

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İKTİSAT ANABİLİM DALI**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR BÜYÜME ÜZERİNE ÜÇ MAKALE**

**Doktora Tezi**

**Özlem FIKIRLI YÜCEL**

**Ankara, 2023**

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ  
ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İKTİSAT ANABİLİM DALI**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR BÜYÜME ÜZERİNE ÜÇ MAKALE**

**Doktora Tezi**

**Özlem FİKİRLİ YÜCEL**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Hasan ŞAHİN**

**Ankara, 2023**

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**İKTİSAT ANABİLİM DALI**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR BÜYÜME ÜZERİNE ÜÇ MAKALE**

**Doktora Tezi**

**Tez Danışmanı**

**Prof. Dr. Hasan ŞAHİN**

**TEZ JÜRİSİ ÜYELERİ**

**Özlem FİKİRLİ YÜCEL**

**1- Prof. Dr. Hasan ŞAHİN**

**2- Prof. Dr. Türkmen GÖKSEL**

**3- Doç. Dr. M. Aykut ATTAR**

**4- Prof. Dr. Ahmet Kibar ÇETİN**

**5- Prof. Dr. A. Burça KIZILIRMAK YAKIŞIR**

**Tez Savunması Tarihi**

**16 Mayıs 2023**

**T.C.**  
**ANKARA ÜNİVERSİTESİ**  
**Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

**Prof. Dr. Hasan ŞAHİN danışmanlığında hazırladığım “Sürdürülebilir Büyüme Üzerine Üç Makale (Ankara, 2023)” adlı doktora tezindeki bütün bilgilerin akademik kurallara ve etik davranış ilkelerine uygun olarak toplanıp sunulduğunu, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.**

**18 Mayıs 2023**

**Özlem FİKİRLİ YÜCEL**

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca tüm sorularımı en hızlı şekilde yanıtlayan, yol göstericiliğiyle sadece tezimde değil akademik gelişimimde de önemli payı bulunan ve engin birikimini benimle paylaşan kıymetli hocam Prof. Dr. Hasan ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Değerli hocama her şeyden önce bana güvendiği ve her koşulda yardımını esirgemediği için minnettarım.

Doktoraya başladığım ilk andan itibaren bilgi birikiminden faydalandığım, tüm derslerini severek takip ettiğim ve disiplinli çalışmasına her zaman öykünerek baktığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Türkmen GÖKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Sevgili hocalarım Prof. Dr. Hasan ŞAHİN ve Prof. Dr. Türkmen GÖKSEL'e çalışma disiplininden mütevaziliğine kadar bir akademisyenin nasıl olması gerektiği konusunda bana rehberlik ettikleri için ayrıca teşekkür ederim. Tez çalışmam boyunca çalışmamı titizlikle inceleyerek alternatif yaklaşımları paylaşmaktan kaçınmayan değerli hocam Doç. Dr. M. Aykut ATTAR'a çok teşekkür ederim.

Akademik hayata başladığım ilk günden itibaren benden desteğini esirgemeyen, yeri geldiğinde kol kanat gererek tüm babacanlığını gösteren, yeri geldiğinde ise hafta sonu demeden benimle birlikte okulda mesai yapan kıymetli hocam Prof. Dr. Ahmet Kibar ÇETİN'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Doktora çalışmam boyunca bana öğrettiklerinin yanı sıra yaptığım işlerde beni destekleyen ve cesaretlendiren, farklı platformlarda söz almamı sağlayan sevgili hocam Prof. Dr. Altuğ YALÇINTAŞ'a çok teşekkür ederim. Değerli hocam Prof. Dr. A. Burça KIZILIRMAK YAKIŞIR'a tez çalışmama sunduğu katkılar ve manevi desteği için çok teşekkür ederim. Mesai arkadaşım olmakla kalmayıp dert ortağım olan canım arkadaşım Arş. Gör. Dr. Nilay ÜNSAL KARAMAN'a ve anne olmanın sorumluluğunu anlayarak elinden gelen tüm desteği veren Arş. Gör. Dr. Emrah ER'e minnettarım.

Aynı zamanda meslektaşım olan kıymetli eşim Dr. Öğr. Üyesi M. Emir YÜCEL'e varlığı ve desteği için ne kadar teşekkür etsem az kalır. Küçük bir tebessümle bana enerji veren, çalışma motivasyonum canım kızlarım Gökçe Beren YÜCEL ve Bilge İdil YÜCEL'e varlıklarından ötürü sonsuz teşekkür ederim.

Hayatımın her anında ellerinden gelen tüm desteği veren canım annem Aynur FİKİRLİ ve canım babam Yusuf FİKİRLİ'ye teşekkür ederim. Canım kardeşlerim Gül Fikirli KAÇMAZ ve İsmail FİKİRLİ'ye destekleri için sonsuz teşekkürler. Ailemize sonradan katılsalar da her an yanımda olan Melih KAÇMAZ ve Büşra SERÇE FİKİRLİ'ye ayrıca teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER.....	iii
KISALTMALAR.....	v
TABLolar LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
GİRİŞ.....	1
<b>1. ROBOTLAŞMANIN BÜYÜMEDEKİ ROLÜ .....</b>	<b>5</b>
1.1. Giriş .....	5
1.2. Literatür .....	7
1.3. Operasyonel Robot Stoku ve Robot Yoğunluğu .....	10
1.4. Veri ve Yöntem.....	14
1.5. Tahmin Sonuçları.....	18
1.6. Tartışma ve Sonuç .....	24
<b>2. DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN İNOVASYON FAALİYETLERİNE ETKİSİ .....</b>	<b>27</b>
2.1. Giriş .....	27
2.2. Literatür .....	29
2.3. Veri ve Yöntem.....	31
2.4. Ampirik Sonuçlar.....	37
2.5. Tartışma ve Sonuç .....	42
<b>3. YENİLENEBİLİR ENERJİ DİFÜZYON PATİKASI VE BİLGİ DİFÜZYONU TEMELİNDE SOSYAL ETKİLEŞİMLER.....</b>	<b>44</b>
3.1. Giriş .....	45
3.2. Literatür .....	47
3.3. Model.....	49
3.3.1. Ajanların karar mekanizması .....	50
3.3.2. Fayda Fonksiyonu .....	52
3.3.2.1. Ekonomik Fayda .....	53
3.3.2.2. Çevresel Fayda .....	59
3.3.2.3. Gelir Faydası .....	60
3.3.2.4. İletişim Faydası .....	61
3.3.2.5. Sosyal Normlar.....	61
3.3.3. Veri Seti .....	62

