

**T.C.**  
**HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**İKTİSAT ANABİLİM DALI**  
**İKTİSAT DOKTORA PROGRAMI**

**SİSTEM DİNAMİKLERİ YAKLAŞIMI İLE BİYOENERJİ KAYNAK  
KULLANIMINDAKİ ARTIŞLARIN GIDA GÜVENLİĞİ, ENERJİ GÜVENLİĞİ VE  
ÇEVRE ÜZERİNE ETKİLERİ TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

**DOKTORA TEZİ**

**HAZIRLAYAN**  
**MUHAMMED ÇELİK**

**GAZİANTEP-2021**

**T.C.**

**HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ**

**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**İKTİSAT ANABİLİM DALI**

**İKTİSAT DOKTORA PROGRAMI**

**SİSTEM DİNAMİKLERİ YAKLAŞIMI İLE BİYOENERJİ KAYNAK  
KULLANIMINDAKİ ARTIŞLARIN GIDA GÜVENLİĞİ, ENERJİ GÜVENLİĞİ VE  
ÇEVRE ÜZERİNE ETKİLERİ TÜRKİYE ÖRNEĞİ**

**DOKTORA TEZİ**

**HAZIRLAYAN**

**MUHAMMED ÇELİK**

**DANIŞMAN**

**PROF. DR. ZEHRA VİLDAN SERİN**

**GAZİANTEP-2021**

## KABUL VE ONAY

Muhammed elik tarafından hazırlanan “Sistem Dinamikleri Yaklaşımı ile Biyoenerji Kaynak Kullanımındaki Artışların Gıda Güvenliği, Enerji Güvenliği ve evre Üzerine Etkileri Türkiye Örneği” başlıklı bu çalışma 23/09/2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucu başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Zehra Vildan SERİN  
(Başkan)

Prof. Dr. Server DEMİRCİ  
(Üye)

Prof. Dr. Bahar BURTAN DOĞAN  
(Üye)

Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KÖSE  
(Üye)

Dr. Öğretim Üyesi Lamiha ÖZTÜRK  
(Üye)

### Onay

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

**Prof. Dr. İbrahim Halil GÜZELBEY**  
Enstitü Müdürü

## TEZ ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Doktora Tezi olarak sunmuş olduğum “Sistem Dinamikleri Yaklaşımı ile Biyoenerji Kaynak Kullanımındaki Artışların Gıda Güvenliği, Enerji Güvenliği ve Çevre Üzerine Etkileri Türkiye Örneği ” başlıklı çalışmanın tarafımda, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde hazırlanmış olduğunu ve kullanmış olduğum eserlerin kaynakçada belirtilenlerden oluştuğunu ve bu eserlere atıf yapılarak kullanmış olduğumu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

**Muhammed ÇELİK**



## ÖNSÖZ

Son yıllarda gerek ülkemizde olsun gerekse dünyanın farklı yerlerinde iklim değişikliği ve küresel ısınmanın neden olduğu düşünülen bir biri ardına doğal afetler yaşanmaktadır. Küresel ısınmanın bu şekilde devam etmesi durumunda dünyamız yaşamak için oldukça elverişsiz bir hal alacağı yapılan bilimsel araştırmalardan anlaşılmaktadır. Bu nedenle gerek dünyaya yön veren ülkeler olsun gerekse küresel güç merkezleri olsun küresel ısınmanın azaltılması ve daha yaşanabilir bir çevre için çeşitli politikalar geliştirmeye başlamışlar. Bilindiği üzere küresel ısınmanın en büyük nedeni fosil enerji kaynaklarının neden olduğu atmosfere salınan gazlardır. Bu durum küresel anlamda fosil yakıtların yerine kullanılabilir yenilenebilir ve daha çevreci enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bu açıdan yenilenebilir ve yerli bir enerji kaynağı olarak dünyanın farklı yerlerinde olduğu gibi ülkemizde de biyoenerji kaynağına olan ilgi gittikçe artış göstermektedir. Ancak biyoenerjinin zirai kaynaklı olması, gıda sektörü, arazi kullanımı, su kullanımı, orman kaynakları, kırsal kalkınma, işsizlik gibi farklı alanlar üzerinde olumlu veya olumsuz farklı şekillerde etkileri olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye örneği üzerinden biyoenerji kaynaklarının kullanımında yaşanacak olan artışların gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre güvenliği üzerindeki etkisi simülasyon yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmanın bu anlamda literatüre katkıda bulunmasını ve tüm ilgililere faydalı olmasını dilerim.

Doktora süreci boyunca, özellikle de tez sürecinin başından sonuna kadar tecrübesi, bilgeliği, anlayışı, şefkati ve rehberlik birikimi ile inanılmaz bir yol gösterici olarak değerli hocam Prof. Dr. Zehra Vildan SERİN' e, yönlendirici eleştirileri, yol gösterici görüş ve katkılarından dolayı kıymetli, saygıdeğer Tez İzleme Komitesi jüri üyeleri hocalarım başta olmak üzere doktora süreci boyunca büyük katkılarını gördüğüm Hasan Kalyoncu Üniversitesindeki tüm hocalarıma çok teşekkür ediyorum. Ayrıca sabır ve azim gerektiren bu zorlu yolculukta kendilerine ayırmam gereken vakitten feragat ederek fedakarlık gösteren motivasyon kaynağım kızlarıma, eşime ve aileme sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

## ÖZET

Bu çalışmada, artan emisyon miktarının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ve enerji arzı kaynaklarını çeşitlendirmek amacıyla son yıllarda dikkatleri üzerine çeken biyoenerji üretimi için kullanılan kaynakların enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre üzerindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Türkiye örneği üzerinden, biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimlerin belirlenen değişkenler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla Türkiye' nin biyoenerji-gıda güvenliği-enerji güvenliği-çevre-nüfus sistem dinamiği simülasyon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model üzerinden politika senaryoları denenerek biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimlerin belirlenen değişkenleri 2021 yılından 2050 yılına kadar ne yönde etkilediği tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu saptanmıştır. Denenen senaryo sonuçlarına göre biyoenerji kaynak kullanımına bağlı olarak değişkenlerin farklı yönlerden etkilendiği gözlemlenmiştir. Ayrıca biyoenerji arzının birçok sektörü birçok açıdan etkileme potansiyeli taşıdığı görülmüştür. Sonuç olarak tüm değişkenlerin bir arada düşünüldüğü sürdürülebilir bir politika ile gıda güvenliğini, enerji güvenliğini, çevreyi ve bunlar ile bağlantılı diğer değişkenleri olumlu yönde etkileyebileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sistem Dinamikleri, Biyoenerji, Gıda Güvenliği, Enerji Güvenliği

## ABSTRACT

In this study, it is aimed to reveal the effects of the sources used for bioenergy production, which has attracted attention in recent years, on energy security, food safety and the environment in order to reduce the negative effects of increasing emissions on the environment and to diversify energy supply sources. For this purpose, Turkey's bioenergy-food security-energy security-environment-population system dynamics simulation model was created in order to examine the effects of changes in bioenergy resource use on the determined variables, through the example of Turkey. By testing policy scenarios on the model created, it has been tried to determine how the changes in bioenergy resource use affect the determined variables from 2021 to 2050. It has been determined that the results obtained are compatible with the literature. According to the results of the tried scenario, it was observed that the variables were affected from different aspects depending on the use of bioenergy resources. In addition, it has been seen that bioenergy supply has the potential to affect many sectors in many ways. As a result, it has been seen that a sustainable policy in which all variables are considered together can positively affect food safety, energy security, the environment and other related variables.

**Key Words:** System Dynamics, Bioenergy, Food Security, Energy Security

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR LİSTESİ .....	xii

### BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ.....	1
1.1.Problem Durumu .....	1
1.2.Çalışmanın Amacı .....	2
1.3. Çalışmanın Önemi .....	3
1.4. Çalışmanın Varsayımları .....	3
1.5. Çalışmanın Yöntemi .....	4
1.6. Çalışmanın Sınırları.....	4

### İKİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE, KÜRESEL EĞİLİMLER VE TÜRKİYE' DE GENEL DURUM.....	6
2.1. Kavramsal Çerçeve.....	7
2.1.1 Biyoenerji Nedir?.....	7
2.1.2 Biyoenerji Kaynakları.....	8
2.1.2.1 Orman Kökenli Kaynaklar .....	9
2.1.2.2 Ziraat Kökenli Kaynaklar .....	9
2.1.2.3 Endüstriyel ve Belediye Atıkları .....	10
2.1.3. Biyoenerji Ürünleri .....	10
2.1.3.1. Biyogaz.....	10
2.1.3.2. Biyodizel .....	11

2.1.3.3. Biyoetanol .....	11
2.1.4. Biyoenerjinin Avantajları.....	12
2.2. Biyoenerji Küresel Durum ve Trendler .....	13
2.2.1. Dünya Genelinde Biyoenerji.....	13
2.2.2. Türkiye’ de Biyoenerjinin Mevcut Durumu, Potansiyeli ve Politikaları .....	19
2.2.2.1. Biyoenerjinin Mevcut Durumu .....	20
2.2.2.2. Biyoenerji Potansiyeli .....	23
2.2.2.3. Biyoenerji Politikası .....	24

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### **BİYOENERJİ POLİTİKALARININ FARKLI SEKTÖRLER ÜZERİNE ETKİSİ ..... 26**

3.1. Biyoenerjinin Kırsal Kalkınmaya Etkisi.....	26
3.2. Biyoenerjinin Gıda Güvenliğine Etkisi .....	27
3.3. Biyoenerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi .....	29
3.4. Biyoenerjinin Karbondioksit Emisyonu ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi.....	29
3.5. Biyoenerjinin Gübre ve Yem Sanayisi Üzerine Etkisi .....	31
3.6. Biyoplastik Sektörü Üzerindeki Etkisi .....	31
3.7. Biyoenerjinin Biyolojik Çeşitlilik Üzerine Etkisi .....	32
3.8. Biyoenerjinin Çevre Kirliliği Üzerine Etkisi.....	32

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### **SİSTEM DÜŞÜNCESİ VE SİSTEM DİNAMİKLERİ..... 35**

4.1. Sistem Kavramı .....	35
4.1.1. Sistem Felsefesi ve Kısa Tarihçesi.....	37
4.1.1.1. Holistik Düşünce .....	38
4.1.1.2. Erekbilimsel Düşünce .....	38
4.1.1.3. Sentez Düşünce .....	38
4.1.2. Sistemlerin Sınıflandırılması .....	39
4.1.3. Sistem Modelleme .....	39
4.1.3.1. Sistem Düşüncesi Modelleme Aşamaları.....	41
4.2. Sistem Düşüncesi: Sistem Dinamği.....	43
4.2.1. Dinamik Simülasyon.....	44
4.3. Sistem Dinamiğinde Modelleme Süreci .....	44
4.3.1. Problemin Tanımlanması .....	45

4.3.2. Sistemin Tanımlanması.....	46
4.3.3. Nitel Analizlerin ve Yeni Stratejilerin Geliştirilmesi .....	46
4.3.4. Benzetim Modelinin Geliştirilmesi.....	47
4.3.5. Modelin Doğrulanması .....	47
4.3.6. Senaryoların Denenmesi ve Politika Önerileri.....	48
4.4. Sistem Dinamiği Modelleme Araçları .....	48
4.4.1. Neden-Sonuç Diyagramları .....	49
4.4.1.1. Nedensellik ve Döngü .....	50
4.4.2. Stok ve Akış Diyagramları.....	52
4.4.2.1. Stok ve Akış Diyagramının Temel Elemanları .....	53
4.4.2.2. Stok-Akış Denklemleri.....	53
4.4.2.2.1. Euler Yöntemi.....	56
4.4.2.2.2. İkinci Mertebeden Runge-Kutta Yöntemi .....	56
4.4.2.2.3. Dördüncü Derece Runge-Kutte Yöntemi .....	58
4.4.2.3. Stokların Sınıflandırılması .....	58
4.4.2.4. Akışların Sınıflandırılması .....	59
4.4.2.5. Dönüştürücüler .....	59
4.4.2.6. Bağlayıcılar .....	60
4.4.3. Denklemler ve Sürekli Simülasyon.....	60
4.5. Sistem Dinamiğinde Kullanılan Simülasyon Yazılımlar.....	60
4.5.1. Powersim.....	61
4.5.2. Dynamo Plus .....	61
4.5.3. Extend .....	61
4.5.4. Vensim .....	61
4.5.5. Stella/İthink.....	61

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **TÜRKİYE, BİYOENERJİ-GIDA GÜVENLİĞİ-ENERJİ GÜVENLİĞİ-ÇEVRE-NÜFUS MODELİ: SİSTEM DİNAMİĞİ YÖNTEMİ İLE SİMÜLASYONU..... 63**

5.1. Literatür Taraması .....	63
5.2. Veri Seti ve Yöntem .....	69
5.2.1. Veri Seti .....	70
5.2.2. Sistem Dinamikleri Simülasyon Yöntemi: Stella .....	70
5.2.2.1. Stella'nın Özellikleri.....	70

5.2.2.2. Stella' nın Avantajları .....	71
5.3. Metodoloji .....	72
5.3.1. Enerji Güvenliği.....	72
5.3.2. Gıda Güvenliği.....	74
5.3.3. Çevre Güvenliği .....	75
5.4. Biyoenerji-Gıda-Enerji-Çevre-Nüfus Modeli.....	75
5.4.2. Duyarlılık Analizi .....	83
5.4.2. Modelin Kalibrasyonu .....	84
5.5. Modelde Politika Denemeleri .....	85
5.5.1. Birinci Senaryo .....	85
5.5.1.1. Birinci Senaryonun Nedeni .....	86
5.5.1.2. Birinci Senaryonun Sonuçları .....	86
5.5.2. İkinci Senaryo .....	90
5.5.2.1. İkinci Senaryonun Nedeni .....	91
5.5.2.2. İkinci Senaryonun Sonuçları .....	91
5.5.3. Üçüncü Senaryo .....	95
5.5.3.1. Üçüncü Senaryonun Nedeni .....	95
5.5.3.2. Üçüncü Senaryonun Sonuçları .....	96
5.5.4. Dördüncü Senaryo .....	99
5.5.4.1. Dördüncü Senaryonun Nedeni .....	100
5.5.4.2. Dördüncü Senaryonun Sonuçları .....	100
5.5.5. Beşinci Senaryo .....	104
5.5.5.1. Beşinci Senaryonun Nedeni .....	105
5.5.5.2. Beşinci Senaryonun Sonuçları .....	106
5.5.6. Altıncı Senaryo .....	109
5.5.6.1. Altıncı Senaryonun Nedeni .....	110
5.5.6.2. Altıncı Senaryonun Sonuçları .....	111
5.6. Senaryoların Karşılaştırılması .....	114
5.6.1. Senaryo Karşılaştırmaları: Nüfus.....	115
5.6.2. Senaryo Karşılaştırmaları: Biyoenerji Arzı.....	116
5.6.3. Senaryo Karşılaştırmaları: Gıda Güvenliği.....	118
5.6.4. Senaryo Karşılaştırmaları: Enerji Güvenliği.....	120
5.6.5. Senaryo Karşılaştırmaları: Emisyon Miktarı .....	121
5.7. Bulgular ve Değerlendirme .....	122

## ALTINCI BÖLÜM

<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>129</b>
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>137</b>
<b>EKLER</b> .....	<b>148</b>
<b>EK-1:</b> Senaryo 1 Sayısal Verileri.....	148
<b>EK-2:</b> Senaryo 2 Sayısal Verileri.....	149
<b>EK-3:</b> Senaryo 3 Sayısal Verileri.....	150
<b>EK-4:</b> Senaryo 4 Sayısal Verileri.....	151
<b>EK-5:</b> Senaryo 5 Sayısal Verileri.....	152
<b>EK-6:</b> Senaryo 6 Sayısal Verileri.....	153
<b>EK-7:</b> Senaryolarda Gıda Güvenliğinin Karşılaştırmalı Sayısal Verileri .....	154
<b>EK-8:</b> Senaryolarda Enerji Güvenliğinin Karşılaştırmalı Sayısal Verileri .....	155
<b>EK-9:</b> Senaryolarda Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Sayısal Verileri.....	156
<b>EK-10:</b> Senaryolarda Biyoenerji Üretiminin Karşılaştırmalı Sayısal Verileri .....	157
<b>EK-11:</b> Senaryolarda Nüfus Miktarının Karşılaştırmalı Sayısal Verileri .....	158

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1.</b> Kaynaklarına Göre 2018 Yılı Küresel Enerji Kullanımı (EJ) .....	15
<b>Tablo 2.</b> Sektöre Göre Küresel Enerji Kullanım Çeşidi (2018) .....	15
<b>Tablo 3.</b> Kıtalara Göre 2018 Yılı Yenilenebilir Enerji arzı (EJ) .....	16
<b>Tablo 4.</b> Dünya Geneli Yerel Biyoenerji Arzı Kaynakları (EJ) .....	17
<b>Tablo 5.</b> Kıtalara Göre Yerel 2018 Yılı Kaynak Çeşidi Bakımından Biyoenerjisi Arzı (EJ) .	18
<b>Tablo 6.</b> Dünya Elektrik Üretiminde Yenilenebilir ve Biyokütle Enerji Payları .....	19
<b>Tablo 7.</b> Türkiye Yıllık Atıklardan Biyoenerji Potansiyeli .....	23
<b>Tablo 8.</b> Ülkelerin Biyoyakıt Üretiminde Kullandıkları Tarım Ürünü Miktarı (2008) .....	28
<b>Tablo 9.</b> Modelin Kalibrasyon Sonuçları .....	84
<b>Tablo 10.</b> Senaryolarda değişkenlerin etki durumu .....	127

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Biyokütle, Biyoyakıt ve Biyoenerji .....	8
Şekil 2. Dünyada Bölgelere Göre 2019 Yılı Biyoenerji Üretim Oranları.....	14
Şekil 3. Yenilenebilir Enerji Kaynak Çeşitlerinin Küresel Elektirik Enerjisi Üretimindeki Payı (2018).....	16
Şekil 4. Yerel Biyokütle Enerji Arzı (2018) .....	18
Şekil 5. Biyokütle Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi (2018) .....	19
Şekil 6. Türkiye' de Toplam Birincil Enerji Arzı.....	20
Şekil 7. Kaynağına Göre Türkiye' de Yenilenebilir Enerji Arzı (2017) .....	21
Şekil 8. Türkiye' de Biyoenerji Üretimi (TEP) .....	22
Şekil 9. Kaynağına Göre Biyoenerjiden Elektrik Üretimi (GWH).....	22
Şekil 10. Matematiksel Modellerin Sınıflandırılması .....	41
Şekil 11. Sistem Dinamiklerinde Modelleme Süreçleri.....	45
Şekil 12. Bardağa Suyun Dolması Döngüsü .....	49
Şekil 13. Bardağa Suyun Dolum Döngüsü Diyagramı .....	50
Şekil 14. Doğadaki Su Döngüsü .....	51
Şekil 15. Stok ve Akış Diyagramları .....	52
Şekil 16. Stok ve Akış.....	54
Şekil 17. Türkiye' nin Biyoenerji- Gıda- Enerji- Çevre- Nüfus Gelecek Projeksiyon Modeli Stella Diyagramı.....	77
Şekil 18. Birinci Senaryo ve Arayüzü.....	86
Şekil 19. Her Zamanki Durum Senaryosu Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri.....	87
Şekil 20. Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji Arz- Tüketim Değişken Grafikleri.....	88
Şekil 21. Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji İthalatı Değişkenleri Grafikleri .....	88
Şekil 22. Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji İthalatı Yenilenebilir Enerji Grafikleri.....	89
Şekil 23. Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji Tüketim Miktarı-Emisyon İlişkisi .....	90
Şekil 24. İkinci Senaryo ve Arayüzü .....	91
Şekil 25. Dış Etkenler Senaryosu Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri .....	92
Şekil 26. Dış Etkenler Senaryosu Enerji Arz- Tüketim Değişken Grafikleri .....	92
Şekil 27. Dış Etkenler Senaryosu Enerji Tüketimi- Emisyon İlişkisi.....	93
Şekil 28. Dış Etkenler Senartosu Enerji İthalatı Değişken Grafikleri.....	94
Şekil 29. Dış Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı-Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri ...	94

<b>Şekil 30.</b> Üçüncü Senaryo ve Arayüzü .....	95
<b>Şekil 31.</b> İç Etkenler Senaryosu Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri .....	96
<b>Şekil 32.</b> İç Etkenler Senaryosu Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri.....	97
<b>Şekil 33.</b> İç Etkenler Senaryosu Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi .....	97
<b>Şekil 34.</b> İç Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı Değişken Grafikleri .....	98
<b>Şekil 35.</b> İç Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı-Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri .....	99
<b>Şekil 36.</b> Dördüncü Senaryo ve Arayüzü .....	100
<b>Şekil 37.</b> Karma Senaryo Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri .....	101
<b>Şekil 38.</b> Karma Senaryo Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri .....	102
<b>Şekil 39.</b> Karma Senaryo Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi.....	102
<b>Şekil 40.</b> Karma Senaryo Enerji İthalatı Değişken Grafikleri.....	103
<b>Şekil 41.</b> Karma Senaryo Enerji İthalatı-Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri .....	104
<b>Şekil 42.</b> Beşinci Senaryo ve Arayüzü .....	105
<b>Şekil 43.</b> Beşinci Senaryo Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri .....	106
<b>Şekil 44.</b> Beşinci Senaryo Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri.....	107
<b>Şekil 45.</b> Beşinci Senaryo Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi .....	107
<b>Şekil 46.</b> Beşinci Senaryo Enerji İthalatı Değişken Grafikleri .....	108
<b>Şekil 47.</b> Beşinci Senaryo Enerji İthalatı- Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri .....	109
<b>Şekil 48.</b> Altıncı Senaryo ve Arayüzü.....	110
<b>Şekil 49.</b> Altıncı Senaryo Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri.....	111
<b>Şekil 50.</b> Altıncı Senaryo Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri.....	112
<b>Şekil 51.</b> Altıncı Senaryo Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi .....	113
<b>Şekil 52.</b> Altıncı Senaryo Enerji İthalatı Değişken Grafikleri .....	113
<b>Şekil 53.</b> Altıncı Senaryo Enerji İthalatı- Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri .....	114
<b>Şekil 54.</b> Senaryo Karşılaştırmaları: Nüfus.....	116
<b>Şekil 55.</b> Senaryo Karşılaştırmaları: Biyoenerji Arzı .....	117
<b>Şekil 56.</b> Senaryo Karşılaştırmaları: Gıda Güvenliği.....	119
<b>Şekil 57.</b> Senaryo Karşılaştırmaları: Enerji Güvenliği.....	120
<b>Şekil 58.</b> Senaryo Karşılaştırmaları: Emisyon Miktarı .....	121

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AENIOM</b>	: Avrupa Biyokütle Örgütü
<b>BEPA</b>	: Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası
<b>BM</b>	: Birleşmiş Milletler
<b>BMİDÇS</b>	: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
<b>BP</b>	: British Petroleum
<b>CİS</b>	: Bağımsız Devletler Topluluğu
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>EMF</b>	: Enerji Modelleme Forumu
<b>FAO</b>	: Food And Agriculture Organization
<b>GST</b>	: Genel Sistem Teorisi
<b>GSYİH</b>	: Gayrisafi Yurtiçi Hasıla
<b>GWH</b>	: Gigawatt Saat
<b>H<sub>2</sub></b>	: Hidrojen
<b>HES</b>	: Hidro Elektrik Santrali
<b>IEA</b>	: International Energy Agency
<b>IRENA</b>	: International Renewable Energy Agency
<b>KDV</b>	: Katma Değer Vergisi
<b>MIT</b>	: Massachusetts Institute Of Technology
<b>MİTC</b>	: Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti
<b>OECD</b>	: Organization For Economic Co-operation and Development

<b>TEP</b>	: Ton Eşdeğer Petrol
<b>TSKB</b>	: Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu
<b>YEK</b>	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
<b>YEKDEM</b>	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması



# BİRİNCİ BÖLÜM

## GİRİŞ

### 1.1.Problem Durumu

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması, gelişmiş, gelişmekte olan ülkeler ile yükselen ekonomilerin enerji ihtiyacı ile birlikte küresel enerji talebinde ciddi bir artış yaşanmaktadır. Yaşanan bu enerji talebi ile beraber, 1970 petrol krizinden günümüze kadar enerji arzının güvenliği, enerji kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve enerji talebinin baş tedarikçisi konumundaki fosil yakıtların büyük oranda neden olduğu iklim değişikliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve bu yakıtların önümüzdeki yüzyıl içerisinde tükenmelerine dönük tahminler nedeniyle ülkeler sürekli alternatif politika arayışları içerisine girmektedir. Bu arayışlar tüm dünyada olduğu gibi fosil yakıt bağımlısı olan ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Tarımsal kökenli ve yerli bir enerji kaynağı olması nedeniyle dünya genelinde biyoyakıt kaynaklarına ve biyoyakıtlara dayalı enerji sistemlerine bir yönelimin olduğu görülmektedir.

Ülkemiz gibi petrol ürünlerine bağımlı olan ülkeler için bir fırsat olarak görülmesiyle beraber biyoenerji politikalarının biyoenerji kaynak kullanımına bağlı olarak tarım sektörü üzerinde ciddi etkilerinin olacağı açıktır. Özellikle biyoenerji kaynağı olarak kullanılan ürünlerin gıda ve enerji rekabetine neden olma ihtimali, arazi kullanım değişikliklerine sebep olabilme potansiyeli, su kaynakları, diğer çevresel etkiler ve gereğinden fazla yönelim ile beraber fosil yakıt fiyatlarının ucuzlaması ile bu yakıtlara yönelimin umulanın tersine daha da artma meyili göstermesi gibi etkilerinin olması kaçınılmazdır.

Biyoenerji politikalarının kırsal kalkınma açısından olumlu etkileriyle beraber özellikle gıda amaçlı tarımsal arazilerin enerji amaçlı kullanılmaya başlanması gıda amaçlı üretimi olumsuz etkileyecek, üretimin azalmasına neden olacaktır. Bu durum gıda fiyatlarının artması, gıda arzının azalması ve yoksul kesimin gıda ürünlerine erişimi açısından olumsuz etkilere sebep olacaktır. Bu etkiler ile beraber küresel anlamda biyoenerji için sürdürülebilirlik kriterlerinin belirlenmemesi bu alanda verim kaybına ve hammadde israfına neden olmaktadır. Bu süreç ise daha büyük sorunları oluşturma potansiyeli taşımaktadır.

Bütün bunların yanında dünya genelinde yaşanan hızlı şehirleşme ve bu şehirleşmenin en önemli sorunlarından biri olan şehir atıklarının sebep olduğu çevresel olumsuzlukların bertaraf edilmesi ile bu atıkların geri dönüşümü problemi biyoenerji politikalarına ayrı bir

önem atfetmektedir. Büyükşehirlerdeki yaşam kalitesinin artırılması, sürdürülebilir çevre politikası ve enerji ihtiyacının karşılanabilmesi açısından biyoenerji önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmanın problemi; Türkiye’ de biyoenerji politikalarının gıda ve enerji güvenlikleri ile çevre üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

## **1.2.Çalışmanın Amacı**

Çalışmamızı amacı; son yıllarda özellikle çevre güvenliği açısından dünya genelinde biyoenerji için enerji tarımına yönelimdeki artış trendinin diğer sektörler üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve Türkiye açısında biyoenerji politikalarının gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre üzerindeki olası etkilerini incelemektir. Bu kapsamda öncelikle biyoenerji ile diğer sektörler arasındaki ilişki, başta AB olmak üzere dünyadaki biyoenerji politikalarının mevcut durumu ve gelecekteki hedefleri ele alınacaktır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak biyoenerji ile ilgili kavramsal çerçeve oluşturulacaktır. Bu çalışmanın amacı; sistem dinamiği simülasyon modeli kullanarak, biyoenerji kaynak kullanımına bağlı olarak oluşturulan çeşitli senaryolarda gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevresel etkilerini analiz etmek ve gelecekteki seyrini öngörmektir.

Çizilen bu çerçeve kapsamında aşağıdaki sorulara cevap aranacaktır:

- a) Biyoenerji nedir ?
- b) Dünyada biyoenerjiye yaklaşım durumu nasıldır?
- c) Biyoenerji ile diğer sektörler arasındaki ilişki ne yöndedir?
- d) Biyoenerji kaynak kullanım politikaları çerçevesinde enerji amaçlı tarımsal üretimi, gıda güvenliğini, enerji güvenliğini ve çevreyi nasıl etkiler?
- e) Biyoenerjinin 2050 yılına kadar Türkiye’ nin enerji talebini karşılamadaki ağırlığı nasıl olacaktır?
- f) Biyoenerji kullanımı çevre açısından emisyon üzerindeki etkisi ne düzeydedir?
- g) Atıkların bertaraf edilme sorununa çözüm olarak sunulabilir mi?
- h) Türkiye’ nin enerji güvenliği ile gıda güvenliği 2050 yılına kadar mevcut koşullar altında nasıl olacaktır?
- i) Toplam enerji arzında yenilenebilir enerjinin gelecek projeksiyonu nasıl olacaktır.
- j) Oluşturulabilecek olası politika senaryoları gıda güvenliğini, enerji güvenliğini ve çevreyi nasıl etkileyecektir?

k) Kırsal kalkınma politikalarındaki yeri nedir?

### 1.3. Çalışmanın Önemi

Dünya geneli enerji talebinde yaşanan artış ve oluşan bu enerji talebinin birincil tedarikçisi konumundaki fosil yakıtların neden olduğu küresel ısınma ve iklim değişikliğinin çevre üzerindeki olumsuz etkisi, çevreci ve yerli bir enerji kaynağı olarak görülen biyoenerjiye gereğinden fazla bir yönelime sebep olması durumunda, beraberinde dünyamız için çok daha büyük sorunlara neden olacaktır. Kaynak olarak tarımsal atıklar ve kent atıklarının kullanılmasının çevre ve diğer sektörler açısından olumlu etkilerinin yanında, ucuz ve yerli enerjinin cazibesi gıda amaçlı tarımdan enerji amaçlı tarıma bir yönelime neden olması kaçınılmazdır. Bu nedenle dünya ekonomisindeki yeri ve yüksek yoksulluk oranına sahip kesimin temel besin ihtiyaçlarına erişmesi bakımından çok önem arz eden gıda güvenliği üzerindeki olumsuz etkisi ihmal edilemeyecek önemdedir. Bunun yanında kullanılan kaynağa bağlı olarak çevre üzerindeki olumlu etkisinin yanında telafisi mümkün olmayan olumsuz etkileri de ihmal edilemeyecek düzeydedir. Biyoenerji politikası oluşturulurken bu etkilerinin iyi analiz edilmesi ve üzerinde ciddi durulması gerektiği düşünülmektedir.

Bütün bu nedenlerden dolayı bu çalışma, biyoenerji politikalarının Türkiye’ de gelecekteki gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevresel etkileri teorik ve ampirik olarak ortaya çıkarılması ile elde edilecek sonuçlar ışığında politika oluşturulmasında, sürdürülebilirlik açısından ve kullanılan model ile literatüre katkısı olacaktır.

### 1.4. Çalışmanın Varsayımları

Bu çalışmada varsayımları:

- a) Türkiye’ de enerji amaçlı tarımsal üretim artışının etkisiyle biyoenerji üretimi arttıkça gıda arzı olumsuz etkilenecektir.
- b) Enerji amaçlı tarım, gıda amaçlı tarım rekabeti ortaya çıkacaktır.
- c) Biyoenerjidense diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji arzındaki ağırlığı daha çok artacaktır.
- d) Türkiye’ nin enerji talebi 2050 yılına kadar sürekli artacaktır.
- e) Kentsel atıkların değerlendirilmesi açısından biyoenerji önemli bir

alternatiftir.

f) Tarımsal üretim artacak fakat gıda talebini karşılayamada yetersiz kalacaktır.

g) Biyoenerji potansiyeli ve arzındaki artış 2050 yılına kadar Türkiye' nin enerjide dışa bağımlılığını tamamen ortadan kaldırmadan çok uzaktır.

h) Gıda amaçlı tarımsal üretim ile enerji amaçlı tarımsal üretim rekabetine yol açabilme potansiyeline sahiptir.

### **1.5. Çalışmanın Yöntemi**

Türkiye' de biyoenerji sektörünün 2007-2018 verilerinden yararlanılarak 2050 yılına kadar enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre üzerindeki olası etkilerinin nasıl bir değişim yaşayabileceğini dinamik sistem simülasyon modeli ile incelenecektir. Bu kapsamda model enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre olmak üzere üç bölüme ayrılacaktır. Herbir bölümün yapısı ve diğer bölümler ile olan ilişkisini ortaya koyacak sistem dinamiği simülasyon modeli oluşturulacaktır. Daha sonra oluşturulan sistem dinamiği simülasyon modeli kalibre edilecek ve böylece sistemin düzgün bir şekilde çalışması sağlanacaktır. Kalibrasyon özel bir optimizasyon çeşidi olması nedeniyle modelimiz Stella yazılım programına eklenen optimizasyon yardımıyla kalibre edilecektir. Modelin kalibre edilmesi ardından, kalibre edilen veriler modelde kullanılacaktır. Avrupa Birliğinin (AB) 2035 çerçevesi ve 2050 hedefleri ile biyoenerji için kullanılan kaynağa ve Türkiye' nin reel durumu gözönünde bulundurularak çeşitli senaryolar oluşturulacak ve bu senaryolar ışığında Türkiye politika karşılaştırmaları yapılarak en uygun politika belirlenecektir.

### **1.6. Çalışmanın Sınırları**

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Dünya Bankası (WORLDBANK), British Petroleum (BP), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, World Bioenergy Association ve Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) gibi çeşitli kurumlardan/veritabanlarından elde edilecektir.

Biyoenerji ve diğer sektör verileri bir yıllık bir süreç için ele alındığında, o yıla has özellikler nedeniyle bir genel oran oluşturmada ve genel bir yargıda bulunmada sıkıntılar oluşacağı ve veri erişim kısıtlamaları da göz önünde bulundurularak 2007-2018 yılları arasındaki verilerin ortalamaları alınarak modelde kullanılacaktır.

Bütün bu veri kaynakları, veri kısıtları ve veri aralığı göz önünde bulundurularak dinamik sistem yaklaşımı simülasyon yöntemiyle Türkiye' nin 2021' den 2050 yılına kadar Enerji Güvenliği-Gıda Güvenliği-Çevre gelecek projeksiyon modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışmada dinamik sistem simülasyon modeli oluştururken, bilgisayar tabanlı bir yazılım olan dinamik sistem medelleme paketi olarak STELLA kullanılmıştır.



## İKİNCİ BÖLÜM

### KAVRAMSAL ÇERÇEVE, KÜRESEL EĞİMLER VE TÜRKİYE' DE GENEL DURUM

Sanayi devriminden günümüze kadar enerji kullanımının insanoğlunun yaşam serüveninde sürekli artan bir trendde yer edindiği görülmektedir. Gelecekte de enerjinin hayatımızdaki öneminin daha da artacağı aşikar bir şekilde öngörülmektedir. Sosyal, ekonomik ve siyasal hayattaki enerji kavramının ağırlığı ve önemindeki artış; beraberinde enerji rekabetine, enerji savaşlarına, farklı küresel mücadelelere ve alternatif kaynak arayışlarına zemin hazırlamıştır.

Sanayide, ulaşımda, endüstride ve haneler başta olmak üzere hemen hemen yaşamın tüm alanlarında enerji kaynağı olarak, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre dünya genelinde %38 ile petrol, %23 ile doğalgaz ve %26 ile kömür olmak üzere fosil yakıtlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtların yaygın olarak kullanılması ve enerjiye hayatımızın her alanındaki bağımlılığın her geçen gün daha da artış göstermesiyle birlikte düşünüldüğünde, bu kaynakların tükenbilme ihtimali farklı alternatif arayışlarını sürekli olarak tetiklemektedir.

Fosil yakıtların yaygın kullanımının sağladığı kolaylıklar ile beraber telafisi zor olan çevresel yan etkileride göz ardı edilemeyecek düzeydedir. Bu yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan yan ürünleri çevre kirliliği başta olmak üzere salınan CO<sub>2</sub> ve diğer gazların emisyonunda yaşanan artışın sebep olduğu küresel ısınma, dünyanın geleceğini ve insanların yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Dünyamızın gelecek nesillere en az tahrip ve sağlıklı bir şekilde bırakılması yaşam kalitesinin sürekliliği açısından çok önemlidir. Bu nedenlerden dolayı çevreye etkisi daha az ve ihtiyacı karşılayabilecek alternatif enerji kaynaklarının kullanılması elzemdir.

Dünya üzerindeki fosil yakıtların daha çok belli bölgelerde toplanması, enerji ihtiyacı yüksek ülkelerin bu kaynaklara ulaşmada belli zorluklar yaşamasına neden olmakta ve beraberinde bir enerji arz güvenliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu kaynakların belli bölgelerde toplanması ekonomik ve askeri açıdan güçlü ülkelerin bu bölgeleri kontrol altına alma girişimlerine neden olmakta ve bu durum diğer ülkeler için ulusal enerji güvenliği sorunu doğurmaktadır. Ekonomik ve sosyal hayatın sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi açısından enerji ulaşılabilirliği ve sürekliliği vazgeçilmez bir unsurdur.

Ülkeler vatandaşlarına daha güvenli, sağlıklı ve müferreh bir yaşam sunmaları için enerji kaynaklarına ulaşmadaki sorunları bertaraf etmek durumundalar. Bu nedenle enerji arz güvenliği amacıyla arz çeşitliliğini sağlamak gerekmektedir. Yaşanan savaşlar, boykot ve ambargo gibi durumları gözönüne alındığında bu enerji çeşitliliği içerisinde yerel kaynak artışı en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Coğrafyanın kader olduğu olgusu gözönünde bulundurulduğunda en fazla kullanılan enerji kaynağı olan fosil yakıtlara sahip bir ülke değilseniz enerji güvenliğinizi sağlamada tedarikte alternatif oluşturmak ve en önemlisi yerli kaynak oluşturmak durumundasınız.

Bütün bu sebeplerden dolayı alternatif, yerli, çevreci, sağlıklı ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak biyoenerji karşımıza çıkmaktadır. Dünya üzerinde fosil yakıtların sebep olduğu sorunlar nedeniyle tüm yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi biyoenerjiye de artan trend de bir yönelimin olduğu görülmektedir. Bu alanda başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Brezilya, Çin Halk Cumhuriyeti ve Avrupa Birliği (AB) olmak üzere tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çeşitli politikalar geliştirdikleri ve geliştirici teknolojilere yöneldikleri görülmektedir.

Bu bölümün amacı olarak biyoenerjinin kavramsal çerçevesini oluşturmak, dünya genelinde ve özelde ülkemizdeki mevcut kullanım durumunu, yaygınlığını ve yönelimlerini ortaya koymaktır. Bu amaçla biyoenerjinin tanımı yapılacak, kaynakları ortaya konacak ve bu kaynakların verimi ele alınacaktır. Daha sonra enerji kaynakları içerisindeki mevcut durumu ve yeri açıklanacaktır. Bu alanda gelişmiş ülkelerdeki arz yöntemi ve durumu ortaya konacak ve farklı ekonomik bölgeler ile ülkelerdeki genel durumu ele alınacaktır. Ayrıca Türkiye’deki genel durumu arz yöntemi, enerji arzı içerisindeki yeri ayrıntılı olarak incelenecek, kaynak kullanımına bağlı avantaj ve dezavantajları özetlenecektir.

## **2.1. Kavramsal Çerçeve**

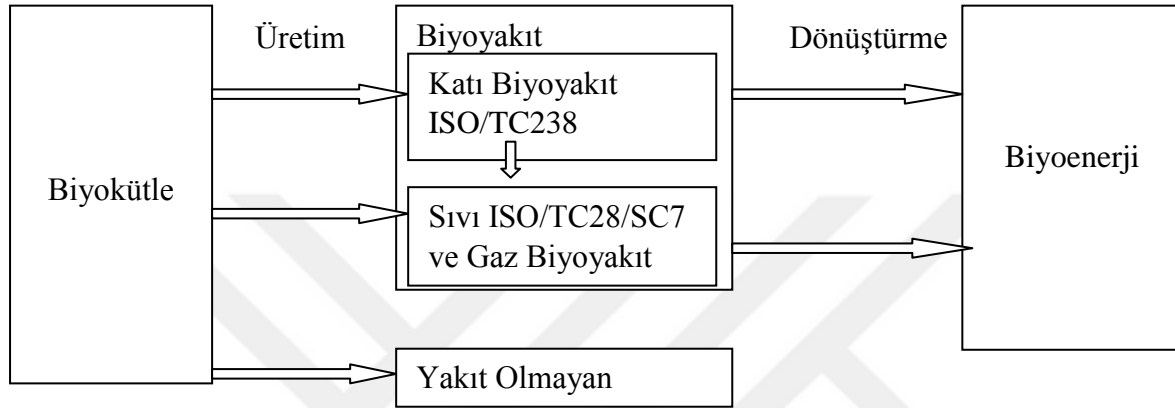
Bu bölümde genel anlamda biyoenerjinin tanımı yapılarak biyoenerji kaynakları açıklanacaktır. Bu kaynaklar açıklandıktan sonra biyoenerji arzında elde edilebilecek ürün çeşitleri tanımlanacaktır. Daha sonra biyoenerji kullanımının avantajları ile dezavantajları üzerinde durulacaktır.

### **2.1.1 Biyoenerji Nedir?**

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer tutan biyoenerji; tarım ve orman ürünlerinin güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanmasıyla oluşan organik madde kaynaklarıyla belediye atıkları olmak üzere canlı ve

cansız biyolojik maddeler ile hayvansal atıklar ve endüstriyel atıklardan elde edilen organik kökenli bir enerji çeşididir (Dağdelen, 2015: 4; Sözen ve Diğerleri, 2017:149; Kurt, 2010:242). Biyogaz, biyodizel, biyoetanol ve biyokütle biyoenerji üretim seçeneklerinin başında gelmektedir. Bunun dışında farklı biyoenerji çeşitliliği üzerinde çalışmalarda günümüzde devam etmektedir.

**Şekil 1.** Biyokütle, Biyoyakıt ve Biyoenerji



**Kaynak.** ( Sözen vd., 2017:150)

Terim olarak biyokütle; karada ve suda yetişen bitkiler, ormanlar, hayvansal atıklar, her türlü otsu ve odunsu bitkiler, sanayi ve belediyelerin organik atıklarını içeren her türlü organik maddelere verilen addır. Bu biyokütle kaynakları çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden geçirilerek ticari özelliğe sahip temel ve belirli özellikleri standartlandırılmış katı, sıvı ve gaz haldeki biyoenerjiye dönüştürülmektedir (Korkmaz ve Deniz , 2019:143).

Biyokütle kaynak olarak; bitkisel biyokütle kaynakları, orman ve orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynakları, hayvansal biyokütle kaynakları ve organik çöpler ile şehir ve endüstriyel atıklardan elde edilen biyokütle kaynaklarından oluşmaktadır (Enerji ve tabii kaynaklar Bakanlığı). Bu biyokütle kaynakları çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonunda yakıt olarak biyogaz, etanol, hidrojen, metan, metanol ve motorin gibi yakıtlar elde edilmektedir (Karayılmazlar, 2011:65).

### 2.1.2 Biyoenerji Kaynakları

Biyokütlenin, bitkilerin fotosentez yoluyla doğrudan ürettiği tüm organik maddelerin ve dolaylı olarak bu organik maddelerin hayvanlar tarafından sindirilmesiyle ortaya çıkan hayvansal atıkların oluşturduğu bütün organik maddelere verilen ad olduğunu biliyoruz

(Deloitte, 2014:5). Bitkilerin fotosentez sırasında havadaki CO<sub>2</sub> 'i alarak bitkinin yapıtaşları olan selüloz, hemiselüloz ve lignin ve karbonhidrat formuna dönüştürmesi sırasında depoladığı güneş enerjisini biyoenerji olarak tanımlıyoruz (Aslantaş, 2018:7-8). Bu tanımlamalardan esas itibariyle biyoenerji kaynağının bitkiler olduğunu görmekteyiz. Bunun yanında evlerimizde, endüstri ve sanayideki organik ve inorganik atıklarında birer biyoenerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu tanımlamalar ışığında bitki kavramı ve atık kavramının yaygınlığı ve genişliği biyoenerji kaynaklarının sınıflandırılmasını zorlaştırmasıyla beraber aşağıdaki başlıklar altında kaynak sınıflandırması yapılmıştır.

### **2.1.2.1 Orman Kökenli Kaynaklar**

Dünya yüzeyinin yaklaşık olarak %30' u doğal ve yapay ormanlardan oluşmaktadır. Bu ormanlardaki her türlü atık aslında birer biyoenerji kaynağıdır. Yapraklar, düşen dallar, kurumuş ağaçlar gibi hertürlü orman artığı ile ağaçlar birer biyoenerji kaynağıdır. Bu artık biyokütlelerden son yıllarda enerji ormancılığı adı altın her türlü orman ve ağaç atıklarından faydalanarak biyoenerji üretimi artmıştır (Aslantaş, 2018:10).

### **2.1.2.2 Ziraat Kökenli Kaynaklar**

Ziraat kökenli kaynaklar; tarımsal faaliyetler ve hayvansal faaliyetler sonucu oluşan atıklar ile yan ürünler ve enerji amaçlı tarımsal üretim faaliyetleri sonucu elde edilen kaynaklardır.

Dünya üzerinde enerji amaçlı tarımsal üretim faaliyetleri gittikçe artış göstermektedir. Bu alanda özellikle Amerika kıtasındaki ülkelerde ve uzak doğu ülkelerinin bir kısmında oldukça yaygınlaşmıştır. Enerji amaçlı tarımsal üretim faaliyetlerinde ayçiçek, kolsa, soya, pamuk, mısır, pancar gibi yağlı bitkiler biyoenerji üretmek amacıyla yetiştirilmektedir. Son yıllarda gittikçe artan trendde bir toprak alanı biyoenerji amaçlı bu bitkilerin yetiştirilmesi için tarımsal üretime açılmaktadır.

Diğer bir zirai faaliyet olan hayvancılık faaliyetleri sonucu oluşan artıklar (hayvan leşleri gibi) ve gübre biyoenerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde daha çok güneşte kurutulup başka bir işlem geçirilmeden gübre amaçlı toprağa salınan hayvansal gübreler önemli bir biyoenerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyoenerji kaynağı olarak kullanımı; işlem sonucu elde edilen biyogaz ve ardından arta kalan ürünlerin tarımsal gübreleme faaliyetlerinde kullanılması şeklindedir.

Enerji tarımı ve hayvansal atıklar dışında biyoenerji kaynağı olarak kullanılan diğer bir zirai faaliyet de tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan hasat artıkları ile bu faaliyetler

sonucu elde edilen gıdaların hanelere ulaştırılma sürecinde ortaya çıkan atıklar biyoenerji üretiminin önemli bir zirai kaynağını oluşturmaktadır.

### **2.1.2.3 Endüstriyel ve Belediye Atıkları**

Dünya genelinde son yıllarda artan sanayileşme ve bu sanayileşmenin beraberinde getirdiği her türlü endüstriyel atık ile kent yaşamında açığa çıkan her türlü atığın oluşturduğu kaynak birer biyoenerji kaynağı olarak değerlendirilebilme potansiyeli taşımaktadır. Daha açık bir ifade ile evlerimizde oluşan her türlü organik ve inorganik atık ile belediye hizmetleri sonucunda açığa çıkan hertürlü hurdalık, park ve bahçe atıkları, meyve ve sebze hal ve Pazar atıkları, arıtma ve ayrıştırma atıkları ile evcil hayvan atıkları biyoenerji üretiminde değerlendirilebilir (International Energy Agency, 2016:14). Ayrıca kentteki hastaneler ve sanayi kuruluşlarınca üretilen veya açığa çıkan atıklar da birer biyoenerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Özellikle sanayi atıklarının çevre üzerindeki olumsuz etkileri düşünüldüğünde bu atıkların biyoenerji üretiminde değerlendirilmesi ayrı bir önem kazanmaktadır.

### **2.1.3. Biyoenerji Ürünleri**

Çalışmamızdan esas itibariyle biyoenerjiden kasıt; modern anlamda biyoenerji arzıdır. Modern anlamda biyoenerji geliştirme düşüncesi dünyada 1970'li yıllarda başlamıştır. Ülkemizde ise 2000'li yıllardan sonra gündem olmaya başlamış bir enerji çeşididir. Biyoenerji üretiminde uygulanan kimyasal yöntemlere göre farklı ürünler arz edilmektedir. Burada son ürün olarak açığa çıkan son atıklardan elde edilen likit gübre ve hayvansal yem kast edilmemektedir. Biyoenerji üretimin ana hedefi olan enerji arzı kast edilmektedir. Bu nedenle çalışmanın bu başlığında biyoenerji üretiminde elde edilen biyoenerji ürün çeşitleri üzerinde durulacaktır. Bu ürünler biyogaz, biyodizel ve biyoetanoldür.

#### **2.1.3.1. Biyogaz**

Bitki ve hayvansal atıkların ile organik kısmı ayrıştırılmış kentsel atıkların havasız ortamlarda fermantasyonu sonucu elde edilmektedir. Bu işlem sonucunda ürün olarak metan, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub> ortaya çıkmaktadır.(Tolay vd., 2008:2; Şenol ve diğerleri, 2017:85; Ardiç ve Taner, 2020:1-2). Ortaya çıkan bu ürünlerden metan biyogaz olarak elektrik enerjisine dönüştürmek suretiyle yada direkt olarak ısınmada yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Dünya genelinde biyogaz üretimi çoğunlukla tek tip hayvansal gübrelerden anaerobik üretim yöntemleri ile sağlanmaktadır. Bu yöntem ile özellikle kırsal kesimlerde büyük hayvan

çiftliklerinin ve kırsal nüfusun enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli bir kaynak olmuştur. Bu şekilde bir strateji; Avrupa ülkeleri ve özellikle Danimarka başta olmak üzere ABD, Çin ve Güney Amerika ülkelerinden büyük çiftliklerin yaygın olduğu Brezilya ve Arjantin gibi ülkelerde uygulanmaktadır (Yıldız vd., 2009: 4; Şenol vd., 2017:85-86; Tolay vd., 2008:2). Son yıllarda ise özellikle büyükşehirlerde kentsel ev atıklarının biyogaz olarak değerlendirilmesi bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaşmaktadır.

### **2.1.3.2. Biyodizel**

Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlar gibi kaynakların kimyasal veya ısıl yöntemler ile işlenerek elde edilen alternatif bir dizel yakıt olarak tanımlanabilir (Aksoy, 2010:45; Alptekin ve Çanakçı, 2012:57). Üretimi ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem ile yapılmakta olup; kimyasal yöntem daha çok tercih edilmektedir. Kimyasal yöntem; inceltme (seyreltme), mikro-emülsiyon oluşturma, proliz ve transestrifikasyon kısımlarında incelenmektedir (Aksoy, 2010:46). Kaynak olarak kolza, aspir, soya fasulyesi, hindistan cevizi, kenevir ve ayçiçek gibi yağlı tarımsal ürünler kullanılabilirdiği gibi donmuş yağlar ve balık yağından da biyodizel üretimi yapılabilmektedir. Ayrıca yosun ve atık yemeklik yağlardan da üretimi yapılabilmektedir (Oğuz vd., 2012: 77).

Birçok ülkede biyodizel kullanımı teşvik edilmektedir. Artan taşıt kullanımı ve bu durumun neden olduğu çevre kirliliği ile mücadele bu teşviklerin ana sebebini oluşturmaktadır. Özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde çeşitli hedefler ile hükümetler politika oluşturmaya zorlanmıştır. Bu nedenle Almanya, İtalya ve Avusturya başta olmak üzere tüm Avrupa ülkelerinde biyodizel üretim ve tüketimi son yıllarda ciddi manada artmıştır. ABD' de ve diğer Amerika kıtası ülkeleri Brezilya ve Arjantin başta olmak üzere, Çin, Endonezya, Malezya ve Japonya gibi Asya ülkelerinde de üretim ve tüketimi artmıştır. Ayrıca Kyoto Protokolü ile %2 ve 2010 yılından sonra da %10 biyodizel kullanımı zorunlu hale gelmiştir.

### **2.1.3.3. Biyoetanol**

Biyoetanol; tahıllar, melas, meyveler, şeker kamışı özü, selüloz ve diğer bitkisel kaynakların mikroorganizmalar tarafından şekerlerin fermante edilmesiyle biyolojik olarak üretilmekte ve akabinde damıtma ile elde edilebilmektedir (Yiğitoğlu ve diğerleri:2010 Aktaran: Akalın ve Seyrekbasan, 2015:158). Üretim yeni olan bir enerji çeşidi değildir. Henry Ford ve Nikola Otto tarafından üretilen ilk arabalar ve onların içten yanmalı motorları etanol ile çalışmaktaydı (Solomon et al., 2007:31; Demirbas, 2009:86).

Tahıllardan üretilen biyoetanolün taşımacılık sektöründe kullanılması teorik olarak karbon nötr bir süreç olduğu ve çevre açısından faydalı olduğu kabul edilir. Ancak kaynağı olan tahılların üretim süreçlerinde karbon salınımı göz önünde bulundurulduğunda tamamen nötr bir süreç olmamasına rağmen benzine göre daha düşük karbon salımlı bir süreçtir (Melikoğlu ve Albostan, 2011:153).

Biyoetanol biyoyakıt piyasasının % 85' ini oluşturmakta olup 2000 yıllardan sonra üretimi daha da artmıştır. Amerika Birleşik Devletleri ile Brezilya dünya genelinde biyoetanolün yaklaşık olarak % 86' sını birlikte üreterek bu alanda liderdirler. Geri kalan üretimin büyük çoğunluğunu da Avrupa Birliği ülkeleri ile Çin yapmaktadır (Akalin, 2015:159).

#### **2.1.4. Biyoenerjinin Avantajları**

Dünya genelinde artan enerji talebini karşılamak amacıyla alternatif kaynak artışı ile ilgili çalışmalar kesintisiz olarak devam etmektedir. Arz edilen enerji kaynaklarının herbirinin; elde edilebilme, kullanılan kaynak, yan ürünleri ve çevre üzerindeki tahribat derecesi yönünden avantaj ve dezavantajları tercih edilebilmesini etkilemektedir. Bu bakımdan en yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların, dünya üzerinde dağılımı elde edilebilirliğindeki zorluklar ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri biyoenerji gibi kaynağı yerli ve çevre tahribatı nispeten daha az olan enerji kaynaklarını ön plana çıkarmaktadır. Şüphesiz bu kaynakların ön plana çıkmaya başlaması aşağıda sıraladığımız avantajlarından kaynaklanmaktadır (Karayılmaz vd., 2011:65-66; Dağdelen, 2015:13-20; Özev, 2017:65-66, World Energy Council, 2019:5-6; Berndes, 2002:258; Fargione et all., 2008:1235-1236; Balcı ve Evren, 2016:, Doğan, 2015:12);

- Dış bağımlılığı azaltarak ekonomik ve siyasi avantajlar sağlar,
- Toprak koruma, su, enerji ve besin üretiminin güvence altına alınması peyzaj değeri taşıması,
- Çevre üzerindeki olumsuz etkisi olan sera gazı emisyonlarını azaltması,
- İklim değişikliğini yavaşlatması
- Organik kökenli atıklardan enerji elde edilmesi ve bu atıkların tekrardan toprağa kazandırmasına olanak sağlaması,
- Ucuz bir enerji kaynağıdır,
- Hayvan gübrelerinde bulunan insan sağlığını, toprağı ve yer altı sularının hastalık etmenlerinin etkinliğinin büyük oranda kaybolmasını sağlar,

- Biyogaz üretiminde atıklar yok olmamakta, değeri yüksek bir organik gübreye dönüştürülmektedir.
- Belediye ve sanayi atıklarından enerji üretimini sağlar ve bu atıkların bertaraf edilme problemine büyük oranda çözüm üretir,
- Kırsal yetiştiriciliği artırarak kırsal kalkınmayı olumlu etkiler,
- Uluslar arası politikalarda ekonomik hamle avantajı sağlar,
- Sağlıklı bir yaşam olanağını etkiler,
- Enerji elde edilmesi için daha çok işçiye istihdam olanağı sağlar,
- Kolay depolanabilir.
- Biyoenerji tek başına kullanılabilceği gibi fosil yakıtlarla da karıştırılarak kullanılabilir.

## **2.2. Biyoenerji Küresel Durum ve Trendler**

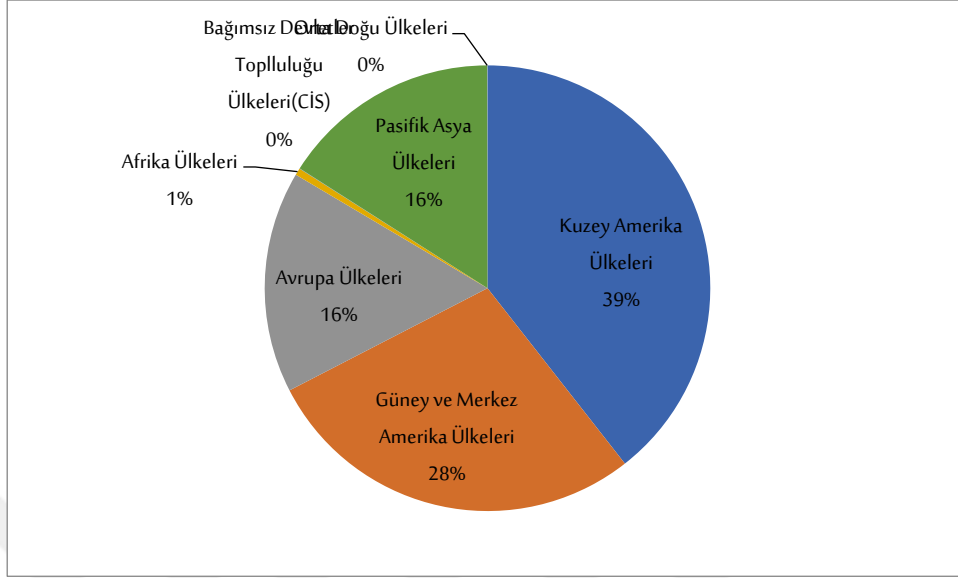
Dünyada nüfus artışı, sanayileşme, şehirleşme, teknolojik alet kullanımındaki yaygınlık ve yaşam konforu enerji talebini artıran başlıca nedenlerdir. Fosil yakıtların genel anlamda sebep olduğu ekonomik, çevresel ve güvenlik konusundaki olumsuzluklar bu enerji talebinin karşılanması amacıyla alternatif bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynak politikalarını tetiklemiştir. Bu kapsamda bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyoenerji politikaları, genel ağırlığı, üretim ve tüketim trendlerinin dünya genelindeki durumu bu kısımda ele alınacaktır.

### **2.2.1. Dünya Genelinde Biyoenerji**

Dünya genelinde yenilenebilir enerji arzında yaşanan maliyet düşüşlerinin etkisiyle beraber yenilenebilir enerji arzında ciddi bir artış trendi yakalanmıştır. Bu durum özellikle 2019 yılında birincil enerji tüketimindeki yavaşlama yenilenebilir enerji kaynaklarının ve doğal gazın kömürün yerine kullanımıyla başlamış ve karbon emisyonundaki büyüme hızının bir önceki yıla göre azalması şeklinde bir tepki göstermiştir. 2018 yılında büyüme oranı %2,8 olan birincil enerji tüketimi 2019 yılında %1,3 bir büyüme ile önceki yıla göre keskin bir düşüş yaşamasında yenilenebilir enerji kullanımındaki artışın önemli etkisi olmuştur (British Petroleum, 2020). Geçen yılki küresel birincil enerji tüketimindeki büyümenin %40' ından fazlasını yenilenebilir enerji kaynaklarındaki büyüme oluşturmaktadır.

Biyoenerji ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgar, güneş, hidrolik, hidrojen, dalga ve jeotermal ile birlikte 2019 yılında dünya genelinde bir önceki yıla göre en fazla artış gösteren enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji tüketiminde en fazla artış gösteren ülkeler sırasıyla Çin, ABD ve Japonya olmuştur (British Petroleum, 2020).

**Şekil 2.** Dünyada Bölgelere Göre 2019 Yılı Biyoenerji Üretim Oranları



**Kaynak.**(<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-charting-tool-desktop.html>, 2020)

Küresel anlamda doğalgaz ve petrol kaynakları bakımından zengin olan Ortadoğu ülkeleri ile Hazar Denizinin etrafındaki rezervlere sahip CİS ülkeleri dışında diğer bölgelerde biyoenerji üretiminin kayda değer bir mevcudiyetinin olduğu görülmektedir<sup>1</sup>. Bu bölgeler dışında en düşük biyoenerji arz oranı Afrika ülkelerine aittir. Üretilen biyoenerjinin %66' dan fazlası Amerika kıtasında üretilmektedir. Bu üretimde % 17 ile en yüksek paya sahip ülke ABD olup, kıtada onu Brezilya ve Kanada takip etmektedir. Pasifik Asya bölgesinde ise en büyük enerji tüketicisi konumundaki Çin biyoenerji üretiminde de başı çekmekte olup küresel olarak ABD' nin ardından ikinci sırada gelmektedir (Koç vd., 2018:103). Bu bölgede Japonya, Endonezya ve Malezya önemli üretici ülkeler olarak öne çıkmaktadır.

<sup>1</sup> Ortadoğu ve CİS ülkelerinde biyoenerji üretimi %0,5' in altında olduğundan yuvarlamadan kaynaklı sıfır olarak alınmıştır.

