecek tahmini hayvan sayıları (sığır ve koyun) ..... | 43 |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

| Simgeler      | Açıklamalar                                             |
|---------------|---------------------------------------------------------|
| \$            | Amerikan doları                                         |
| %             | Yüzde                                                   |
| $B_{HAY}$     | Litre cinsinden biyodizel miktarı                       |
| $B_{hayo}$    | Hayvansal atık yağ başına düşen biyodizel miktarı       |
| $CO_2$        | Karbon dioksit                                          |
| $Ei_b$        | Biyodizelin enerji içeriği                              |
| $Ei_d$        | Dizelin enerji içeriği                                  |
| $F_d$         | Dizelin ortalama satış fiyatı                           |
| $HBAY_{sbt}$  | Hayvan başına düşen sabit atık yağ miktarı              |
| $KBH_{sbt,3}$ | Son 3 yıla ait ortalama kişi başına düşen hayvan sayısı |
| $KH_{ort}$    | Ortalama kesilen hayvan sayısı                          |
| $ND_{b2022}$  | Biyodizelin Türk lirası cinsinden net değeri            |
| $NO_x$        | Azot oksitler                                           |
| $P_{hayvan}$  | Hayvan sayısı                                           |
| $P_{insan}$   | İnsan nüfusu                                            |
| $P_{kh}$      | Kesilecek hayvan sayısı                                 |
| $SO_x$        | Kükürt oksitler                                         |
| $\rho_b$      | Biyodizel yoğunluğu                                     |
| $^{\circ}C$   | Santigrat derece                                        |
| kg            | Kilogram                                                |
| L             | Litre                                                   |
| $m^3$         | Metreküp                                                |
| MJ            | Megajoule                                               |
| $R^2$         | Determinasyon katsayısı                                 |
| t             | Zaman (yıl veya eşdeğeri)                               |
| KAY           | Koyun atık yağı miktarı                                 |

**Simgeler****KBH****SAY****THAY****UF** **$\varepsilon(t)$** **Açıklamalar**

Kişi başına düşen hayvan sayısı

Sığır atık yağı miktarı

Toplam hayvan atık yağ miktarı

Ulaşılabilirlik faktörü

Zamana bağlı rastgele hata terimi

**Kısaltmalar****EPDK****FAO****GSYH****MAPE****RMSE****TL****TÜİK****Açıklamalar**

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

Food and Agriculture Organization

Gayri Safi Yurt İçi Hâsıla

Mean Absolute Percentage Error

Root Mean Squared Error

Türk Lirası

Türkiye İstatistik Kurumu

## 1. GİRİŞ

İnsanların sağlıklı ve dengeli bir şekilde beslenebilmesi için beş temel besin grubunu tüketmesi gerekmektedir [1]. Bu temel besin öğelerinin bedensel gelişim açısından büyük bir çoğunluğunu et, süt ve süt ürünleri oluşturmaktadır. Bu gruptaki besin ihtiyacı genellikle büyükbaş ve küçükbaş hayvanlar tarafından karşılanmaktadır [2]. Hayvan kesimhanelerinde ve/veya hayvan eti işleme tesislerinde halk sağlığına uygun et, deri ve gıdada kullanılabilir yağlar, kesilen hayvanlardan ayrıştırılır [3,4]. Geriye kalanlar ise hayvansal atık olarak sınıflandırılır. Atık kategorisinde bulunan atık yağlar; iç organlardan, kafalardan ve dokulardan elde edilen yağlardır [5]. Hayvanların kesiminden sonra oluşan bu atıklar ise hem insanlar için hem de çevre için büyük bir tehdit oluşturmaktadır [2].

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency, US EPA), hayvansal yağlar ile petrol yağların bazı ortak fiziksel ve kimyasal özellikler paylaştığını bildirmiştir [6]. Hayvansal yağların doğaya atılması durumunda petrol yağları ile benzer yıkıcı çevresel etkiler oluşturmaktadır [6]. Örneğin, suda yaşayan canlıların yağ ile temasına ve sudaki oksijenin tükenmesine yol açar. Ne yazık ki bu durum canlıların boğulmasına neden olur. Mevcut ve gelecek gıda kaynaklarına da zarar verir [6]. Hayvanların yaşam alanlarını azaltır veya yok eder. Kirli kıyı şeritleri, su arıtma tesislerinin tıkanması ve tutuşturucu kaynaklar mevcut olduğunda alev almasına sebebiyet verebilir [6]. Tüm olumsuz etkiler göz önüne alındığında atık yağların doğada bulunan birçok canlıya ve ekosisteme zarar verdiği görülmektedir.

Gün geçtikçe küresel nüfusunun artması ve teknolojinin ilerlemesi, enerjiye olan ihtiyacı arttırmaktadır. Konvansiyonel (fosil) yakıtların yanması ile oluşan kükürt oksitler ( $SO_x$ ), azot oksitler ( $NO_x$ ), karbon dioksit ( $CO_2$ ) vb. diğer zararlı gazlar atmosfere salınmaktadır. Bu durum çevresel sorunlarla birlikte kaynakların tükenmesine de yol açmaktadır. Bunların sonucu olarak yenilenebilir, sürdürülebilir ve temiz alternatif enerji kaynaklarına yönelim 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren artarak önem kazanmıştır. Petrol ekonomisinin temel ihtiyacını karşılamak için etkili bir alternatif olan biyoyakıtların arasından biyodizel ön plana çıkmaktadır. Bunun sebebi Türkiye’de ve dünyada kullanılan temel taşımacılık sıvı yakıtının dizel (motorin) olmasıdır.

Biyodizel, transesterifikasyon yöntemi ile bitkisel yağlardan, hayvan yağlarından veya atık yağlardan elde edilmektedir [7]. Yenilenebilir, biyo-bozunur ve düşük kükürt içeriğine sahip bir yakıt türüdür. Hâlihazırda kullanılan dizel yakıta, yakıt standartlarını sağladığı takdirde biyodizel alternatif olarak kullanılabilir. Artan biyodizel tüketimi ile yıllar içerisinde Türkiye'nin petrole olan talebi ve dolayısıyla ülkemizin dışa olan bağımlılığının azalması beklenmektedir. Bu durum petrol ithalatında azalmanın yanında ülkenin ekonomisine pozitif yönde katkı sağlayacaktır.

Bu konuyla ilgili olarak 2017 yılında Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), motorin türlerine biyodizel (yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağdan elde edilen) harmanlanması ile ilgili bir tebliğ yayınlamıştır [8]. Bu tebliğe göre enerjide dışa bağımlılığının ve çevre kirliliğinin azaltılması ve bitkisel atık yağların geri kazanımının sağlanması amaçlanmıştır. Motorin türlerinin hacimce en az %0,5 oranında biyodizel ile harmanlanması zorunlu kılınmıştır [8,9]. Bu süreçle birlikte Türkiye'de biyodizel üretiminin önü açılmıştır.

Tüm bunların ışığında gelecek yıllarda hayvansal atık yağlardan biyodizel üretilmesi hedeflenmektedir. Gelecek on yıl içerisinde hayvansal atık yağlarından elde edilen biyodizelin potansiyel kapasitesi hakkında yorum yapabilmek için fizibilite analizinin yapılması elzemdir. Kimya mühendisliği menşeli bir fizibilite analizi, bu alanda yapılacak çalışmaların ve yatırımların daha sağlıklı ve sürdürülebilir olması için gerekli bir süreçtir.

Bu tez çalışmasında hayvansal atık yağlarının biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılmasının teknik ve ekonomik analizi kimya ve süreç mühendisliği ekseninde yapılmıştır. Sistem kapsamı ve modelleme çalışmasında küreselden yerele bakış açısı ile Türkiye üzerine odaklanılmıştır. Mevcut bilimsel literatür detaylı olarak analiz edildiğinde bu konu ile ilgili herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Bu sebeple, yapılacak tez çalışması bilimsel olarak özgün olacak ve literatürdeki ivedilikle doldurulması gereken boşluğu dolduracaktır.

Geçmişe dönük hayvan sayıları (sığır, koyun ve domuz), Türkiye'nin nüfusu ve kişi başına düşen gayri safi yurt içi hâsıla verileri kullanılarak modellemeler geliştirilmiştir. Türkiye ile benzer ekonomiye sahip olan İtalya, Güney Kore ve başka ülkelerin temel verileri kullanılarak sağlıklı bir model oluşturulmuştur. Böylece gelecek yıllarda öngörülen hayvan



sayıları hesaplanmıştır. Buradan yola çıkarak, büyükbaş ve küçükbaş hayvan başına çıkan atık yağ miktarları elde edilmiştir. Ortaya çıkan atık yağlar ile potansiyel biyodizel atık miktarları hesaplanmıştır. İlgili modelleme çalışmaları sonrası atık-ürün kazanım temelli tekno-ekonomik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Son olarak model kontrolü, modifikasyonu ve kalibrasyonu yapılmış ve olası gelecek çalışmalar özetlenmiştir.





## 2. HAYVANSAL ATIK YAĞLAR

Hayvansal atık yağlar, esas olarak hayvan kesimhanelerinden ve/veya hayvan eti işleme tesislerinden elde edilen atık veya yan ürünlerdir [3,4]. Et, deri ve gıdada kullanılabilir yağlar alındıktan sonra hayvan kalıntılarının işlenmesiyle yüksek miktarda atık yağ ortaya çıkar [5].

### 2.1. Hayvansal Atık Yağların Sınıflandırılması

Halk ve hayvan sağlığına yönelik riskleri engellemek amacıyla hayvansal yan ürünlerin kullanımına ilişkin yönetmelik bulunmaktadır [10]. Bu yönetmeliğe göre hayvansal yan ürünler, halk ve hayvan sağlığına karşı oluşturduğu risk seviyesi dikkate alınarak üç kategoride: 1, 2 ve 3 olarak gruplanmaktadır [7,11]. Bu sayede, kategorilerine ayrılan atık yağların hangi alanlarda kullanılması gerektiği belirlenmektedir. Yağ içeriğindeki serbest yağ asidi oranı da çeşitli kullanım alanlarında önem arz etmektedir. Şekil 2.1’de kategorilerine ayrılmış hayvansal atık yağların serbest yağ asidi oranları verilmiştir [11,12].



Şekil 2.1. Hayvansal atık yağların sınıflandırılması

Farklı risk kategorilerinde bulunan atık yağlar, işleme (rendering) adımı ile farklı hatlarda muamele edilir. Farklı hatlarda yapılmasının asıl nedeni birbirleri arasında kontaminasyonu (bulaşma) önlemektir. Atık yağlar esas olarak ıslak ve kuru işlem yöntemleri ile geri kazandırılabilir [7]. Islak işlemde yağ, suda veya buharda yüksek sıcaklıkta kaynatma ile geri kazandırılır. Fakat yağın su ile uzun süreli teması nedeniyle yağ içerisindeki serbest yağ asidi içeriği artar. Bu değer artması istenmeyen bir aşamadır. Diğer bir yöntem olan kuru işlemde, yağ dokuları kuru ısı ile kendi et sularında pişirilir [7]. Ancak hangi yöntemin nerede en iyi olduğu ile ilgili kesin bir ayrım bulunmamaktadır.

İşlemden geçmiş bu hayvansal atık yağlar çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır: i) işlem ısısı ve gücü için işleme tesisinde işlem yakıtı, ii) oleokimyasallarda<sup>1</sup> kimyasal bir araç, iii) hayvan yemlerinde öncü, iv) biyodizelde hammadde olarak kullanılır [4,5]. Kategori 1 ve 2 işlenmiş yağlar, yüksek riskli kategorisinde yer alıp sınırlı kullanım alanlarına sahiptir. Çoğunlukla biyodizel veya diğer endüstriyel uygulamalarda yakıt olarak kullanılır. Kategori 3 işlenmiş yağlar ise hayvan yemi, su ürünleri, ilaç, kozmetik ve evcil hayvan yemlerinde kullanılmaktadır [11]. Kategori 3'teki hayvansal atık yağlar ile elde edilen biyodizel yakıtın daha kaliteli olmasını sağlar. Ancak bu atık yağların daha yüksek fiyata satılması ve teknik uygulamalarda daha fazla kullanılması nedeniyle biyoyakıt üretiminde kullanılması hâlihazırda pek tercih edilmemektedir [5].

Hayvansal yağların atık yönetimi, ülkenin kalkınması ve çevresel öncelikler için büyük önem arz etmektedir [13]. Hayvansal atık yağların kullanım alanları incelendiğinde atık yağların biyodizel üretimi için uygun hammaddeler olduğu görülmüştür. Atık yağların hammadde olarak kullanılması atık yönetimine yardımcı olmasının yanında bertaraf edilme problemini de ortadan kaldırır [4,14–16].

## 2.2. Hayvansal Yağların Yağ Asitleri Oranları

Hayvansal yağların (sığır, koyun, domuz vs.) kendine özgü yağ asidi içerikleri bulunmaktadır. Çizelge 2.1'de verilen serbest yağ asitlerinin türleri ve kompozisyonu, zincir uzunluğu ve doymuşluk/doymamışlık derecesi biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektedir [12].

<sup>1</sup> Endüstriyel olarak hayvansal veya bitkisel sıvı veya katı yağlardan elde edilen kimyasal bir bileşik

Çizelge 2.1. Sığır, koyun ve domuzun yağ asitlerinin yüzdelik oranda kompozisyonu

| Yağ Asitleri             | Sığır | Koyun | Domuz |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| Miristik (C14:0)         | 1,6   | 1,6   | 2,2   |
| Palmitik (C16:0)         | 25,1  | 21,6  | 21,1  |
| Stearik (C18:0)          | 12,6  | 17,7  | 11,6  |
| Palmitoleik (C16:1)      | 2,8   | 2,5   | 2,1   |
| Oleik (C18:1)            | 36,5  | 31,5  | 38,7  |
| Linoleik (C18:2)         | 16,5  | 3,3   | 10,2  |
| Linolenik (C18:3)        | 1,1   | 1,3   | 0,6   |
| Araşidonik (C20:4)       | 0,3   | -     | -     |
| Dokosapentaenoik (C22:5) | 0,2   | -     | -     |
| Dokosaheksaenoik (C22:6) | -     | -     | -     |
| Toplam doymuşluk         | 39,4  | 49,1  | 40,4  |
| Toplam tekli doymamışlık | 39,7  | 41    | 47,1  |
| Toplam çoklu doymamışlık | 20,9  | 10    | 12,5  |

Bu değerler yakıt için oldukça önemlidir [17]. Yüksek doymuşluk derecesi ile biyoyakıt; yüksek kalorifik değer, yüksek setan sayısı ve yüksek oksidasyon kararlılığı gibi avantajlar sunmaktadır [14]. Serbest yağ asidi içeriği ve doymuşluk derecesinin fazla olması daha yüksek yoğunluğa katkıda bulunur.



### 3. BİYODİZEL

Biyodizel petrol bazlı (esaslı) dizel yakıta göre, daha düşük kükürt ve aromatik içeriklerine sahiptir. Ayrıca yenilenebilir, yüksek setan sayısı ve iyi emisyon (salınım) profili özellikleriyle dikkat çekmektedir [4,18].

Biyodizel, yağ bazlı birçok bitkisel ve hayvansal ürünlerden elde edilmektedir. Dolayısıyla biyodizel, kullanılan hammaddelerine göre sınıflandırılmaktadır. Birinci (1.) nesil biyodizel; kolza, palm, soya fasulyesi ve ayçiçeği gibi yenilebilir bitkisel yağlardan elde edilir. Ne yazık ki mevcut ekilebilir arazinin çoğunun kullanılmasına, gıda kıtlığına ve biyolojik çeşitliliğinin tahribatına yol açmaktadır [19]. Bununla birlikte bitkisel yağlara talep yüksek olduğundan gıda fiyatında artış olması beklenmesi çok olasıdır.

Yenilebilir türde olan bu bitkisel yağlara olan bağımlılığı azaltmak amacıyla alternatif hammadde kaynakları geliştirilmiştir [19]. Pamuk yağı, keten yağı, atık yemeklik yağ, hayvansal atık yağlar gibi yenmeyen yağlar kullanılarak ikinci (2.) nesil biyodizel de üretilmektedir [7,19]. Bu tür yenmeyen yağlara talebin düşük olması pazar fiyatını düşürmektedir. Ucuz hammaddelerin kullanımı halinde biyodizelin üretim maliyeti de doğru orantılı olarak azalmaktadır [7]. Bu nedenle 2. nesil biyoyakıtlar, 1. nesil biyoyakıtlara göre daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir biyodizel türü olarak kabul edilmektedir.

Yapılan birkaç çalışmada petrol bazlı yakıt (dizel) ile 1. ve 2. nesil biyodizelin karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu verileri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır [12,20]. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 1 litre (L) dizel yakıtın yanması ile yaklaşık 2,68 kg CO<sub>2</sub> atmosfere salınmaktadır [20]. Hayvan yağlarından elde edilen biyodizelde ise dizel yakıta göre %80 daha az CO<sub>2</sub> salınımı yapmaktadır [12]. Soya fasulyesinden elde edilen biyodizelde litre başına 2,48 kg CO<sub>2</sub> salınımı meydana gelmektedir [20]. Hayvan atık yağlarından elde edilen biyodizel, soya fasulyesinden elde edilen biyodizele kıyasla %30 daha az CO<sub>2</sub> salınımı yapmaktadır [12]. Bu doğrultuda, elde edilen bulgular değerlendirildiğinde 2. nesil biyoyakıtların 1. nesil biyoyakıtlara göre daha az CO<sub>2</sub> salınımı oluşturması sebebiyle daha çevre dostu olduğu ortaya konmuştur.

### 3.1. Biyodizelin Fizikokimyasal Özellikleri

Dizel motorun çalışması ve yakıtın tam yanma gerçekleştirmesi yakıtın viskozitesi, yakıt yoğunluğu, setan sayısı, parlama noktası, yanma değeri gibi farklı yakıt özelliklerine bağlıdır [21]. Bu özelliklerin de bir standart çerçevesinde bulunması gerekmektedir. Biyodizelin ticarileştirilmesi, tanıtılması ve yüksek ürün kalitesinin sağlanması gibi nedenlerden dolayı standartlara uygun formda olmalıdır [22]. Biyodizel standartlarına örnek olarak, ASTM D6751 (American Society for Testing and Materials) ve Avrupa standardı EN 14214 (Europäische Norm) verilebilir. Çizelge 3.1’de çeşitli hayvansal atık yağlardan elde edilen biyodizelin ve Avrupa standartlarındaki biyodizelin bazı fizikokimyasal özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Biyodizelin standart ve farklı türdeki hayvansal yağlara göre fizikokimyasal özellikleri

| Özellikler                        | EN      | Domuz   | Domuz     | Koyun   | Sığır   | Sığır   |
|-----------------------------------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|
|                                   | 14214   | yağı    | yağı      | yağı    | yağı    | yağı    |
|                                   | [12]    | [12,23] | [12,24]   | [12,25] | [12,26] | [12,23] |
| Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )     | 860-900 | 873     | 870       | 856     | -       | 870     |
| Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)    | 3,5-5,0 | 5,08    | 4,74      | -       | 4,82    | 5,35    |
| Setan sayısı                      | >51     | -       | 56,9      | 59,0    | -       | -       |
| Asit değeri (mg KOH/g)            | <0,5    | 0,22    | 0,23      | 0,65    | 0,147   | 0,2     |
| İyot değeri (g/100 g)             | <120    | 75,6    | 66,7      | 126     | -       | 44,4    |
| Su içeriği (mg/kg)                | -       | 184     | 500       | 200     | -       | 374     |
| Parlama noktası (°C)              | >120    | 147     | 175       | -       | >160    | 171     |
| Akma noktası (°C)                 | -       | -       | -         | -5      | -       | 10      |
| Bulutlanma noktası (°C)           | -       | -       | -         | -4      | 16      | -       |
| Soğuk filtre tıkanma noktası (°C) | 8       | 5       | -20 ile 5 | -       | 14      | 10      |

Biyodizelin yoğunluğu, hammaddelere ve biyodizel metil ester içeriğine bağlıdır. Motordaki sistemlerin doğru yanmayı sağlaması için uygun miktarda yakıt sağlanmalıdır [27,28]. Tam yanma için uygun değer hava-yakıt oranları ve yoğunluk değerleri tolere



edilebilir sınırlar içerisinde olmalıdır [27]. Yüksek yoğunluklu biyodizel veya karışımı, eksik yanmaya ve parçacık madde salınımlarına yol açabilir [27].

Bir yakıtın parlama noktası, bir alev veya kıvılcıma maruz kaldığında tutuşacağı sıcaklıktır [27]. Biyodizelin parlama noktası yüksek olduğu için biyodizelin işlenmesi, taşınması ve depolanması dizele göre daha güvenlidir. Aynı zamanda yangın riski daha azdır [27].

Viskozite yakıtın akışkanlığını ifade eder. Yakıt enjeksiyonun çalışmasını önemli derecede etkileyen özelliklerden biridir [29]. Petrol esaslı yakıtlara göre biyodizelin viskozite değeri çok daha yüksektir. Çünkü kimyasal yapıları ve molekül kütleleri daha büyüktür [26,29].