3.3.4. Sosyoekonomik Sınıflandırma .....	67
3.3.5. Ağ Yapısı .....	71
3.3.6. PV Sistem Adaptasyon Olasılığının Hesaplanması .....	72
3.3.7. Sosyal Etkileşimlerin Etkinliğinin Belirlenmesi.....	76
3.3.8. Kalibrasyon ve Doğrulama .....	76
3.3.9. Duyarlılık Analizi .....	78
3.4. Simülasyon .....	80
3.4.1. Baz Senaryo .....	84
3.4.2. İlk Yatırım Maliyetleri .....	86
3.4.3. Sabit Fiyat Alım Tarifeleri.....	88
3.4.4. PV Sistem Finansmanı .....	89
3.4.5. Geri Ödeme Süreleri .....	91
3.4.6. Zorunlu PV Sistem Adaptasyonu.....	93
3.4.7. Kamu Politikaları Farklılaşması .....	96
3.5. Simülasyon Değerlendirmesi.....	99
3.6. Sonuç .....	101
<b>GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ .....</b>	<b>102</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>104</b>
<b>ÖZET .....</b>	<b>113</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>115</b>

## KISALTMALAR

EPDK : Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu

GW : Gigawatt

IFR : Uluslararası Robotik Federasyonu

KW : Kilowatt

MW : Megawatt

NBD : Net bugünkü değer

PV : Fotovoltaik

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1: Ülkelerin Ortalama Robot Stoku ve Ortalama Robot Yoğunluğu (2010-2019) .....	11
Tablo 1.2: Analize Dahil Edilen Ülkelerin Sınıflandırılması .....	16
Tablo 1.3: Değişkenlerin Tanımı ve Tanımlayıcı İstatistikler.....	18
Tablo 1.4: Tahmin Sonuçları .....	20
Tablo 1.5: Yatay Kesit Bağımlılığı Testleri .....	25
Tablo 1.6: Birim Kök Testleri .....	25
Tablo 1.7: Otokorelasyon Testi .....	26
Tablo 2.1: Dijital Teknolojilerin Difüzyonunun İnovasyon Faaliyetlerine Etkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Değişkenler ve Tanımları .....	33
Tablo 2.2: Çalışmada Kullanılan Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri .....	33
Tablo 2.3: Multivariate Probit Tahmin Sonuçları (Katsayılar) .....	39
Tablo 2.4: Marjinal Etkiler .....	40
Tablo 2.5: Tahmin Edilen Başarı Olasılıkları.....	41
Tablo 2.6: Çalışmada Kullanılan Örneklemin İnovasyon Oranları.....	42
Tablo 3.1: Küresel toplam kurulu PV kapasitesi ve PV sistem kW başına maliyet.....	64
Tablo 3.2: Çalışmada Kullanılan Değişkenler.....	65
Tablo 3.3: SES sınıflandırması .....	68
Tablo 3.4: Eğitimini tamamlayan kişiler .....	69
Tablo 3.5: 15 yaş ve üzeri eğitime devam edenler .....	69
Tablo 3.6: Yıllara göre fiyat endeksi .....	69
Tablo 3.7: Sosyoekonomik Sınıf Hane Sayısı .....	72
Tablo 3.8: Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri.....	73
Tablo 3.9: Korelasyon Matrisi.....	74
Tablo 3.10: Logit Tahmin Sonuçları .....	75
Tablo 3.11: Standardize Edilmiş Logit Tahmin Sonuçları .....	76
Tablo 3.12: Sosyoekonomik Sınıfların Eşik Değerleri.....	77
Tablo 3.13: KW başına PV Fiyatları .....	80
Tablo 3.14: Sabit Fiyat Alım Garantileri.....	82

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: Tüm Örnekleme Robotlaşma ve Büyüme (2010-2019) .....	13
Şekil 1.2: Yüksek Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşma ve Büyüme (2010-2019) .....	13
Şekil 1.3: Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşma ve Büyüme (2010-2019) .	13
Şekil 1.4: Dünya’da Toplam Robot Stoku (2004-2019) .....	16
Şekil 1.5: Tüm Örnekleme Büyümenin Bileşenleri .....	21
Şekil 1.6: Yüksek Gelir Grubu Ülkelerde Büyümenin Bileşenleri .....	21
Şekil 1.7: Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkelerde Büyümenin Bileşenleri .....	22
Şekil 1.8: Tüm Örnekleme Robotlaşmanın Büyüme Katkısı .....	22
Şekil 1.9: Yüksek Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşmanın Büyüme Katkısı .....	23
Şekil 1.10: Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşmanın Büyüme Katkısı ....	24
Şekil 3.1: Hibrit Model .....	50
Şekil 3.2: Karar Mekanizması Akış Diyagramı .....	51
Şekil 3.3: Sosyoekonomik Sınıfların Oranları .....	70
Şekil 3.4: Sosyoekonomik Sınıfların Adaptasyon Oranları .....	71
Şekil 3.5: ROC Eğrisi .....	75
Şekil 3.6: Statik ağ .....	78
Şekil 3.7: Dinamik ağ .....	78
Şekil 3.8: Statik Ağ Modeli .....	79
Şekil 3.9: Dinamik Ağ Modeli .....	79
Şekil 3.10: Baz Senaryo Statik Ağ Adaptasyon Oranı .....	84
Şekil 3.11: Baz Senaryo Dinamik Ağ Adaptasyon Oranı .....	85
Şekil 3.12: Baz Senaryo Dinamik Ağ PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı .....	85
Şekil 3.13: Statik Ağ Senaryo2 .....	87
Şekil 3.14: Dinamik Ağ Senaryo2 .....	87
Şekil 3.15: Dinamik Ağ Senaryo2 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı .....	87
Şekil 3.16: Statik Ağ Senaryo3 .....	88
Şekil 3.17: Dinamik Ağ Senaryo3 .....	89
Şekil 3.18: Dinamik Ağ Senaryo3 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı .....	89
Şekil 3.19: Statik Ağ Senaryo4 (PV Sistem Finansmanı) .....	90
Şekil 3.20: Dinamik Ağ Senaryo4 (PV Sistem Finansmanı) .....	90