**Tablo 1.** Kaynaklarına Göre 2018 Yılı Küresel Enerji Kullanımı (EJ)

YILLAR	TOPLAM	KÖMÜR	PETROL	D. GAZ	NÜKLEER	YENİLENEBİLİR ENERJİ	YENİLENEBİLİR ENERJİ %
2000	420	97	154	86,7	28,3	54,4	13
2005	481	125	168	98,8	30,2	59,1	12,3
2010	538	153	173	115	30,1	68,5	12,5
2015	569	161	181	123	28,1	75,8	13,3
2016	573	156	183	126	28,5	78,3	13,7
2017	584	159	187	130	28,8	80,3	13,8
2018	598	161	188	137	29,6	82,7	13,8

**Kaynak.** (Global Bioenergy Statistics, 2020:9)

Dünya genelinde 2018 yılında enerji kullanımında en yüksek tedarikçi kaynak % 31,4' lük pay ile petrol olmuştur. Petrolden sonra sırasıyla %27 ile kömür, %23 ile doğalgaz, %5 ile nükleer enerji ve % 13,8 ile yenilenebilir enerji talebi karşılayan enerji kaynakları olmuştur (<https://www.iea.org/dataandstatistics>, 13.12.2020). Tablo 1' den de görüldüğü gibi nükleer enerji kullanımında stabil durum söz konusu iken diğer enerji kaynaklarından enerji arzının sürekli arttığı görülmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarında istikrarlı bir artışın söz konusu olduğu görülmektedir.

**Tablo 2.** Sektöre Göre Küresel Enerji Kullanım Çeşidi (2018)

	TOPLAM	ELEKTRİK	ISINMA	DİREK ISINMA	TAŞIMA	TOPLAM	ORAN %
FOSİL YAKITLAR	KÖMÜR	36,6	6,43	41,6	0,54	85,2	19,4
	PETROL	2,82	0,55	58,6	111	173	39,4
	D. GAZ	22,1	6,28	62,6	5,23	96,2	21,9
NÜKLEER		9,76	0,03	0	0,14	9,93	2,26
YENİLENEBİLİR ENERJİ	BİYOENERJİ	2,29	1,12	42,4	3,79	49,6	11,3
	HİDRO	15,6	0	0	0,23	15,8	3,6
	GÜNEŞ	2,04	0	1,38	0,03	3,44	0,78
	RÜZGAR	4,58	0	0	0,07	4,65	1,06
	JEOTERMAL	0,32	0,04	0,65	0,005	1,02	0,23
TOPLAM		96,1	14,5	207	121	439	100
YENİLENEBİLİR		26%	8,10%	21%	3,40%	17,00%	
BİYOENERJİ		2,40%	7,70%	20%	3,10%	11,30%	

**Kaynak.** (Global Bioenergy Statistics, 2020:21)

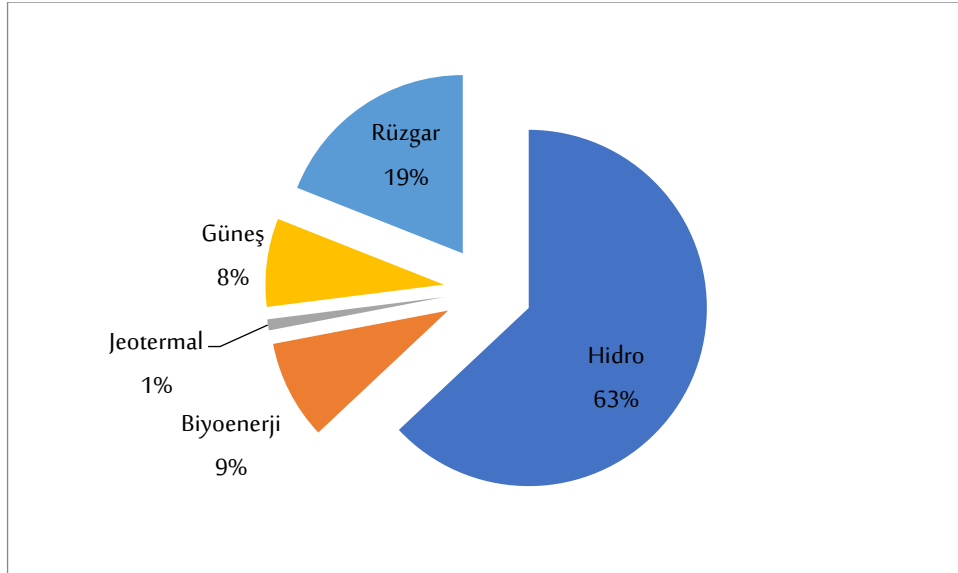
**Tablo 3.** Kıtalara Göre 2018 Yılı Yenilenebilir Enerji arzı (EJ)

KITALAR	TOPLAM	GÜNEŞ	RÜZGAR	HİDRO	JEOTERMAL	BİYOENERJİ
AFRİKA	16,6	0,06	0,05	0,47	0,19	15,9
AMERİKA	19	0,56	1,4	5,14	0,68	11,2
ASYA	33,2	2,21	1,69	6,41	2,31	20,6
AVRUPA	13,2	0,66	1,38	3	0,47	7,66
OKYANUSYA	0,75	0,06	0,06	0,15	0,21	0,27
AB-28	10,3	0,64	1,36	1,26	0,29	6,71

**Kaynak.** (Golabal Bioenergy Statistics, 2020:24)

Tablo 3 incelendiğinde biyoenerji kullanımında en yüksek miktara sahip kıtaların Asya ve Afrika kıtaları olduğu görülmektedir. Bu durum daha çok biyokütle olarak kuru odun, tezek ve benzeri biyoenerji kaynaklarının direk olarak ısınma ve pişirme amaçlı yakacak şeklinde kullanılmasından kaynaklanmaktadır (Aslantaş, 2018: 31). Modern teknikler ile elektrik, biyogaz ve diğer biyoenerji çeşitlerine dönüştürülmesi suretiyle kullanılan biyoenerji tek veri olarak alınmayıp, biyokütle kaynaklı enerjilerin bir bütün olarak ele alınması durumunda mevcut tablonun ortaya çıktığı görülmüştür.

**Şekil 3.** Yenilenebilir Enerji Kaynak Çeşitlerinin Küresel Elektrik Enerjisi Üretimindeki Payı (2018)



**Kaynak.** (Golabal Bioenergy Statistics, 2020:26)

Dünya genelinde elektrik enerjisi elde etmek için yaygın olarak kullanılan kaynaklar sırasıyla kömür, yenilenebilir enerji ve doğalgazdır (Koç vd., 2018:83). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde hidrolik enerji elektrik üretiminde açık ara önde olduğu görülmektedir. Bu durumun en büyük sebebi olarak hem tarımsal sulama hemde enerji üretim amaçlı kullanılan barajların ve HES projeleridir. Küresel olarak özellikle son yıllarda biyoenerji ile birlikte güneş ve rüzgar enerjiden elektrik elde etme teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler ile birlikte bu kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi artmaktadır (Karagöl ve Kavaz, 2017: 10).

**Tablo 4.** Dünya Geneli Yerel Biyoenerji Arzı Kaynakları (EJ)

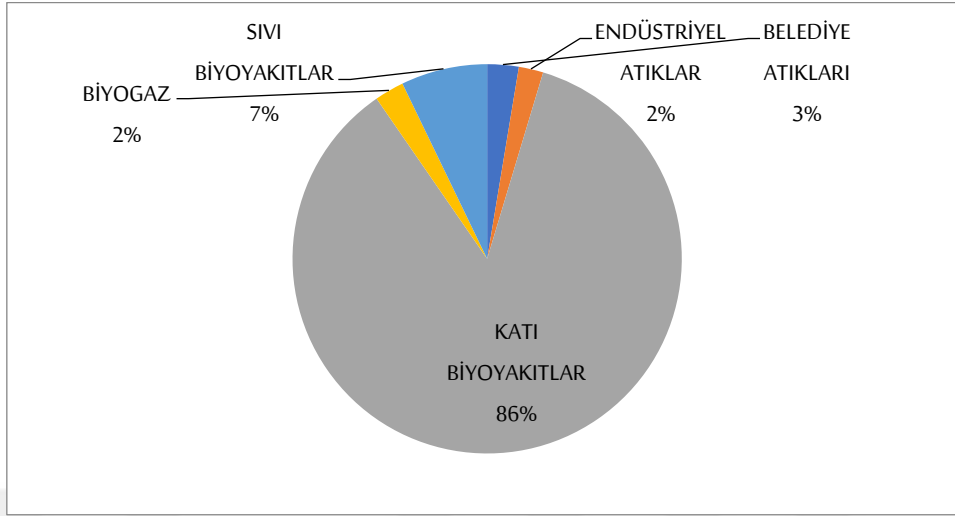
YILLAR	TOPLAM	BELEDİYE ATIKLARI	ENDÜSTRİYEL ATIKLAR	KATI BİYOYAKITLAR	BİYOĞAZ	SIVI BİYOYAKITLAR
2000	42,5	0,74	0,49	40,5	0,29	0,43
2005	45,6	0,96	0,45	42,8	0,51	0,87
2010	50,5	1,18	0,77	45,1	0,85	2,53
2015	53,2	1,38	0,9	46,2	1,29	3,45
2016	54,3	1,42	1,04	46,9	1,3	3,58
2017	54,9	1,44	1,07	47,3	1,33	3,72
2018	55,6	1,45	1,13	47,6	1,36	3,98

**Kaynak.** (Global Bioenergy Statistics, 2020:33)

Dünya genelinde arz edilen biyoenerjinin büyük çoğunluğu katı biyoyakıtlardan elde edilmektedir. 2018 yılında katı biyoyakıtlardan elde edilen biyoenerji toplam elde edilen biyoenerjinin yaklaşık olarak % 85' inden fazlasını oluşturmaktadır. Tablo 4 incelendiğinde katı biyoyakıtlardan elde edilen biyoenerjinin ağırlığı bariz bir şekilde kendisini göstermektedir.

Büyükşehirlerde ve sanayileşmiş kentlerde ciddi bir sorun olarak görülen belediye ve endüstriyel atıkların bertaraf etme sorununa çözüm olarak enerji elde edilmede kullanılması önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alternatif durum heryıl istikrarlı bir şekilde gelişmekte olup atıklardan üretilen biyoenerjide küresel olarak artış sağlandığı görülmektedir. Bu artış durumu kümülatif olarak biyoenerjide olduğu gibi bütün biyoenerji kaynak çeşitlerinde de farklı miktarda artış olduğu gözlemlenmektedir.

**Şekil 4.** Yerel Biyokütle Enerji Arzı (2018)



**Kaynak.** (Golabal Bioenergy Statistics, 2020:34)

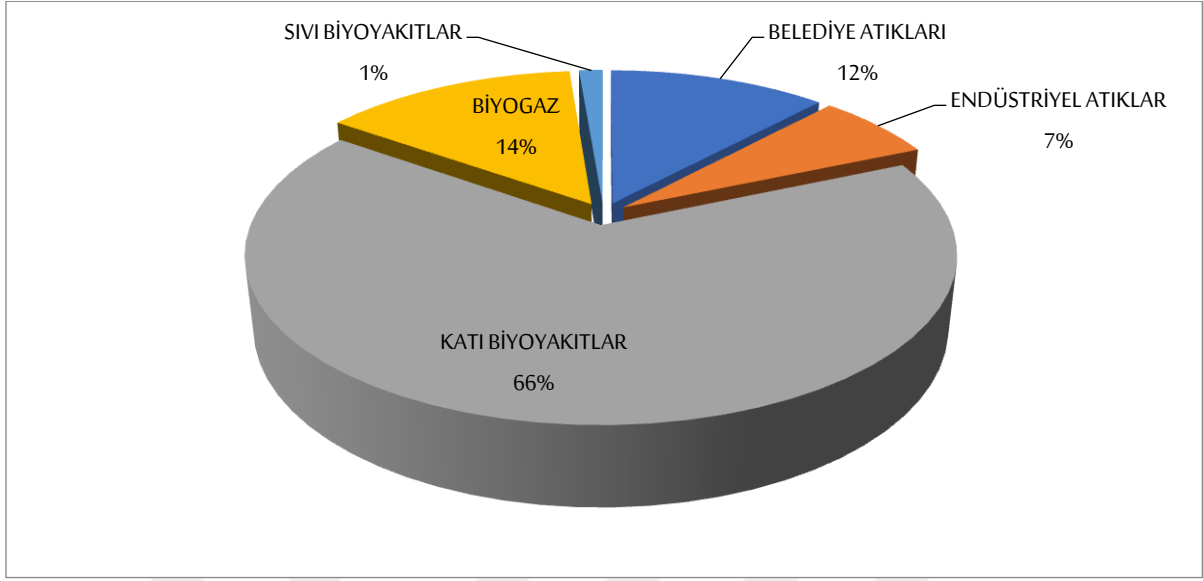
**Tablo 5.** Kıtalara Göre Yerel 2018 Yılı Kaynak Çeşidi Bakımından Biyoenerjisi Arzı (EJ)

	TOPLAM	BELEDİYE ATIKLARI	ENDÜSTRİYEL ATIKLAR	KATI BİYOYAKITLAR	BİYOGAZ	SIVI BİYOYAKITLAR
AFRİKA	15,9	0	0	15,9	0	0
AMERİKA	8,3	0,3	0,05	7,95	0,19	2,72
ASYA	19,7	0,21	0,63	18,8	0,44	0,45
AVRUPA	6,14	0,94	0,45	4,74	0,71	0,81
OKYANUSYA	0,25	0	0	0,24	0,02	0,01
AB-28	5,23	0,87	0,19	4,16	0,7	0,78

**Kaynak.** (Golabal Bioenergy Statistics, 2020:34)

Son yıllarda dünya genelinde büyükşehirler ile sanayileşmiş kentlerin atık sorununun enerjiye dönüştürülmesi şeklinde değerlendirilmesinin giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bu alanda önemli yatırımlar yapan İskandinav ülkeleri hem kendi ülkelerinin çöp sorununa bir alternatif üretmiş olup, hemde çöp sorununa çözüm arayan çevre ülkelerden çöp ithal ederek ısı ve enerji elde etmektedirler. Elde edilen bu ısı ve enerjinin ithal edilen doğalgazdan daha ucuz bir maliyet gerektirdiği görülmüştür (Onur Enerji, 2020). Tablo 5 incelendiğinde Avrupa kıtasında yer alan ülkelerin atıkların enerjiye dönüştürülmesinde öncü oldukları görülmektedir.

**Şekil 5.** Biyokütle Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi (2018)



**Kaynak.** (Golabal Bioenergy Statistics, 2020:41)

2018 yılı itibariyel üretilen biyoenerjinin dünya genelinde yaklaşık olarak % 9' u elektrik enerjisi olarak kullanıma sunulmuştur (Golabal Bioenergy Statistics, 2020:26). Elektrik enerjisi şeklinde kullanıma sunulan biyoenerjinin de yaklaşık olarak %66' sı katı biyoyakıtlardan elde edilmiştir. Bunu biyogaz, belediye atıkları ve endüstriyel atıklar izlemektedir.

**Tablo 6.** Dünya Elektrik Üretiminde Yenilenebilir ve Biyokütle Enerji Payları

Yıl	Yenilenebilir/Toplam	Biyokütle/Yenilenebilir	Biyokütle/Toplam
1990	19,86	5,49	1,09
1995	20,45	4,77	0,98
2000	18,98	5,57	1,06
2005	18,58	6,7	1,24
2010	20,09	8,51	1,71
2015	23,32	9,13	2,13
2018	25,56	9,35	2,39

**Kaynak.** (İlleez, 2020: 329)

### 2.2.2. Türkiye' de Biyoenerjinin Mevcut Durumu, Potansiyeli ve Politikaları

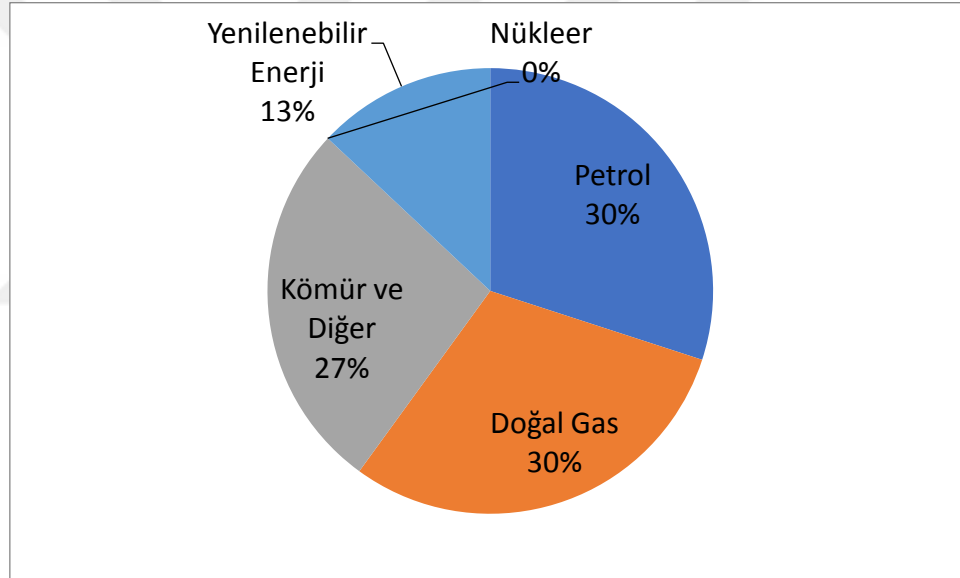
Türkiye' de yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği nedeniyle bu kaynaklar bir bütünsel çerçevede ele alınmış ve bu çerçeve doğrultusunda politikalar oluşturulmuştur. Bu

nedenle özellikle biyoenerji ile ilgili genel anlamda ve ayrı bir politika durumu sözkonusu değildir.

### 2.2.2.1. Biyoenerjinin Mevcut Durumu

Türkiye enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu ithalat yoluyla karşılayan bir ülke konumundadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının enerji denge tablolarına göre 2019 yılında enerji arzının %72 den fazlasını ithalat yoluyla karşılamaktadır. İthal edilen enerjinin tamamına yakını fosil orjinli yakıtlar oluşturmaktadır. Bu derecedeki ithalat bağımlılığının enerji güvenliği üzerindeki olumsuz etkisi, dış ticaret açığı ve finansal piyasalardaki baskıcı yönü ile fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin oluşturduğu maliyet yerel enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmaktadır.

Şekil 6. Türkiye'de Toplam Birincil Enerji Arzı



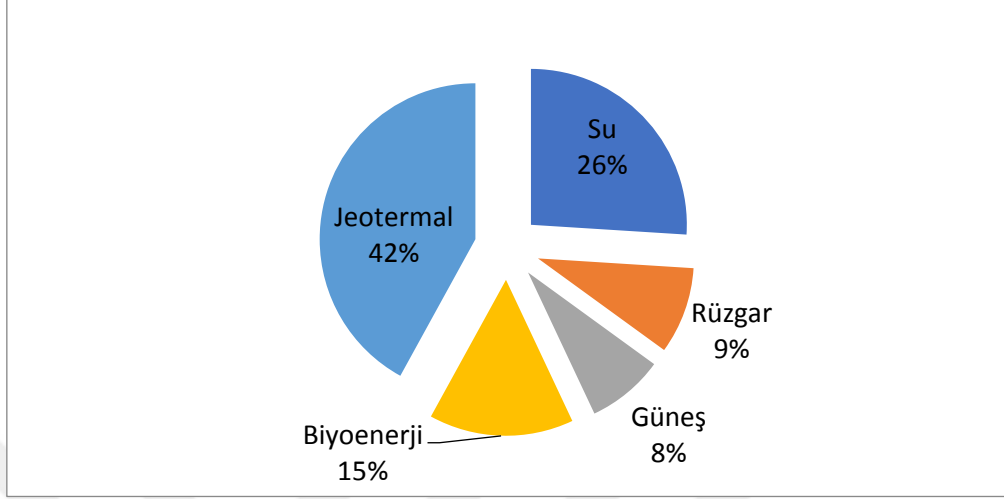
**Kaynak.** International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017

*Not: International Renewable Energy Agency, 2017 verilerinden faydalanılarak şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.*

Türkiye yenilenebilir kaynaklar açısından fakir bir ülke değildir. Genel olarak yenilenebilir enerji kaynak rezervleri açısından bir sıkıntının olmadığı, bu rezervlerin sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesinde sıkıntıların olduğu görülmektedir (Haldun Soydal ve diğerleri, 2012:130). Bu sıkıntıların giderilebilmesi ve yenilenebilir enerji santrallerinin kurulmasının teşvik edilmesi amacıyla iki temel kanun ve çeşitli ikincil

düzenlemelerle altyapısı oluşturulan Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kurulmuştur (TSKB, 2018:50)

**Şekil 7.** Kaynağına Göre Türkiye' de Yenilenebilir Enerji Arzı (2017)



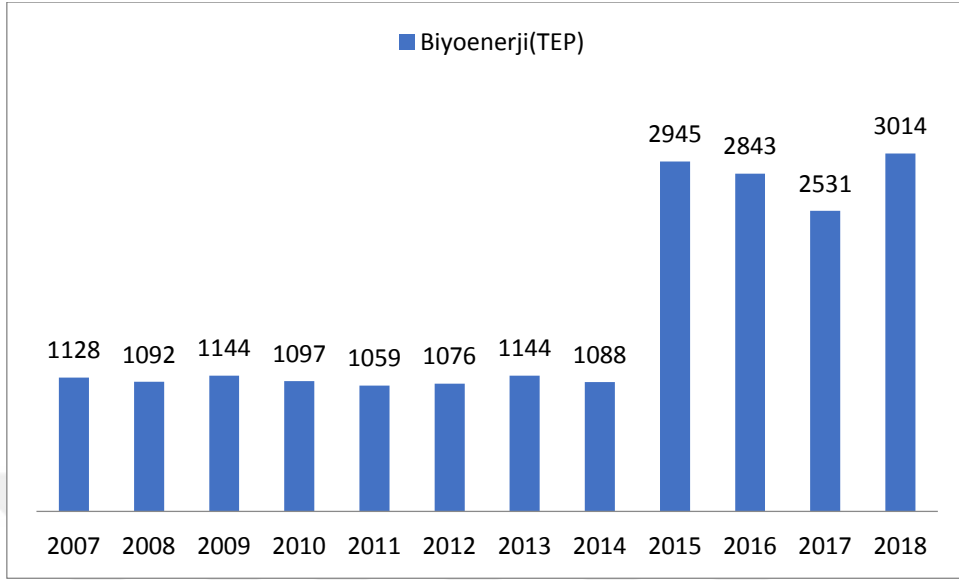
**Kaynak.** International Renewable Energy Agency (IRENA), 2017.

*Not: International Renewable Energy Agency 2017 verilerinden faydalanılarak şekil yazar tarafından oluşturulmuştur.*

Türkiye' nin bir tarım ülkesi olması ve bu durumun beraberinde getirdiği tarımsal üretim ile bu üretimin doğal bir sonucu olan tarımsal atıkların değerlendirilebilmesi düşüncesi beraberinde biyoenerji üretimini akla getirmektedir. Ayrıca biyoenerji kaynağı olarak geniş orman alanları, hayvansal üretim artıkları ile şehir ve endüstri atıklarının oluşturduğu sorunların sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesine dönük biyoenerji üretimi son yıllarda gelişim göstermesine rağmen önemli bir alternatif olmuştur.

Türkiye' de geneleksel olarak biyokütle kullanımı klasik bir yöntem olan doğrudan yakacak şeklinde olmaktadır. İlk defa 1931 yılında Birinci Ziraat Kongresinde tarım makinaları bölümünde makinaların ihtiyaç duyduğu yakıtların ithalat yerine yerli kaynaklar üretilmesinin faydalarından bahsedilmesiyle biyoenerji ele alınmasına rağmen (Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti, 1931:1313-1350), modern yöntemler ile verimi ve kalitesi artırılmış biyoenerji üretimi ise 2000 yılından sonra başlamıştır (Murat Topal, 2008). Diğer Yenilenebilir Enerji kaynakları ile birlikte Türkiye' nin enerji ihtiyacının yaklaşık olarak %14' ünü karşılamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde biyoenerji oranı ise % 15 civarındadır.

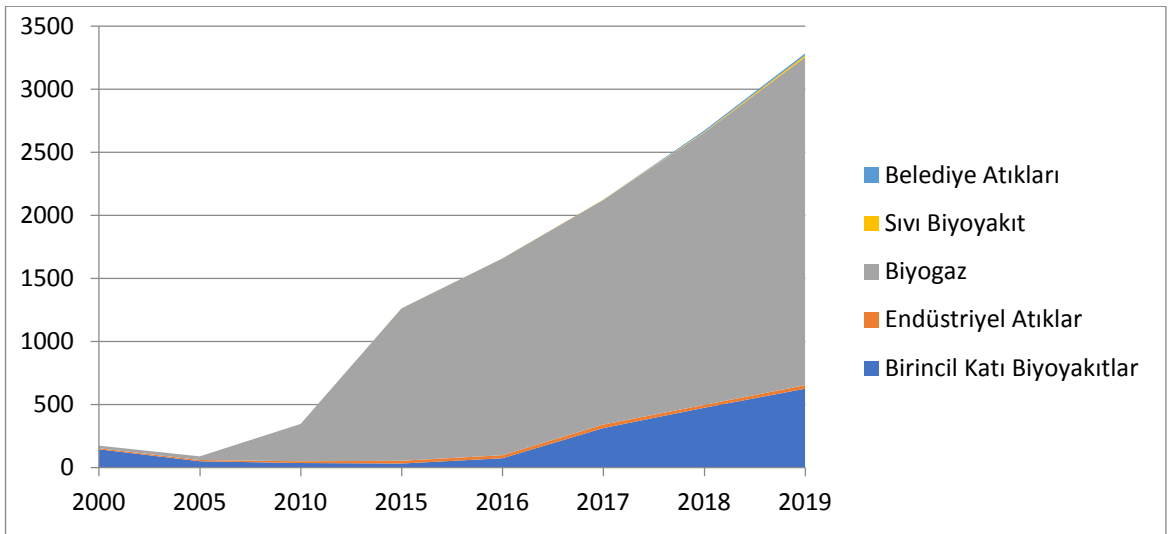
**Şekil 8.** Türkiye' de Biyoenerji Üretimi (TEP)



**Kaynak.** (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020)

Türkiye' de biyoenerji üretim verileri incelendiğinde belli bir istikrarın söz konusu olduğu yatay bir üretim bandında devam ettiği görülmektedir. Belli bir yıl aralığında neredeyse sabit bir miktarda arzın söz konusudur. Buna karşın belli bir yılda bir sıçramanın olduğu ciddi bir arz artışı gözlemlenmiştir. Ancak bu durum tekrar uzun yıllar bu artış seviyesinde yatay bir biyoenerji arzının olduğu gözlemlenmiştir. Bazı yıllardaki bu arzdaki sıçramanın büyük çaplı üretim tesislerinin devreye girmesinin sebep olduğu düşünülmektedir.

**Şekil 9.** Kaynağına Göre Biyoenerjiden Elektrik Üretimi (GWH)



**Kaynak.** (International Energy Agency, 2020)

Türkiye’ de biyoenerjinin büyük çoğunluğu elektrik enerjisine dönüştürülmek suretiyle tüketilmektedir. Günümüzde hemen hemen bütün biyoenerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi yapıp bu şekilde tüketilmektedir.

#### **2.2.2.2. Biyoenerji Potansiyeli**

Dünyada tarım sektöründe öncü ülkeler arasında yer alan Türkiye’ nin, kaynak olarak ekseriyetle tarım ve hayvancılık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan ürün ve atık ürünlerin kullanıldığı biyoenerji açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu açıktır. Bu potansiyelin ne kadar olduğu ile ilgili sürekli güncellenen Kurumsal çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan en kapsamlısı olarak; Türkiye biyoenerji potansiyeli ile ilgili Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’ nün Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (BEPA) adlı bir uygulaması olduğu tespit edilmiştir. BEPA üzerinden Türkiye’ deki biyoenerji potansiyelinin kaynak itibariyle dağılımı bulunmaktadır. Ayrıca hangi yörede hangi biyoenerji kaynağından hangi çeşit enerjinin üretildiği ile ilgili ayrıntılı bilgilere de yer verilmiştir.

**Tablo 7.** Türkiye Yıllık Atıklardan Biyoenerji Potansiyeli

Hayvan Sayısı (Adet)	422.832.374
Hayvansal Atık Miktarı (Ton/Yıl)	193.878.079
<b>Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)</b>	<b>4.385.371</b>
Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)	1.084.506
Bitkisel Üretim Miktarı (Ton/Yıl)	184.593.134
Bitkisel Atık Miktarı (Ton/Yıl)	62.206.754
<b>Bitkisel Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)</b>	<b>6.009.049</b>
Bitkisel Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)	1.462.159
Belediye Atıkları Miktarı (Ton/Yıl)	32.170.975
<b>Belediye Atıklarının Teorik Enerji Eşdeğeri</b>	<b>3.373.011</b>
Belediye Atıklarının Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)	485.858
Orman Varlığı Artıkları (Ster/Yıl)	3.914.904
<b>Orman Artıklarının Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)</b>	<b>859.899</b>
<b>Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP/Yıl)</b>	<b>14.627.331</b>

**Kaynak.** (İllez, 2020:320)

Türkiye’ de biyoenerjiden elektrik üretimi ile biyoetanol ve biyodizel üretimi yapan tesisler bulunmaktadır. Ülke geneli biyoenerjiden elektrik enerjisi üretimi yapan tesis sayısı

199, biyodizel üretimi yapan tesisi sayısı 8 ve biyoetanol üretimi yapan tesis sayısı da 5 olmak üzere toplam 212 biyoenerji tesisi bulunmaktadır (İllez, 2020:320). Bu tesislerin nerde ise tamamı 2000' li yıllardan sonra kurulmuştur. Takip eden yıllarda tesis sayısının artarak devam ettiği görülmektedir.

### **2.2.2.3. Biyoenerji Politikası**

Türkiye' nin biyoenerji politikası enerji arz güvenliğini sağlama, ekonomik büyüme ve çevrenin korunması ekseninde oluşturulmuştur. Bununla beraber biyoenerjinin enerji arzı ve çevrenin korunması içerisindeki konumu ile ilgili özel olarak bağlayıcı bir hedefi yoktur. Çünkü biyoenerji yenilenebilir enerji kaynakları çerçevesi içerisinde değerlendirilmiştir. Bağlayıcı hedefleri, mevzuatı ve teşviki ile ilgili mevzuat yenilenebilir enerji kapsamında düzenlenmiştir. Bu itibarla hukuk sistemimizde yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimini cazipleştiren düzenlemeler mevcuttur. Bu düzenlemeler şunlardır:

- 1- 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK).
- 2- 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu.
- 3- 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu.
- 4- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelenmesi ve Desyteklenmesine İlişkin Yönetmelik (YEKDEM).

Bu düzenlemeler bir bütün olarak ele alındığında yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilen biyoenerji ile ilgili;

- Fiyat garantisi.
- Gümrük vergisi ve KDV muafiyeti.
- 10 yıllık tarife garantisi.
- Alım garantisi.
- Bağlantı önceliği.
- Lisans bedeli indirimi.
- Küçük ölçekli üreticiler için lisans alma muafiyeti.
- Proje hazırlama ve kamulaştırma bedellerinde indirim.

teşviklerin yer aldığı görülmektedir (Erdoğan, 2010:9-11).

Enerji arzında ithalat bağımlılık oranı oldukça yüksek olan Türkiye' nin yerli enerji arzını artırarak enerji arz güvenliğini güçlendirme ve fosil yakıtların çevre üzerindeki oldukça

yüksek olan yan etkilerinin azaltılması konuları son yıllarda ülkemizde gündemleşmekte ve bu sorunlara ilişkin çözüm önerileri ile yeni politikalar geliştirildiği görülmektedir.



## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### BİYOENERJİ POLİTİKALARININ FARKLI SEKTÖRLER ÜZERİNE ETKİSİ

Biyoenerji bir yenilenebilir enerji çeşidi olarak üretiminde bir çok farklı alan ile doğrudan ilişkisi olan ve tüketimi ile bir etki kapasitesi bulunan bir enerji kaynağıdır. Enerji tüketiminin olumlu veya olumsuz etkilerinde pay sahibidir. Benzer şekilde tarımsal, hayvansal ve orman kaynaklı olması nedeniyle bu sektörler ile bazen doğrudan bazen de dolaylı olarak bir ilişkisi mevcuttur. Dolayısıyla bu iki sektörün ilişki halinde olan tümsektörve alanları etkileme kapasitesine sahiptir.

Bu bölümde biyoenerji üretiminin farklı alanlar ile olan ilişkisi ve bu ilişkinin olumlu ve olumsuz yanları üzerinde durulacaktır. Üretiminin yaygınlaşması durumunda karşılaşılması muhtemel sorunlar teorik anlamda tespit edilmeye çalışılacaktır.

#### 3.1. Biyoenerjinin Kırsal Kalkınmaya Etkisi

Dünya genelinde biyoenerji kaynağı olarak çoğunlukla bitkisel, hayvansal ve orman ürünleri kullanılmaktadır. Bu nedenle biyoenerji arzının tarım sektörü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Hammadde ihtiyacı tarımsal üretim açığına neden olacaktır. Bu durum beraberinde üretim artışlarına neden olacak ve bu alandaki istihdam artışına olanak sağlayacaktır.

Biyoenerji kaynak ihtiyacının karşılanması üretim artışlarına neden olduğu gibi kaynak olarak gıda amacıyla üretilen ürünlerinde kullanılması ve bu alandaki talep artışları ile beraber fiyat düzeyleri artacak ve akabinde çiftçi gelirlerinin artmasını sağlayacaktır (Hatunoğlu, 2010:93). Bunun yanında planlama hataları, düşük verimli ve getirisi düşük ürünler verimli toprak alanlarının günden güne faaliyet düşürmesine neden olmaktadır (Balci ve Evren, 2016:236). Verimli tarım alanlarının atıl durumda kalması milli servet açısından ve kırsal kalkınmanın sağlanması yönünden olumsuz bir durum teşkil etmektedir. Bu alanların en verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak politikalar geliştirmek çiftçiler için verimli tarım alanlarının değerlendirilmesi teşvik edici olacaktır. Ayrıca tarımsal atıkların biyoenerji kaynağı olarak kullanılması üreticiler açısından yeni bir gelir çeşidi olarak yer edinecektir. Bu amaçla biyoenerji yatırımları teşvik edici önemli bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

Biyoenerji kaynağının kırsal olması ve bir çok yatırımın kaynak ulaştırma maliyetinden kaçınması nedeniyle kaynaklara erişimin daha kolay olduğu bu alanlara tesis kurmakta ve işgücü ihtiyacını da bu alanlarda karşılamaktadır (Hatunoğlu, 2010:93). Bu

durum şehir merkezlerine doğru yaşanan iş gücü göçünün azaltılması ve gittikçe yaşlanan tarımsal nüfusun gençleşmesi ile devamlılığına katkıda bulunacaktır. Gelişmekte olan bir çok ülke de ve bu alanda öncü ülkelerin biyoenerji politikalarında ve biyoenerji üretim zincirinde kırsal kalkınmayı sağlama önemli bir unsur olarak yer edinmektedir (Hatunoğlu, 2010: 93, Strongberg and Gasparatos, 2017:17). Bu alanda da ciddi bir istihdamın sağlandığı gözlemlenmektedir.

Biyoenerjinin çiftçi gelirlerinin artırılması, atıl durumdaki verimli tarım alanlarının değerlendirilmesi ve istihdamdaki önemli rolü bakımında önümüzdeki yıllarda da dünyada kırsal kalkınmanın sağlanmasında önemli bir alternatif unsur olarak yer edineceği ve kendisinden daha da söz ettireceği öngörülmektedir.

### **3.2. Biyoenerjinin Gıda Güvenliğine Etkisi**

Küresel çaptaki gıda krizleri ile dünyanın farklı yerlerindeki açlık sorunu; gıda güvenliği sorununun önemini ortaya koymaktadır. Özellikle bu alanda çalışma yürüten uluslar arası kuruluşlar ile yerel hükümetler çeşitli politikalar yürütmektedir. Yaşamın devamı için vazgeçilmez bir unsur olan gıda güvenliğini sağlamak gıda arzını, gıdaya erişimi ve gıdaya ulaşımı olumsuz etkileyen etkenlerin kontrol altına alınması ile ilgili mücadele vermekte, bu etkenlerin gıda güvenliği üzerindeki olumsuz etkilerinin bertaraf edilmesi yada en aza indirilmesi için mücadele vermektedir.

Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 9 trilyon olması beklenmektedir. Bunun yanında yükselen ekonomilerde tarımsal ürünlerin daha fazla yer edinmesi ve beslenme alışkanlıklarındaki değişim ile beraber daha zengin diyetlere geçilmesi küresel gıda talebini %60 artması beklenmektedir. Buna karşın tüm teşviklere ve çabalara rağmen insanlığın gıda talebini karşılamak için gerekli ekim alanı son 40 yılda sadece %30 kadar artış sağlanabilmiştir. Bununla beraber son yıllarda biyoenerji kullanımı ve enerji amaçlı tarım önemli önemli ölçüde artmış ve artmaya da devam etmektedir (Popp et al, 2014:562).

Biyoenerji gıda güvenliğini iki farklı açıdan etkileme potansiyeline sahiptir. Birincisi olarak enerji amaçlı tarımın yaygınlaşması ile enerji amaçlı tarım ile gıda amaçlı tarımsal üretim rekabetinin ortaya çıkmasıdır. Gıda amaçlı üretim yapılan tarımsal alanların zamanla enerji amaçlı tarımsal üretime geçiş yapması, gıda arzının sağlanması boyutunu olumsuz etkilemektedir. 2006 yılında önemli bir biyo-dizel üreticisi olan AB ülkelerinde biyo-dizel üretimi için yağlı bitkilere ayrılan alan toplam yağlı bitki üretim alanının %22 ' sine yaklaşmış olup bu oranın 2004 yılı sonunda %12 seviyelerinde olduğu düşünüldüğünde enerji

amaçlı üretimin gıda arzı üzerindeki baskısı daha net görülecektir (Steenblik, 2008:108). Benzer bir durum önemli biyoenerji çeşidi üreticisi konumundaki ABD ve Brezilya içinde geçerli ve Çin gibi yoğun enerjihtiyacı olan ülkelerde biyoenerji amaçlı tarımsal üretimin gıda üretimini baskıladığı görülmektedir.

**Tablo 8.** Ülkelerin Biyoyakıt Üretiminde Kullandıkları Tarım Ürünü Miktarı (2008)

	Tarım Ürünü	Biyoyakıt Üretimi (Milyon Litre)	Hammadde Dönüşüm Verimi (Litre/Ton)	Kullanılan Tarım Ürünü Miktarı (Milyon Ton)
Biyometanol	Mısır			116,5
	ABD	38394	399	96,2
	Çin	6686	399	16,8
	Kanada	1383	399	3,5
	Şeker Kamışı			322,4
	Brezilya	22110	74,5	296,8
	Hindistan	1909	74,5	25,6
	Şeker Pancarı			40
Biyodizel	AB	4402	110	40
	Kanola			16,5
	AB	6580	455	14,5
	Avustralya	911	455	2
	Soya Fasulyesi			13,5
	ABAD	2017	205	9,8
	Brezilya	760	205	3,7
	Palmiye Yağı			5,2
	Endonezya	753	230	3,3
Malezya	443	230	1,9	

**Kaynak.** (Hatunoğlu, 2010:68)

Tablo 8’ de görüldüğü gibi biyoenerji üretimi için gıda ürünlerinin kullanımı bu alanda bir daralmaya neden olmaktadır. Mısırın enerji amaçlı kullanılmasıyla gıda sektöründe 116,5 milyon ton gıda amaçlı mısır arzında bir daralmaya neden olduğu görülmektedir. Bir insanın bir yıllık kalori ihtiyacının 800 bin kilokalori olduğu düşünüldüğünde 116,5 milyon ton mısır gıda arzında değerlendirildiğinde 495 milyon insanın bir yıllık kalori ihtiyacına denk geldiği hesaplanmıştır (Hatunoğlu, 2010:69).<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Bir insanın günlük kalori ihtiyacının 2.200 kilokalori olduğu düşünüldüğünde, yıllık kalori ihtiyacı yaklaşık (365 gün X 2.200 kilokalori) 800 bin kilokalori olarak hesaplanmaktadır. Diğer yandan, 1 kg mısırın kalori değeri yaklaşık 3.400 kilokalori olup, 116,5 milyon ton mısırın kalori değeri ise (116,5 milyon ton X 3.400 kilokalori) 396.100 milyar kilokaloridir. Bu miktar kalori değerinin de bir insanın yıllık kalori değerine

Biyoenerji ikinci olarak gıda güvenliğini gıda fiyatları bakımından etkilemektedir. 3.1. bölümde bahsedildiği üzere gıda amaçlı kullanılan tarım alanlarının enerji amaçlı tarımsal üretime yönelmesi durumunda gıda arzında bir daralmaya neden olacağı belirtilmiştir. Bu durum gıda fiyatlarının artmasına neden olacaktır. Enerji amaçlı gıda kullanımının gıda arz güvenliğini olumsuz etkilediği, gıda arzında daralmaya neden olduğu görülmüştür. Bu daralmanın fiyatlara yukarı yönlü bir etki yapacağı FAO 2002-2008 gıda fiyat endeksinde fiyatların %64 gibi bir oranda artmasıyla somut bir şekilde görülmüştür (Food and Agriculture Organization, 2008:41).

Kaynak kullanımına bağlı olarak biyoenerji ile gıda güvenliği arasında ters bir ilişkinin mevcut olduğu görülmekte olup, küresel anlamda biyoenerji kullanımındaki her bir artışın gıda güvenliği üzerinde baskılayıcı bir etkisi bulunmaktadır.

### **3.3. Biyoenerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi**

Enerji bir ülkenin bütün üretim faaliyetlerinde etkin olması, büyüme ve kalkınmayı doğrudan etkilemesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Ekonomik istikrar, dış ticaret açığı ve bütçe açıklarının en önde gelen sebepleri arasındadır. Yaygın enerji kaynaklarının küresel dağılımının belli bölgelere toplanması, bir çok ülke açısından enerji arz güvenliğini sağlama en önemli başlıklardan biri olarak yer edinmiştir. Enerji güvenliğinin hayati önemde olması yerli üretim ve alternatif enerji kaynakları ile ilgili AR-GE çalışmaları oldukça önem kazanmıştır.

Bütün enerji güvenliği tanımları ve enedeksleri incelendiğinde yerli üretimin enerji güvenliğini sağlama konusunda olumlu etkisi görülmektedir. Bu nedenle yenilenebilir olması ve yerli kaynaklardan üretilmesi açısından biyoenerji enerji güvenliği açısından önemli bir etkidir. Biyoenerji arzındaki artış enerji arzı içerisinde yerli üretim oranını artıracaktır. Yerli enerji arzındaki artış da gıda güvenliğinin sağlanmasına olumlu etki yapacaktır.

### **3.4. Biyoenerjinin Karbondioksit Emisyonu ve İklim Değişikliği Üzerindeki Etkisi**

Dünya yüzeyinde CO2 emisyon miktarı her geçen gün artmaktadır. Atmosferdeki CO2 emisyon oranındaki artış küresel ısınmayı tetiklemektedir. Küresel ısınmanın bir nedeni

---

bölünmesiyle (396.100 milyar kilokalori / 800 bin kilokalori), 116,5 milyon ton mısırın kalori değerinin 495 milyon insanın yıllık kalori ihtiyacına denk olduğu hesaplanmıştır.

olarak iklim değişikliği de beraberinde de büyük felakete neden olmaktadır. Bunun temel sebepleri de tüketim alışkanlıkları, yüksek karbonlu ekonomi, orman kaynaklarının hızla tükenmesi gibi durumlar ile fosil kökenli enerji kaynaklarının yoğun kullanılmasıdır. Son yüzyıldaki teknolojik anlamdaki inanılmaz gelişmeler ile sanayileşme ve kentleşmenin neden olduğu yoğun enerji tüketimi atmosferdeki emisyon miktarının yüksek bir hızla artış göstermesine neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar dünyadaki emisyonun 2/3' si enerji kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Atmosferdeki emisyon miktarının azaltılması için; düşük karbonlu ekonomiye geçiş, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve daha temiz enerji kaynaklarına yönelimin artırılması gerekmektedir (Topçu, 2018:117). Bu nedenle emisyon miktarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilerek bu kaynakların tüketiminin artırılması büyük önem arz etmektedir.

AEBIOM Birleşik Krallık adına üyesi olan Biogen: 21. Asrın Yakıtı başlığıyla tanımladığı biyoenerji; emisyon miktarının azaltılmasında önemli bir kaynaktır. Biyoenerji fosil yakıtlara nazaran CO<sub>2</sub> çıkışını net ortalama olarak % 90 oranında azaltmaktadır (Duygu, 2003:454). Bu nedenle emisyon seviyesinin azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında biyoenerji kullanımı önemli bir enerji kaynağı olmuştur.

Biyoenerjinin emisyon miktarının düşürülmesi ve iklim değişikliği ile mücadeledeki yeri göz önünde bulundurularak üretim artışında çok fazla bir yönelimin artması beklenmedik sonuçlar da doğurabilmektedir. Biyoenerji ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kontrolsüz bir yönelim ve bununla beraber bu enerji kaynaklarının arzında yaşanacak ciddi bir artışın fosil yakıt tüketimini azaltacağı ve bu durumun emisyon miktarı ile iklim değişikliğini olumlu etkilemesi beklenir. Ancak talebi azalan fosil yakıtları kullanım yaygınlığı ve arz potansiyeli düşünüldüğünde talep azalması bu yakıtlarda fiyatların düşmesine neden olacaktır. Maliyeti ucuzlayan bu kaynakların daha yaygınlaşması ve hoyratça kullanılması ihtimali yüksektir. Bu durum emisyon miktarı ve iklim değişikliği için olumsuz sonuçlar doğuracaktır (Popp et all, 2014:571). Dolayısıyla çevreyi korumak amaçlı biyoenerji teşvik politikaları oluşturulurken beklenenin tersine bir etki oluşturabileceği unutulmamalıdır.

Bütün bu durumlar gözönünde bulundurularak kontrollü bir şekilde biyoenerji kullanımının emisyon miktarını azaltacağı ve iklim değişikliğinin olumsuz etkisini azaltıcı etki yapacağı aşıkardır.

### **3.5. Biyoenerjinin Gübre ve Yem Sanayisi Üzerine Etkisi**

Dünya genelinde yıllık olarak üretilen tarımsal ürünlerin %30' undan fazla geriye tarımsal atıklar bırakılmaktadır. Bu tarımsal atıklar ya tarlalarda çürümekte yada ülkemizde de çok sık raslandığı gibi anız olarak yakılmaktadır. Bu durum hem milli servet israfına hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Halbuki bu tarımsal atıklar biyoenerji üretimi için ciddi bir kaynaktır. Bu tarımsal atıkların ve organik kökenli diğer biyoenerji kaynaklarının kimyasal yollar ile biyoenerjiye dönüştürülmesi sonucunda kalan atıklardan da tarımsal gübre ve hayvansal yem olarak değerlendirilebilmektedir. Bu iki ürün de tarım ve hayvancılık açısından vazgeçilmezdir. Aynı zamanda gıda arzının en yüksek maliyetli girdileri arasındadırlar. Bu durum aynı zamanda biyoenerji üretiminin kendi kaynaklarını beslemesi demektir.

Organik kaynaklı atıklar ile organik ürünler anaerobik ortamlarda fermante edilerek içinde var olan aerobik ortamda yaşayan zararlı organizmalar anaerobik ortamda yok olup, fermante olmuş organik likid gübreye dönüştürülebilmektedir (Çanka Kılıç, 2011:100). Biyoenerji üretimi sonucunda ortaya çıkan bu yan ürün kırsal kesim açısından ekonomik değer olarak değerlendirilebilmektedir.

Biyoenerji üretim prosesleri sonucunda ortaya çıkan artık ürünlerden tarımsal likid gübre elde edildiği gibi hayvan beslenmesi için de yem elde edilebilmektedir (Şahin ve Şural, 2020:200). Gıda krizlerinin sık sık yaşandığı dünyada ve ülkemizde görülen et ürünlerindeki yüksek fiyatlar göz önünde bulundurulduğunda hayvan beslenmesi için elde edilen yemin önemi anlaşılacaktır. Sonuç itibariyel yağlı tohumlardan üretilen biyoenerji artık ürünlerinin hayvan yemi olarak kullanılması mümkün olup, bu konu ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

### **3.6. Biyoplastik Sektörü Üzerindeki Etkisi**

Fosil kökenli ürünler sadece enerji sektöründe enerji amaçlı kullanımla sınırlı değildir. Plastik sektörü hammadde olarak petrol ürünlerinin kullanıldığı ve dünya çapında çok yaygın

bir ürün yelpazesi olan ve hemen hemen her alanda kullanılan fosil kökenli bir üründür. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan plastik ürünler ve bu ürünlerin doğadaki çözünme sürelerinin çok uzun olması çevre üzerinde ciddi bir sorun olarak durmaktadır.

1970' li yıllarda yaşanan petrol krizi ve çok yaygın kullanımı olan plastik ürünlerin çevre üzerindeki olumsuz etkisinin tetikleme alternatif malzeme üretim çalışmaları sonucunda biyomalzemeler keşfedilmeye başlanmıştır. Özellikle geniş bir talep yelpazesine sahip plastik sektöründe biyoplastik ürünler üretimine dönük çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır.

İnsanların çevreye olan duyarlılığının artmasının bir sonucu olarak biyo kökenli ürünlere dönük talepler oldukça hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Bununla birlikte plastik sektörü içerisindeki ağırlığı da her geçen gün artmaktadır. Budurumda biyoplastik ürünler üretimi için hammadde talebinin artmasına neden olmaktadır. İşte bu noktada enerji amaçlı biyo kaynak kullanımı ile biyoplastik amaçlı biyokaynak kullanım rekabetinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Biyoenerji ile aynı kaynaklardan beslenmesi nedeniyle bu iki alanın bir biri üzerinde bir baskı oluşturma durumu mevcuttur.

### **3.7. Biyoenerjinin Biyolojik Çeşitlilik Üzerine Etkisi**

Biyoenerji kaynağı olarak orman ürünleri ve tarımsal ürünlerin kullanılmasıyla beraberinde farklı sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Biyoenerji kaynak üretiminin yüksek gelir getirici cazibesi orman alanlarının yok edilerek bazı ülkelerde tarım alanlarına dönüştürülmektedir. Bu durum orman alanlarındaki ekolojik yaşam ve biyolojik çeşitlilik için tehlike arz etmektedir (Hatunoğlu, 2010:90).

Kırsal kesimlerde biyoenerji tarımına yönelim ile beraber yağlı tohum ve biyoenerji kaynağı bitkilerin üretimi için daha fazla tarımsal alanın ayrılmasına, dolayısıyla diğer tarımsal ürünlere ayrılan tarımsal alanların azalmasına neden olabilmektedir. Bu durum tarımsal üretim çeşitliliğini olumsuz etkileyecektir.

### **3.8. Biyoenerjinin Çevre Kirliliği Üzerine Etkisi**

Biyoenerji pahalı fosil yakıtların çevre üzerindeki baskısını azaltmak için önemli bir enerji kaynağıdır. Baskın olan görüş biyoenerjinin çevre üzerindeki etkisinin olumlu olduğu

kanaatidir. Ancak çok fazla talep artışı çevre üzerinde olumsuz bir baskı oluşturacağı muhakkaktır. Bu nedenle biyoenerjinin çevre üzerindeki etkisi kaynak kullanımındaki çeşitlilik ve kaynak kullanımındaki artışın neden olacağı çevresel etkiler beraber düşünülmelidir. Biyoenerjinin çevre üzerindeki olumlu etkilerini şu şekilde sıralayabiliriz (Tolay vd., 2008:2-3; Keskin, 2018:86-90; Gençoğlu, 2002:62; Acaravcı ve Erdoğan, 2018: 61).

- Büyükşehirler için ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkan kentsel atıkların çevreye zararını minimize etme çabaları için önemli bir alternatiftir. Yerel yöneticiler için ciddi bir problem olarak görülen sürdürülebilir atık yönetimi politikaları için önemli bir argümandır.

- Sanayi atıklarının ve çevresel zararlarının bertaraf edilmesi için iyi bir araçtır
- Ulaşımı çevre dostu kılmak önemli bir kaynaktır.
- Alternatif bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonunun azalmasını sağlar.

- İklim değişikliği ile mücadele de önemli bir araçtır.
- Küresel ısınmanın en önemli etkenlerinden olan sera gazlarını azaltır.
- Hijyenik yaşam alanlarının oluşturulmasını sağlar.
- Atıklar değerlendirilerek su kaynaklarının kirlenmesinin önüne geçilmektedir.
- Tarımsal atıklar ekonomik olarak değerlendirilerek biyoenerjiye dönüşümü ile atıklardan kurtulmanın bir yolu olarak görülen anız yakmalarının önüne geçilmektedir. Böylece anız yaklamalarının neden olduğu çevre kirliliği ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki olumsuz etkisi ortadan kalkmaktadır.

Biyoenerji tüketiminin çevre üzerindeki bu olumlu etkilerinin yanında, kaynak kullanım çeşidine ve bu kullanım miktarına bağlı olarak çevre üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu gerçeği de unutulmamalıdır. Gereğinden fazla biyoenerji kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini de şu şekilde sıralayabiliriz (Popp et al., 2014:571-572; Hatunoğlu, 2010: 87).

- Hammadde arzı için aşırı su kullanımına neden olarak su kaynakları üzerinde olumsuz etki yaratması.

- Üretim artışı sağlanması için yoğun ilaçlama ve azot kullanımına bağlı olarak uzun vadede toprak verimsizliğine neden olması.

- Orman alanlarının tarıma açılması ile doğal denge üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Biyoenerji politikaları genel anlamda çevre üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmasına rağmen; aşırı bir yönelimin çevre üzerinde beklenmedik ve telafisi zor olumsuzluklara neden olabilmektedir.



## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### SİSTEM DÜŞÜNCESİ VE SİSTEM DİNAMİKLERİ

Sistem dinamikleri; bir etkileşim çerçevesinde bir sistem olarak devamlılığı sağlayan bir olgunun birden fazla bileşeni arasındaki iletişim veya etkileşimlerini tanımlamak ve tahmin etmek için kullanılmaktadır. Sistem içerisindeki bileşenlerin bir biri ile etkileşiminin yönü ve derecesi ile ilgilenerek parça parça olarak bileşenlerin ve bir bütün olarak sistemin nasıl geliştiğinin mekanizması üzerinde durmaktadır.

Sosyal bilimler alanında sistem dinamikleri modelleme yaklaşımı; gittikçe karmaşıklaşan ilişkilerin gelişmiş veri analizi için bir araç olarak kullanılması yaygınlaşmaktadır. Teori geliştirme, test etme ve politaka oluşturulması süreçlerinde oldukça kullanışlı bir araç olarak artan bir düzeyde ilgi görmektedir.

Sosyal hayatta gittikçe daha çok karşılaşılan yada yeni yeni farkına varılan kapsamlı ve karmaşık sorunların çözümü için akılcı ve sistematik düşünmek gerekir. Kapsamlı ve karmaşık parçaların bir bütün olarak oluşturduğu sorunların çözümünde sistem dinamikleri modellemesi son yıllarda önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

Bu bölümde sistem kavramını ve sistem dinamikleri modellemesinin kavramsal çerçevesi, tarihsel gelişimi bileşenleri, kullanım alanları teorik altyapısı, modelleme adımları, matematiksel ve şekilsel açıklamaları ile modelin kurulmasını sağlayan bilgisayar tabanlı yazılımlar tanıtılacaktır.

#### 4.1. Sistem Kavramı

Sistem dinamikleri modellemesinin temeli sistem düşüncesidir. Sistem; bir biri ile tutarlı bir etkileşim halindeki parçaların belli bir hedef doğrultusunda belirlenmiş bir çerçeve ve sınırlar içerisinde oluşturduğu özgün davranış organizasyonu olarak tanımlanabilir (Şenaras ve Sezen, 2017: 41). Sistem dediğimiz bünyesindeki parçaların belli bir amaç doğrultusundaki birbiriyle ilişki durumunun oluşturduğu bütünsel yapı olarak da ifade edilebilir. Sistem; içerisinde karmaşık ilişkileri barındırmaktadır. Bu karmaşık ilişkilere ve ilişkilerin durumuna göre standart bir tanımlama getirmek zordur. Bu nedenle sistemin tanım olarak daha iyi anlaşılabilmesi için sistemin özelliklerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

*\*Amaç:* Yeryüzündeki tüm sistemlerde olduğu gibi insan düşüncesi ve eyleminin bir sonucu olarak oluşturulan sistemlerin gerçekleştirilmek istenen bir amacı olmalıdır. Bir amacı

olmayan bir statüko sistem olarak ifade edilemez. Bu nedenle amaç; sistemin varolma özelliklerinden bir tanesidir.

\**Alt Bileşenler*: Sistemi oluşturan alt sistemler yada parçalar sistemin alt bileşenlerini oluşturmaktadır. Bunlar sistemin bileşenleri olarak da ifade edilebilir.

\**Tutarlı Etkileşim*: Sistem oluşturulurken belirlenen amacın gerçekleştirilebilmesi için parçalar bir bütün olarak bir biriyle tutarlı bir etkileşim içerisinde olmak zorundadır. Bir biriyle tutarlı bir etkileşim içerisinde bulunmayan parçaların bir sistemi oluşturması olası değildir.

\**Sistemin Çerçevesi*: Sistemi etkileyebilen bütün değişkenler sistemin çerçevesini oluşturur.

\**Sistemin Sınırları*: Sistemi oluşturan öğelerin bir bütün olarak dış çevreden ayrıldığı sınırlardır.

\**Özgün Davranış*: Her sistem kendisini diğer sistemlerden ayıran özgün bir davranışa sahip olmalıdır. Tüm sistem bilgilerini temsil eden sistemin *durumu*, meydana gelebilecek sistemin tüm olası durumlarını temsil eden *durum uzayını* ve sistemin durumunun zaman içerisinde nasıl değiştiğini gösteren *durum geçiş işlevi* ile sistemin nasıl davrandığı tanımlanabilir (Busemeyer, 2015:45-52).

İçerisinde parçalar ve alt birimleri barındıran bu parçalar arasında belli bir etkileşim barındıran ve aynı zamanda dış çevre ile etkileşim halinde bulunan bir bütünü sistem olarak tanımlayabiliriz. Bunun yanında bütünü oluşturan bu parçaların her birinin kendine has bir etkileşim özelliği içerisinde bulunması ile beraber her birinin etkinliğinin de birbiriyle bağlantılı ve bağlı olması gerekmektedir (Tecim, 2004:80). Bu itibarla sistemin davranışı her parçanın ne yaptığı yada nasıl bir işleyişe sahip olduğu değil, her bir parçanın sistemi oluşturan diğer alt parçalar ile nasıl bir etkileşim içerisinde bulunduğu ile ilgilidir (Ayanoğlu ve Gökçe, 2009:29-41). Parçaları ayrı olarak ele almak bu parçaların bir bütün olarak oluşturduğu ve bir iki parçanın kendi arasında oluşturduğu etkinin anlaşılmasını zorlaştıracaktır. Nihayetinde bu parçalar her birinin tek başına oluşturduğu etki gibi bir bütün olarak da bir etki durumu bulunmaktadır. Aristo' nun yıllar önce söylediği gibi “ Bütün; bütünü oluşturan parçaların ayrı ayrı etkisinden çok daha büyük bir etkiye sahiptir.” Yani parçaların bir bütün olarak oluşturduğu etki her bir parçanın tek başına oluşturduğu etkiden daha büyük bir etki kapasitesininin olduğunu vurgulamıştır.

#### 4.1.1.Sistem Felsefesi ve Kısa Tarihçesi

İçerisinde yaşadığımız kainatta ve insanoğlunun yaşam serüveninin de karşılaştığımız olaylar, olgular ve problemler o kadar birbirleriyle iç içe geçmiş ve karmaşık ilişkiler barındırmaktadır ki, bu ilişkileri bir birinden ayırmak veya hangisinden başlanması gerektiğini tespit etmek bilinen sebep ve sonuç ilişkileriyle bu durumu çözmek oldukça zordur. Çünkü ortada doğrusal bir sebep ve sonuç ilişkisinden ziyade, döngüsel bir sebep ve sonuç ilişkisi mevcuttur (Şenaras ve Sezen, 2017: 44). Mikro ölçekten makro ölçeğe kadar kainattaki tüm disiplinlerde bir sistemsal döngünün varlığı göze çarmaktadır. Kainattan en ufak hücrenel yapıya kadar sistem kavramıyla tanımlanabilecek bir düzenin mevcut olduğu görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında insanlık tarihinden daha da eski bir varlığa sahip olduğu söylenebilir.

İnsanlık tarihinden daha eski bir varlığa sahip olmasına rağmen algılanması ve öğrenilmesi insan hayatı ile başlayan bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. İnsan beyni karmaşık yapıları çözmeye ve ayırd etmeye başladığı an sistem kavramının mevcudiyetinin farkına varılmaktadır. Bu nedenle bu kavramı insanlık tarihiyle yaşıt bir kavram olarak kabul etmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

İnsanoğlu yaşadığı dünyada her şeyin daha düzenli ve organize bir şekilde konumlandığı bir dünya düzeni tahayyül etmektedir. Bu tahayyülün gerçekleşmesi için düşünsel aktiviteler ve çeşitli çabalar ile denemeler ve deneyler uygulamaktadır. Fiziksel dünya için yapılan deneylerde belli bir başarı yakalanmasına rağmen sosyal dünya açısından bu başarının yakalanması biraz daha zordur. Sosyal dünyanın ekonomik, kültürel, sosyal ve politik etkilerin neden olabileceği karmaşık etkilerine çözüm üretmek zordur. İç içe geçmiş karmaşık sorunlarını tek başına çözmek sistemler bütünsel olarak karşılaştığı sorunlara bir bütünsel çözüm sunamayacaktır.

Sistem kavramı çok eski tarihlere dayanan bir geçmişe sahiptir. Bu kavram bazı araştırmacılara göre matematik tarihiyle yaşıttır. Bazı araştırmacılara göre de Matematiğin yeryüzünden kullanılmasından daha öncelere dayanan bir tarihe sahip olduğu ileri sürülmektedir.

Bilimsel bir kavram olarak kullanıldığı ilk örneklerden bir tanesi olarak avcı ve av arasındaki etkileşimi açıklamak için kimya ve biyolojide yaygın olarak kullanılan Lotka-Volterra denklemleridir. Bunun yanında Danimarkalı astronom Tyco Brahe güneş sistemini inceleyerek tüm evrende geçerli olacak bir gök cisimleri sistemi modeli oluşturmak için çabalamıştır (Gingerich, 1973:86-101).