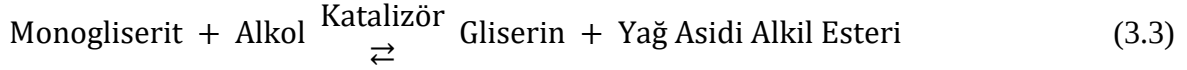
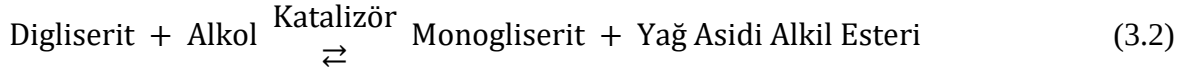
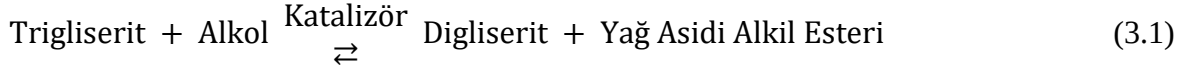
Yakıtın setan sayısı, tutuşmanın gecikme süresini ve yanmanın düzgünlüğünü ifade eder [29]. Bu değer ne kadar yüksekse tutuşma o kadar iyi gerçekleşir. Aynı zamanda yanma sırasında ortaya çıkan nitrojen gaz emisyonlarının da minimum miktarda olmasını sağlar [29]. Yağ asitlerindeki farklı oranlardaki doymuşluk derecesi ve zincir uzunluğu setan sayısının değerini etkilemektedir.

### **3.2. Biyodizel Eldesi**

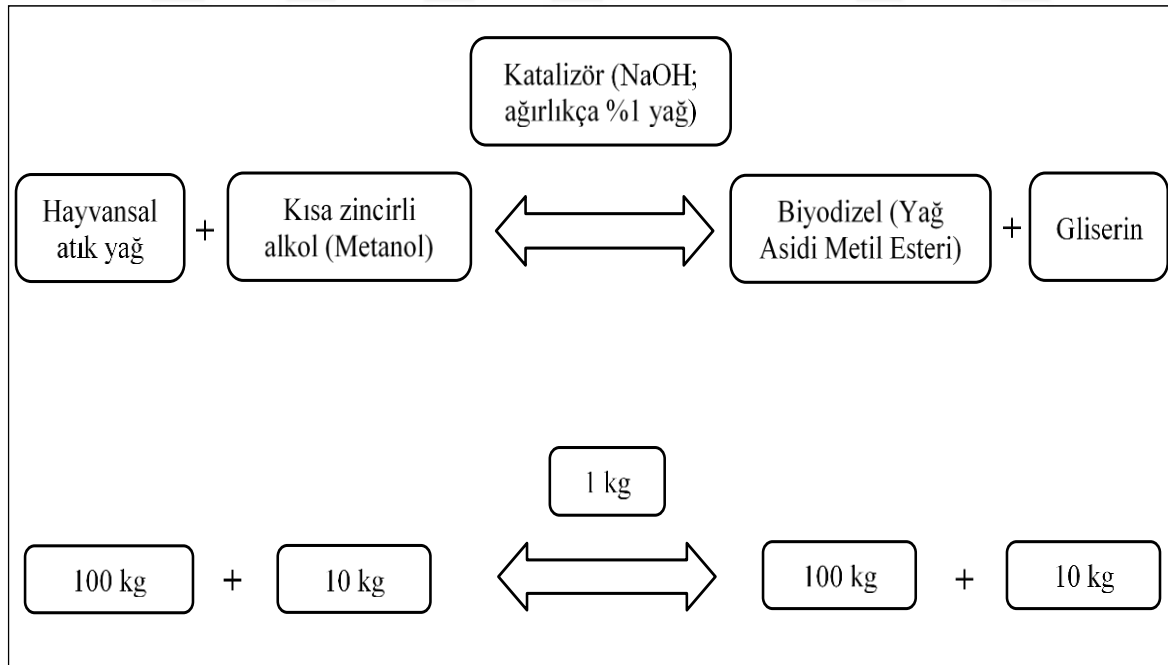
Biyodizel, homojen veya heterojen katalizör varlığında kısa zincirli alkoller ile trigliseritlerin transesterifikasyonu ile elde edilir [12]. Tüm teknikler arasında, yağ asidi esterlerinin fiziksel özellikleri dizel yakıta çok yakın ve işlem nispeten daha basit olduğundan en yaygın olarak kullanılan yöntem, hayvansal yağların transesterifikasyonudur [7,18].

#### **3.2.1. Hayvansal atık yağların transesterifikasyonu**

Transesterifikasyon reaksiyonu katalizör varlığında; trigliseritler digliseritlere (Eş. 3.1), digliseritler monogliseritlere (Eş. 3.2) ve monogliseritler gliserine (Eş. 3.3) dönüşerek ardışık üç (3) tersinir reaksiyon gerçekleşir. Reaksiyona giren her gliserit için bir ester molekülü (biyodizel) meydana gelir [7,30]. Ardışık oluşan reaksiyonlar sonunda toplam reaksiyonda (Eş. 3.4) üç yağ asidi alkil esteri ve gliserin oluşmaktadır.

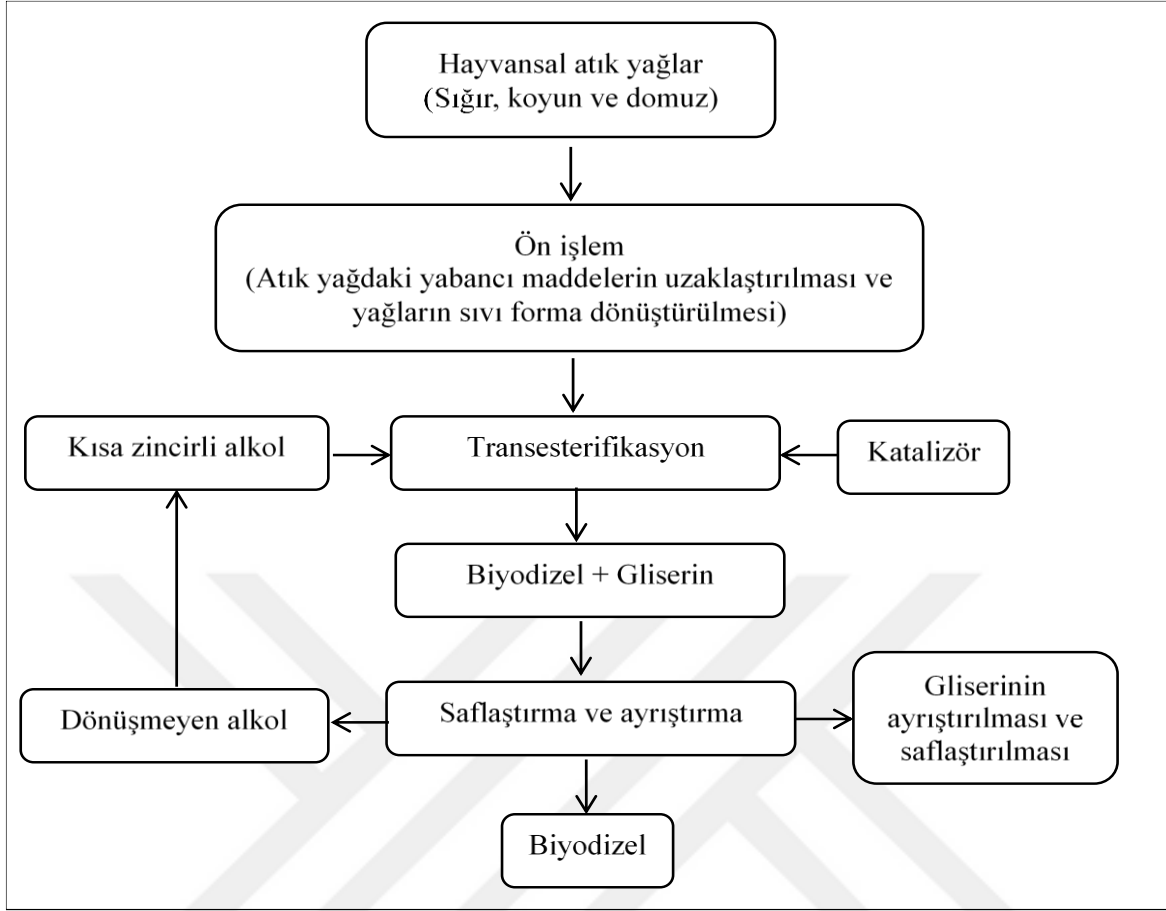


Şekil 3.1’de hayvansal atık yağların transesterifikasyon reaksiyonun stokiyometrik oranları gösterilmiştir [13]. Transesterifikasyon reaksiyonunda homojen katalizör (ör. sodyum hidroksit, NaOH) varlığında; 100 kg hayvan atık yağından 10 kg gliserin ve 100 kg biyodizel elde edilmektedir [31,32]. Gliserin, reaksiyondaki yan üründür. Toksik olmayan, yenilebilir ve biyoparçanabilir olması sebebi ile ilaç, kozmetik, tekstil ve gıda gibi farklı sektörlerde hammadde olarak kullanılabilir [7,33].



Şekil 3.1. Transesterifikasyon reaksiyonun stokiyometrik oranı

Hayvansal atık yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminin temel basamakları akış şeması olarak Şekil 3.2’de gösterilmiştir [12,26,34–36].



Şekil 3.2. Hayvansal atık yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminin temel basamakları

Hayvan atık yağların transesterifikasyonu reaksiyonundan önce hammadde olan atık yağlar ön işleme tabi tutulur. Bu işlemde; atık yağda bulunan yabancı maddeler uzaklaştırılır, reaksiyona girebilecek uygun forma dönüştürülür ve serbest yağ asidi değeri minimum hale getirilir. Çünkü serbest yağ asidinin yüksek olması reaksiyonun verimi düşürmektedir ve bu değerin yüksek olması istenmeyen bir durumdur. Reaksiyona hazır hale gelen hayvansal atık yağlar, katalizör varlığında kısa zincirli alkol ile uygun reaksiyon koşullarında tepkimeye girerek biyodizeli ve gliserini oluşturur. Yan ürün olarak oluşan gliserinin çeşitli sektörlerde hammadde olarak kullanılması için saflaştırma ve ayırıştırma işlemi yapılır. Reaksiyona girmeyen ve fazla olan alkol sisteme geri gönderilir. Rafinasyon (saflaştırma) işlemleri sonunda elde edilen biyodizel uygun standardizasyonu sağlamasının ardından yakıt olarak kullanılır.

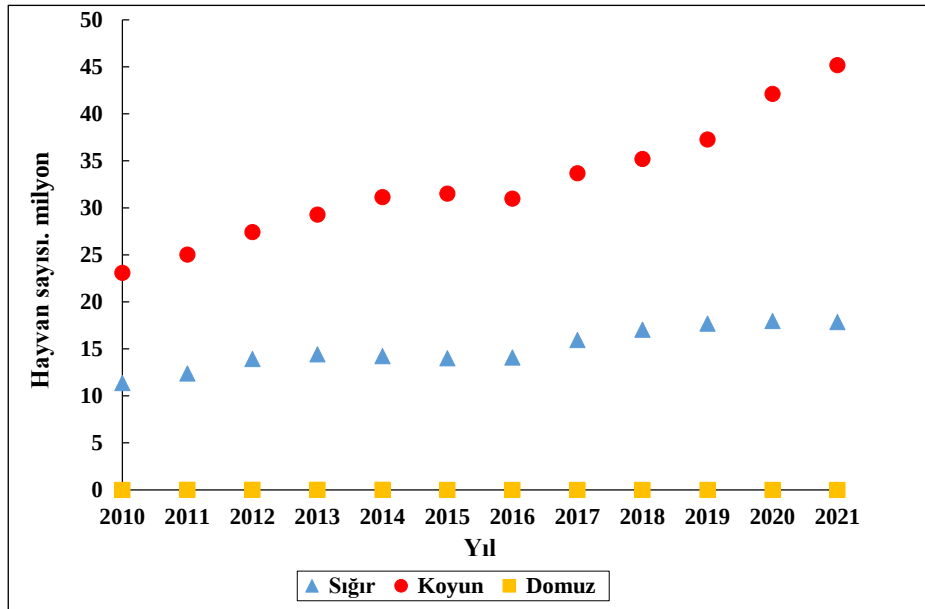


## 4. VERİLER VE METODOLOJİ

Bu tez kapsamında Türkiye’de ve dünyada hayvansal atık yağlardan gelecek yıllarda biyodizel üretilmesi hedeflenmektedir. Buna ek olarak, fizibilite analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu sebeple bilimsel literatürde eksik olan biyodizel üretim kapasitesini tahmin etmek literatürden bulunan veriler yardımıyla aşağıdaki hesaplamalar sırasıyla yapılmıştır.

### 4.1. Hayvan Verilerinin Bulunması ve Karşılaştırılması

İlk adım olarak 2010-2021 yılları arasında hayvan sayısı verileri Türkiye İstatistik Kurumu’ndan (TÜİK) alınmıştır [37]. Türkiye’de domuz eti tüketilmediği için sığır ve koyuna kıyasla domuz sayısı oldukça düşüktür (Şekil 4.1). Bu değerler minimum 900 ve maksimum 3 bin değerleri arasındadır. 2015-2016 yılları arasında azalan hayvan sayıları 2016 yılından sonra özellikle koyun sayısı büyük bir ivme kazanarak artmaya devam etmiştir. Diğer yıllara bakıldığında sığır ve koyun sayıları yıllar içerisinde yaklaşık aynı oranlarda artmaya devam etmiştir.

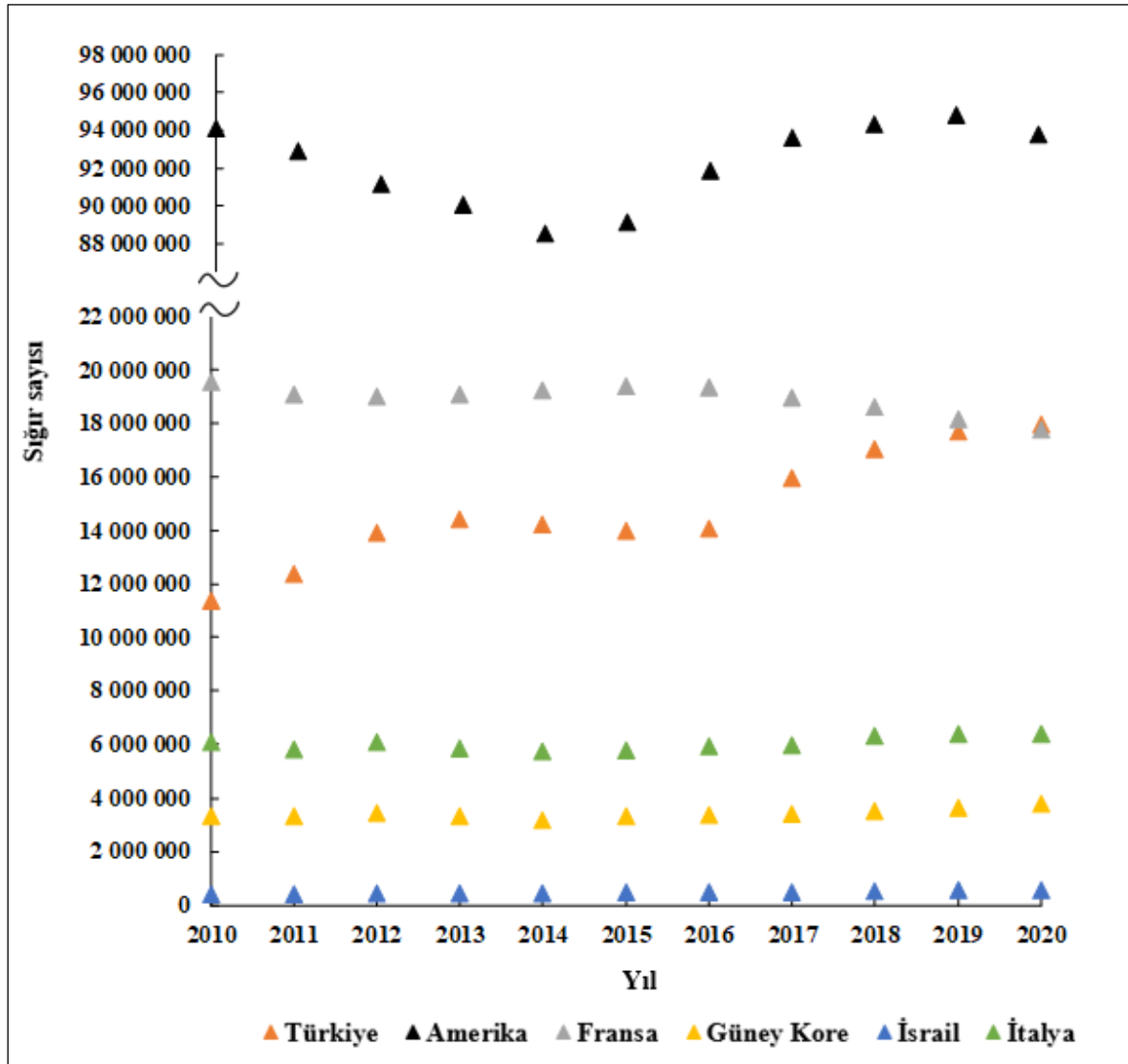


Şekil 4.1. 2010-2021 yılları arasında hayvan sayıları (sığır, koyun ve domuz)

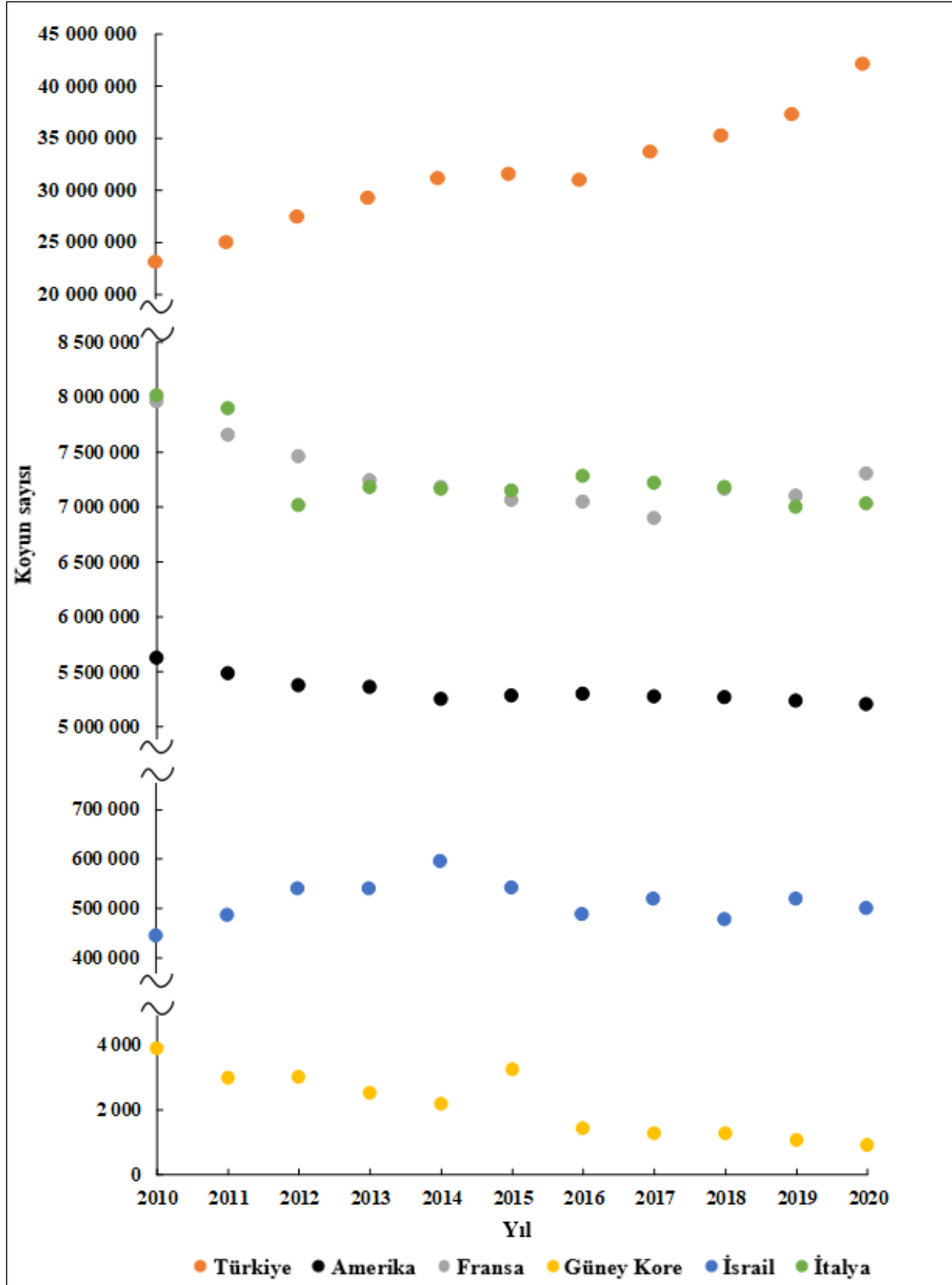
Yapılan bu adımların uygun olup olmadığına karar vermek için Türkiye ekonomisine yakın modellere sahip Amerika, Fransa, Güney Kore, İsrail ve İtalya gibi ülkelerin verileri Birleşmiş Devletler Gıda ve Tarım Örgütü’nden (Food and Agriculture Organization of the

United Nations, FAO) alınmıştır [38]. Bu ülkeler ile veri karşılaştırması yapılarak sonuca ulaşılması beklenmektedir.