Şekil 3.21: Dinamik Ağ Senaryo4 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan	Toplam
Hane Sayısı .....	91
Şekil 3.22: Statik Ağ Senaryo5 .....	91
Şekil 3.23: Dinamik Ağ Senaryo5 .....	92
Şekil 3.24: Dinamik Ağ Senaryo5 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı	
.....	93
Şekil 3.25: Statik Ağ Senaryo6 .....	93
Şekil 3.26: Dinamik Ağ Senaryo6 .....	94
Şekil 3.27: Dinamik Ağ Senaryo6 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı	
.....	94
Şekil 3.28: Statik Ağ Senaryo6 Sosyoekonomik Statüye Göre Zorunlu PV Yatırım	
Düzenlemesi .....	95
Şekil 3.29: Dinamik Ağ Senaryo6 Sosyoekonomik Statüye Göre Zorunlu PV Yatırım	
Düzenlemesi .....	96
Şekil 3.30: Statik Ağ Kamu Politikaları Karşılaştırması .....	97
Şekil 3.31: Dinamik Ağ Kamu Politikaları Karşılaştırması .....	98
Şekil 3.32: Dinamik Ağ Kamu Politikaları Karşılaştırması PV Sisteme Adaptasyon	
Sağlayan Toplam Hane Sayısı .....	98

## GİRİŞ

Sürdürülebilir büyüme, araştırmacılar ve kurumlar tarafından birbirinden farklı şekillerde tanımlansa da bu tanımlar ekonomik ve çevresel olmak üzere iki temel çerçeveye sahiptir. Başlangıçta sürdürülebilir büyümenin ekonomik boyutu üzerinde durulmasına karşın, İkinci Dünya Savaşı sonrası üretim yapısındaki hızlı makineleşmeden kaynaklanan çevresel etkilerin 1970’li yıllarda ortaya çıkmasıyla çevresel boyutu ön plana çıkmıştır. Ekonomik boyutu düşünüldüğünde sürdürülebilir büyüme kısa dönem büyüme oranlarının devam ettirilmesi olarak tanımlanabilir (Faucheux vd., 1997). Büyüme ile çevre arasındaki bağlantı 1960’lar ve 1970’lerde çevrenin doğal kaynak olarak ele alınmasına dayanmasına karşın özellikle 21. yüzyılda kirlilik ile büyüme arasındaki ilişkiyi ele alan çalışmalar artmıştır (Brock ve Taylor, 2005). Çevresel boyutuyla büyüme atık ve kirlilik oluşumu minimize edilirken doğal bir kaynak olarak çevrenin korunduğu büyüme olarak düşünülebilir. Bu tez çalışmasında sürdürülebilir büyüme ekonomik ve çevresel boyutuyla ele alınmaktadır.

2008 Büyük Resesyonu’ndan sonra büyüme oranlarındaki artışlar azalma trendine girmiştir. Uygulanan politikalar değiştirilmediği sürece reel hasıladaki büyüme oranlarının 2060 yılına kadar azalmaya devam etmesi beklenmektedir (Guillemette ve Turner, 2021). Büyüme oranlarındaki bu azalış trendi araştırmacıların ve politika yapıcılarının verimlilik artışı sağlayacak alternatif politikalara ilgisini artırmıştır. Yirminci yüzyılın sonunda ortaya çıkan ve yirmi birinci yüzyılda yapay zekâ, bulut bilişim gibi daha ileri teknolojilere evrilerek yeni bir boyut kazanan bilgisayar ve bilişim teknolojilerindeki gelişmelerin durağanlaşma sorununa çözüm olabileceği düşünülmektedir (Van Ark, 2015; Remes vd., 2018). Özellikle son yıllarda dijital dönüşüm ile yeniden şekillenen küresel pazarlarda yerini sağlamlaştırmak isteyen gelişmiş ülkelerin yanı sıra dijitalleşmeyi fırsata dönüştürerek gelişmiş ülke seviyelerini

yakalamak isteyen gelişmekte olan ÷lkeler de ulusal dijitalleşme programlarını oluşturmuşlardır.

Üretim deseninin dijitalleşmesi üretimin önemli ölçüde otomasyonu olarak da düşün÷lebilir. Üretimin otomasyonunda yapay zekâ gibi ileri dijital teknolojilerle donatılmış robotlar ön plana çıkmaktadır. Robotlar ürün çeşitliliği ve ürün kalitesini artırmaktan maliyet minimizasyonu sağlamaya kadar pek çok farklı avantaj sunmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubu ÷lkelerde robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Çalışmanın temel özgün değeri robotlaşmanın güncel veri setiyle büyüme muhasebesi kapsamında ele alınmasıdır. Çalışmanın ikincil özgün değeri ise yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubu ÷lkelerde robotlaşmadan kaynaklı büyümenin ayrı ayrı ele alınmasıdır. Böylelikle robotlaşmanın yüksek-orta gelir grubu ÷lkeler ile yüksek gelir grubu ÷lkeler arasındaki açığın kapatılmasındaki rolü araştırılmaktadır.