Sistem kavramını bir birinden ayrılmaz parçalar bütünü olarak tanımlayan Avusturyalı biyolog Bertalanffy (1968) olayları daha iyi anlamak açısından sistem düşüncesini kullanma fikrini ortaya atmıştır. Bütün sistemleri etkileyen disiplinleri formüle eden genel bir disiplin anlayışı bulmuş ve ona Genel Sistem Teorisi (GST) adını vermiştir (Tecim, 2004:79). Teoriye göre sistemin anlaşılması için sistemi oluşturan parçaların tek tek değilde toplu olarak oluşturdukları bütünsel sistemin anlaşılması gerektiğini ileri sürmektedir.

Sistem yaklaşımını bir bilgi bütünü olarak başlangıcı Aristoya dayandırılrsa da Von Butterfly biyolojide uyguladığı yaklaşımın Ackoff ve diğerleri tarafından yönetim sorunlarına uygulanmasıyla geliştirilmiştir. Karmaşık olayın tüm yönleriyle daha şeffaf algılamamızı sağlamaktadır. Bununla beraber çocuklar ile yapılan deneylerde onların daha iyi anlamalarını sağladığını göstermiştir (Senge, 2011:25).

Sistem düşünce felsefesinin gelişim sürecinde farklı düşünce sistemlerinin farklı şekilde katkıları olmuştur. Bu düşünce sistemlerinden holistik düşünce, erekbilimsel düşünce ve sentez düşüncesi en fazla katkı sağlayan düşünce sistemleri olmuştur (Tecim, 2004:82).

#### ***4.1.1.1. Holistik Düşünce***

Bütünü incelemeyi esas alan düşünce sistemidir. Bu düşünce sisteminde bütünü oluşturan parçalara odaklanma yerine bütüne odaklanmayı esas alır. Parçaya odaklanmak bütünü ortaya koyan diğer etkenlerin gözardı edilmesi dolayısıyla etkilerinin görmezden gelinmesine neden olacaktır. Bu durum da bütünün etki ve sebep-sonuç ilişkisinin tam olarak kurulamamasına neden olacaktır. Parçayı bütünden ayrı olarak düşünmenin gerçeği tam olarak gösterememeye neden olacaktır.

#### ***4.1.1.2. Erekbilimsel Düşünce***

Parçaların ortak amacı üzerinde odaklanan düşünce yapısıdır. Bu düşünce sisteminde bütün parçalar elde edilmek istenen amacı gerçekleştirmeyi ön planda tutarlar. Örneğin çiftçinin toprağı kazması, tohumun toprağı atılması, toprağın sulanması, gübreleme ve ilaçlama gibi bütün süreç parçaları verimli ürün elde etme amacıyla gerçekleştirilmektedir. Bu parçalar gerçekleştirilerek gelecekte verimli ürün elde etme amacı gerçekleştirilmiş olur.

#### ***4.1.1.3. Sentez Düşünce***

Sentez düşünce sistemi parçalar arasındaki etkileşim ilişkisine bütünsel bir yaklaşım ile yaklaşmaktadır. Bütünsel bir olayın parçası olan sistemler ve bu sistemlerin özellikleri,

etki şekilleri, etki düzeyleri belirlenerek sistem içerisindeki parçaların bir biriyle ilişkisine bir bütün olarak yaklaşılması gerektiği düşüncesini savunur. Bu düşünce sistemi sistemin tüm değişkenlerinin oluşturduğu sistem fonksiyonuna odaklanarak nesnelere ya da olayların niçin meydana geldiğini anlamaya çalışmaktadır (Şenaraz ve Sezen,2017:46).

#### **4.1.2. Sistemlerin Sınıflandırılması**

Sistemleri, kendi bileşenleri olan alt sistemler ve diğer bileşen göz önünde bulundurularak sınıflandırmak gerekir. Sistemi oluşturan tüm elemanların fonksiyonları, davranışları ve bütünsel olarak ortaya koydukları ortak hedefe dönük hareketleri çerçevesinde bir sınıflandırma yapılmalıdır. Yapılacak olan sınıflandırmanın başarısı dışarda herhangi bir sistem bırakmamasına bağlıdır. Bu nedenle her sistemi bir sınıflandırmaya dahil olan aşağıdaki sınıflandırmanın başarılı bir sınıflandırma olduğu gözlemlenmektedir (Tecim, 2004:90).

**Açık Sistemler:** İçerisinde bulunduğu ortam ile mutlak bir bilgi ve veri alışverişi içerisinde bulunan sistemlerdir. Bu sistemlerin etkili bir şekilde işleyişi buldukları çevre ile olan açık etki,leşimlerine bağlıdır.

**Kapalı Sistemler:** Buldukları ortam ile bilgi girişi dışında iletişimi olmayan, veri giriş çıkışlarına kapalı olan sistemlerdir.

**Canlı Sistemler:** Biyolojik canlılık özelliklerini gösteren sistemlerdir.

**Cansız Sistemler:** Canlılık özelliği göstermeyen sistemlerdir.

**Gerçek Sistemler (Somut veya Fiziksel):** Gözlemler neticesinde bir sonuca varılan, gözlemciden bağımsız olarak bulunan sistemlerdir.

**Kavramsal Sistemler:** Dilbilgisi, istatistik, matematik, mantık ve felsefe gibi sembolik fikir yapıları olan sistemlerdir.

**Sosyal Sistemler:** Biçimsel veya biçimsel olmayan kendiliğinden oluşan insan gruplarının meydana getirdiği sistemlerdir. Burada herhangi bir sosyal sisteme dahil olarak statü, aidiyet, maddi veya manevi çıkar amaçlı insan doğasının yönlendirmesiyle oluşan insan topluluklarının oluşturduğu sistemlerdir.

#### **4.1.3.Sistem Modelleme**

Modelleme, bir sistemin bileşenleri arasındaki ilişkinin şekilsel olarak gösterimi şeklinde ifade edilebilir. Bu ilişki genellikle matematiksel denklemler veyahut hesaplama

dilleri kullanılarak belirtilir. Genel olarak modeller matematiksel/hesaplamalı modeller ve istatistiksel modeller olarak ayırt edilir. Hesaplamalı modellerin temelini de matematiksel modeller oluşturmaktadır.

Matematiksel modeller kesin iddialarda bulunurlar. Bu modeller karmaşık sistemleri geliştirmek, simüle etmek ve test etmek için bilgisayarlara güvenirlir. İstatistiki modeller ise araştırmacıların belirli hipotezleri test etmek için kullandıkları genel analitik araçlardır. Buna karşın matematiksel modeller teorinin, argümanın resmi bir temsilidir. Modelin nasıl çalıştığını, teorinin neyi tahmin edeceği ve deneysel verilerde test etme kolaylığı sağlamaktadır (Irwin and Wang, 2017: 4-5).

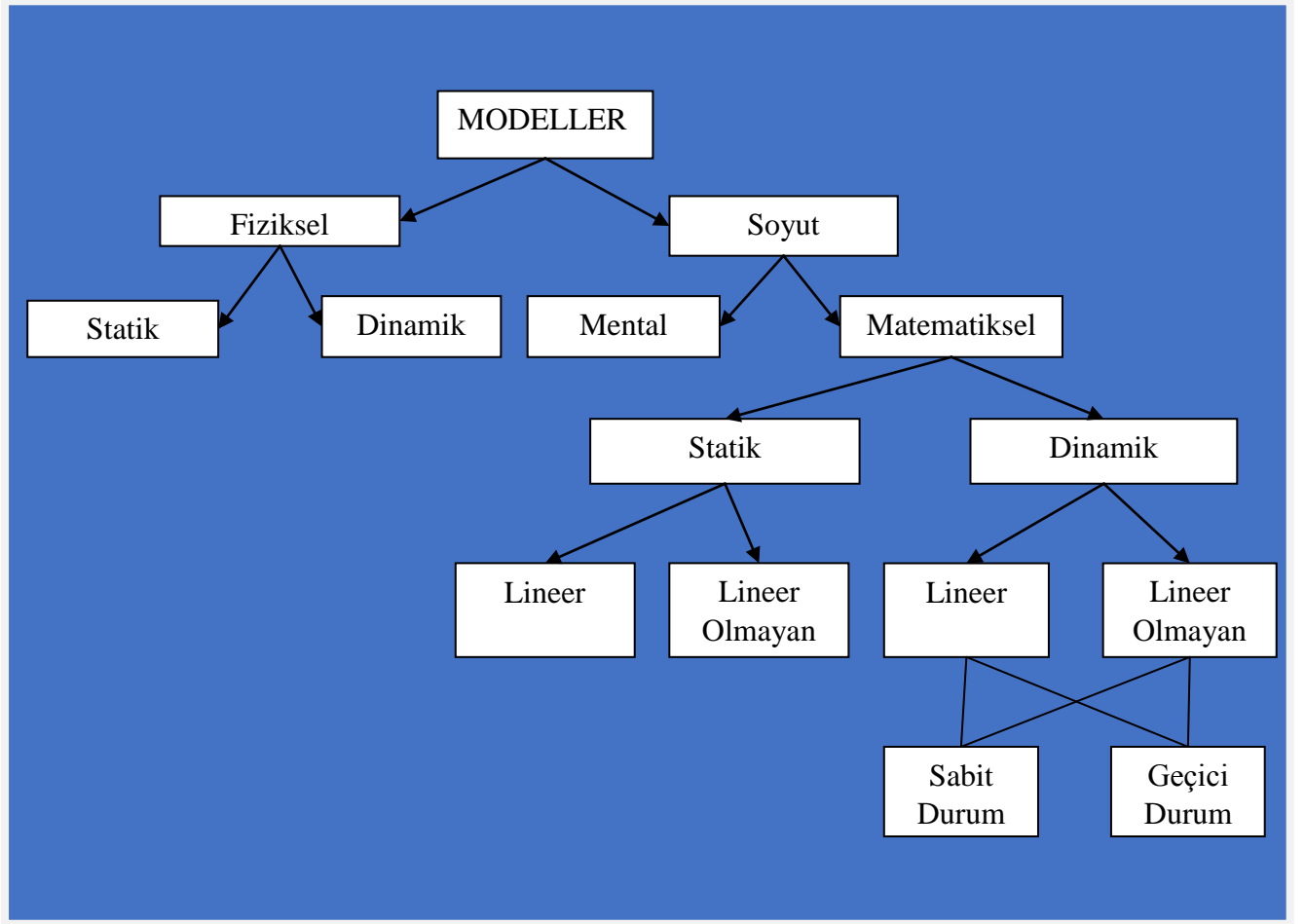
Sistemlerin karmaşık yapısının iyi anlaşılması sistem modelinin sistemi en iyi şekilde tarif edecek şekilde oluşturulmasına bağlıdır. Modelleme sistemin karmaşık yapısını resmeder. Sistemin şekilsel olarak temsilidir. Bu nedenle modelin iyi bir şekilde kurulması sistemin daha iyi incelenmesini ve anlaşılmasını sağlayacaktır. İyi bir sistem modeli;

- Sistemin tüm süreçlerini bir bütün olarak ele almalıdır.
- Sistemin davranışını ve bu davranışlardaki değişikliklerin takip edilmesine olanak tanımalıdır.
- Sistemde değişen olguları ve bu olguları tetikleyen durumları yansıtmalıdır.
- Sistemin yeniden tasarlanmasında esneklik sağlayacak biçimde oluşturulması gerekmektedir.

Özelliklerine sahip olmalıdır (Şenaras ve Sezen, 2017: 41).

Modelleme, kullanılan argümanlar ile sistemi bütün bileşenleri ile beraber göstererek, sistemin çalışma mekanizmasının resmini ortaya koyan bir bileşendir. Şekilsel olarak sistemin neyi amaçladığı, neyi gösterdiğini temsili olarak göstermektedir.

**Şekil 10.** Matematiksel Modellerin Sınıflandırılması



**Kaynak.** (Bala et al, 2014:11)

#### **4.1.3.1. Sistem Düşüncesi Modelleme Aşamaları**

Sistem düşüncesi modelleme yaklaşımı; problemin tanımlanması, nedensel döngülerin modellenmesi, dinamik modelleme, senaryo planlanması il modellenmesi ve uygulama ve örgütsel öğrenme olmak üzere Cavana ve Maani tarafından beş ana başlık altında açıklanmıştır (Cavana and Maani, 2000:16).

##### **Aşamalar ve Adımlar**

###### **1.Problemin Tanımlanması**

- a. Problemlerin veya yönetimin ilgilendiği konuların tanımlanması
- b. Ön bilgi ve verilerin toplanması

###### **2. Nedensel Döngü Modelleme**

- a. Temel değişkenlerin belirlenmesi
- b. Davranışın zaman içerisinde grafiğinin hazırlanması
- c. Nedensel döngü diyagramlarının geliştirilmesi (etki diyagramları)
- d. Döngü davranışının zaman içerisinde analiz edilmesi
- e. Sistem prototipinin tanımlanması
- f. Anahtar kaldıraç noktaların tanımlanması
- g. Çalışma stratejilerinin geliştirilmesi

### *3. Dinamik Modelleme*

- a. Bir sistem haritası veya zengin resmin geliştirilmesi
- b. Değişken tiplerinin tanımlanması ve stok-akış diyagramlarının oluşturulması
- c. Detaylı bilgi ve verilerin toplanması
- d. Benzetim modelinin geliştirilmesi
- e. Durağan koşulların benzetimi
- f. Başlangıç davranışının yeniden üretilmesi
- g. Modelin doğrulanması
- h. Duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi
- i. Politika tasarımı ve analizi
- j. Stratejilerin geliştirilmesi ve test edilmesi

### *4. Senaryo planlaması ve modellemesi*

- a. Senaryoların genel kapsamının planlanması
- b. Değişimi yaratan ana kalemlerin belirlenmesi
- c. Güçlendirilen senaryoların yapılandırılması
- d. Senaryoların model ile denenmesi
- e. Güvenilir politika ve stratejilerin geliştirilmesi

## 5. Uygulama ve örgütsel öğrenme

- a. Yönetim için rapor ve sunum hazırlanması
- b. Yönetime sonuçlar ve önerilerin iletilmesi
- c. Benzetim modeline dayanan öğrenme laboratuvarının oluşturulması
- d. Öğrenme laboratuvarının kullanılmasıyla mantıksal modellerin sınanması ve organizasyonlarda öğrenmeyi kolaylaştırmak.

### 4.2. Sistem Düşüncesi: Sistem Dinamği

Sistem dinamikleri 1950' li yıllarda MIT Üniversitesinde Jay W. Forrester orijinal olarak endüstriyel sistemlerin analizi için geliştirilmiştir (Forrester, 1961) . Bu yaklaşım kontrol teorisinden ödünç alınan, “information geribildirim” teorisine dayanan bir metodolojidir. Karmaşık ve dinamik sistemlerin doğrusal olmayışını, zaman gecikmesini ve çoklu döngü yapılarını kolayca idare edebilir (Bala et all, 2014:5). Kontrol sistemlerinin farklı sosyo-ekonomik sistemlerin modellenmesi ve planlama gibi değişik alanlarda kullanılmaya başlanmasıyla yeni bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır (Coyle, 1996:1).

Sistem dinamikleri sosyal bilimlerde karmaşık sosyal sistemlerin yapısını etkileşimlerini ve davranış biçimlerini rasyonel bir çerçevede analiz ederek, stratejilerin test edilebileceği, geri beslemeyi sağlamakta olup, farklı senaryoların denenmesine olanak sağlamaktadır. İktisadi, finansal, ticari, çevresel, kalkınma, şehir planlamaları, doğal ve beşeri kaynak yönetimleri, eğitim gibi bir çok alanda başarılı bir şekilde uygulama örnekleri mevcuttur ( bakınız: Khalid, 1994-1998; Donella H. Meadows, 1994; Ford, 1999; Irwin and Wang, 2017). Karmaşık sistemlerin dinamik davranışlarını anlamaya çalışan bir sistem düşüncesi yöntem şeklidir. Sistem yapısının sistem davranışı ile sistem olaylarını nasıl etkilediklerini anlamak sistem dinamiklerinin temelini oluşturmaktadır (Sezen, 2009:298).

Sistem dinamiği sosyal, ekonomik ve çevresel gibi sistemlerdeki karmaşıklık ve bu karmaşıklığın nedenleri ile karmaşık yapının dinamiklerin açığa çıkarılmasına yardımcı olan kavramsal ve sayısal modelleme teknikleri ile bilgisayar teknolojisi sağlamaktadır. Sistem dinamiği; zaman içerisinde bir şeylerin nasıl değiştiği, bu değişimi geçmişteki nedenleri ile bugüne etkisi ve bugünkü olayların geleceği nasıl belirlediği, politika analizi, tasarımı ile öğrenme ve karar verme amacıyla kullanılmaktadır (Abdelbari, 2015; Maani and Cavana, 2007; Forrester J. W., 1995:16; Şenaraz, 2017:672).

#### **4.2.1. Dinamik Simülasyon**

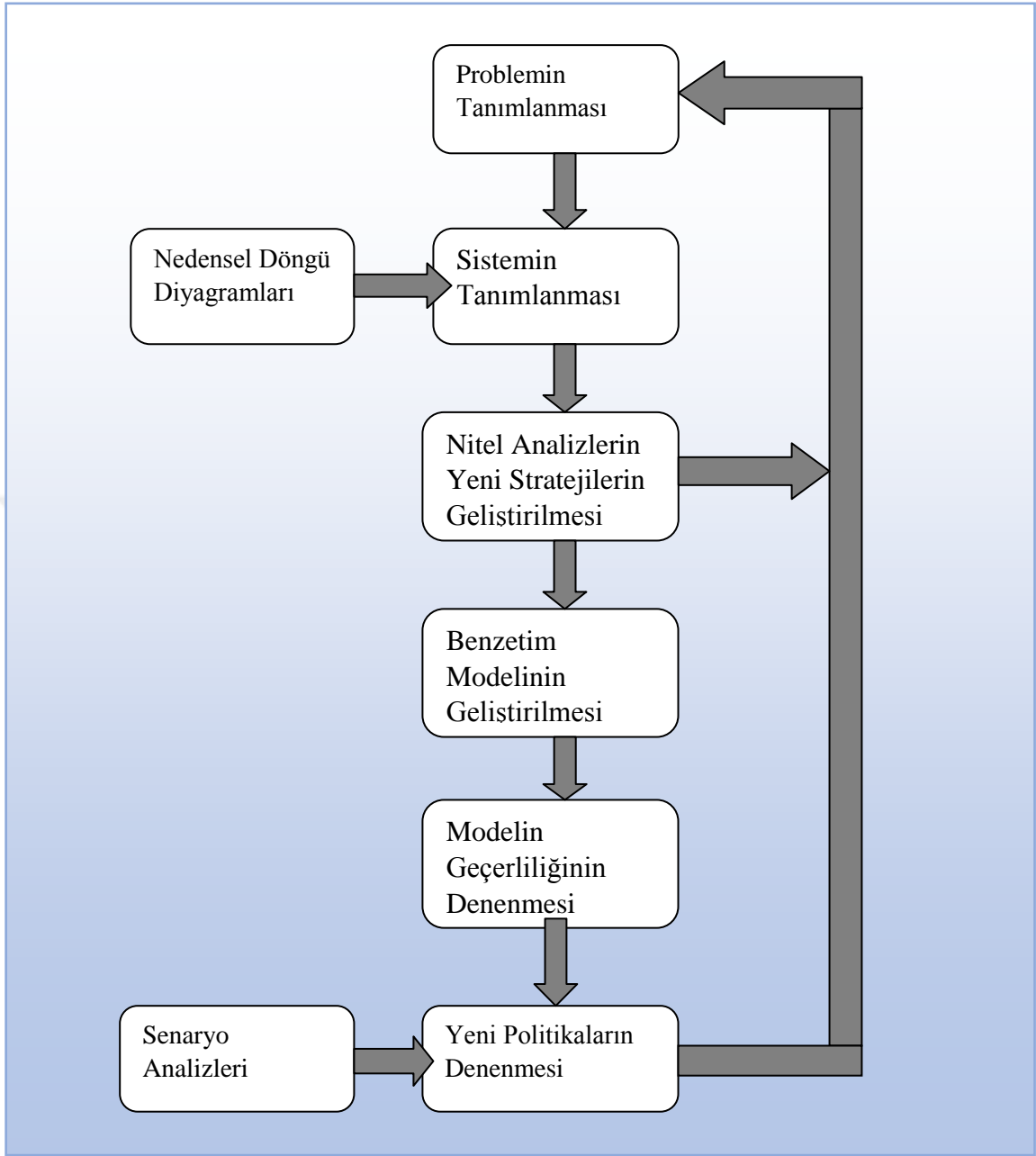
Sosyal sistemlerdeki dinamik davranışların analitik yöntemler ile çözümleri nerde ise olanaksızdır. Çünkü bu sistemlerin barındırdığı doğrusal olmayan, döngüsel ve karmaşık yapısı analitik yöntemler kullanılarak çözümlenmeyi imkansız hale getirmektedir. Bu nedenle sosyal sistemlerin çözümünde dinamik davranışlar modeller ile ifade edilerek simülasyon yöntemleri kullanılabilir.

Sistem dinamiği yaklaşımında simülasyon zaman adım yolunu tamamen elinde tutar ve “zaman adımlı simülasyon” olarak bilinir. Bu simülasyonda zaman adımlara bölünerek, adımlar belli bir aralıkta ve bir birinin ardından devam ederek simülasyon oluşturulur. Bir birini takip eden süreçler arasındaki adım uzunluğu iyi ve etkili bir simülasyon için oldukça önemlidir. Sistemin bütünü oluşturulan tüm değişkenlerin zaman içerisinde adım adım sonuçlar içerir(Söyler, 2006:10). Sistem dinamikleri içerisindeki sistemin bütünü oluşturulan parça değişkenlerinin zaman içerisindeki değişimi; geçmişteki durumun şimdiki durumu adım adım tayin ettiği ve gelecekteki durumda şimdiki değişkenlerin adım adım ortaya koydukları sonuçlar tarafından belirlendiğini zaman kavramı eksenindeki simülasyondur. Sistem dinamiği simülasyonunda soyut sistem somutlaştırılmakta sistem karmaşıklığı içerisindeki düşünsel algı simülasyon ile çözümlenmesi daha kolay olan görsel algılama biçiminde gösterimi sağlanmaktadır.

#### **4.3. Sistem Dinamiğinde Modelleme Süreci**

Sistem dinamiği yaklaşımında başarılı bir modelin simüle edilebilmesi için belli başlı bazı adımların takip edilmesi gerekir. Bu adımlar; gerçek sistemin en iyi şekilde temsil edilmesi ve sistem davranışının gerçek sistem davranışı ile uyumlu olması açısından bir plan oluşturma açısından önemlidir. Bu adımlar Şenaras tarafından şekil 11 ‘ belirtilmiştir.

**Şekil 11.** Sistem Dinamiklerinde Modelleme Süreçleri



**Kaynak.** ( Şenaraz, 2017:683)

Sistem dinamiği yaklaşımı ile modellemede belirtilen aşamaların açıklanması bu süreçlerde yapılan iş ve işlemlerin daha net bir şekilde anlaşılmasını sağlayacaktır.

#### **4.3.1. Problemin Tanımlanması**

Sistem dinamikleri yaklaşımı kullanılarak oluşturulacak modellerde problemin tanımı modelin ilk adımıdır. Bu süreçte problem açık bir şekilde tanımlanmalıdır. Çünkü takip eden

süreçlerde başarılı bir model ortaya koyma problem tanımının göstereceği hedef doğrultusunda olacaktır. Niheyetinde başarılı bir modelden problemi çözmesi beklenir.

Problemin tanımı aynı zamanda hem modelin hem de sistemin sınırlarını belirleyecektir. Ayrıca kullanılacak değişkenleri ve modelin yapısını belirleyecektir. Bu nedenle iyi bir problem tanımı aşağıdaki özellikleri taşımalıdır (Bala et all, 2014:17).

- Model sınırlarını belirlemelidir.
- Politika analizi ve tasarımının amacını kapsamalıdır.
- Çalışmanın kapsamı açıkça belirtilmelidir.
- Sistemin gözlemlenen dinamik davranışını oluşturan önemli değişkenler belirlenmelidir.
- Farklı raporlara, tarihsel ve istatistiksel kayıtlara ve önceki çalışmalara dayalı olarak problemin açık bir şekilde ifade edilmesini içermelidir.
- Sorun ifadesi, sistem davranışının dinamiklerini gerçekler ve rakamlarla etkileyen ana faktörleri açıkça tanımlamalıdır.
- Amacı ve açıkça tanımlanmış hedefleri içermelidir.

Sistem dinamiğinin yönetim biliminde bir çekici özelliği de, biri problemi çözmeye çalışırken diğer bir kişi problemin tanımlanmasını yeniden gözden geçirebilir (Coyle, 1996: 10).

#### **4.3.2. Sistemin Tanımlanması**

Bu adımda sistemin alt sistemler ile beraber etki diyagramları ile anlatılmasıdır. Bu adım sistem dinamiğinde uygulama kısmının ilk adımındır. Bu adımda sistem dinamiğini oluşturacak olan değişkenlerin etki (nedensel döngü) diyagramları açıklanmaktadır. Böylece bu adımda oluşturulacak sistem dinamiği modelinin etki (nedensel döngü) diyagramları ile sistemsal tanımlaması yapılmaktadır.

#### **4.3.3. Nitel Analizlerin ve Yeni Stratejilerin Geliştirilmesi**

Bir önceki adımda etki (nedensel döngü) diyagramları ile sistemin tanımlanmasıyla beraber oluşturulan sistemin bu adımda ayrıntılı incelenmesidir. Bu doğrultuda sistemin etki diyagramları ile tanımlanması nedeniyle aslında etki (nedensel döngü) diyagramlarının ayrıntılı incelenmesiyle, tanımlanan problemin çözümüne katkı derecesi ve oluşturulan sistemin problemi iyi çözümleyip çözümleyemediğinin gözlemlenebildiği adım olarak görülmektedir.

Nitel analizlerin ve yeni stratejilerin geliştirildiği bu adım sayesinde bazen diğer adımlara gerek kalmadan problem çözüme kavuşturulur, (Şenaraz, 2017:685) yada bir önceki adımda nedensel döngü (etki) diyagramında değişiklik yolu izlenerek sistem tanımlaması yeniden gözden geçirilip, yeni stratejiler geliştirilerek sistem tanımlaması yapılır.

#### **4.3.4. Benzetim Modelinin Geliştirilmesi**

Sistem dinamiği modellemesinde benzetim modelinin geliştirilmesi adımı esas itibarıyla sistemin etki (nedensel döngü) diyagramı vasıtasıyla ikinci adımda yapılan sistem tanımlamasının farklı bir gösterimidir. Birinde ifadeler ve çeşitli şekillerle (ok, işaret veya yön işaretleri) diğerinde matematiksel denklemler ve bilgisayar kodları ile ifade edilir. Bu durum hız, gözlenebilme ve düzelmelerde sağladığı kolaylık ve problem üzerinde düşünme ve anlatım kolaylığı sağlamaktadır (Şenaraz, 2017:685).

#### **4.3.5. Modelin Doğrulanması**

Sistem dinamikleri modelleme yöntemi gerçek sistemin belirlenmiş dinamiklerinin ve ilişki mekanizmasının bütünsel olarak oluşturduğu sistemin temsilidir. Dolayısıyla kusursuz bir model yoktur. Ancak, bir modelin gerçek sistemi ne derecede yansıtılabildiği ve ilişkileri ne derece gerçeğe yakın olduğunu sınavabilmek, modelin doğrulanması açısından önem arz etmektedir. Çünkü doğrulanma model üzerinde güven oluşturmanın önemli bir parçasıdır. Modellerin doğrulanması için bir çok farklı yöntem kullanılabilmektedir. Bir çok araştırmacının modelin doğruluğunu gerçek sistemi temsil edebilme kabiliyetine bağlamasına rağmen; Sterman 1991 modellerin geçerliliğini ve fayda durumunu değerlendirmek bakımından bazı kriterler sunmuştur. Buna göre (Saysel ve Barlas, 2001:14):

- \*Modelin ele aldığı problemin açık anlaşılır ve uygunluğu.
- \*Model sınırlarının söz konusu problemi ele almasındaki yeterlilik düzeyi.
- \*Modelin (benzetimin) zaman boyutunun ele alınan problem açısından uygunluğu.
- \*Model davranışının uç değerler ve varsayımlar söz konusu olduğunda gerçekçi olması.
- \*Model sonuçlarının model varsayımları karşısında makul duyarlılıklar gösterebilmesi gerekir.

Sistem dinamiği yaklaşımında modelin gerçekliliğinin sınavabilmesi açısından model geçerliliğinin felsefik yönüyle beraber modelin doğrulanmasını sağlayan, mantıksal sırayı

açıklayan akış aşamaları vardır. Bu aşamalar; bu aşamaların her birinde kullanılmak üzere bazı geçerlilik testleri uygulanabilmektedir. Bunlar; yapısal testler, Yapı yönelimli davranış testleri ve davranış model testleridir. (Barlas, 1996). Burada;

**Birinci Adım:** Gerçek sistemin yapısı ile ilgili bilgiler ile modeldeki bilgiler karşılaştırılarak modelin yapısal olarak gerçekliği (doğrulanması) sınanmıştır. Yapı olarak gerçek sistem ile uyumu ölçülmektedir.

**İkinci Adım:** Modelin yapısal gerçekliği sağlandıktan sonra, modelin davranış olarak gerçek sistem ile davranış örüntüsü test edilmektedir. Davranışsal olarak gerçek sistemi temsil edebilme yeteneği ölçülmektedir.

Davranışsal ve yapısal uyum durumunun ölçülmesi açısından çok fazla sayıda matematiksel ve istatistiksel yöntem ile birlikte farklı yöntem çeşitleri uygulayan çalışmalar da mevcuttur. Bununla beraber Model doğrulama açısından yapılmış çalışma sayısı doyurucu düzeyde değildir. Çünkü; sistem dinamiklerinde doğrulama nitel ve nicel araçları içeren karmaşık bir süreçtir.

#### **4.3.6. Senaryoların Denenmesi ve Politika Önerileri**

Bu aşamada oluşturulan sistem dinamiği simülasyon modelinde; gerçek sistemin bir davranış kopyası oluşturulmuş olup, bu kopya üzerinden sistemi oluşturan öğeler ve davranışlarda değişiklikler yapılarak sistemin bütünsel davranışı ile parça davranışlarında yaşanabilecek değişiklikler simüle edilir. Böylece sistemi dinamiklerinin davranışını gözlemleyebilme fırsatı doğmaktadır.

Bu aşamada sistem çerçevesini oluşturan mantıksal çerçevenin dışına çıkılmadan senaryolar oluşturulup, bu senaryolar sonucunda elde edilen gözlemler ile farklı politika önerilerinde bulunabilme olanağı sağlamaktadır.

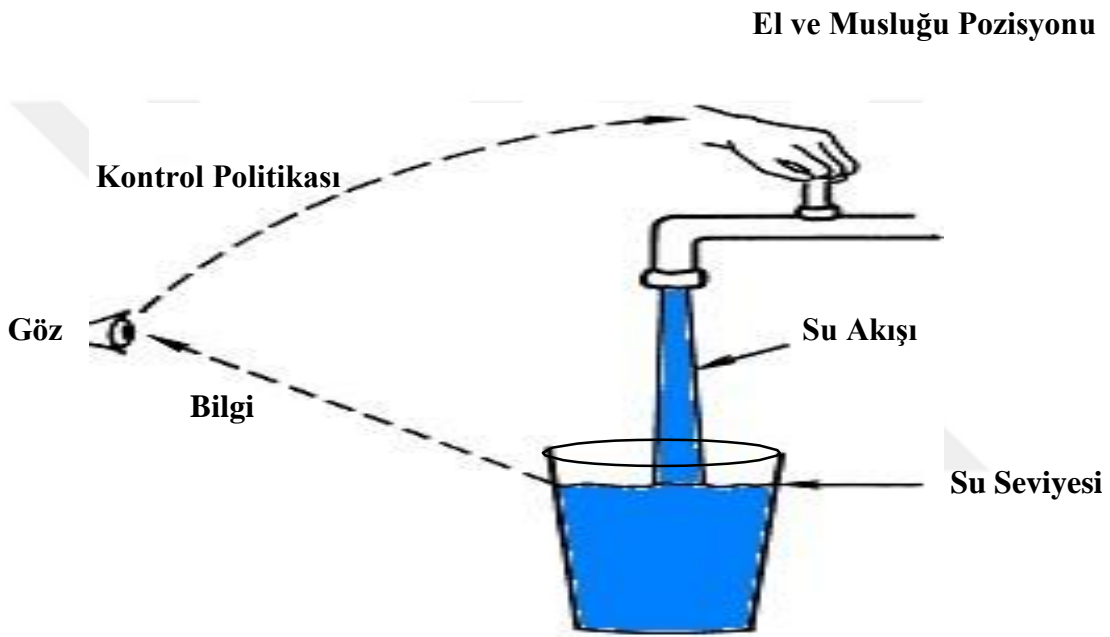
#### **4.4. Sistem Dinamiği Modelleme Araçları**

Bir sistemin modelini oluşturabilmek için farklı yollardan ve araçlardan istifade edilebilmektedir. Bu araçlar ölçübilme derecesine göre; düz yazı ile ifade edilen, neden sonuç diyagramı kullanılarak, stok-akış diyagramı ile denklemler ve sürekli simülasyon şeklinde sıralanmaktadır. Bu araçlar sistem dinamiği modeli oluşturmak için başvurulan araçlardır. Bu araçlar sistem dinamiği modellemesinin temel ilkelerini oluşturduğu gibi ve aynı zamanda benzetim modelinin sembolik dilini temellendirmektedir.

#### 4.4.1. Neden-Sonuç Diyagramları

Bir sistemde tüm ilişkilerin ve bütün döngülerin bir arada gösterilmesine neden- sonuç diyagramı denilmektedir. Sistemdeki neden sonuç ilişkilerini, bilgi geribildirim ilişkilerini kısacası sistemdeki tüm ilişkileri ve döngüleri resmedip, sorunun anlaşılmasını kolaylaştıran basit bir diyagramdır. Burada model yapısı ile gerçek sistem ilişkilerinin nitel karşılaştırmaları problemin kavramlaştırılmasında oldukça önemlidir.

Şekil 12. Bardağa Suyun Dolması Döngüsü

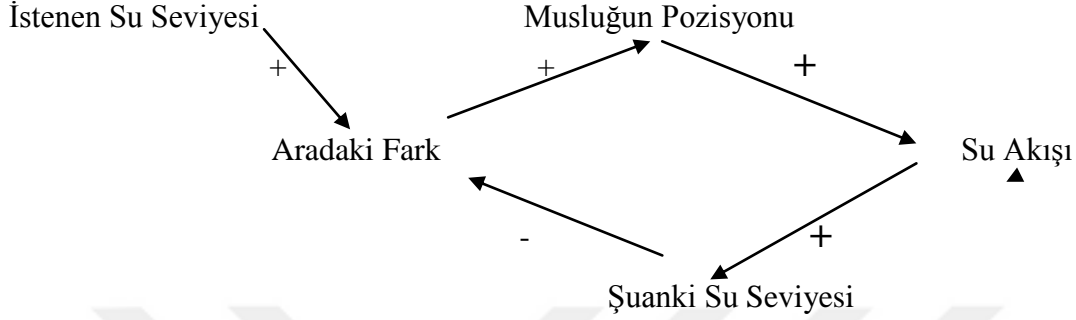


**Kaynak.** (<https://silo.tips/download/sstem-analz-sstem-analz-ve-tasarimi-prof-dr-brahim-il.20.08.2020>)

Şekil 12 ' de bardağın su ile dolması sistemini resm etmektedir. Buradaki sistem sadece bardağın su ile dolmasından ibaret değildir. Bardaktaki su miktarı seviyesine ilişkin bilgi akışı göze gelmekte, göz de gelen bilgi değerlendirilip elin su akışını kontrol etmesini bildirmektedir. Görüldüğü üzere asıl olan su seviyesinin kontrol edilmesidir. Bu kontrol musluktan su akması nedeniyle bardağın dolması sonucunu doğurmaktadır.

Neden-sonuç diyagramında sürekliliği sağlayan etken geribildirim döngüsüdür. Burada başlangıç nedeni birbirini takip eden nedenlerin oluşturduğu ilişki sayesinde sonuç durumu ortaya çıkmakta ve ortaya çıkan sonuç başlangıç nedeninin nedeni olmaktadır. Nihayetinde kendini etkileyen bir sonuç ortaya çıkmaktadır.

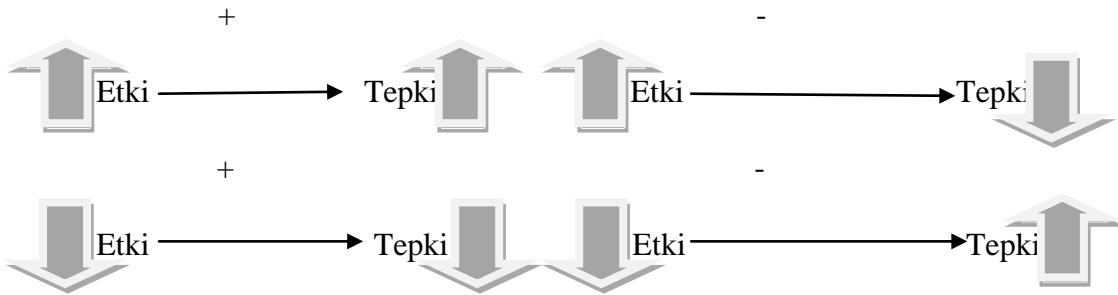
**Şekil 13.** Bardağa Suyun Dolum Döngüsü Diyagramı



**Kaynak.** (<https://silo.tips/download/sstem-analz-sstem-analz-ve-tasarimi-prof-dr-brahim-il.20.08.2020>)

#### 4.4.1.1. Nedensellik ve Döngü

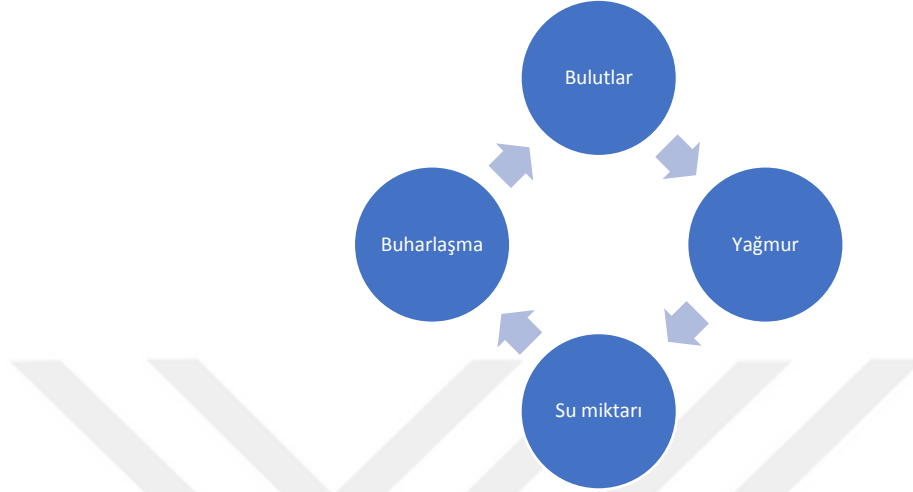
Nedensellik ve döngü neden-sonuç diyagramlarının temelini oluşturmaktadır. Nedensellik sebep ve sonuç ilişkisi üzerinde düşünmeyi esas alır. Tek bir faktördeki değişimi kabul eder, diğer faktörleri sabit kabul eder (ceteris paribus). Döngü sebep ve sonuç ilişkisindeki devamlılığı, döngüsel hareketi ifade eder Nedensellik; sistem dinamiğinde değişkenlerin oklar ile bir birine bağlanan nedensel etkinin ifade edilmesini sağlayan şekilsel ifadelerdir. Bu ifadeler yapılırken değişkenlerin bir birini etkileme yönünü de göstermektedir. Burada okun yönü ve aynı veya zıt yönlü etkileme durumuna göre şekilsel ifadeler sistemin anlaşılması için önemlidir.



Nedensel döngü diyagramında bir değişken kendinden önce gelen değişken ile aynı yönlü bir değişim içerisine giriyorsa bu iki değişkeni bir birine bağlayan okun işareti (+)

şeklinde gösterilir. Eğer iki değişken bir birine zıt yönlü bir değişim gösteriyorsa, yani biri artarken diğeri azalıyor yanai tersi bir durumda bu iki değişkeni bir birine bağlayan okun işareti (-) olarak gösterilir.

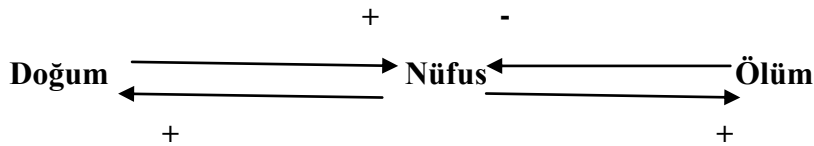
**Şekil 14.** Doğadaki Su Döngüsü



Tek yönlü nedensellik dinamik ilişkilerin modellenmesinde, dinamik süreçlerin açıklanmasında yetersiz kalmaktadır. Ayrıca sistemin devamlılığının sağlanması da sistem değişkenleri arasındaki neden-sonuç davranış ilişkisinin döngüsel bir şekilde olması esastır.



Nüfus nedensellik diyagramından da görüldüğü gibi doğum ile ölüm nüfus parametresini etkilemektedir. Yani nüfus doğum ile ölüm değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Nüfustaki değişimin yönü bu iki parametreden baskın olanın yönüne doğru bir değişim söz konusu olur. Şimdi ise modele geri bildirim ekleyelim.



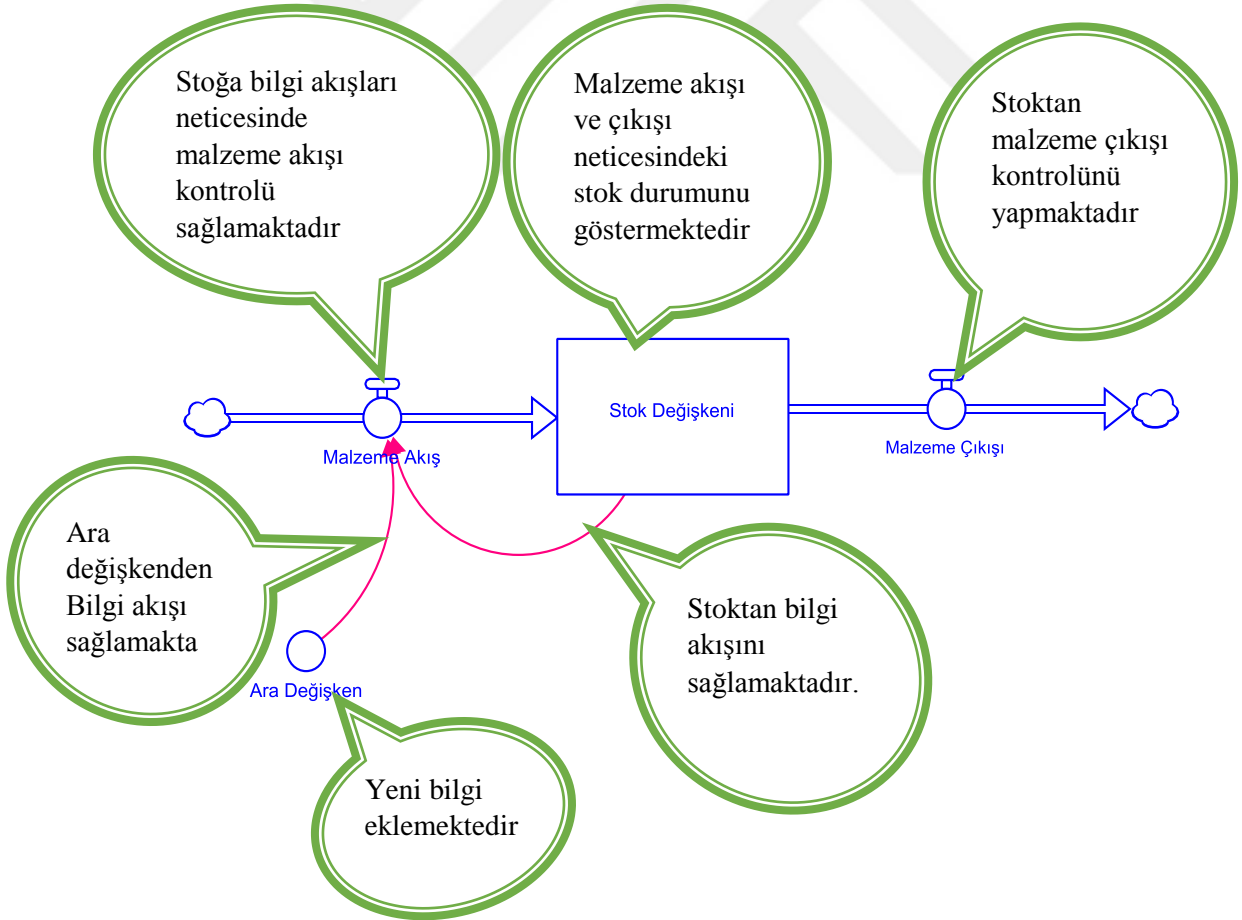
Burada nüfus miktarını doğum ve ölüm miktarları arasındaki fark belirlediği gibi, nüfus miktarı artıkça doğum miktarıda, ölüm miktarıda artacaktır. Doğumlar nüfusu artırdığı gibi nüfus artışı da doğumları artırmaktadır. Aynı mantıksal durum nüfus ve ölümler için de geçerlidir. Burada döngüsel olarak bir birini besleyen bir nedensellik vardır.

#### 4.4.2. Stok ve Akış Diyagramları

Stok ve akışlar yaşam içerisinde her daim karşılaşılabileceğimiz iki kavramdır. Daha önceki konu başlığında değinilen musluk ve kova örneğinde musluk suyun akışını ve kova da birikimi göstermektedir. Bu örnekte kovanın stok biriktirici ve musluğun suyun kovaya akışını sağlayıcı olduğu söylenebilir. Bu örnekte musluk, kontrolü sağlayan el, bilgiyi gözlemleyip değerlendirilmesini sağlayan göz, kova ve suyun musluğa gelişini sağlayan tüm öğelerin bir arada çalışmasıyla ortaya çıkmış bir sistemden bahsedilebilir.

Genel olarak değişkenlerin birbiriyle olan ilişkisi stok-akış diyagramını oluşturmaktadır. Stok ve akış diyagram ilişkisini fonksiyonel olarak  $f(\text{stok}, \text{akış}, \text{ara elemanlar})$  şeklinde ifade edebiliriz.

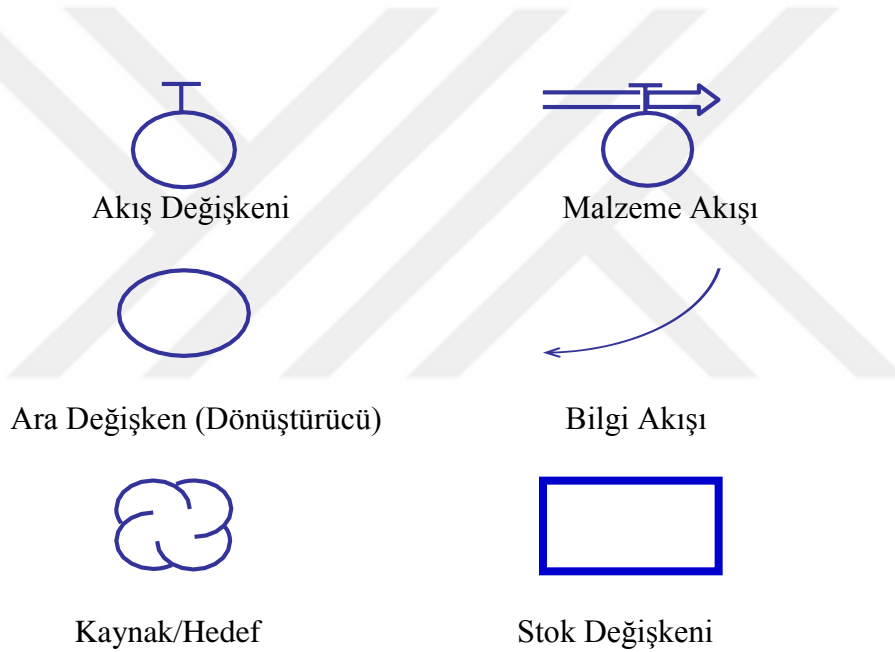
Şekil 15. Stok ve Akış Diyagramları



Şekil 15' te gösterilen stok ve akış diyagramında, stok malzeme akış ve malzeme çıkışı arasındaki farkın eklenmesiyle oluşmaktadır. Malzeme akışı ve malzeme çıkışı stoğa malzeme akışı ile malzeme çıkışını kontrol etmektedir. Bu akış ve çıkış hareketi stoğu değiştirmektedir.

#### 4.4.2.1. Stok ve Akış Diyagramının Temel Elemanları

Genel olarak stok ve akış diyagramları 'stoklar', 'akışlar' ve bunların dışında kalan değişkenler olarak 'ara değişkenler' den oluşmaktadır. Burada stok ve akışkanlar dışında kalan diğer değişkenler için genel olarak ara değişkenler tanımı kullanılmaktadır. Kendi içerisindeki çeşitlilik barındırmasına karşın, stok ve akış diyagramları beş temel elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar aşağıdaki şekiller ile gösterilip, isimlendirilmiştir.



Bu elemanların bir biriyle ilişkileri neticesinde oluşturdukları bütünsel sistem stok ve akış diyagramlarını oluşturmaktadır. Esas itibariyle stok ve akış diyagramlarını oluşturan elemanlar stoklar ve akışlardır. Stoklar sadece akışlar ve stokların içeriği ile değiştirilebilir. Ara değişkenler ise akışların detaylandırılmasıdır.

#### 4.4.2.2. Stok-Akış Denklemleri

Stoklar sistemin en önemli elemanı olarak kabul edilmektedir. Bunlar sistem içerisindeki birikimlerdir. Örneğin bir firmanın stok miktarı ile nihai ürünleri stokları olarak tanımlanabilirler. Bazen bu somut olarak tarif edilemese de bir birikimi temsil eden her türlü



$$x(t) = x(r+1) : \text{Sürecin bitiş anındaki stok.} \quad (3)$$

Başlangıç anındaki stok miktarı kullanıldığı takdirde;

$$x(t+1) = x(t) + f(t) \quad t = 0, 1, 2, 3 \quad (4)$$

Bitiş anındaki stok miktar denklemi kabul edilirse bu durumda;

$$x(t) = x(t-1) + f(t) \quad t = 1, 2, 3 \quad (5)$$

Bu denklem ile zamanın bir anı ile zaman aralığı birleştirilmiş olur.

Eğer  $f(t)$   $t = 1, 2, 3, \dots$  kesikli zaman olarak tanımlanırsa (4) denklemi fark denklemi olarak tanımlanır ve aşağıdaki gibi olur;

$$x(t) = x(0) + \sum_{i=0}^{t-1} f(i) \quad (6)$$

$$x(t) = x\left(t - \frac{1}{n}\right) + \frac{f\left(t - \frac{1}{n}\right)}{n} \quad (7)$$

$$= x(t - \Delta t) + f(t - \Delta t)\Delta t$$

$$\Delta t \rightarrow 0 \quad \text{için} \quad \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t) - x(t - \Delta t)}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

$$\frac{dx}{dt} = f(t) \quad (9)$$

Bu denklem diferansiyel denklemlerin tanımıdır. Daimi bir stok ve akış durumunda  $t$ 'deki stok miktarı bu diferansiyel denklemin çözümü ile bulunur.

$$dx = f(t)dt \quad (10)$$

$$x(t) = x(0) + \int_0^t f(u)du \quad (11)$$

Bu formül diferansiyel denklemlerin genel çözümünü vermektedir. Burada sürekli akışta integral işlemi kullanılmış olup, kesikli akışta ise toplam işlevi kullanılmıştır. Stoklar, akışların birikimi veya integralidir (Serman, 2000:194). Stok ve akışın matematiksel temsilini (matematiksel denklemlerini) aşağıda (12) ve (13) şeklinde gösterebiliriz:

*İntegral Denklemi:*

$$\text{Stok}(t) = \text{Stok}(t_0) + \int_{t_0}^t [(\text{İçer Akış}(s) - \text{Dışer Akış}(s))] ds \quad (12)$$

#### *Diferansiyel Denklemi:*

Diferansiyel denklemler değişkenlerin herhangi bir andaki değerinin bir önceki andaki değerine bağlı olarak türetilmesini sağlayan denklem sistemleridir. Bu denklem sistemlerinde anları dt zaman aralıkları temsil etmektedir.

$$\frac{d(Stok)}{dt} = \text{Stoktaki Net Değişim} = \text{İçe Akış}(t) - \text{Dışa Akış}(t) \quad (13)$$

Stoklar (birikimler) sistemlerin dinamik davranışının ortaya çıkmasını sağlar. Stok denklemleri (12) ve (13) sonlu fark denklemleriyle temsil edilmektedir. Burada denklem (13) sonlu fark denklemidir. Bu denklem çeşidini çözmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak tezimizin bir sonraki bölümünde (5. Bölüm) sistem dinamikleri yöntemiyle simülasyon uygulamak için faydalanılan STELLA bilgisayar tabanlı yazılım programı, diferansiyel denklemin çözümü için üç çözüm yöntemi sunmaktadır. Bunlar, Euler Yöntemi, İkinci Mertebeden Runge-Kutta Yöntemi ve Dördüncü Derece Runge- Kutta Yöntemidir.

#### *4.4.2.2.1. Euler Yöntemi*

Birinci dereceden bir problem olarak 13. Denklemi ele alalım.

$$\frac{d(Stok)}{dt} = \text{Stoktaki Net Değişim} = \text{İçe Akış}(t) - \text{Dışa Akış}(t) \text{ bu denklem sisteminde}$$
$$\text{stoktaki net değişim } \frac{d(Stok)}{dt} = \frac{dy}{dt} = y' = f(t,y), \quad y(t_0) = y_0 \quad (14)$$

Burada  $y'$  nin  $i'$  ye göre türevi alınarak  $f(t,y) = f_i$  denklem (14)' te yerine yazılırsa;  $y_i$  bulunur.  $f_i$  bilindiğinde yaklaşık integral denklemi şu şekilde olur;

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i = + \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(t, y) dt = (t_{i+1} - t_i) f_i \quad (15)$$

Bu denklem  $y_{i+1}$  için çözüldüğünde;

$$y_{i+1} = y_i + (t_{i+1} - t_i) f_i \quad (16)$$

Bu denklem (16) Euler denklemi olarak bilinmektedir.

#### *4.4.2.2.2. İkinci Mertebeden Runge-Kutta Yöntemi*

Burada denklem (14) kullanılacaktır. Runge-Kutta ileri entegral formülleri bir nokta belirlenerek türetilmektedir.

$$\bar{t}=t_i+ah, \quad \bar{y}= y_i+\beta h, (t_{i+1}-t_i) \quad (17)$$

Buradan,

$$\bar{\Delta}y_i = y_{i+1}- y_i = f(\bar{t}, \bar{y})h \quad (18)$$

Denklem (18)' deki artış; denklemdeki taylor serisindeki açılımın önceden belirlenmiş sayıda terimi aracılığıyla hesaplanan artışa eşittir.

$$\Delta y_i = y'_{i}h + y_i^n \frac{h^2}{2} + y_i^m \frac{h^3}{6} + \dots \quad (19)$$

bu denklemde artış ayarlanarak ikinci dereceden Runge-Kutte formülü elde edilir.

$$f(\bar{t}, \bar{y}) = f(t_i+ah, y_i+ \beta h) = y'_{i} + y_i^n \frac{h}{2} \dots \quad (20)$$

Buradan;

$$f(t_i+ah, y_i+ \beta h) = f_i + ahf_{t,i} + \beta hf_{y,i} \quad (21)$$

Denklem (14) denklem (21) olur.

$$y'_{i} + y_i^n \frac{h}{2} = \left[ f + \frac{h}{2} \frac{df}{dt} \right]_{t=t_i} \quad (22)$$

Burada  $f(t,y)$ ' de  $y'$  yerine  $y(t)$  ikame edilerek sadece  $t'$  nin bir fonksiyonu olarak düşünülürse  $f(t,y)$  fonksiyonunun  $t'$  ye göre türevi;

$$\frac{df(t,y)}{dt} = \frac{\delta f}{\delta t} + \frac{\delta f}{\delta y} \frac{dy}{dt} = f_t + f_y f, \quad (23)$$

Burada denklem (22) denklem (21) olarak ifade edilebilir.

$$y'_{i} + y_i^n \frac{h}{2} = f_i + \frac{h}{2} (f_t, i + f_y, i f_i) \quad (24)$$

Denklem (21) ile (24) denklem (20)' yi verir.

$$f_i + ahf_{t,i} + \beta hf_{y,i} = f_i + \frac{h}{2} (f_t, i + f_y, i f_i) \quad (25)$$

Buradan;

$$\alpha = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{2}f_i, \bar{t} = \frac{h}{2} + t, y = y_i + \frac{h}{2}f_i \quad (26)$$

$y_{i+1}$ ' in İkinci dereceden Runge-Kutte denklemi olarak değerlendirilebilmesi için aşağıdaki adımların takip edilmesi gerekir;

$$\Delta' y_i = hf_i = hf(t_i, y_i),$$

$$\bar{\Delta} y_i = hf\left(\bar{t}, \bar{y}\right) = hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \Delta' y_i\right)$$

$$y_{i+1} = y_i + hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \Delta' y_i\right)$$

Üçüncü Dereceden Runge-Kutte Denklemi olarak adlandırılır.

#### 4.4.2.2.3. Dördüncü Derece Runge-Kutte Yöntemi

Dördüncü dereceden Runge-Kutte Denklemi elde etmek için aşağıdaki aradışık işlemler takip edilmelidir;

$$\Delta' y_i = hf(t_i, y_i),$$

$$\Delta'' y_i = hf\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2} \Delta' y_i\right)$$

$$\Delta''' y_i = hf\left(t_i + h, y_i + 2\Delta'' y_i - \Delta' y_i\right)$$

$$\bar{\Delta} y_i = \frac{1}{6}(\Delta' y_i + 4\Delta'' y_i + \Delta''' y_i)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(\Delta' y_i + 4\Delta'' y_i + \Delta''' y_i)$$

Bu denklem Dördüncü Dereceden Runge-Kutte Denklemi olarak tanımlanmakta olup,  $h^5$  derecesinde kesme hatasına sahiptir. Euler Denklemi  $h^2$  ve İkinci Dereceden Runge-Kutte  $h^3$  dereceden kesme hatasına sahip olduğu için tahminlerde daha çok Dördüncü Dereceden Runge Kutte yöntemi önerilmektedir (Bala et al., 2014:60-62).

#### 4.4.2.3. Stokların Sınıflandırılması

Stoklar birikimlerdir. Sistemin durumunu karakterize eder, karar vermeyi ve bu kararın fiiliyata geçmesini sağlayan bilgileri sağlamaktadır (Söyler, 2006:31). Stoklar genel olarak sistemi oluşturan temel birimlerdir. Sistem stoklar etrafında ve stoklar ile olan bağlantı ilişkisi ekseninde oluşmaktadır.

Sistem çeşitliliği ve ve bu sisitemlerdeki davranış çeşitliliği beraberinde sistemin temel yapı taşlarından olan stok değişkenlerinin çeşitliliğini gerektirmektedir. Daha açık bir ifade ile farklı birikim çeşitleri mevcuttur. Stokları aşağıdaki şekilde sınıflandırabiliriz (Yamaguchi, 2013:24):

- \*Doğal stoklar (Su miktarı, nüfus, biyolik çeşitlilik miktarı...)
- \* Sermaye stokları(Üretim amaçlı kullanılan her türlü araç, makine ve cihazlar)
- \*Süreç ve Kullanımdaki Stoklar (Ara ürün miktarı)
- \*Enformasyon Stokları (fiziksel olmayan stoklardır. Bilgi, tecrübe, kitap, arşiv gibi)
- \*Psikolojik Tutku Stokları (beş duyu organları ile hissedilemeyen insandaki aşk, sevgi, mutluluk, üzüntü gibi birikimli stoklar)
- \*Endekslenmiş Rakam Stokları (fiyat birikimleri, ısı birikimleri gibi)

#### ***4.4.2.4. Akışların Sınıflandırılması***

Sistemin temel birimini oluşturan stokları anlamlandıran diğer bir yapı ise akışlardır. Bir akışın veya azalmanın olması durumunda bir birikimden (Stok) bahsedilebilir. Akışlar da stok çeşidine göre stoku besleyen yada azaltan değişkenlerdir. Sistem dinamiklerinin kurucusu kabul edilen Forrester (1961) akış değişkenlerini altı sınıfta açıklamıştır: bilgi akışı, malzeme akışı, iş gücü akışı, sermaye akışı, sipariş akışı, para akışı.

Bir sistemde akış çeşidini belirleyen ana unsur akışın bağlı olduğu stok çeşididir. Akış çeşidi belirlenen stok çeşidi ile uyumlu olmak zorundadır.

#### ***4.4.2.5. Dönüştürücüler***

Modelin yardımcı öğeler görevini üstlenmektedirler. Matematiksel işlemler ve formüller ile modeldeki bağlatıyı sağlarlar. Model içerisindeki ilişkileri bu sayede sağlamakta olup, girdileri çıktılara dönüştürerek, modeldeki önemli işlemlerin dönüştürülmesini sağlarlar (Mermer, 2018:31). Bunlar modelde işlem gören bilgilerin fiziksel mekanlarıdır. Bünyelerinde sakladıkları bilgiler ve matematiksel işlemler ile oluşturdukları ilişki ağıyla adeta modelin ruhunu oluşturmaktadırlar.

#### **4.4.2.6. Bağlayıcılar**

Modeldeki değişkenleri bir network ağı gibi bir birine bağlayarak, bilgi ve malzeme akışını sağlamaktadır. Değişkenler arasındaki etkileşimi ve bu etkileşimin yönünü göstermektedirler. Modeldeki tüm bağlantıları sağlayan öğedir.