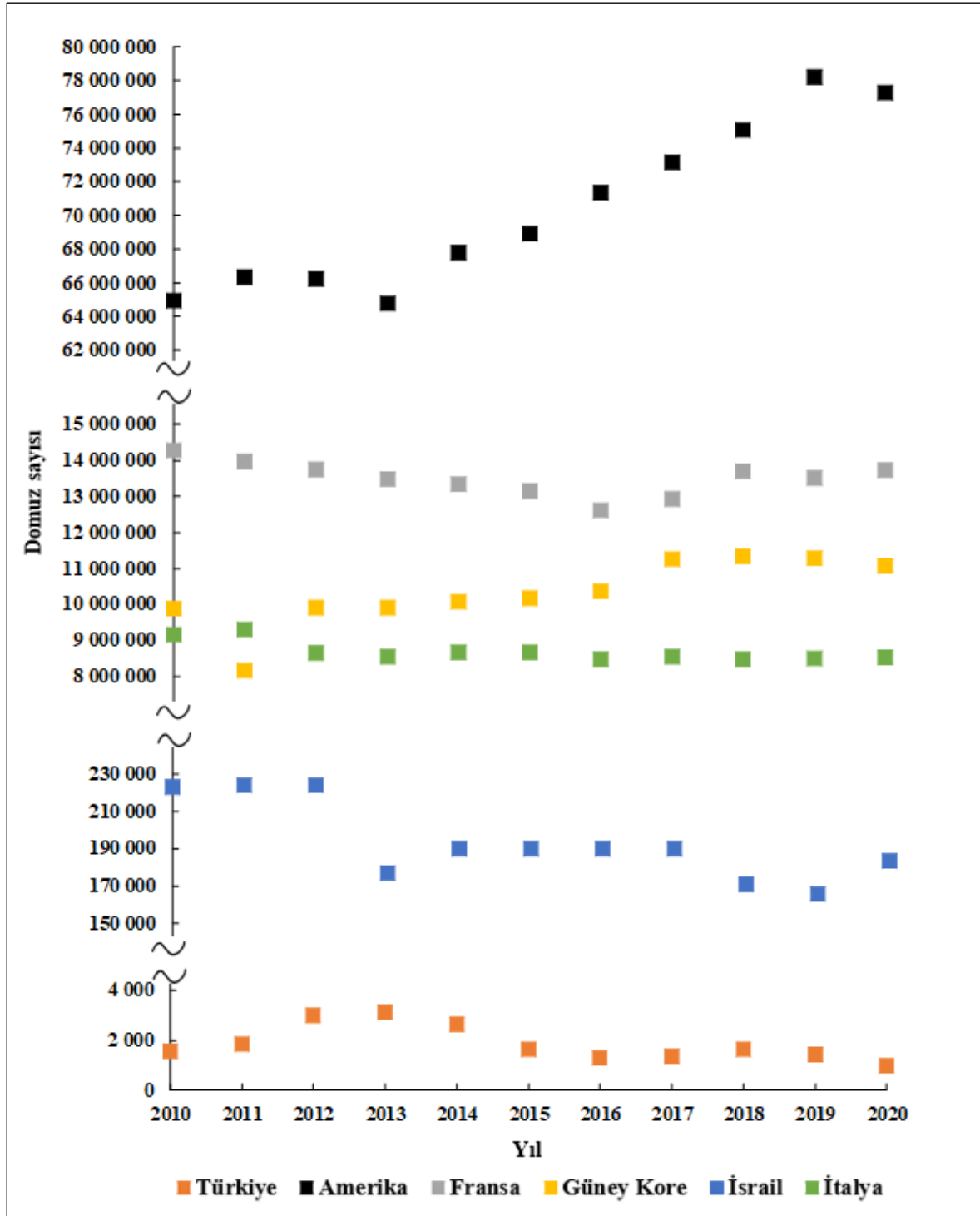
Yukarıda bahsedilen ülkelerin sırasıyla sığır, koyun ve domuz sayılarını gösteren Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 incelendiğinde sosyal gelişmişliği ve ekonomisi yüksek ülkelerde zaman içinde et tüketimi azalır. Çünkü ülkelerin zenginleşmesi sonucunda et tüketimi azalır ve protein kaynağı olarak alternatif (balık, sebze, tavuk, hindi, baklagiller, vs.) tüketimler ortaya çıkar. Bu nedenle hayvan sayılarında azalma beklenir. Sığır ve domuz sayılarının en çok olduğu ülke Amerika iken koyun sayısının en çok olduğu Türkiye olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. 2010-2020 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin sığır sayıları



Şekil 4.3. 2010-2020 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin koyun sayıları

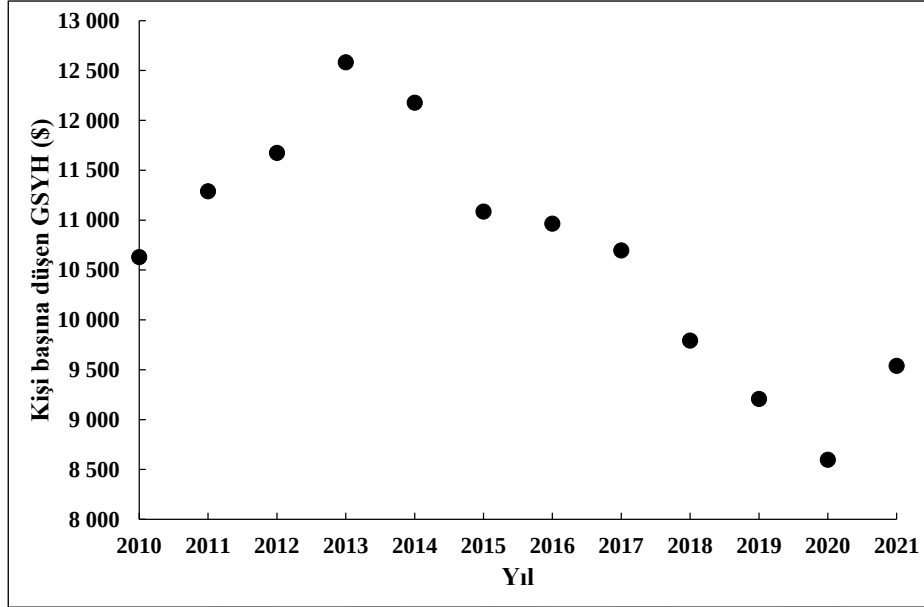


Şekil 4.4. 2010-2020 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin domuz sayıları

Buradan yola çıkarak hayvan sayısı hakkında daha doğru bir tanım yapabilmek için Türkiye'nin ve diğer ülkelerin ekonomisi kişi başına düşen gayri safi yurt içi hâsıla (GSYH) değerlerine bakılması gerekmektedir.



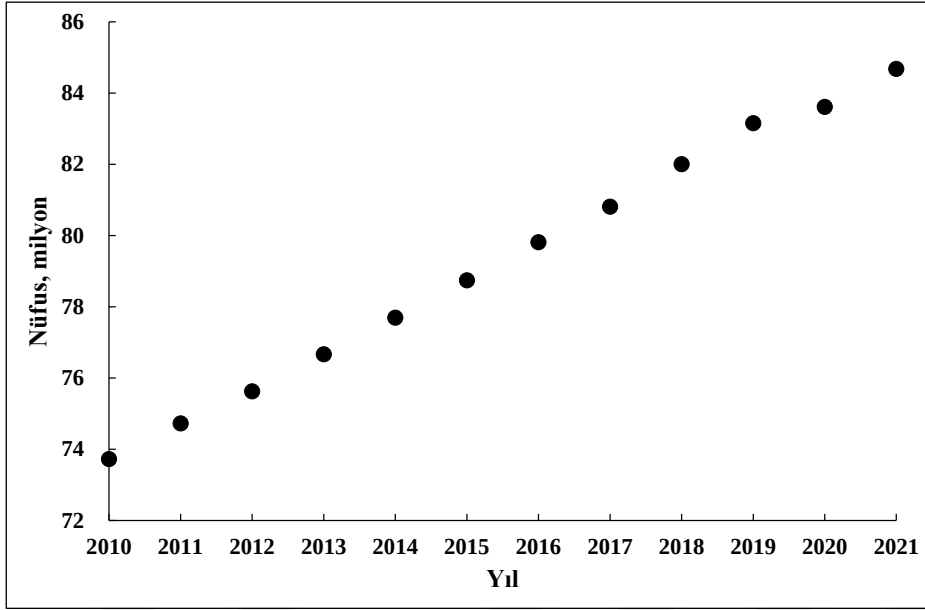
Şekil 4.5'te Türkiye'nin kişi başına düşen GSYH Amerikan doları (\$) verileri incelendiğinde 2014 yılında azalma başlamıştır [39]. Süregelen 7 yıl boyunca giderek azalma gösteren Türkiye ekonomisi 2021 yılında 9 bin 539 \$ değerine çıkarak Türkiye ekonomisinde yükseliş meydana gelmiştir [39].



Şekil 4.5. Türkiye'nin 2010-2021 yılları arasında kişi başına düşen GSYH (\$)

Amerika, Güney Kore, Fransa, İsrail ve İtalya'nın kişi başına düşen GSYH (\$) değerleri Ek-1'de verilmiştir. Bu ülkelerin de verilerine bakıldığında yüksek gelir düzeyinde olduğu görülmektedir [40]. Ne yazık ki Türkiye üst orta sınıf gelir düzeyine sahiptir ve gelişmekte olan ülke kategorisindedir. Türkiye'nin gelecek yıllarda burada bahsedilen ülkeler gibi yüksek gelir düzeyinde olması beklenmektedir.

Kişi başına düşen hayvan sayısının (sığır, koyun ve domuz) hesaplanması için Türkiye nüfusu verileri TÜİK'ten alınmıştır [41]. 2010-2021 yılları arasında alınan verilere bakıldığında Türkiye nüfusu doğrusal bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. 2010-2021 yılları arasında Türkiye nüfusu

Amerika, Fransa, Güney Kore, İsrail ve İtalya ülkelerine bakıldığında İtalya haricinde diğer ülkelerin nüfus artış paterni Türkiye ile benzerdir [42]. Ek-2’de yukarıda bahsedilen ülkelerin insan nüfusu verileri verilmiştir. Türkiye dışındaki bu ülkeler ile sağlıklı bir kıyaslama yapılması için öncelikle hayvan sayıları ve Türkiye’nin nüfusu verileri ile kişi başına düşen hayvan sayısı (sığır, koyun ve domuz) hesaplanmıştır. 2010-2021 yılları arasında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 2010-2021 yılları arasında Türkiye’nin kişi başına düşen hayvan sayıları

| Yıl  | Kişi başına düşen sığır sayısı | Kişi başına düşen koyun sayısı | Kişi başına düşen domuz sayısı |
|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 2010 | 0,1542                         | 0,3132                         | 0,00002113                     |
| 2011 | 0,1658                         | 0,3350                         | 0,00002473                     |
| 2012 | 0,1840                         | 0,3626                         | 0,00003948                     |
| 2013 | 0,1880                         | 0,3820                         | 0,00004102                     |
| 2014 | 0,1831                         | 0,4008                         | 0,00003417                     |
| 2015 | 0,1777                         | 0,4001                         | 0,00002085                     |
| 2016 | 0,1764                         | 0,3882                         | 0,00001628                     |
| 2017 | 0,1973                         | 0,4167                         | 0,00001684                     |
| 2018 | 0,2078                         | 0,4292                         | 0,00001995                     |
| 2019 | 0,2127                         | 0,4483                         | 0,00001727                     |
| 2020 | 0,2149                         | 0,5038                         | 0,00001184                     |

Çizelge 4.1.(devam) 2010-2021 yılları arasında Türkiye'nin kişi başına düşen hayvan sayıları

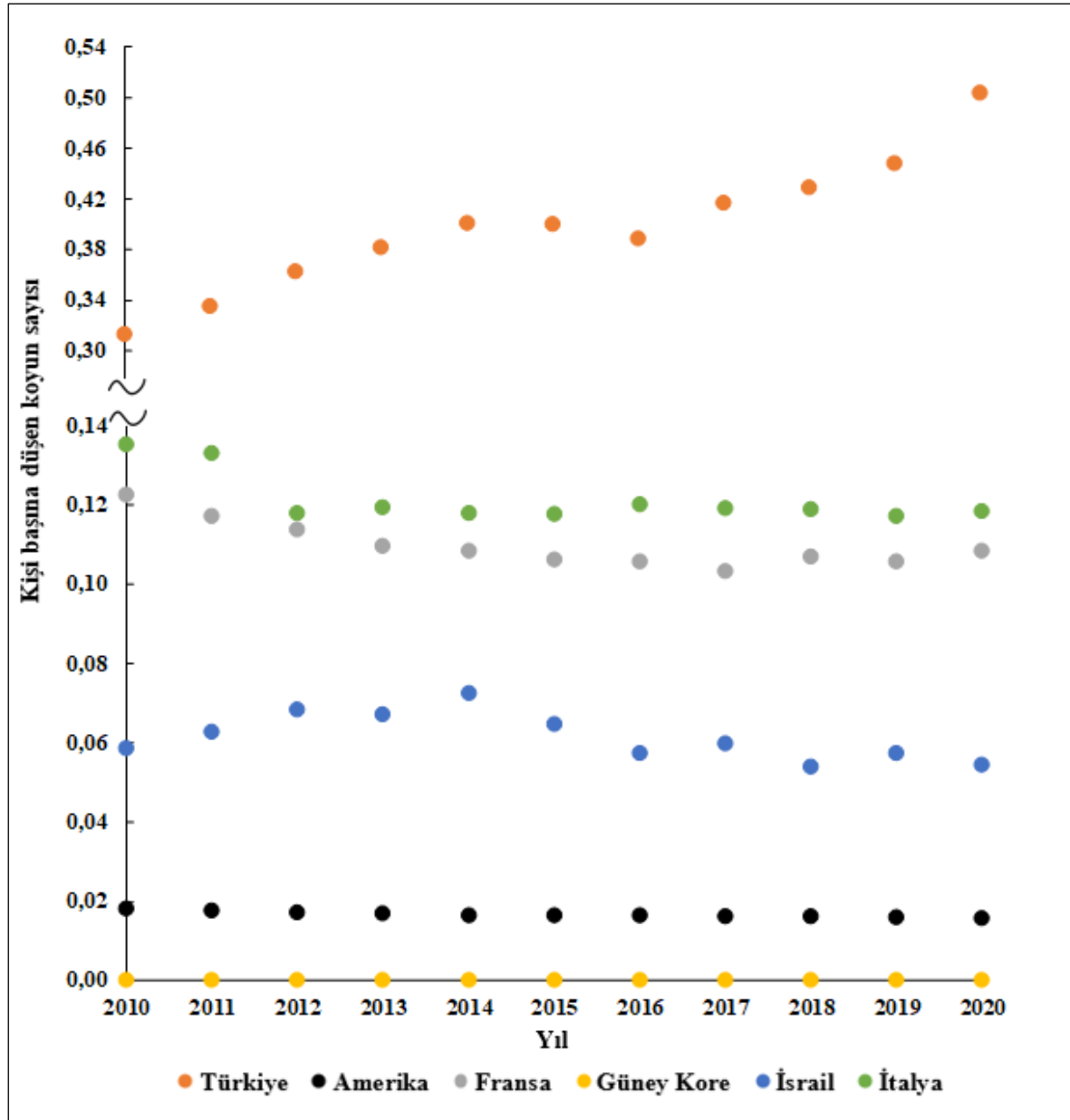
|          |        |        |            |
|----------|--------|--------|------------|
| 2021     | 0,2108 | 0,5335 | 0,00001598 |
| Ortalama | 0,1894 | 0,4095 | 0,00002330 |
| En büyük | 0,2149 | 0,5335 | 0,00004102 |
| En küçük | 0,1542 | 0,3132 | 0,00001184 |

Türkiye’de domuz eti tüketiminin yok derecede az olması sebebiyle kişi başına düşen domuz sayısı da oldukça düşüktür (Bkz. Çizelge 4.1). Hayvan sayısı tahmini hesaplamalarında doğru bir rehber olmayacağından domuz ile ilgili hesaplamalar bu adımdan sonra yapılmamıştır.

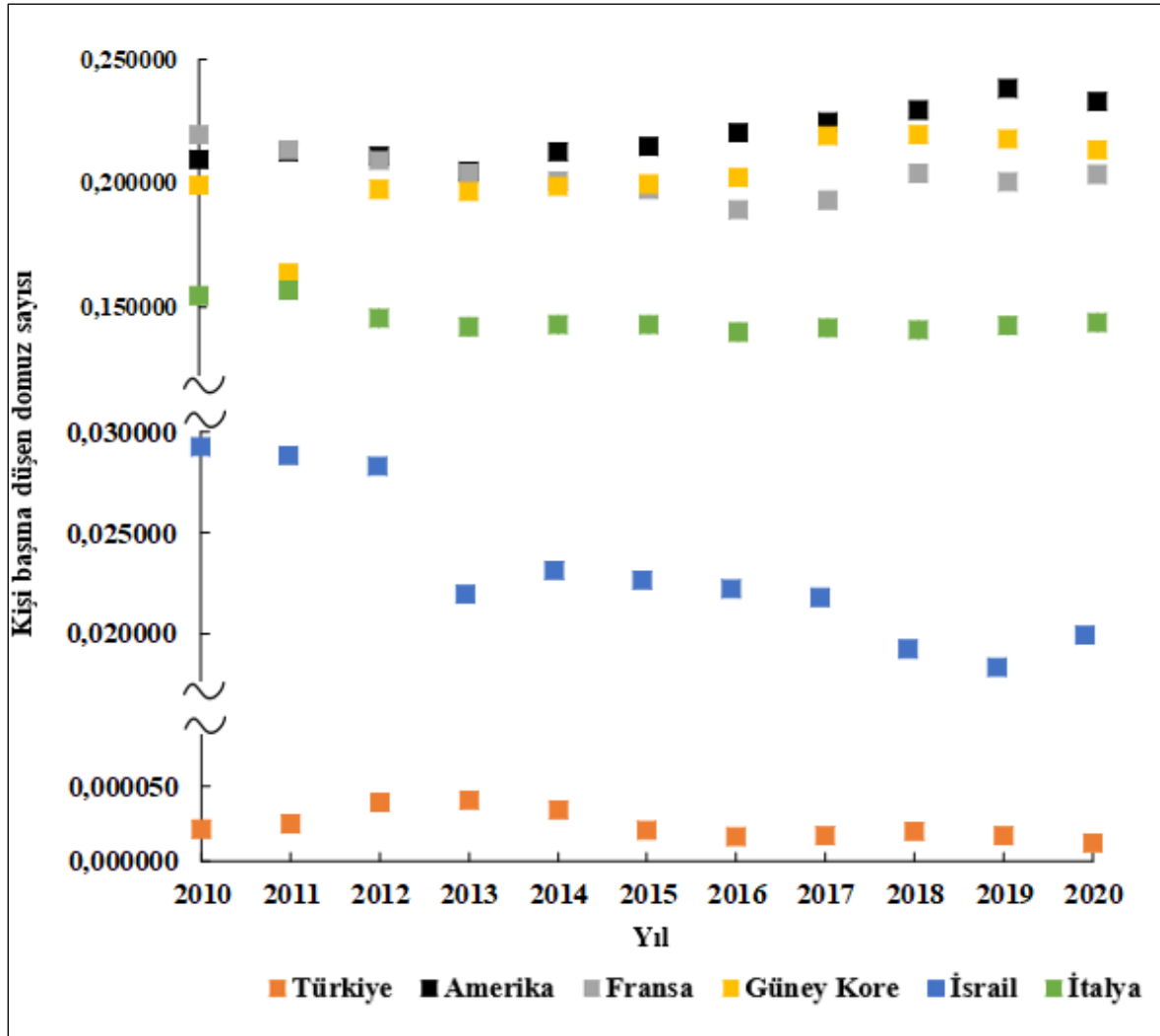
2010-2020 yılları arasındaki Amerika, Fransa, Güney Kore, İsrail ve İtalya ülkelerinin hayvan ve insan nüfusu verileri kullanılarak kişi başına düşen hayvan sayıları hesaplanmış ve sığır, koyun ve domuz için sırasıyla Şekil 4.7-9’da verilmiştir. Buna göre Amerika ve Fransa gibi ülkelerin ekonomik durumu iyi olduğundan kişi başına düşen hayvan sayılarının ortalama değerler etrafında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen sığır sayıları



Şekil 4.8. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen koyun sayıları



Şekil 4.9. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen domuz sayıları

Türkiye’de kişi başına düşen hayvan sayıları ile ilgili genelleme yapılacak olursa 2010-2021 yılları arasındaki değerlerin ortalaması alınabilir. Kişi başına düşen ortalama sığır ve koyun sayıları sırasıyla 0,1894 ve 0,405 olarak elde edilmiştir.