Sürdür÷lebilir büyümedeki temel itici güçlerin başında inovasyon yer almaktadır. İnovasyonun maliyet minimizasyonundan ürün çeşitliliğine kadar sunduğu fırsatlar büyümede rol oynamaktadır. Özellikle son yıllarda doğal bir kaynak olarak çevreye yapılan vurgunun artmasıyla inovasyon kavramı eko-inovasyona evrilirken inovasyonun önemi de yeni bir anlam kazanmıştır. İnovasyonun kaynakların etkin ve temiz kullanımında rol oynayarak çevresel boyutuyla da büyümeye katkı sağladığı düşün÷lmektedir (Rennings, 2000).

Çalışmanın üçüncü bölümünde ileri dijital teknolojiler ile inovasyon arasındaki ilişki incelenmektedir. Çalışmada ileri dijital teknolojilere adaptasyonun yapay zekâ, bulut bilişim, büyük veri, robotik, akıllı cihazlar ve blok zincir olmak üzere alt kategorilere ayrılarak inovasyona etkisinin belirlenmesi temel özgün değeri oluşturmaktadır. Dijital teknolojilerdeki ilerlemeleri yansıtacak güncel bir veri setinin

kullanılması ve geniş bir örneklemin incelenmesi çalışmanın ikinci özgün değerini oluşturmaktadır. Çalışmanın üçüncü özgün değeri ise dijital teknolojilere geçiş kararının dijitalleşme stratejisine dayanması sebebiyle kararlar arası korelasyon dikkate alınarak multivariate probit yönteminin kullanılmasıdır.

Sürdürülebilir büyümenin önündeki temel engellerden birisi artan Dünya nüfusudur. Doğal kaynakların sınırlı olması sebebiyle büyüme oranlarındaki artışın nüfus artış oranlarını yakalaması mevcut bilgi birikimiyle mümkün gözükmemektedir. Doğal kaynak kısıtlılığı içerisinde enerji ihtiyacı öne çıkmaktadır. Dünya'nın nüfusu artarken hem artan üretim miktarları hem de toplumun enerji kullanımı enerji tüketim miktarlarında sürekli bir artışa yol açmaktadır. Enerji ihtiyacındaki artışa karşın fosil yakıtların kısıtlı olması alternatif enerji kaynağı arayışına zemin hazırlamıştır. Özellikle son yıllarda sürdürülebilir büyümenin elde edilmesinde çevrenin korunmasına yapılan vurgunun da artmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Diğer yandan piyasalardaki dijital dönüşüm enerji sektörünü de yapısal olarak değiştirirken, performans artışlarından maliyetin azalmasına kadar pek çok avantaj sunarak (Olabi vd., 2023) yenilenebilir enerji kaynaklarının ileride daha cazip bir alternatif olmasını vaat etmektedir.

2021 yılının sonunda küresel yenilenebilir enerji kapasitesi 3064 GW'dır. Bu kapasitenin 1230 GW'ı hidroelektrik iken, bu değeri 849 GW ile güneş ve 825 GW ile rüzgar enerjisi takip etmektedir. Diğer taraftan 2021 yılında yenilenebilir enerji kapasitesindeki 257 GW artışın 133 GW'ı güneş enerjisidir ve güneş enerjisinde yıllık artış oranı %19'dur (IRENA, 2022). Türkiye'nin bulunduğu coğrafik konum sebebiyle güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddeti fazla olduğundan güneş enerjisinde avantajlı konumdadır. Türkiye'de 2021 yılında 7816 MW'lık kurulu güneş enerjisi bulunmaktadır

ve güneş enerjisinin toplam kurulu güç içerisindeki payı %7.83'tür (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı).

Çalışmanın dördüncü bölümünde Türkiye'de fotovoltaik (PV) sistem adaptasyonu sosyal etkileşimler göz önünde bulundurularak araştırılmaktadır. Çalışmada PV sistem geçişinde uygulanan farklı kamu politikaları değerlendirilirken, Türkiye'de PV sistem adaptasyonu farklı senaryolar altında incelenerek kamu politikası önerileri belirlenmektedir. Çalışmada ekonometrik tahmin ve ajan bazlı modellemeden oluşan hibrit bir model kullanılarak literatüre yöntemsel katkı sağlanmaktadır. Çalışmanın ikinci özgün değeri Türkiye'de PV sistem difüzyon patikasının belirlenerek PV sisteme geçiş için gerekli kamu politikası önerilerinde bulunulmasıdır. Çalışmanın üçüncü özgün değeri ise Türkiye'de uygulanan kamu politikalarındaki değişikliklerin PV sistem geçişindeki etkisinin değerlendirilmesidir.

Çalışmanın beşinci ve son bölümünde ise genel değerlendirme ve sonuç bölümü yer almaktadır. Bu bölümde tez çalışmasında elde edilen bulgular bir bütün olarak değerlendirilirken sürdürülebilir büyümenin sağlanması için kamu politikaları önerilmektedir.

# 1. ROBOTLAŞMANIN BÜYÜMEDEKİ ROLÜ

## 1.1. Giriş

Zaman içerisinde yeniden şekillenerek devam eden üretimin otomasyonu buhar makinesinin üretime dahil edilmesiyle başlamıştır. Buhar makinesinden sonra elektriğin bulunması ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler ile otomasyon süreci hızlanarak devam etmiştir. Maliyet minimizasyonundan üretim kalitesinin artışına kadar pek çok avantaj sunan otomasyon süreci yüksek büyüme oranlarına ulaşılmasında bir fırsat olarak düşünülmüştür. Bilgisayar ve bilişim teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmeler ile ivmelenen üretimin otomasyonu Endüstri 4 teknolojileriyle birlikte yeni bir boyut kazanmıştır. Üretimin yapay zekâ, bulut bilişim ve akıllı sensörler gibi Endüstri 4 teknolojileri ile donatılması otomasyon sürecinin sürdürülebilir ekonomiler ile ilişkilendirilmesine zemin hazırlamıştır.