#### **4.4.3. Denklemler ve Sürekli Simülasyon**

Sistem dinamiği simülasyon modeli kurulup, modelin sınırları ve bu sınırlar içerisindeki değişkenlerin birbirini nasıl etkilediklerine dair iç ilişkiler diferansiyel denklemler sayesinde belirlenmektedir. Diferansiyel denklemler sistem içerisindeki şuan ki durumun, bir sonraki durumu etkilemesine dayanmaktadır. Bu denklemler herhangi bir andaki durumun bir önceki duruma bağlı olarak türetilmesini sağlayan eşitsizlikler kümesidir(Kalkan, 2000:45).

Sistem içerisindeki şuan ki adımın bir sonraki adımı tayin etmesi durumu, bir birine bir birini takip eden süreçlerin varlığını göstermektedir. Bir önceki duruma bağlı olarak türetilen yeni durumlar eşit ve kısa zaman aralıkları ile birbirini takip etmektedir. Sistemdeki bu yeni durumun belirlenebilmesi için eşitlikler periyodik olarak hesaplanmaktadır. Diferansiyel denklemler ile yapılan bu hesaplamalar 'dt' uzunluğunda bir süre için hesaplanmaktadır(Kalkan, 2000:46). Burada 'dt' işlemin zaman değişkenine göre yapıldığını göstermektedir. Sistem dinamiklerinde belli bir zaman periyodunda her bir adımın bir sonraki adımı tayin ettiği bir birine bağlı olarak takip eden durumlar simüle edilmektedir. Bu zaman kısıtlaması konulmadığı sürece; her bir zamandaki durumun bir sonraki zamandaki durumu tayin ettiği bir birini takip eden sürekli bir simülasyon ortaya çıkarmaktadır.

#### **4.5. Sistem Dinamiğinde Kullanılan Simülasyon Yazılımlar**

Sistem dinamikleri simülasyon yaklaşımı mühendislik, fen bilimleri ve sosyal bilimler gibi farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Gerçek bir simülasyon oluşturmanın yüksek maliyeti ve zorluğu bu yaklaşımın popülaritesinin artmasına neden olmuştur. Bu popülarite ile beraber bilişim dünyasında yaşanan gelişmeler ile birlikte farklı disiplinlerde uygulanma örneklerini çoğaltmıştır.

Sistem dinamiğinin farklı disiplinlerde kullanımı bu alandaki talep artışı ile beraber bilimsel olarak sistem dinamiğinde farklı bilgisayar tabanlı yazılımların artmasına neden olmuştur.

#### **4.5.1. Powersim**

Yükseköğretimde kalitenin artırılması amacıyla Norveç hükümetinin desteğiyle yapılan çalışmaların neticesinde elde edilen bulgular ışığında powesimin ilk versiyonu ortaya çıkmıştır. Yazılım sürekli geliştirilerek günümüzde akış temeline dayanan birden fazla modeli birleştirebilen bir modelleme aracı olarak karşımıza çıkmıştır.

#### **4.5.2. Dynamo Plus**

Sonlu fark denklemleriyle anlatılabilen sistemin çalıştırılması amacıyla MIT’ oluşturulmuştur. Sistem dinamikleri çalışmalarının başladığı yıllarda geliştirilen bir yazılımdır. Bu yönüyle sistem dinamiğinde kullanılan simülasyon yazılımlarının öncüsüdür. Sistem içerisindeki süreçlerin ilişkilerini anlatan model değişkenlerinin yapısal düzeylerinden oluşmaktadır.

#### **4.5.3. Extend**

Kesikli ve devamlı simülasyon yapılabilen, animasyonlarla zenginleştirilmiş grafiksel modellemeyi içeren güçlü ve esnek bir simülasyon modelidir.

#### **4.5.4. Vensim**

İlk başlarda uzmanlık alanlarında kullanılan modelin daha sonra ticari versiyonları geliştirilmiştir. Vensimde modelleme nedensel döngü diyagramlarının oluşturulmasıyla başlamaktadır.

#### **4.5.5. Stella/İthink**

Stella grafik bağlantılı bir yazılımdır. İthink ile aynı firma tarafından geliştirilmiştir. Ancak Stella eğitimde karşılaşılan sorunların çözümünde kullanılırken, İthink iş çözümlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Kullanım kolaylığı ve güçlü bir yazılım alt yapısı nedeniyle tercih edilmektedir. Stok ve akış diyagramlarının çizilmesine ve denklemlerin daha sonra girilmesine olanak sağlayarak sistemin çalıştırılmadan önce taslağının çıkarılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde sorunlara kafamızda oluşturduğumuz çözüm yollarını uygulamak için tasarladığımız modelin uygunluğunu tartmamızı, ön değerlendirmede bulunmamızı sağlayabilmektedir. Duruma göre daha fazla detay eklenebilir ve bileşenler alt modeller için gruplandırılabilir. Anlık olarak oluşturulan modeldeki değişkenler eklenebilir veya çıkarılabilir. Ayrıca yazılım bünyesinde oluşturulan model optimize ve kalibre edilebilmektedir. Senaryo oluşturmada ve uygulamada kolaylık sağlama ve görsellik

açısından arayüz oluşturma olanağı sağlamaktadır. Son çıkan versiyonlarında video ekleme özellikleri de barındırmaktadır.



## BEŞİNCİ BÖLÜM

### TÜRKİYE, BİYOENERJİ-GIDA GÜVENLİĞİ-ENERJİ GÜVENLİĞİ-ÇEVRE-NÜFUS MODELİ: SİSTEM DİNAMİĞİ YÖNTEMİ İLE SİMÜLASYONU

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimler ile enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre arasındaki ilişkilerin konu edildiği daha önce yapılmış olan çalışmalara yer verilecektir. Bu literatür taramasının ardından; uygulamada kullanılan veri seti ve dördüncü bölümde ayrıntılı olarak bahsedilen sistem dinamikleri simülasyon yöntemi için kullanılan Stella yazılım programından bahsedilecektir. Akabinde Türkiye' nin biyoenerji-enerji güvenliği-gıda güvenliği-çevre-nüfus, sistem dinamiği simülasyon modeli oluşturulacaktır. Son olarak oluşturulan simülasyon modeli üzerinden 2021 yılından 2050 yılına kadar olan zaman periyodunu kapsayacak şekilde altı senaryo denemesi yapılacak ve bu senaryoların karşılaştırılması sonucunda elde edilen veriler ışığında Türkiye için en uygun senaryo belirlenerek politika önerilerinde bulunulacaktır.

#### 5.1. Literatür Taraması

Biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimlerin gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre üzerindeki etkileri üzerine hem ülkemizde hem de dünya genelinde yapılmış olan bir çok çalışma mevcuttur. Ancak bu çalışmalardan çok azı; biyoenerji kaynak kullanımındaki değişmelerin hem çevre, hem gıda güvenliği hem de enerji güvenliğini bir arada düşünerek yapılmıştır. Genel olarak biyoenerji-gıda güvenliği, biyoenerji-enerji güvenliği, biyoenerji-çevre, biyoenerji-kırsal kalkınma arasındaki ilişki parçalar halinde incelenmiştir. Bu nedenle literatür taraması yapılırken biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimlerin, gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre üzerindeki etkisini bir bütün olarak konu edinen çalışmalara yer verildiği gibi gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre üzerindeki etkisini ayrı ayrı inceleyen çalışmalara da literatürde yer verilmiştir.

Karp ve Richter (2011) çalışmalarında; biyoenerji için tarımsal ürün yetiştiriciliğinin gıda yetiştiriciliğini olumsuz etkileyeceğinin yanında, artan enerji kullanımına rağmen biyoenerji kullanımı ile ilgili sadece enerji ve gıda sorununa yoğunlaşmak biyoenerjinin gerçek etkisini anlamak için yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Toprak ve su kaynaklarının kısıtlı olduğu, enerji ve gıda talebinin her geçen gün artış gösterdiği ve diğer enerji kaynaklarının çevreyi olumsuz etkilediği bir durumda, alternatif olarak sürdürülebilir biyoenerji politikaları nasıl olmalıdır. Bunun için biyoenerji amaçlı tarımsal üretim faaliyetlerinde verim artırıcı çalışmalar yoğunlaştırılmalı, toprak planlama çalışmaları yapılarak gıda üretimi için alanlar

belirlenerek bu alanlarda enerji amaçlı mahsül üretimi kısıtlanmalı aynı şekilde enerji amaçlı üretim alanları belirlenmelidir. Bunun yanında sürdürülebilir bir biyoenerji politikalarının devamlılığı sera gazı salınım azalmasına ve enerji-gıda arasındaki yapılacak tercihteki etkinlik düzeyine bağlanması gerektiği belirtilmiştir (Karp and Richter, 2011:3262).

J. Popp ve diğerleri (2014) fosil yakıtların artan kullanımına bağlı olarak çevre üzerinde oluşturduğu olumsuz etkilerinin artması nedeniyle oluşan bu etkinin azaltılması amacıyla biyoenerji talebi üzerinde bir artışa neden olacağını belirtmişlerdir. Bu talep artışı arazi kullanımında bir artışa neden olacaktır. Bu durum da gıda ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olacaktır. Sonuç olarak sürdürülebilir bir biyoenerji politikası açısından, enerji, gıda arzı ve enflasyonu, arazi kullanımı, su yönetimi ve çevre için entegre bir politikaya ihtiyaç olduğu sonucuna varmışlar (Popp et al., 2014:559).

Vassilis Daioglous ve diğerleri (2020) bu çalışmada İklim değişikliğini azaltma senaryolarında farklı entegre değerlendirme modelleri için öngörülen ve uluslar arası biyoenerji ticaretini araştırmak için yapılan 33. Enerji Modelleme Forumu (EMF33) çalışmasının sonuçları kullanılmıştır. Buna göre katı iklim politikası hedefleri ile enerji kullanımı azaltılabileceği ve daha zayıf politikalara göre de daha fazla biyoenerji ticareti anlamına gelmemektedir. Modeller arasında 2 °C hedefini yakalamaya dönük oluşturulan senaryoya göre toplam biyoenerji tüketiminin 2050 yılına kadar kömür ve doğalgaz tüketimini geçeceği ancak petrol tüketiminin altında kalacağı öngörülmüştür. Biyoenerji ticaretindeki bu artışın tükenmeye yakın olan fosil yakıtların yerini alması muhtemeldir. Bununla birlikte biyoenerji ticaretindeki bu hızlı artışın katı iklim senaryolarına göre altyapı, lojistik, finansman seçenekleri ve biyoenerji üretimi ve ticareti için küresel standartlar sorunlarının çıkacağı öngörülmektedir (Daioglou et al., 2020:1).

Belun V. S. ve diğerleri (2008) et al bu çalışmada biyoenerjinin çiftçi gelirlerinin artırılmasında, çevre kirliliğinin azaltılmasında, ürün çeşitliliği, gıda üretimi, yem üretimi sağlanmasındaki etkisi üzerinde durulmuştur. Bu faktörlerden ödün vermeden gelişmiş ülkelerde biyoenerji hammadde üretiminin sağlanması için gerekli olan araştırma ve geliştirme ile biyoenerji potansiyeli üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak Fosil yakıtların artan fiyatları, jeopolitik sorunlar ve fosil yakıt kullanımıyla bağlantılı çevre kirliliği, biyoyakıtların üretimine ve kullanımına dünya çapında ilgi gösterilmesine yol açmıştır. Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler, biyoyakıt bitki araştırma ve geliştirme ile biyoyakıt üretimine kamu ve özel yatırımları tetikleyen bitkilerden yanıcı yakıt üretimini teşvik etmek için bir dizi politika geliştirmiştir (Belum et al, 2008:248).

Glaucias Mendez Souza ve diğeri (2017) dünyada biyoenerjinin iklim değişikliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmada; BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında sürdürülebilir biyoenerji politikalarının bu hedefleri yakalamadaki rolü üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmalar neticesinde biyoenerji politikalarının arazi rekabetine yol açmayacak şekilde düzenlemeler yapılabileceği öngörülmektedir. Fosil yakıtlar, yoğun gıda üretimi ve kentleşme ile ilgili çevresel sorunların dengeleyebileceğine dönük kanıtlar mevcuttur. Bunun için arazi rekabetine yol açmamak için peyzaj üretim alanları kısıtlaması faydalı bir öneri olarak sunulabilmektedir. Bunun yanında biyoenerji ile gıda güvenliği arasındaki dengenin sağlanması, teknolojik yatırımlar, kırsal yayılma, inovasyon, kapasite ve alt yapı inşa eden projeler, kırsal kesimi teşvik etmek için fiyat istikrarının sağlanması ile gıda ve enerji üretimi için esnek ve çift mahsul ve esnek mahsüllerin kullanımı fayda sağlayacaktır. Fosil yakıtlara kıyasla biyoenerjinin birçok olumlu çevresel faydası da vardır. Arazi kullanımı değişikliği ve tarımsal yoğunlaşmanın neden olduğu potansiyel olumsuz etkiler, agroekolojik imar, en iyi yönetim uygulamaları, ekohidroloji kullanımı ile arazi, havza ve peyzaj ölçeklerinde biyoçeşitlilik dostu uygulamalar ile bu olumsuz etkiler hafifletilebilir (Souza et al., 2017:2-3).

Yipin Wu ve diğeri (2018) çalışmasında; derleme ve yayımlanan verilere dayanarak Çin’ de biyoenerji üretiminin çevre üzerindeki etkilerini özetlemektedir. Bu itibarla Konvansiyonel fosil yakıtla karşılaştırıldığında, biyoenerji, yenilenebilirliği ve büyük miktarı nedeniyle bariz avantajlara sahiptir. Bu nedenle enerji güvenliğinin korunmasına yardımcı olmada çok önemli bir rol oynar. Bununla birlikte yapılan analizler sonucunda; biyoenerji gelişimi potansiyel olarak belirsizliğini koruyan ciddi çevresel değişikliklere neden olabilir. biyoenerjinin gelişmesiyle çevrenin korunmasına giderek daha fazla dikkat edildiğini ve biyoenerji üretimini etkileyen terimler arasında su sorunlarının (yani su miktarı ve kalitesi) en büyük endişeyi kazandığını, en az ilginin ise en az toprak erozyonuna verildiğini göstermektedir. Biyoenerji üretiminin, su miktarı ve kalitesi, sera gazı emisyonları, biyoçeşitlilik ve toprak organik karbonu ve toprak erozyonu açısından çevre üzerinde gerçekten olumsuz etkiler yaratabileceğini kabul etmemize rağmen, olumsuz etkiler biyokütle türlerine, arazi konumlarına, ve yönetim uygulamaları. Makul ekim yerlerinin, uygun biyoenerji mahsul türlerinin ve optimal yönetim uygulamalarının belirlenmesi, çevre ve biyoenerjinin sürdürülebilir gelişimi için faydalı olabilir (Yiping Wu vd., 2018:2).

James C. Ogonna ve diğeri (2013) yayınladıkları makale ile gıda güvenliği ile enerji güvenliği dengesini Afrika ülkeleri örneğinde ve biyoenerji etki düzeyi ile

incelemişlerdir. Yapılan çalışma ile, Afrika ülkelerinde kişi başına düşen enerji tüketiminin Amerika'dakinin %10' unun altında olduğu tespit edilmiştir. Yine açlığın ve yetersiz beslenmenin olduğu 23 ülkenin 18' i de yine Afrika kıtasında bulunmaktadır. Bunun yanında kırsalda küçük çiftliklerde tarımsal üretimler yapılmaktadır. Bunu ile ilgili düzgün bir istatistiki veri bulunmamaktadır. Sahra altı Afrika ülkeleri, iklim koşulları birçok enerji ürününün üretimini desteklediğinden, farklı biyoenerji formlarının üretimi için çok yüksek potansiyele sahiptir. Özellikle de akut gıda kıtlığının yüksek olduğu Afrika'da büyük soru her zaman gıda bitkilerinden biyoenerji üretilip üretilmeyeceği olmuştur,. Büyük ölçekli biyoenerji üretimi, toprak, emek ve diğer tarımsal girdiler için gıda ürünleriyle rekabete yol açabilir. Bununla birlikte, çeşitli kaynaklardan elde edilen veriler, Afrika'nın enerji bitkilerinin seri üretimi için etkin bir şekilde kullanılabilir bol ve az kullanılan ekilebilir araziye sahip olduğunu göstermektedir. Afrika'da biyoenerji üretiminin faydaları, gıda güvenliği üzerindeki olası olumsuz etkilerden daha ağır basmaktadır. Biyoenerji üretimi, mahsul için talep yaratacak ve ürün fiyatlarını dengeleyecek ve böylece çiftçilerin kazancını artıracaktır. Bu da ekonomik, yenilenebilir ve temiz enerji sağlanması yoluyla ekonominin diğer sektörlerinde sanayileşmeyi kolaylaştıracaktır. Sonuç olarak; biyoenerji üretiminin gıda güvenliği üzerindeki olası olumsuz etkilerini en aza indirmek için enerji bitkisi üretimi için arazi tahsisi düzenlenebilir. Enerji güvenliği gıda güvenliğinden ayrı tutulamaz ve bu ikisi rakip değil tamamlayıcı olarak görülmelidir (Ogbonna et al, 2013:7147).

Saheed Matemilola ve diğerleri (2019) yaptıkları çalışma ile Nijerya' daki biyoenerji potansiyelindeki gelişmenin gıda güvenliği üzerindeki etkisini incelemişler. Esas olarak keşif yaklaşımına dayanan bu çalışma, Nijerya'nın biyoenerji potansiyelini ve hızla yükselen pazarın Nijerya bağlamında gıda güvenliği üzerindeki etkilerini analiz etmektedir. Fosil yakıtlar ekonomi açısından en uygun kaynaklar olmasına rağmen çevre üzerinde devasa ve telafisi zor etkiler bırakmaktadır. Bu nedenle, biyoenerjiyi geliştirme, enerji güvenliği ve temiz enerji arayışına yanıt olarak her kesimden muazzam destek almaktadır. Bununla birlikte, biyoenerjinin hızlı gelişme hızı, bazı bilim adamlarının özellikle küresel dünya ve güneydeki ülkeler için bir felaket olduğunu düşündüğü gıda güvenliği ile olan bağıyla ilgili endişeleri de artırmaktadır. Ekvator boyunca birinci sınıf konumu ve yıl boyunca genel olarak elverişli iklim koşulları nedeniyle, Nijerya'nın biyoenerji gelişimi için muazzam bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Ancak Nijerya, Uluslararası Gıda Politikası Araştırma Enstitüsü'nün (IFPRI) 2018 Küresel Açlık Endeksi'nde (GHI) de üst sıralarda yer alıyor. Biyoenerji geliştirme etkileri gıda güvenliğinin dört boyutu bağlamında analiz

edilirken, gıda mahsulü-biyooenerji değiş tokuşu üzerine kritik bir araştırma yapıldı. Son olarak, biyooenerji geliştirme etkilerine yönelik hafifletici önlemler tartışıldı ve Nijerya'da biyooenerji üretimi için ikinci ve üçüncü nesil teknolojilerin güçlendirilmesi için önemli bir öneriye ihtiyaç olduğu ileri sürülmektedir (Matemilola et all, 2013:64).

Joy Glancy ve diğerleri (2014) yayınladıkları makalede, gıda güvenliği ile ilgili olarak biyooenerjilere şeytanlaştırılmasını incelemekte ve biyooenerjilere yönelik olumsuzluğun haklı olup olmadığını değerlendirmektedir. İlk olarak, biyooenerjilerin ortaya çıkmasından çok önce bir endişe kaynağı olan gıda güvenliği kavramı incelenmiştir. Gıda-biyooenerji çatışmalarını önlemek için, Biyooenerji ve Gıda Güvenliği (BEFS) projesinin bir parçası olarak Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), biyooenerji geliştirme potansiyelini değerlendirirken bir değerlendirme metodolojisi geliştirmiştir. Makale, Hızlı Değerlendirme Aracının Bolivya ve Tayvan bağlamında uygulanmasından elde edilen ilk sonuçları sunmaktadır. Bu sonuçlar düşünöldüğünde biyooenerji gerçekten de gıda güvenliğini etkileyen faktörlerden sadece biridir. Biyooenerji ile ilgili, yalnızca gıda güvenliğiyle ilgili olmayan, örneğin istihdam koşulları ve biyooenerjiyle mahsulleri büyük tarlalarda yetiştirildiğinde kırsal kesimdeki insanların yerinden edilmesi gibi bir takım gerçek endişelerin olduğunun görölmektedir. Bununla birlikte, bunun biyooenerjiyle özel olarak bağlantılı bir şey olmadığını, ekonomik kalkınmayla ilgili daha genel konuların olduğunu vurgulanmaktadır. Şu anda ticari mahsul üretmeyen topraklar, özellikle topraksızlar olmak üzere kırsal kesimdeki yoksullar için bir besin kaynağıdır. Küçük toprak sahipleri tarafından yetiştirilen biyooenerji ayrıca gelir getirici fırsatlar da sağlar, bu nedenle biyooenerji değer zincirlerine dahil olma koşullarının özellikle herhangi bir geliri gıdaya harcama olasılığı daha yüksek olan kadınlar için uygun olması koşuluyla, biyooenerji gıda güvenliğine yönelik çözümün bir parçası haline geleceği ileri sürölmektedir (Clancy et all, 2014:1).

Ujjayant Chakravorty, Marie-Helene Hubert ve Linda Nostbakken (2009) ulaşımda fosil yakıt kullanımının azaltılması için birçok ülkenin biyooenerjiyi teşvik ettiği ve bu durumun kıt arazinin ne kadarının gıda üretiminden enerji amaçlı üretime tahsis edileceğine ilişkin ölçünün ne olacağına ilişkin literatüre eleştirisel bir bakış açısıyla yaklaşmaktadır. Biyoyakıt üretimindeki artışın gıda fiyatları üzerinde ve dünyanın belirli bölgelerinde arazi dönüşümü yoluyla ormansızlaşmayı hızlandırmada önemli bir etkisi olabileceğini tespit edilmiştir. Bununla birlikte, daha az arazi yoğun olan yeni nesil biyoyakıt teknolojilerinin yanı sıra çevre düzenlemesi ve ticaret politikalarının arazi kullanım kalıpları üzerindeki

etkisini incelemek için daha fazla araştırma yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Chakravorty et all, 2009:645).

E. Emre Hatunoğlu (2010) yaptığı çalışmada; biyoyakıt politikalarının tarım sektörüne olası etkilerini gıda güvencesi, tarımsal çevre, çiftçi gelirleri ve kırsal kalkınma açısından incelemiştir. Yoğun biyoenerji kullanımının gıda güvencesini farklı boyutlarda etkilediğini tespit etmiştir. Bununla beraber biyoenerji üretimi için artan hammadde taleplerinin bir sonucu olarak; sera gazı salınımları, toprak erozyonu ve kirliliği, su kullanımı ve biyoçeşitlilik açısından da tarımsal çevrenin olumsuz olarak etkileneceği ileri sürülmüştür. Ayrıca biyoenerji üretimi için gerekli alt yapının tamamlanmasına rağmen, üretim ve satış rakamlarına olumlu bir yansımının olmadığı görülmüştür. Bunun yanında farklı olarak, biyoyakıtların tarım sektörünün istihdam kapasitesinin büyümesine, çiftçi gelirlerinin artırılmasına ve kırsal kalkınmanın sağlanmasına açık biçimde olumlu etkilerinin bulunduğu ortaya konulmuştur. Sonuç olarak; mevcut kapasite ile üretim miktarı arasındaki fark düşünüldüğünde etkili bir teşvik sisteminin oluşturulması gerektiği kanaatine varılmıştır (Hatunoğlu, 2010).

Selim Çağatay ve diğerleri (2010) çalışmalarında; Türkiye için ampirik modellerin çeşitli senaryo varsayımları altında alternatif biyoenerji politikaları oluşturmak istemişlerdir. Bu nedenle çalışmada iki ampirik model kullanılmıştır. Birinci model çok ülkeli ve çok ürünlü bir kısmi denge tarım ticaret modelidir. İkinci model ise Türkiye tarım sektörü odaklı, çok ürünlü ekonometrik bir modeldir. Sonuç olarak; Türkiye'nin mevcut ürün çeşidini çok fazla değiştirmedeği varsayımı altında simüle edilen politikalar biyo-yakıt üretiminin daha fazla ayçiçeği ve pancar kullanımı ile gerçekleşebileceğini göstermektedir. Aynı koşullarda özellikle soya ve kolza gibi potansiyel görülen yağlı tohumlarda biyo-yakıtı yönelik üretimin gerçekleşmeyeceği, bunun sağlanması için mutlaka bu iki ürüne yönelik politikalar uygulanması gerektiği sonucuna ulaşımlardır (Çağatay vd., 2012).

Kamila Vávrováa, Jaroslav Knápek ve Jan Wegera (2014) ulusal gıda güvenliği stratejilerini temsil eden farklı tarımsal arazi kullanımı senaryoları altında Çek Cumhuriyetinin biyokütle potansiyeli modellemesinin sonuçlarını sundukları çalışmalarında; Tarım arazilerinin değerlendirilmesi, tarım arazilerinin fiili kullanım haritaları, yıllık gıda mahsullerinin verimleri ve ampirik alan verilerinden elde edilen çok yıllık enerji mahsullerinin verim eğrilerini içeren yüksek çözünürlüklü mekansal veriler (CBS) kullanılmıştır. Kullanılan biyokütle kaynakları, geleneksel tarım ürünlerinden ve çok yıllık enerji ürünlerinden elde edilen lignoselüloz biyokütlesidir. Biyokütle potansiyeli, çeşitli

sınırlamaları göz önünde bulundurularak orijinal yöntemler ve algoritmalar kullanılarak modellenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre; Mevcut biyokütle potansiyeli, gıda güvenliği senaryolarına göre daha az verimli arazilere enerji bitkilerinin tahsis edilmesiyle önemli ölçüde artırılabilir. Modelleme ayrıca biyokütle potansiyelinin enerji bitkileri için tahsis edilen araziye doğrusal olmayan bir şekilde bağlı olduğunu da göstermiştir. Biyokütle üretimi için tahsis edilen (mevcut) tarım arazilerinin toprak ve iklim koşulları ve yeni enerji ürünlerine uygunluğu, tarım arazilerinden gelecek biyokütle potansiyelinin tanımlanmasında belirleyici rol oynamaktadır. Modellemenin pratik çıktıları, biyoenerjinin sürdürülebilir gelişiminin planlanması için kullanılabilir, Çek Cumhuriyeti bölgeleri için farklı gıda güvenliği senaryoları altında biyokütle potansiyelinin veritabanlarının yanı sıra bireysel ve karma biyokütle kaynaklarının verim haritalarıdır (Vávrováa et all, 2014).

Keith L. Killine ve diğerleri (2016) yayınladıkları çalışmada; biyoenerji ve gıda rekabetinin önyargıdan bağımsız bir şekilde sürdürülebilir bir kaynak yönetimi altında biyoenerji ve gıda güvenliği için itici bir güç olarak başarılı bir sinerji elde etmek için yapılması gerekenler üzerinde durmaktadır. Gıda güvenliği için biyoenerjiyi suçlayan basit yaklaşımlar gıda güvenliği için tehlike arz eden ana konuları gizleyerek biyoenerjinin ana itici güç olarak katkıda bulunabileceği fırsatları görmezden gelinmesine neden olmaktadır. Bunun önüne geçmek için şu çözüm önerilerinde bulunmaktadır; iletişimleri açık ve tutarlı terimlerle netleştirmek, gıda ve biyoenerjinin arazi için rekabet etmesi gerekmediğini ve bunun yerine kaynak yönetimini iyileştirmek için entegre edilmesi gerektiğini kabul etmek, kapasite ve altyapı oluşturmak için teknolojiye, kırsal yayılmaya ve yeniliklere yatırım yapmak, yerel üretimi teşvik eden istikrarlı fiyatları teşvik etmek, topluma diğer ürün ve hizmetlerle birlikte gıda sağlayabilen esnek bitkileri benimsemek ve gıda güvenliğini iyileştirmek için biyoyakıtlara yönelik belirli fırsatları belirlemek ve değerlendirmek için paydaşları dahil etmek. Uyarlanabilir yönetimi ve sürekli iyileştirmeyi desteklemek için sistematik izleme ve analiz, sinerji oluşturmak ve toplumun hem gıda hem de enerji için artan talepleri adil bir şekilde karşılamasına yardımcı olmak için temel unsurlardır (Killine vd., 2016).

## **5.2. Veri Seti ve Yöntem**

Bu çalışmada Türkiye' nin 2007-2018 yılları arasındaki enerji, gıda, nüfus, ekilebilir alanlar, ve karbon emisyon miktarı ile ilgili verileri göz önünde bulundurularak Türkiye' de biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimlerin enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre üzerine etkisini görmek amacıyla 2021-2050 yıllarındaki gelecek projeksiyonu sistem

dinamikleri modelleme yaklaşımı kullanılarak simülasyon yöntemiyle analiz edilmiştir. Ardından oluşturulan sistem dinamikleri simülasyon modeli üzerinde çeşitli senaryo denemeleri yapılarak, bu senaryolar grafikler ile karşılaştırılmıştır.

### **5.2.1. Veri Seti**

Veri dönemi olarak 2007-2018 seçilmesinin nedeni, çalışmanın başladığı 2020 Haziran ayına kadar 2019 yılı enerji, gıda ve emisyon miktarı ile ilgili verilerinin ilgili kurumlarca henüz açıklanmamasıdır. Aynı dönemleri kapsayacak şekilde farklı kurumlardan alınan veri dönemlerinin uyuşmaması durumu da bu veri aralığının seçilmesine neden olmuştur. Başlangıç olarak 2007 yılının seçilme sebebi olarak da özellikle modern anlamda biyoenerji kullanımı ile ilgili verilere kaynak olarak başvuru olan Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Denge Tablolarında 2007 yılından itibaren verilere ulaşılabilmektedir. Biyoenerji ile ilgili uluslararası veri kaynağı olarak başvuru olan Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerinde ise geleneksel olarak ve modern anlamda biyoenerji kullanım verileri toplam olarak bir birinden ayrılmadan verilmiştir. Bu nedenle başlangıç yılı olarak 2007 yılı seçilmiş olup, simülasyonda kullanılan oransal veriler 2007 ile 2018 yılı aralığındaki verilerin ortalamaları alınarak kullanılmıştır. Modelimizde enerji verileri için '*TEP*' (*Ton Eşdeğer Petrol*), gıda verileri için '*ton*', sera gazı emisyonları için '*CO2 eşdeğeri olarak milyon ton*' ve toprak alanlar için '*dekar*' ölçü birimleri kullanılmıştır.

Simülasyonda kullanılan veriler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), British Petroleum (BP), Food And Agriculture Organization (FAO), International Energy Agency (IEA) gibi ulusal ve uluslararası kurumların internet sayfaları ve veri tabanlarından faydalanılmıştır. Bununla beraber yerli ve yabancı dilde yazılmış dijital ve basılı makale, tezler ve raporlardan istifade edilmiştir.

### **5.2.2. Sistem Dinamikleri Simülasyon Yöntemi: Stella**

Bu çalışmada dördüncü bölümde ayrıntılı olarak bahsedilen sistem dinamikleri yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşım bilgisayar tabanlı bir sistem dinamikleri simülasyon paket programı stella kullanılarak uygulanmıştır. Bu program; farklı avantajlar sağlaması ve diğer programlardan ayrılan özellikleri nedeniyle seçilmiştir.

#### **5.2.2.1. Stella'nın Özellikleri**

Stella programında bir sistemin modelini kurmak ve bu modeldeki sistemi analiz etmek için yapı itibarıyla üst düzey harita katmanı, model kurma katmanı ve denklemler katmanı olmak üzere; üç ana katmanda işlem yapılmaktadır (Kalkan, 2000:40, The Systems

Thinking Company, 2001). İlk olarak; ana sistemi ve alt sistemleri gösteren üst düzey harita katmanıdır. Bu katmanda sistemin davranışını belirleyen değişkenler ile bu değişkenlere ait verilerin girildiği katmandır.

Sisteme ait bütün değişkenlerin ve bu değişkenlere ait etkileşimlerin tanımlandığı diğer bir katman da model kurma katmanıdır. Stok ve akışların yerleştirildiği, geri beslemeli döngülerin tanımlandığı katmandır.

Diğer iki katmanda yapılan işlemler neticesinde fiziksel yapısı oluşturulan modelin denklem katmanı ile ruhu oluşturulmaktadır. Bu katman sayesinde modele dinamiklik sağlanmaktadır. Bu katman esas itibarıyla diğer iki katmanda yapılan işlemler arasındaki bağlantıyı sağlayarak sistem modelinin son halini şekillendirmektedir. Bu katmanda yapılan işlemlerden sonra sistem modelinin hareketi incelenebilir.

#### **5.2.2.2. Stella' nın Avantajları**

Sistem dinamiklerinde model oluşturup, simülasyon yapmayı sağlayan farklı amaçlar için kullanılan bir çok paket programının olduğunu biliyoruz. Ancak çalışmamızda Stella paket programını kullanmamızın temel nedeni; aşağıdaki özellikleri nedeniyle çalışma için en uygun program olarak tercih edilmiştir. Bu özellikler (Kalkan, 2000:39-46; The Systems Thinking Company, 2001; Bilash Kanti Bala, 2014):

- \* Stok ve akış diyagramlarını direkt olarak ekranda çizme olanağı sağlamaktadır.
- \* Ana sistem ve alt sistemler ile değişkenler arasındaki ilişki aynı ortamda tanımlanabilmektedir.
- \* Karmaşık sistemlerin bir birini nasıl etkiledikleri somut olarak temsil edilmektedir.
- \* Oluşturulan modelin optimizasyon ve kalibrasyonu program üzerinden yapılabilmektedir.
- \* Yazılım bilgisi olmadan da model kurma olanağı tanımaktadır.
- \* Senaryo denemelerine olanak sağlayarak, yenipolitika oluşturma imkanı sağlamaktadır.
- \* Kolay senaryo denemesi için arayüz oluşturma olanağı tanımaktadır.
- \* Grafik özelliği ile sistemin zaman içerisindeki hareketini gözlemleyebilme olanağı sağlamaktadır.

\* Sistemin hareketi her dönem için ayrı olarak incelenebileceği gibi bir bütün olarak da inceleme olanağı tanımaktadır.

\* Senaryoları hem grafiksel olarak hemde veriler ile karşılaştırma olanağı tanımaktadır.

\* Öğrenilmesi ve uygulaması kolaydır.

### **5.3. Metodoloji**

Sistem dinamikleri yöntemi ile stella paket programı kullanılarak Türkiye' nin enerji-gıda-çevre-nüfus gelecek projeksiyon modeli oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle enerji sistemi, gıda sistemi ve çevre sistemi ile bu modele eklenen nüfus sistemi ve biyoenerji sistemi ile ilgili doyurucu teorik bilgi elde edilmiştir. Bu sayede her bir alt sistemi oluşturan değişkenlerin birbiri arasındaki ilişkinin yönü, düzeyi ve durumunun modelde tasvir edilmesi kolaylaşmıştır. Daha sonra bu alt sistemlerin birbiri ile olan ilişki durumu, yönü ve düzeyi modelde tanımlanarak Türkiye' nin Enerji-Gıda-Çevre gelecek projeksiyon modeli stella sistem diyagramı oluşturulmuştur.

Çalışmamızın ana teması olan Türkiye' de biyoenerji kaynak kullanımındaki artışların gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre üzerindeki etkisini incelemektir. Bunun için enerji-gıda-çevre-nüfus projeksiyon modeli üzerinde enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre güvenliği değişkenleri tanımlanmıştır. Literatürde enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre çok farklı boyutları ekseninde ele alınmıştır. Çalışmamızın kaynak kullanımı boyutu göz önünde bulundurularak, veri seti ve gelecek projeksiyon sistemine göre enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre güvenliği için en uygun yaklaşım belirlenerek modelde kullanılmıştır.

#### **5.3.1. Enerji Güvenliği**

Enerji güvenliği tanım, kaynak çeşitliliği ve çok boyutlu değişkenleri itibariyle ölçülmesi oldukça zordur. Enerji güvenliği ölçümü için literatürde çok çeşit yöntemler ve yaklaşımlar mevcuttur. Çalışmamızın ana eksenini düşünülerek bu ölçümlerden en yaygın kullanılan aşağıda açıklaması yapılanlar üzerinde durulmuş ve oluşturduğumuz sistem dinamikleri modelinde bunlardan bir kaçının ölçümüne de imkan sağlayacak şekilde yer verilmiştir.

***Enerji Bağımlılık Oranı:*** Kullanılan enerjideki ithalat oranını baz alır. Bir ekonominin kullandığı enerjinin ne kadarının ithalat ile karşılandığını göstermektedir (Erdal, 2011:256).

Çalışmamızda toplam enerji tüketimi içerisinde toplam ithal edilen enerji oranının hesaplanmasına yer verilmiştir. Bu indeks modelde:

$$\text{Enerji Bağımlılık Oranı} = \text{Enerji İthalatı} / \text{Enerji Tüketimi}$$

şeklinde kullanılmıştır. Burada enerji bağımlılık oranındaki yükselme enerji güvenliği açısından olumsuz bir durum teşkil etmektedir. Çünkü enerji tüketimi içerisinde ithal edilen enerji miktarının artması anlamına gelmektedir ki bu durum istenen bir durum değildir.

**Yerli Üretim Oranı:** Toplam tüketilen enerji içerisinde ülke sınırları içerisinde üretilen enerji oranı göstermektedir. Bu endeks;

$$\text{Yerli Üretim Oranı} = \text{Yerli Enerji Üretimi} / \text{Toplam Enerji Tüketimi}$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Bu endekste yerli üretim oranında yaşanacak bir yükselme *Enerji Bağımlılık Oranının* tersine enerji güvenliği için olumlu bir durum olarak anlaşılmaktadır. Yani enerji tüketimi içerisinde yerli olarak üretilen enerjinin artması enerji güvenliği için olumlu bir durumdur.

**Enerji Yoğunluğu:** Endüstride kullanılan enerji odaklı olarak oluşturulmuş bir endekstir. Belli bir dönemde bir birim endüstriyel enerji kullanımına karşılık elde edilen üretim miktarı olarak ifade edilmektedir(Erdal, 2011:259-260). Bu endeks;

$$\text{Enerji Yoğunluğu} = \text{Endüstriyel Enerji Kullanımı} / \text{GSYİH}$$

şeklinde hesaplanmıştır.

**Bileşik Endeks:** Enerji güvenliğinin çok boyutlu değişkenleri ve etkileyenleri göz önünde bulundurularak oluşturulmuş ve literatürde kullanıldığı tespit edilmiş bir enerji güvenliği ölçüm endeksi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu endeks yukarıda açıklaması yapılan üç endeksin ortalaması alınarak oluşturulmuştur. Bu endeks;

$$\text{Bileşik Endeks} = (\text{Bağımlılık Endeksi} + \text{Yoğunluk Endeksi} + \text{Yerli Üretim Endeksi})/3$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Çalışmamızda bu endeksin kullanılması oldukça zordur. Hem ithalat sistemi ve ayrıca endüstri sisteminin de modele eklenmesi gerekmektedir. Buda karmaşık olan sistemi daha da karmaşıklaştıracak ve kontrolü zor devasa bir sistemin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Ayrıca *Bağımlılık Oranının* artması olumsuz bir durum olarak algılanırken, *Yerli Üretim Oranının* artması olumlu bir durum olarak algılanmaktadır. Bu durumda matematiksel olarak düşünüldüğünde artış oranı olumlu ve artış oranı olumsuz

olarak algılanan iki farklı değişkenin ortalamaları alınarak olumlu veya olumsuz bir kanaat bildirmek oldukça zordur.

Literatürde karşılaşılan bütün bu enerji güvenliği ölçüm endeksleri göz önüne alındığında Yerli Üretim Oranı ölçüm endeksinin çalışmamız için en uygun endeks olacağı kanaatine varılmıştır. Bu nedenle çalışmamızda esas olarak enerji güvenliğini temsilen bu endeks kullanılmıştır. Burada yerli bir enerji kaynağı olan biyoenerjinin etkilerinin görülebilmesi için yerli üretim oranının en uygun enerji güvenliğini ölçüm endeksi olarak modelde kullanılmıştır.

### **5.3.2. Gıda Güvenliği**

Gıda güvenliği; genel olarak erişilebilirlik, bulunulabilirlik, kalite ve güvenlik boyutları bir arada düşünülerek tanımlanmış bir kavramdır. Her birinin gıda güvenliği açısından ağırlıkları hem farklıdır hem de ülkeden ülkeye, bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilmektedir.

Gıda güvenliği, Birleşmiş Milletler (BM) Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından, “Tüm insanların hareketli ve sağlıklı bir yaşam sürdürmelerini sağlayacak sağlıklı ve besleyici gıdaya hem ekonomik hem de fiziki olarak ulaşabilmesi” olarak tanımlanmıştır. (Teknolojik Düşünce Merkezi, 2020:3). Bu tanımlamadan da anlaşılacağı üzere gıda güvenliği entegre bir işlev olarak karmaşık bir kavramdır.

Gıda güvenliğinin karmaşık ve entegre yapısı gözönüne alınarak ülkede yaşayan birey perspektifli bir yaklaşım benimsenerek modelleme yapılmıştır. Bu itibar ile modelimizde gıda güvenliği kavramı; ülkede yaşayan her bir birey için tüm nüfusa yetecek kadar gıda arzının bulunması kastedilmektedir. Literatür incelenmesinde gıda güvenliği için oluşturulan endekslerin ezici çoğunluğunda gıda arz güvenliğinin gıda güvenliği içerisinde en büyük ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmamızda gıda güvenliği için gıda arz boyutu gözönünde bulundurularak modelde kullanılmıştır.

Çalışmamızın ana eksenini oluşturan biyoenerjinin kaynak olarak yerli ve gıda arzıyla arazi rekabeti oluşturma potansiyeli nedeniyle sistem dinamikleri modelimizi oluştururken Türkiye’ de üretilen, ithalattan azade yerli tarımsal gıda üretim miktarının, ülke nüfusuna yetebilme kapasitesi düşünülerek gıda güvenliği değişkeni oluşturulmuştur. Modelimizde ana hedeflerinden biri Türkiye’ nin gıda arzında kendi kendine yetebilme becerisinin, olası biyoenerji kaynak kullanımındaki değişmelerden nasıl etkilendiğini incelemektir. Bu nedenle modelimizde;

### *Gıda Güvenliği: Kayıplardan Arındırılmış Gıda Miktarı/Gıda Talebi*

şeklinde formulize edilmiştir. Burada Türkiye’ de üretilen kayıplardan arındırılmış gıda miktarının tüm nüfusun gıda ihtiyacını temsil eden *Gıda Talebini* karşılayabilmesi ölçülmektedir. *Gıda Güvenliği* oranı sayısal olarak yükselmesi gıda güvenliği açısından olumlu bir durum olarak anlaşılacaktır. Yani oranın yükselmesi Türkiye’ nin gıda arzında kendi kendine yetebilme kapasitesini artırdığı anlaşılacaktır.

### **5.3.3. Çevre Güvenliği**

Türkiye’ de yaşanan karbondioksit emisyonunun %85,8’ i enerji kullanım kaynaklıdır. Buda enerji kullanımının çevre üzerindeki etkisini net olarak ortaya koymaktadır. Enerji kullanımının neden olduğu emisyon miktarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynak çeşitlerinin artırılarak, yenilenebilir enerji kullanım oranının artırılması gerekmektedir.

Fosil yakıtların yerine kullanılacak olan yenilenebilir enerji miktarı çevre güvenliğini olumlu bir şekilde etkileyecektir. Bu nedenle çalışmamızda bir ‘TEP’ fosil kökenli yakıtın yaklaşık olarak neden olduğu *CO2* eşdeğeri emisyon miktarı hesaplanmıştır. Buradan hareketle bir TEP fosil kökenli yakıtın yerine kullanılacak olan bir TEP yenilenebilir enerjinin; bir TEP fosil yakıtın neden olduğu *CO2* eşdeğeri emisyon miktarının atmosfere salınımına engel olacaktır. Yani fosil yakıtların yerine kullanılacak olan her bir TEP yenilenebilir enerji *CO2* eşdeğeri emisyonun atmosfere salınımını azaltacaktır. Atmosfere salınan *CO2* eşdeğeri emisyonun azaltılması da çevre güvenliği açısından olumlu bir durum teşkil etmektedir. Bu nedenle Çevre Güvenliği; yenilenebilir enerji kaynağı olarak biyoenerji arzındaki değişimin emisyon miktarını ne kadar değiştirebileceği baz alınarak modelde tanımlanmıştır.

### **5.4. Biyoenerji-Gıda-Enerji-Çevre-Nüfus Modeli**

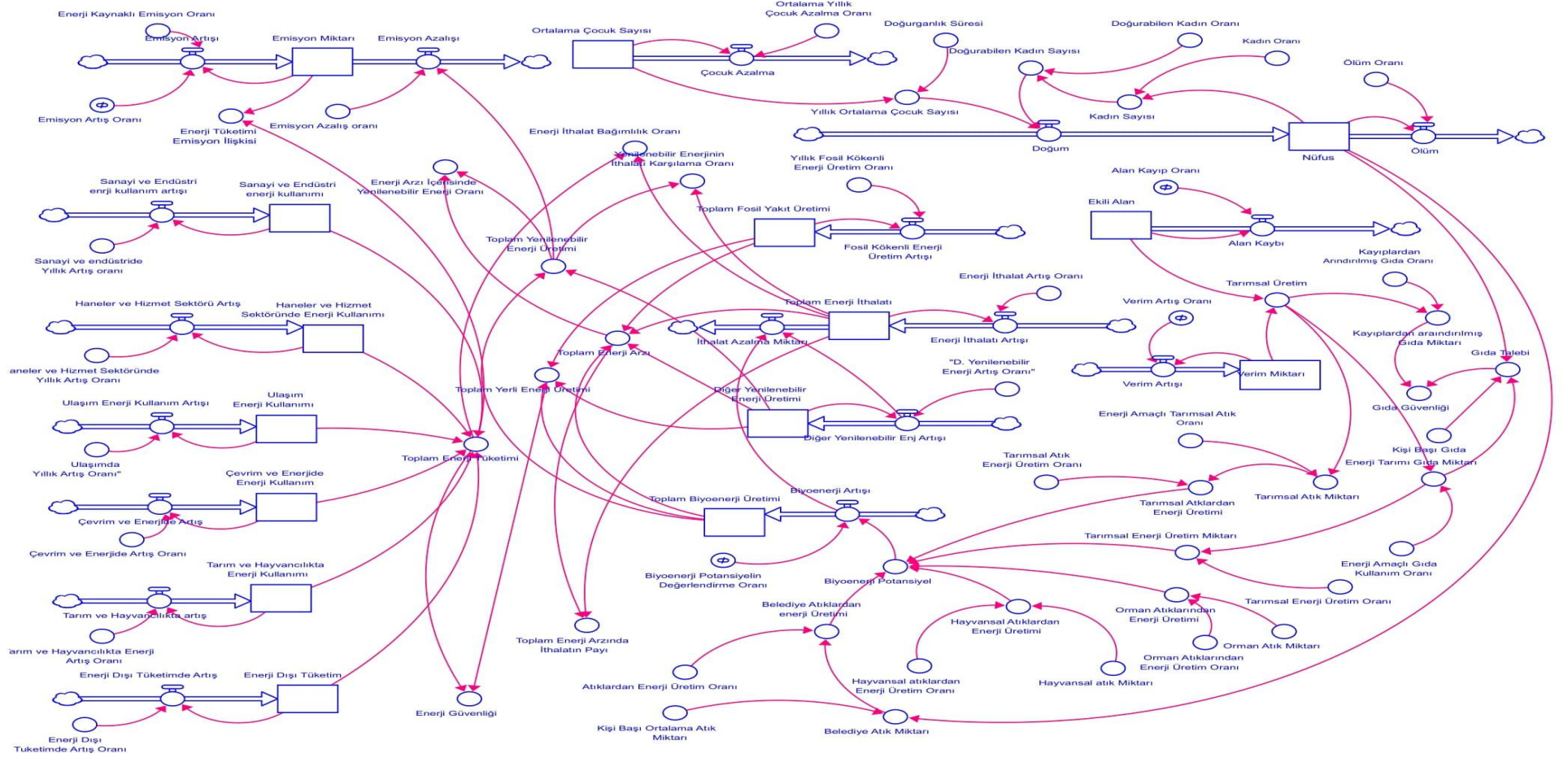
Türkiye’de biyoenerji kaynak kullanımındaki artışların çevre güvenliği, enerji güvenliği ve gıda güvenliği üzerindeki etkisinin ortaya konabilmesi için sistem dinamikleri simülasyon modeli oluşturulmuştur. Bu modelin başarılı bir şekilde oluşturulabilmesi için ana sistemin, alt sistemlerin ve modele eklenen diğer alt yardımcı sistemlerin iyi tanımlanması ve konumlandırılması gerekmektedir.

Çalışmamızda öncelikle enerji, gıda ve çevre sistemleri modellenmiştir. Ardından bu modellere biyoenerji sistemi modeli ve nüfus sistemi modeli eklenmiştir. Biyoenerji yenilenebilir enerji kaynağı olarak hem enerji arzını ve biyo kökenli olması nedeniyle gıda arzını direkt olarak etkilemektedir. Ayrıca çalışmamızın ana eksenini oluşturması nedeniyle

etkisinin daha açık görülebilmesi için modelde tanımlanması elzemdir. Alt sistemler ve yardımcı alt sistemleri oluşturan değişkenlerin bir biriyle olan ilişkisi ve bu ilişkilerin yönü ve durumu tanımlandıktan sonra, bu alt sistem ile yardımcı alt sistem modellerinin birbiriyle olan etkileşimi tanımlanarak Biyoenerji-Gıda-Enerji-Çevre-Nüfus sistem dinamikleri simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Biyoenerji-Gıda-Enerji-Çevre-Nüfus sistem dinamikleri simülasyon modeli oluşturmak için 91 değişken ve bu değişkenlerin bir biri ile olan ilişkisini tanımlayan 43 fonksiyonel denklem ile 48 başlangıç değeri tanımlanmıştır. Modelimiz 15 stok değişken, 18 akışkan değişken ve 58 ara değişkenden (Dönüştürücü) oluşmaktadır. Bu değişkenler arasındaki etkileşimin yönünü gösteren ve bilgi akışını sağlayan 33 bağlantı kullanılarak sistem dinamikleri simülasyon modeli oluşturulmuştur. Model kurulurken sektörel bölümlere ayırma şeklinde bir yol izlenmemiş, oluşturulan sistemsel model bir bütün olarak düşünülmüştür.

Şekil 17. Türkiye' nin Biyoenerji- Gıda- Enerji- Çevre- Nüfus Gelecek Projeksiyon Modeli Stella Diyagramı



Stella paket programının harita katmanı ile model kurma katmanında modelin fiziksel yapısı, daha doğrusu iskeleti oluşturulduktan sonra denklem katmanında modele hareket kazandırılmıştır. Önceki katmanlarda hangi değişkenin hangi değişkeni ne yönde etkileyeceği belirlenmişti. Denklem katmanında ise bu etkilerin ölçüsü ve düzeyini belirleyen matematiksel denklemler kullanılmıştır. Bu matematiksel değişkenler stok, akış ve ara değişkenlerin birbiriyle etkileşim ölçütünü ve fonksiyonunu belirlemektedir. Akışlardan stoklara veya ara değişkenlerden akışlara bilgi akışının ölçütünü belirlemektedirler.

Sistem dinamiklerinde nedensel döngünün başlayabilmesi için sistemde bazı ara değişkenler ile stokların başlangıç değerlerinin tanımlanması ve denklem katmanında girilmesi gerekir. Böylece sistemin çalışma prensibini oluşturan ‘her bir değer kendinden önceki değer tarafından tayin edilmektedir’ nedensel döngünün başlamasını sağlamaktadır. Bu itibarla aşağıda modelimizdeki stok değişkenler, akış değişkenleri ve ara değişkenler (Dönüştürücüler) ait başlangıç değeri ile denklem sistemleri tanımlanmıştır.

#### **Modeldeki Değişkenlerin Başlangıç Değerleri ile Denklem Sistemleri :**

$$\text{Çevrim ve Enerjide Enerji Kullanım}(t) = \text{Çevrim ve Enerjide Enerji Kullanım}(t - dt) + (\text{Çevrim ve Enerjide Artış}) * dt$$

$$\text{Çevrim ve Enerjide Enerji Kullanım} = 34228000$$

$$\text{Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi}(t) = \text{Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi}(t - dt) + (\text{Diğer Yenilenebilir Enerji Artışı}) * dt$$

$$\text{Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi} = 19774000$$

$$\text{Ekili Alan}(t) = \text{Ekili Alan}(t - dt) + (- \text{Alan Kaybı}) * dt$$

$$\text{Ekili Alan} = 37712000$$

$$\text{Emisyon Miktarı}(t) = \text{Emisyon Miktarı}(t - dt) + (\text{Emisyon Artışı} - \text{Emisyon Azalışı}) * dt$$

$$\text{Emisyon Miktarı} = 520,9$$

$$\text{Enerji Dışı Tüketim}(t) = \text{Enerji Dışı Tüketim}(t - dt) + (\text{Enerji Dışı Tüketimde Artış}) * dt$$

$$\text{Enerji Dışı Tüketim} = 629000$$

$$\text{Haneler ve Hizmet Sektöründe Enerji Kullanımı}(t) = \text{Haneler ve Hizmet Sektöründe Enerji Kullanımı}(t - dt) + (\text{Haneler ve Hizmet Sektörü Artış}) * dt$$

*Haneler ve Hizmet Sektöründe Enerji Kullanımı = 37879000*

*Nüfus(t) = Nüfus(t - dt) + (Doğum - Ölüm) \* dt*

*Nüfus = 83614362*

*Ortalama Çocuk Sayısı(t) = Ortalama Çocuk Sayısı(t - dt) + (- Çocuk Azalma) \* dt*

*Ortalama Çocuk Sayısı = 1,88*

*Sanayi ve Endüstri Enerji Kullanımı(t) = Sanayi ve Endüstri Enerji Kullanımı(t - dt) + (Sanayi ve Endüstri Enerji Kullanım Artışı) \* dt*

*Sanayi ve Endüstri Enerji Kullanımı = 36155000*

*Tarım ve Hayvancılıkta Enerji Kullanımı(t) = Tarım ve Hayvancılıkta Enerji Kullanımı(t - dt) + (Tarım ve Hayvancılıkta Artış) \* dt*

*Tarım ve Hayvancılıkta Enerji Kullanımı = 4581000*

*Toplam Biyoenerji Üretimi(t) = Toplam Biyoenerji Üretimi(t - dt) + (Biyoenerji Artışı) \* dt*

*Toplam Biyoenerji Üretimi = 3014000*

*Toplam Enerji İthalatı(t) = Toplam Enerji İthalatı(t - dt) + (Enerji İthalatı Artışı - İthalat\_Azalma\_Miktarı) \* dt*

*Toplam Enerji İthalatı = 115792000*

*Toplam Fosil Yakıt Üretimi(t) = Toplam Fosil Yakıt Üretimi(t - dt) + (Fosil Kökenli Enerji Üretim Artışı) \* dt*

*Toplam Fosil Yakıt Üretimi = 1913000*

*Ulaşım Enerji Kullanımı(t) = Ulaşım Enerji Kullanımı(t - dt) + (Ulaşım Enerji Kullanım Artışı) \* dt*

*Ulaşım Enerji Kullanımı = 28441000*

*Verim Miktarı(t) = Verim Miktarı(t - dt) + (Verim\_Artışı) \* dt*

*Verim Miktarı = 4,8948116*

*Alan Kaybı = Ekili Alan\*Alan Kayıp Oranı*

*Biyoenerji Artışı = Biyoenerji Potansiyel\*Biyoenerji Potansiyelin Değerlendirme\_Oranı*

*Çevrim ve Enerjide Artış = Çevrim ve Enerjide Artış Oranı\*Çevrim ve Enerjide Enerji Kullanım*

*Çocuk Azalma = Ortalama Yıllık Çocuk Azalma Oranı\*Ortalama Çocuk Sayısı*

*Diğer Yenilenebilir Enerji Artışı = Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi\*"D. Yenilenebilir Enerji Artış Oranı"*

*Doğum = Yıllık Ortalama Çocuk Sayısı\*Doğurabilen Kadın Sayısı*

*Emisyon Artışı = Emisyon Miktarı\*Emisyon Artış Oranı\*Enerji Kaynaklı Emisyon Oranı*

*Emisyon Azalışı = Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi\*Emisyon Azalış oranı+Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi\*Emisyon Azalış Oranı\*0*

*Enerji Dışı Tüketimde Artış = Enerji Dışı Tüketimde Artış Oranı\*Enerji Dışı Tüketim*

*Enerji İthalatı Artışı = Toplam Enerji İthalatı\*Enerji İthalat Artış Oranı*

*Fosil Kökenli Enerji Üretim Artışı = Toplam Fosil Yakıt Üretimi\*Yıllık Fosil Kökenli Enerji Üretim Oranı*

*Haneler ve Hizmet Sektörü Artış = Haneler ve Hizmet Sektöründe Yıllık Artış Oranı\*Haneler ve Hizmet Sektöründe Enerji Kullanımı*

*İthalat Azalma Miktarı = (Diğer Yenilenebilir Enerji Artışı+Biyoenerji Artışı)\*0*

*Ölüm = Ölüm Oranı\*Nüfus*

*Sanayi ve Endüstri Enerji Kullanım Artışı = Sanayi ve Endüstri Enerji Kullanımı\*Sanayi ve Endüstride Yıllık Artış Oranı*

*Tarım ve Hayvancılıkta Artış = Tarım ve Hayvancılıkta Enerji Artış Oranı\*Tarım ve Hayvancılıkta Enerji\_Kullanımı*

*Ulaşım Enerji Kullanım Artışı = Ulaşım Enerji Kullanımı\*"Ulaşımında Yıllık Artış Oranı"*

*Verim Artışı = Verim Artış Oranı\*Verim Miktarı*

*"D. Yenilenebilir Enerji Artış Oranı" = 11,56707/100*

*Alan Kayıp Oranı = 0,454259/100*

*Atıklardan Enerji Üretim Oranı = 0,104846/100*

*Belediye Atık Miktarı = Nüfus\*Kişi Başı Ortalama Atık Miktarı*

*Belediye Atıklardan Enerji Üretimi = Belediye Atık Miktarı\*Atıklardan Enerji Üretim Oranı*

*Biyoenerji Potansiyel = Belediye Atıklardan Enerji Üretimi+Hayvansal Atıklardan Enerji Üretimi+Tarımsal Atıklardan Enerji Üretimi+Orman Atıklarından Enerji Üretimi+Tarımsal Enerji Üretim Miktarı*

*Biyoenerji Potansiyelin Değerlendirme Oranı = 0,08864041*

*Çevrim ve Enerjide Artış Oranı = 3,943397/100*

*Doğurabilen Kadın Oranı = 50,2/100*

*Doğurabilen Kadın Sayısı = Kadın Sayısı\*Doğurabilen Kadın Oranı*

*Doğurganlık Süresi = 34*

*Emisyon Artış Oranı = 3,200353/100*

*Emisyon Azalış Oranı = 0,0000037418/100*

*Enerji Amaçlı\_Gıda\_Kullanım\_Oranı = 0*

*Enerji Amaçlı Tarımsal Atık Oranı = 0,336993867*

*Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı = Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi/Toplam Enerji Arzı*

*Enerji Dışı Tüketimde Artış Oranı = 4,159758/100*

*Enerji Güvenliği = Toplam Yerli Enerji Üretimi/Toplam Enerji Tüketimi*

*Enerji İthalat Artış Oranı = 4,397718/100*

*Enerji İthalat Bağımlılık Oranı = Toplam Enerji İthalatı/Toplam Enerji Tüketimi*

*Enerji Kaynaklı Emisyon Oranı = 85,8/100*

*Enerji\_Tarımı\_Gıda\_Miktarı = Tarımsal\_Üretim\*Enerji\_Amaçlı\_Gıda\_Kullanım\_Oranı*

*Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi = Emisyon Miktarı/Toplam Enerji Tüketimi*

*Gıda Güvenliği = Kayıplardan Arındırılmış Gıda Miktarı/Gıda Talebi*

*Gıda Talebi = (Kişi Başı Gıda\*Nüfus)+Enerji Tarımı Gıda Miktarı*

*Haneler ve Hizmet Sektöründe Yıllık Artış Oranı = 3,889664/100*

*Hayvansal Atık Miktarı = 193878079/100*

*Hayvansal Atıklardan Enerji Üretim Oranı = 0,0226192/100*

*Hayvansal Atıklardan Enerji Üretimi = Hayvansal Atıklardan Enerji Üretim Oranı\*Hayvansal Atık Miktarı*

*Kadın Oranı = 50/100*

*Kadın Sayısı = Nüfus\*Kadın Oranı*

*Kayıplardan Arındırılmış Gıda Miktarı = Tarımsal Üretim\*Kayıplardan Arındırılmış Gıda Oranı*

*Kayıplardan Arındırılmış Gıda Oranı = 0,66300613*

*Kişi Başı Gıda = 1,01608333*

*Kişi Başı Ortalama Atık Miktarı = 0,45780877/100*

*Orman Atık Miktarı = 3914904*

*Orman Atıklarından Enerji Üretim Oranı = 0,219648/100*

*Orman Atıklarından Enerji Üretimi = Orman Atıklarından Enerji Üretim Oranı\*Orman Atık Miktarı*

*Ortalama Yıllık Çocuk Azalma Oranı = 1,00296/100*

*Ölüm Oranı = 0,5653468173/1000*

*Sanayi ve Endüstride Yıllık Artış oranı = 3,062825/100*

*Tarım ve Hayvancılıkta Enerji Artış Oranı = 2,765168/100*

*Tarımsal Atık Enerji Üretim Oranı = 0,096598/100*

*Tarımsal Atık Miktarı = Tarımsal Üretim\*Enerji Amaçlı Tarımsal Atık Oranı*

*Tarımsal Atıklardan Enerji Üretimi = Tarımsal Atık Miktarı\*Enerji Üretim Oranı*

*Tarımsal Enerji Üretim Miktarı = Tarımsal Enerji Üretim Oranı\*Enerji Tarımı Gıda Miktarı*

*Tarımsal Enerji Üretim Oranı = 0,096598/100*

*Tarımsal Üretim = Ekili Alan\*Verim Miktarı*

*Toplam Enerji Arzı = Toplam Fosil Yakıt Üretimi+Toplam Enerji İthalatı+Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi+Toplam Biyoenerji Üretimi*

*Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı = Toplam Enerji İthalatı/Toplam Enerji\_Arzı*

*Toplam Enerji Tüketimi = Sanayi ve Endüstri enerji kullanımı+Haneler ve Hizmet Sektöründe Enerji Kullanımı+Ulaşım Enerji Kullanımı+Çevrim ve Enerjide Enerji Kullanım+Tarım ve Hayvancılıkta Enerji Kullanımı+Enerji Dışı Tüketim*

*Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi = Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi+Toplam Biyoenerji Üretimi*

*Toplam Yerli Enerji Üretimi = Toplam Fosil Yakıt Üretimi+Diğer Yenilenebilir Enerji Üretimi+Toplam Biyoenerji Üretimi*

*Ulaşımında Yıllık Artış Oranı = 5,08885/100*

*Verim Artış Oranı = 0,015*

*Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı = Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi/Toplam Enerji İthalatı*

*Yıllık Fosil Kökenli Enerji Üretim Oranı = 1,172098/100*

*Yıllık Ortalama Çocuk Sayısı = Ortalama Çocuk Sayısı/Doğurganlık Süresi*

#### **5.4.2. Duyarlılık Analizi**

Modelimizde belirlenen bazı değişkenlerin değerlerinin değiştirilmesi sonucunda diğer değişkenlerin değerleri üzerindeki etkisinin incelenmesi için duyarlılık (hassasiyet) analizi yapılmaktadır. Bu sayede değerleri değişken olabilecek olan değişkenlerin zaman içerisinde değişime uğrayarak belirlenmek istenen değişkenlerin değerlerini hangi yönde ve ne ölçüde etkiledikleri belirlenebilmektedir.