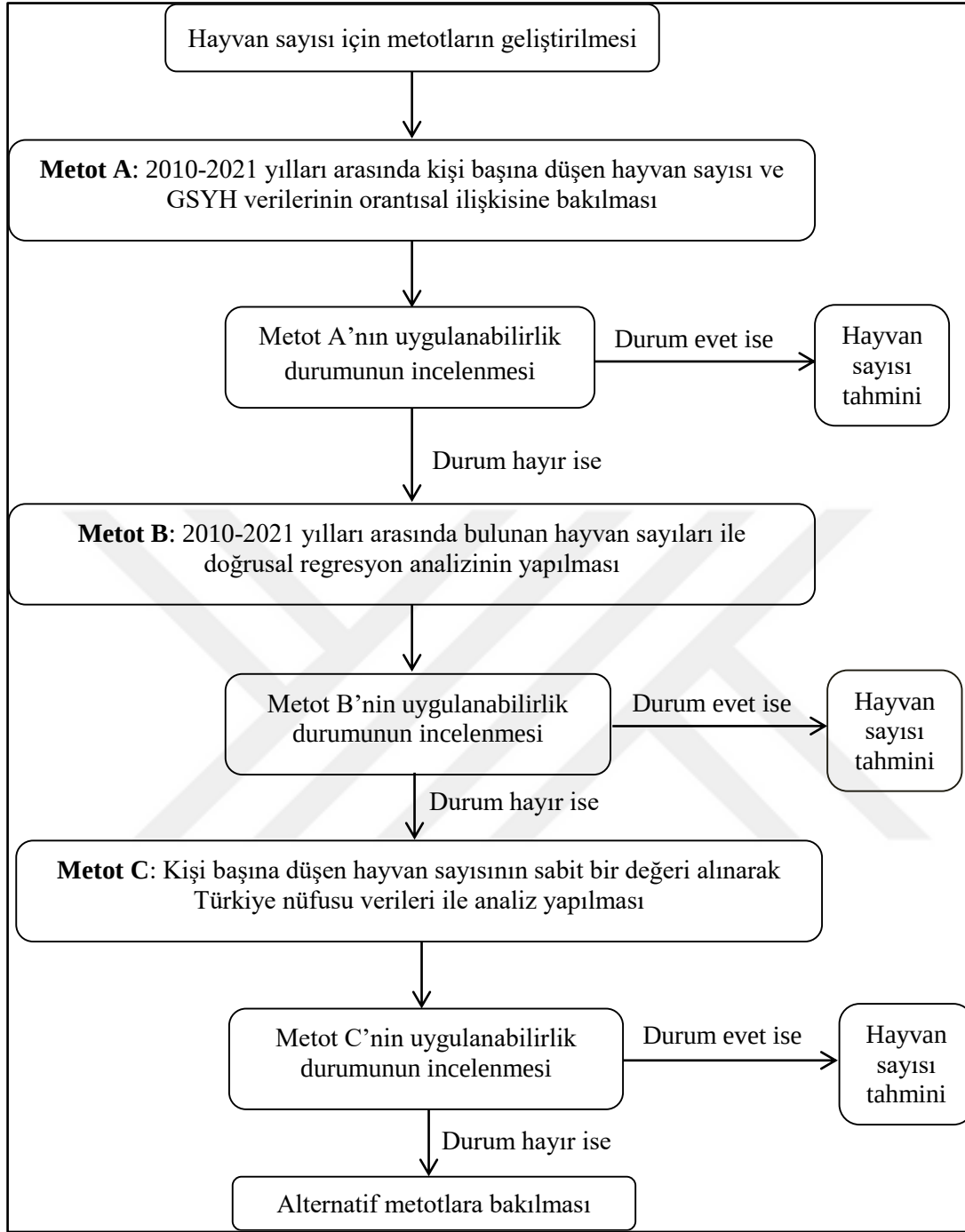
Türkiye ile diğer ülkelerin; hayvan sayısı, GSYH, insan nüfusu ve kişi başına düşen hayvan sayılarının veri incelemesi yapıldıktan sonra Türkiye’nin gelecek yıllardaki hayvan sayısının tahmini için modeller önerilerek geliştirilmiştir. Bu kısım ilerleyen bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

#### 4.2. Hayvan Sayısı Tahmini için Metotların Geliştirilmesi

2022 yılı sonrasında Türkiye'nin hayvan sayısı ile ilgili veri literatürde yer almamaktadır. Gelecek yıllardaki hayvan sayılarını tahmin edebilmek için 3 farklı model üzerinden yöntemler geliştirilmiştir. Bu modellerin sağlıklı sonuçlar vermesi için deneme yanılma yolu kullanılarak incelenmiştir. Aşağıda üç farklı metot listelenmiştir.

- a) 2010-2021 yılları arasında kişi başına düşen hayvan sayısı ve GSYH (\$) verileri ile orantısal ilişkinin olup olmadığının kontrol edilmesi ve tahmini hayvan sayısının bulunması.
- b) 2010-2021 yılları arasındaki hayvan sayısı verileri ile lineer (doğrusal) regresyon metodu uygulanması ve tahmini hayvan sayısının bulunması.
- c) Kişi başına düşen hayvan sayılarının ortalaması alınarak sabit değer kabul edilmesi ve Türkiye insan nüfusu verileri yardımıyla tahmini hayvan sayısının bulunması.

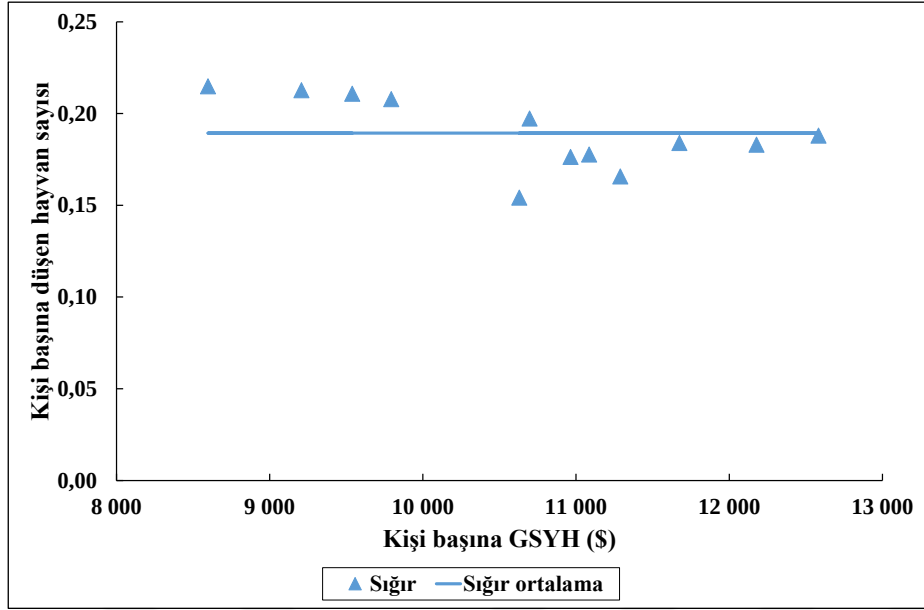
2022 yılı ve sonrası hayvan sayılarının tahmini için Şekil 4.10'da gösterilen metodoloji (yöntem bilimi) akış diyagramı kullanılmıştır.



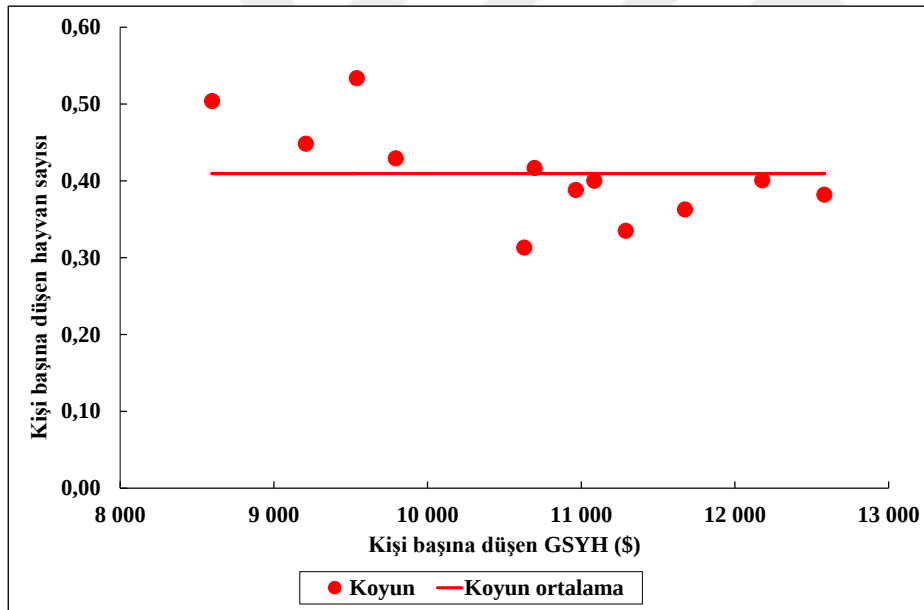
Şekil 4.10. Hayvan sayısı tahmini için metodoloji akış diyagramı

#### 4.2.1. Metot A - 2010-2021 yılları arasında kişi başına düşen hayvan sayısı ve GSYH verilerinin orantısal ilişkisi

Bu metotta 2010-2021 yılları arasında kişi başına düşen hayvan sayısı ile kişi başına düşen GSYH (\$) verileri arasında orantısal ilişkinin olup olmadığı kontrol edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.11 ve 4.12’de sırasıyla sığır ve koyun için verilmiştir.



Şekil 4.11. Kişi başına düşen sığır sayısı ve GSYH verilerinin ilişkisi



Şekil 4.12. Kişi başına düşen koyun sayısı ve GSYH verilerinin ilişkisi

Bu metodun uygulanabilirlik durumu sonuçlar ve tartışma bölümünde yapılmıştır.

#### 4.2.2. Metot B - 2010-2021 yılları arasında hayvan sayıları ile doğrusal regresyon analizinin yapılması

2010-2021 yılları arasında yer alan hayvan sayısı verileri ile doğrusal regresyon metodu uygulanarak gelecek yıllardaki hayvan sayısının tahmini yapılmıştır. Bu doğrultuda



gelecek yıllarda tahmini sığır ve koyun sayıları için geliştirilecek denklemler için aşağıda yer alan Eş. 4.1, 4.2 ve 4.3 kullanılmıştır.

$$P_{hayvan}(t) = at + b \quad (4.1)$$

Eş. 4.1’de  $P_{hayvan}(t)$  zamana bağlı sığır veya koyun sayısını ifade eden bağımlı değişkendir.  $a$ ,  $b$  ve  $t$  ifadeleri ise sırasıyla regresyon doğrusunun eğimi, sabit terim ve zaman (bağımsız değişken) olarak tanımlanmıştır.  $a$  ve  $b$  ifadeleri Eş.4.2 ve Eş. 4.3’te gösterildiği şekilde bulunmuştur. Eş. 4.2 ve 4.3’te yer alan  $\bar{t}$  ifadesi zamanın ortalaması ve  $t_i$  ifadesi ise zamanın gerçek gözlenen değeridir.  $\overline{P_{hayvan}}$  sığır veya koyunun ortalama sayısıdır.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}) \times (P_{hayvan} - \overline{P_{hayvan}})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (4.2)$$

$$b = \overline{P_{hayvan}} - a(\bar{t}) \quad (4.3)$$

2010-2021 yılları arasındaki sığır ve koyun sayısı verileri yardımıyla doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Doğrusal regresyon uygulanan verilerin sonuçları ve literatürden bulunan veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Ek-3’te doğrusal regresyon metodunun örnek hesaplaması verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hayvan sayısı tahmini için doğrusal regresyon analizi

| Yıl  | Sığır, baş | Doğrusal regresyon,<br>sığır | Koyun, baş | Doğrusal regresyon,<br>koyun |
|------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|
| 2010 | 11 369 800 | 11 873 930                   | 23 089 691 | 22 997 694                   |
| 2011 | 12 386 337 | 12 455 387                   | 25 031 565 | 24 754 416                   |
| 2012 | 13 914 912 | 13 036 844                   | 27 425 233 | 26 511 138                   |
| 2013 | 14 415 257 | 13 618 301                   | 29 284 247 | 28 267 860                   |
| 2014 | 14 223 109 | 14 199 758                   | 31 140 244 | 30 024 582                   |
| 2015 | 13 994 071 | 14 781 215                   | 31 507 934 | 31 781 304                   |
| 2016 | 14 080 155 | 15 362 672                   | 30 983 933 | 33 538 026                   |
| 2017 | 15 943 586 | 15 944 129                   | 33 677 636 | 35 294 747                   |

Çizelge 4.2. (devam) Hayvan sayısı tahmini için doğrusal regresyon analizi

|      |            |            |            |            |
|------|------------|------------|------------|------------|
| 2018 | 17 042 506 | 16 525 586 | 35 194 972 | 37 051 469 |
| 2019 | 17 688 139 | 17 107 043 | 37 276 050 | 38 808 191 |
| 2020 | 17 965 482 | 17 688 500 | 42 126 781 | 40 564 913 |
| 2021 | 17 850 543 | 18 269 957 | 45 177 690 | 42 321 635 |

Analiz sonucunda sığır için Eş. 4.4 ve koyun için Eş. 4.5'teki ifadeler geliştirilmiştir. Denklemlerde bağımsız değişken olan  $t$ , yılı ifade ederken; bağımlı değişken olan  $P_{sığır}(t)$  ve  $P_{koyun}(t)$ , zamana bağlı hayvan sayılarını ifade etmektedir.

$$P_{sığır}(t) = 581\,457 \times t - 1\,156\,854\,640; R^2 = 0,91 \quad (4.4)$$

$$P_{koyun}(t) = 1\,756\,721 \times t - 3\,508\,013\,244; R^2 = 0,94 \quad (4.5)$$

$R^2$  değerlerinin 1'e yakın çıkması sonucunda elde edilen denklemler, 2022 yılı sonrası hayvan sayılarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde 2022 yılı sonrası yıllar için hayvan sayısı tahmini sonuçları ve ilgili tartışma bir sonraki bölümde, Çizelge 5.1'de verilmiştir.

#### 4.2.3. Metot C - Kişi başına düşen hayvan sayısının sabit bir değeri ve Türkiye nüfusu verileri ile analiz

Türkiye'nin ekonomisi sürekli değişkenlik gösteren bir modele sahip olduğundan son 10 yıldaki kişi başına düşen hayvan sayısı verilerinin doğru ve kesin sonuç vermeyeceği düşünülmüştür. Bu nedenle uzun dönemli model verisi yerine bugünlerdeki durumu en iyi şekilde yansıtabilmesi için son 3 yılın kişi başına düşen hayvan sayılarının verileri ile hesaplama yapmanın daha sağlıklı sonuçlar vereceği öngörülmüştür.

Son 3 yıla ait (2019-2021) kişi başına düşen ortalama hayvan sayısı ve Türkiye'nin geçmişe dönük ve gelecek yıllarındaki nüfusu (insan) Eş. 4.6 kullanılarak hayvan sayısı modellenmiştir. Türkiye'nin 2022 yılı sonrası nüfus projeksiyonu (tahmin) Ek-4'te verilmiştir [43].

$$P_{hayvan}(t) = P_{insan}(t) \times KBH_{sbt,3} + \varepsilon(t) \quad (4.6)$$

Eş. 4.3'teki ifadeler  $P_{hayvan}(t)$   $t$  yılındaki sığır ve koyun sayısı,  $P_{insan}(t)$   $t$  yılındaki insan nüfusu,  $KBH_{sbt,3}$  son 3 yılın kişi başına düşen ortalama hayvan sayısı ve  $\varepsilon(t)$  zamana bağlı rastgele hata terimidir.

Eş. 4.6 kullanılarak öngörülen hayvan sayıları ile elde edilen grafikler Bölüm 5'te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında sığır ve koyun için sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4'te gösterilmiştir.

### 4.3. Toplam Hayvansal Atık Yağ Miktarının Bulunması

2010-2021 yılları arasında ve gelecek yıllardaki hayvan sayısı bulunduğundan sonra potansiyel biyodizel miktarını hesaplamak için toplam atık yağ miktarının hesaplanması gerekmektedir.

Bu nedenle toplam hayvansal atık yağ miktarını bulmak için geçmiş yıllarda kesilen ve gelecek yıllarda kesilecek hayvan sayısı hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Çünkü Türkiye'de her yıl tüm hayvanlar kesilmemektedir. Belli bir kısmı et, süt üretimi ve hayvan sayısının korunması için yıllar bazında yaşıatılmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 4.3'te 2010-2021 yılları arasında kesilen hayvan sayıları ve yüzdesel oranları verilmiştir [44].

Çizelge 4.3. 2010-2021 yılları arasında kesilen hayvan sayıları ve yüzdesel oranları

| Yıl  | Sığır     | Sığır (%) | Koyun      | Koyun (%) |
|------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 2010 | 2 932 054 | 25,79     | 9 691 041  | 41,97     |
| 2011 | 3 126 378 | 25,24     | 10 700 807 | 42,75     |
| 2012 | 3 421 960 | 24,59     | 10 755 777 | 39,22     |
| 2013 | 3 457 477 | 23,98     | 11 194 725 | 38,23     |
| 2014 | 3 525 209 | 24,79     | 11 991 640 | 38,51     |
| 2015 | 3 706 346 | 26,49     | 12 808 697 | 40,65     |
| 2016 | 3 993 893 | 28,37     | 13 277 503 | 42,85     |
| 2017 | 4 334 034 | 27,18     | 13 244 903 | 39,33     |
| 2018 | 4 844 711 | 28,43     | 14 133 170 | 40,16     |
| 2019 | 4 856 517 | 27,46     | 14 546 576 | 39,02     |
| 2020 | 4 812 902 | 26,79     | 15 801 021 | 37,51     |
| 2021 | 5 134 441 | 28,76     | 17 125 163 | 37,91     |

Kesilen sığır ve koyun sayısının yüzdesel oranlarına bakıldığında yaklaşık aynı değerlerde olduğu görülmüştür. Gelecek yıllarda da aynı oranlarda hayvan kesileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle 2010-2021 yılları arasında verilen verilerin (Bkz. Çizelge 4.3) ortalaması alınarak diğer işlemlere devam edilebilir. Sonuç itibarıyla, kesilen sığır ve koyun değerleri sırasıyla yaklaşık %26 ve %40 olarak alınmıştır. Buradan hareketle 2022 yılı ve sonrası için tahmin edilen hayvan sayısı ve ortalama kesilen hayvan yüzdesi ile hesaplama yapılarak gelecek yıllar için kesilecek hayvan sayısının tahmin edilmesi mümkündür.

Gelecek yıllar içerisinde kesilecek hayvan sayısının tahmini için Eş. 4.7 kullanılmıştır. Geliştirilen metotlar yardımıyla hesaplanan hayvan sayısı tahmin değerleri, sığır ve koyun için bulunan ortalama yüzdesel oranlar çarpılarak gelecek yıllardaki kesilecek sığır ve koyun sayıları bölüm 5'te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Şekil 5.7'deki gibi elde edilmiştir.

$$P_{kh}(t) = P_{hayvan}(t) \times (\%KH_{ort.}) + \varepsilon(t) \quad (4.7)$$

Eş. 4.4'teki ifadeler;  $P_{kh}(t)$   $t$  yılındaki kesilecek hayvan sayısı,  $P_{hayvan}(t)$  metot B yöntemi ile tahmin edilen hayvan sayısı ve  $KH_{ort}$  ortalama kesilen hayvan sayısı ve  $\varepsilon(t)$  zamana bağlı rastgele hata terimidir.

Gelecek yıllarda ne kadar hayvanın kesileceği hakkında bilgi sahibi olduktan sonra ayrıca hayvan başına düşen atık yağ miktarının da literatürden bulunması gerekmektedir. Böylelikle Türkiye'de ortaya çıkan toplam hayvansal atık yağ miktarı hakkında yorum yapılabilecektir. Literatür taraması sonucunda farklı türdeki hayvanlardan ortaya çıkan atık yağ miktarları Çizelge 4.4'te listelenmiştir. Buradan hareketle, Türkiye'deki sığır ve koyunun canlı ağırlıkları ile doğru orantı kurularak hayvan başına düşen atık yağ miktarları bulunmuştur.

Çizelge 4.4. Hayvanların canlı ağırlık, karkas, atık yağ ve atık yağ oranları

| Hayvan | Canlı ağırlık<br>(kg) | Karkas<br>(kg) | Atık yağ<br>(kg) | Atık yağ oranı<br>(%) | Kaynaklar |
|--------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------|-----------|
| Sığır  | 600                   | 378            | 24               | 4                     | [45]      |
| Sığır  | 393                   | 205,5          | 14,9             | 3,8                   | [15]      |

Çizelge 4.4. (devam) Hayvanların canlı ağırlık, karkas, atık yağ ve atık yağ oranları

|       |     |      |     |      |      |
|-------|-----|------|-----|------|------|
| Sığır | 635 | 399  | 20  | 3,15 | [46] |
| Koyun | 60  | 37,5 | 1,8 | 3    | [45] |
| Domuz | 100 | 77,5 | 3   | 3    | [45] |

Türkiye’deki farklı ırklara ait sığır ve koyun canlı ağırlıkları Et ve Süt Kurumu’ndan (ESK) alınmıştır [47]. Çizelge 4.5’te yerli sığır ve koyunun farklı ırklara ait canlı ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 4.5. Türkiye’deki sığır ve koyunun farklı ırklara göre canlı ağırlıkları

| İrklar                 | Canlı ağırlık (kg) |
|------------------------|--------------------|
| Sığır                  |                    |
| Boz                    | 425                |
| Yerli Kara             | 300                |
| Doğu Anadolu Kırmızısı | 400                |
| Koyun                  |                    |
| Orta Anadolu Merinosu  | 55-70              |
| Karacabey Merinosu     | 60-90              |

Bu değerlerin ortalaması alınarak (Bkz. Çizelge 4.5) sığır ve koyunun ortalama canlı ağırlıkları sırasıyla yaklaşık 375 kg ve 69 kg bulunmuştur [47].

Türkiye’deki canlı hayvan ağırlıkları (Bkz. Çizelge 4.5) ile literatürdeki canlı hayvan ağırlıkları (Çizelge 4.4) arasında benzerlik kurularak hangi çalışmadaki atık yağ miktarının kullanılması gerektiğine karar verilmiştir. Çizelge 4.4’te yer alan veriler yardımıyla doğru orantı kurularak Türkiye’deki sığır ve koyun için hayvan başına atık yağ miktarları sırasıyla 14,22 kg ve 2,07 kg olarak hesaplanmıştır.