Üretimin Endüstri 4 teknolojileri ile otomasyonu enerji başta olmak üzere kaynak kullanımında etkinliğin sağlanmasından atık oluşumunun minimize edilmesi ve atık geri dönüşümünün sağlanmasına kadar pek çok avantaj sağlamaktadır (Bugmann vd., 2011). Bu avantajlar sürdürülebilir ekonomilere geçişte üretimin otomasyonuna verilen önemin artmasına yol açmıştır. Otomasyon sürecinde öne çıkan teknolojilerin başında robotlar gelmektedir. Günümüzde yapay zekâ gibi Endüstri 4 teknolojileri entegre edilerek robotların niteliği artırılmıştır. Öyle ki bu nitelik artışları insansı robot veya işbirlikçi robot gibi yeni kavramların da ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Mekanik robotların gelişmiş niteliklere sahip dijital teknolojilerle donatılmış robotlara evrimiyle birlikte Dünya’da robotlaşma hızlı bir şekilde artmıştır. Dünya’daki toplam robot stoku 2010 yılında yaklaşık bir milyon iken, 2017 yılında iki milyona ulaşmış, 2019 yılında da üç milyona yaklaşmıştır. Üretim deseninin ivme kazanarak robot

yoğun yapıya bürünmesi, araştırmacıların ilgisini çekmiş ve robotlaşmanın ekonomik etkilerini inceleyen çalışma sayısı son yıllarda artmıştır. Literatürde yer alan çalışmaların önemli bir bölümünde robotlaşma ile iş gücü arasındaki ilişki ele alınmıştır. Sınırlı sayıda çalışmada robotlaşmanın büyümeye etkisi incelenmiştir. Li vd. (2022) ise farklı bir bakış açısıyla yaklaşarak robotlaşmanın karbon emisyonuna etkisini araştırmışlardır.

Büyüme araştırılan çalışmalar içerisinde Cette vd. (2021) ve Cette vd. (2022) yaptıkları çalışmalarda önceki araştırmalarda elde edilen parametreleri kullanarak robotlaşmanın emek verimliliğine etkisini incelemiştir. Bu çalışmalarda robotlaşmanın esneklik parametresi 1993-2007 yılları veri setinin kullanıldığı çalışmadan alınmıştır. Son yıllarda robotlara entegre edilen dijital teknolojilerdeki hızlı gelişmeler özellikle de yapay zekâ teknolojisindeki ilerlemeler düşünüldüğünde robotların esnekliğinin önemli ölçüde değişmiş olması beklenmektedir. Robotlardaki nitelik artışının yanı sıra özellikle son yıllarda robotlaşmanın ivmelenerek arttığı görülmektedir. Robotlaşmaya olan bu ilgi robot stokunda hızlı bir artışa yol açmıştır. Robotlaşma ile toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkinin U-şekline sahip olduğunu belirten çalışmalar da düşünülürse, robotlaşmadaki bu kümülatif artışın önceki yıllara göre büyümede daha fazla rol alması beklenmektedir. Dolayısıyla kullanılan parametrelerin geçmiş yılların veri setiyle düzenlenen çalışmalardan elde edilmesi, robotlardaki nitelik ve nicelik artışı göz önünde bulundurulursa, bu çalışmalarda robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişkinin gerçekleşenden daha az yorumlanması sorunu ortaya çıkmaktadır. Literatürde yer alan çalışmaların önemli bir bölümünde kullanılan veri seti güncel değildir (Graetz ve Michaels, 2018; Jungmittag ve Pesole, 2019; Kromann vd., 2020). Liu vd. (2020) çalışmalarında robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişkiyi teorik olarak ele almışlardır. Qiulin vd. (2019) ise robotlaşmanın Çin'in bölgelerinde gayri safi yurt içi hasıla artışına yol açtığını ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın amacı, yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubu ülkelerde 2010-2019 yılları arasında robotlaşmanın büyüme üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır. Bildiğimiz kadarıyla yapılan çalışma güncel verilerle büyümenin robotlaşma temelinde kaynaklarına ayrıştırıldığı ilk çalışmadır. Dolayısıyla çalışmanın temel özgün değeri robotlaşmanın büyüme muhasebesi kapsamında güncel veri setiyle ele alınmasıdır. Çalışmanın ikinci özgün değeri robotlaşmanın farklı ülke gruplarındaki rolünün belirlenmesidir. Çalışmada yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubu ülkeler ayrı ayrı analiz edilmiştir. Böylelikle robotlaşmanın yüksek-orta gelir grubu ülkelerin yüksek gelir grubu ülke seviyelerine erişmeleri için bir fırsat sunup sunmadığı da araştırılmaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında robotlaşmayı araştıran çalışmalarla ilgili bilgi verilmektedir. Çalışmanın üçüncü kısmında ülkelerin operasyonel robot stoku ve robot yoğunluğu incelenirken, robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişki grafiklerle araştırılmaktadır. Çalışmanın dördüncü kısmında veri seti ve yöntem sunulurken, beşinci kısımda tahmin sonuçları raporlanmaktadır. Çalışmanın altıncı ve son bölümünde ise tartışma ve sonuç kısmı yer almaktadır.

## **1.2. Literatür**

Bilgisayar ve bilişim teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmeler, yirmi birinci yüzyılın başında elde edilen yüksek büyüme oranlarının temel belirleyicisi olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojilerdeki ilerleme hızla devam ederken, bu ilerlemeler temelinde gelişen Endüstri 4 teknolojileri de üretimde yer almaktadır. Endüstri 4 teknolojilerinin kullanımı, ürün kalitesinin ve çeşitliliğin artması, maliyet minimizasyonu, verimlilik artışı, zaman optimizasyonu, tedarik zincirinin güçlenmesi gibi pek çok avantajı beraberinde getirmektedir. Üretim desenindeki dijitalleşme sürecinin getirdiği geniş perspektifli avantajlar dikkate alındığında, 2008 Büyük Resesyonu sonrası gözlenen durağanlaşma sorununa çözüm olabileceği düşünülmektedir.