Duyarlılık analizi belirlenen değişkenlerin değerlerinde herhangi bir değişim olması durumunda nasıl bir yol çizilmesi gerektiği hakkında karar verme açısından önemlidir. Gerçek hayattaki sorunlar genelde karmaşık modellerle ifade edilebildiğinden modeldeki değişkenlerden bazılarında meydana gelecek değişiklik modelin yeniden çözülmesini gerektirir ancak duyarlılık analizi ile modelin yeniden çözülmesine ihtiyaç duyulmadan ne olması gerektiğine bir cevap üretilebilir (Mermer, 2018:64).

Çalışmamızda oluşturduğumuz sistem dinamikleri simülasyon modeli için duyarlılık analizini Stella paket programına eklenen duyarlılık analizi menüsünden yapılmıştır.

#### 5.4.2. Modelin Kalibrasyonu

Bir modelin kalibrasyonu için birçok yöntem (örneğin, Ortalama Karekök Hatası, Bağlı Karekök Hatası, Ortalama Mutlak Hata, Bağlı Mutlak Hata Yöntemleri gibi) kullanılmaktadır. Modelin kalibrasyonu için Stella yazılım programına eklenen optimizasyon kullanılmıştır. Kalibrasyon özel bir optimizasyon durumu olduğundan bu özelliği ile modelimizi kalibre etmek için kullanabiliriz.

**Tablo 9.** Modelin Kalibrasyon Sonuçları

Method	maxiter	İnit step	Tolerance		
<b>Powell</b>	5000	1	0,00001		
Payoff:	<b>Payoff</b>				
Action	minimize				
Kind	Calibration				
Element	Alan Kaybı	Biyoenjerji Artışı	Emisyon Artışı	Verim Artışı	
Weight	auto	auto	auto	auto	
Comparison Variable	Alan Kaybı	Biyoenjerji Artışı	Emisyon Artışı	Verim Artışı	
Comparison Run	Run 1	Run 1	Run 1	Run 1	
Comparison Type	Squared Error	Squared Error	Squared Error	Squared Error	
Comparison Tolerance	0	0	0	0	
Parameter:	Alan Kayıp Oranı	Emisyon Artış Oranı	Verim Artış Oranı	Biyoenjerji Potansiyelin Değerlendirme Oranı	
Min value	0	0	0	0	
Max value	1	1	1	1	
Scaling	1	1	1	1	
	Alan Kayıp Oranı	Emisyon Artış Oranı	Verim Artış Oranı	Biyoenjerji Potansiyelin Değerlendirme Oranı	<b>Payoff</b>
Starting at	0,00453710454349	0,0323725696332	0	0,0882971603829	
After 135 Runs	0,00453385676455	0,0324266380238	0,0000124042173312	0,0882765398375	0,0000675996354776

Tablo 9’ da modelimizin kalibrasyon sonuçları gösterilmektedir. Burada Kalibrasyon için değişkenler rastgele seçilmiş gibi görünmesine rağmen modelin duyarlılığı bölümünde bahsedildiği üzere belli bir periyot sonunda değerlerinde değişim ihtimali doğabilecek değişkenler rastgele seçilmiştir. Stella paket programı bir çok optimizasyon yöntemi barındırmasına rağmen, hızlı bir optimize yöntemi olan Powell metodu tercih edilmiştir (Diferential Evolution da sık kullanılan ve tavsiye edilen bir yöntemdir). Powell en iyiyi en hızlı ve doğru bir şekilde bulmamızı sağlayan bir yöntemdir (<https://blog.iseesystems.com/modeling-tips/calibration-in-stella/>, 07.10.2020).

## **5.5. Modelde Politika Denemeleri**

Çalışmanın bu bölümüne kadar sistem dinamiği simülasyon modeli oluşturulan Biyoenerji-Gıda-Enerji-Çevre-Nüfus modeli üzerinde çeşitli denemeler yapılarak elde edilen sonuçların literatür ile uyumu kontrol edildikten sonra modelin hassasiyet ölçümü ve kalibrasyonu yapılmıştır. Sonuç itibariyle modelimiz temsil ettiği gerçek sistem ile oldukça iyi sayılabilecek düzeyde bir uyum ile çalışmaktadır. Yani temsil ettiği sistemi yansıtabilme kapasitesine sahiptir.

Bu bölümde ise oluşturulan sistem dinamiği simülasyon modeli üzerinden biyoenerji kaynak kullanımındaki değişimlerin gıda güvenliği, enerji güvenliği, çevre ve bu ana başlıklar ile bağlantılı diğer etkenler üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek için çeşitli senaryo denemeleri yapılarak Türkiye için en uygun senaryo belirlenmeye çalışılmıştır. Bu senaryoların uygulanmasında kolaylık sağlaması için bir ara yüz oluşturulmuş ve senaryolar bu ara yüz üzerinden denenmiştir. Bu senaryolar belirlenirken Türkiye’ nin kaynak durumu ve kaynak potansiyeli göz önünde bulundurulmuş, senaryoların Türkiye için uygulanabilirlik durumu göz ardı edilmemiştir. Nitekim senaryolar belirlenirken hangi sebeplerin ışında belirlendiği senaryonun nedeni kısmında açıklanmıştır.

### **5.5.1. Birinci Senaryo**

Bu senaryoya ‘her zamanki durum senaryosu’ diyoruz. Bu senaryoda mevcut olan her zamanki durumun devam edeceği varsayılmıştır. Mevcut statükonun korunduğu, biyoenerji ile ilgili mevcut durumu değiştirebilecek herhangi bir adımın atılmadığı ve atılmayacağını varsayan senaryodur.

**Şekil 18.** Birinci Senaryo ve Arayüzü



### 5.5.1.1. Birinci Senaryonun Nedeni

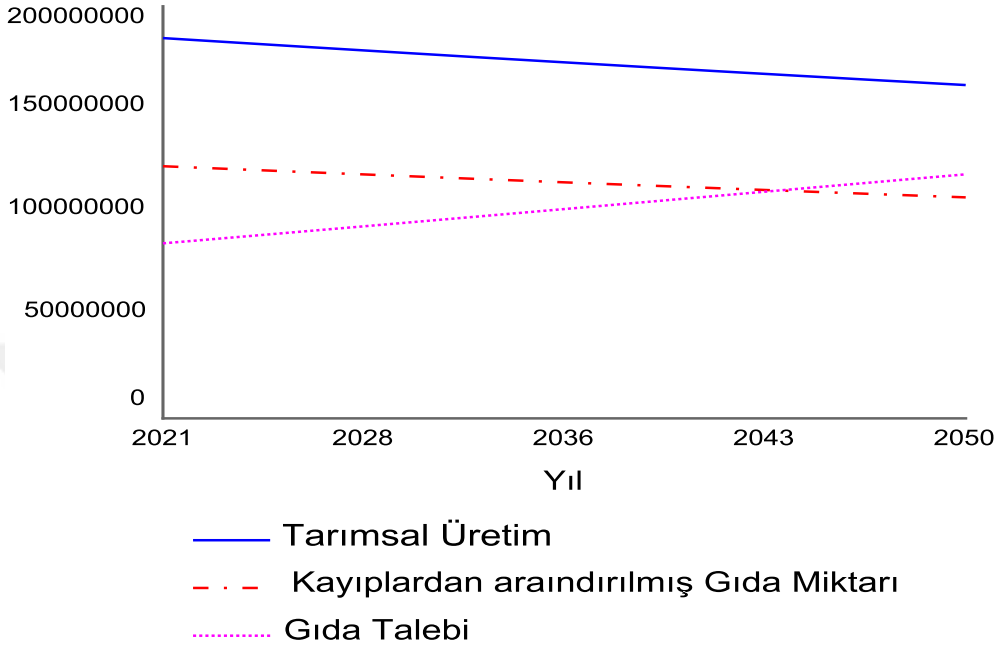
Bu senaryonun seçilme nedeni olarak; özellikle biyoenerji ile alakalı ilgili Bakanlıkların veri tabanları incelendiğinde modern anlamda biyoenerji arz miktarının diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına nazaran oldukça az kaldığı ve yıllar itibariyle çok az bir oranda artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu enerji kaynağı ile ilgili yönlendirici faktörler artırılmadığı sürece bu durumun devam edeceği düşünülerek, her zamanki durum senaryosu oluşturulmuştur.

### 5.5.1.2. Birinci Senaryonun Sonuçları

Her zamanki durum senaryosu şekil 17 incelendiğinde Türkiye' de biyoenerji politikalarına dönük olarak herhangi bir değişim yaşanmaması durumunda enerji güvenliği açısından olumsuz bir sonuç ortaya çıkmamaktadır. Bunun en önemli nedeni olarak yine aynı şekil üzerinde görüldüğü üzere Toplam Yenilenebilir Enerji arzındaki üstel artışın aynı şekilde enerji güvenliğini olumlu etkilediği görülmektedir. Toplam Yenilenebilir Enerji arzındaki artışın atmosfere salınan gaz salınımının, yani emisyon miktarının artış hızını azaltacağı şekilde görülmektedir. 2050 yılına doğru yenilenebilir enerji arzındaki artışın

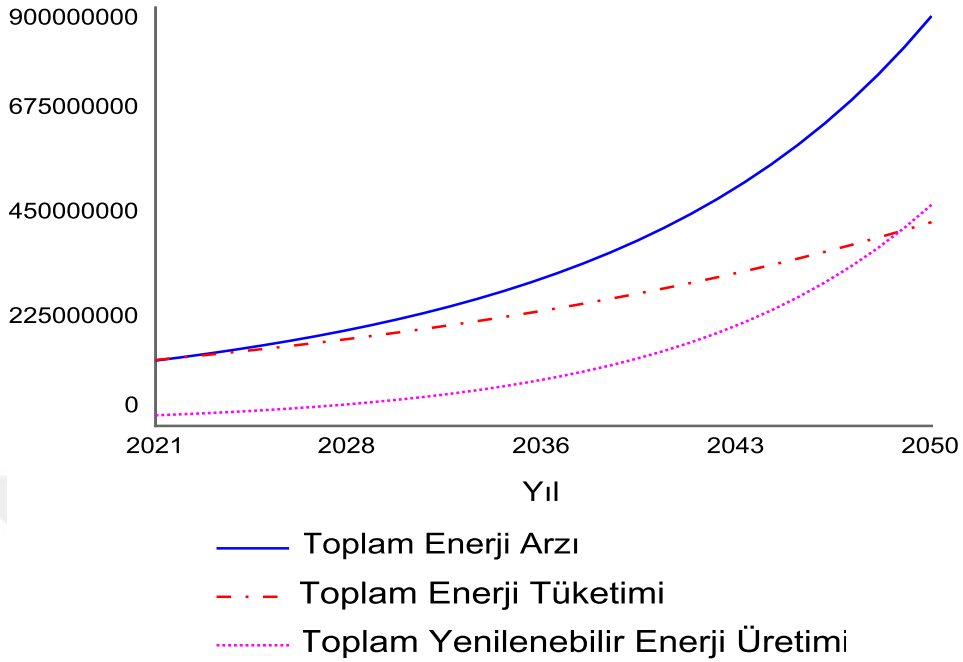
devam etmesi durumunda emisyon miktarının artış hızını durduracağı yatay bir seviyeye getireceği görülmektedir.

**Şekil 19.** Her Zamanki Durum Senaryosu Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri



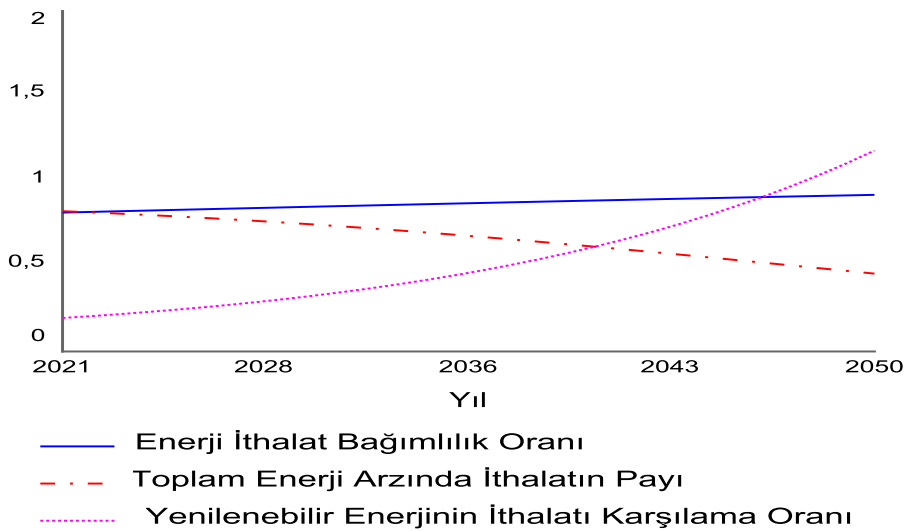
Bu senaryoya göre gıda güvenliğinin gıda-enerji rekabeti yaşanmadığı halde olumsuz etkilenen bir değişken olarak şekil 17’ de görülmektedir. Bunun nedeni olarak tarımsal üretimin azalması ve buna bağlı olarak kayıplardan arındırılmış gıda miktarının azalmasıyla beraber, ülke nüfusunun hızlı bir şekilde artışı ile buna bağlı olarak gıda talebinde artış yaşanmasıdır.

**Şekil 20.** Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji Arz- Tüketim Değişken Grafikleri



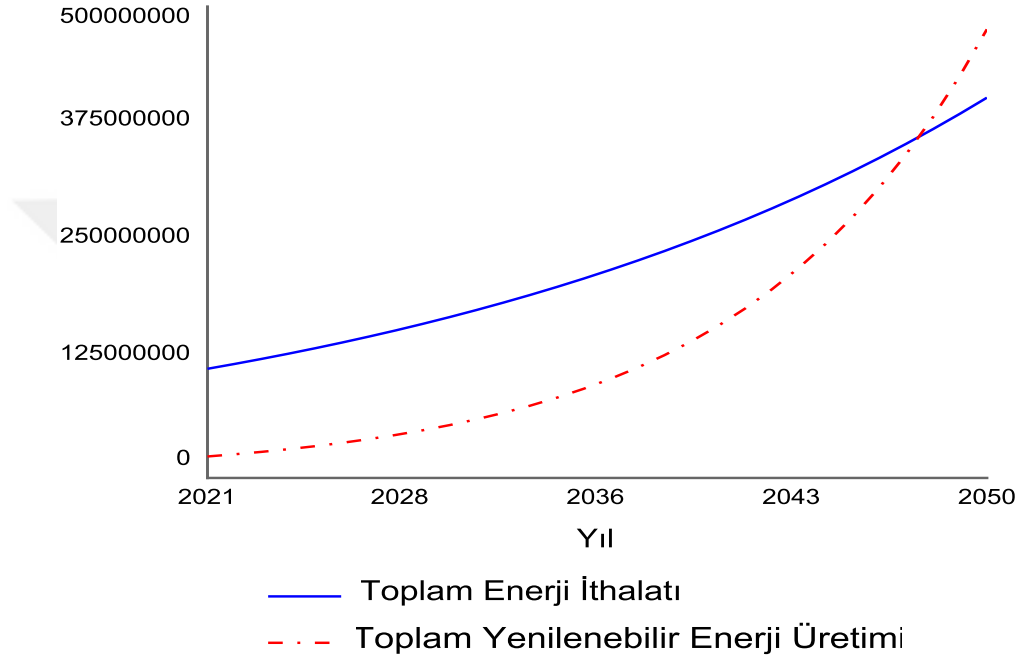
Şekil 19 grafikleri incelendiğinde enerji talebinde istikrarlı bir artışa karşın enerji arzı artış miktarının hızlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Bunun nedeni olarak; aynı grafikte Toplam Yenilenebilir enerji arzında yaşanan artışın olduğu söylenebilir. Yenilenebilir enerji arzındaki artışın Türkiye’de enerji arzındaki artışı fosil kaynaklarda artışa gerek kalmadan sağlayabileceği görülmektedir.

**Şekil 21.** Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji İthalatı Değişkenleri Grafikleri



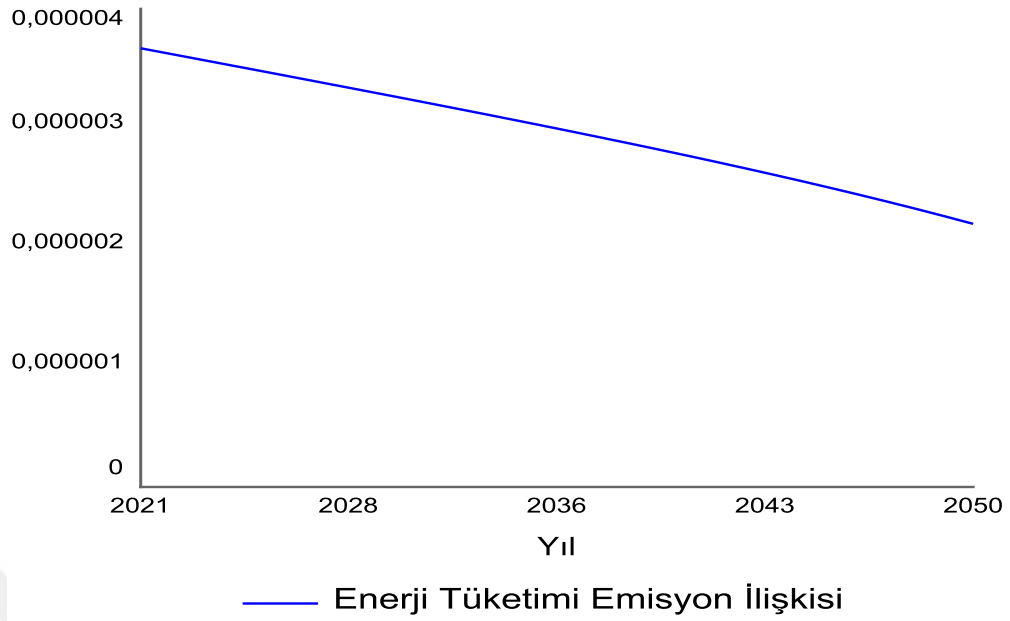
Bu senaryoya göre enerjide ithalat bağımlılık oranı istikrarlı bir şekilde artış hızı azalarak devam edecektir. Bu artış hızının azalmasına yenilenebilir enerji arzında yaşanan artışın neden olduğu söylenebilir. İthalat bağımlılık oranındaki bu kısıtlı azalmanın nedeni, Türkiye' nin enerjide ithalat bağımlılığının çok yüksek olmasıdır. Buna karşın yenilenebilir enerjide yaşanan olumlu gelişmelerin yenilenebilir enerjinin ithalatı karşılama oranının sürekli olarak artmasını sağladığı gözlemlenmektedir.

**Şekil 22.**Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji İthalatı Yenilenebilir Enerji Grafikleri



Yenilenebilir enerji arzındaki artışın 2050 yılına varmadan Türkiye' nin ihtiyaç olarak ithal ettiği toplam enerji arzına eşit seviyeye gelebileceğini şekil 21' de gözlemlenmekteyiz.

**Şekil 23.** Her Zamanki Durum Senaryosu Enerji Tüketim Miktarı-Emisyon İlişkisi



Şekil 17’ de emisyon miktarı artış hızındaki yavaşlama ve şekil 22 bir arada düşünüldüğünde enerji arzında yenilenebilir enerji miktarında yaşanan artışın toplam enerji tüketiminde yaşanan artıştan fazla olması nedeniyle tüketilen enerji başına yaşanan emisyon miktarının azalmasına neden olmaktadır. Yani 1 TEP enerjinin neden olduğu emisyon miktarı sürekli azalmaktadır. Çünkü tüketilen 1 TEP enerji içerisinde yenilenebilir enerji miktarı sürekli fosil yakıt miktarından daha fazla miktarda artış göstermektedir.

### 5.5.2. İkinci Senaryo

Bu senaryoda biyoenerji kaynağını dolaylı olarak artırıcı özelliği nedeniyle ‘dış etkenler senaryosu’ olarak adlandırılmıştır. Bu senaryoda tarımsal üretim artışının sonucunda biyoenerji kaynağı olarak tarımsal atıkların da artacağı düşünülmektedir.

**Şekil 24. İkinci Senaryo ve Arayüzü**



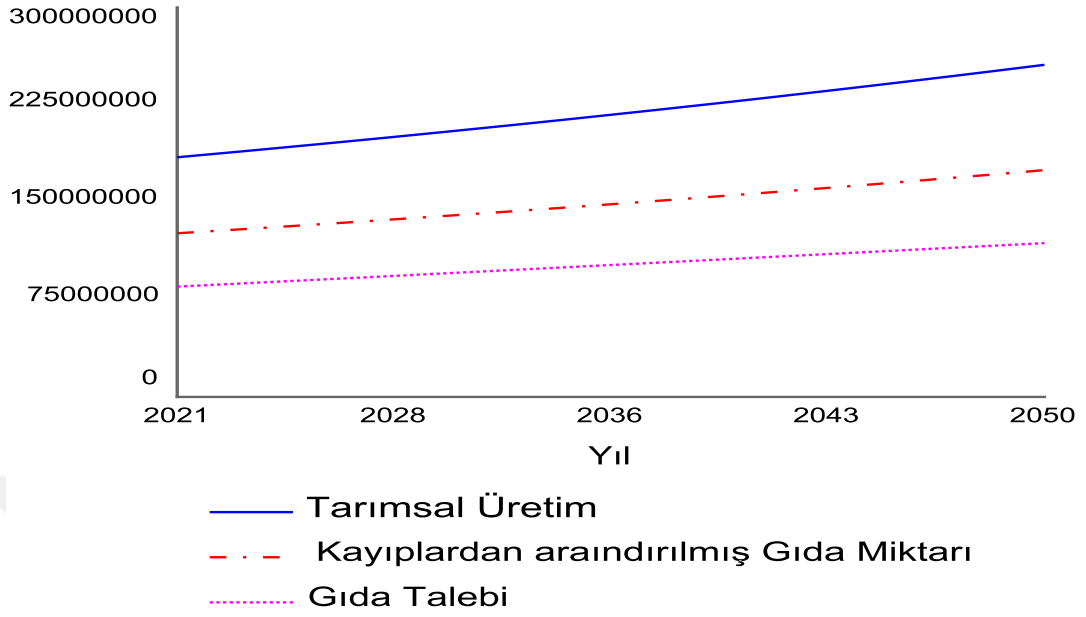
### 5.5.2.1. İkinci Senaryonun Nedeni

Dış etkenler senaryosunda biyoenerji arzını etkileyebilecek dış etkenler olarak hem tarımsal verim artışı sağlanacağı hem de ekilebilir tarım alanlarında yaşanan arazi kayıplarının azaltılacağı varsayılarak, tarımsal üretimin artacağı varsayılmıştır. Bu artışların da biyoenerjinin dolaylı yoldan kaynağını artıracığı varsayılarak, biyoenerji ve diğer etkilenen değişkenler üzerindeki etkisinin ne olacağı incelenecektir.

### 5.5.2.2. İkinci Senaryonun Sonuçları

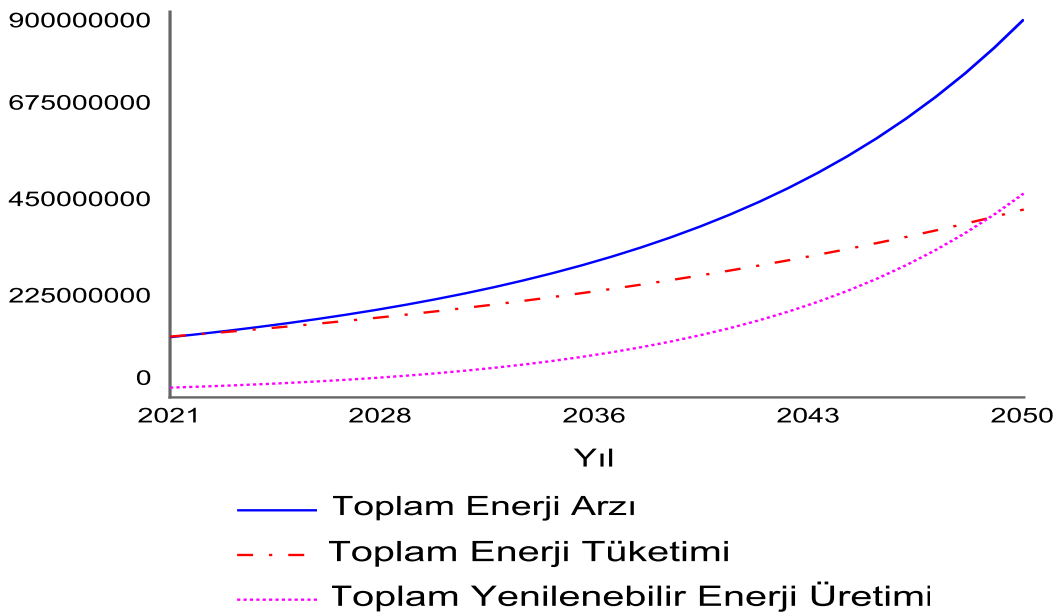
Dış etkenler senaryosunun sonucunda; biyoenerji arzında 2050 yılına kadar çok sınırlı bir artış olacağı, buna karşın şekil 23' te de görüldüğü gibi gıda güvenliği üzerinde olumlu bir etkisinin olacağı görülmektedir. Bu senaryoda Türkiye' nin miktar olarak kendi ihtiyacından daha fazla miktarda gıda üretimine devam edeceği görülmektedir.

**Şekil 25.** Dış Etkenler Senaryosu Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri



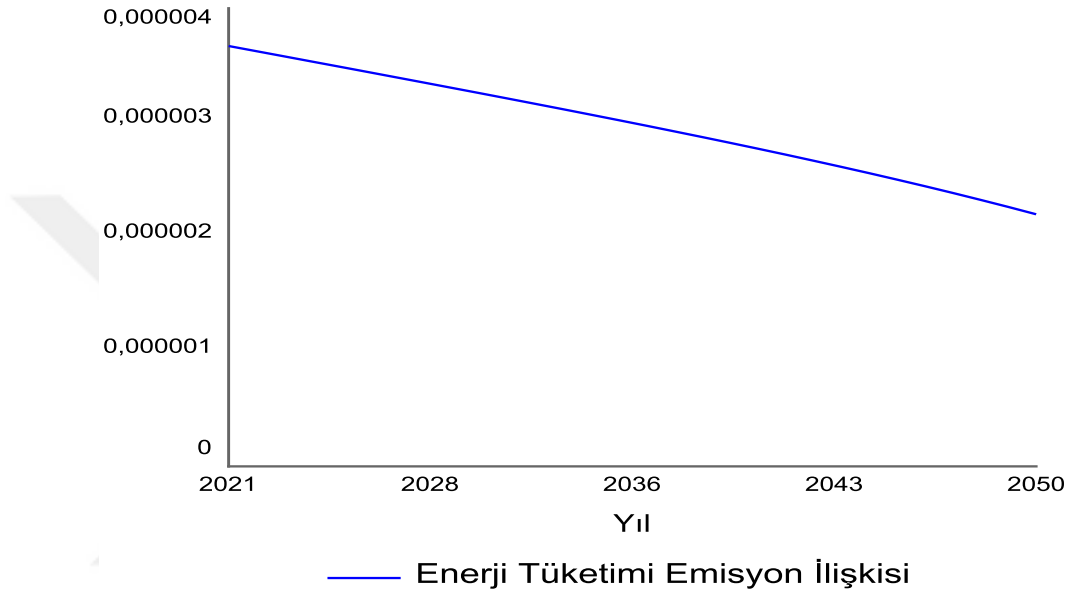
Bu senaryoda arz edilen gıda miktarı sürekli olarak 2050 yılına kadar artacağı ve gıda talebinde istikrarlı bir artışa rağmen gıda artış miktarının altında kalacağı öngörülmektedir. Bu durum gıda güvenliği olumlu bir durumdur. Dolayısıyla Türkiye dış etkenler senaryosuna göre 2050 yılına kadar ihtiyacından fazla bir miktarda tarımsal üretime devam edecektir.

**Şekil 26.** Dış Etkenler Senaryosu Enerji Arz- Tüketim Değişken Grafikleri



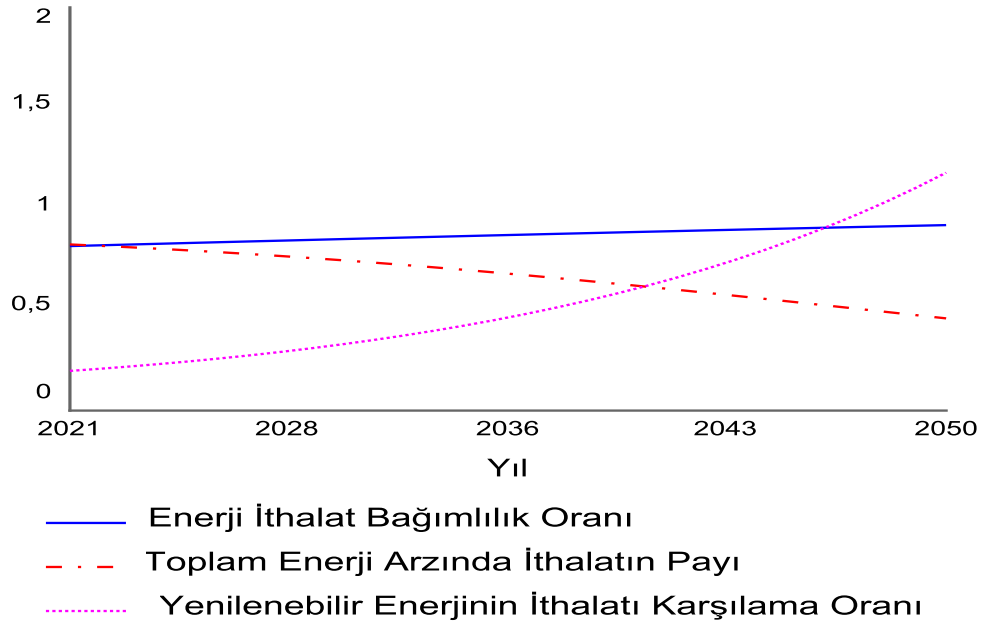
Dış etkenler senaryosu biyoenerji arzındaki artışı çok sınırlı bir miktarda etkilediğinden dolayı enerji ile ilgili değişken üzerinde ciddi bir etki göstermediği, yenilenebilir enerji arzındaki artışı çok az miktarda etkilediği görülmektedir. Buna karşın biyoenerji kaynağında yaşanan bu artışın şekil 23’ te görüldüğü üzere biyoenerji potansiyelinde sürekli bir artışa neden olacağı görülmektedir.

**Şekil 27.** Dış Etkenler Senaryosu Enerji Tüketimi- Emisyon İlişkisi



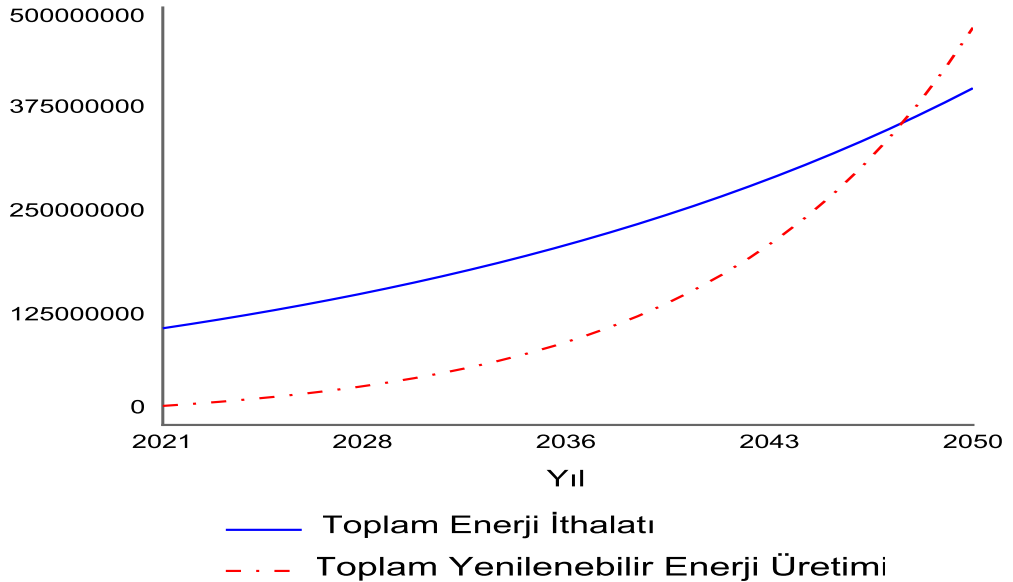
Bu senaryoda biyoenerji üretiminde artışın çok sınırlı olması nedeniyle tüketilen enerji miktarı başına düzen emisyon miktarını çok az etkilemiştir.

**Şekil 28.** Dış Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı Değişken Grafikleri



Dış etkenler senaryosunda enerji ithalat değişkenlerinin çok fazla etkilenmediği, dolayısıyla bu senaryonun enerji ithalat değişkenleri üzerinde etkisiz olduğu görülmektedir.

**Şekil 29.** Dış Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı-Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri



Bu senaryoda toplam yenilenebilir enerji arzındaki artışın 2050 yılına varmadan toplam yapılan enerji ithalatını yakalaması beklenmektedir. Ancak dış etkenler senaryosunda

biyoenerji üretimindeki artışın çok kısıtlı olması nedeniyle bu yenilenebilir enerji arzındaki artışta diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük etkisi olduğu görülmektedir.

### 5.5.3. Üçüncü Senaryo

Çalışmanın üçüncü senaryosu olarak biyoenerji arzını doğrudan etkileyen değişkenler nedeniyle iç etenler senaryosu olarak isimlendirilmiştir. Bu senaryoda enerji arzını artırmak amacıyla Türkiye biyoenerji potansiyelinin biyoenerji arzı olarak değerlendirilmesi amacıyla, biyoenerji değerlendirme oranında artış sağlanmıştır. Buna ek olarak da biyoenerji potansiyelinin artırılması amacıyla yapılan toplam tarımsal üretimin belli bir kısmının enerji amaçlı kullanıldığı varsayılarak senaryo oluşturulmuştur.

Şekil 30. Üçüncü Senaryo ve Arayüzü



#### 5.5.3.1. Üçüncü Senaryonun Nedeni

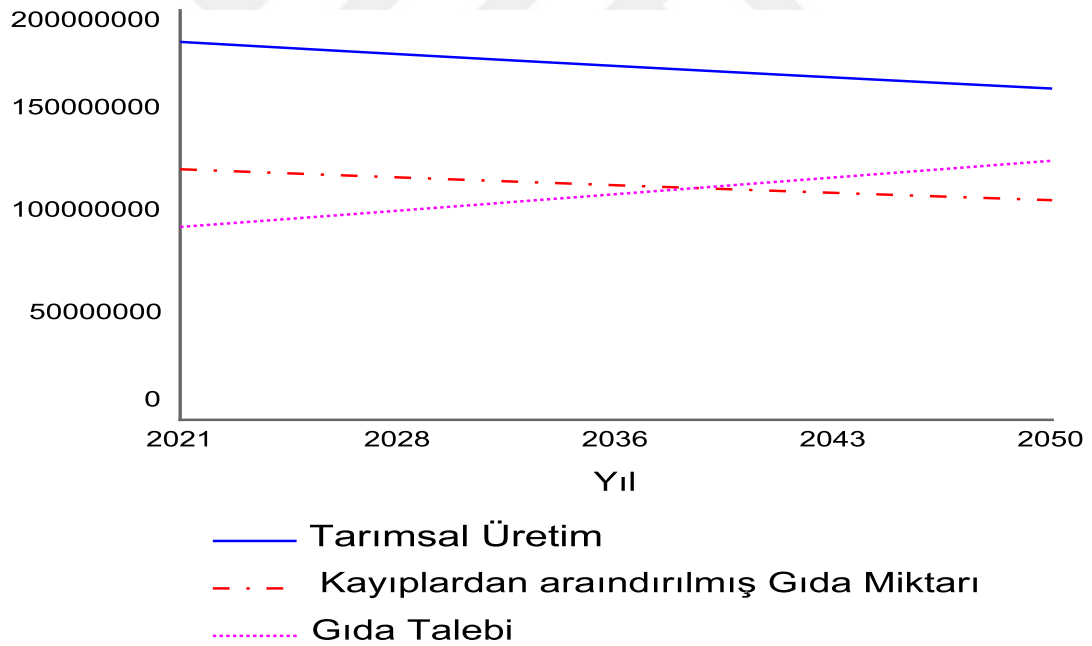
İç etkenler senaryosunda biyoenerji arzının artırılması amaçlanmıştır. Bu durumda potansiyel değerlendirilmenin artırılmasıyla diğer etkenlerin nasıl bir etkiye maruz kaldıkları gözlemlenecektir. Tarımsal üretimin çok az bir kısmının dahi enerji amaçlı yapılması

durumunda, literatürde çok sık rastlanılan enerji amaçlı üretim-gıda amaçlı üretim rekabetinin var olma durumu Türkiye özelinde incelenebilecektir.

### 5.5.3.2. Üçüncü Senaryonun Sonuçları

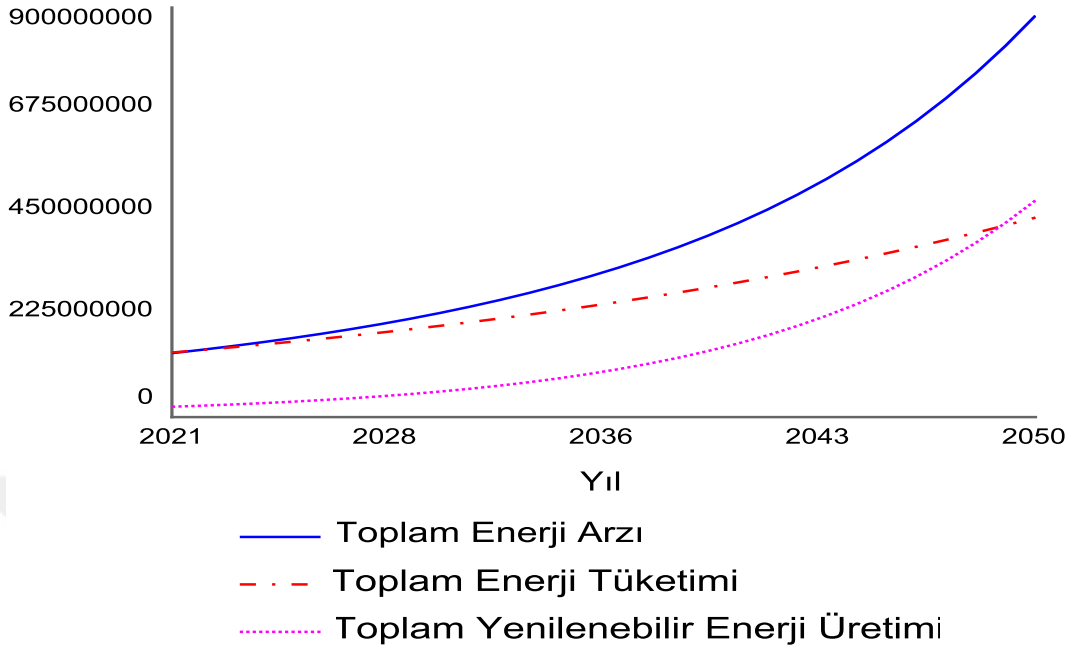
Bu senaryoda sonuç olarak, biyoenerji potansiyelinde yaşanan değerlendirme oranındaki artış ve enerji amaçlı tarımsal üretim artışı biyoenerji arzının artırdığı görülmektedir. Ancak biyoenerji arzında yaşanan bu artışın Türkiye' nin 2050 yılına kadar ki enerji talebini karşılamadaki payında ciddi manada bir etki oluşturamadığı görülmektedir. Buna bağlı olarak diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beraber enerji güvenliğini ve emisyon miktarını olumlu etkileyeceği ancak gıda güvenliği üzerinde olumsuz bir etki ortaya koyacağı gözlemlenmektedir.

Şekil 31. İç Etkenler Senaryosu Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri



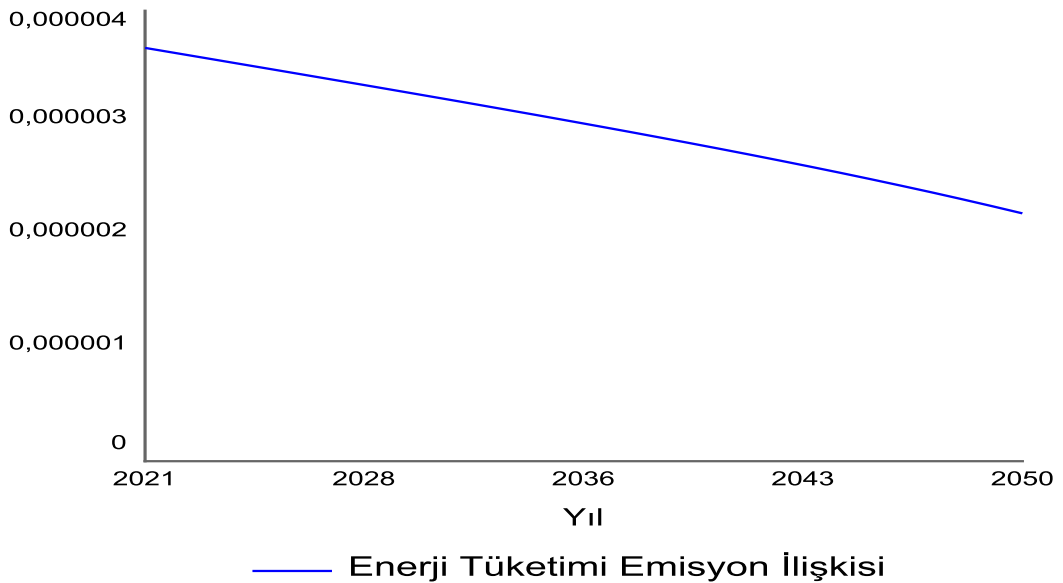
Dış etkenler senaryosu sonuç olarak; gıda arzını olumsuz etkileyeceği görülmektedir. Türkiye' de gıda arzının gıda talebini 2050 yılına kadar karşılayabilme özelliği ortadan kalkmaktadır. Bu senaryonun uygulanması durumunda 2040' a varmadan miktar olarak Türkiye' nin kendi kendine yeterlilik özelliğini kaybedeceği ve gıda arzında dışa bağımlılığın artacağı gözlemlenmektedir.

**Şekil 32.** İç Etkenler Senaryosu Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri



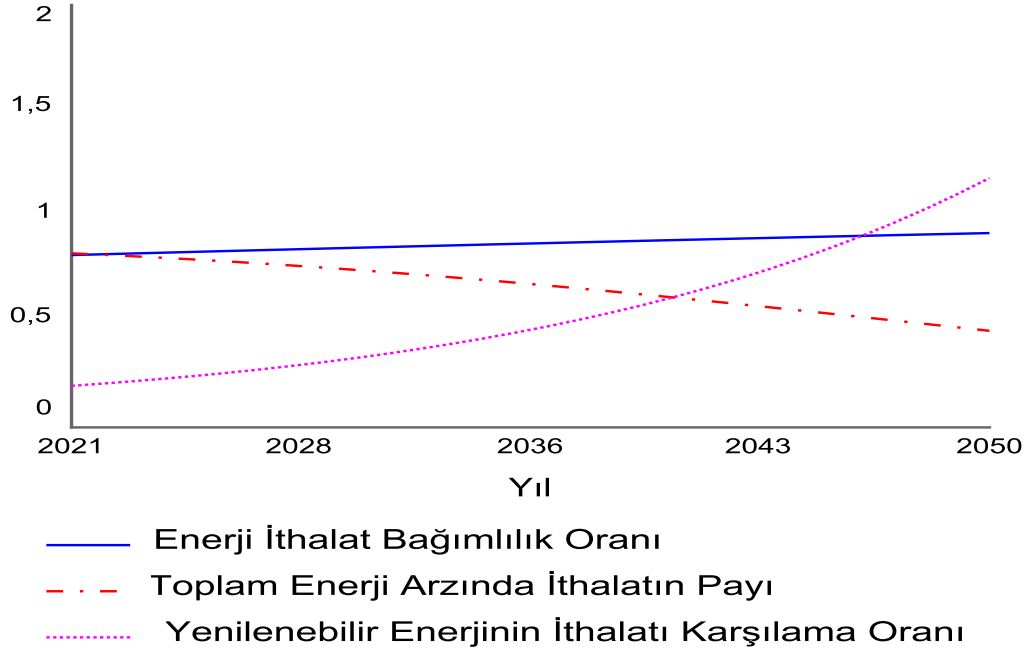
İç etkenler senaryosuna göre biyoenerji arzında yaşanacak olan artışın yenilenebilir enerji arzı içerisindeki katkısının artacağı görülmektedir. Buna bağlı olarak da yenilenebilir enerji arzının olumlu etkileneceği gözlemlenmektedir. Bu artışta paralel olarak enerji arzını artırmaktadır. Yenilenebilir enerji arzındaki yaşanacak olan bu artışın, enerji talebini 2050 yılına doğru karşılayabilme potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

**Şekil 33.** İç Etkenler Senaryosu Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi



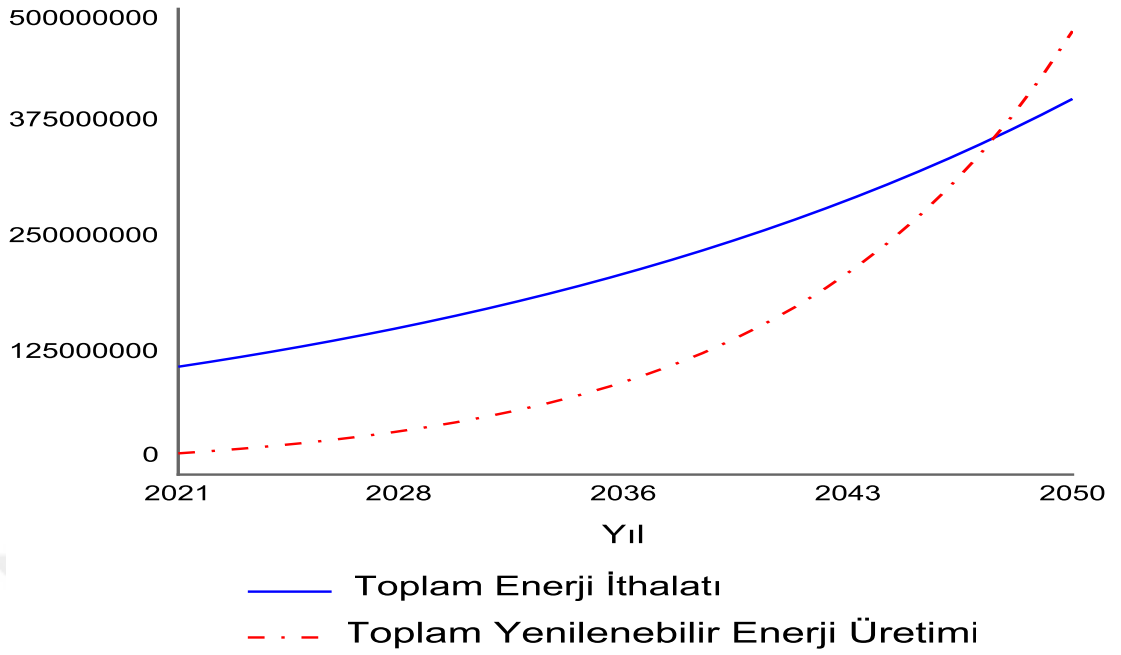
Biyoenerji arzında artışın amaçlandığı bu iç etkenler senaryosunun da atmosfere salınan karbondioksit emisyon miktarı üzerinde, tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarının azalması şeklinde bir etkide bulunduğu görülmektedir.

**Şekil 34.** İç Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı Değişken Grafikleri



İç etkenler senaryosunun sonucu olarak biyoenerji arzında yaşanan artış ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan artışların enerji arzı içerisindeki ithalatın payını düzenli olarak azaltacağı, buna bağlı olarak yenilenebilir enerji arzının ithalatı karşılayabilme oranının üstel bir şekilde artış göstereceği beklenmektedir.

**Şekil 35.** İç Etkenler Senaryosu Enerji İthalatı-Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri



Sonuç olarak bu senaryonun odağını oluşturan biyoenerji arzındaki artış ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan artışların oluşturduğu toplam yenilenebilir enerji arzının, Türkiye’deki toplam enerji ithalatını 2040’ların ortalarına doğru yakalayacağı gözlemlenmektedir.

#### **5.5.4. Dördüncü Senaryo**

Çalışmanın dördüncü senaryosu dış etkenler senaryosu ile iç etkenler senaryosu bir arada düşünülerek oluşturulmuştur. Bu nedenle bu senaryo ‘karma senaryo’ olarak isimlendirilmiştir. Bu senaryoya göre biyoenerji arzını dolaylı olarak etkileyen dış etkenlerden tarımsal verim artışı sağlanması, ekilebilir alan kayıplarının önlenmesi ile gıda kayıplarının (israfın önlenmesi) azaltılmasından ve biyoenerji arzını doğrudan etkileyen biyoenerji değerlendirme oranı ile enerji amaçlı tarımsal üretimin oluşturduğu iç etkenler senaryosu bir arada düşünülerek oluşturulmuş bir senaryodur.

**Şekil 36. Dördüncü Senaryo ve Arayüzü**



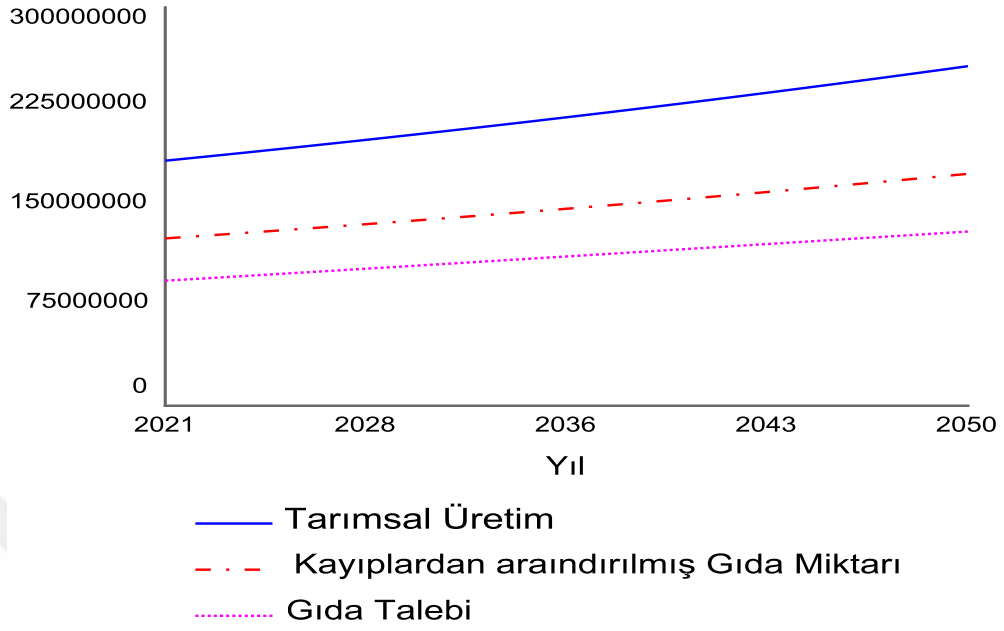
#### 5.5.4.1. Dördüncü Senaryonun Nedeni

Karma senaryoda dış etkenler senaryosunun gıda güvenliği üzerindeki olumlu etkisi ile iç etkenler senaryosunun enerji güvenliği üzerindeki olumlu etkisi beraber düşünülerek bu iki senaryonun karma olarak uygulanması durumunda 2050 yılına kadar değişkenler üzerindeki etkisinin nasıl olacağı görülmeye çalışılacaktır.

#### 5.5.4.2. Dördüncü Senaryonun Sonuçları

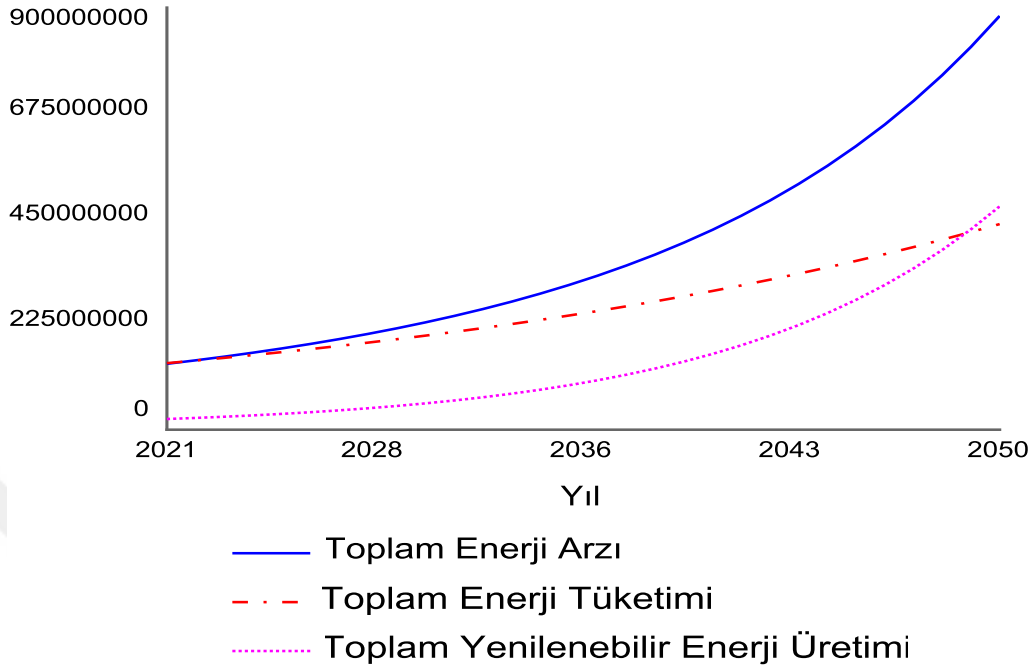
Karma senaryo dış etkenler senaryosunun ve iç etkenler senaryosunun diğer değişkenler üzerindeki olumsuz etkilerini adeta ortadan kaldırmaktadır. Şu şekilde 2050 yılına kadar hem gıda güvenliğinin sağlanmasında, hem enerji güvenliğinin sağlanmasında hem de emisyon miktarının azaltılmasını olumlu etkilediği görülmektedir. Bunun yanında hem biyoenerji arzının düzenli olarak artmasını sağladığı ve ayrıca biyoenerji potansiyelinin de sürekli olarak artırdığı gözlemlenmektedir.

**Şekil 37.** Karma Senaryo Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri



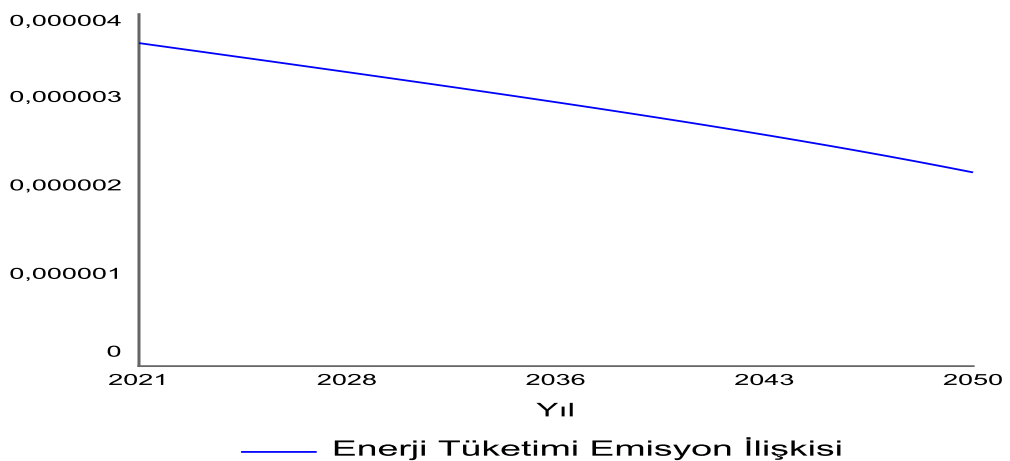
Karma senaryoda dış etkenler senaryosunun gıda değişkenleri üzerindeki tüm etkileri aynı şekilde gözlemlenmektedir. Bu senaryoda gıda arzının olumlu etkilendiği ve gıda israfı ile beraber doğrudan kayıplardan arındırılmış gıda miktarını da olumlu etkilediği gözlemlenmektedir. Bu senaryoya göre 2050 yılın kadar gıda arzının olumlu etkilendiği ve Türkiye' nin gıda arzında miktar olarak kendi kendine yeterlilik özelliğini devam ettirdiği görülmektedir.

**Şekil 38.** Karma Senaryo Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri



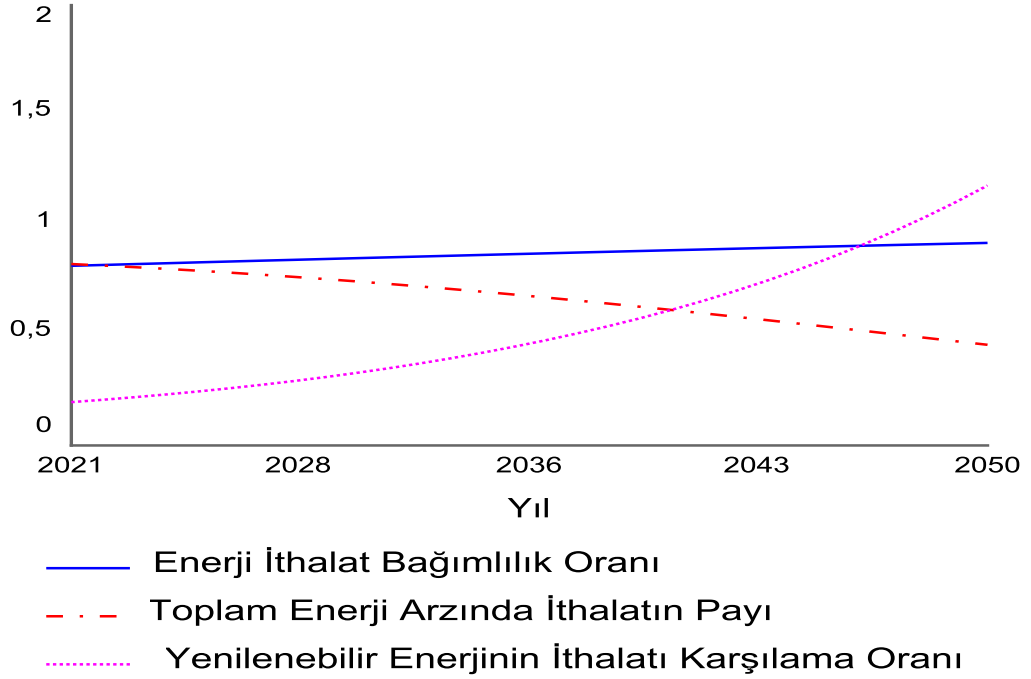
Dış etkenler senaryosunun gıda değişkenleri üzerindeki olumlu etkisine benzer olarak, karma senaryoda iç etkenler senaryosunun enerji değişkenleri üzerindeki olumlu etkisini olduğu gibi yansıttığı görülmektedir. Biyoenerjinin de içinde bulunduğu toplam yenilenebilir enerji arzındaki artışa paralel olarak toplam enerji arzında da artış yaşanmakta ve 2050 yılına varmadan toplam yenilenebilir enerji, miktarının toplam enerji talebini karşılama potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

**Şekil 39.** Karma Senaryo Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi



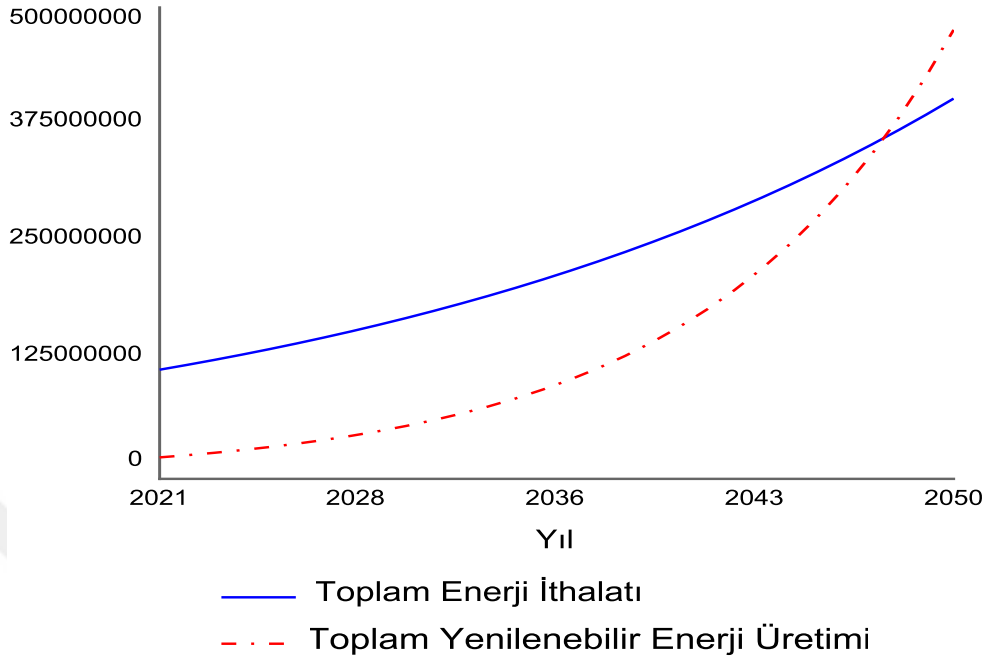
Karma senaryonun atmosfere salınan karbondioksit artış hızını azalttığı görülmektedir. Bu durum toplam tüketilen enerji içerisindeki yenilenebilir enerji miktarının artmasıyla, tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarının azalmasını sağladığı görülmektedir.