1 baş sığır ve 1 baş koyuna düşen atık yağ miktarları bulunduktan sonra sığır ve koyun için sırasıyla Eş. 4.8 ve Eş. 4.9 kullanılarak 2010-2030 yılları arasındaki hayvansal atık yağ miktarları hesaplanmıştır.

$$SAY(t) = P_{kh}(t) \times HBAY_{sbt} + \varepsilon(t) \quad (4.8)$$

$$KAY(t) = P_{kh}(t) \times HBAY_{sbt} + \varepsilon(t) \quad (4.9)$$

$SAY(t)$  ve  $KAY(t)$   $t$  yılındaki kg cinsinden sığır ve koyunun atık yağ miktarı,  $HBAY_{sbt}$  kg cinsinden hayvan başına düşen atık yağ miktarı,  $P_{kh}(t)$   $t$  yılındaki kesilen hayvan sayısını ve  $\varepsilon(t)$  zamana bağlı rastgele hata terimini ifade etmektedir. Her bir hayvan için atık yağ miktarı bulunduktan sonra toplam atık yağ miktarı Eş. 4.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$THAY(t) = SAY(t) + KAY(t) + \varepsilon(t) \quad (4.10)$$

$THAY(t)$   $t$  yılındaki kg cinsinden toplam hayvan atık yağıdır. Hesaplama sonucunda, geçmişe dönük ve gelecek yıllar için toplam hayvansal atık yağ miktarları bölüm 5'te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Çizelge 5.3'te verilmiştir.

#### 4.4. Potansiyel Biyodizel Üretim Miktarının Bulunması

Toplam hayvansal atık yağ miktarının elde edilmesi sonucunda Eş. 4.11 yardımıyla yıllara göre potansiyel biyodizel miktarı bulunması amaçlanmaktadır. Buna göre; hammadde kaynağı olan hayvansal atık yağlarının belli bir kısmının biyodizel üretiminde kullanılması ihtimaline göre üç farklı ulaşılabilirlik faktörü (%10=0,1; %50=0,5; %100=1,0) göz önünde bulundurulmuştur. Geçmişe dönük (2010-2021 arasında) ve gelecek yılların (2022-2030) farklı değerlerdeki ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel kapasitesi hesaplanmış ve bölüm 5'te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Çizelge 5.4-6'da listelenmiştir.

$$B_{HAY}(t) = THAY(t) \times B_{hayo} / \rho_b \times UF + \varepsilon(t) \quad (4.11)$$

$B_{HAY}(t)$   $t$  yılında hayvan atık yağından litre cinsinden elde edilen biyodizel miktarı,  $THAY(t)$   $t$  yılında ton cinsinden toplam hayvan atık yağı miktarı,  $B_{hayo}$  stokiyometrik olarak 1 kg hayvansal atık yağdan üretilen kg cinsinden biyodizel miktarı,  $\rho_b$  kg/L cinsinden biyodizel yoğunluğu,  $UF$  ulaşılabilirlik faktörü ve  $\varepsilon(t)$  rastgele hata terimidir.

Aynı zamanda elde edilen sonuçlar ile potansiyel biyodizel üretim kapasitelerine göre biyodizelin Türk lirası (TL) cinsinden net değeri Eş. 4.12 kullanılarak hesaplanmıştır.

Bölüm 5'te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Çizelge 5.4-6'te biyodizelin Türk lirası cinsinden net değerleri yıllara göre verilmiştir.

Biyodizel yoğunluğu 0,87 kg/L'dir [48]. Biyodizelin enerji içeriği 33,0 MJ/L, dizelin enerji içeriği 35,8 MJ/L olarak literatürden bulunmuştur [49]. 2022 yılı dizel fiyatı ortalama 24 TL olarak sabit alınmıştır [50].

$$ND_{b2022}(t) = B_{HAY}(t) \times \frac{EI_b}{EI_d} \times F_d(t) + \varepsilon(t) \quad (4.12)$$

$ND_{b2022}(t)$  2022 yılı sonundaki ortalama dizel fiyatına göre  $t$  yılında biyodizelin TL cinsinden net değeri,  $B_{HAY}(t)$   $t$  yılındaki hayvan atık yağından litre cinsinden biyodizel eldesi,  $EI_b$  biyodizelin enerji içeriği, MJ/L,  $EI_d$  dizelin enerji içeriği, MJ/L,  $F_d(t)$  dizelin ortalama satış fiyatı ve  $\varepsilon(t)$  rastgele hata terimidir.

#### 4.5. Biyodizel Üretim Oranının Bulunması

Türkiye'de hâlihazırda üretilmekte olan biyodizel üretim kaynakları ve kapasiteleri araştırılmıştır. Literatür taraması sonucunda Türkiye'de hammaddesi bitkisel yağlar veya atık yemeklik yağlardan biyodizel üretildiği görülmüştür [51]. Türkiye'de üretilen biyodizelin ton ve litre cinsinden yıllık üretim miktarları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ek-6'da Türkiye'de bulunan yerli firmaların yıllık biyodizel üretim kapasiteleri detaylı olarak verilmiştir [51].

Çizelge 4.6. Türkiye'de bitkisel yağlardan veya atık yemeklik yağlardan elde edilen biyodizelin yıllık toplam üretim miktarları

| Yıl  | Biyodizel üretimi (Ton) | Biyodizel üretimi* (Litre) |
|------|-------------------------|----------------------------|
| 2010 | 7 460                   | 8 574 713                  |
| 2011 | 11 646                  | 13 386 207                 |
| 2012 | 17 729                  | 20 378 161                 |
| 2013 | 21 876                  | 25 144 828                 |
| 2014 | 32 240                  | 37 057 471                 |
| 2015 | 69 216                  | 79 558 621                 |
| 2016 | 64 105                  | 73 684 336                 |
| 2017 | 65 603                  | 75 406 317                 |

Çizelge 4.6. (devam) Türkiye’de bitkisel yağlardan veya atık yemeklik yağlardan elde edilen biyodizelin yıllık toplam üretim miktarları

|      |         |             |
|------|---------|-------------|
| 2018 | 108 376 | 124 570 415 |
| 2019 | 118 391 | 136 082 094 |
| 2020 | 74 576  | 85 719 255  |
| 2021 | 59 394  | 68 269 316  |

\*Biyodizelin yoğunluğu: 870 kg/m<sup>3</sup>

2021 yılı itibariyle 2010-2021 yılları arasında Türkiye’de bitkisel yağlar veya atık yemeklik yağlardan yaklaşık olarak toplam 651 bin ton ve ortalama olarak 54 bin ton biyodizel üretildiği görülmüştür. Önceki bölümde hesaplanan potansiyel biyodizel üretim kapasiteleri verileri ile Türkiye’de hâlihazırda üretilen biyodizel üretim kapasiteleri arasında üretim oranı hesabı aşağıda gösterilen Eş. 4.13 ile yapılmıştır.

$$\text{Üretim oranı} = \left( \frac{\text{Potansiyel biyodizel üretim miktarı}}{\text{Türkiye’de üretilen biyodizel üretim miktarı}} \right) \times 100 \quad (4.13)$$

Buradan hareketle 3 farklı ulaşılabilirlik faktörüne göre hesaplanan biyodizel üretim miktarları ile literatürden bulunan biyodizel üretim kapasiteleri arasında oranlar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar bölüm 5’te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Çizelge 5.7-9’da verilmiştir.

#### 4.6. Biyodizelin CO<sub>2</sub> Gazı Kazanım Oranının Bulunması

Biyodizel, dizel yakıtın direkt alternatifi olarak ulaşım sektöründe kullanılmaktadır [52]. Bu sebeple bu tez çalışmasında teorik olarak üretilebilecek biyodizelin ulaşım sektöründe kullanılması ile elde edilebilecek çevresel kazanımlar hesaplanmıştır.

Bölüm 3’te bahsedildiği üzere petrol bazlı dizel yakıtı nazaran biyodizelin yanması durumunda atmosfere salınan CO<sub>2</sub> gazı %80 daha azdır [12,20]. Buradan hareketle dizel yakıtı ve soyadan elde edilen biyodizele göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları hesaplanmıştır. 2010-2030 yılları arasında hayvansal atık yağlardan %10, %50 ve %100 ulaşılabilirlik faktörüne üretilebilecek olan biyodizelin ulaşım sektöründe kullanılması sonucundan sağlanacak teorik CO<sub>2</sub> gazı emisyon kazanım miktarları bölüm 5’te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Çizelge 5.10-12’de sırasıyla listelenmiştir.



Çizelge 4.7’de ulaştırma sektöründe kullanılan petrol, dizel vb. yakıtlardan dolayı oluşan CO<sub>2</sub> emisyon miktarı verilmiştir [53]. 2010-2020 yılları arasındaki CO<sub>2</sub> emisyon miktarlarına bakıldığında 2017 yılında 83 milyon ton CO<sub>2</sub> ile en yüksek seviyede emisyon oluşmuştur. 2017 yılından sonra emisyon miktarı azalarak 2020 yılında en düşük seviyede CO<sub>2</sub> miktarı elde edilmiştir. Ancak 2010 yılındaki CO<sub>2</sub> miktarının o zamanki şartlarda otomobil vs. ulaşım araçlarının mevcut durumdaki kadar yaygın kullanılmadığı durumu değerlendirilebilir.

Çizelge 4.7. Ulaşım sektör bazlı yıllık CO<sub>2</sub> emisyon miktarları (ton)

| Yıl  | Ulaşım sektörü CO <sub>2</sub> emisyonu, ton |
|------|----------------------------------------------|
| 2010 | 44 382 598                                   |
| 2011 | -                                            |
| 2012 | -                                            |
| 2013 | -                                            |
| 2014 | -                                            |
| 2015 | 74 271 577                                   |
| 2016 | 80 207 781                                   |
| 2017 | 83 064 082                                   |
| 2018 | 82 902 425                                   |
| 2019 | 80 745 148                                   |
| 2020 | 79 032 479                                   |

Farklı oranlardaki ulaşılabilirlik faktörüne göre teorik olarak hesaplanan CO<sub>2</sub> emisyon kazanımları, ulaştırma ile meydana gelen CO<sub>2</sub> gaz salınım miktarları arasında oran kurulmuştur. Elde edilen sonuçlar bölüm 5’te yer alan sonuçlar ve tartışma kısmında Çizelge 5.13-15’te verilmiştir.

Bu bölümde, literatür araştırması sonucunda elde edilen verilerin işlenmesi ile uygun analiz yöntemleri geliştirilerek çalışmalar yürütölmüştür. Takip eden bölümde bu analizlerin sonuçları verilerek sonuçların tartışmaları yapılmıştır.

#### 4.7. Model Doğruluğunun İncelenmesi

Geliştirilen tahmin modellerin doğruluğu zaman çizelgesi serileri ile karşılaştırılmıştır. İlk metot olarak, ortalama karekök hatası (Root Mean Squared Error, RMSE) metodu uygulanmıştır ve denklemi Eş.4.14'da gösterilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^N \frac{(\hat{y}_t - y_t)^2}{N}} \quad (4.14)$$

Denklemde yer alan  $\hat{y}_t$  t yılında tahmin edilen değeri ve  $y_t$  t yılındaki gerçek değeri ifade eder. İkinci metot olan ortalama mutlak yüzde hatası (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) aynı şekilde tahmin değerleri gerçek zaman serisi verileriyle yapılmıştır. Eş. 4.15'de gösterilmiştir.

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right| \times \%100 \quad (4.15)$$

Tahminlerin doğruluğu, hata tahminine göre değerlendirilir, dolayısıyla RMSE ve MAPE değeri ne kadar küçük olursa, tahmin o kadar iyi olur [54]. Elde edilen MAPE değerleri dikkate alınarak modellerin doğruluğunun incelenmesi ve sonuçların yorumlanması için Çizelge 4.8'de tahmin doğruluğunun kriterleri yer almaktadır [55,56].

Çizelge 4.8. Tahmin doğruluğu için MAPE sonuçlarının yorumlanması

| MAPE değerleri   | Tahmin doğruluğu        |
|------------------|-------------------------|
| MAPE < %10       | Çok iyi tahmin          |
| %11 < MAPE < %20 | İyi tahmin              |
| %21 < MAPE < %50 | Kabul edilebilir tahmin |
| MAPE > %51       | Hatalı tahmin           |

Elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te detaylı olarak verilmiş ve karşılaştırılmıştır.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamındaki çalışmada elde edilen sonuçlar ve bunların bilimsel tartışması bu bölümde verilmiştir.

### 5.1. Hayvan Sayısı Tahmini için Geliştirilen Metotlar

Geliştirilen üç farklı metodun sonuçları verilerek incelemesi yapılmıştır. En uygun metodun bulunması sonucunda tahmini hayvan sayısı hesaplanmıştır.

#### 5.1.1. Metot A ile ilgili elde edilen sonuçlar ve tartışma

Bu metotta kişi başına düşen hayvan sayısı ve GSYH değerleri arasında bağlantı kurulamadığı için yalnızca kişi başına düşen hayvan sayısı hakkında net bir yorum yapmak mümkün değildir. GSYH değerlerinin artması ya da azalması kişi başına düşen hayvan sayıları arasında bir benzerlik kurulamamıştır. İki değerlerin aralarındaki fark çok yüksek olduğu için bu metot ile herhangi bir model yöntemi geliştirilmemiştir. Bu metodun uygulanması geçerli olmadığı için sıradaki Metot B'nin uygulanabilirliği incelenmiştir.

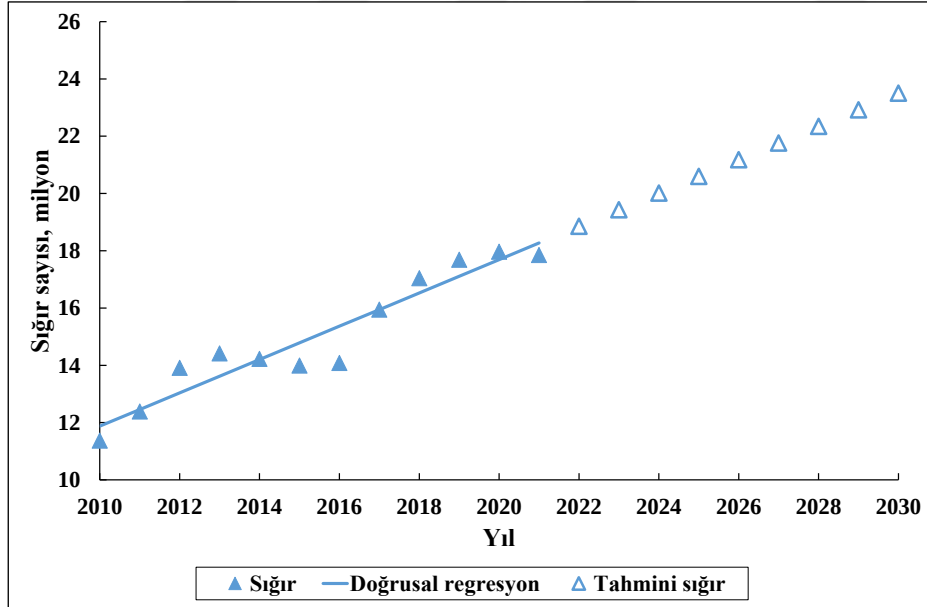
#### 5.1.2. Metot B ile ilgili elde edilen sonuçlar ve tartışma

Bölüm 4'te açıklandığı üzere, 2010-2021 yılları arasında geçmişe dönük hayvan sayıları kullanılarak doğrusal regresyon metodu uygulanmıştır. Bağımsız değişken yıl ( $t$ ) ve bağımlı değişken hayvan sayıları ( $P_{sığır}$  ve  $P_{koyun}$ ) tanımlanarak doğrusal denklemler elde edilmiştir. Sığır için Eş. 4.4 ve koyun için Eş. 4.5 denklemleri kullanılarak gelecek yıllardaki hayvan sayısı hesaplanmıştır. 2022 yılı sonrası için doğrusal regresyon metodu kullanılarak elde edilen tahmini sığır ve koyun sayıları Çizelge 5.1'de listelenmiştir.

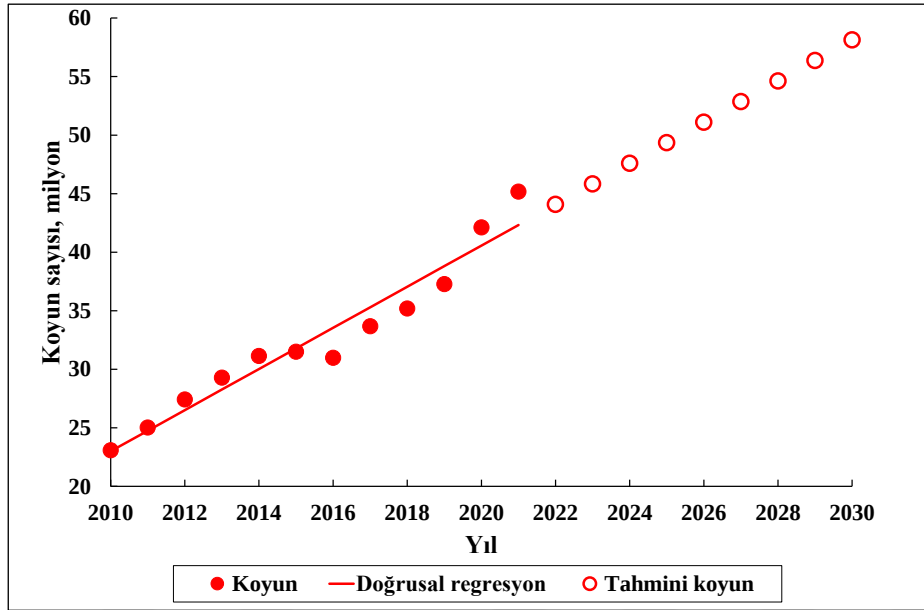
Çizelge 5.1. Doğrusal regresyon ile hesaplanan hayvan sayısı tahmini

| Yıl  | Sığır tahmini | Koyun tahmini |
|------|---------------|---------------|
| 2022 | 18 852 298    | 44 076 618    |
| 2023 | 19 433 756    | 45 833 339    |
| 2024 | 20 015 213    | 47 590 060    |
| 2025 | 20 596 670    | 49 346 781    |
| 2026 | 21 178 128    | 51 103 502    |
| 2027 | 21 759 585    | 52 860 223    |
| 2028 | 22 341 043    | 54 616 944    |
| 2029 | 22 922 500    | 56 373 665    |
| 2030 | 23 503 958    | 58 130 386    |

Elde edilen sonuçların doğrultusunda TÜİK'ten alınan 2010-2021 yılları arasındaki hayvan sayıları ve doğrusal regresyon yöntemi ile hesaplanan hayvan sayıları, sığır için Şekil 5.1 ve koyun için Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Doğrusal regresyon ile sığır sayısı tahmini



Şekil 5.2. Doğrusal regresyon ile koyun sayısı tahmini

Elde edilen bulgular doğrultusunda, 2010-2021 yılları arasındaki veriler ile doğrusal regresyon uygulanarak elde edilen tahmini sığır ve koyun sayıları, geçmişe dönük veriler ile oldukça güzel sonuç vermiştir. Gelecek yıllarda da grafiklerde gösterildiği üzere doğrusal bir şekilde hayvan sayısında artış olabileceği düşünülebilir. Bu metodun uygulanabilirliği Metot C'nin incelenmesinden sonra karar verilmiştir.