Üretimin dijital dönüşümünde yapay zekâ gibi ileri teknolojilerle donatılan robotlara ilginin artmasıyla birlikte robotlaşmanın ekonomik etkilerini araştıran çalışmalar da literatürde yerini almaya başlamıştır. Robotlaşmadan beklenen farklı avantajlara rağmen robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişkinin araştırıldığı çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Cette vd. (2021) ve Cette vd. (2022) yaptıkları çalışmalarda robotlaşma ile emek verimliliği arasında pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Robotlaşmanın uzun dönem büyüme üzerindeki etkisini araştıran Liu vd. (2020) ise robotlaşmanın büyümedeki rolünün robotların niteliğine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmaya göre robotların öğrenme kabiliyeti insanlardan fazla iken robotlaşma ile sürdürülebilir büyüme sağlanmaktadır. Nitekim robotlar için optimal bir yatırım oranı bulunduğunu da belirtmişlerdir. Çin'in yerel bölgelerini araştıran Qiulin vd. (2019) ise, robotlaşmanın yaşlanmanın negatif etkisiyle başa çıkmada önemli bir araç olduğunu ve yerel hasılda artışa yol açtığını öne sürmüşlerdir.

Sürdürülebilir büyüme oranlarının elde edilebilmesinde temel göstergelerden birisi verimliliktir. Robotlaşmanın özellikle son yıllarda ortaya çıkan ve sürdürülebilir büyümenin önünde engel olarak görülen verimlilik artışındaki durağanlaşma sorununa çözüm üretebileceği düşünülmektedir. Robotlaşmadan beklenen verimlilik artışının gerek emek verimliliği (Graetz ve Michaels, 2018; Jungmittag ve Pesole, 2019; Fu vd., 2021) gerekse toplam faktör verimliliği (Graetz ve Michaels, 2018; Kromann vd., 2020) artışına farklı kanallar aracılığıyla katkı sunması beklenmektedir. Yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde robotlaşma ile verimlilik arasındaki ilişkinin anlamlı ve pozitif yönlü olduğu ileri sürülmektedir (Graetz ve Michaels, 2018; Jungmittag ve Pesole, 2019; Kromann vd., 2020). Bununla birlikte Du ve Lin (2022) robotlaşma ile toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkinin U-şekline sahip olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla robotlaşmanın verimlilik üzerindeki etkisinin önce negatif yönlü olduğunu ancak robotlaşma belirli bir düzeye ulaştıktan sonra pozitif etkinin ortaya çıktığını savunmaktadırlar.

Robotlaşmanın iktisadi yapı üzerinde değişim yaratması beklenen alanların başında iř gücü piyasası yer almaktadır. Robotlařma ile iř gücü piyasası arasındaki ilişki denildiğinde ise ilk akla gelen sorulardan birisi istihdam üzerindeki etkisidir. Yapılan çalışmaların bir bۆlümünde robotlaşmanın istihdamı azalttığı öne sürölmektedir (Acemoglu ve Restrepo, 2020; Compagnucci vd., 2019). Graetz ve Michaels (2018) robotlaşmanın dűřük nitelikli iř gücü oranını azalttığını ortaya koymuşlardır. Bazı çalışmalarda robotlaşmanın istihdam üzerindeki etkisinin anlamlı olmadığı vurgulanırken (Graetz ve Michaels, 2018; Kromann vd., 2020), istihdam artışına yol açabileceğini öne süren çalışmalar da yer almaktadır (Kromann vd., 2020). Bununla birlikte Fu vd. (2021) robotlaşma ile istihdam arasındaki ilişkinin gelişmiş ve gelişmekte olan ölkelerde farklı özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmaya göre robotlaşma gelişmiş ölkelerde istihdam artışına yol açarken, gelişmekte olan ölkelerde anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır. Dięer taraftan robotlaşmanın sadece istihdam oranı değil ücretler üzerinde de negatif etkisinin olabileceği öne sürölmektedir (Acemoglu ve Restrepo, 2020; Compagnucci vd., 2019).

Robotlařma ile istihdam arasındaki ilişkinin araştırıldığı temel başlıklardan bir diğeri yaşlanmadır. Yařlanan Dünya nüfusunun iř gücü piyasası ve dolayısıyla ekonomiler üzerinde yaratacağı etki pek çok farklı bakış açısıyla incelenmektedir. Robotların nüfusun dolayısıyla iř gücünün yaşlanmasına çözüm olabileceği dűřünölmektedir. Robotlařma yaşlanmanın negatif etkisini azalttığı için istihdam üzerindeki etkisinin tamamlayıcı olduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır (Qiulin vd., 2019; Lanzafame, 2021; Park vd., 2021). Fu vd. (2021) ise gelişmiş ekonomilerde robotlaşmanın pozitif etkileri kadın ve erkek çalışanlarda gözlenirken, gelişmekte olan ekonomilerde sadece orta ve yüksek eğitim düzeyindeki çalışanların bu pozitif etkiden faydalanabildiklerini ortaya koymuşlardır.

### 1.3. Operasyonel Robot Stoku ve Robot Yoğunluğu

Uluslararası Robotik Federasyonu (IFR) robotları endüstriyel robotlar ve hizmet robotları olarak ikiye ayırmaktadır. Çalışmada üretimdeki dijital dönüşüm dikkate alındığından endüstriyel robotlara yer verilmektedir. IFR, endüstriyel robotu Uluslararası Standardizasyon Kurumu (ISO)'nun tanımlamasına dayanarak “otomatik olarak kontrol edilen, üç veya daha fazla eksenle programlanabilen, endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanım için yerinde veya mobil olarak sabitlenebilir yeniden programlanabilir çok amaçlı bir manipülatör” olarak ifade etmektedir (Müller, 2022). Bundan sonraki kısımda robot ifadesi endüstriyel robotları temsil etmektedir.