**Şekil 40.** Karma Senaryo Enerji İthalatı Değişken Grafikleri



Karma senaryoya göre yenilenebilir enerji arzında yaşanan olumlu artışın, toplam enerji arzı içerisindeki ithal edilen enerjinin payının azalmasını sağlamaktadır. Bu şekilde 2040' lara doğru toplam yenilenebilir enerji arzının ithal edilen enerji miktarını yakalayacağı görülmektedir. Bunun yanında enerjide ithalat bağımlılık oranının artış hızı da azalmaktadır.

**Şekil 41.** Karma Senaryo Enerji İthalatı-Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri



Karma senaryoya göre 2050 yılına varmadan yenilenebilir enerji miktarında yaşanan olumlu gelişmelerin devam etmesi durumunda ithal edilen toplam enerji miktarını yakalayabilecektir.

#### 5.5.5. Beşinci Senaryo

Karma senaryo olarak adlandırdığımız dördüncü senaryoya nüfus planlamasını da ekleyerek beşinci senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryonun odak noktasını nüfus hedeflemesi oluşturmuştur. Sürekli azalış eğilimi gösteren doğurabilecek kadın başına düşen çocuk sayısı için 2,10 nüfusun yenilenme düzeyi olarak kabul görmektedir. Türkiye’ de 2017 yılından itibaren doğurabilen kadın başına düşen çocuk sayısı 2’ nin altına inmiş ve azalış durumu devam etmiştir. Bu durum nüfusta yenilenmenin sona erdiği, gittikçe yaşlanmanın ağırlık bastığı bir nüfus yapısının oluşmasına neden olmaktadır. Nüfusun yaşlanması da beraberinde nüfusun azalması sorununu getirmektedir. Senaryomuza göre karma senaryoya ek olarak ortalama çocuk sayısı 2 olarak sabit kalacağı düşünülmüş ve gelişmekte olan bir ülke olarak beslenme alışkanlığında bir değişim yaşanacağı, gıda tüketiminin artacağı varsayılmıştır.

Şekil 42. Beşinci Senaryo ve Arayüzü



#### 5.5.5.1. Beşinci Senaryonun Nedeni

Yıllardır genç nüfus oranının yüksek olması avantajıyla övünen Türkiye gittikçe bu avantajını yitirmeye başlamıştır. 1990' lı yıllarda %4 civarında olan yaşlı nüfus günümüzde %10' lara dayanmış bulunmaktadır. Görüldüğü gibi çok hızlı bir şekilde toplam nüfus içerisinde yaşlı nüfus oranının arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum Türkiye gibi gelişmekte olan bir ülke için ileride ciddi manada sosyo-ekonomik sorunlara neden olacaktır. Nüfus içerisindeki doğurganlık düzeyinin nüfus yenilenme yüzeyinin altına inmesi, devlet mekanizmasının devamlılığı açısından milli bir sorun olarak görülmektedir.

Beslenme alışkanlığı ülkelerin gelişme durumuna göre farklılık göstermektedir. Ülkenin gelişme düzeyi arttıkça tüketilen gıda miktarının arttığı tespit edilmiştir. Bu durumda gelişmekte olan bir ülke olarak Türkiye' de beslenme alışkanlığının değişeceği, tüketilen gıda miktarının artacağı düşünülmüştür.

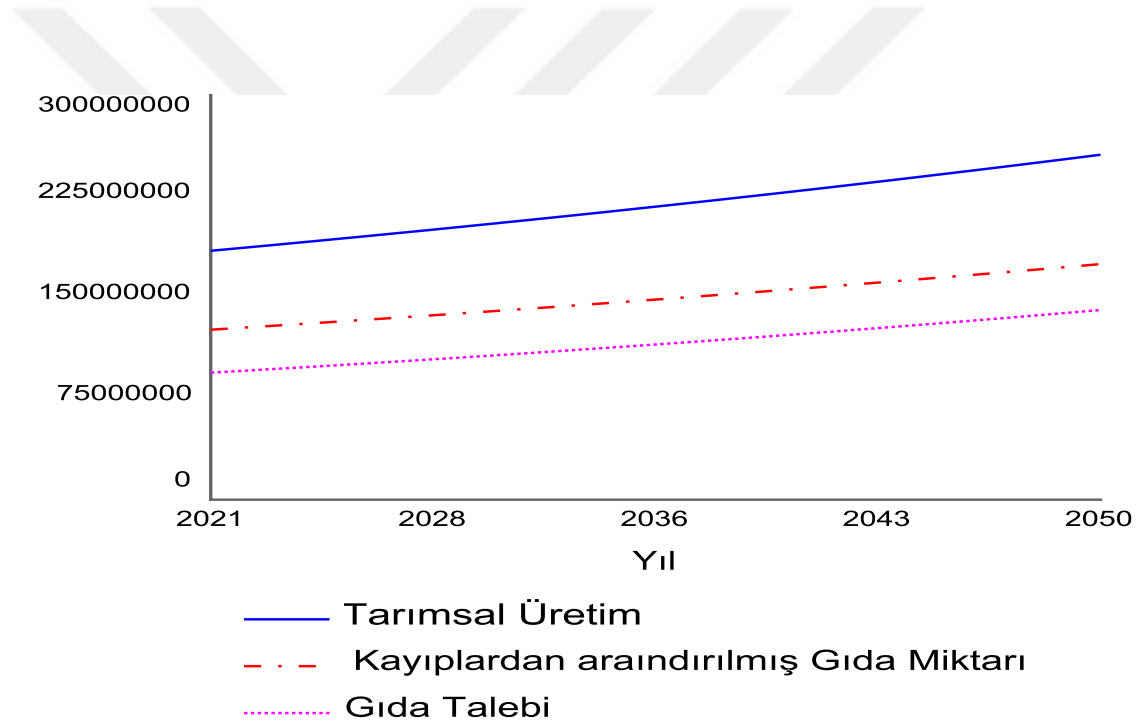
Bu senaryoda nüfus hedeflemesine ve beslenme alışkanlığının değişmesine bağlı olarak gıda talebinde bir artışın söz konusu olacağı düşünülmüştür. Bu artışın biyoenerji

kaynaklarını nasıl etkileyeceği ve dolayısıyla biyoenerjiye bağlı değişkenleri nasıl etkileyeceği gözlemlenmek istenmiştir.

#### 5.5.5.2. Beşinci Senaryonun Sonuçları

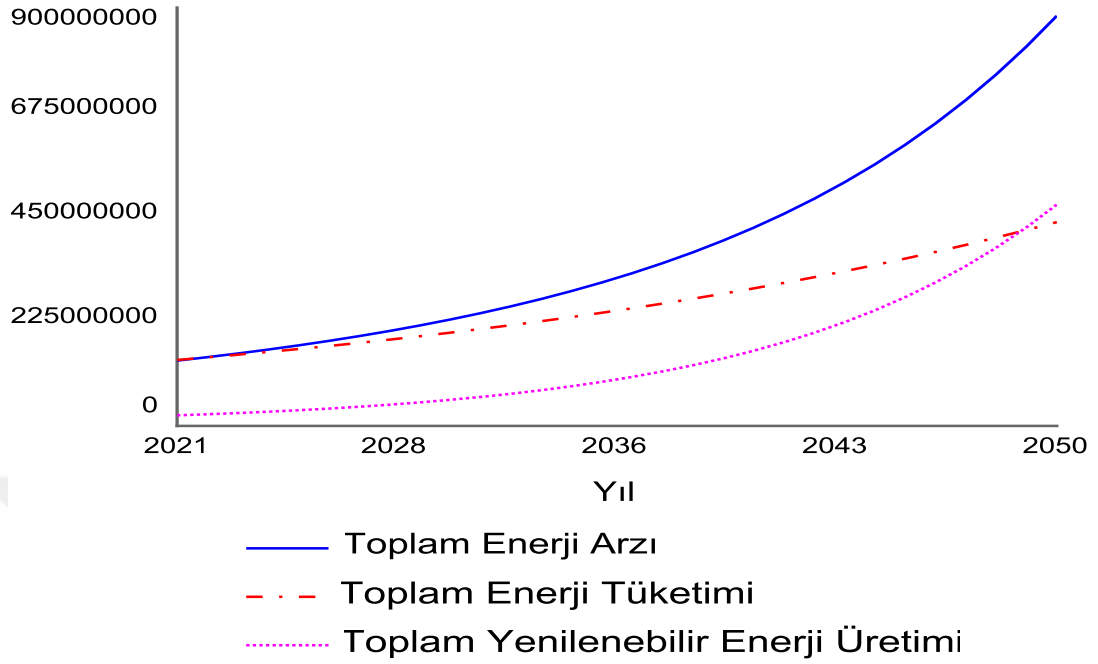
Çalışmanın beşinci senaryosunun biyoenerji arzında ciddi bir değişime neden olmadığı görülmektedir. Ancak gıda güvenliğini kısmi bir olumsuz etkilemeye rağmen, 2050 yılına kadar miktar olarak kendi kendine yeterlilik özelliğini koruyacağı görülmektedir. Karma senaryoda olduğu gibi emisyon miktarındaki artış hızını düşürdüğü, biyoenerji potansiyelinin artacağı ve yenilenebilir enerji kaynaklarındaki arz artışının devam edeceği, buna bağlı olarak da enerji güvenliği üzerinde ciddi bir olumsuz etkisinin olmayacağı görülmektedir.

Şekil 43. Beşinci Senaryo Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri



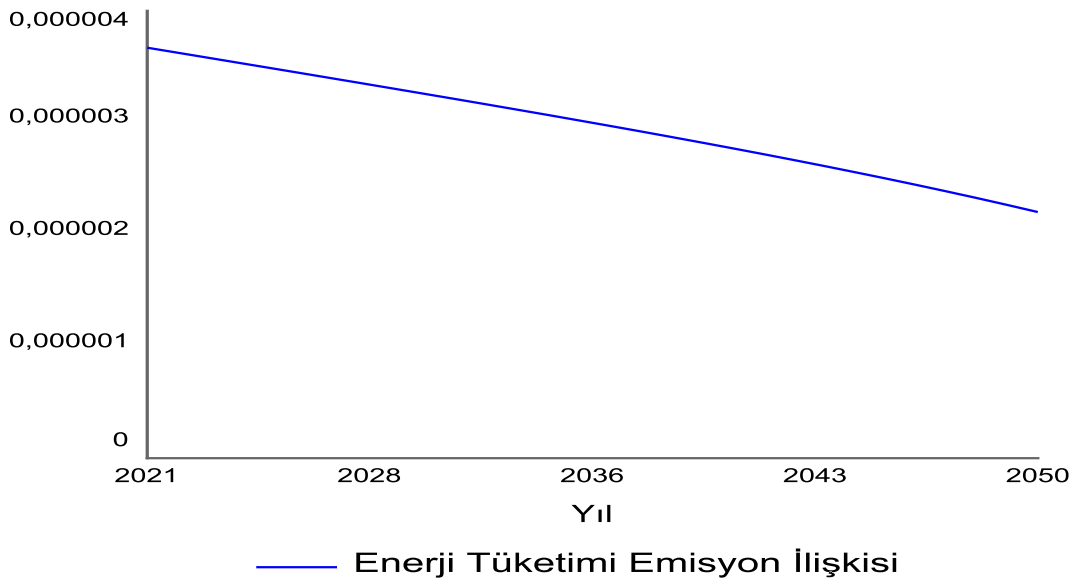
Bu senaryoda nüfus planlamasının etkisi ve beslenme alışkanlığındaki değişimin tetiklemesi nedeniyle gıda talebinde ciddi bir artış gözlemlenecektir. Tüm korumacı politikalara rağmen ekilebilir alanların sınırlı olması 2050 yılına kadar gıda arzının gıda talebinin miktar olarak üstünde olacağını göstermesine rağmen, aradaki makasın sürekli olarak azalacağı öngörülmektedir.

**Şekil 44.**Beşinci Senaryo Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri



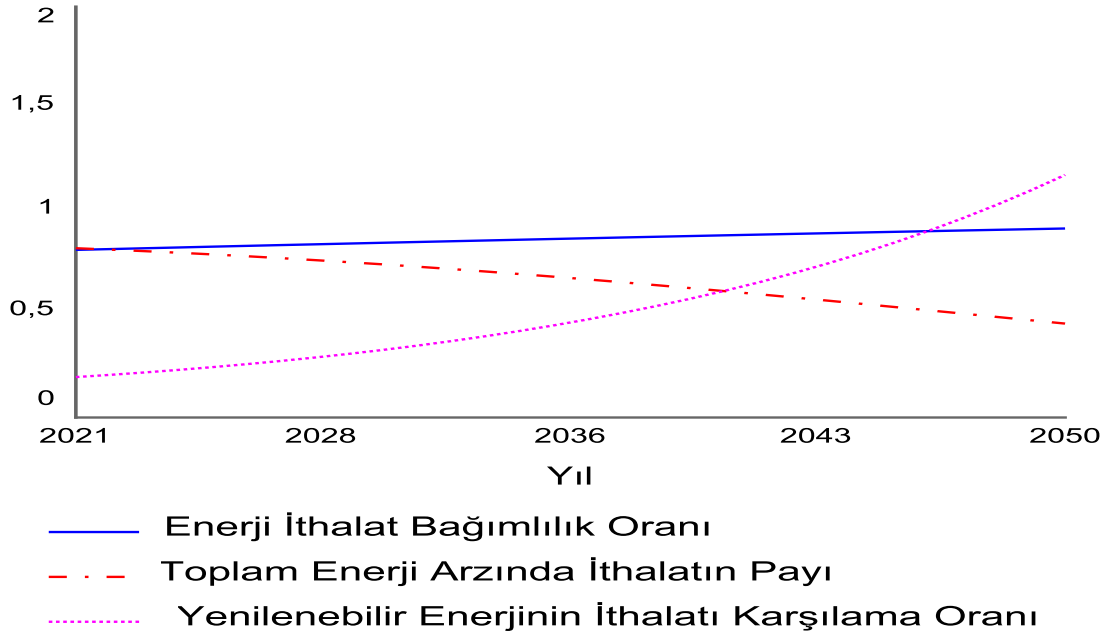
Bu senaryonun enerji arzı üzerinde ciddi bir değişken etkisinin olmadığı görülmekte olup, nüfus artışının nedeni olarak hanelerde ihtiyaç duyulan enerji talebini artırması beklenmektedir. Bunun da toplam enerji tüketimini artıracığı öngörülmektedir.

**Şekil 45.** Beşinci Senaryo Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi



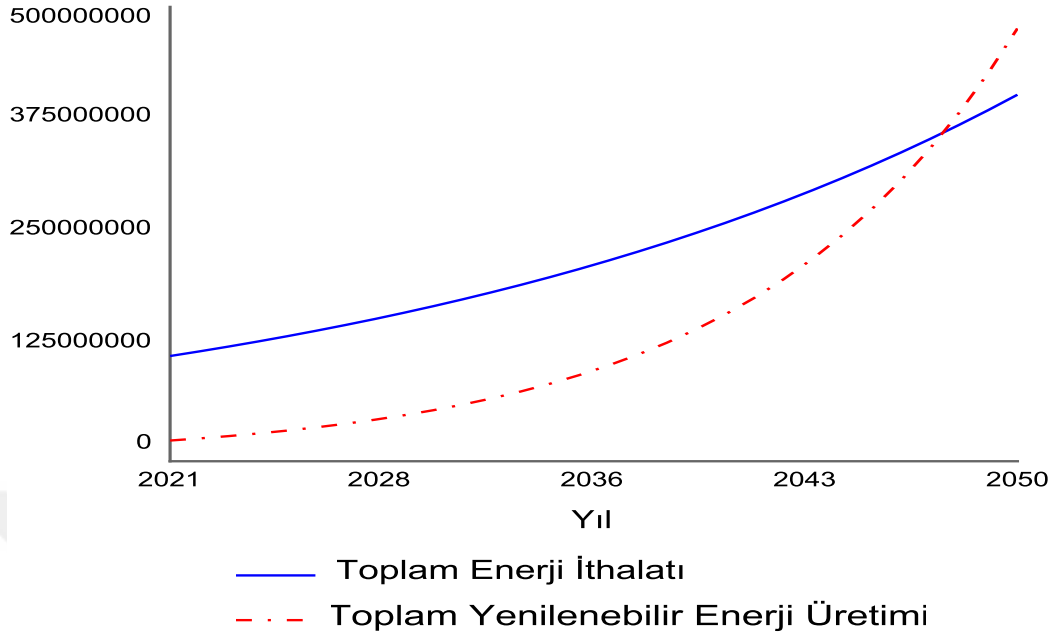
Bu senaryoya göre artan nüfus miktarı ve buna bağlı olarak artan enerji tüketiminin emisyon miktarını çok sınırlı bir miktarda artış hızındaki azalmayı yavaşlatması beklenmektedir. Emisyon miktarının artış hızındaki azalmanın çok sınırlı olmasının nedeni de toplam enerji tüketimi içerisindeki yenilenebilir enerji miktarındaki artıştır.

**Şekil 46.** Beşinci Senaryo Enerji İthalatı Değişken Grafikleri



Bu senaryoya göre nüfusun artış göstermesi beraberinde atık miktarında artışa neden olacağı ve dolayısıyla biyoenerji potansiyelinin artmasını sağladığı görülmektedir. Artan biyoenerji potansiyeli biyoenerji arzını tetiklemektedir. Bu durum toplam yenilenebilir enerji arzını artırmıştır ve buna bağlı olarak toplam enerji arzı içerisindeki ithalatın payını azaltmıştır. Bu durum Türkiye' nin enerji ithalat bağımlılık oranındaki artış hızını azalttığı görülmektedir.

**Şekil 47.** Beşinci Senaryo Enerji İthalatı- Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri



Beşinci olarak oluşturduğumuz senaryoya göre biyoenerji arzında ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan olumlu gelişmelerin aynı şekilde devam etmesi durumunda 2050 yılına varmadan arz edilen toplam yenilenebilir enerji miktarının toplam ithal edilen enerji miktarını geçmesi beklenmektedir.

#### 5.5.6. Altıncı Senaryo

Çalışmanın bu senaryosunda şimdiye kadar uygulanan beş senaryo göz önünde bulundurularak enerji güvenliği ile gıda güvenliğini olumlu etkileyen değişkenler ekseninde oluşturulmuş ideal bir senaryodur. Bu senaryo oluşturulurken özellikle Türkiye’de gıda arzını hiçbir şekilde olumsuz etkilemeyecek değişkenler ve değerler kullanılmaya çalışılmıştır. Hem biyoenerji arzını olumlu etkileyecek hem de gıda güvenliğini artırıcı etkiler yapacak şekilde senaryo tasarlanmıştır. Bu itibarla biyoenerji kaynağı olarak sadece tarımsal ve belediye atıkları düşünülmüştür. Hiçbir şekilde gıda-enerji rekabeti oluşturmayacak bir senaryo oluşturulmuştur. Nüfus planlaması toplumsal kabul yönü, uygulama zorluğu ve başarı yakalamada uzun bir süre gerekliliği nedeniyle bu senaryoya dahil edilmemiştir. Türkiye nüfusunun olağan akışına devam edeceği varsayılmıştır.

Diğer senaryolarda görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan olumlu gelişmeler ve bu kaynaklardaki arzın üstel bir biçimde artmaya devam etmesi bunun ile ilgili değişkenlerin senaryolarda kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu nedenle bu

senaryomuza toplam arz edilen yenilenebilir enerji miktarının üçte biri (1/3) kadarının enerji ithalatına ayrılacağı varsayılarak senaryoda yer verilmiştir. Daha açık bir ifade ile miktar olarak arz edilen yenilenebilir enerji miktarının 1/3' ü kadar ithal edilen enerjinin azaltılacağı varsayılmıştır. Bu varsayım uygulanırken ithal edilen enerji oranında değişim yapılmamıştır.

**Şekil 48.** Altıncı Senaryo ve Arayüzü



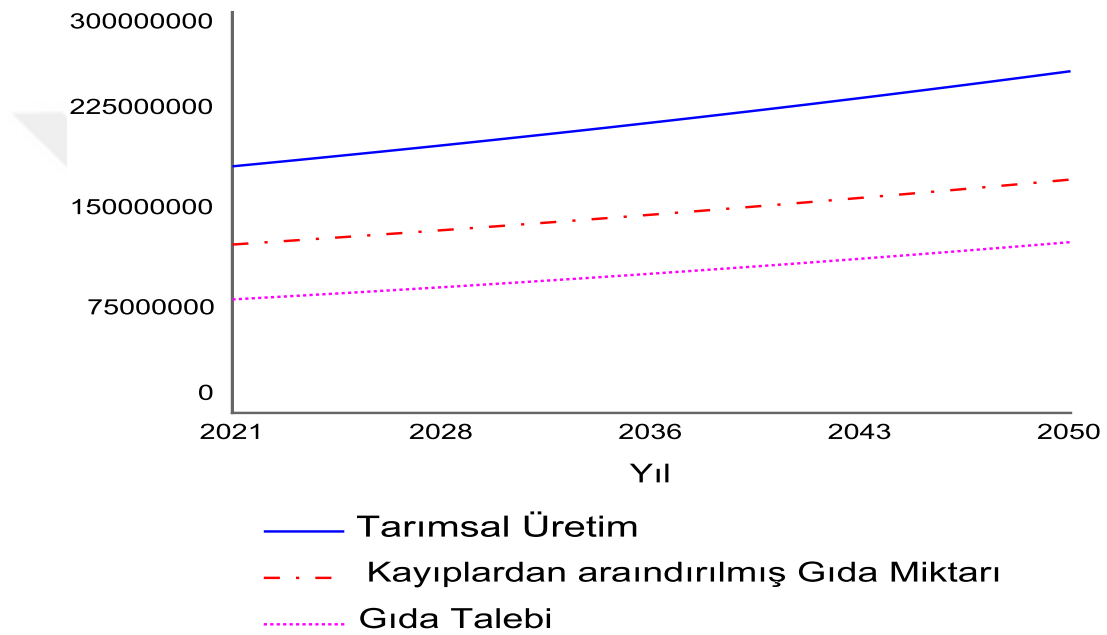
### 5.5.6.1. Altıncı Senaryonun Nedeni

İdeal senaryo olarak tasarlanan bu senaryoda; diğer senaryolar sonucunda gıda güvenliğini olumsuz etkilemeyen değişkenlerin, enerji güvenliğini ve enerji güvenliği ile doğrudan bağlantılı olan emisyon miktarını nasıl etkilediği gözlemlenmek istenmiştir. Esas itibarıyla biyoenerji arzını olumsuz etkileme potansiyeli çok kısıtlı olan ancak gıda güvenliğini etkileme boyutu yüksek olan değişkenlerin gıda güvenliği üzerindeki etkisi minimuma indirgenerek, enerji güvenliği ile emisyon miktarı üzerindeki olumsuz etkisi de minimize edilecek ideal bir senaryo oluşturma hedeflenmiştir. Ayrıca ithal edilen enerji artış oranında bir değişim yapılmadan, toplam arz edilen yenilenebilir enerji miktarının 1/3' ü kadar azaltılarak ne kadar süre sonra yenilenebilir enerji oranının ithalatı azaltılabileceği görülmek istenmiştir.

### 5.5.6.2. Altıncı Senaryonun Sonuçları

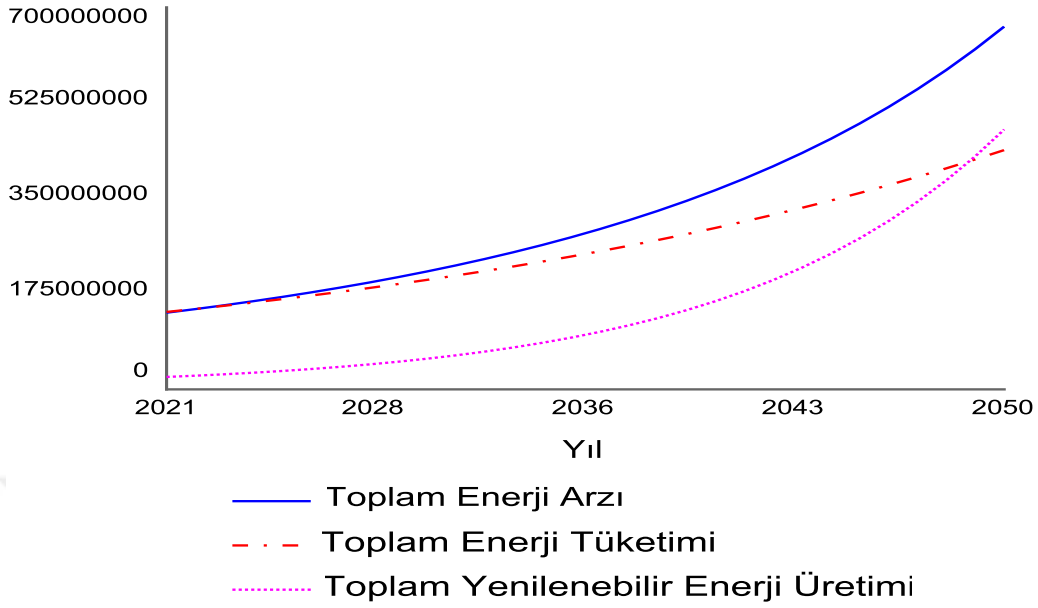
Çalışmanın altıncı senaryosunda tarımsal üretimin, buna bağlı olarak kayıplardan arındırılmış gıda miktarının sürekli artış trendinde olduğu, toplam gıda talebini karşılamada sıkıntı yaşanmadığı görülmektedir. 2050' yılına kadar gıda arzında Türkiye' nin miktar olarak kendi kendine yeterlilik özelliğini korumaktadır. İhtiyacından fazla bir gıda arzı söz konusudur.

Şekil 49. Altıncı Senaryo Gıda İle İlgili Değişken Grafikleri



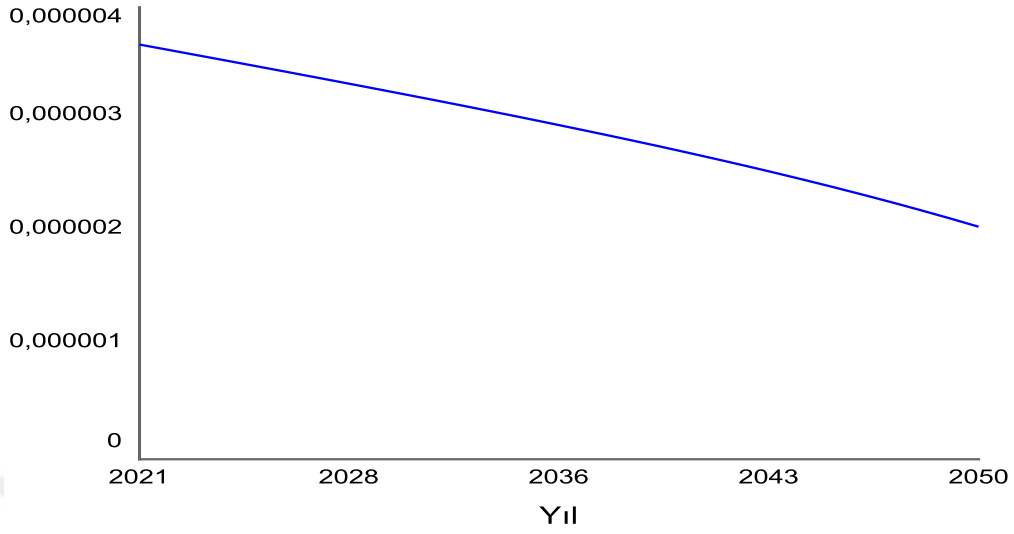
Gıda kayıplarının (israfın) önlenmesi, ekilebilir alanların korunması ve AR-GE politikalarıyla desteklenecek verim artışının sağlanması ile beraber biyoenerji arzının gıda arzı üzerindeki baskısının azaltılmasıyla gıda arzında olumlu bir artışın oluşmasını sağlayacaktır.

**Şekil 50.** Altıncı Senaryo Enerji Arz-Tüketim Değişken Grafikleri



Biyoenjrinin, diğr senaryolar göz önünde bulundurularak, gıda arzı üzerindeki baskısının en aza indirilmesi amacıyla oluşturulan bu senaryoda biyoenjri arzında yaşanan kısmi azalmaya rağmen, toplam yenilenebilir enerji arzındaki artışın devam etmektedir. Enerji tüketimindeki düzenli artışa rağmen yenilenebilir enerji arzında yaşanan üstel artışın toplam enerji arzında da paralel olarak bir artış sağladığı görülmektedir. Yenilenebilir enerji arzında yaşanan bu artış ivmesinin devam etmesi durumunda 2050 yılına doğru toplam yenilenebilir enerji arzının toplam talebi karşılayabilecek düzeye gelecektir.

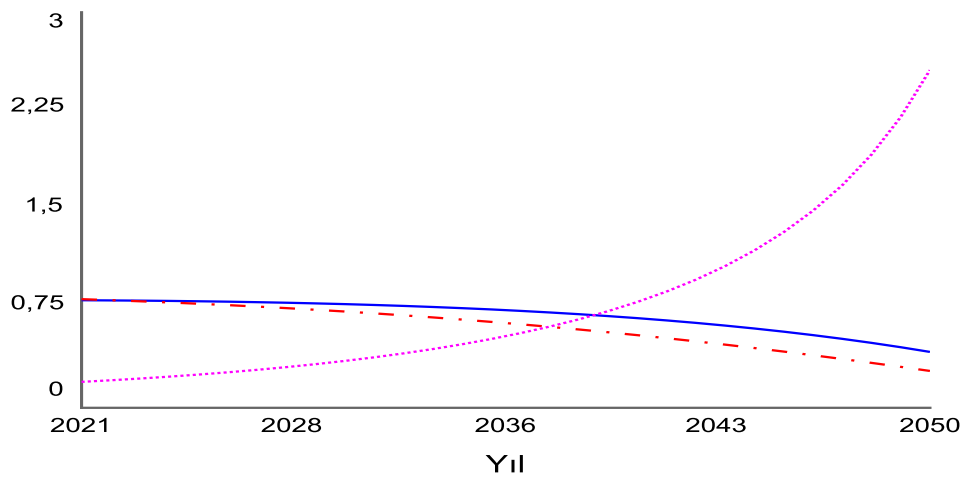
**Şekil 51.** Altıncı Senaryo Enerji Tüketimi-Emisyon İlişkisi



— Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi

Biyoenerji arzında yaşanan kısmi azalmaya rağmen diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan artışın, enerji tüketiminde yenilenebilir enerji miktarının artmasını sağlamaya devam etmektedir. Bu durum tüketilen enerji miktarında yenilenebilir enerji payındaki artışı devam ettirmektedir. Dolayısıyla tüketilen enerji miktarı başına düşen karbondioksit emisyon miktarının azalmaya devam etmesini sağlamaktadır.

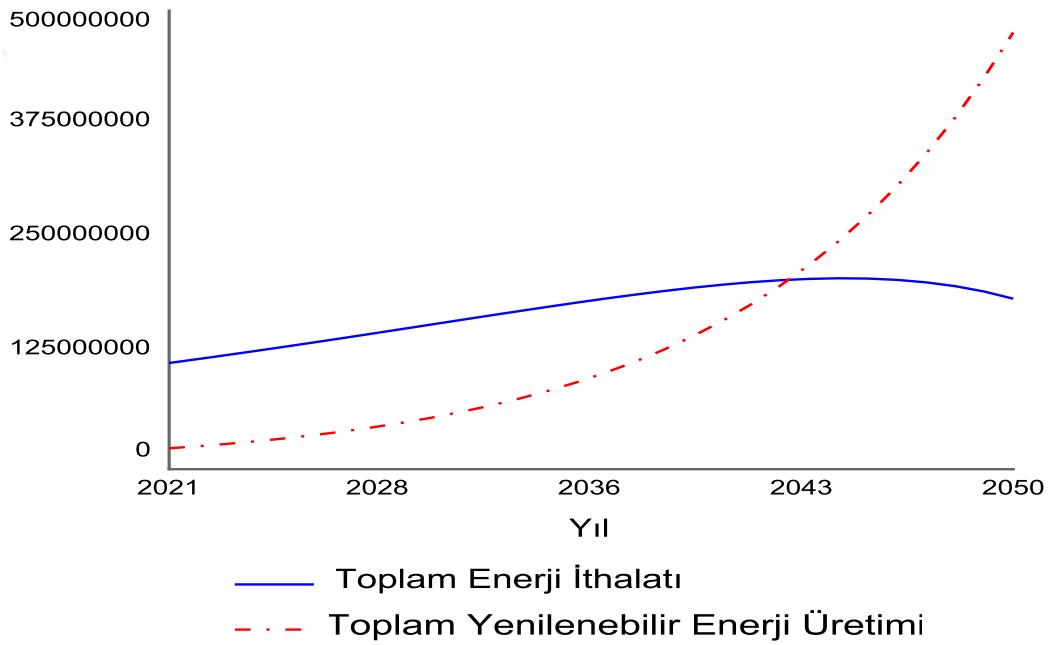
**Şekil 52.** Altıncı Senaryo Enerji İthalatı Değişken Grafikleri



— Enerji İthalat Bağımlılık Oranı  
- - - Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı  
..... Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı

Altıncı senaryomuzda biyoenerjinin gıda üretimi üzerindeki baskısının azaltılmasına rağmen diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan olumlu gelişmeler toplam enerji arzındaki yenilenebilir enerji arzının payını üstel olarak artırmaktadır. Bu durum toplam enerji arzı içerisinde ithal edilen enerji payını 2050 yılına kadar ciddi manada azaltacaktır. Toplam yenilenebilir enerji arzının ithal edilen enerji miktarını karşılama oranını da sürekli olarak olumlu etkilemeye devam edecektir.

**Şekil 53.** Altıncı Senaryo Enerji İthalatı- Yenilenebilir Enerji Değişken Grafikleri



Bu senaryonun belki de enerji güvenliği üzerindeki en görünür etkisi, yenilenebilir enerji arzının 1/3' ü kadarının ithal edilen enerjinin yerine kullanılacağı varsayımının 2050 yılına varmadan Türkiye' de enerji ithalatını azaltabilecek potansiyele erişeceği. Yenilenebilir enerji kaynaklar ve bu kaynak çeşitliliğinde yaşanan olumlu gelişmelerin devam etmesi durumunda Türkiye' de ekonomi üzerinde ciddi baskılayıcı etkisi olan enerji ithalatını azaltabilecek potansiyelin mevcut olduğu görülmektedir.

## 5.6. Senaryoların Karşılaştırılması

Sistem dinamikleri simülasyon modelimizi oluşturduğumuz Stella paket programının olarak tanıdığı en önemli özelliklerden bir tanesi de şüphesiz sonsuz sayıda senaryo oluşturma olanağıdır. Bunun yanında bu senaryoların karşılaştırılabilmesi için ortak bir grafik

platformu oluşturabilme imkanı sağlamaktadır. Çalışmanın bu başlığında Stella paket programının bu özelliği kullanılarak, çalışmamızın ana unsurlarından olan ve modelimizin temelini oluşturan gıda güvenliği, enerji güvenliği, çevre, biyoenerji arzı ve nüfus değişkenleri ele alınacaktır. Burada önceki başlıkta uygulanan altı senaryonun belirlenen bu ana unsurlar ayrı ayrı olarak her bir senaryonun bu unsurlar üzerindeki etkisinin karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bu karşılaştırmanın yapılma amacı; her bir senaryonun gıda güvenliğini, enerji güvenliğini, çevre, biyoenerji arzını ve ülke nüfusunu nasıl etkilediğinin başlık özelinde görülmesidir. Böylece bu bölümün önemli bir çıktısı olarak görülen en uygun politikanın belirlenmesinde yol gösterici olacaktır. Burada karşılaştırma yapılırken ele alınan başlık özelinde bir karşılaştırma yapılmıştır. Diğer başlıklar üzerindeki etkisi ve diğer başlıkların etkisi göz önünde bulundurulmadan konu özelinde senaryo karşılaştırmaları yapılmıştır.

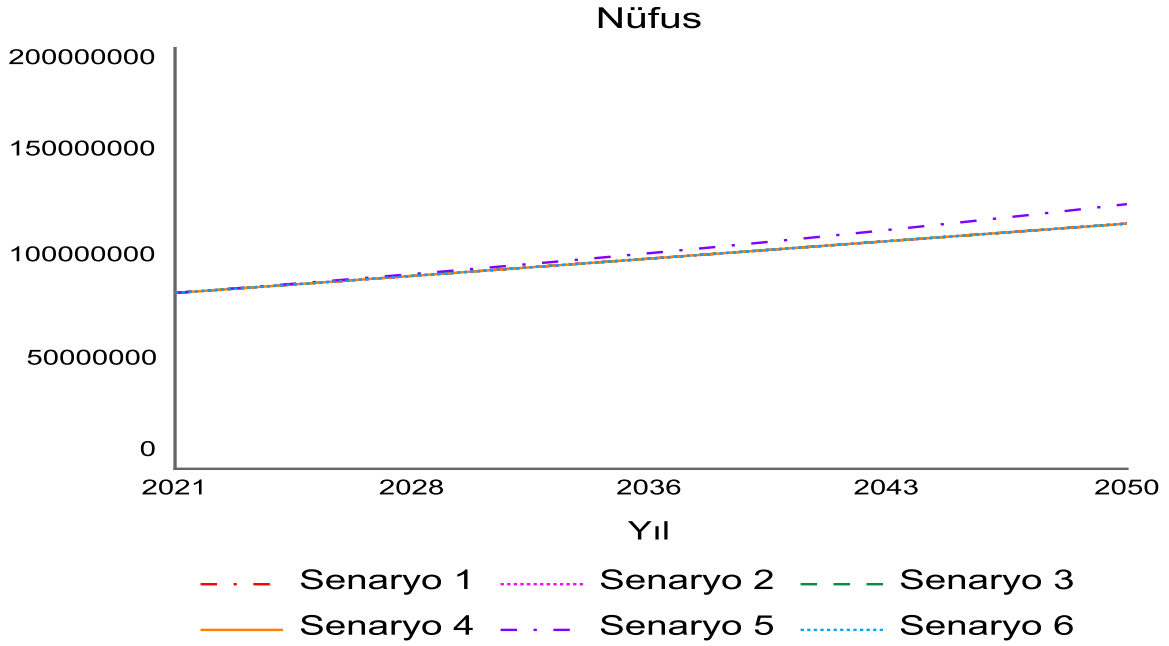
#### **5.6.1. Senaryo Karşılaştırmaları: Nüfus**

Türkiye nüfusu 2050 yılına kadar düzenli bir şekilde artış eğilimi göstereceği şekil 52' den görüleceği üzere aşıkardır. Beşinci senaryo dışında nüfus planlaması<sup>3</sup> senaryolara dahil edilmediği için nüfusta olağan dışı bir değişim gözlemlenmemektedir. Bu nedenle beşinci senaryo dışındaki diğer senaryolara göre nüfus miktarındaki artış aynı kalacaktır. Buna bağlı olarak her yıl gözlemlenen nüfus miktarları eşit olmuştur. Beşinci senaryoya doğurabilen yaştaki kadın başına düşen çocuk sayısı yenilenebilir nüfus düzeyinde tutulabilecek bir politika oluşturulması durumunda Türkiye nüfusunun 2050 yılında 125 milyon civarlarında olması beklenmektedir. Bu genç nüfus ile yaşlı nüfus arasında tam bir dengenin sağlanması anlamına gelmektedir.

---

<sup>3</sup> Nüfus planlaması yapılırken uluslar arası göç hareketleri göz ardı edilmiştir.

**Şekil 54.** Senaryo Karşılaştırmaları: Nüfus



Beşinci senaryo dışındaki diğer beş senaryoya göre herhangi bir nüfus planlaması yapılmadan, nüfus düzenleyici bir politikaya gidilmeden, nüfustaki artış oranı olağan akışına bırakıldığı takdirde ülke nüfusunun 2050 yılında 116 milyon civarında olması beklenmektedir<sup>4</sup>. Bu senaryolara göre doğurabilen yaştaki kadın başına düşen çocuk sayısı nüfusun yenilenebilir düzeyinin altında kalmaktadır. Bununla beraber doğurabilen yaştaki kadın başına düşen çocuk sayısının da her geçen yıl azalmakta olması nedeniyle ülke nüfusunun gittikçe yaşlanmasına sebebiyet verecek ve yaşlı nüfusun tüm nüfus içerisindeki ağırlığın günden güne artmasına neden olacaktır.

Nüfus yapısının ülkenin sosyo-ekonomik değişkenleri üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda etkili bir nüfus planlaması elzemdir. Bu nedenle sosyo-ekonomik olarak ideal nüfus yapısının ortaya çıktığı beşinci senaryonun, sadece nüfus parametresi özelinde bakımından Türkiye için en uygun senaryo olduğu görülmektedir.

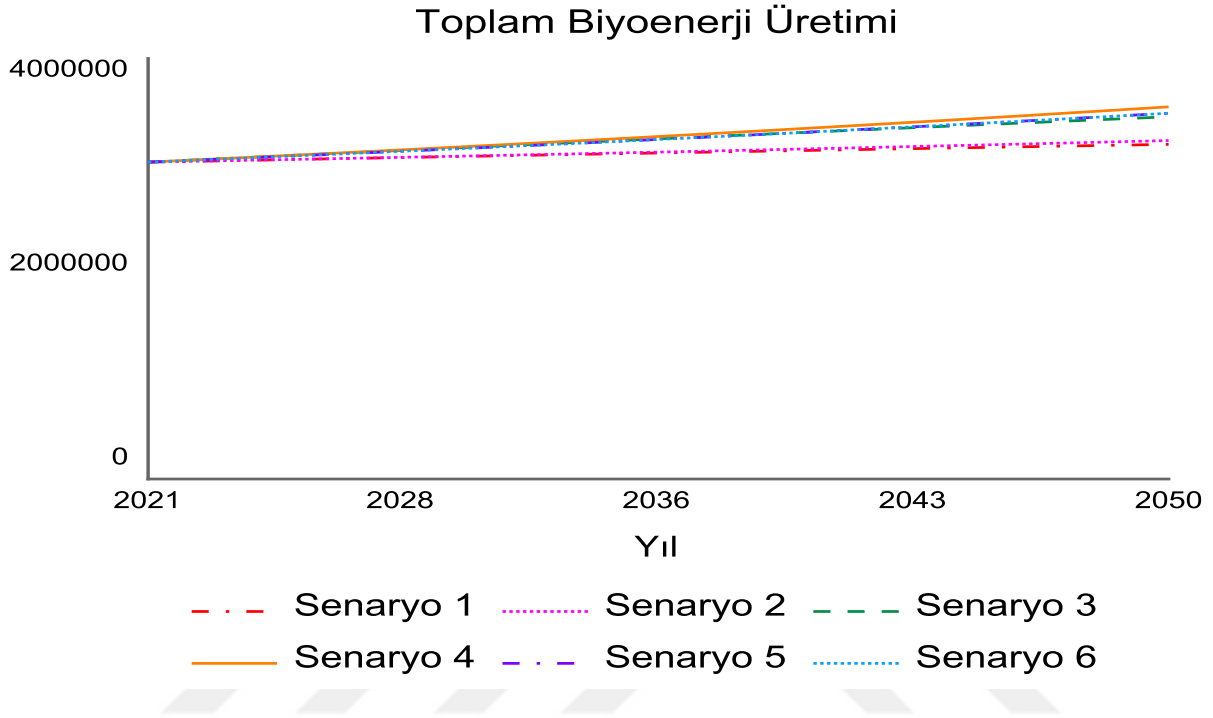
### 5.6.2. Senaryo Karşılaştırmaları: Biyoenerji Arzı

Biyoenerji arzı uygulamaya konulan her zamanki durum senaryosuna göre de belli bir artış miktarının 2050 yılına kadar devam edeceğini göstermektedir. Birinci senaryo olan her

<sup>4</sup> Ayrıntı için EK-11'e bakınız.

zamanki durum senaryosu dışında kalan diğer tüm senaryolarda da biyoenerji arzındaki artış oranı birinci senaryodan daha fazla miktarda olmak üzere devam etmektedir.

**Şekil 55.** Senaryo Karşılaştırmaları: Biyoenerji Arzı



İkinci senaryoda biyoenerji arzının birinci senaryodan daha fazla olmasını sağlayan temel etkenler tarımsal verim artışının sağlanması ile tarımsal alan kayıplarının azaltılmasıdır. Buna karşın gıda kayıplarının azaltılması durumu kaynak olarak tamamen atık eksensli bir yaklaşım sergilenen dış etkenler senaryosunda biyoenerji kaynak artışını engelleyici bir etken oluşturmaktadır. Bu nedenle bu senaryoda biyoenerji arzı çok sınırlı bir miktarda artı göstermektedir.

Üçüncü olarak uygulanan iç etkenler senaryosu tamamen biyoenerji arzını artırıcı bir politika sunmaktadır. Burada bu senaryoda biyoenerji değerlendirme oranında iyileşme sağlanması ve enerji amaçlı bir tarım politikasının devreye sokulması biyoenerji arzını diğer senaryolara nazaran ciddi manada artırmıştır.

İç etkenler ve dış etkenlerin bir arada uygulandığı senaryo olarak karma senaryo biyoenerji arzının en yüksek üretim düzeyine ulaştığı senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun nedeni olarak dış etkenler senaryosundaki tarımsal verim artışı ile tarımsal alan kayıplarında yaşanan azalma ve bunun yanında iç etkenler senaryosunda enerji amaçlı tarımsal üretim politikası biyoenerji kaynaklarını artırıcı etki yapmıştır. Bu duruma ilave

olarak biyoenerji değerlendirme oranında yaşanan olumlu oran da biyoenerji arzında önemli bir artışa neden olmuştur.

Dördüncü senaryoya eklenen nüfus değişkeni ile bu değişkenin artırıcı etki yaptığı atık miktarındaki artış bu beşinci senaryoda da biyoenerji arzının iyi bir düzeyde artış yaşanmasını sağlamıştır. Bu karşın nüfusun beslenme alışkanlığının da artırıcı bir etki oluşturduğu gıda talebi ve buna bağlı kayıpların azaltılması biyoenerji kaynağında dördüncü senaryoya göre kısıtlı bir azalmaya sebep olmuştur.

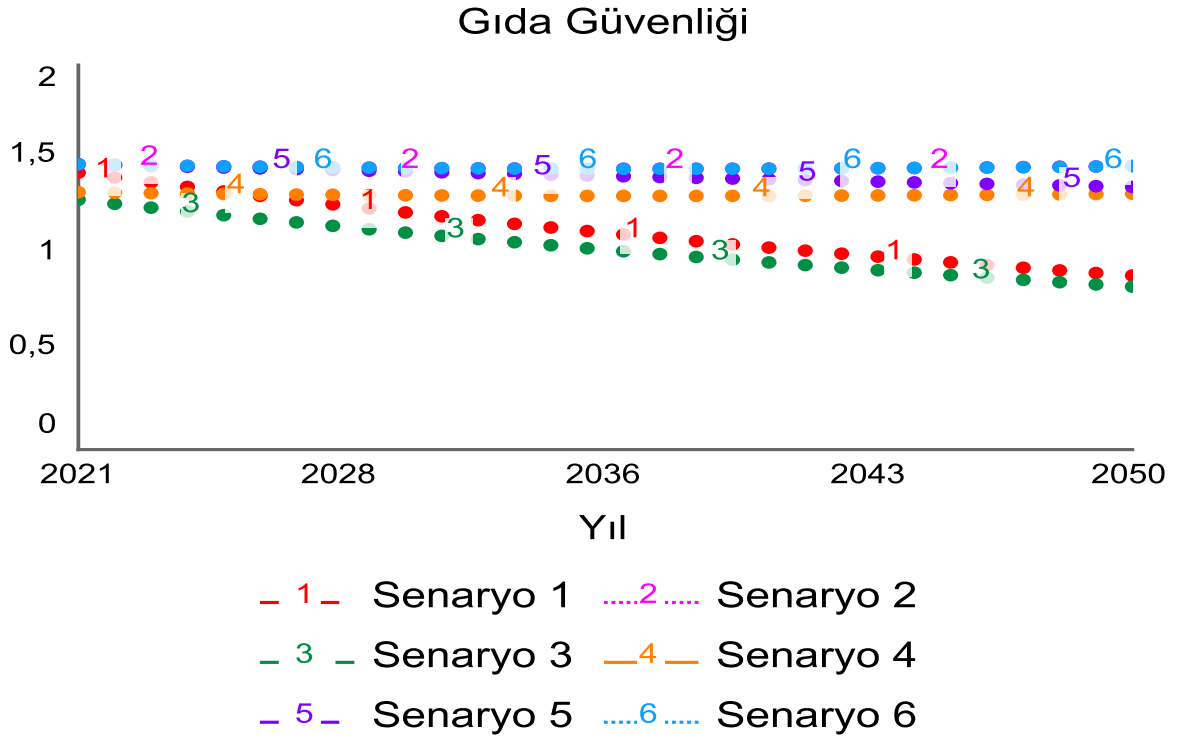
Altıncı senaryo, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarındaki olumlu gelişmeler ve biyoenerji arzının gıda güvenliği üzerindeki baskısının azaltılması amacı; biyoenerji arzının öncelik olmadığını, gıda güvenliğini sağlamanın tercih sebebi sayılarak oluşturulmuştur. Bu nedenle bu senaryoda her zamanki durum senaryosuna göre biyoenerji açısından belli bir artışın sağlanmasına rağmen, biyoenerji arzı için en uygun senaryo olmadığı görülmektedir.

Bütün bu senaryolar ve sonuçları göz önüne alındığında Türkiye için en uygun senaryonun seçilmesi biyoenerji öncelik durumuna bağlıdır. Eğer biyoenerji arzı tercih sebebi olarak görülmüş olsaydı, Türkiye için en uygun senaryonun biyoenerji arzını en yüksek düzeye çıkaran karma (dördüncü) senaryonun tercih edilmesi gerekirdi. Çünkü biyoenerji arzı özeli düşünüldüğünde biyoenerji arzında en yüksek verimin sağlandığı senaryo dördüncü senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır.

### **5.6.3. Senaryo Karşılaştırmaları: Gıda Güvenliği**

Gıda güvenliği hem küresel olarak hem de yerel olarak dünya gündemini sürekli meşgul eden bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Sınırlı kaynaklar ve artan nüfus düşünüldüğünde yaşamın sürekliliği açısından vazgeçilemezdir. Yeterli düzeyde gıdaya erişememe küresel kuruluşların ana gündem maddelerinden en önemlilerin birini oluşturmaktadır. Bu açıdan dünyanın önde gelen gıda arzı ülkelerinden biri de Türkiye' dir. Gıda arzı konusunda ihtiyacından fazlasını üretebilen öncü ülkelerdendir. Bu nedenle çalışmamızda senaryolar oluştururken Türkiye' nin bu özelliğini koruyabilmesi ilkesini de ihmal edilmemiştir. Özellikle bazı senaryolar tamamen gıda güvenliğini önceleyecek şekilde oluşturulmuştur.

Şekil 56. Senaryo Karşılaştırmaları: Gıda Güvenliği



Gıda güvenliği açısından her zamanki durum senaryosundan daha kötü senaryo olarak iç etkenler senaryosu olduğu görülmektedir. Bu senaryonun gıda güvenliği açısından en kötü senaryo olmasının asıl sebebi gıda amaçlı üretimin bir kısmının enerji üretim amaçlı kullanılmasıdır. Biyoenerji politikalarında literatürde de en sık karşılaşılan konu olan enerji amaçlı tarımsal üretim ile gıda amaçlı tarımsal üretim rekabetinin ortaya çıktığını göstermektedir. Üçüncü senaryo (iç etkenler) diğer senaryolar ile karşılaştırıldığında enerji amaçlı tarımsal üretimin gıda amaçlı tarımsal üretim üzerinde bir baskı oluşturduğunu görmekteyiz. Gıda arzı üzerindeki bu baskı miktar olarak diğer senaryolara nispeten en düşük gıda arzı ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durum iç etkenler senaryosunu Türkiye' nin gıda arzı için en kötü senaryo olarak öne çıkmasına neden olmaktadır.

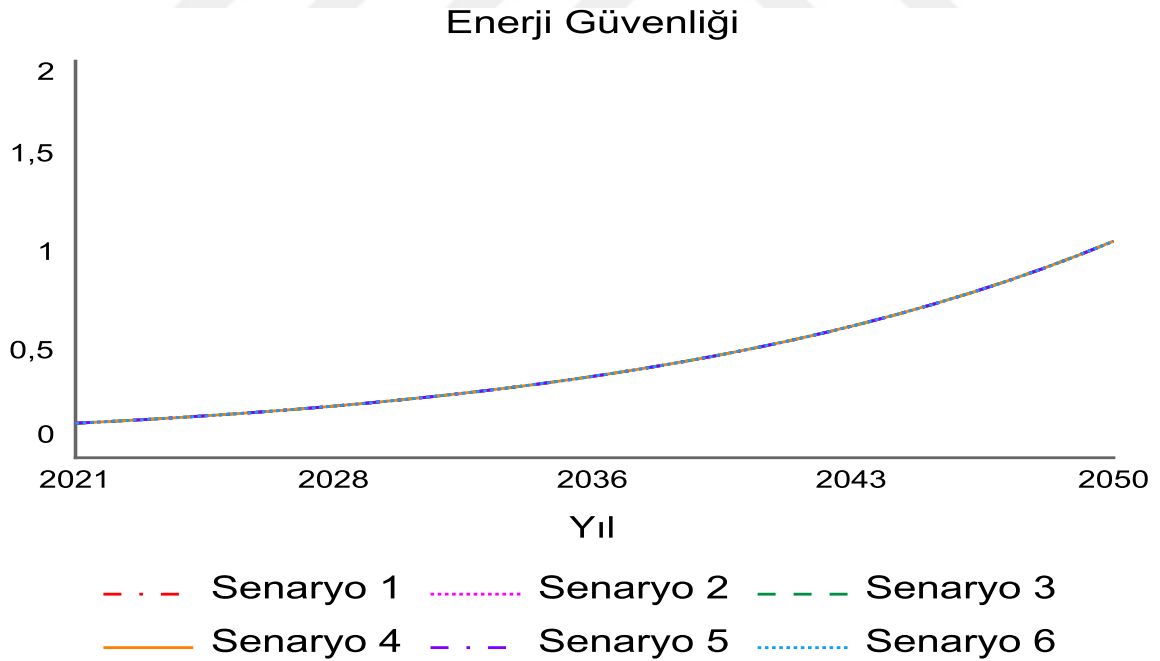
Türkiye' nin gıda güvenliği özeli düşünüldüğünde gıda arzının en yüksek miktarda olduğu senaryolar ikinci ve altıncı senaryolar olduğu şekil 54' ten net bir şekilde görülmektedir. Bu iki senaryoda gıda arzında Türkiye' nin kendi kendine yeterlilik özelliğini 2050 yılına kadar da koruyacağı, dahası ihtiyacından fazla gıda arzı sağlayacağı açıktır. Bu iki senaryoda güvenliğinin aynı şekilde sağlanmasının nedeni gıda arzı boyutu bakımından aynı korumacı senaryoların uygulanmasıdır. Bu iki senaryoda da biyoenerji arzının gıda arz

güvenliği üzerindeki baskısının ortadan kaldırılması gıda güvenliğini olumlu etkileyen bir etkidir.

#### 5.6.4. Senaryo Karşılaştırmaları: Enerji Güvenliği

Çalışmanın önceki bölümlerinden enerji güvenliğini temsilen ‘*Yerli Üretim Oranı = Yerli Enerji Üretimi / Toplam Enerji Tüketimi*’ matematiksel oranı modelde kullanılmıştı. Bu orana göre toplam tüketim yapılan enerji miktarına göre arz edilen yerli enerji miktarının artması, Türkiye’ nin enerji güvenliğini artıracaktır. Toplam tüketilen enerji miktarı içerisinde yerli enerji miktarının artması, ithal edilerek arz edilen enerji miktarının azalmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla enerji arzı içerisinde ithalat bağımlılık oranını da düşürecektir. Bu nedenle enerji güvenliği göz önünde bulundurularak oluşturulan senaryolarda yerli üretim miktarının artırılmasına dikkat edilmiştir. Burada yerli bir enerji kaynağı olarak biyoenerji arzını olumlu etkileyebilecek, biyoenerji kaynaklarını artıracak senaryolar uygulanmıştır.

Şekil 57. Senaryo Karşılaştırmaları: Enerji Güvenliği



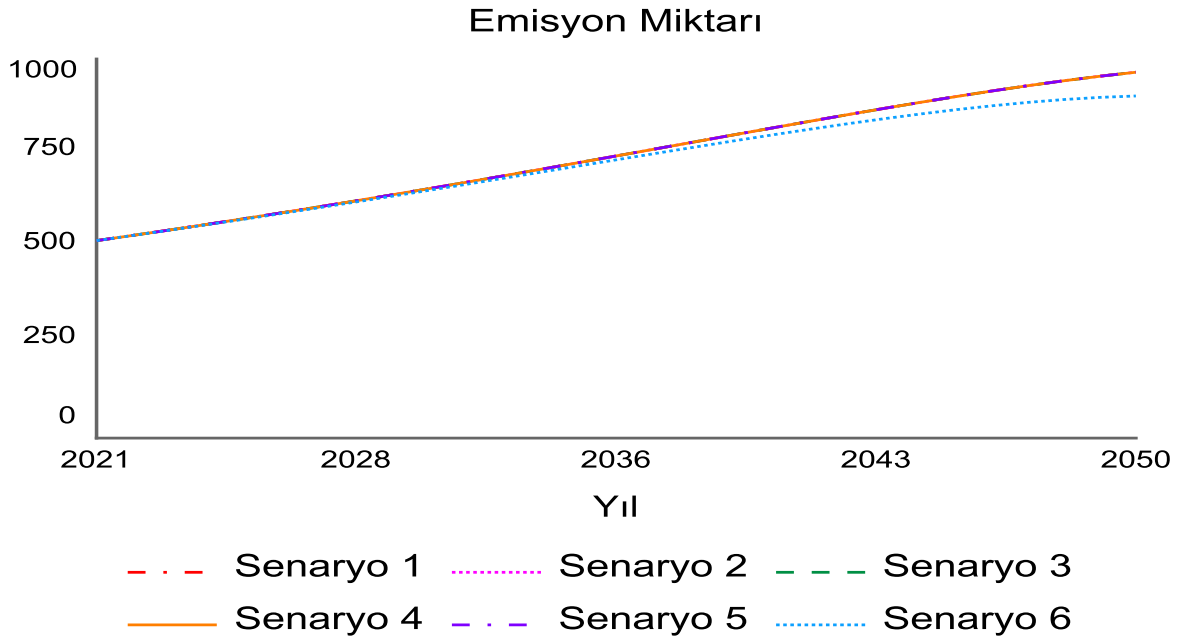
Enerji güvenliğinin uygulanan senaryolardan etkilenme durumunun incelendiği şekil 55’ te enerji güvenliğinin biyoenerji politikalarından etkilenme düzeyinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Denge Tabloları incelendiğinde arz edilen toplam enerji içerisinde modern anlamda biyoenerji arzının %1,9

civarında olduğu ve yerli olarak arz edilen toplam enerjinin de %7.1 civarında olduğu görülmektedir. Bu nedenle biyoenerji arzında oran olarak yaşanacak olan yüzdelerden değişimlerin yüksek ithalat bağımlılığı karşısında enerji güvenliğini etkileme gücü çok kısıtlı kalmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında biyoenerji kaynak artışı sağlayan senaryoların enerji güvenliğini kabul edilebilir bir düzeyde bile etkileme kapasitesine sahip değildir. Biyoenerji uygulanan politikalarının Türkiye' nin enerji güvenliğinin artırılmasında tek başına etkinliği ihmal edilebilir bir düzeydedir.

#### 5.6.5. Senaryo Karşılaştırmaları: Emisyon Miktarı

Biyoenerji politikalarının asıl tetikleyici etkeni, fosil yakıtların neden olduğu karbon emisyonlarının düşürülmesi düşüncesidir. Önceki bölümlerden de bahsedildiği gibi atmosfere salınan zararlı gazların %86' ya yakını enerji kaynaklıdır. Bu nedenle bu çalışmada biyoenerji arz artışı sağlayan senaryoların tersi istikamette emisyon miktarını düşürmesi beklenmelidir. Çünkü tüketilen enerji içerisindeki yenilenebilir enerji miktarı arttıkça tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarı düşmektedir.

Şekil 58. Senaryo Karşılaştırmaları: Emisyon Miktarı



Emisyon miktarına ilişkin senaryoların karşılaştırıldığı şekil 56 incelendiğinde, uygulanan tüm senaryolarında emisyon miktarındaki artışın azalmaya başladığı

görülmektedir. Enerji arzı içerisindeki ağırlığı düşük olan biyoenerji arzının emisyon miktarı artış hızının düşmesinde etkin olmasına rağmen, asıl etkinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında yaşanan olumlu gelişmelerin olduğu önceki bölümde senaryoların ayrıntılı incelenmesinde görülmüştü. Altıncı senaryo dışındaki senaryoları bu olumlu durumu eşit düzeyde etkilediği görülmektedir. Burada altıncı senaryoyu olumlu anlamda diğer senaryolardan ayıran asıl etken, arz edilen yenilenebilir enerji miktarının üçte biri kadarının ithal edilen enerjinin yerine kullanılmasıdır. Çünkü ithal edilen enerjinin nerde ise tamamını atmosfere en çok zararlı gaz salınımına neden olan fosil kökenli yakıtlar oluşturmaktadır. Bu yakıtlarının tüketiminin azaltılması emisyon miktarını azaltmaktadır.