### 5.1.3. Metot C ile ilgili elde edilen sonuçlar ve tartışma

Bölüm 4'te açıklandığı üzere, Türkiye için nüfus menşeli yöntem kullanılarak geliştirilen bu metotta, son 3 yılın ortalama kişi başına düşen hayvan sayısı ve Türkiye'nin nüfus tahmin verileri arasında bir model geliştirilmiştir. Gelecek yıllar için hesaplanan sığır ve koyun sayısının sayısal değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

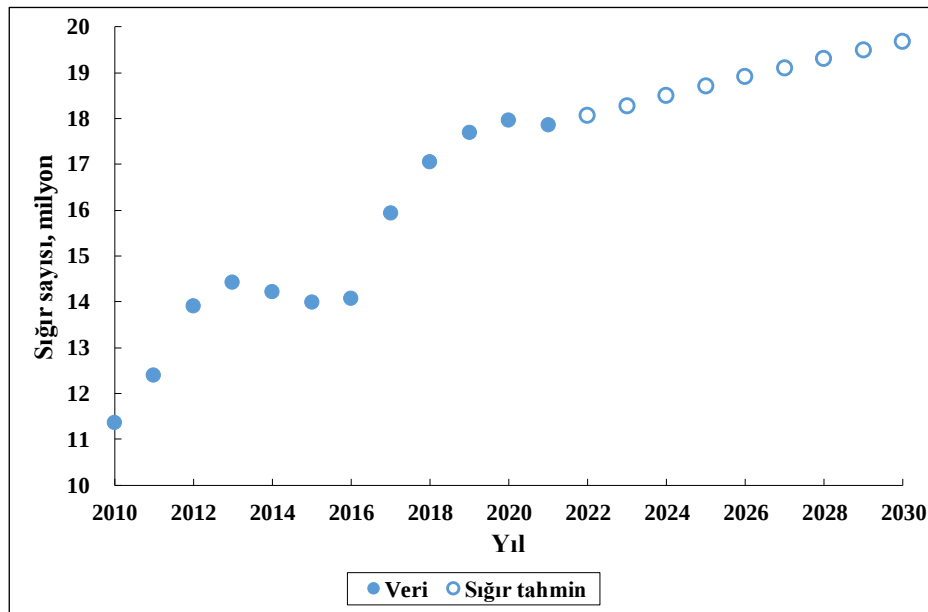
Çizelge 5.2. Metot C ile yapılan 2021 yılı sonrası için hayvan sayısı tahmini

| Yıl  | Sığır sayısı | Koyun sayısı |
|------|--------------|--------------|
| 2022 | 18 067 809   | 42 046 860   |
| 2023 | 18 281 106   | 42 543 238   |
| 2024 | 18 493 117   | 43 036 622   |
| 2025 | 18 701 270   | 43 521 030   |
| 2026 | 18 905 414   | 43 996 108   |

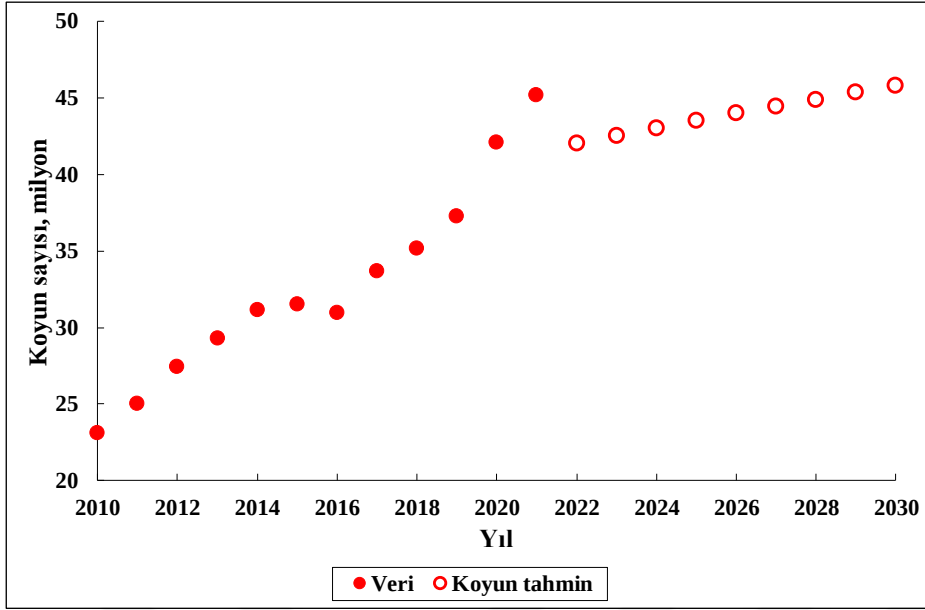
Çizelge 5.2.(devam) Metot C ile yapılan 2021 yılı sonrası için hayvan sayısı tahmini

|      |            |            |
|------|------------|------------|
| 2027 | 19 105 363 | 44 461 423 |
| 2028 | 19 300 921 | 44 916 521 |
| 2029 | 19 491 905 | 45 360 973 |
| 2030 | 19 678 141 | 45 794 375 |

Bunun sonucunda geriye dönük hayvan sayıları ve gelecek yıllar için hesaplanan hayvan sayıları Şekil 5.3 ve 5.4'te sırasıyla sığır ve koyun için verilmiştir.



Şekil 5.3. Metot C ile yapılan sığır sayısı tahmini

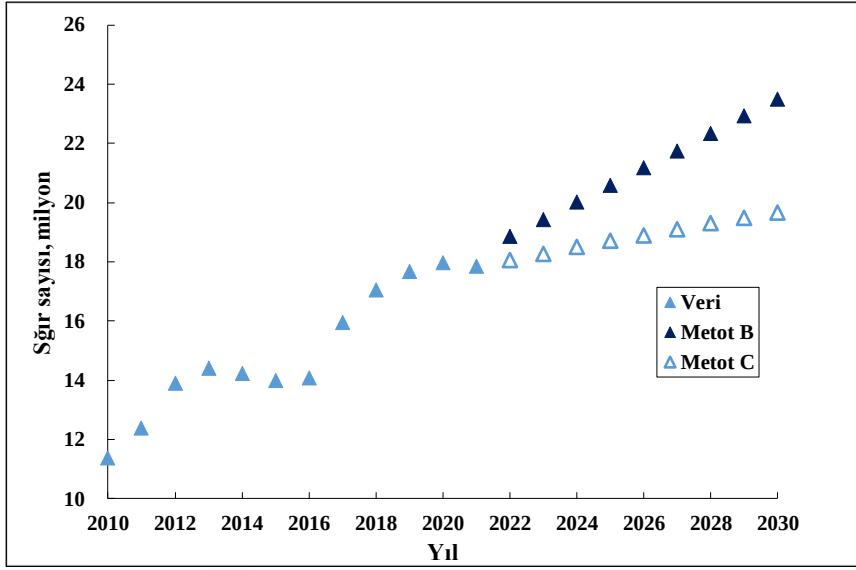


Şekil 5.4. Metot C ile yapılan koyun sayısı tahmini

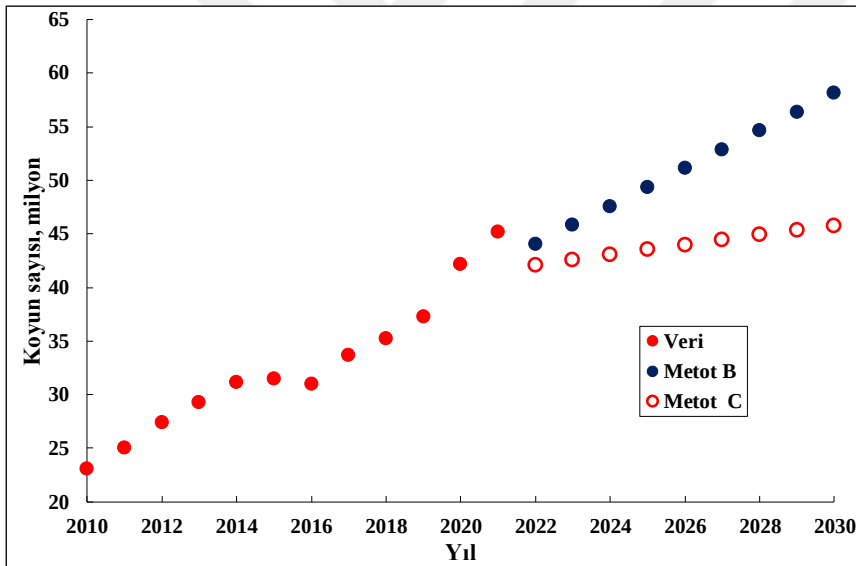
Sonuçlar detaylı olarak incelendiğinde elde edilen hayvan sayısı tahminlerinin geçmiş yıllardaki hayvan sayılarına paralel bir artış trendi göstermektedir. Hayvan sayısının gelecek yıllarda oluşturulan bu modeldeki gibi artış göstereceği göz önünde bulundurulabilir.

#### 5.1.4. Metot B ve metot C'nin karşılaştırılması

Hangi metodun (Metot B veya C) gelecek yıllar için sağlıklı sonuçlar vereceğini görmek için Şekil 5.5 ve 5.6'da grafikleri çizilmiş ve detaylı bir şekilde incelenmiştir.



Şekil 5.5. Sığır için metot B ve metot C'nin karşılaştırılması



Şekil 5.6. Koyun için metot B ve metot C'nin karşılaştırılması

Gelecek yıllardaki hayvan sayısı tahmini için sadece zamana bağlı verilerinin kullanılması sağlıklı olmayacağı farz edilmektedir. Bununla birlikte son 3 yılın ortalama kişi başına düşen hayvan sayısı alınarak yapılan hesaplama (Metot C) sonucunda Türkiye nüfusuna bağlı olarak hayvan sayısının tahmin edilmesinin daha sağlıklı olabileceği düşünülmektedir. Türkiye'nin ekonomik ve sosyal durumu göz önüne alındığında ve 06.02.2023 tarihinde ülkede hayvancılığının önemli bir kısmının yapıldığı güney doğu ve doğu bölgelerinde yaşanan büyük deprem felaketi sonucunda ülkedeki hayvan sayılarının gelecek yıllarda Metot B yerine Metot C'de tasvir edilen daha ölçülü bir artış desenini

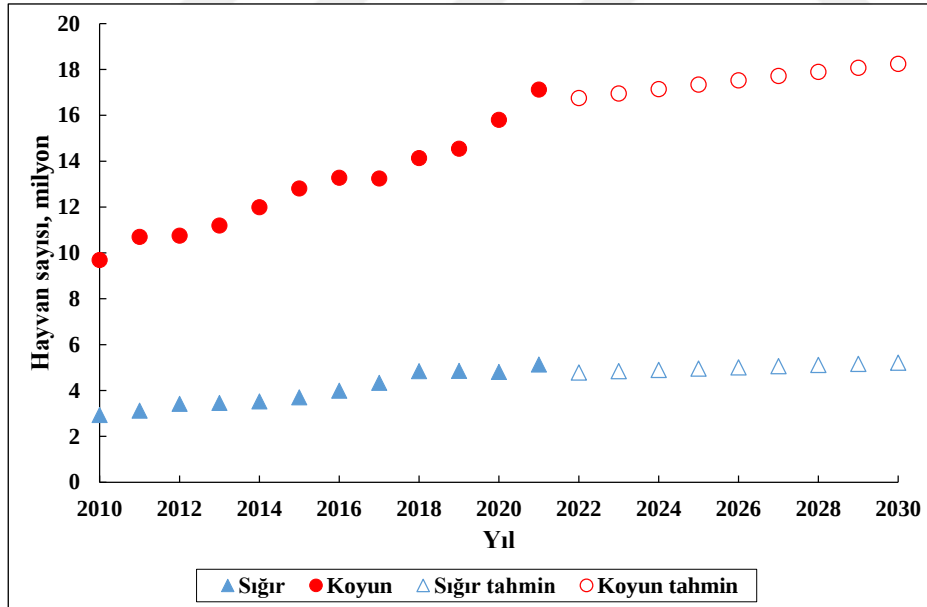


takip edeceği öngörülmektedir. Türkiye'nin yıllar içinde ekonomisinin daha iyi olması ve deprem felaketinin yaralarının sarılması sonucunda ise Metot C'den Metot B'ye doğru bir kayma olabileceğinde göz önüne alındığından Metot B yine bu tez çalışması kapsamında verilmiş; fakat biyodizel menşeli hesaplar için daha uygun ve hassas olacağı için Metot C ile devam edilmiştir.

## 5.2. Toplam Hayvansal Atık Yağ Miktarı

Bu aşamada öncelikle gelecek yıllar için kesilecek hayvan sayısı tahmin edilmiştir. Ardından hayvan başına oluşan atık yağ miktarı bulunmuş ve kesilecek hayvan sayısına göre oluşan toplam hayvansal atık yağ miktarı hesaplanmıştır.

Bölüm 4'te bahsedildiği üzere, 2022 yılı sonrası için Metot C ile hesaplanan tahmini hayvan sayısı ve ortalama kesilen hayvan (sığır ve koyun) yüzdesel oranları ile Eş. 4.7 kullanılarak gelecek yıllardaki kesilecek sığır ve koyun sayıları hesaplanmış ve Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. 2021 yılında sonra kesilecek tahmini hayvan sayıları (sığır ve koyun)

Buradan hareketle hayvan kesiminden ortaya çıkan atık yağ miktarları (Bkz. Çizelge 4.5) ile Türkiye'de bulunan hayvanların canlı ağırlıkları arasında doğru orantı kurulmuştur. Türkiye'deki sığır ve koyun için hayvan başına atık yağ miktarları sırasıyla 14,22 kg ve

2,07 kg olarak hesaplanmıştır. Buradan hareketle, yıllara göre hesaplanan hayvansal atık yağ miktarları Çizelge 5.3’de listelenmiştir.

Çizelge 5.3. 2010-2030 yılları arasında hayvansal atık yağ miktarları

| Yıl  | Sığır atık yağ<br>(ton) | Koyun atık yağ<br>(ton) | Toplam atık yağ<br>(ton) | Veri Türü (Veri<br>veya Model<br>sonucu) |
|------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------------------------|
| 2010 | 41 694                  | 20 060                  | 61 754                   | Veri                                     |
| 2011 | 44 457                  | 22 151                  | 66 608                   | Veri                                     |
| 2012 | 48 660                  | 22 264                  | 70 925                   | Veri                                     |
| 2013 | 49 165                  | 23 173                  | 72 338                   | Veri                                     |
| 2014 | 50 128                  | 24 823                  | 74 951                   | Veri                                     |
| 2015 | 52 704                  | 26 514                  | 79 218                   | Veri                                     |
| 2016 | 56 793                  | 27 484                  | 84 278                   | Veri                                     |
| 2017 | 61 630                  | 27 417                  | 89 047                   | Veri                                     |
| 2018 | 68 892                  | 29 256                  | 98 147                   | Veri                                     |
| 2019 | 69 060                  | 30 111                  | 99 171                   | Veri                                     |
| 2020 | 68 439                  | 32 708                  | 101 148                  | Veri                                     |
| 2021 | 73 012                  | 35 449                  | 108 461                  | Veri                                     |
| 2022 | 68 059                  | 34 676                  | 102 735                  | Model sonucu                             |
| 2023 | 68 863                  | 35 085                  | 103 948                  | Model sonucu                             |
| 2024 | 69 661                  | 35 492                  | 105 153                  | Model sonucu                             |
| 2025 | 70 445                  | 35 891                  | 106 337                  | Model sonucu                             |
| 2026 | 71 214                  | 36 283                  | 107 497                  | Model sonucu                             |
| 2027 | 71 968                  | 36 667                  | 108 634                  | Model sonucu                             |
| 2028 | 72 704                  | 37 042                  | 109 746                  | Model sonucu                             |
| 2029 | 73 424                  | 37 409                  | 110 832                  | Model sonucu                             |
| 2030 | 74 125                  | 37 766                  | 111 891                  | Model sonucu                             |

Çizelge 5.3’de verildiği üzere Türkiye’de kesilen hayvanlardan 2010, 2020 ve 2030 yıllarında yaklaşık olarak 62 bin, 101 bin ve 112 bin ton hayvansal atık yağının ortaya çıkabileceği hesaplanmıştır. Bu miktarda atık yağın sürdürülebilir bir şekilde bertaraf edilmesi ve/veya biyodizel üretiminde kullanılması Türkiye için elzemdir.

### 5.3. Potansiyel Biyodizel Üretim Miktarı ve Net Değerleri (TL)

Elde edilen toplam hayvansal atık yağ miktarı üç farklı ulaşılabilirlik faktörü göz önünde bulundurularak potansiyel biyodizel üretim miktarları ton ve litre cinsinden hesaplanmıştır. Aynı zamanda hayvansal atık yağlardan üretilmesi beklenen biyodizelin, dizele eşdeğer ve dizel net değeri (TL) de hesaplanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar ulaşılabilirlik faktörüne göre Çizelge 5.4-6'te listelenmiştir.

Çizelge 5.4. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri

| Yıl  | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | %10 Ulaşılabilirlik Faktörü    |                       |                                    |
|------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
|      |                                  | Biyodizelin dizel eşdeğeri (L) | Dizel net değeri (TL) | Potansiyel biyodizel üretimi (Ton) |
| 2010 | 7 098 191                        | 6 543 025                      | 163 575 633           | 6 175                              |
| 2011 | 7 656 065                        | 7 057 267                      | 176 431 666           | 6 661                              |
| 2012 | 8 152 268                        | 7 514 660                      | 187 866 506           | 7 092                              |
| 2013 | 8 314 759                        | 7 664 443                      | 191 611 067           | 7 234                              |
| 2014 | 8 615 077                        | 7 941 272                      | 198 531 794           | 7 495                              |
| 2015 | 9 105 545                        | 8 393 380                      | 209 834 490           | 7 922                              |
| 2016 | 9 687 079                        | 8 929 431                      | 223 235 765           | 8 428                              |
| 2017 | 10 235 277                       | 9 434 753                      | 235 868 821           | 8 905                              |
| 2018 | 11 281 316                       | 10 398 979                     | 259 974 469           | 9 815                              |
| 2019 | 11 398 975                       | 10 507 435                     | 262 685 881           | 9 917                              |
| 2020 | 11 626 159                       | 10 716 850                     | 267 921 253           | 10 115                             |
| 2021 | 12 466 763                       | 11 491 709                     | 287 292 724           | 10 846                             |
| 2022 | 11 808 595                       | 10 885 017                     | 272 125 436           | 10 273                             |
| 2023 | 11 947 999                       | 11 013 519                     | 275 337 974           | 10 395                             |
| 2024 | 12 086 563                       | 11 141 246                     | 278 531 138           | 10 515                             |
| 2025 | 12 222 606                       | 11 266 648                     | 281 666 203           | 10 634                             |
| 2026 | 12 356 029                       | 11 389 635                     | 284 740 884           | 10 750                             |
| 2027 | 12 486 710                       | 11 510 095                     | 287 752 387           | 10 863                             |
| 2028 | 12 614 521                       | 11 627 910                     | 290 697 760           | 10 975                             |
| 2029 | 12 739 342                       | 11 742 969                     | 293 574 230           | 11 083                             |

Çizelge 5.4. (devam) %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri

|      |            |            |             |        |
|------|------------|------------|-------------|--------|
| 2030 | 12 861 061 | 11 855 168 | 296 379 195 | 11 189 |
|------|------------|------------|-------------|--------|

Hayvansal atık yağlarının %10'unun kullanılması halinde 2030 yılında yaklaşık 11 bin ton biyodizel üretilbileceği öngörülmektedir. Ayrıca, bu miktarda üretilbilecek olan biyodizelin dizel karşılığı net değeri, yaklaşık olarak 296 milyon TL'sidir. Bu da hayvansal atık yağlardan biyodizel üretiminin Türkiye ekonomisine sağlayacağı olası katkıyı net bir şekilde göstermektedir

Çizelge 5.5. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri

| Yıl  | %50 Ulaşılabilirlik Faktörü      |                                |                      |                                    |
|------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|
|      | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | Biyodizelin dizel eşdeğeri (L) | Dizel net değer (TL) | Potansiyel biyodizel üretimi (Ton) |
| 2010 | 35 490 956                       | 32 715 127                     | 817 878 167          | 30 877                             |
| 2011 | 38 280 325                       | 35 286 333                     | 882 158 330          | 33 304                             |
| 2012 | 40 761 339                       | 37 573 301                     | 939 332 529          | 35 462                             |
| 2013 | 41 573 795                       | 38 322 213                     | 958 055 337          | 36 169                             |
| 2014 | 43 075 383                       | 39 706 359                     | 992 658 971          | 37 476                             |
| 2015 | 45 527 726                       | 41 966 898                     | 1 049 172 452        | 39 609                             |
| 2016 | 48 435 396                       | 44 647 153                     | 1 116 178 827        | 42 139                             |
| 2017 | 51 176 387                       | 47 173 764                     | 1 179 344 105        | 44 523                             |
| 2018 | 56 406 582                       | 51 994 894                     | 1 299 872 346        | 49 074                             |
| 2019 | 56 994 876                       | 52 537 176                     | 1 313 429 403        | 49 586                             |
| 2020 | 58 130 793                       | 53 584 251                     | 1 339 606 264        | 50 574                             |
| 2021 | 62 333 815                       | 57 458 545                     | 1 436 463 618        | 54 230                             |
| 2022 | 59 042 973                       | 54 425 087                     | 1 360 627 179        | 51 367                             |
| 2023 | 59 739 997                       | 55 067 595                     | 1 376 689 868        | 51 974                             |
| 2024 | 60 432 817                       | 55 706 228                     | 1 392 655 688        | 52 577                             |
| 2025 | 61 113 031                       | 56 333 241                     | 1 408 331 015        | 53 168                             |
| 2026 | 61 780 143                       | 56 948 177                     | 1 423 704 422        | 53 749                             |
| 2027 | 62 433 548                       | 57 550 477                     | 1 438 761 936        | 54 317                             |

Çizelge 5.5. (devam) %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri

|      |            |            |               |        |
|------|------------|------------|---------------|--------|
| 2028 | 63 072 605 | 58 139 552 | 1 453 488 799 | 54 873 |
| 2029 | 63 696 712 | 58 714 846 | 1 467 871 149 | 55 416 |
| 2030 | 64 305 304 | 59 275 839 | 1 481 895 974 | 55 946 |

Çizelge 5.6. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre potansiyel biyodizel üretim miktarı ve net değeri

| Yıl  | %100 Ulaşılabilirlik Faktörü     |                                |                      |                                    |
|------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|
|      | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | Biyodizelin dizel eşdeğeri (L) | Dizel net değer (TL) | Potansiyel biyodizel üretimi (Ton) |
| 2010 | 70 981 911                       | 65 430 253                     | 1 635 756 334        | 61 754                             |
| 2011 | 76 560 650                       | 70 572 666                     | 1 764 316 659        | 66 608                             |
| 2012 | 81 522 678                       | 75 146 602                     | 1 878 665 058        | 70 925                             |
| 2013 | 83 147 590                       | 76 644 427                     | 1 916 110 674        | 72 338                             |
| 2014 | 86 150 766                       | 79 412 718                     | 1 985 317 941        | 74 951                             |
| 2015 | 91 055 452                       | 83 933 796                     | 2 098 344 905        | 79 218                             |
| 2016 | 96 870 793                       | 89 294 306                     | 2 232 357 654        | 84 278                             |
| 2017 | 102 352 773                      | 94 347 528                     | 2 358 688 209        | 89 047                             |
| 2018 | 112 813 164                      | 103 989 788                    | 2 599 744 692        | 98 147                             |
| 2019 | 113 989 752                      | 105 074 352                    | 2 626 858 805        | 99 171                             |
| 2020 | 116 261 586                      | 107 168 501                    | 2 679 212 529        | 101 148                            |
| 2021 | 124 667 630                      | 114 917 089                    | 2 872 927 236        | 108 461                            |
| 2022 | 118 085 947                      | 108 850 174                    | 2 721 254 357        | 102 735                            |
| 2023 | 119 479 993                      | 110 135 189                    | 2 753 379 736        | 103 948                            |
| 2024 | 120 865 633                      | 111 412 455                    | 2 785 311 377        | 105 153                            |
| 2025 | 122 226 061                      | 112 666 481                    | 2 816 662 030        | 106 337                            |
| 2026 | 123 560 287                      | 113 896 354                    | 2 847 408 844        | 107 497                            |
| 2027 | 124 867 097                      | 115 100 955                    | 2 877 523 873        | 108 634                            |
| 2028 | 126 145 210                      | 116 279 104                    | 2 906 977 598        | 109 746                            |
| 2029 | 127 393 423                      | 117 429 692                    | 2 935 742 298        | 110 832                            |
| 2030 | 128 610 608                      | 118 551 678                    | 2 963 791 948        | 111 891                            |

Hayvansal atık yağların ulaşılabilirlik faktörü %100 olduğunda yani hayvanların kesiminden sonra ortaya çıkan atık yağlarının tamamının biyodizel üretimi için kullanılması dâhilinde %10 ulaşılabilirlik faktöründe hesaplanan bu değerler 10 katına çıkmaktadır. Hayvansal atık yağların %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre 2030 yılında biyodizel üretimi 112 bin ton olup takribi 2,9 milyar TL kazanç sağlanması beklenmektedir. Tüm bunların sonucunda hayvansal atık yağların enerji üretmek için kullanılması ile Türkiye ekonomisi için oldukça kârlı bir adım olacağı düşünülmektedir.