Çalışmanın ana değişkeni olan operasyonel robot stoku bir ülkede üretim sürecinde kullanılan toplam robot sayısını ifade etmektedir. Yüksek gelir grubu ülkelerdeki robot stoku yüksek-orta gelir grubu ülkelerdeki robot stokundan daha fazladır. Hiç şüphesiz bundaki temel sebep yüksek gelir grubu ülkelerin dijital dönüşüme yüksek-orta gelir grubu ülkelerden önce başlamış olmasıdır. Diğer taraftan yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubunda yer alan ülkelerin dijital olgunluğu da birbirinden oldukça farklıdır. Dahası yüksek-orta gelir grubunda yer almasına rağmen yüksek gelir grubu ülkelerin bazılarında daha fazla robot stokuna sahip ülkeler de yer almaktadır. Örneğin Tayland, yüksek gelir grubu ülkelerin önemli bir bölümünden daha fazla robot stokuna sahiptir.

Ülkelerin üretim deseninde robotlaşmanın önemini gösteren değişkenlerden birisi robot yoğunluğudur. IFR, robot yoğunluğunu on bin çalışana düşen robot sayısı olarak tanımlanmaktadır. Robot yoğunluğu ülkelerin üretim yapısındaki dijitalleşmenin bir ölçüsünü sunmaktadır. Ülkelerdeki robot yoğunluğu, Tablo 1.1’de listelenmektedir. Çalışan sayısı fazla olan veya görece büyük ekonomilerde robot stoku fazla gözükmesine karşın, o ekonomide üretimin ne denli dijitalleştiğine baktığımızda bu durum

değişebilmektedir. Örneğin Çin operasyonel robot stokunda ilk sırada yer almasına karşın, robot yoğunluğu pek çok ülkenin gerisinde kalmaktadır. Bu durum temel olarak Çin ekonomisinin büyüklüğü ve çalışan sayısının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer yandan Çin'den sonra operasyonel robot stoku en fazla ülke olan Japonya'nın robot yoğunluğu Çin'in robot yoğunluğunun on katından fazladır.

**Tablo 1.1: Ülkelerin Ortalama Robot Stoku ve Ortalama Robot Yoğunluğu (2010-2019)**

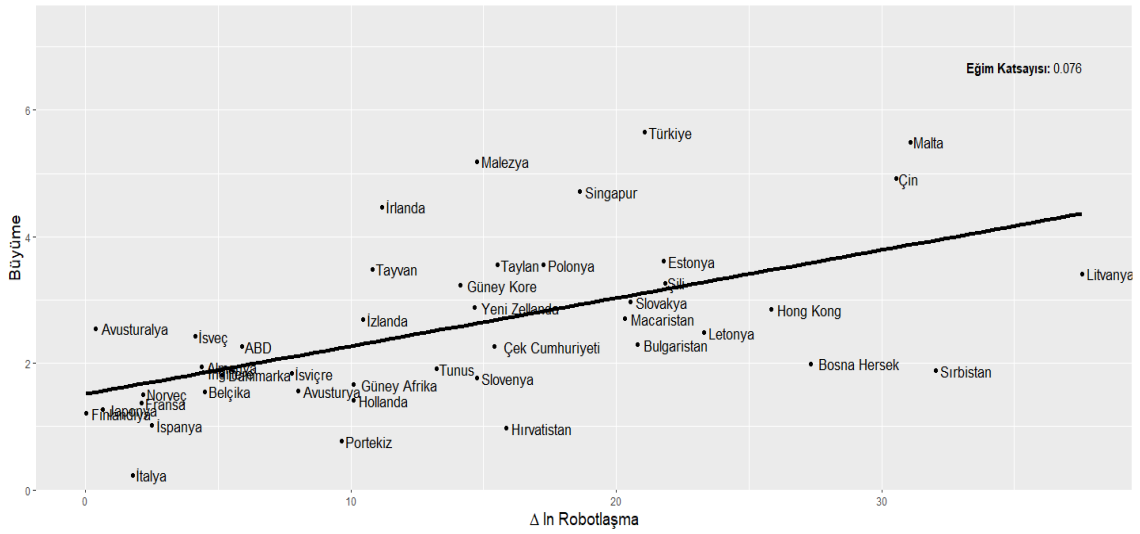
Ülke	Robot Stoku	Robot Yoğunluğu	Ülke	Robot Stoku	Robot Yoğunluğu	Ülke	Robot Stoku	Robot Yoğunluğu
Almanya	182243.3	45.104	Hırvatistan	132.4	0.820	Malta	41.7	1.855
ABD	229847.5	15.455	Hollanda	9545.6	11.208	Norveç	1105	4.217
Avusturya	7374.4	6.270	Hong Kong	1807	4.754	Polonya	8212	5.086
Avusturya	8291.1	19.766	İngiltere	17252	5.567	Portekiz	3510.6	7.466
Belçika	8076.4	17.526	İrlanda	740.8	3.537	Sırbistan	80.1	0.291
Bosna Hersek	13.2	0.162	İspanya	30869.6	16.804	Singapur	10586.6	49.193
Bulgaristan	262.3	0.848	İsveç	11554.6	23.830	Slovakya	4750.1	19.186
Çekya	11153	21.782	İsviçre	6366.3	14.082	Slovenya	2181.7	23.060
Çin	309509.8	4.066	İtalya	63556.7	27.980	Şili	122.3	0.150
Danimarka	5431.9	19.870	İzlanda	25.1	1.349	Tayland	23494.7	6.173
Estonya	117.6	1.816	Japonya	306931.7	48.325	Tayvan	47179.6	42.222
Finlandiya	4401	17.762	Letonya	26.3	0.293	Tunus	139.5	0.411
Fransa	34811.3	13.212	Litvanya	125.4	0.924	Türkiye	7831.9	2.895
Güney Afrika	3544.8	2.069	Macaristan	5079.7	11.962	Yeni Zelanda	891.4	3.668
Güney Kore	205132	78.123	Malezya	7447.7	5.336			

Robot yoğunluğu, IFR'den temin edilen robot stoku ve Uluslararası Çalışma Örgütü'nden alınan çalışan sayısı kullanılarak yazar tarafından hesaplanmıştır.