### 5.7. Bulgular ve Değerlendirme

Türkiye örneğinde biyoenerji kaynak kullanımında yaşanan artışların gıda güvenliği, enerji güvenliği ve çevre üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, oluşturulan senaryolarda biyoenerji kaynaklarını etkileyen değişkenlerin gıda güvenliği, enerji güvenliği, çevre ve bunlarla bağlantılı değişkenler üzerindeki etkisi de gözlemlenmiştir. Buna göre tarımsal verim, kayıplardan arındırılmış gıda miktarı, ekilebilir alan kayıpları, biyoenerji değerlendirme oranı, enerji amaçlı gıda kullanımı, nüfus planlaması ve ithal edilen enerjinin azaltılması amacıyla kullanılan yenilenebilir enerji miktarı gibi değişkenlerin gıda güvenliği, enerji güvenliği, çevre ve bu değişkenlerle bağlantılı diğer değişkenler ile diğer faktörler üzerinde farklı oranlarda ve yönlerde etkilerinin olduğu uygulanan senaryolarda ve bu senaryoların karşılaştırılmasında görülmüştür. Uygulanan bütün senaryolar tek tek incelendiğinde her bir değişkenin diğer değişkenler ve faktörler üzerindeki etkilerine ilişkin bulgular ve bu bulgular ışında yapılan değerlendirmeleri şu şekilde sıralayabiliriz:

#### *Tarımsal verim artışının sağlanması;*

- Gıda arz miktarı artmıştır. Buna bağlı olarak kayıplardan arındırılmış gıda miktarı artmıştır. Bunlara bağlı olarak gıda güvenliğinin olumlu etkilendiği gözlemlenmiştir.
- Gıda kayıp oranları değişmemekle birlikte tarımsal kayıp miktarı artmıştır. Buna bağlı olarak biyoenerji potansiyeli artmış ve arz edilen biyoenerji miktarı artmıştır. Bu durum yenilenebilir enerji arzını ve yerli enerji arz miktarını artırmıştır. Artan yenilenebilir ve yerli enerji arzı toplam arz içerisindeki ithal edilen enerji arzındaki ağırlığı azaltmış dolayısıyla ithalat bağımlılık oranını azaltmıştır.

- Yerli ve yenilenebilir enerji arzının artmasıyla, çoğunluğunu fosil yakıtların oluşturduğu ithal edilen enerji miktarını azalttığı, arz edilen enerji miktarı içerisindeki fosil yakıt oranının azalması tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarını azaltmaktadır. Dolayısıyla çevreyi olumlu etkilemektedir.

*Kayıplardan arındırılmış gıda miktarının artması;*

- Kayıplardan arındırılmış gıda miktarının artması (gıda israfının azaltılması) nüfusun ihtiyaç duyacağı gıda miktarını artırmakta bununla birlikte gıda güvenliğini olumlu etkilemektedir.
- Kayıplardan arındırılmış gıda miktarının artırılması tarımsal kayıp miktarının azalmasına dolayısıyla biyoenerji potansiyeli, biyoenerji arzını, yenilenebilir enerji arzını, yerli enerji arz miktarını ve enerjide ithalata bağımlılık oranını olumsuz etkilemektedir.
- Yenilenebilir ve yerli enerji arzının olumsuz etkilenmesiyle fosil yakıt kullanımını tetikleyecek ve buna bağlı olarak da tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarının artmasına neden olacaktır. Dolayısıyla çevreyi olumsuz etkileyecektir.

*Ekilebilir alan kayıplarının azaltılması;*

- Ekilebilir alan kayıplarının azaltılması tarımsal üretimi artırmış dolayısıyla gıda arzını, kayıplardan arındırılmış gıda miktarını ve gıda güvenliğini de artırmıştır.
- Ekilebilir alanlardaki kayıpların azaltılması, tarımsal atık miktarını artırmış ve dolayısıyla biyoenerji potansiyelini, biyoenerji arzını, yenilenebilir ve yerli enerji miktarını da artırmıştır ve ithalat miktarını da azaltarak enerji güvenliğini ve enerji de ithalat bağımlılık oranını azaltarak olumlu etkilemiştir.
- Ekilebilir alan kayıplarının azaltılması, yenilenebilir ve yerli enerji miktarını artırmış buna bağlı olarak tüketilen enerji içerisindeki fosil yakıt miktarının azalmasını sağlayarak tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarını azaltmış olup çevreyi olumlu etkilemiştir.

*Beslenme alışkanlığının değişmesi;*

- Beslenme alışkanlığının değişmesi yani gelişmekte olan bir ülke olarak gelişen bir ülke konumuna yükselmesi durumunda nüfusun beslenme alışkanlığını da değiştireceği ve kişi başına tüketilen miktarın artacağı düşünülmüştür. Bu durumda

yalnızca güvenliğinin olumsuz etkilemiştir. Diğer değişkenler üzerinde herhangi bir etki oluşturmamıştır.

*Biyoenjeri amaçlı tarımsal faaliyetlerin başlaması;*

- Biyoenjeri amaçlı tarımsal faaliyetlerin başlaması, kayıplardan arındırılmış gıda miktarının bir kısmının olarak biyoenjeri arzı amaçlı olarak kullanılması durumunda nüfusun ihtiyacı olan gıda miktarının bir kısmının azalmasına, dolayısıyla gıda güvenliğinin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Bu durum enerji amaçlı tarım ile gıda amaçlı tarımsal üretim rekabetinin ortaya çıkmasına neden olan en önemli maddedir.
- Biyoenjeri amaçlı tarımsal faaliyetlerin başlaması biyoenjeri potansiyelini, biyoenjeri arzını, yenilenebilir enerji miktarını, yerli enerji miktarını, toplam enerji arzı içerisindeki yerli ve yenilenebilir enerji miktarını artırmıştır. Enerji arzı içerisindeki ithal enerji miktarını da azaltarak enerji güvenliğini olumlu etkilemiştir.
- Biyoenjeri arzında yaşanan artışın toplam yenilenebilir enerji miktarını doğrudan artırarak dolaylı olarak da tüketilen enerji içerisindeki fosil yakıt miktarını azaltarak, tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarını azaltmıştır. Dolayısıyla çevre üzerinde etkisi olumlu olmuştur.

*Biyoenjeri değerlendirme oranının artırılması;*

- Biyoenjeri değerlendirme oranının artırılması, biyoenjeri kaynakları üzerinde herhangi bir baskı oluşturmaması nedeniyle gıda güvenliği ve bağlı değişkenler üzerinde bir etkinlik oluşturmamıştır.
- Biyoenjeri değerlendirme oranının artması, biyoenjeri arzını artırmıştır. Biyoenjeri arz artışı yenilenebilir enerji arzını, yerli enerji arzını ve tüketilen enerji içerisindeki yerli enerji miktarını artırarak birbirini takip eden süreçler şeklinde devam ederek gıda güvenliliğini olumlu etkilemiştir. Aynı şekilde yerli enerji arzı miktarını artırarak enerji ithalat bağımlılık oranını azaltmıştır.
- Biyoenjeri değerlendirme oranının artması enerji arzı içerisinde yenilenebilir enerji miktarını artırarak tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarını azaltmıştır. Bu durum çevreyi olumlu olarak etkilemiştir.

*Yenilenebilir enerji miktarının bir kısmının ithalatı azaltacak şekilde kullanılması;*

- Bu değişkenin tarımsal faaliyetler ile her hangi bir etkinliği olmaması nedeniyle gıda güvenliği ve bağlı değişkenler üzerinde modelimiz çerçevesinde her hangi bir etkinliği tespit edilmemiştir.
- Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak biyoenerji ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam olarak arz edilen yenilenebilir enerjinin bir kısmının miktarı kadar ithal edilen enerjinin azaltılması, ithal edilen enerji miktarının toplam arz edilen enerji içerisindeki ağırlığı azaltmıştır, dolayısıyla yerli enerji arzının toplam arz edilen enerji içerisindeki ağırlığı artmıştır. Bu durum enerji güvenliği artırmış ve enerjide ithalat bağımlılık oranını azaltarak olumlu etkilemiştir.
- Türkiye’ de ithal edilen enerjinin ekseriyeti çoğunluğunu fosil yakıtları oluşturmaktadır. Dolayısıyla ithalatın azaltılması bir anlamda fosil yakıt tüketiminin azaltılması anlamına gelmektedir. Bir birini takip eden süreçler olarak fosil yakıt tüketiminin azaltılması da emisyon miktarını azaltması beklenir. Bu durum çalışmamızda somut olarak gözlemlenmiştir. İthal edilen enerjinin azaltılması hem emisyon artış hızını azaltmış ham de tüketilen enerji miktarı içerisindeki fosil kökenli enerji miktarını azaltarak tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarını da sürekli olarak düşürmüştür. Bunun yanında ayrıca bir müddet sonra atmosfere salınan emisyon miktarının azalmasını sağlamıştır. Uygulanan bütün senaryolar içerisinde emisyon miktarının azaltılmasını olumlu olarak en çok etkileyen değişkenin bu değişken olduğu görülmüştür.

*Nüfus planlaması: nüfusta yenilenebilir düzeyin korunmasıyla nüfus artışının sağlanması;*

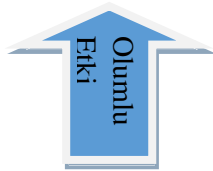
- Nüfus planlaması durumunda ülke nüfusunun artığı gözlemlenmiştir. Nüfus miktarında yaşanan bu artışı kişi başına yıllık gıda talebi ekseninde düşünöldüğünde toplam gıda talebini artırmıştır. Gıda arzında değişimin yaşanmadığı ve toplam gıda talebinde artışın yaşandığı durum gıda güvenliği oranını düşürerek olumsuz etkilemiştir.
- Oluşturulan model ve senaryolar çerçevesinden bakıldığında nüfus miktarının artması belediye atık miktarını artırmış, biyoenerji potansiyelini, biyoenerji arzını, yenilenebilir enerji arz miktarını, yerli enerji arzını artırmıştır. Bu durum enerji güvenliğini olumlu etkilemiş ve bunun yanında enerji arzı içerisinde yerli miktarı artırarak enerjide ithalat bağımlılık oranını azaltmıştır.

- Yenilenebilir enerji miktarının artması tüketim içerisindeki fosil kökenli enerji tüketimini azaltarak tüketilen enerji miktarı başına düşen emisyon miktarını da azaltmıştır. Dolayısıyla çevre güvenliği açısından olumlu bir etkiye neden olmuştur.



**Tablo 10.** Senaryolarda değişkenlerin etki durumu

Değiştirilen Değişken	Tarımsal Verim Artışı	Gıda Kayıplarının Azaltılması	Ekilebilir Kayıp Alanlarının Azaltılması	Beslenme Alışkanlığı	Enerji Amaçlı Tarımsal Üretim	Biyoenerji Değerlendirme Oranı	Enerji İthalatını Azaltma	Nüfus Planlaması
Etkilenen Değişken								
Tarımsal Üretim	↑	↔	↑	↔	↓	↔	↔	↔
Kayıplardan Arındırılmış Gıda	↑	↑	↑	↔	↓	↔	↔	↔
Tarımsal Kayıplar	↑	↓	↑	↔	↔	↔	↔	↔
Biyoenerji Potansiyeli	↑	↓	↑	↔	↑	↔	↔	↑
Biyoenerji Arzı	↑	↓	↑	↔	↑	↑	↔	↑
Yenilenebilir Enerji Arzı	↑	↓	↑	↔	↑	↑	↔	↑
Yerli Enerji Arzı	↑	↓	↑	↔	↑	↑	↔	↑
Enerji Başına Emisyon	↓	↑	↓	↔	↓	↓	↓	↓
Toplam Nüfus Miktarı	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↑
Toplam Emisyon Miktarı	↓	↑	↓	↔	↓	↓	↓	↓
Gıda Güvenliği	↑	↑	↑	↓	↓	↔	↔	↓
Enerji Güvenliği	↑	↓	↑	↔	↑	↑	↑	↑
Çevre Güvenliği	↑	↓	↑	↔	↑	↑	↑	↑



Elde edilen bütün bu bulgular (Tablo 10) Türkiye için oluşturulan Biyoenerji-gıda güvenliği-Enerji Güvenliği-Çevre-Nüfus sistem dinamiği simülasyon modelinde uygulanan senaryolardan elde edilmiştir. Burada her bir değişkenin diğer değişkenleri etkileme durumu model ve senaryolar çerçevesinin dışına çıkılmadan elde edilmiş bulgulardır. Bu nedenle Türkiye için en uygun senaryo seçimi yapılırken değişkenler tek tek olarak ele alınmamalıdır. Oluşturulan senaryo sonuçları bir bütünsel çerçevede ele alınıp değerlendirilmelidir.



## ALTINCI BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelinde özellikle son yıllarda küresel ısınma sebepli iklim değışiklikleri ve bunun sonucunda meydana gelen doğal afetler, küresel ısınma sorununu dünyanın bir numaralı gündemi haline getirmiştir. Bu sorunun üstesinden gelinmesi ve daha yaşanılabilir bir dünya için küresel ısınmayı azaltıcı tedbirler alınması elzemdir. Bu amaçla 2015 yılında Paris’ te düzenlenen BMİDÇS’ nin 21. Taraflar Konferansında kabul edilen 2020 yılı sonrasının iklim değışikliği rejiminin çerçevesini oluşturan Paris Anlaşması, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ile karşılaştırıldığında tüm ülkelerin katkılarına dayanan bir sistem öngörülmüştür. Bu anlaşmanın uzun dönemdeki hedefi küresel ısı artışını 2°C’ nin altında tutmaktır. Bu hedefin tutturulabilmesi için alınması gereken en önemli tedbir; küresel ısınmanın en büyük müsebbibi olan fosil yakıt kullanılmasının azaltılmasıdır. Buna alternatif olarak çevreci bir enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynak çeşitliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kullanım miktarının çoğaltılmasıdır.

Petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kökenli yakıtlar genellikle dünyanın belirli bölgelerinden arz edilen yakıtlardır. Bu nedenle bu enerji kaynakları birçok ülke için ithalat yoluyla arz edilmekte, bu durum ithalatçı ülkeler için yüksek düzeyde dış ticaret açıklarına neden olarak ekonomiler üzerinde ciddi bir istikrarsızlık kaynağı oluşturmaktadır. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynakları yerli olması açısından büyük bir cazibe oluşturmaktadır. Ayrıca yerli olarak üretilmeleri sayesinde enerji güvenliği açısından da büyük bir önem verilmelidir.

Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının hem küresel ısınma hem de ülkeler açısından ciddi bir sorun olarak görülen enerji güvenliği üzerindeki olumlu etkisi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynak çeşitliliğinin sağlanması birçok ülke için önemli bir politika konusu olmuştur. Bu amaçla güneşten, rüzgardan, sudan, jeotermal kaynaklardan ve zirai kaynaklardan enerji üretim çalışmaları büyük bir hızla devam etmektedir. Bu kaynaklardan güneş, rüzgar ve jeotermal yan etkileri önemsiz olarak tespit edilen kaynaklardır. Ancak su kaynaklarından enerji üretilmesi ile özellikle biyolojik kaynaklardan enerji üretim çalışmaları sonuç olarak farklı alanlar ve sektörler üzerinde hem ekonomik olarak hem de sosyolojik açıdan ciddi yan etki potansiyeli barındırmaktadır.

Yenilenebilir ve yerli bir enerji kaynağı olarak biyoenerji dikkatleri üzerine çeken alternatif bir kaynaktır. Bu enerji çeşidinin biyolojik kaynaklı olması, hemen hemen her ülke için erişilebilir olması cazibesini artıran etkenlerdir. Bu cazibe ile beraber insanların beslenme kaynağı ile aynı kaynaklardan beslenmesi bu enerji kaynağına olan ilginin yanına tereddütleri de yerleştirmektedir. Gıda arzı üzerindeki etkisi, yeni tarım alanlarının açılmasına neden olmasıyla orman alanlarının yok olma tehlikesi, tarımsal üretim için daha fazla su talebi ve benzeri durumlar bu enerji kaynağıyla ilgili olumlu yaklaşımların yanında olumsuz yaklaşımlarında yer edinmesine neden olmuştur. Bütün bunlara rağmen bu enerji kaynağına olan ilgi ve yatırımlar ile teknolojik gelişim çalışmaları ve yatırımlar Türkiye’ de olduğu gibi bütün dünyada artarak devam etmektedir.

Türkiye’ nin enerji arzında ithalat bağımlılık oranı oldukça yüksek düzeydedir. Bu bağımlılık; fosil yakıt kaynaklarının dünyanın belli bölgelerinde toplandığı düşünüldüğünde ancak alternatif kaynakların çoğaltılması ile azaltılabilir. Bu yüzden her bir yerli kaynak Türkiye açısından oldukça önemlidir. Dünyada tarım sektöründe öncü olup, tarımda ihracatçı bir konumda olan Türkiye için biyoenerji önemli bir kaynak çeşididir. Biyoenerji arzı sağlanırken Türkiye’ nin tarım sektöründeki konumunu zayıflatacak politikalardan uzak durulması sürdürülebilirlik açısından da önemli bir konudur.

Biyoenerji arzının tarım sektörünü, özelde gıda arzını olumsuz etkilemesinin önüne geçilebilmesi için enerji amaçlı tarım ile gıda amaçlı tarım rekabetinin önlenmesi gerekmektedir. Bunun için alınabilecek en önemli önlem, enerji amaçlı tarımsal üretimin yasaklanması yada iyi bir denetim mekanizması ile kontrollü bir şekilde izin verilmesidir. Türkiye’ de şuan mevcut haliyle biyolojik atıkların biyoenerji arzı için gerekli kaynağı sağlayabilecek potansiyeli mevcuttur. Ancak biyoenerji yatırımlarının gittikçe arttığı ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dönük olarak uygulanan sübvansiyonların etkisiyle, bu yatırımların ilerde gıda sektörünü baskı altına alabilecek şekilde enerji amaçlı tarımsal üretim faaliyetlerini tetiklemesi olası bir durumdur.

Bu itibarla senaryolardan elde edilen bulgular ışığında Türkiye için en iyi politikanın tüm değişkenlerin bir arada düşünüldüğü entegre bir politika oluşturmak olduğu sonucuna varılmıştır. Bu şekilde biyoenerji arzı artırılırken, gıda güvenliği değişkeni yada gıda güvenliği öncelenirken enerji güvenliği ile çevre güvenliği gibi önemli konular göz ardı edilmemiş olur. Bu yüzden enerji amaçlı tarıma izin verilmeden (yada kontrollü bir izin ile), biyolojik atıkların kaynak olarak kullanıldığı, Orman alanlarına zarar vermeden sadece orman atıklarının kaynak olarak kullanıldığı, çevreyi koruyan ve emisyon miktarının düşmesine

katkıda bulunan, bunun yanında enerji güvenliğini artıracak çeşitliliğe katkı sağlayacak şekilde Türkiye için bir biyoenerji politikası oluşturmak biyoenerji politikasının sürdürülebilirliği açısından hayati önemdedir.

Türkiye’ de biyoenerji kaynak kullanımındaki artışların enerji güvenliği, gıda güvenliği ve çevre üzerindeki etkisini sürdürülebilir bir düzeyde tutacak bir politika geliştirebilmek için bütün bu değişkenlerin bir arada düşünüldüğü entegre bir politika olarak en uygun senaryonun altıncı senaryo olduğu kanaatine varılmıştır.

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak biyoenerjinin etki alanının tek bir boyutta incelenmesi, bu enerji kaynağının sürdürülebilir bir kaynak olarak alternatif oluşturup oluşturamayacağı hakkında sağlıklı bir karar almada eksik kalacaktır. Bu nedenle biyoenerji yatırımlarında sağlıklı bir sonuç elde etmek için; bu yenilenebilir enerji kaynağının kaynak çeşitliliği ve kullanılacak kaynaklardan sağlanacak fayda ve zarar boyutuyla, ortaya çıkaracağı verim düzeyi ile sonuç olarak ortaya çıkacak son ürünler ve yan etkileri bir bütün olarak ele alınmalıdır. Ancak bütün bu boyutları bir arada düşünüldüğü takdirde sürdürülebilir bir politika oluşturma olanağı ortaya çıkabilir.

Biyoenerji dünya genelinde kaynak olarak tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklar, hayvansal üretim sürecinde ve sonucunda ortaya çıkan atıklar, orman atıkları, şehir (belediye atıkları, endüstriyel atıklar) atıkları, algler ve enerji amaçlı tarımsal üretim sonucu elde edilen ürünler kullanılmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde en çok dikkatleri çeken ve tereddüt oluşturan kaynak şüphesiz enerji amaçlı tarımsal faaliyetlerdir. Çünkü gıda amaçlı üretim faaliyeti yürütülen tarımsal arazilerin enerji amaçlı kullanılması durumunda gıda arzı azalacak dolayısıyla gıda güvenliğini olumsuz etkileyecektir. Burada literatürde de üzerinde en çok durulan konu olan enerji amaçlı tarımsal faaliyet ile gıda amaçlı tarımsal faaliyet rekabeti ortaya çıkacaktır. Bu durum zaten dünyada ciddi bir sorun olarak duran tüm nüfusun gıdaya erişimini daha da zorlaştıracaktır. Yani enerji amaçlı tarım sonuç itibarıyla biyoenerji arzını artırmasına rağmen gıda güvenliği üzerinde oluşturması muhtemel baskının telafisi daha zor sorunları beraberinde getirme ihtimalinden dolayı sürdürülebilir değildir.

Biyoenerji üretim amaçlı tarımsal faaliyetlerin cazip hale getirilmesi ormanlık alanların tarıma açılması amacıyla orman alanlarının yok edilme ihtimali çok yüksek bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle uzak doğuda Endonezya ve Malezya ile Amerika kıtasında Brezilya’ biyodizel üretim amaçlı yapılan tarımsal faaliyetlerin teşviki ormanlık alanların ciddi oranda tarıma açılmasına neden olmuştur. Ayrıca daha fazla ormanlık

alanın tarımsal alana açılması ile beraber tarımsal sulama faaliyetleri su kaynakları üzerinde ciddi baskı oluşturmuştur. Ayrıca ormanlık alanlarda sebep olunan bu tahribat bu alanlardaki biyolojik çeşitliliğinde yok olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle biyoenerji arzı açısından emisyon miktarının azaltılması için önemli görülmesine rağmen, diğer taraftan görüldüğü gibi telafisi daha zor tahribatlara neden olmaktadır.

Ayrıca özellikle biyodizel ürününe dönük olarak özendirici politikalar bu ürünün arzında çok fazla bir artışa neden olabilecektir. Bu durum biyodizelin ucuzlaşmasına ve bunun tetiklemesiyle petrol ürünlerinin ucuzlayarak ulaşım yakıtı olarak daha fazla tüketilmesine neden olacaktır. Böyle bir durum istenen ve beklenen etkinin aksine emisyon miktarını artırarak çevreyi olumsuz etkileyecektir.

Tarımsal faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklar biyoenerji üretim amaçlı olarak kullanılması hem emisyon miktarının azaltılması hem de bu atıkların değerlendirilmesi açısından önemli bir alternatiftir. Bunun yanında tarımsal faaliyetlerde bulunan kesimin gelirine ekstra bir katkısı olacaktır. Bu katkı beraberinde tarımsal alanlarda istihdam oranını artıracaktır. Türkiye gibi çiftçi yaş oranı gittikçe yükselen bir ülke için tarımsal faaliyet alanının cazibesine katkısı nedeniyle tarımsal faaliyetlerde bulunacak işgücünün devamlılığına katkıda bulunacaktır. Ayrıca Türkiye’de Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ve dünyanın farklı bölgelerinde de sıkça rastlanan tarımsal atıkların anız yakma şeklinde imhası sonucu ortaya çıkan hava kirliliğinin önlenmesi gelir getirici bir faaliyet ile cazipleştirilerek önlenebilecektir.

Biyoenerji yatırımları genel itibariyle kırsal alanlarda hammaddeye yakın yerlere yapılmaktadır. Bu durum kırsalda yaşayan nüfus için hem istihdam hem de gelir artırıcı bir yatırım olarak fayda sağlamaktadır. Bunun yanında kırsal kesimin ihtiyaç duyacağı enerji arzı kendi öz kaynakları ile karşılandığından enerji kesinti sıkıntısını da ortadan kaldırmaktadır. Kırsal kesime enerji ulaşımının sağlanması ve bu nakil sürecinde yaşanan kayıpların en aza indirilmesi açısından biyoenerji yatırımlarının kırsala hammaddeye yakıt yerlere yapılması ayrıca önemlidir. Yatırımcının hammaddenin biyoenerji üretim tesisine ulaştırılması için gerekli olan lojistik giderlerini minimize eder.

Biyoenerji; hammadde, yatırım alanları, istihdam edeceği işgücü ve sonuç olarak elde edilen enerjinin de kırsal nüfusu etkilemesi bir arada düşünüldüğünde, biyoenerji yatırımlarının dünyanın hemen hemen her köşesinde ciddi bir sorun olarak görülen kırsal kalkınmanın sağlanmasına önemli bir katkıda bulunacaktır. Kırsalda istihdam artışına katkısı,

ekstra lojistik faaliyetleri ile atıklardan gelir artırıcı etkisi, enerji ulaşımında kolaylık ile beraber teknolojinin kırsal alanlarda da kullanılmasını artırıcı özellikleri bir arada düşünüldüğünde kırsal kalkınmanın sağlanmasında göz ardı edilmeyecek bir etkisi olacaktır.

Kırsal kalkınmadaki olumlu etkisi ile beraber özellikle kırsaldan kent merkezlerine doğru yaşanan göç hareketleri ile beraber oluşan büyük şehirler ve bu büyük şehirlerin yoğun nüfus yapısının getirdiği sorunların artmasını önleyici bir etki oluşturabilir. Kırsal alanlarda geliri artan ve artan alım gücü ile beraber imkanları artan nüfusun yerinde ikameti cazipleştirecektir.

Biyoenerji yalnızca kullanılan kaynaklar ve enerji arzı sürecindeki faydalarının yanında sürecin sonucunda olarak farklı sektörleri de olumlu etkileyebilecek çıktılar ortaya koymaktadır. Bu çıktılardan en önemlisi biyoenerji üretim tesisinde hayvansal atıkların gerekli kimyasal işlemlerden geçirilmesi sonucunda biyoenerji üretilmekte ve atık olarak da kalan son ürünlerden likit gübre elde edilebilmektedir. Burada önemli olan atık ürünlerin ayrıştırılarak kullanımının sağlanmasıdır.

Bununla birlikte tarımsal ve gıda atıklarının da ayrıştırılarak kimyasal işlemlerden geçirilmesi sonucunda biyoenerji arzının yanında, kalan atıklardan da hayvancılık faaliyetlerinde kullanılmak üzere hayvansal yem ürünü elde edilmektedir. Türkiye gibi gübre ve yem arzının ithalatta önemli bir yer tuttuğu ülkeler açısından bu çıktılar oldukça önemlidir. Bu sektörlerden ithalat oranlarının azaltılmasıyla tarım ve hayvancılık sektörleri için destekleyici bir faktör olacaktır. Bu şekilde likit gübre ile hayvansal yem elde edilmesi ve zirai faaliyetlerde kullanılmasıyla esas itibarıyla bir birini besleyen geri beslemeli bir döngü oluşmaktadır. Burada yem hayvancılığı ve likit gübre de tarım sektörünü besleyen iki önemli etkendir. Dolayısıyla gıda arzını artıran faktörlerdir. Bu durum biyoenerji arzının gıda sektörü üzerindeki baskısını azaltıcı bir etki yapacaktır.

Biyoenerji tesislerinde enerji üretim esnasında ortaya ısı enerjisi de çıkmaktadır. Bu ısı enerjisi de kış aylarında seraların ısıtılması amacıyla kullanılabilir. Böylece yapılan yatırım ve bu yatırımla birlikte iyi bir organizasyon ile biyoenerji kaynağı olarak tarım sektörü desteklenebilir.

Biyoenerji yatırımlarının gıda sektörünü gıda ve yem çıktılarıyla desteklemenin yanında bu sektördeki fiyat istikrarının sağlanmasında da bir argüman olarak kullanılabilir. Tarımsal faaliyetlerdeki verim, kullanılan iş gücü, toprak yapısı, teknolojik alet ve edevat, ilaçlama, gübreleme ve mevsim koşullarına göre yıldan yıla değişiklik gösterebilmektedir.

Burada tarımsal ve hayvansal faaliyetleri etkileyen en belirsiz faktör mevsim koşullarıdır. Örneğin tarımsal verim miktarı yağış miktarından doğrudan etkilenmektedir. Yağmurun az yağması özellikle yağışa bağlı ürünlerde verim miktarını dolayısıyla arz edilen ürün miktarını doğrudan etkilemektedir. Bu durumun tersi olarak da tarımsal arz miktarını artırıcı etkileyebilecek düzeydeki mevsim koşulları da görülebilmektedir. Burada arzın mevsim koşullarının veya diğer koşulların etkisiyle ihtiyaçtan fazla artış göstermesi gıda arzını talebin üzerinde artıracaktır. Bu durumda ithalat imkanının da kısıtlı ve depolama imkanı da olmayan ürünler için fiyatların çok düşmesine neden olacaktır. Bu durumda bu sektörde faaliyet gösteren üreticilerin ortaya fazla ürün çıkması nedeniyle zarar etme durumları ortaya çıkacaktır. Bu durum dengelemek ve gıda da fiyat istikrarı sağlamak için talepten fazla ve ithalat imkanı ve süresi kısıtlı ürünler biyoenerji üretimine kanalize edilebilir. Bu şekilde Talepten fazla arzın neden olacağı fiyat istikrarsızlığın önüne geçilerek tarım sektöründe faaliyette bulunan üreticilerin de zarar etmesinin önüne geçilmiş olur.

Biyoenerji üretimi için kullanılan en önemli kaynaklardan bir tanesi de evsel atıklar ve endüstriyel atıklardır. Nüfus artışı ve şehirleşmenin artmasıyla birlikte bu atık miktarı da dünya genelinde günden güne artış göstermektedir. Bununla beraber şehirlerin gittikçe büyümesi (metropolleşme) bu atıkların toplanması ve sürdürülebilir bir şekilde imhası sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Sürdürülebilir atık yönetim politikaları ciddi bir problem olarak sürekli olarak gündemde yer işgal etmektedir. Son yıllara kadar Türkiye’ de ve dünyanın farklı yerlerinde şehir atıkları bir bütün olarak vahşi imha yöntemi olarak ya yakılmakta yada belli yerlerde toprak altına gömülmek suretiyle depolanmaktaydı. Ancak günümüzde bu atıklar adeta ülkenin bir zenginliği olarak görülmektedir. Örneğin Türkiye demir çelik sektörü dünya genelinde inanılmaz başarılar sağlamakta ve en önemli demir çelik arz eden ülkeler arasında bulunmaktadır. Bu başarıda hurda kullanımı önemli bir yer işgal etmekte dahası üretimde kullanılan bu hurdanın da % 70’ e yakını da ithal edilmektedir. Burada sürdürülebilir bir politika ile hurdanın nasıl katma değeri yüksek bir ürüne dönüştürülerek ekonomiye kazandırıldığına başarısı gizlidir. Benzer şekilde tüm atıklar sürdürülebilir bir politika ile ekonomiye kazandırılabilir. Bu açıdan bakıldığında atıklardan biyolojik kaynaklı olanları biyoenerji tesislerinde enerji üretim amaçlı olarak değerlendirilebilir. Ekonomik gelişim açısından enerji arzının önemi ortada iken enerji arzı amaçlı sürdürülebilir tüm kaynakların değerlendirilmesi gerekir. Bu şekilde hem biyolojik atıklardan kurtulma sorununa en avantajlı şekilde çözüm bulunarak çevre üzerindeki olumsuz etkisi de ortadan kaldırılmış olur.

Görüldüğü üzere biyoenerji, enerji sektörü, tarım sektörü, hayvancılık sektörü, ormancılık faaliyetleri, çevre, su kaynakları, emisyon miktarı, şehirleşme, nüfus ve bunlarla bağlantılı birçok alan ile ilişkisi olan, kimisini doğrudan, kimisini de dolaylı olarak etkileyen bir kaynaktır. Bu kadar çeşitte olumlu ve olumsuz etkileri olan bir kaynak olarak politika oluşturulurken çok geniş çerçevede düşünmek, artı ve eksi yönlerini iyi irdelemek gerekir. Bu nedenle politika oluştururken etki alanları ile ilgili öncelik sıralaması yapmak gerekir. Daha açık bir ifade ile biyoenerji arzı için kullanılan kaynak çeşitliliğine bağlı olarak elde edilecek olumlu bir sonucun olumsuz yan etkilerini telafi edebilme yada tolare edebilme durumları göz önünde bulundurularak politika seçenekleri oluşturulmalıdır.

Sürdürülebilir bir biyoenerji politikası için olumsuz etkileme potansiyeli taşıdığı gıda sektörü ve orman alanları ile ilgili olarak enerji amaçlı tarımsal faaliyet ile gıda amaçlı tarımsal faaliyet rekabetini önleyici politikalar geliştirilmelidir. Bunun için enerji amaçlı tarımsal faaliyetler için denetleyici ve düzenleyici bir sistem oluşturulmalıdır. Gıda amaçlı tarım alanlarının düzensiz bir şekilde enerji amaçlı tarıma geçişi önlenmelidir. Yukarıda bahsi geçildiği şekilde gıda fiyat istikrarını ve talepten fazla üretimin neden olduğu gıda israfını önleyecek şekilde yönlendirici düzenlemeler yapılmalıdır. Bu şekilde biyoenerji üretiminin gıda üretimine göre cazip geldiği durumlarda gıda talebini karşılayacak düzeyde gıda üretiminin korunması sağlanacaktır. Ayrıca enerji amaçlı tarıma bu şekilde sınırlama getirilerek orman alanlarının kontrolsüz bir şekilde tarım alanlarına açılması kontrol altına alınacaktır.

Bütün bunlardan anlaşılacağı üzere biyoenerji faydalı yönleri oldukça fazla olan, olumsuz sonuçlar doğurabilecek etkileri de etki alanı içerisinde sürdürülebilir politikalar ile tersine çevrilebilen bir enerji çeşididir. Bu enerji çeşidinin dünya genelinde günden güne daha da gelişeceği öngörülmektedir. Bu gelişim beraberinde kırsal kalkınma, enerji güvenliği, gıda güvenliği, çevre güvenliğini de olumlu etkileyecektir. Bunlar ile beraber ekonomik ve sosyal kalkınmada olumlu etkileri daha net görülecektir.

Bu kadar alan ile etkileşimi olan ve uygun politikalar sayesinde ekonomik ve sosyal yaşam üzerindeki bu kadar etkisi göz önünde bulundurulduğunda biyoenerji arzı ve üretim standartları ilgili gerekli çalışmalar ihmal edilmemelidir. ABD, Meksika, Endonezya, Arjantin ve Brezilya gibi ürün bazlı ve genel bir çerçeve oluşturarak yönetmelikler oluşturan ülkeler bulunmaktadır. Türkiye gibi biyoenerji potansiyeli ve etkilenebilecek alanların çok olduğu ve biyoenerji arzına dönük yatırımların günden güne arttığı ülkeler için bir biyoenerji politikası oluşturmak ve bunu yönetmelikler ile desteklemek gerekir. Salt bir yenilenebilir enerji

yaklaşımı doğrultusunda oluşturulacak politikalar, destekler ve yönetmeliklerin biyoenerji açısından çok etkili olmayacaktır. Çünkü politika, yönetmelik ve sübvansiyon programları hazırlanırken biyoenerji tüm etki alanlarıyla beraber düşünölmelidir.

Gıda arz güvenliğini güvence altına alacak ve gıda fiyat istikrarını sağlayacak şekilde, orman alanlarının ve tarım alanlarının korunduğu, esas kaynak olarak atıklardan beslenen bir biyoenerji politikası geliştirmek gerekir. Bu şekilde olumsuz etkileri minimize olmuş, çevreyi koruyan, emisyon oranını düşüren, hayvancılık sektörünü destekleyen, tarımsal faaliyetleri gübre yan ürünü ile olumlu etkileyen, kırsal kalkınmaya katkısı olan ve ana amacı olan enerji güvenliğinin sağlanmasında katkısı bulunan bir enerji kaynağı olarak biyoenerji üretimi, dünya için enerji arzına katkıda bulunan bir kaynak olmaya devam edecektir. Bunun için gerekli olan en önemli etkenler iyi bir planlama, kapsamlı bir organizasyon ve bunları destekleyecek iyi bir yönetmelik ile kaliteli bir sübvansiyon politikasıdır.

## KAYNAKÇA

- Abdelbari, H., Elswah, S and Shafi, K. (2015). “Model Learning Using Genetic Programming Under Full And Partial System Information Conditions. 33rd International Conference of the System Dynamics Society. Cambridge, Massachusetts, USA.
- Acaravcı, A ve Erdoğan, S. (2018). Yenilenebilir Enerji, Çevre ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Seçilmiş Ülkelere İçin Ampirik Bir Analiz. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi *13(1)*, 53-64.
- Akalın, B ve Seyrekbasan, A. M (2015). Dünyadaki Biyoetanol Politikalarının Türkiye Koşulları ile Karşılaştırmalı inceleme ve Türkiye Şartları İle Uygunluk Açısından Biyoetanol Üretiminde Kullanılan Hammadelerin Değerlendirilmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. *29(1)*, 157-168.
- Akpınar, A., Kömürcü, M. İ ve Filiz, M.H.(2008). Biyokütle Enerjisi ve Türkiye. 243. İstanbul: VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2008),17-19. Aralık 2008. İstanbul.
- Aksoy, L. (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi. *3(2)*, 45-52.
- Alptekin, E ve Çanakçı M. Ç. (2006). Biyodizel ve Türkiyedeki Durum. Kocaeli Üniversitesi Mühendis ve Makine Dergisi. ISSN: 1300-3402. *47(561)*, 57-64.
- Ardıç, İ ve Taner F. Biyokütleden Biyogaz Üretimi I: Anaerobik Arıtımın Temelleri. Biyogazder. Makale 11. <https://biyogazder.org/makaleler2/>. (09.04.2020).
- Aslantaş, A. (2018, Şubat). Dünyada ve Türkiyede Biyokütle Enerjisinin Kullanımı ve Potansiyeli. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. KTO Karatay Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Bölümü. Konya.
- Avrupa Birliği Türkiye Delegasyonu. (2016). AB' nin Uzun Vadeli İklim Değişikliği Hedefleri. [https://www.avrupa.info.tr/sites/default/files/2016-08/brochure\\_2\\_v2.pdf](https://www.avrupa.info.tr/sites/default/files/2016-08/brochure_2_v2.pdf). (21.09.2020).
- Bala, B.K., Arshad, F. M and Noh, M.K. (2014). System Dynamics Modeling And Simulation. (S. Nature, Dü.) Springer Texts in Business and Economics. ISBN 978-981-10-2043-8 ISBN 978-981-10-2045-2 (eBook). ISSN 2192-4333 ISSN 2192-4341 (electronic) Gateway East, Singapore. DOI 10.1007/978-981-10-2045-2.

- Balci, P and Evren, Y. (2016). Biyokütle Enerjisi Karacabey' in Kırsal Kalkınması İçin Bir Potansiyel Olabilir Mi? TMMBO Şehir Plancıları Odası. 227-237. [https://jag.journalagent.com/planlama/pdfs/PLAN-85047-RESEARCH\\_ARTICLE-BALCI.pdf](https://jag.journalagent.com/planlama/pdfs/PLAN-85047-RESEARCH_ARTICLE-BALCI.pdf). (21.09.2020).
- Barlas, Y. (1996). Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics. *System Dynamic Review*. 12(3), 183-2010.
- Bayraç, H. N. ve Cildir, M. (2017). Avrupa Birliği Yenilenebilir Enerji Politikalarının Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi. *Uluslararası Yönetim, İktisat ve İşletme Dergisi (ICMEB17 Özel Sayı)*, 2001-2012.
- British Petroluom. (2020). Statical Review Of World Energy. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. ( 08.12.2020).
- British Petroluom. (2020). Statistical Review of World Energy – all data, 1965-2020. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. ( 08.12.2020).
- British Petroluom. (2020). Watch the Statistical Review of World Energy launch webcast. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. ( 08.12.2020).
- British Petroluom. (2020). Yenilenebilir Enerji Hidro ve Nükleer Enerji. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. ( 08.12.2020).
- British Petroluom. Dünya Enerjisinin İstatistiksel İncelemesi.. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. ( Erişim Tarihi: 08.12.2020).
- Busemeyer, J. R., Wang, Z., Townsend, T. S and Eidels, A. (2015). *Oxford Handbook Of Computational and Mathematical Psychology*. Oxford University Press. ISBN: 978019957996.New York. DOI:101093/oxfordhb/978019957996.001.0001.
- Cavana, Y. R. and Kambiz, M. (2000). “Methodological Framework for Integrating Systems Thinking and System Dynamics. *Proceeding of System Dynamic Conference*. Geolong, Australia, November 8-10. DOI:10.13140/2.1.3051.3609.

- Cavana, Y. R. and Maani, K. E. (2000). *Systems Thinking AndModelling Understanding Change and Complexity*. Pearson Education. NewZealand. ISBN: 1877258008, 9781877258008.
- Chakravorty, U., Hubert, M. H and Nostbaken, L. (2009). Fuel Versus Food. *The Annual Review of Resource Economics* is online at [resource.annualreviews.org](http://resource.annualreviews.org). (1), 645-663. <https://doi.org/10.1146/annurev.resource.050708.144200>.
- Clancy, J., Rivelo, S. L and Chen, W. (2014, August 4-8). Biofuels and Food Security: Biting off more than we can chew?. *World Renewable Energy Congress (WREC 13)*.4-8. August 2014. London, United Kingdom.
- Coyle, R.G. (1996). *System Dynamics Modelling : A Practical Approach*. Chapman&Hall.London. United Kingdom.
- Çağatay, S., T. Kıymaz, T., Koç, A. and Bilgin, D. (2012). Dünya ve Türkiye Biyo-enerji Piyasalarındaki Gelişmelerin ve Potansiyel Değişikliklerin Türk Tarım ve Hayvancılık Sektörleri Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi ve Türkiye için Biyo-enerji Politika Alternatiflerinin Oluşturulması. Ankara: Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü (Tepge) . [file:///C:/Users/acerpc/Downloads/Biyoyakit204-tepge-%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/acerpc/Downloads/Biyoyakit204-tepge-%20(1).pdf). (18.09.2020).
- Çil, İ. (2017). Sistem Dinamiği Modelleme Araçları Sistem Analizi ve Tasarımı. <https://docplayer.biz.tr/9605690-Sistem-dinamigi-modelleme-araclari-sistem-analizi-ve-tasarimi-prof-dr-ibrahim-cil.html>.(18.06.2020).
- Çil, İ. Sistem Dinamiği Modelleme Araçları. <https://silo.tips/download/sstem-analz-sstem-analz-ve-tasarimi-prof-dr-brahim-il>. (20.08.2020).
- Dağdelen, D. (2015). Küresel Biyoyakıt politikalarının AB ve Türkiye Açısından Değerlendirmesi. *AB Uzmanlık Tezi*. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Avrupa Birliği ve Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Daioglou, V., Muratori, M., Lamers, P., Fujimori, S., Kitous,A., Köberle, A. C., Bauer, N., Junginger, M., Kato, E., Leblanc, F., Mima, S., Wise, M and Vuuren, D. E.P. (2020). Implications of Climate Change Mitigation Strategies on International Bioenergy Trade. Idaho National Laboratory (INL). Idaho, USA. 163, 1639-1658.
- Deloitte. (2014). *Biyokütlenin Altın Çağı*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energy->

resources/Biyok%C3%BCtlenin%20alt%C4%B1n%20%C3%A7a%C4%9F%C4%B1  
Sonnn.pdf. (20.09.2020).

Demirbas, A. (2009). Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. *Applied Energy*. 86(1), 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.04.036>.

Diseauer, C., Enigle, M., Ludviczek, N., Pointner, C., Sonnleitner, A and Verma, V. K. (2016).. *Bioenergy Countries' Report: Bioenergy policies and status of implementation*, International Energy Agency, 2016. Ex:Co:2016:03. Number: 796 TR N41029016 01.

Doğan, M. (2015). *Yenilenebilir Enerjide Tarımın Rölü*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Aydın.

Donella H. Meadows, D. L. (1994). *Beyond the Limits*. Vermont. Green Publishing. Chelsea, USA.

Duygu, A. E. (2003, Aralık 10-12). Ab' nin Enerji Bağımsızlığı ve Sürdürülebilir Kalkınma Politikalarında Biyoenerjinin Yeri: Üye, Aday Ülkelerdeki Araştırmalar ve Uygulamalar. TMMOB Türkiye IV. Enerji Sempozyumu Bildirileri, 10-12 Aralık 2003, Ankara. 451-480.

Dünya Enerji Konseyi Türkiye (World Energy Council) Türk Milli Komitesi. (2019). *Yenilenebilir Enerjiler 2019 Küresel Durum Raporu. (REN21)*. <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2019/07/REN21-2019.pdf>.(20.09.2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı .(2020). *Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası*. <https://bepa.enerji.gov.tr/>. (02.08.2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı .(2020). *Enerji Denge Tabloları*. <https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari> (02.08.2020)

Erdal, L. (2011). *Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Faktörler ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatifi*. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı, Aydın.

Erdoğdu, E. (2010). *Türkiye' de Biyoenerji Politikaları*. Türkiye Uluslararası Yenilenebilir Enerji Kongresi, 10 Eylül 2010. Şişli/İstanbul.

- Erkut, H. (1983). Sistem Dinamiğinin Temelleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Ofset Atölyesi.
- Fargione, J., Hill, J. Tilman D., Polasky, S and Hawthirne,P. T. (2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Deb. Science Mag. 319(586007), 1235-1238. DOI: 10.1126/science.1152747.
- Food and Agriculture Organization. (2008). The State of Food and Agirculture 2008. Chief, Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division - FAO. Rome, İtaly. <http://www.fao.org/3/i0100e/i0100e00.htm>. (20.12.2020).
- Ford, F. A. (1999). Modeling the Environment. Island Press. , D. C., Covelo, Washington, California, USA.
- Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- Forrester, J. W. (1995). Road Map 1: Counterintuitive Behaviour Of Social Systems. MIT System Dynamics In Education Project. MIT Press, Cambridge MA, USA.
- Gençoğlu, M. T. (2002). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi. ISSN: 1300-2708, 14(2), 57-64.
- Gingerich, O. (1973). Copernicus and Tycho. Scientific American. (173), 86-101. DOI:10.1038/SCIENTIFICAMERICAN1273-86.
- Glauca, M. S.,Ballester, M. V. R., Cruz, C. H. B, Chum, H., Dale, B., Dale, V. H., Fernandes, E.C.M., Foust, T., Karp, A., Lynd, L., Filho, R. M., Milanez, A., Zenci, F., Oseveijer, P., Verdade, L.M., Victoria, V.R and Wielen, L. V. (2017). The Role of Bioenergy İn A Climate-Changing World. Environmental Development.(S2211-4645(16)30275-5).
- Golabal Bioenergy Statistics 2020. (2020). World Bioenergy Assocation. <http://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%202020.pdf>. (07.08.2020).
- Gökçe, M. ve Ayanoğlu, M. (2007). Sistem Düşüncesinden Sistem Dinamiklerine. Teknolojileri Elektronik Dergisi, ISSN: 1304-4141 / 1304-4141 (3), 29-41.

- Göran B. (2002). Bioenergy and water—the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply. *Global Environmental Change*. (12), 253-271. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00040-7).
- Hatunoğlu, E. E. (2010). Biyoyakıt Politikalarının Tarım Sektörüne Etkisi. Devlet Planlama Teşkilatı İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü. *DPT- Uzmanlık Tezleri*. (2814, Derleyici). ISBN:9789751948618, Ankara.
- High Performance Systems. (2001). The Systems Thinking Company, T. S. (2001). An Introduction to Systems Thinking: STELLA. Lebanon. ISBN 0-9704921-1-1. [https://www.colorado.edu/center/mortenson/sites/default/files/attached-files/stella\\_ist\\_0.pdf](https://www.colorado.edu/center/mortenson/sites/default/files/attached-files/stella_ist_0.pdf).
- International Energy Agency. (2018). Countries Key Energy Statistics. <https://www.iea.org/countries/turkey>. (19.06.2020).
- International Energy Agency. (2020). Data and Statistics, Consistent Accurate and timely Energy Data and Statistics. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>. (13.12.2020).
- International Renewable Energy Agency. (2017). Energy Profile Turkey. Ebu Dhabi, Masdar, United Arab Emirates. [https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical\\_Profiles/Eurasia/Turkey\\_Eurasia\\_RE\\_SP.pdf](https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Eurasia/Turkey_Eurasia_RE_SP.pdf). (18.07.2020).
- Isee Systems. Calibration In Stella. <https://blog.iseesystems.com/modeling-tips/calibration-in-stella/>. (07.10.2020).
- İlleez, B. (2020). Türkiye' nin Enerji Görünümü. İzmir: Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi. 317-346. [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-13\\_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20\\_B%C3%BClent%20%C4%B0lleez.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-13_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20_B%C3%BClent%20%C4%B0lleez.pdf).
- İlleez, B. (2020). Türkiyenin Enerji Görünümü 2020 Oda Raporu. Türkiye' de Biyokütle Enerjisi. *Biyokütle ve Biyokütle Enerjisi*. TMMOB Makine Mühendisleri Odası [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-13\\_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20\\_B%C3%BClent%20%C4%B0lleez.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-13_%20Biyok%C3%BCtle%20Enerjisi%20_B%C3%BClent%20%C4%B0lleez.pdf). (21.01.2021).

- Kalkan, D. (2000). Yapılandırılmamış Modellere Yeni Bir Yaklaşım: Otogaz Pazarı Örneği Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karagöl, E. T. ve Kavaz İ. (2017, Nisan). Dünyada ve Türkiye' de Yenilenebilir Enerji. Seta Siyaset Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı, (197).Turkuaz Haberleşme ve Yayıncılık A.Ş.İstanbul.
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y and Kurt, R. (2011). Biyokütlenin Türkiyede Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. *13(19)*, 63-75.
- Keskin, M. C. (2018). Yanilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevreye ve Ekonomiye Etkisi. M. H. Tezi, Dü. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. Ankara.
- Kılıç, F. Ç. (2011). Biyoenerji, Önemi, Genel Durumu ve Türkiyedeki Yeri. MMO Mühendis ve Makine Dergisi . *52(617)*, 94-106.
- Kline1, K. L., Msangi, S., Dale, W. H., Woods, J., Souza, G. M., Osewicher, P., Clancy, J. S., Hilber, J. A., Jhonson, F. X., McDonal, P.C and Muger, H.K. (2016). Reconciling Food Security And Bioenergy: Priorities For Action. (G. Bioenergy, Dü.). Biyo Products For A Sustainable Bioeconomy. The Authors. Global Change Biology Bioenergy Published by John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12366>.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y. ve Uğurlu, İ. (2018). Dünyada ve Türkiye' de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. Mühendis ve Makine. *59(692)*, 86-114.
- Korkmaz, A. A. ve Deniz, M. D. (2019).. Sürdürülebilir Temiz Enerji Biyokütle: Enerji Üretimindeki Payı ve Ekonomiye Katkıları. Malatya: II. Uluslararası Battalgazi Multidisipliner Çalışmalar Kongresi Tam Metin Kitabı. 15-19 Mart 2019. ISBN:978-6057875-34-1. 141-149.
- Kurt, G. ve Koçer, N. N. (2010). Malatya İlinin Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. ISSN: 1012 2354, *26(3)*, 240-247.
- Matemilola, S., Elegbede, I. O., Kies, F., Yusuf, G. A., Yangni, G. N. and Garba, İ. (2013). An Analysis of the Impacts of Bioenergy Development on Food Security in Nigeria: Challenges and Prospects. Environmental and Climate Technologies. Nigeria. *23(1)*, 64-83. DOI: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0005>.

- Melikoğlu, M ve Bostan, A. (2011). Türkiye' de Biyoetanol Üretimi ve Potansiyeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 26(1), 151-160.
- Mermer, C. (2018). Bor Minareli Kritiğinin Dinamik Değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Milli İktisat ve Tasarruf Cemiyeti. (1931). Birinci Ziraat Kongresi İhtisas Raporları. 1, 1313-1350. Ankara.
- Ogbonnal, J. C., Nomura, N and Aoyagi, H. (2013). Bioenergy Production And Food Security in Africa. African Journal of Biotechnology . 52(12), 7147-7157. <https://doi.org/10.5897/AJBX2013.13475>.
- Oğuz, H., Ögüt, H ve Gökdoğan, O. (2012). Türkiye Tarım Havzaları Üretim ve Destekleme Modelinin Biyodizel Sektörüne Etkisinin İncelenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2(2), Ek:A,77-84.
- Onur Enerji. (2021). Yeni Yaklaşımlar: Çöpten Enerji Üretimi. <https://www.onurenerji.com.tr/yenilenebilir-enerji-haberleri/yeni-moda-copten-enerji-uretimi/>. (05.06.2021).
- Özev, M. H. (2017). Küresel Denklemden Türkiyenin Enerji Güvenliği. Siyaset, Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı (SETA Yayınları) 1. Baskı. Ankara.
- Popp, J., Lakner, Z., Rakos, M. H and Fari, M. (2014). The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 32, 559-578. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.056>.
- Reddy, V.S.B., Ramesh, S., Kumar, A.A., Wani, S.P., Ortiz, R., Ceballos, H and Sreedewi, T.K. (2008). Bio-Fuel Crops Research for Energy Security and Rural Development in Developing Countries. Bioenergy Resources. (1), 248-258.
- Richter, G. M. and Karp, A. (2011). Meeting The Challenge of Food and Energy Security. Journal Of Experimental Botany. 62(10), 3262-3271. <https://doi.org/10.1093/jxb/err099>.
- Saeed, K. (1994). Development Planning and Policy Design: System Dynamics Approach. ALDRSHO, England. ISBN-13: 978-1856286725.
- Saeed, K. (1998). Towards Sustainable Development. ( 2nd Edition: Essays on system analysis of national policy). Ashgate Publishing Company. Vermont, USA.

- Saysel, A. K ve Barlas, Y. (2001). Güneydoğu Anadolu Projesi ve Sürdürülebilir Kalkınma: Dinamik Sistem Modellemesi Yaklaşımı. Boğaziçi Üniversitesi. <http://web.boun.edu.tr/ali.saysel/Publications/GAPTurk.pdf>. (03.04.2021).
- Senge, P. M. (2011). Beşinci Disiplin: Öğrenen Organizasyon Düşünüşü ve Uygulaması. Çeviren: Ayşegül İldeniz. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları. (16. Baskı). ISBN: 975363031X; 9789753630313.
- Sezen, A. E. (2017). Sistem Düşüncesi. Journal Of Life Economics. 4(1), 39-58.
- Sezen, H. K. ve Günal, M. (2009). Yöneylem Araştırmasında Benzetim. Bursa: Ekin Yayınları, ISBN: 978-605-4301-00-3.
- Solomon, D. B., Barnes, J. R and Halworsen, K. E. (2007). "Grain and Cellulosic Ethanol: History, Economics, and Energy Policy. Biomass and Bioenergy. 416-425. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.01.023>.
- Soydal, H., Mızrak, Z ve Çetinkaya, M. (2012, Ocak). Makro Ekonomik Açıdan Türkiye' nin Alternatif Enerji İhtiyacının Önemi. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. ISSN 1308-2922(11), 117-137.
- Söyler, H. (2006, Mart). Sistem Dinamiği Yaklaşımı İle Malatya İlinin Sosyo-Ekonomik Gelişim Projeksiyonu. Yayınlanmamış Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı.
- Sözen, E., Gündüz, G., Deniz, A. ve Güngör, E. (2017, Haziran 1). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. 19(1), 148-160.
- Steenbilik, R. (2008). Biofuels: Linking Support To Performance. International Transport Forum OECD. ISBN 978-92-82-10179-7.
- Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics Systems Thinking And Modelling In A Complex World. Mcgraw-Hill, New York. [file:///C:/Users/acerpc/Downloads/Business\\_Dynamics\\_System\\_Thinking\\_and\\_Modeling\\_for.pdf](file:///C:/Users/acerpc/Downloads/Business_Dynamics_System_Thinking_and_Modeling_for.pdf). (18.10.2020).
- Stronberg, P and Gasparatos, A. (2017). Biofuels At The Confluence of Energy Security, Rural Development, and Food Security: A Developing Country Perspective. Hong Kong, Chine: Chinese University Of Hong Kong. 3-36. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511920899.004>.

- Şahin, T ve Şural, T. (2020). Biyodizel Yan Ürünlerinin Hayvan Beslemede Kullanımı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 3(2), 199-206.
- Şenaraz, A. E. (2017). Su Kaynakları Yönetimi İçin Bir Öneri: Sistem Dinamiği. *İşletme Araştırmaları Dergisi*. 9(3), 668-692.
- Şenol, H., Elibol, E. A., Açıklı, Ü ve Şenol, M. (2017). Türkiye' de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2(6), 81-92.
- Tecim, V. (2004). Sistem Yaklaşımı Ve Soft Sistem Düşüncesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*. 19(2), 75-100.
- Thinktech STM Teknolojik Düşünce Merkezi Trend Analizi. (2020). Küresel Tehditler Artarken Gıda Güvenliği, Trend Analizi Ocak 2020. [https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/2912020102810683\\_stm\\_gida\\_guvenligi.pdf](https://thinktech.stm.com.tr/uploads/raporlar/pdf/2912020102810683_stm_gida_guvenligi.pdf). (12.10.2020).
- Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S ve Reiter, R. (2008, Aralık 17-18). Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2008).
- Topçu, F. H. (2018). Düşük Karbon Ekonomisine Geçme(me): İklim Değişikliği ve Enerji. *Akdeniz Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi. (Özel Sayı)*, 115-154. ISSN: 1302-9975 / 2667-7229.
- Türkiye Cumhuriyeti Dış İşleri Bakanlığı Avrupa Birliği Başkanlığı. (2020). Avrupa Birliğinin Enerji Politikası. [https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji\\_80.html](https://www.ab.gov.tr/fasil-15-enerji_80.html). (15.12.2020).
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, T. E. (2019). Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>. (18.05.2020).
- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. (2018). Sektörel Görünüm Raporu: 2018 Enerji. <https://fatsatso.org.tr/yayinlar/sector-analizleri/dosya/enerji.pdf>. (03.05.2021).
- Vávrová, K., Knapek, J and Weger, J. (2014). Modeling of Biomass Potential From Agricultural Land for Energy Utilization Using High Resolution Spatial Data With Regard to Food Security Scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (35), 436-444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.008>.

- Wang, Z and Irwin. M. (2017). Dynamic Systems Modeling. (JohnWiley&Sons, Dü.) The International Encyclopedia of Communication Research Methods. <https://doi.org/10.1002/9781118901731.iecrm0074>.
- Wu, Y., Shuguang, Zhao, F., Liu, S., Wang, L., Qiu, L., Aleksandrov, G and Jothiprakash, V. (2018). Bioenergy Production And Environmental Impacts. Geoscience Letters Research Letters, Official Journal Of the Asia Oceania Geosciences Society (AOGS). *14(5)*.
- Yamaguchi, K. (2018). Money and Macroeconomic Dynamics- Accounting System Dynamics Approach. Japan Future Research Center .2013. Awaji İslan, Japan. ISBN: 978-4-907291-01-3.
- Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorli, V., Sezer, K and Yağmur, K. (2009). Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi (Biyometanizasyon Projesi)- İstanbul Örneği. Türkiye' de Katı Atık Sempozyumu (TÜRKAY 2009) . 15-17. Haziaran 2009. Yıldız Teknik Üniversitesi Oditoryum ve Sergi Salonu, İstanbul. Türkiye' de Katı Atık Sempozyumu (TÜRKAY 2009) .