#### 5.4. Biyodizel Üretim Oranı

Bölüm 4'te bahsedildiği üzere 2010-2021 yılları arasında teorik olarak hesaplanan biyodizel üretim miktarı ile Türkiye'nin hâlihazırdaki biyodizel üretim kapasitesi karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar üç farklı ulaşılabilirlik faktörüne (%10, %50 ve %100) göre Çizelge 5.7-9'de listelenmiştir.

Çizelge 5.7. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre yıllık biyodizel üretim oranı

| Yıl      | %10 Ulaşılabilirlik Faktörü      |                       |                  |
|----------|----------------------------------|-----------------------|------------------|
|          | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | Biyodizel üretimi (L) | Üretim oranı (%) |
| 2010     | 7 098 191                        | 8 574 713             | 82,78            |
| 2011     | 7 656 065                        | 13 386 207            | 57,19            |
| 2012     | 8 152 268                        | 20 378 161            | 40,00            |
| 2013     | 8 314 759                        | 25 144 828            | 33,07            |
| 2014     | 8 615 077                        | 37 057 471            | 23,25            |
| 2015     | 9 105 545                        | 79 558 621            | 11,45            |
| 2016     | 9 687 079                        | 73 684 336            | 13,15            |
| 2017     | 10 235 277                       | 75 406 317            | 13,57            |
| 2018     | 11 281 316                       | 124 570 415           | 9,06             |
| 2019     | 11 398 975                       | 136 082 094           | 8,38             |
| 2020     | 11 626 159                       | 85 719 255            | 13,56            |
| 2021     | 12 466 763                       | 68 269 316            | 18,26            |
| Ortalama |                                  |                       | 26,98            |

Çizelge 5.8. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre yıllık biyodizel üretim oranı

| %50 Ulaşılabilirlik Faktörü |                                     |                       |                  |
|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Yıl                         | Potansiyel biyodizel<br>üretimi (L) | Biyodizel üretimi (L) | Üretim oranı (%) |
| 2010                        | 35 490 956                          | 8 574 713             | 413,90           |
| 2011                        | 38 280 325                          | 13 386 207            | 285,97           |
| 2012                        | 40 761 339                          | 20 378 161            | 200,02           |
| 2013                        | 41 573 795                          | 25 144 828            | 165,34           |
| 2014                        | 43 075 383                          | 37 057 471            | 116,24           |
| 2015                        | 45 527 726                          | 79 558 621            | 57,23            |
| 2016                        | 48 435 396                          | 73 684 336            | 65,73            |
| 2017                        | 51 176 387                          | 75 406 317            | 67,87            |
| 2018                        | 56 406 582                          | 124 570 415           | 45,28            |
| 2019                        | 56 994 876                          | 136 082 094           | 41,88            |
| 2020                        | 58 130 793                          | 85 719 255            | 67,82            |
| 2021                        | 62 333 815                          | 68 269 316            | 91,31            |
| Ortalama                    |                                     |                       | 134,88           |

Çizelge 5.9. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre biyodizel üretim oranı

| %100 Ulaşılabilirlik Faktörü |                                     |                       |                  |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Yıl                          | Potansiyel biyodizel<br>üretimi (L) | Biyodizel üretimi (L) | Üretim oranı (%) |
| 2010                         | 70 981 911                          | 8 574 713             | 827,81           |
| 2011                         | 76 560 650                          | 13 386 207            | 571,94           |
| 2012                         | 81 522 678                          | 20 378 161            | 400,05           |
| 2013                         | 83 147 590                          | 25 144 828            | 330,67           |
| 2014                         | 86 150 766                          | 37 057 471            | 232,48           |
| 2015                         | 91 055 452                          | 79 558 621            | 114,45           |
| 2016                         | 96 870 793                          | 73 684 336            | 131,47           |
| 2017                         | 102 352 773                         | 75 406 317            | 135,74           |
| 2018                         | 112 813 164                         | 124 570 415           | 90,56            |

Çizelge 5.9. (devam) %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre biyodizel üretim oranı

|          |             |             |        |
|----------|-------------|-------------|--------|
| 2019     | 113 989 752 | 136 082 094 | 83,77  |
| 2020     | 116 261 586 | 85 719 255  | 135,63 |
| 2021     | 124 667 630 | 68 269 316  | 182,61 |
| Ortalama |             |             | 269,76 |

Bu çalışma kapsamında teorik olarak hayvan atık yağlarından elde edilen biyodizelin üretim miktarı ile Türkiye'nin hâlihazırda bulunan biyodizel üretim kapasitesi arasında kıyaslaması yapılmıştır. 2010-2021 yılları arasında hayvansal atık yağları %10, %50 ve %100 oranlarında ulaşılabilirlik faktörleri ile elde edilip biyodizel üretiminde kullanılsaydı; Türkiye'nin biyodizel üretiminin ortalama olarak yaklaşık %27, %135 ve %270'i karşılanabileceği hesaplanmıştır. Bunun sonucunda eğer hayvan yağlarından biyodizel üretilmiş olsaydı Türkiye'nin biyodizel üretim kapasitesinin çok üzerinde bir değerlerde olacağı hesaplanmış ve kanıtlanmıştır.

### 5.5. Biyodizelin CO<sub>2</sub> Gazı Kazanım Miktarları

Önceki bölümde teorik olarak hayvansal atık yağlarından elde edilen biyodizelin TL cinsinden kazançları tartışılmıştır. Bu bölümde ise biyodizelin çevreye olan kazanımları incelenmiştir.

Yine bu bölümde de hayvansal atık yağların farklı ulaşılabilirlik faktörüne göre 3 farklı durumu (%10, %50 ve %100) göz önünde bulundurulmuştur. Teorik olarak hayvansal atık yağlardan elde edilen biyodizelin; dizel (petrol menşeli) yakıta göre CO<sub>2</sub> emisyon kazanımı ve soyadan üretilmiş biyodizele göre CO<sub>2</sub> emisyon kazanım miktarları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.10-12'de verilmiştir.

Çizelge 5.10. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları

| Yıl  | %10 Ulaşılabilirlik Faktörü      |                                                 |                                                      |
|------|----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|      | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | Dizel yakıta göre CO <sub>2</sub> kazanımı (kg) | Soya biyodizeline göre CO <sub>2</sub> kazanımı (kg) |
| 2010 | 7 098 191                        | 15 235 557                                      | 5 281 054                                            |
| 2011 | 7 656 065                        | 16 432 978                                      | 5 696 112                                            |



Çizelge 5.10. (devam) %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları

|      |            |            |           |
|------|------------|------------|-----------|
| 2012 | 8 152 268  | 17 498 028 | 6 065 287 |
| 2013 | 8 314 759  | 17 846 799 | 6 186 181 |
| 2014 | 8 615 077  | 18 491 401 | 6 409 617 |
| 2015 | 9 105 545  | 19 544 142 | 6 774 526 |
| 2016 | 9 687 079  | 20 792 347 | 7 207 187 |
| 2017 | 10 235 277 | 21 968 999 | 7 615 046 |
| 2018 | 11 281 316 | 24 214 217 | 8 393 299 |
| 2019 | 11 398 975 | 24 466 760 | 8 480 838 |
| 2020 | 11 626 159 | 24 954 387 | 8 649 862 |
| 2021 | 12 466 763 | 26 758 660 | 9 275 272 |
| 2022 | 11 808 595 | 25 345 968 | 8 785 594 |
| 2023 | 11 947 999 | 25 645 186 | 8 889 312 |
| 2024 | 12 086 563 | 25 942 599 | 8 992 403 |
| 2025 | 12 222 606 | 26 234 602 | 9 093 619 |
| 2026 | 12 356 029 | 26 520 980 | 9 192 885 |
| 2027 | 12 486 710 | 26 801 474 | 9 290 112 |
| 2028 | 12 614 521 | 27 075 808 | 9 385 204 |
| 2029 | 12 739 342 | 27 343 724 | 9 478 071 |
| 2030 | 12 861 061 | 27 604 981 | 9 568 629 |

Çizelge 5.11. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları

| Yıl  | %50 Ulaşılabilirlik Faktörü      |                                                 |                                                      |
|------|----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|      | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | Dizel yakıtı göre CO <sub>2</sub> kazanımı (kg) | Soya biyodizeline göre CO <sub>2</sub> kazanımı (kg) |
| 2010 | 35 490 956                       | 76 177 787                                      | 26 405 271                                           |
| 2011 | 38 280 325                       | 82 164 890                                      | 28 480 562                                           |
| 2012 | 40 761 339                       | 87 490 138                                      | 30 326 436                                           |
| 2013 | 41 573 795                       | 89 233 994                                      | 30 930 904                                           |
| 2014 | 43 075 383                       | 92 457 003                                      | 32 048 085                                           |
| 2015 | 45 527 726                       | 97 720 711                                      | 33 872 628                                           |
| 2016 | 48 435 396                       | 103 961 735                                     | 36 035 935                                           |

Çizelge 5.11. (devam) %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları

|      |            |             |            |
|------|------------|-------------|------------|
| 2017 | 51 176 387 | 109 844 996 | 38 075 232 |
| 2018 | 56 406 582 | 121 071 087 | 41 966 497 |
| 2019 | 56 994 876 | 122 333 802 | 42 404 188 |
| 2020 | 58 130 793 | 124 771 934 | 43 249 310 |
| 2021 | 62 333 815 | 133 793 301 | 46 376 359 |
| 2022 | 59 042 973 | 126 729 838 | 43 927 972 |
| 2023 | 59 739 997 | 128 225 929 | 44 446 558 |
| 2024 | 60 432 817 | 129 712 997 | 44 962 016 |
| 2025 | 61 113 031 | 131 173 009 | 45 468 095 |
| 2026 | 61 780 143 | 132 604 900 | 45 964 427 |
| 2027 | 62 433 548 | 134 007 368 | 46 450 560 |
| 2028 | 63 072 605 | 135 379 039 | 46 926 018 |
| 2029 | 63 696 712 | 136 718 622 | 47 390 353 |
| 2030 | 64 305 304 | 138 024 905 | 47 843 146 |

Çizelge 5.12. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları

| %100 Ulaşılabilirlik Faktörü |                                  |                                                 |                                                      |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Yıl                          | Potansiyel biyodizel üretimi (L) | Dizel yakıtı göre CO <sub>2</sub> kazanımı (kg) | Soya biyodizeline göre CO <sub>2</sub> kazanımı (kg) |
| 2010                         | 70 981 911                       | 152 355 574                                     | 52 810 542                                           |
| 2011                         | 76 560 650                       | 164 329 780                                     | 56 961 124                                           |
| 2012                         | 81 522 678                       | 174 980 275                                     | 60 652 872                                           |
| 2013                         | 83 147 590                       | 178 467 988                                     | 61 861 807                                           |
| 2014                         | 86 150 766                       | 184 914 005                                     | 64 096 170                                           |
| 2015                         | 91 055 452                       | 195 441 421                                     | 67 745 256                                           |
| 2016                         | 96 870 793                       | 207 923 470                                     | 72 071 870                                           |
| 2017                         | 102 352 773                      | 219 689 992                                     | 76 150 463                                           |
| 2018                         | 112 813 164                      | 242 142 174                                     | 83 932 994                                           |
| 2019                         | 113 989 752                      | 244 667 603                                     | 84 808 375                                           |
| 2020                         | 116 261 586                      | 249 543 868                                     | 86 498 620                                           |
| 2021                         | 124 667 630                      | 267 586 602                                     | 92 752 717                                           |

Çizelge 5.12. (devam) %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyonu kazanım miktarları

|      |             |             |            |
|------|-------------|-------------|------------|
| 2022 | 118 085 947 | 253 459 676 | 87 855 944 |
| 2023 | 119 479 993 | 256 451 858 | 88 893 115 |
| 2024 | 120 865 633 | 259 425 995 | 89 924 031 |
| 2025 | 122 226 061 | 262 346 018 | 90 936 190 |
| 2026 | 123 560 287 | 265 209 800 | 91 928 853 |
| 2027 | 124 867 097 | 268 014 736 | 92 901 120 |
| 2028 | 126 145 210 | 270 758 078 | 93 852 036 |
| 2029 | 127 393 423 | 273 437 244 | 94 780 707 |
| 2030 | 128 610 608 | 276 049 809 | 95 686 292 |

Sonuçlara bakıldığında %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre 2030 yılında dizel yakıta kıyasla yaklaşık 27 bin ton CO<sub>2</sub> emisyon gazından kazanım sağlanacağı hesaplanmıştır. Soyadan elde edilen biyodizele kıyasla çevreye 9 bin ton CO<sub>2</sub> gazının daha az salınma miktarı bulunmuştur. Ulaşılabilirlik faktörü arttığında CO<sub>2</sub> emisyon kazanımları da doğru orantılı artış göstermektedir. Böylece, çevreye salınan zararlı gazların minimum seviyeye indirilmesi için yapılabilecek doğru adımlardan bir tanesi olacaktır.

#### 5.6. Biyodizelin CO<sub>2</sub> Gazı Kazanım Oranları

Ulaşım sektöründe kullanılan dizelin yanması sonucu ortaya çıkan CO<sub>2</sub> gazlarının emisyon miktarları verilmiştir. Buna ek olarak, önceki bölümde teorik olarak hesaplanan biyodizelin CO<sub>2</sub> emisyon miktarları ile arasında incelemesi yapılmıştır ve üç farklı ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyon oranları Çizelge 5.13-15'te listelenmiştir.

Çizelge 5.13. %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyon oranı

| %10 Ulaşılabilirlik Faktörü |                                                   |                              |          |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|----------|
| Yıl                         | TÜİK ulaşım sektörü CO <sub>2</sub> emisyonu, ton | CO <sub>2</sub> kazanım, ton | Oran (%) |
| 2010                        | 44 382 598                                        | 15 236                       | 0,034    |
| 2011                        | -                                                 | 16 433                       | -        |
| 2012                        | -                                                 | 17 498                       | -        |
| 2013                        | -                                                 | 17 847                       | -        |

Çizelge 5.13.(devam) %10 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyon oranı

|          |            |        |       |
|----------|------------|--------|-------|
| 2014     | -          | 18 491 | -     |
| 2015     | 74 271 577 | 19 544 | 0,026 |
| 2016     | 80 207 781 | 20 792 | 0,026 |
| 2017     | 83 064 082 | 21 969 | 0,026 |
| 2018     | 82 902 425 | 24 214 | 0,029 |
| 2019     | 80 745 148 | 24 467 | 0,030 |
| 2020     | 79 032 479 | 24 954 | 0,032 |
| Ortalama |            |        | 0,029 |

Çizelge 5.14. %50 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyon oranı

| %50 Ulaşılabilirlik Faktörü |                                                   |                              |          |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|----------|
| Yıl                         | TÜİK ulaşım sektörü CO <sub>2</sub> emisyonu, ton | CO <sub>2</sub> kazanım, ton | Oran (%) |
| 2010                        | 44 382 598                                        | 76 178                       | 0,172    |
| 2011                        | -                                                 | 82 165                       | -        |
| 2012                        | -                                                 | 87 490                       | -        |
| 2013                        | -                                                 | 89 234                       | -        |
| 2014                        | -                                                 | 92 457                       | -        |
| 2015                        | 74 271 577                                        | 97 721                       | 0,132    |
| 2016                        | 80 207 781                                        | 103 962                      | 0,130    |
| 2017                        | 83 064 082                                        | 109 845                      | 0,132    |
| 2018                        | 82 902 425                                        | 121 071                      | 0,146    |
| 2019                        | 80 745 148                                        | 122 334                      | 0,152    |
| 2020                        | 79 032 479                                        | 124 772                      | 0,158    |
| Ortalama                    |                                                   |                              | 0,146    |

Çizelge 5.15. %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre CO<sub>2</sub> emisyon oranı

| %100 Ulaşılabilirlik Faktörü |                                                   |                              |          |
|------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|----------|
| Yıl                          | TÜİK ulaşım sektörü CO <sub>2</sub> emisyonu, ton | CO <sub>2</sub> kazanım, ton | Oran (%) |
| 2010                         | 44 382 598                                        | 152 356                      | 0,343    |
| 2011                         | -                                                 | 164 330                      | -        |
| 2012                         | -                                                 | 174 980                      | -        |
| 2013                         | -                                                 | 178 468                      | -        |
| 2014                         | -                                                 | 184 914                      | -        |
| 2015                         | 74 271 577                                        | 195 441                      | 0,263    |
| 2016                         | 80 207 781                                        | 207 923                      | 0,259    |
| 2017                         | 83 064 082                                        | 219 690                      | 0,264    |
| 2018                         | 82 902 425                                        | 242 142                      | 0,292    |
| 2019                         | 80 745 148                                        | 244 668                      | 0,303    |
| 2020                         | 79 032 479                                        | 249 544                      | 0,316    |
| Ortalama                     |                                                   |                              | 0,292    |

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre 2010-2020 yılları arasında kesilen hayvanlardan ortaya çıkan atık yağlar %10, %50 ve %100 oranında geri kazanılıp biyodizel üretiminde kullanılsaydı, ulaşım sektöründen ortaya çıkan sera gazı salınımlarının yaklaşık olarak %0,029, %0,146 ve %0,292'si bertaraf edilebilecekti. Bu da hayvansal atık yağlardan biyodizel üretiminin Türkiye'nin en önemli sera gazı salınım kaynaklarından biri olan ulaştırma sektörüne sağlayacağı faydayı net bir şekilde ortaya koymaktadır.

### 5.7. Model Doğruluğunun Sonuçları

Bölüm 4'te yapılan iki farklı yöntem sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki Çizelge 5.16'te verilmiştir.

Çizelge 5.16. Sığır ve koyun nüfus modellerinin RMSE ve MAPE (%) değerleri

| Parametre | Sığır, metot B | Koyun, metot B | Sığır, metot C | Koyun, metot C |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| RMSE      | 631 635        | 1 549 255      | 2 282 685      | 8 050 809      |

Çizelge 5.16. (devam) Sığır ve koyun nüfus modellerinin RMSE ve MAPE (%) değerleri

|          |      |      |       |       |
|----------|------|------|-------|-------|
| MAPE (%) | 3,50 | 3,77 | 13,66 | 25,05 |
|----------|------|------|-------|-------|

Çizelge 4.8’de verilen tahmin doğruluğu kriterleri dikkate alındığında Metot B’ye göre elde edilen sığır ve koyunun MAPE değerleri %10’dan küçük olduğu için çok iyi tahmin olarak yorumlanmıştır. Aynı zamanda metot C’ye göre elde edilen sığır ve koyunun MAPE değerleri sırasıyla iyi tahmin ve kabul edilebilir tahmin olarak yorumlanmıştır.

Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere (Bkz. Bölüm 5.1.4) gelecek yıllardaki hayvan sayısının tahmini için sadece zamana bağlı verilerinin kullanılması (metot B) sağlıklı çıktıların elde edilmesine yardımcı olmamıştır. Her ne kadar MAPE (%) değeri düşük çıksa da bilimsel açıdan uygun olan bir model değildir. Metot C’nin model gelişimi ve teorisi daha uygun olduğu için model çalışmalarında kullanılmıştır. Ayrıca, bu metodun MAPE (%) değerlerinin iyi ve kabul edilebilir tahmin kriterlerinde yer alması modelin istatistiki açıdan da uygun olduğunu göstermektedir.

## 6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, kimya ve süreç mühendisliği çerçevesinde hammadde olarak kullanılabilecek olan hayvansal atık yağlarından biyodizel üretiminin teknik ve ekonomik analiz yapılmıştır. Biyodizel, hayvansal ya da bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen bir yakıt türüdür. Yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu olması nedeniyle ulaşım sektöründe kullanılan petrol menşeli dizel yakıta alternatif olarak kullanılmaktadır. Hayvansal atık yağlarının biyodizel üretiminde kullanılması fikri çerçevesinde i) atık yağların bertarafından kaynaklı atık yönetimi ve ii) petrol menşeli dizel yakıtın çevresel etkilerinin azaltılması sonucundaki sera gazı kazanımları detaylı olarak irdelenmiştir. Atık yağın sürdürülebilir bir şekilde bertaraf edilmesi ve biyodizel üretiminde kullanılmasının Türkiye'nin ekonomik kalkınmasına sağlayacağı faydalar net şekilde ortaya konmuştur. Tez kapsamında yapılan çalışmaların en önemli sonuçları sırasıyla verilmiştir. 2022 yılı sonrası hayvan sayısının tahmini için üç farklı metot geliştirilmiştir. En iyi sonucu veren Türkiye için nüfus menşeli hayvan sayısı modeli esas alınarak diğer adımlar sırasıyla analiz edilmiştir. Türkiye'deki sığır ve koyunun canlı ağırlıkları ile hayvan başına düşen atık yağ miktarı arasında oran kurularak geçmişe dönük ve gelecek yılların toplam atık yağ bulunmuştur. 2021 ve 2030 yılları için sırasıyla yaklaşık olarak 108 ve 112 bin ton toplam hayvansal atık yağ elde edileceği hesaplanmıştır. Bunun doğrultusunda %10, %50 ve %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre 2030 yılında sırasıyla yaklaşık olarak 13 bin, 64 bin ve 129 bin m<sup>3</sup> potansiyel biyodizel üretimi gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Bu miktarlarda üretilebilecek olan biyodizelin dizel karşılığı net değeri %10, %50 ve %100 ulaşılabilirlik faktörüne göre 2030 yılında sırasıyla yaklaşık olarak 296 milyon, 1,4 milyar ve 2,9 milyar TL olacağı elde edilmiştir (2022 yılı piyasa değerine göre). Türkiye'de üretilmekte olan biyodizel üretim kapasitesi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında 2010-2021 yılları arasında %10, %50 ve %100 oranlarında ulaşılabilirlik faktörleri ile elde edilip biyodizel üretiminde kullanılsaydı; Türkiye'nin biyodizel üretiminin ortalama olarak yaklaşık %33, %164 ve %328'i karşılanabileceği hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak, biyodizelin yanması sonucu oluşturacağı CO<sub>2</sub> gazı emisyon kazanım miktarı 2010-2021 yılları arasında %10, %50 ve %100 oranlarında ulaşılabilirlik faktörlerine göre Türkiye'nin CO<sub>2</sub> gazı salınım kazanım miktarları ortalama yaklaşık %0,029, %0,146 ve %0,292'ü olarak hesaplanmıştır. Tez çalışması boyunca elde edilen bulgulara bakıldığında geçmişe dönük ve gelecek yıllarda

hayvansal atık yağların biyodizel üretiminde kullanılması hem çevre için hem de ekonomik açıdan Türkiye'ye net bir katkı sağlayacağı görülmüştür. Çevreye salınan gazların minimum seviyeye getirme çabalarından bir tanesi olacağı düşünülebilir. Türkiye'de hâlihazırda üretilmekte olan bitkisel yağlardan biyodizel üretimine katkı sağlayacağı ve mevcut durumdaki üretim kapasitesinin çok daha fazla üstünde olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu yüksek lisans tezinin yayınlamasıyla birlikte bilimsel literatürde yerini alacak bu çalışma, gelecekte yapılacak ekonomik ve teknik analizli diğer çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.





## KAYNAKLAR

1. Santos, L. (2022). The impact of nutrition and lifestyle modification on health. *European Journal of Internal Medicine*, 97, 18-25.
2. Singh, A. and Rashid, M. (2017). Impact of animal waste on environment, its managemental strategies and treatment protocols to reduce environmental contamination. *Veterinary Science Research Journal*, 8, 1–12.
3. Alajmi, F. S. M. D. A., Hairuddin, A. A., Adam, N. M. and Abdullah, L. C. (2018). Recent trends in biodiesel production from commonly used animal fats. *International Journal of Energy Research*, 42, 885–902.
4. Banković-Ilić, I. B., Stojković, I. J., Stamenković, O. S., Veljkovic, V. B. and Hung, Y. T. (2014). Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 238–54.
5. İnternet: Ecofys. (2016). Indirect emissions from rendered animal fats used for biodiesel. URL: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Annex%20II%20Case%20study%202.pdf>, Son Erişim Tarihi: 22.08.2022.
6. İnternet: US EPA Vegetable Oils and Animal Fats. (2022). URL: <https://www.epa.gov/emergency-response/vegetable-oils-and-animal-fats>, Son Erişim Tarihi: 22.08.2022.
7. Ramos, M., Dias, A. P. S., Puna, J. F., Gomes, J., and Bordado, J. C. (2019). Biodiesel production processes and sustainable raw materials. *Energies*, 12(23), 4408.
8. İnternet: Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ. (2017). URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170616-8.htm>, Son Erişim Tarihi: 22.01.2023.
9. İnternet: Gizlenci Ş, Acar M. (2008). Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar. Samsun. URL: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae/Belgeler/brosurler/Enerji%20Tar%C4%B1m%C4%B1%20ve%20Biyoyak%C4%B1tlar%20Sekt%C3%B6rel%20Raporu.pdf>, Son Erişim Tarihi: 04.04. 2023.
10. İnternet: İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği. (2011). URL: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111224-3.htm>, Son Erişim Tarihi: 04.08. 2022.
11. İnternet: EFRA Rendered fat. (Tarih yok). URL: <https://efpra.eu/rendered-products/rendered-fat/>, Son Erişim Tarihi: 22.08.2022.
12. Toldrá-Reig, F., Mora, L. and Toldrá, F. (2020). Trends in biodiesel production from animal fat waste. *Applied Sciences*, 10 (10), 3644.
13. Cinel, A.M. (2019). *Forecasting and Analysing Sustainability of Biodiesel Production from Waste Cooking Oils in Turkey Till 2030 and Generating Decision Support Tools and Sustainability Scenarios*, Master's Thesis, Gebze Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kocaeli, 5-12.

14. Adewale, P., Dumont, M. and Ngadi, M. (2015). Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 574–88.
15. Chavarria-Hernandez, J., Ordóñez, L., Barahona-Pérez, L. F., Castro-Gomez, M. and Paredes-Cervantes, S. (2017). Perspectives on the utilization of waste fat from beef cattle and fowl for biodiesel production in Mexico. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(5), 899–905.
16. Janaun, J. and Ellis, N. (2010). Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(4), 1312–1320.
17. Kumbhar, V., Pandey, A., Sonawane, C. R., El-Shafay, A. S., Panchal, H. and Chamkha, A. J. (2022). Statistical analysis on prediction of biodiesel properties from its fatty acid composition. *Case Studies in Thermal Engineering*, 30, 101775.
18. Balat, M. ve Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, 87(6), 1815–3185.
19. Ahmad, A. L., Yasin, N. H. M., Derek, C. J. C. and Lim, J. K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 584–593.
20. Coronado, C. R., de Carvalho, J. A. and Silveira, J. L. (2009). Biodiesel CO<sub>2</sub> emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market. *Fuel Processing Technology*, 90(2), 204–211.
21. Verma, T. N., Shrivastava, P., Rajak, U., Dwivedi, G., Jain, S., Zare, A., Shukla, A. K. and Verma, P. (2021). A comprehensive review of the influence of physicochemical properties of biodiesel on combustion characteristics, engine performance and emissions. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 8(2), 510–533.
22. Balat, M. (2006). Fuel characteristics and the use of biodiesel as a transportation fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 28(9), 855–864.
23. Mata, T. M., Cardoso, N., Ornelas, M., Neves, S. and Caetano, N. S. (2011). Evaluation of two purification methods of biodiesel from beef tallow, pork lard, and chicken fat. *Energy and Fuels*, 25, 4756–4762.
24. Encinar, J. M., Sánchez, N., Martínez, G. and García, L. (2011). Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. *Bioresource Technology*, 102(23), 10907–10914.
25. Bhatti, H. N., Hanif, M. A., Qasim, M. and Ata-ur-Rehman. (2008). Biodiesel production from waste tallow. *Fuel*, 87(13-14), 2961–2966.
26. Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H. and Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070–2093.

27. Ismail, S .A. E. A., Ali, R. F. M. (2015). Physico-chemical properties of biodiesel manufactured from waste frying oil using domestic adsorbents. *Science and Technology of Advanced Materials*, 16(3), 1-9.
28. Dzida, M. and Prusakiewicz, P. (2008). The effect of temperature and pressure on the physicochemical properties of petroleum diesel oil and biodiesel fuel. *Fuel*, 87, 1941–1948.
29. Sakthivel, R., Ramesh, K., Purnachandran, R. and Mohamed Shameer, P. (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2970–2992.
30. Avhad, M. R. and Marchetti, J. M. (2016). Innovation in solid heterogeneous catalysis for the generation of economically viable and ecofriendly biodiesel: A review. *Catalysis Reviews*, 58 (2), 157-208.
31. Silitonga, A. S., Atabani, A. E., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A. and Mekhilef, S. (2011). A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3733–56.
32. Melikoglu, M., and Cinel, A. M. (2020). Food waste-water-energy nexus: Scrutinising sustainability of biodiesel production from sunflower oil consumption wastes in Turkey till 2030. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100628.
33. Luo, X., Ge, X., Cui, S. and Li, Y. (2016). Value-added processing of crude glycerol into chemicals and polymers. *Bioresource Technology*, 215, 144–54.
34. Alleman, T. L., McCormick, R. L., Christensen, E. D., Fioroni, G., Moriarty, K. and Yanowitz, J. (2016). *Biodiesel handling and use guide* (5th edition). United States: Nova Science Publishers, 1-98.
35. Kirubakaran, M., and Arul Mozhi Selvan, V. (2018). A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 390–401.
36. Ramadhas, A. S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. (2005). Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 84, 335–40.
37. İnternet: TÜİK Hayvan Üretim İstatistikleri. (2021). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-Uretim-Istatistikleri-Haziran-2021-37208>, Son Erişim Tarihi: 24.07.2022.
38. İnternet: FAOSTAT Crops and livestock products. (2022). URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, Son Erişim Tarihi: 22.07.2022.
39. İnternet: TÜİK Yıllık Gayrisafi Yurt İçi Hasıla. (2020). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yillik-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-2020-37184>, Son Erişim Tarihi: 24.07.2022.
40. İnternet: Worldbank GDP per capita (current US\$). (2022). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>, Son Erişim Tarihi: 29.08.2022.

41. İnternet: TÜİK Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. (2021). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500>, Son Erişim Tarihi: 24.07.2022.
42. İnternet: Worldbank Population, total. (2022). URL: [https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2021&name\\_desc=false&start=2001&view=chart](https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2021&name_desc=false&start=2001&view=chart), Son Erişim Tarihi: 10.08.2022.
43. İnternet: TÜİK Nüfus Projeksiyonları, 2018-2080. (2018). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>. Son Erişim Tarihi: 24.07.2022.
44. İnternet: TÜİK Kırmızı Et Üretim İstatistikleri, 2010-2021. (2022). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Red-Meat-Production-Statistics-2020-2021-45671>, Son Erişim Tarihi: 31.08.2022.
45. Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K. and Bawa, A.S. (2012). Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 278–93.
46. İnternet: UNL Beef How Many Pounds of Meat Can We Expect From A Beef Animal? (2020). URL: <https://beef.unl.edu/beefwatch/2020/how-many-pounds-meat-can-we-expect-beef-animal>, Son Erişim Tarihi: 10.08.2022.
47. İnternet: Et ve Süt Kurumu Kırmızı Et. (tarih yok). URL: <https://www.esk.gov.tr/tr/11009/Et>, Son Erişim Tarihi: 07.09.2022.
48. da Cunha, M.E., Krause, L.C., Moraes, M.S.A., Faccini, C.S., Jacques, R.A., Almeida, S.R. Rodrigues, M.R.A. and Caramao, E.B. (2009). Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale. *Fuel Processing Technology*, 90(4), 570–575.
49. Harahap, F., Silveira, S. and Khatiwada, D. (2019). Cost competitiveness of palm oil biodiesel production in Indonesia. *Energy*, 170, 62–72.
50. İnternet: Opet Fiyat Arşivi. (2022). URL: <https://www.opet.com.tr/akaryakit-fiyatlari-arsivi>, Son Erişim Tarihi: 16.02.2023.
51. İnternet: EPDK LPG Piyasası Yıllık Sektör Raporu Listesi (2022). URL: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-108-1002/lpgyillik-sektor-raporlari>, Son Erişim Tarihi: 16.08.2022.
52. Benti, N.E., Aneseyee, A.B., Geffe, C.A., Woldegiyorgis, T.A., Gurmesa, G.S., Bibiso, M, Asfaw, A.A., Milki, A.W. and Mekonnen, Y.S. (2023). Biodiesel production in Ethiopia: Current status and future prospects. *Scientific African*, 19, 1531.
53. İnternet: TÜİK Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990 - 2023. (2023). URL: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672>, Son Erişim Tarihi: 05.05.2023.
54. Melikoglu, M. (2013). Vision 2023: Forecasting Turkey's natural gas demand between 2013 and 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 393–400.

55. Lewis, C.D. (1982). *Industrial and business forecasting methods: A practical guide to exponential smoothing and curve fitting*, London; Boston; Butterworth Scientific.
56. Kasemset, C., Sae-Haew, N. and Sopadang, A. (2014). Multiple regression model for forecasting quantity of supply of off-season longan. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 13, 391–402.







## EK-1.Türkiye ve diğer ülkelerin gayri safi yurt içi hâsıla verileri

Çizelge 1. 2010-2021 yılları arasında Türkiye ve diğer ülkelerin kişi başına düşen GSYH (\$ ) değerleri

| Yıl  | Kişi başına düşen GSYH (\$) |         |        |               |        |        |
|------|-----------------------------|---------|--------|---------------|--------|--------|
|      | Türkiye                     | Amerika | Fransa | Güney<br>Kore | İsrail | İtalya |
| 2010 | 10 629                      | 48 651  | 40 678 | 23 087        | 30 780 | 36 036 |
| 2011 | 11 289                      | 50 066  | 43 848 | 25 096        | 33 776 | 38 650 |
| 2012 | 11 675                      | 51 784  | 40 872 | 25 467        | 32 668 | 35 052 |
| 2013 | 12 582                      | 53 291  | 42 605 | 27 183        | 36 499 | 35 560 |
| 2014 | 12 178                      | 55 124  | 43 069 | 29 250        | 37 848 | 35 566 |
| 2015 | 11 085                      | 56 763  | 36 653 | 28 732        | 35 808 | 30 242 |
| 2016 | 10 964                      | 57 867  | 37 063 | 29 289        | 37 330 | 30 961 |
| 2017 | 10 696                      | 59 915  | 38 781 | 31 617        | 40 774 | 32 407 |
| 2018 | 9 793                       | 62 805  | 41 593 | 33 437        | 42 063 | 34 622 |
| 2019 | 9 208                       | 65 095  | 40 579 | 31 902        | 43 951 | 33 673 |
| 2020 | 8 597                       | 63 028  | 39 037 | 31 598        | 44 178 | 31 835 |
| 2021 | 9 539                       | 69 288  | 43 519 | 34 758        | 51 430 | 35 551 |



## EK-2. Türkiye ve diğer ülkelerin insan nüfusu verileri

Çizelge 2. 2010-2021 yılları arasında ülkelerin insan nüfus verileri

| Yıl  | İnsan nüfusu |             |            |               |           |            |
|------|--------------|-------------|------------|---------------|-----------|------------|
|      | Türkiye      | Amerika     | Fransa     | Güney<br>Kore | İsrail    | İtalya     |
| 2010 | 73 722 988   | 309 327 143 | 65 027 505 | 49 554 112    | 7 623 600 | 59 277 417 |
| 2011 | 74 724 269   | 311 583 481 | 65 342 789 | 49 936 638    | 7 765 800 | 59 379 449 |
| 2012 | 75 627 384   | 313 877 662 | 65 659 814 | 50 199 853    | 7 910 500 | 59 539 717 |
| 2013 | 76 667 864   | 316 059 947 | 65 998 685 | 50 428 893    | 8 059 500 | 60 233 948 |
| 2014 | 77 695 904   | 318 386 329 | 66 312 067 | 50 746 659    | 8 215 700 | 60 789 140 |
| 2015 | 78 741 053   | 320 738 994 | 66 548 272 | 51 014 947    | 8 380 100 | 60 730 582 |
| 2016 | 79 814 871   | 323 071 755 | 66 724 104 | 51 217 803    | 8 546 000 | 60 627 498 |
| 2017 | 80 810 525   | 325 122 128 | 66 918 020 | 51 361 911    | 8 713 300 | 60 536 709 |
| 2018 | 82 003 882   | 326 838 199 | 67 101 930 | 51 585 058    | 8 882 800 | 60 421 760 |
| 2019 | 83 154 997   | 328 329 953 | 67 248 926 | 51 764 822    | 9 054 000 | 59 729 081 |
| 2020 | 83 614 362   | 331 501 080 | 67 379 908 | 51 836 239    | 9 215 100 | 59 449 527 |
| 2021 | 84 680 273   | 331 893 745 | 67 499 343 | 51 744 876    | 9 364 000 | 59 066 225 |

### EK-3. Doğrusal regresyon metodunun örnek çözümü

Bu tez çalışmasında doğrusal regresyon yapabilmek için denklemin ifadesi Eş. 1'deki gibi çıkarılmıştır.

$$P_{hayvan}(t) = at + b \quad (1)$$

a ve b ifadeleri Eş.2 ve Eş.3'te gösterildiği şekilde bulunmuştur.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}) \times (P_{hayvan} - \overline{P_{hayvan}})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (2)$$

$$b = \overline{P_{hayvan}} - a(\bar{t}) \quad (3)$$

Buradan hareketle;

$$\bar{t} = 2015,5$$

$$\overline{P_{sığır}} = 15\,072\,825$$

$$\overline{P_{koyun}} = 32\,659\,665$$

$$\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}) \times (P_{sığır} - \overline{P_{sığır}}) = 83\,148\,414$$

$$\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}) \times (P_{koyun} - \overline{P_{koyun}}) = 251\,211\,226$$

$$\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 = 143$$

#### Sığır için hesaplama

$$a_{sığır} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}) \times (P_{sığır} - \overline{P_{sığır}})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} = \frac{83\,148\,414}{143}$$

$$a_{sığır} = 581\,457$$

$$b_{sığır} = \overline{P_{sığır}} - a_{sığır}(\bar{t}) = 15\,072\,825 - 581\,457 (2015,5)$$

$$b_{sığır} = -1\,156\,854\,640$$

Sonuç olarak;

$$P_{sığır}(t) = 581457 \times t - 1156854640; R^2 = 0,91 \quad (5)$$

EK-3. (devam) Doğrusal regresyon metodunun el ile çözümü

Koyun için hesaplama

$$a_{koyun} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}) \times (P_{koyun} - \overline{P_{koyun}})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} = \frac{251\,211\,226}{143}$$

$$a_{koyun} = 1\,756\,722$$

$$b_{koyun} = \overline{P_{koyun}} - a_{koyun}(\bar{t}) = 32\,659\,665 - 1\,756\,722 (2015,5)$$

$$b_{koyun} = -3\,508\,013\,244$$

Sonuç olarak;

$$P_{koyun}(t) = 1756721 \times t - 3508013244; R^2 = 0,94 \quad (6)$$

## EK-4. Türkiye'nin nüfus projeksiyonu

Çizelge 3. 2022-2030 yılları arasında Türkiye'nin nüfus projeksiyonu

| Yıl  | Nüfus      |
|------|------------|
| 2022 | 85 911 035 |
| 2023 | 86 907 367 |
| 2024 | 87 885 571 |
| 2025 | 88 844 934 |
| 2026 | 89 784 584 |
| 2027 | 90 703 600 |
| 2028 | 91 601 117 |
| 2029 | 92 476 323 |
| 2030 | 93 328 574 |

## EK-5. Türkiye’deki yerli firmaların yıllık biyodizel üretim kapasiteleri

Çizelge 4. 2010-2021 Türkiye yer alan firmaların bitkisel yağlardan edilen biyodizelin yon cinsinden yıllık üretim kapasiteleri

| Yıl  | DB<br>Tarımsal<br>Enerji | Aves<br>Enerji | TBE<br>Biyodizel<br>Tarımsal<br>Enerji | Kolza<br>Biodizel | Ömer<br>Bucak<br>İnşaat<br>Taahhüt | Maysa<br>Yağ | Maks<br>Bio<br>Kimya | Toplam<br>(ton) |
|------|--------------------------|----------------|----------------------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------|----------------------|-----------------|
| 2010 | -                        | -              | -                                      | -                 | -                                  | -            | -                    | 7 460           |
| 2011 | -                        | -              | -                                      | -                 | -                                  | -            | -                    | 11 646          |
| 2012 | -                        | -              | -                                      | -                 | -                                  | -            | -                    | 17 729          |
| 2013 | -                        | -              | -                                      | -                 | -                                  | -            | -                    | 21 876          |
| 2014 | -                        | -              | -                                      | -                 | -                                  | -            | -                    | 32 240          |
| 2015 | 58 707                   | 2 982          | 7 497                                  | -                 | -                                  | -            | 30                   | 69 216          |
| 2016 | 32 793                   | 6 225          | 25 087                                 | -                 | -                                  | -            | -                    | 64 105          |
| 2017 | 44 433                   | 5 980          | 14 332                                 | 440               | -                                  | 419          | -                    | 65 603          |
| 2018 | 74 792                   | 9 758          | 20 542                                 | 1 736             | 216                                | 1 332        | -                    | 108 376         |
| 2019 | 83 712                   | 8 019          | 14 431                                 | 3 856             | 386                                | 7 988        | -                    | 118 391         |
| 2020 | 58 678                   | 14 805         | -                                      | -                 | 650                                | 442          | -                    | 74 576          |
| 2021 | 54 543                   | 2 322          | 878                                    | 746               | -                                  | 905          | -                    | 59 394          |



*Gazili olmak ayrıcalıktır*