## EKLER

### EK-1. Senaryo 1 Sayısal Verileri

Yıllar	Gıda Güvenliği	Enerji Güvenliği	Emisyon Miktarı	Tarımsal Üretim	Gıda Talebi	Kayıplardan Arındırılmış Gıda Miktarı	Toplam Enerji Arzı	Toplam Enerji Tüketimi	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Tüketimi Emisyonu İlişkisi	Enerji İthalat Bağımlılık Oranı	Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı	Toplam Enerji İthalatı	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı
2021	1,44053191	0,174057345	520,9	184593135,1	84959159,38	122386380,1	140493000	141913000	22788000	3,67056E-06	0,815936524	0,824183411	0,196801161	115792000	22788000	0,162200252	0,196801161
2022	1,415155427	0,183234998	534,5156624	183755616,7	86090261,17	121831100,3	147901039,5	147443633,2	25081411,67	3,62329E-06	0,819867247	0,817331683	0,207482951	120884205,6	25081411,67	0,169582389	0,207482951
2023	1,390416979	0,193198855	548,423694	182921898,3	87224438,17	121278339,9	155797829,5	153196960,9	27639370,14	3,57591E-06	0,823778431	0,810026382	0,219011831	126200352,1	27639370,14	0,177405361	0,219011831
2024	1,366296818	0,20400226	562,6223167	182091962,5	88361537,36	120728087,4	164223824,5	159182240	30492478,56	3,52838E-06	0,827669517	0,802260501	0,231441457	131750287,7	30492478,56	0,185676339	0,231441457
2025	1,342775905	0,215702479	577,108558	181265792,2	89501405,95	120180331,4	173223451,9	165409124,3	33674879,97	3,48066E-06	0,831539943	0,794028131	0,244829349	137544293,8	33674879,97	0,194401391	0,244829349
2026	1,319835884	0,228360966	591,8780851	180443370,4	90643891,51	119635060,7	182845541	171887681,2	37224666,72	3,43272E-06	0,83538915	0,785324615	0,259237148	143593104	37224666,72	0,203585313	0,259237148
2027	1,297459052	0,242043664	606,9250198	179624679,9	91788842	119092263,9	193143798,8	178628410,9	41184337,35	3,38452E-06	0,839216578	0,776146709	0,27473089	149907923,8	41184337,35	0,213231476	0,27473089
2028	1,275628335	0,256821312	622,2417301	178809704	92936105,79	118551929,8	204177341,4	185642264,6	45601306,18	3,33602E-06	0,843021668	0,766492748	0,291381307	156500451,5	45601306,18	0,223341659	0,291381307
2029	1,254327261	0,272769785	637,8185982	177998425,7	94085531,78	118014047,3	216011283,7	192940665	50528472,01	3,28718E-06	0,846803861	0,756362803	0,30926414	163382900	50528472,01	0,233915892	0,30926414
2030	1,233539937	0,28997045	653,6437593	177190828,2	95236969,44	117478605,3	228717396,3	200535527,1	56024852,42	3,23794E-06	0,8505626	0,745758836	0,328460474	170568019,2	56024852,42	0,244952301	0,328460474
2031	1,213251026	0,308510555	669,7028113	176386894,9	96390268,81	116945592,6	242374837,5	208439279,7	62156291,63	3,18826E-06	0,854297328	0,734684844	0,349057106	178069119,7	62156291,63	0,256446966	0,349057106
2032	1,193445725	0,328483633	685,978488	175586609,1	97545280,64	116414998,2	257070967,1	216664888,4	68996250,06	3,13808E-06	0,858007492	0,723146995	0,371146929	185900097,5	68996250,06	0,268393786	0,371146929
2033	1,174109743	0,349989947	702,4502948	174789954,3	98701856,35	115886811,2	272902253,1	225225879,5	76626685,35	3,08735E-06	0,861692537	0,711153746	0,394829339	194075459,5	76626685,35	0,280784363	0,394829339
2034	1,155229281	0,373136958	719,0941014	173996914	99859848,18	115361020,6	289975281,8	234136364,7	85139035,23	3,03599E-06	0,865351912	0,698715938	0,420210689	202610350,9	85139035,23	0,293607906	0,420210689
2035	1,136791015	0,398039828	735,8816856	173207471,8	101019109,1	114837615,6	308407882,2	243411067,4	94635314,06	2,98395E-06	0,868985067	0,685846877	0,447404753	211520582,8	94635314,06	0,306851152	0,447404753
2036	1,118782075	0,424821957	752,7802245	172421611,4	102179493,1	114316585,3	328330378,6	253065349,5	105229336,3	2,93115E-06	0,872591455	0,672562382	0,476533231	220822661,5	105229336,3	0,320498325	0,476533231
2037	1,101190029	0,45361556	769,7517243	171639316,5	103340854,9	113797919	349886986,4	263115240,3	117048081,3	2,87752E-06	0,87617053	0,658880806	0,507726292	230533819,5	117048081,3	0,334531108	0,507726292
2038	1,084002865	0,484562277	786,752385	170860571	104503050,3	113281606	373237366,6	273577466	130233216,4	2,82298E-06	0,879721748	0,644823022	0,541123151	240672046,7	130233216,4	0,348928666	0,541123151
2039	1,067208977	0,517813837	803,731889	170085358,7	105665936	112767635,5	398558358,1	284469481	144942795,4	2,76743E-06	0,883244571	0,630412384	0,576872685	251256124,7	144942795,4	0,363667685	0,576872685
2040	1,050797146	0,553532754	820,632607	169313663,7	106829369,8	112255996,9	426045907,9	295809500,2	161353154,4	2,71078E-06	0,886738459	0,615674639	0,615134093	262305660,5	161353154,4	0,37872246	0,615134093
2041	1,034756529	0,591893084	837,3887108	168545469,9	107993210,6	111746679,7	455917222,4	307616533,3	179661026,7	2,65294E-06	0,89020288	0,600637814	0,656077598	273841123,7	179661026,7	0,394065014	0,656077598
2042	1,019076641	0,633081224	853,9251826	167780761,5	109157318,4	111239673,4	488413164,5	319910420,2	200085901,3	2,5938E-06	0,8936373	0,585332061	0,699885207	285883884,1	200085901,3	0,40966525	0,699885207
2043	1,003747347	0,677296771	870,156708	167019522,6	110321554,2	110734967,3	523800925,1	332711868,2	222872656,1	2,53324E-06	0,897041193	0,569789469	0,74675151	298456251,1	222872656,1	0,425491146	0,74675151
2044	0,988758842	0,724753441	885,9864399	166261737,6	111485780,5	110232551,2	562377001,7	346042491,2	248294494	2,47114E-06	0,900414034	0,554043843	0,796884544	311581515,4	248294494	0,441508976	0,796884544
2045	0,974101643	0,77568005	901,3046189	165507390,7	112649860,9	109732414,6	604470517,6	359924850,2	276656219,4	2,40737E-06	0,903755302	0,53813045	0,850506715	325283991,8	276656219,4	0,457683562	0,850506715
2046	0,959766579	0,83032156	915,9870314	164756466,4	113813660	109234547,2	650446922,4	374382495,8	308297893,8	2,34179E-06	0,907064482	0,522085743	0,907855777	339589064,5	308297893,8	0,473978557	0,907855777
2047	0,945744773	0,8888940201	929,8932895	164008949,1	114977044,2	108738938,6	700712117	389440012,9	343598913,8	2,27425E-06	0,910341059	0,505947058	0,969185884	354523233,9	343598913,8	0,490356746	0,969185884
2048	0,932027637	0,951816666	942,8649096	163264823,3	116139880,7	108245578,7	755717053,1	405123067,3	382982560,8	2,20459E-06	0,913584527	0,489752301	1,034768717	370114166	382982560,8	0,506780361	1,034768717
2049	0,918606859	1,019251394	954,7231677	162524073,7	117302038,5	107754457,2	815962860,2	421458454,4	426921077,8	2,13263E-06	0,916794382	0,473539621	1,104894683	386390743,3	426921077,8	0,523211409	1,104894683
2050	0,905474391	1,091565932	965,2667055	161786685	118463387,8	107265563,9	882006562,8	438474150,2	475941332,4	2,0582E-06	0,919970124	0,457347071	1,179874195	403383118,5	475941332,4	0,539612008	1,179874195

## EK-2. Senaryo 2 Sayısal Verileri

Yıllar	Gıda Güvenliği	Enerji Güvenliği	Emisyon Miktarı	Tarımsal Üretim	Gıda Talebi	Kayıplardan arandırılmış Gıda Miktarı	Toplam Enerji Arzı	Toplam Enerji Tüketimi	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi	Enerji İthalat Bağımlılık Oranı	Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı	Toplam Enerji İthalatı	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı
2021	1,483747867	0,174057345	520,9	184593135,1	84959159,38	126057971,5	140493000	141913000	22788000	3,67056E-06	0,815936524	0,824183411	0,196801161	115792000	22788000	0,162200252	0,196801161
2022	1,480822871	0,183234998	534,5156624	186681967,9	86090261,17	127484427,7	147901039,5	147443633,2	25081411,67	3,62522E-06	0,819867247	0,817331683	0,207482951	120884205,6	25081411,67	0,169582389	0,207482951
2023	1,478106669	0,193199404	548,423694	188794437,6	87224438,17	128927025,5	155797913,6	153196960,9	27639454,25	3,57986E-06	0,823778431	0,810025944	0,219012497	126200352,1	27639454,25	0,177405805	0,219012497
2024	1,475596187	0,204003849	562,6223135	190930811,9	88361537,36	130385947,6	164224077,4	159182240	30492731,47	3,53445E-06	0,827669517	0,802259265	0,231443377	131750287,7	30492731,47	0,185677593	0,231443377
2025	1,47328835	0,215705544	577,1085453	193091361	89501405,95	131861378,7	173223958,9	165409124,3	33675386,93	3,48898E-06	0,831539943	0,794025807	0,244833035	137544293,8	33675386,93	0,194403748	0,244833035
2026	1,471180278	0,228365893	591,8780531	195276358,7	90643891,51	133353505,5	182846387,8	171887681,2	37225513,6	3,4434E-06	0,83538915	0,785320977	0,259243046	143593104	37225513,6	0,203589002	0,259243046
2027	1,469269185	0,242050792	606,9249552	197486081,5	91788842	134862517,1	193145072,1	178628410,9	41185610,57	3,3977E-06	0,839216578	0,776141592	0,274739384	149907923,8	41185610,57	0,213236663	0,274739384
2028	1,467552393	0,256830936	622,2416161	199720809,3	92936105,79	136388604,5	204179128,1	185642264,6	45603092,8	3,35183E-06	0,843021668	0,766486041	0,291392724	156500451,5	45603092,8	0,223348455	0,291392724
2029	1,466027329	0,27278216	637,8184141	201980825	94085531,78	137931960,8	216013671,3	192940665	50530859,68	3,30577E-06	0,846803861	0,756354443	0,309278754	163382900	50530859,68	0,233924359	0,309278754
2030	1,464691521	0,289985794	653,6434808	204266414,7	95236969,44	139492781,6	228720473,3	200535527,1	56027929,43	3,25949E-06	0,8505626	0,745748803	0,328478514	170568019,2	56027929,43	0,244962458	0,328478514
2031	1,463542599	0,308529051	669,70241	206577867,9	96390268,81	141071264,5	242378692,8	208439279,7	62160146,88	3,21294E-06	0,854297328	0,734673158	0,349078756	178069119,7	62160146,88	0,256458793	0,349078756
2032	1,462578285	0,328505432	685,9779312	208915477,2	97545280,64	142667609,3	257075690,1	216664888,4	69000973,1	3,16608E-06	0,858007492	0,72313371	0,371172334	185900097,5	69000973,1	0,268407227	0,371172334
2033	1,461796398	0,35001517	702,4495458	211279538,5	98701856,35	144282018,1	272907934,1	225225879,5	76632366,37	3,11887E-06	0,861692537	0,711138942	0,394858611	194075459,5	76632366,37	0,280799335	0,394858611
2034	1,461194844	0,373165701	719,093119	213670351,3	99859848,18	145914695,3	289982011,6	234136364,7	85145765,08	3,07126E-06	0,865351912	0,698699722	0,420243905	202610350,9	85145765,08	0,2936243	0,420243905
2035	1,46077162	0,398072161	735,8804242	216088218,3	101019109,1	147565847,7	308415752,4	243411067,4	94643184,26	3,0232E-06	0,868985067	0,685829375	0,447441961	211520582,8	94643184,26	0,30686884	0,447441961
2036	1,460524806	0,424857927	752,7786335	218533445,5	102179493,1	149235684,4	328339481,3	253065349,5	105238439	2,97464E-06	0,872591455	0,672543736	0,476574452	220822661,5	105238439	0,320517163	0,476574452
2037	1,460452566	0,453655193	769,7497485	221006342,6	103340854,9	150924416,7	349897414,6	263115240,3	117058509,5	2,92552E-06	0,87617053	0,658861169	0,507771527	230533819,5	117058509,5	0,334550941	0,507771527
2038	1,460553143	0,484605581	786,7499642	223507222,7	104503050,3	152632258,5	373249213,7	273577466	130245063,5	2,87578E-06	0,879721748	0,644802555	0,541172376	240672046,7	130245063,5	0,348949331	0,541172376
2039	1,460824859	0,517860803	803,7289576	226036402,5	105665936	154359426,1	398571718,4	284469481	144956155,7	2,82536E-06	0,883244571	0,630391252	0,57692586	251256124,7	144956155,7	0,363689015	0,57692586
2040	1,461266113	0,553583356	820,6290943	228594202,1	106829369,8	156106138	426060876,5	295809500,2	161368123	2,77418E-06	0,886738459	0,615653009	0,615191158	262305660,5	161368123	0,378744287	0,615191158
2041	1,461875377	0,591947283	837,3845404	231180945,5	107993210,6	157872615,5	455933894,9	307616533,3	179677699,2	2,72217E-06	0,89020288	0,60061585	0,656138482	273841123,7	179677699,2	0,394087172	0,656138482
2042	1,462651196	0,633138968	853,9202725	233796960,1	109157318,4	159659082,3	488431637,3	319910420,2	200104374,1	2,66925E-06	0,8936373	0,585309923	0,699949823	285883884,1	200104374,1	0,409687577	0,699949823
2043	1,463592184	0,677357996	870,1509703	236442577,2	110321554,2	161465764,4	523821295,5	332711868,2	222893026,5	2,61533E-06	0,897041193	0,569767311	0,746819762	298456251,1	222893026,5	0,425513488	0,746819762
2044	1,464697023	0,724818074	885,9797806	239118131,8	111485780,5	163292890,8	562399367,5	346042491,2	248316859,8	2,56032E-06	0,900414034	0,55402181	0,796956326	311581515,4	248316859,8	0,441531186	0,796956326
2045	1,465964463	0,775748009	901,2969377	241823962,7	112649860,9	165140692,7	604494977,6	359924850,2	276680679,4	2,50413E-06	0,903755302	0,538108676	0,850581911	325283991,8	276680679,4	0,457705506	0,850581911
2046	1,467393317	0,830392753	915,9782217	244560412,4	113813660	167009404,1	650473575,9	374382495,8	308324547,4	2,44664E-06	0,907064482	0,52206435	0,907934264	339589064,5	308324547,4	0,474000111	0,907934264
2047	1,468982464	0,889014531	929,8832377	247327827,4	114977044,2	168899261,6	700741064,4	389440012,9	343627861,1	2,38774E-06	0,910341059	0,505926157	0,969267535	354523233,9	343627861,1	0,490377799	0,969267535
2048	1,470730842	0,951894031	942,8534955	250126558,1	116139880,7	170810504,5	755748395,3	405123067,3	383013903	2,32733E-06	0,913584527	0,48973199	1,0348534	370114166	383013903	0,506800815	1,0348534
2049	1,472637449	1,019331684	954,7102639	252956958,9	117302038,5	172743374,8	815996699,2	421458454,4	426954916,8	2,26525E-06	0,916794382	0,473519983	1,10498226	386390743,3	426954916,8	0,523231181	1,10498226
2050	1,474701344	1,091649034	965,252177	255819388,2	118463387,8	174698117,2	882043001,1	438474150,2	47597770,6	2,20139E-06	0,919970124	0,457328178	1,179964527	403383118,5	47597770,6	0,539631027	1,179964527

### EK-3. Senaryo 3 Sayısal Verileri

Yıllar	Gıda Güvenliği	Enerji Güvenliği	Emisyon Miktarı	Tarımsal Üretim	Gıda Talebi	Kayıplardan arındırılmış Gıda Miktarı	Toplam Enerji Arzı	Toplam Enerji Tüketimi	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi	Enerji İthalat Bağımlılık Oranı	Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı	Toplam Enerji İthalatı	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı
2021	1,29937274	0,174057345	520,9	184593135,1	94188816,13	122386380,1	140493000	141913000	22788000	3,67056E-06	0,815936524	0,824183411	0,196801161	115792000	22788000	0,162200252	0,196801161
2022	1,278690218	0,183240338	534,5156624	183755616,7	95278042	121831100,3	147901826,8	147443633,2	25082198,9	3,62522E-06	0,819867247	0,817327333	0,207489463	120884205,6	25082198,9	0,169586809	0,207489463
2023	1,258458742	0,193266082	548,4236645	182921898,3	96370533,08	121278339,9	155808128,6	153196960,9	27649669,18	3,57986E-06	0,823778431	0,809972838	0,219093439	126200352,1	27649669,18	0,177459735	0,219093439
2024	1,238667018	0,204126477	562,621901	182091962,5	97466135,48	120728087,4	164243597,6	159182240	30512251,64	3,53445E-06	0,827669517	0,802163918	0,231591537	131750287,7	30512251,64	0,185774375	0,231591537
2025	1,219304039	0,215879068	577,1073909	181265792,2	98564695,56	120180331,4	173252661,5	165409124,3	33704089,5	3,48897E-06	0,831539943	0,793894262	0,245041714	137544293,8	33704089,5	0,194537211	0,245041714
2026	1,200359085	0,228585581	591,8757927	180443370,4	99666060,03	119635060,7	182884149,5	171887681,2	37263275,28	3,44339E-06	0,83538915	0,785158825	0,259506023	143593104	37263275,28	0,203753444	0,259506023
2027	1,181821714	0,242312212	606,921219	179624679,9	100770076	119092263,9	193191769,2	178628410,9	41232307,68	3,39776E-06	0,839216578	0,775953988	0,275050889	149907923,8	41232307,68	0,213426834	0,275050889
2028	1,163681752	0,257129943	622,2360289	178809704	101876591	118551929,8	204234636,5	185642264,6	45658601,22	3,3518E-06	0,843021668	0,76627772	0,291747409	156500451,5	45658601,22	0,223559539	0,291747409
2029	1,145929292	0,273114879	637,8105946	177998425,7	102985453,1	118014047,3	216077866,5	192940665	50595054,85	3,30573E-06	0,846803861	0,756129735	0,309671666	163382900	50595054,85	0,234151955	0,309671666
2030	1,128554688	0,290348607	653,6330421	177190828,2	104096510,8	117478605,3	228793230,2	200535527,1	56100686,34	3,25944E-06	0,8505626	0,745511653	0,32890507	170568019,2	56100686,34	0,245202563	0,32890507
2031	1,111548542	0,30891858	669,6889589	176386894,9	105209613,6	116945592,6	242459885,9	208439279,7	62241340,06	3,21287E-06	0,854297328	0,734427136	0,349534721	178069119,7	62241340,06	0,256707784	0,349534721
2032	1,094901707	0,328918528	685,9610684	175586609,1	106324611,1	116414998,2	257165193,6	216664888,4	69090476,61	3,166E-06	0,858007492	0,722882031	0,371653794	185900097,5	69090476,61	0,26866185	0,371653794
2033	1,078605274	0,350448901	702,4288657	174789954,3	107441354,1	115886811,2	273005621,5	225225879,5	76730053,8	3,11878E-06	0,861692537	0,710884481	0,395361959	194075459,5	76730053,8	0,281056681	0,395361959
2034	1,06265057	0,373617337	719,0682092	173996914	108559693,9	115361020,6	290087756,1	234136364,7	85251509,52	3,07115E-06	0,865351912	0,698445028	0,420765815	202610350,9	85251509,52	0,293881792	0,420765815
2035	1,04702915	0,398539165	735,8508657	173207471,8	109679482,7	114837615,6	308529426,4	243411067,4	94756858,32	3,02308E-06	0,868985067	0,68557669	0,447979374	211520582,8	94756858,32	0,307124216	0,447979374
2036	1,031732793	0,425337945	752,7440005	172421611,4	110800573,7	114316585,3	328460957,1	253065349,5	105359914,8	2,9745E-06	0,872591455	0,672295007	0,477124558	220822661,5	105359914,8	0,320768458	0,477124558
2037	1,016753494	0,454146039	769,7096082	171639316,5	111922820,8	113797919	350026563,6	263115240,3	117187658,5	2,92537E-06	0,87617053	0,658618069	0,508331744	230533819,5	117187658,5	0,334796472	0,508331744
2038	1,002083461	0,485105233	786,7038765	170860571	113046078,9	113281606	373385907,1	273577466	130381756,8	2,87562E-06	0,879721748	0,644566499	0,541740342	240672046,7	130381756,8	0,349187675	0,541740342
2039	0,987715109	0,518367388	803,676475	170085358,7	114170203,9	112767635,5	398715826,6	284469481	145100263,9	2,82518E-06	0,883244571	0,630163409	0,577499411	251256124,7	145100263,9	0,363918997	0,577499411
2040	0,973641054	0,554095149	820,5697617	169313663,7	115295053	112255996,9	426212269,5	295809500,2	161519516	2,77398E-06	0,886738459	0,615434325	0,61576832	262305660,5	161519516	0,378964961	0,61576832
2041	0,959854106	0,592462689	837,317895	168545469,9	116420484,1	111746679,7	456092442,1	307616533,3	179836246,3	2,72195E-06	0,89020288	0,600407063	0,656717457	273841123,7	179836246,3	0,3942978	0,656717457
2042	0,946347269	0,633656519	853,8458435	167780761,5	117546356,4	111239673,4	488597207,5	319910420,2	200269944,3	2,66902E-06	0,8936373	0,58511158	0,700528975	285883884,1	200269944,3	0,409887616	0,700528975
2043	0,933113729	0,677876347	870,0682786	167019522,6	118672530,3	110734967,3	523993756,9	332711868,2	223065487,9	2,61508E-06	0,897041193	0,569579785	0,747397607	298456251,1	223065487,9	0,425702568	0,747397607
2044	0,920146856	0,725335989	885,888339	166261737,6	119798867,4	110232551,2	562578587,9	346042491,2	248496080,1	2,56006E-06	0,900414034	0,553845315	0,797531522	311581515,4	248496080,1	0,441709097	0,797531522
2045	0,907440195	0,776264356	901,1962502	165507390,7	120925230,4	109732414,6	604680823,3	359924850,2	276866525,7	2,50385E-06	0,903755302	0,53794329	0,851153247	325283991,8	276866525,7	0,457872178	0,851153247
2046	0,894987461	0,830906503	915,8677834	164756466,4	122051483,3	109234547,2	650665914,7	374382495,8	308516886,1	2,44634E-06	0,907064482	0,521910026	0,908500651	339589064,5	308516886,1	0,474155598	0,908500651
2047	0,882782537	0,889524743	929,7625351	164008949,1	123177491,6	108738938,6	700939761,3	389440012,9	343826558,1	2,38743E-06	0,910341059	0,505782741	0,969827998	354523233,9	343826558,1	0,490522263	0,969827998
2048	0,870819469	0,952399853	942,7220054	163264823,3	124303121,9	108245578,7	755953315,7	405123067,3	383218823,4	2,327E-06	0,913584527	0,489599236	1,035407068	370114166	383218823,4	0,50693451	1,035407068
2049	0,85909246	1,019832346	954,5674538	162524073,7	125428242,2	107754457,2	816207707,5	421458454,4	427165925,1	2,26491E-06	0,916794382	0,473397567	1,105528361	386390743,3	427165925,1	0,523354437	1,105528361
2050	0,847595865	1,092143841	965,0975048	161786685	126552722	107265563,9	882259961,2	438474150,2	476194730,7	2,20104E-06	0,919970124	0,457215714	1,180502378	403383118,5	476194730,7	0,539744238	1,180502378

## EK-4. Senaryo 4 Sayısal Veriler

Yıllar	Gıda Güvenliği	Enerji Güvenliği	Emisyon Miktarı	Tarımsal Üretim	Gıda Talebi	Kayıplardan arındırılmış Gıda Miktarı	Toplam Enerji Arzı	Toplam Enerji Tüketimi	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi	Enerji İthalat Bağımlılık Oranı	Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı	Toplam Enerji İthalatı	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı
2021	1,338353922	0,174057345	520,9	184593135,1	94188816,13	126057971,5	140493000	141913000	22788000	3,67056E-06	0,815936524	0,824183411	0,196801161	115792000	22788000	0,162200252	0,196801161
2022	1,335973627	0,183299767	534,5156624	186681967,9	95424359,56	127484427,7	147910589,3	147443633,2	25090961,43	3,62522E-06	0,819867247	0,817278913	0,20756195	120884205,6	25090961,43	0,169636005	0,20756195
2023	1,333762436	0,193324708	548,4233366	188794437,6	96664160,05	128927025,5	155817109,9	153196960,9	27658650,5	3,57986E-06	0,823778431	0,809926151	0,219164606	126200352,1	27658650,5	0,177507146	0,219164606
2024	1,331717978	0,204185657	562,621228	190930811,9	97908077,95	130385947,6	164253017,9	159182240	30521672,03	3,53445E-06	0,827669517	0,802117911	0,231663039	131750287,7	30521672,03	0,185821073	0,231663039
2025	1,329837965	0,215940016	577,1063467	193091361	99155974	131861378,7	173262742,7	165409124,3	33714170,73	3,48896E-06	0,831539943	0,79384807	0,245115008	137544293,8	33714170,73	0,194584076	0,245115008
2026	1,328120184	0,228649375	591,8743422	195276358,7	100407709,4	133353505,5	182895114,9	171887681,2	37274240,65	3,44338E-06	0,83538915	0,785111751	0,259582387	143593104	37274240,65	0,203801182	0,259582387
2027	1,326562499	0,242379807	606,919318	197486081,5	101663146,1	134862517,1	193203843,5	178628410,9	41244382,06	3,39766E-06	0,839216578	0,775905495	0,275131434	149907923,8	41244382,06	0,213475991	0,275131434
2028	1,325162848	0,257202178	622,2336232	199720809,3	102922146,3	136388604,5	204248046,3	185642264,6	45672011,01	3,35179E-06	0,843021668	0,76622741	0,291833094	156500451,5	45672011,01	0,223610516	0,291833094
2029	1,323919241	0,273192485	637,8076204	201980825	104184573	137931960,8	216092839,7	192940665	50610028,07	3,30572E-06	0,846803861	0,756077343	0,309763311	163382900	50610028,07	0,234205021	0,309763311
2030	1,322829756	0,290432215	653,629425	204266414,7	105450290,2	139492781,6	228809996,5	200535527,1	56117452,62	3,25942E-06	0,8505626	0,745457025	0,329003367	170568019,2	56117452,62	0,245257871	0,329003367
2031	1,321892541	0,309008729	669,684614	206577867,9	106719162,2	141071264,5	242478676,6	208439279,7	62260130,67	3,21285E-06	0,854297328	0,734370223	0,349640245	178069119,7	62260130,67	0,256765385	0,349640245
2032	1,321105808	0,329015673	685,9558997	208915477,2	107991054,5	142667609,3	257186241,5	216664888,4	69111524,47	3,16598E-06	0,858007492	0,722822871	0,371767016	185900097,5	69111524,47	0,268721702	0,371767016
2033	1,320467833	0,350553417	702,4227658	211279538,5	109265833,3	144282018,1	273029161,2	225225879,5	76753593,52	3,11875E-06	0,861692537	0,710823191	0,39548325	194075459,5	76753593,52	0,281118666	0,39548325
2034	1,319976955	0,373729528	719,0610591	213670351,3	110543365,7	145914695,3	290114024	234136364,7	85277777,41	3,07112E-06	0,865351912	0,698381788	0,420895463	202610350,9	85277777,41	0,293945726	0,420895463
2035	1,319631574	0,398659267	735,8425341	216088218,3	111823520,1	147565847,7	308558660,5	243411067,4	94786092,41	3,02304E-06	0,868985067	0,685511735	0,448117583	211520582,8	94786092,41	0,307189862	0,448117583
2036	1,319430147	0,425466133	752,7343436	218533445,5	113106165,4	149235684,4	328493397,2	253065349,5	105392354,9	2,97447E-06	0,872591455	0,672228615	0,477271464	220822661,5	105392354,9	0,320835535	0,477271464
2037	1,319371189	0,454282434	769,6984693	221006342,6	114391172,1	150924416,7	350062451,3	263115240,3	117223546,2	2,92533E-06	0,87617053	0,658550549	0,508487416	230533819,5	117223546,2	0,334864667	0,508487416
2038	1,319453272	0,485249904	786,6910853	223507222,7	115678411,4	152632258,5	373425485,7	273577466	130421335,5	2,87557E-06	0,879721748	0,644498182	0,541904792	240672046,7	130421335,5	0,349256654	0,541904792
2039	1,319675021	0,518520357	803,6618476	226036402,5	116967756,1	154359426,1	398759341,4	284469481	145143778,7	2,82513E-06	0,883244571	0,630094642	0,5776726	251256124,7	145143778,7	0,36398841	0,5776726
2040	1,320035114	0,554256394	820,5530997	228594202,1	118259079,9	156106138	426259967,5	295809500,2	161567214	2,77392E-06	0,886738459	0,615365459	0,615950162	262305660,5	161567214	0,379034454	0,615950162
2041	1,320532279	0,592632153	837,2989855	231180945,5	119552257,9	157872615,5	456144572,3	307616533,3	179888376,5	2,72189E-06	0,89020288	0,600338446	0,656907823	273841123,7	179888376,5	0,394367022	0,656907823
2042	1,321165296	0,63383411	853,8244581	233796960,1	120847166,4	159659082,3	488654020,6	319910420,2	200326757,5	2,66895E-06	0,8936373	0,585043552	0,700727703	285883884,1	200326757,5	0,409956225	0,700727703
2043	1,321932992	0,67806194	870,0441734	236442577,2	122143683,1	161465764,4	524055505,8	33271868,2	223127236,8	2,61501E-06	0,897041193	0,569512672	0,747604501	298456251,1	223127236,8	0,425770237	0,747604501
2044	1,322834244	0,725529431	885,8612537	239118131,8	123441687,1	163292890,8	562645527,3	346042491,2	248563019,5	2,55998E-06	0,900414034	0,553779423	0,797746359	311581515,4	248563019,5	0,441775518	0,797746359
2045	1,323867972	0,776465472	901,1659079	241823962,7	124741059	165140692,7	604753210,4	359924850,2	276938912,2	2,50376E-06	0,903755302	0,5378789	0,85137578	325283991,8	276938912,2	0,457937068	0,85137578
2046	1,325033142	0,831115092	915,8338898	244560412,4	126041680,6	167009404,1	650744007	374382495,8	308594978,5	2,44625E-06	0,907064482	0,521847394	0,908730612	339589064,5	308594978,5	0,474218702	0,908730612
2047	1,326328765	0,889740589	929,724778	247327827,4	127343435,5	168899261,6	701023820,3	389440012,9	343910617,1	2,38734E-06	0,910341059	0,505722093	0,970065102	354523233,9	343910617,1	0,490583354	0,970065102
2048	1,327753894	0,95262272	942,6800542	250126558,1	128646208,6	170810504,5	756043604,1	405123067,3	383309111,8	2,3269E-06	0,913584527	0,489540767	1,035651015	370114166	383309111,8	0,506993393	1,035651015
2049	1,329307624	1,020061983	954,5209591	252956958,9	129949886,5	172743374,8	816304490,1	421458454,4	427262707,7	2,2648E-06	0,916794382	0,473341441	1,10577884	386390743,3	427262707,7	0,523410949	1,10577884
2050	1,330989088	1,092379987	965,0460972	255819388,2	131254357,2	174698117,2	882363505,1	438474150,2	476298274,7	2,20092E-06	0,919970124	0,457162061	1,180759067	403383118,5	476298274,7	0,539798249	1,180759067

## EK-5. Senaryo 5 Sayısal Verileri

Yıllık	Gıda Güvenliği	Enerji Güvenliği	Emisyon Miktarı	Tarımsal Üretim	Gıda Talebi	Kayıplardan arandırılmış Gıda Miktarı	Toplam Enerji Arzu	Toplam Enerji Tüketimi	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi	Enerji İthalat Bağımlılık Oranı	Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı	Toplam Enerji İthalatı	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Arzu İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı
2021	1,338353922	0,174057345	520,9	184593135,1	94188816,13	126057971,5	140493000	141913000	22788000	3,67056E-06	0,815936524	0,824183411	0,196801161	115792000	22788000	0,162200252	0,196801161
2022	1,334920738	0,183299767	534,5156624	186681967,9	95499623,38	127484427,7	147910589,3	147443633,2	25090961,43	3,62522E-06	0,819867247	0,817278913	0,20756195	120884205,6	25090961,43	0,169636005	0,20756195
2023	1,331495409	0,193324709	548,4233366	188794437,6	96828742,1	128927025,5	155817109,9	153196960,9	27658650,57	3,57986E-06	0,823778431	0,809926151	0,219164607	126200352,1	27658650,57	0,177507147	0,219164607
2024	1,328077922	0,204185658	562,621228	190930811,9	98176428,88	130385947,6	164253018,2	159182240	30521672,26	3,53445E-06	0,827669517	0,80211791	0,231663041	131750287,7	30521672,26	0,185821074	0,231663041
2025	1,324668263	0,215940019	577,1063467	193091361	99542943,95	131861378,7	173262743,2	165409124,3	33714171,21	3,48896E-06	0,831539943	0,793848067	0,245115012	137544293,8	33714171,21	0,194584078	0,245115012
2026	1,321266421	0,22864938	591,8743422	195276358,7	100928551,2	133353505,5	182895115,7	171887681,2	37274241,5	3,44338E-06	0,83538915	0,785111748	0,259582393	143593104	37274241,5	0,203801186	0,259582393
2027	1,317872381	0,242379815	606,9193179	197486081,5	102333518,1	134862517,1	193203844,9	178628410,9	41244383,39	3,39766E-06	0,839216578	0,775905489	0,275131443	149907923,8	41244383,39	0,213475997	0,275131443
2028	1,31448613	0,257202189	622,2336231	199720809,3	103758116	136388604,5	204248048,2	185642264,6	45672012,99	3,35179E-06	0,843021668	0,766227403	0,291833107	156500451,5	45672012,99	0,223610523	0,291833107
2029	1,311107657	0,273192499	637,8076202	201980825	105202620,2	137931960,8	216092842,5	192940665	50610030,83	3,30572E-06	0,846803861	0,756077333	0,309763328	163382900	50610030,83	0,234205031	0,309763328
2030	1,307736946	0,290432233	653,6294247	204266414,7	106667309,6	139492781,6	228810000,2	20035527,1	56117456,35	3,25942E-06	0,8505626	0,745457013	0,329003389	170568019,2	56117456,35	0,245257883	0,329003389
2031	1,304373986	0,309008752	669,6846135	206577867,9	108152467	141071264,5	242478681,4	208439279,7	62260135,54	3,21285E-06	0,854297328	0,734370208	0,349640272	178069119,7	62260135,54	0,2567654	0,349640272
2032	1,301018763	0,329015702	685,9558991	208915477,2	109658379,5	142667609,3	257186247,7	216664888,4	69111530,7	3,16598E-06	0,858007492	0,722822854	0,371767049	185900097,5	69111530,7	0,268721719	0,371767049
2033	1,297671263	0,350553452	702,4227649	211279538,5	111185338	144282018,1	273029169	225225879,5	76753601,32	3,11875E-06	0,861692537	0,71082317	0,39548329	194075459,5	76753601,32	0,281118686	0,39548329
2034	1,294331475	0,373729569	719,0610579	213670351,3	112733637,5	145914695,3	290114033,6	234136364,7	85277787,02	3,07112E-06	0,865351912	0,698381765	0,42089551	202610350,9	85277787,02	0,293945749	0,42089551
2035	1,290999385	0,398659315	735,8425325	216088218,3	114303577,1	147565847,7	308558672,2	243411067,4	94786104,09	3,02304E-06	0,868985067	0,685511709	0,448117639	211520582,8	94786104,09	0,307189888	0,448117639
2036	1,287674979	0,425466189	752,7343415	218533445,5	115895460,3	149235684,4	328493411,2	253065349,5	105392368,9	2,97447E-06	0,872591455	0,672228587	0,477271527	220822661,5	105392368,9	0,320835564	0,477271527
2037	1,284358244	0,454282498	769,6984666	221006342,6	117509594,7	150924416,7	350062468	263115240,3	117223562,8	2,92533E-06	0,87617053	0,658550518	0,508487488	230533819,5	117223562,8	0,334864699	0,508487488
2038	1,281049168	0,485249975	786,6910819	223507222,7	119146292,2	152632258,5	373425505,3	273577466	130421355,1	2,87557E-06	0,879721748	0,644498148	0,541904874	240672046,7	130421355,1	0,349256688	0,541904874
2039	1,277747737	0,518520437	803,6618434	226036402,5	120805869,2	154359426,1	398759364,3	284469481	145143801,6	2,82513E-06	0,883244571	0,630094606	0,577672691	251256124,7	145143801,6	0,363988447	0,577672691
2040	1,274453939	0,554256484	820,5530945	228594202,1	122488646,5	156106138	426259994	295809500,2	161567240,5	2,77392E-06	0,886738459	0,615365421	0,615950263	262305660,5	161567240,5	0,379034493	0,615950263
2041	1,271167759	0,592632253	837,2989792	231180945,5	124194949,4	157872615,5	456144602,8	307616533,3	179888407	2,72189E-06	0,89020288	0,600338406	0,656907935	273841123,7	179888407	0,394367062	0,656907935
2042	1,267889185	0,633834219	853,8244505	233796960,1	125925107,7	159659082,3	488654055,5	319910420,2	200326792,4	2,66895E-06	0,8936373	0,585043511	0,700727825	285883884,1	200326792,4	0,409956267	0,700727825
2043	1,264618204	0,678062059	870,0441643	236442577,2	127679456,1	161465764,4	524055545,5	332711868,2	223127276,5	2,61501E-06	0,897041193	0,569512628	0,747604634	298456251,1	223127276,5	0,42577028	0,747604634
2044	1,261354803	0,725529561	885,8612429	239118131,8	129458333,6	163292890,8	562645572,2	346042491,2	248563064,4	2,55998E-06	0,900414034	0,553779379	0,797746503	311581515,4	248563064,4	0,441775563	0,797746503
2045	1,258098968	0,776465612	901,165895	241823962,7	131262084,3	165140692,7	604753261	359924850,2	276938962,8	2,50376E-06	0,903755302	0,537878855	0,851375935	325283991,8	276938962,8	0,457937114	0,851375935
2046	1,254850686	0,831115244	915,8338747	244560412,4	133091057	167009404,1	650744063,8	374382495,8	308595035,3	2,44625E-06	0,907064482	0,521847349	0,908730779	339589064,5	308595035,3	0,474218748	0,908730779
2047	1,251609944	0,889740752	929,7247603	247327827,4	134945605,4	168899261,6	701023883,7	389440012,9	343910680,5	2,38734E-06	0,910341059	0,505722048	0,970065281	354523233,9	343910680,5	0,4905834	0,970065281
2048	1,24837673	0,952622894	942,6800337	250126558,1	136826088,2	170810504,5	756043674,7	405123067,3	383309182,4	2,3269E-06	0,913584527	0,489540721	1,035651206	370114166	383309182,4	0,506993439	1,035651206
2049	1,245151029	1,020062169	954,5209353	252956958,9	138732869,1	172743374,8	816304568,4	421458454,4	427262786,1	2,2648E-06	0,916794382	0,473341395	1,105779042	386390743,3	427262786,1	0,523410995	1,105779042
2050	1,24193283	1,092380185	965,0460699	255819388,2	140666317,1	174698117,2	882363591,7	438474150,2	476298361,3	2,20092E-06	0,919970124	0,457162016	1,180759282	403383118,5	476298361,3	0,539798294	1,180759282

## EK-6. Senaryo 6 Sayısal Verileri

Yıllar	Gıda Güvenliği	Enerji Güvenliği	Emisyon Miktarı	Tarımsal Üretim	Gıda Talebi	Kayıplardan arandırılmış Gıda Miktarı	Toplam Enerji Arzı	Toplam Enerji Tüketimi	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Tüketimi Emisyon İlişkisi	Enerji İthalat Bağımlılık Oranı	Toplam Enerji Arzında İthalatın Payı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı	Toplam Enerji İthalatı	Toplam Yenilenebilir Enerji Üretimi	Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerji Oranı	Yenilenebilir Enerjinin İthalatı Karşılama Oranı
2021	1,483747867	0,174057345	520,9	184593135,1	84959159,38	126057971,5	140493000	141913000	22788000	3,67056E-06	0,815936524	0,824183411	0,196801161	115792000	22788000	0,162200252	0,196801161
2022	1,479529403	0,183287674	534,5156624	186681967,9	86165524,99	127484427,7	147141746,7	147443633,2	25089178,3	3,62522E-06	0,814664856	0,81633628	0,208872581	120117146,2	25089178,3	0,170510265	0,208872581
2023	1,475322932	0,193301298	548,4234033	188794437,6	87389020,22	128927025,5	154157435,7	153196690,9	27655064,13	3,57986E-06	0,812968244	0,807903062	0,222050082	124544264,3	27655064,13	0,179394941	0,222050082
2024	1,471128421	0,204151671	562,6214307	190930811,9	88629888,29	130385947,6	161564957,5	159182240	30516262,1	3,53445E-06	0,810816817	0,798859104	0,236436203	129067637,1	30516262,1	0,188879214	0,236436203
2025	1,466945836	0,215896161	577,1067575	193091361	89888375,9	131861378,7	169391311,2	165409124,3	33706916,69	3,48897E-06	0,808178611	0,7891793	0,252146075	133680116,3	33706916,69	0,198988463	0,252146075
2026	1,462775141	0,228596324	591,8750359	195276358,7	91164733,22	133353505,5	177665814,5	171887681,2	37265121,76	3,44338E-06	0,805019426	0,778838196	0,26930935	138372922,5	37265121,76	0,209748408	0,26930935
2027	1,458616305	0,2423182	606,9203721	197486081,5	92459214,01	134862517,1	186420336,6	178628410,9	41233377,33	3,39767E-06	0,801302664	0,767810123	0,28807249	143135421,6	41233377,33	0,221184974	0,28807249
2028	1,454469293	0,257132626	622,2351184	199720809,3	93772075,58	136388604,5	195689556,1	185642264,6	45659099,24	3,3518E-06	0,796899163	0,756069338	0,308601523	147954873,1	45659099,24	0,233324149	0,308601523
2029	1,450334071	0,273115569	637,8096403	201980825	95103578,96	137931960,8	205511247,8	192940665	50595187,83	3,30573E-06	0,792037015	0,743590193	0,331085349	152816148,4	50595187,83	0,246191819	0,331085349
2030	1,446210606	0,290348487	653,6320563	204266414,7	96453988,82	139492781,6	215926600,4	200535527,1	56100662,24	3,25943E-06	0,786401371	0,730347318	0,355739755	157701413,5	56100662,24	0,259813576	0,355739755
2031	1,442098865	0,308918715	669,6879466	206577867,9	97823573,64	141071264,5	226980569,4	208439279,7	62241368,27	3,21287E-06	0,780034239	0,71631583	0,382812316	162589774,9	62241368,27	0,274214522	0,382812316
2032	1,437998813	0,328919873	685,9600269	208915477,2	99212605,69	142667609,3	238722269	216664888,4	69090767,92	3,166E-06	0,772884258	0,701471556	0,412588407	167456881,5	69090767,92	0,289419032	0,412588407
2033	1,433910419	0,350452305	702,4277843	211279538,5	100621361,1	144282018,1	251205407,4	225225879,5	76730820,46	3,11877E-06	0,764896464	0,685791283	0,445398651	172274478,7	76730820,46	0,305450513	0,445398651
2034	1,429833649	0,373623555	719,0670691	213670351,3	102050119,9	145914695,3	264488770,5	234136364,7	85252965,25	3,07115E-06	0,756012035	0,669253024	0,481628206	177009909,6	85252965,25	0,322331134	0,481628206
2035	1,425768469	0,398548861	735,8496395	216088218,3	103499166,2	147565847,7	278636758,8	243411067,4	94759218,31	3,02307E-06	0,746168024	0,651836305	0,521728444	181625555,2	94759218,31	0,340081541	0,521728444
2036	1,421714847	0,4253517	752,742652	218533445,5	104968788,1	149235684,4	293719985,7	253065349,5	105363395,8	2,9745E-06	0,735297067	0,633522464	0,566231781	186078209,1	105363395,8	0,358720553	0,566231781
2037	1,417672749	0,454164359	769,708092	221006342,6	106459277,6	150924416,7	309815940,7	263115240,3	117192478,7	2,92536E-06	0,723327072	0,614294978	0,615770694	190318376,4	117192478,7	0,378264845	0,615770694
2038	1,413642144	0,485128551	786,7021377	223507222,7	107970931,1	152632258,5	327009729	273577466	130388136,1	2,87561E-06	0,710180894	0,594139783	0,671102366	194289489,4	130388136,1	0,398728614	0,671102366
2039	1,409622999	0,518396072	803,6744493	226036402,5	109504049,1	154359426,1	345394892,4	284469481	145108423,5	2,82517E-06	0,695775976	0,573045622	0,733141011	197927030,8	145108423,5	0,420123247	0,733141011
2040	1,40561528	0,554129505	820,5673743	228594202,1	111058936,4	156106138	365074323,6	295809500,2	161529679	2,77397E-06	0,680023973	0,551004381	0,803000821	201157551,6	161529679	0,44245697	0,803000821
2041	1,401618956	0,592502969	837,3150611	231180945,5	112635902,1	157872615,5	386161283,4	307616533,3	179848637,3	2,72194E-06	0,662830349	0,528011437	0,882053836	203897574	179848637,3	0,465734513	0,882053836
2042	1,397633993	0,633702924	853,8424672	233796960,1	114235259,7	159659082,3	408780532,2	319910420,2	200284789,5	2,669E-06	0,644093942	0,50406599	0,972009182	206052363,6	200284789,5	0,489956771	0,972009182
2043	1,393660361	0,677929027	870,0642531	236442577,2	115857327,2	161465764,4	433069590	332711868,2	223083015,2	2,61507E-06	0,623706506	0,479171389	1,075023451	207514556,9	223083015,2	0,51512048	1,075023451
2044	1,389698026	0,725395054	885,8835458	239118131,8	117502427	163292890,8	459180138,8	346042491,2	248516519,2	2,56004E-06	0,601552216	0,453335434	1,193857526	208162627,3	248516519,2	0,541217919	1,193857526
2045	1,385746956	0,776329875	901,1905591	241823962,7	119170886,2	165140692,7	487279583,9	359924850,2	276890107,7	2,50383E-06	0,577507137	0,426570652	1,332104367	207859169,8	276890107,7	0,568236628	1,332104367
2046	1,38180712	0,830978509	915,8610519	244560412,4	120863036,4	167009404,1	517552792,7	374382495,8	308543844,2	2,44632E-06	0,551438867	0,398894542	1,494528273	206448984,4	308543844,2	0,596159172	1,494528273
2047	1,377878485	0,889603238	929,7546078	247327827,4	122579214	168899261,6	550204030,7	389440012,9	343857127	2,38741E-06	0,523204929	0,370329774	1,687584907	203756934,3	343857127	0,624962937	1,687584907
2048	1,373961019	0,952484806	942,7127141	250126558,1	124319760,3	170810504,5	585459118,2	405123067,3	383253239,8	2,32698E-06	0,49265413	0,340904336	1,920245407	199585552,1	383253239,8	0,654619986	1,920245407
2049	1,370054692	1,0199237	954,5566167	252956958,9	126085021,2	172743374,8	623567832,4	421458454,4	427204427,3	2,26489E-06	0,45962387	0,310651634	2,205354444	193712366	427204427,3	0,685096961	2,205354444
2050	1,36615947	1,092241517	965,084926	255819388,2	127875347,7	174698117,2	664806583,2	438474150,2	476237559	2,20101E-06	0,423940413	0,279610517	2,56197466	185886912,3	476237559	0,716355059	2,56197466

**EK-7. Senaryolarda Gıda Güvenliğinin Karşılaştırmalı Sayısal Verileri**

Yıllar	Senaryo 1: Gıda Güvenliği	Senaryo 2: Gıda Güvenliği	Senaryo 3: Gıda Güvenliği	Senaryo 4: Gıda Güvenliği	Senaryo 5: Gıda Güvenliği	Senaryo 6: Gıda Güvenliği
2021	1,44053191	1,483747867	1,29937274	1,338353922	1,483747867	1,483747867
2022	1,415155427	1,480822871	1,278690218	1,335973627	1,479529403	1,480822871
2023	1,390416979	1,47810669	1,258458742	1,333762436	1,475322932	1,47810669
2024	1,366296818	1,475596187	1,238667018	1,331717978	1,471128421	1,475596187
2025	1,342775905	1,47328835	1,219304039	1,329837965	1,466945836	1,47328835
2026	1,319835884	1,471180278	1,200359085	1,328120184	1,462775141	1,471180278
2027	1,297459052	1,469269185	1,181821714	1,326562499	1,458616305	1,469269185
2028	1,275628335	1,467552393	1,163681752	1,325162848	1,454469293	1,467552393
2029	1,254327261	1,466027329	1,145929292	1,323919241	1,450334071	1,466027329
2030	1,233539937	1,464691521	1,128554688	1,322829756	1,446210606	1,464691521
2031	1,213251026	1,463542599	1,111548542	1,321892541	1,442098865	1,463542599
2032	1,193445725	1,462578285	1,094901707	1,321105808	1,437998813	1,462578285
2033	1,174109743	1,461796398	1,078605274	1,320467833	1,433910419	1,461796398
2034	1,155229281	1,461194844	1,06265057	1,319976955	1,429833649	1,461194844
2035	1,136791015	1,46077162	1,04702915	1,319631574	1,425768469	1,46077162
2036	1,118782075	1,460524806	1,031732793	1,319430147	1,421714847	1,460524806
2037	1,101190029	1,460452566	1,016753494	1,319371189	1,417672749	1,460452566
2038	1,084002865	1,460553143	1,002083461	1,319453272	1,413642144	1,460553143
2039	1,067208977	1,460824859	0,987715109	1,319675021	1,409622999	1,460824859
2040	1,050797146	1,461266113	0,973641054	1,320035114	1,40561528	1,461266113
2041	1,034756529	1,461875377	0,959854106	1,320532279	1,401618956	1,461875377
2042	1,019076641	1,462651196	0,946347269	1,321165296	1,397633993	1,462651196
2043	1,003747347	1,463592184	0,933113729	1,321932992	1,393660361	1,463592184
2044	0,988758842	1,464697023	0,920146856	1,322834244	1,389698026	1,464697023
2045	0,974101643	1,465964463	0,907440195	1,323867972	1,385746956	1,465964463
2046	0,959766579	1,467393317	0,894987461	1,325033142	1,38180712	1,467393317
2047	0,945744773	1,468982464	0,882782537	1,326328765	1,377878485	1,468982464
2048	0,932027637	1,470730842	0,870819469	1,327753894	1,373961019	1,470730842
2049	0,918606859	1,472637449	0,85909246	1,329307624	1,370054692	1,472637449
2050	0,905474391	1,474701344	0,847595865	1,330989088	1,36615947	1,474701344

**EK-8. Senaryolarda Enerji Güvenliğinin Karşılaştırmalı Sayısal Verileri**

Yıllar	Senaryo 1: Enerji Güvenliği	Senaryo 2: Enerji Güvenliği	Senaryo 3: Enerji Güvenliği	Senaryo 4: Enerji Güvenliği	Senaryo 5: Enerji Güvenliği	Senaryo 6: Enerji Güvenliği
2021	0,174057345	0,174057345	0,174057345	0,174057345	0,174057345	0,174057345
2022	0,183234998	0,183234998	0,183299767	0,183299767	0,183287674	0,183287674
2023	0,193198855	0,193199404	0,19332328	0,193324708	0,193301298	0,193301298
2024	0,20400226	0,204003849	0,204181524	0,204185657	0,204151671	0,20415167
2025	0,215702479	0,215705544	0,215932043	0,215940016	0,215896161	0,215896158
2026	0,228360966	0,228365893	0,22863656	0,228649375	0,228596324	0,228596319
2027	0,242043664	0,242050792	0,242361267	0,242379807	0,2423182	0,242318193
2028	0,256821312	0,256830936	0,257177144	0,257202178	0,257132626	0,257132615
2029	0,272769785	0,27278216	0,273160295	0,273192485	0,273115569	0,273115554
2030	0,28997045	0,289985794	0,290392303	0,290432215	0,290348487	0,290348468
2031	0,308510555	0,308529051	0,308960618	0,309008729	0,308918715	0,308918692
2032	0,328483633	0,328505432	0,328958971	0,329015673	0,328919873	0,328919844
2033	0,349989947	0,35001517	0,350487807	0,350553417	0,350452305	0,350452271
2034	0,373136958	0,373165701	0,373654762	0,373729528	0,373623555	0,373623514
2035	0,398039828	0,398072161	0,398575164	0,398659267	0,398548861	0,398548813
2036	0,424821957	0,424857927	0,42537257	0,425466133	0,4253517	0,425351644
2037	0,45361556	0,453655193	0,454179342	0,454282434	0,454164359	0,454164295
2038	0,484562277	0,484605581	0,485137262	0,485249904	0,485128551	0,485128479
2039	0,517813837	0,517860803	0,518398192	0,518520357	0,518396072	0,518395992
2040	0,553532754	0,553583356	0,554124771	0,554256394	0,554129505	0,554129416
2041	0,591893084	0,591947283	0,592491174	0,592632153	0,592502969	0,59250287
2042	0,633081224	0,633138968	0,63368391	0,63383411	0,633702924	0,633702815
2043	0,677296771	0,677357996	0,677902683	0,67806194	0,677929027	0,677928908
2044	0,724753441	0,724818074	0,725361311	0,725529431	0,725395054	0,725394924
2045	0,77568005	0,775748009	0,776288702	0,776465472	0,776329875	0,776329735
2046	0,83032156	0,830392753	0,830929908	0,831115092	0,830978509	0,830978358
2047	0,888940201	0,889014531	0,889547244	0,889740589	0,889603238	0,889603075
2048	0,951816666	0,951894031	0,952421482	0,95262272	0,952484806	0,952484632
2049	1,019251394	1,019331684	1,019853137	1,020061983	1,0199237	1,019923515
2050	1,091565932	1,091649034	1,092163825	1,092379987	1,092241517	1,092241319

**EK-9. Senaryolarda Emisyon Miktarının Karşılaştırmalı Sayısal Verileri**

Yıllar	Senaryo 1: Emisyon Miktarı	Senaryo 2: Emisyon Miktarı	Senaryo 3: Emisyon Miktarı	Senaryo 4: Emisyon Miktarı	Senaryo 5: Emisyon Miktarı	Senaryo 6: Emisyon Miktarı
2021	520,9	520,9	520,9	520,9	520,9	520,9
2022	534,5156624	534,5156624	534,5156624	534,5156624	534,5156624	534,2314353
2023	548,423694	548,423694	548,4233366	548,4233366	548,4234033	547,8183527
2024	562,6223167	562,6223135	562,6212362	562,621228	562,6214307	561,654642
2025	577,108558	577,1085453	577,1063797	577,1063467	577,1067575	575,7324964
2026	591,8780851	591,8780531	591,8744255	591,8743422	591,8750359	590,0421887
2027	606,9250198	606,9249552	606,919486	606,919318	606,9203721	604,5718209
2028	622,2417301	622,2416161	622,2339198	622,2336232	622,2351184	619,3070445
2029	637,8185982	637,8184141	637,8080992	637,8076204	637,8096403	634,2307466
2030	653,6437593	653,6434808	653,6301495	653,629425	653,6320563	649,3226997
2031	669,7028113	669,70241	669,685658	669,684614	669,6879466	664,55917
2032	685,978488	685,9779312	685,957348	685,9558997	685,9600269	679,9124796
2033	702,4502948	702,4495458	702,424714	702,4227658	702,4277843	695,3505166
2034	719,0941014	719,093119	719,0636143	719,0610591	719,0670691	710,836188
2035	735,8816856	735,8804242	735,8458153	735,8425341	735,8496395	726,3268088
2036	752,7802245	752,7786335	752,738482	752,7343436	752,742652	741,7734188
2037	769,7517243	769,7497485	769,7036086	769,6984693	769,708092	757,1200192
2038	786,752385	786,7499642	786,6973823	786,6910853	786,7021377	772,302721
2039	803,731889	803,7289576	803,6694725	803,6618476	803,6744493	787,2487924
2040	820,632607	820,6290943	820,5622368	820,5530997	820,5673743	801,8755961
2041	837,3887108	837,3845404	837,3098333	837,2989855	837,3150611	816,0894017
2042	853,9251826	853,9202725	853,83723	853,8244581	853,8424672	829,7840605
2043	870,156708	870,1509703	870,059098	870,0441734	870,0642531	842,8395244
2044	885,9864399	885,9797806	885,8785755	885,8612537	885,8835458	855,1201941
2045	901,3046189	901,2969377	901,1858876	901,1659079	901,1905591	866,4730734
2046	915,9870314	915,9782217	915,8568051	915,8338898	915,8610519	876,7257094
2047	929,8932895	929,8832377	929,750924	929,724778	929,7546078	885,6838936
2048	942,8649096	942,8534955	942,7097439	942,6800542	942,7127141	893,1290943
2049	954,7231677	954,7102639	954,5545239	954,5209591	954,5566167	898,8155925
2050	965,2667055	965,252177	965,0838879	965,0460972	965,084926	902,4672833

**EK-10. Senaryolarda Biyoenerji Üretiminin Karşılaştırmalı Sayısal Verileri**

Yıllar	Senaryo 1: Toplam Biyoenerji Üretimi	Senaryo 2: Toplam Biyoenerji Üretimi	Senaryo 3: Toplam Biyoenerji Üretimi	Senaryo 4: Toplam Biyoenerji Üretimi	Senaryo 5: Toplam Biyoenerji Üretimi	Senaryo 6: Toplam Biyoenerji Üretimi
2021	3014000	3014000	3014000	3014000	3014000	3014000
2022	3020139,246	3020139,246	3029689,007	3029689,007	3027905,874	3027905,874
2023	3026254,891	3026339,004	3045316,464	3045535,255	3041948,883	3041948,812
2024	3032347,044	3032599,954	3060882,66	3061540,515	3056130,582	3056130,355
2025	3038415,818	3038922,785	3076387,88	3077706,577	3070452,544	3070452,064
2026	3044461,319	3045308,192	3091832,407	3094035,251	3084916,359	3084915,514
2027	3050483,658	3051756,881	3107216,525	3110528,367	3099523,637	3099522,299
2028	3056482,943	3058269,561	3122540,514	3127187,776	3114276,003	3114274,032
2029	3062459,281	3064846,954	3137804,655	3144015,35	3129175,104	3129172,343
2030	3068412,78	3071489,787	3153009,227	3161012,981	3144222,603	3144218,88
2031	3074343,546	3078198,795	3168154,505	3178182,584	3159420,183	3159415,31
2032	3080251,686	3084974,723	3183240,767	3195526,094	3174769,546	3174763,319
2033	3086137,304	3091818,323	3198268,286	3213045,468	3190272,414	3190264,612
2034	3092000,506	3098730,357	3213237,336	3230742,686	3205930,527	3205920,911
2035	3097841,397	3105711,594	3228148,187	3248619,748	3221745,646	3221733,961
2036	3103660,08	3112762,812	3243001,11	3266678,679	3237719,551	3237705,523
2037	3109456,659	3119884,798	3257796,374	3284921,525	3253854,043	3253837,38
2038	3115231,236	3127078,347	3272534,247	3303350,357	3270150,944	3270131,334
2039	3120983,915	3134344,265	3287214,994	3321967,266	3286612,094	3286589,208
2040	3126714,796	3141683,365	3301838,881	3340774,37	3303239,358	3303212,846
2041	3132423,982	3149096,47	3316406,171	3359773,809	3320034,618	3320004,11
2042	3138111,572	3156584,412	3330917,126	3378967,746	3336999,781	3336964,886
2043	3143777,668	3164148,032	3345372,006	3398358,372	3354136,772	3354097,08
2044	3149422,369	3171788,182	3359771,072	3417947,899	3371447,542	3371402,619
2045	3155045,774	3179505,722	3374114,582	3437738,566	3388934,059	3388883,452
2046	3160647,983	3187301,521	3388402,792	3457732,636	3406598,319	3406541,551
2047	3166229,093	3195176,461	3402635,959	3477932,397	3424442,336	3424378,908
2048	3171789,202	3203131,431	3416814,336	3498340,166	3442468,15	3442397,539
2049	3177328,407	3211167,331	3430938,176	3518958,282	3460677,822	3460599,483
2050	3182846,806	3219285,07	3445007,732	3539789,113	3479073,437	3478986,8

**EK-11. Senaryolarda Nüfus Miktarının Karşılaştırmalı Sayısal Verileri**

Yıllar	Senaryo 1: Nüfus	Senaryo 2: Nüfus	Senaryo 3: Nüfus	Senaryo 4: Nüfus	Senaryo 5: Nüfus	Senaryo 6: Nüfus
2021	83614362	83614362	83614362	83614362	83614362	83614362
2022	84727559,86	84727559,86	84727559,86	84727559,86	84801632,35	84727559,86
2023	85843784,26	85843784,26	85843784,26	85843784,26	86005761,18	85843784,26
2024	86962884,58	86962884,58	86962884,58	86962884,58	87226987,86	86962884,58
2025	88084710,48	88084710,48	88084710,48	88084710,48	88465555,18	88084710,48
2026	89209111,93	89209111,93	89209111,93	89209111,93	89721709,36	89209111,93
2027	90335939,27	90335939,27	90335939,27	90335939,27	90995700,13	90335939,27
2028	91465043,31	91465043,31	91465043,31	91465043,31	92287780,75	91465043,31
2029	92596275,33	92596275,33	92596275,33	92596275,33	93598208,09	92596275,33
2030	93729487,16	93729487,16	93729487,16	93729487,16	94927242,65	93729487,16
2031	94864531,25	94864531,25	94864531,25	94864531,25	96275148,66	94864531,25
2032	96001260,68	96001260,68	96001260,68	96001260,68	97642194,06	96001260,68
2033	97139529,25	97139529,25	97139529,25	97139529,25	99028650,63	97139529,25
2034	98279191,51	98279191,51	98279191,51	98279191,51	100434794	98279191,51
2035	99420102,82	99420102,82	99420102,82	99420102,82	101860903,7	99420102,82
2036	100562119,4	100562119,4	100562119,4	100562119,4	103307263,3	100562119,4
2037	101705098,3	101705098,3	101705098,3	101705098,3	104774160,2	101705098,3
2038	102848897,5	102848897,5	102848897,5	102848897,5	106261886,1	102848897,5
2039	103993376,2	103993376,2	103993376,2	103993376,2	107770736,8	103993376,2
2040	105138394,3	105138394,3	105138394,3	105138394,3	109301012,2	105138394,3
2041	106283813	106283813	106283813	106283813	110853016,5	106283813
2042	107429494,3	107429494,3	107429494,3	107429494,3	112427058,3	107429494,3
2043	108575301,8	108575301,8	108575301,8	108575301,8	114023450,4	108575301,8
2044	109721099,9	109721099,9	109721099,9	109721099,9	115642510,3	109721099,9
2045	110866754,3	110866754,3	110866754,3	110866754,3	117284559,9	110866754,3
2046	112012131,9	112012131,9	112012131,9	112012131,9	118949925,5	112012131,9
2047	113157101,2	113157101,2	113157101,2	113157101,2	120638938,2	113157101,2
2048	114301531,5	114301531,5	114301531,5	114301531,5	122351933,8	114301531,5
2049	115445293,8	115445293,8	115445293,8	115445293,8	124089252,8	115445293,8
2050	116588260,3	116588260,3	116588260,3	116588260,3	125851240,7	116588260,3