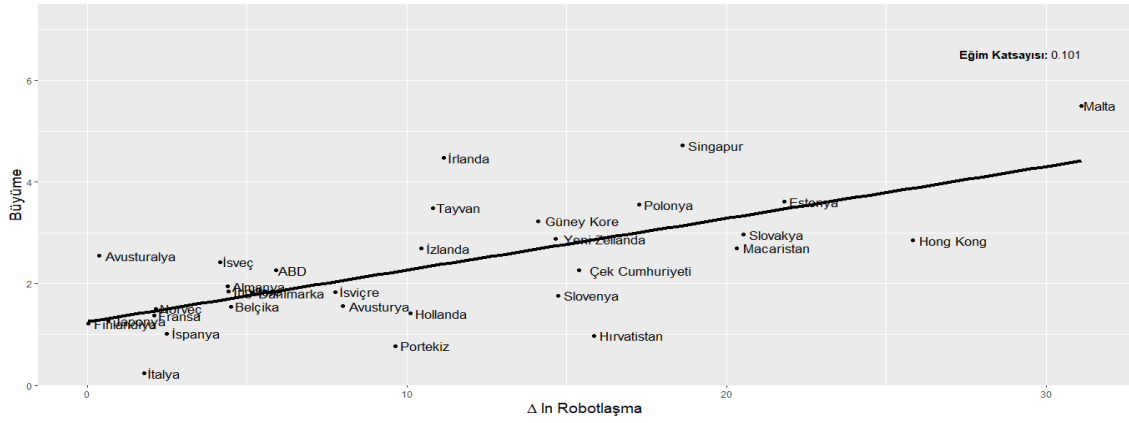
Yüksek gelir grubu ülkelerin ortalama robot yoğunluğu 18.21 iken, yüksek-orta gelir grubu ülkelerin ortalama robot yoğunluğu 1.97'dir. Yüksek gelir grubu ülkeler ile yüksek-orta gelir grubu ülkelerin robotlaşması birbirinden oldukça farklıdır. Diğer taraftan dijitalleşmeye erken başlayan Çin gibi ülkelerin robot yoğunluğu bazı gelişmiş ülkelere bile fazladır. Bununla birlikte Çin'in ortalama büyüme oranının yüksek olması

da dikkat çekicidir. Güney Kore ve Japonya gibi üretim deseni yüksek oranda robotlaşmış ülkeler aynı zamanda yüksek büyüme oranlarına sahiplerdir. Dolayısıyla hem yüksek gelir grubu hem de yüksek-orta gelir grubu ülkelerde üretim deseninin robotlaşması ile büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişkinin bulunması beklenmektedir.

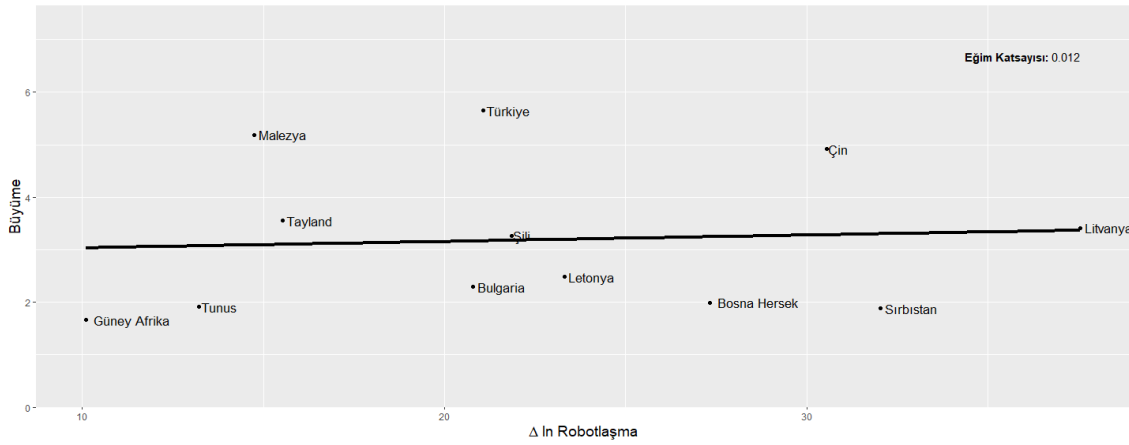
Operasyonel robot stoku değişimi ile büyüme arasındaki ilişkiyi incelemek üzere tüm örneklem, yüksek gelir grubu ülkeler ve yüksek-orta gelir grubu ülkeler için robot stoku ve büyüme grafikleri incelenmiştir. Grafiklere göre robotlaşma ile büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişkinin bulunması beklenmektedir. Bununla birlikte yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmadaki büyüme daha fazladır. Bunun temel sebebi bu ülkelerin önemli bir bölümünün robotlaşmaya yüksek gelir grubu ülkelerden sonra başlamış olmasıdır. Yüksek-orta gelir grubu ülkelerin robot stoku, yüksek gelir grubu ülkelerden çok daha az olduğu için bu ülkelerde robotlaşmadaki büyüme oranları daha fazladır.



**Şekil 1.1: Tüm Örneklemde Robotlaşma ve Büyüme (2010-2019)**



**Şekil 1.2: Yüksek Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşma ve Büyüme (2010-2019)**



**Şekil 1.3: Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşma ve Büyüme (2010-2019)**

Grafikler incelendiğinde, yüksek gelir grubu ülkelerdeki grafiğin yüksek-orta gelir grubu ülkelerin grafiğine göre daha dik olduğu görülmektedir. Yüksek gelir grubu ülkelerdeki eğim katsayısı 0.101 iken, yüksek-orta gelir grubu ülkelerde 0.012'dir. Yüksek gelir grubu ülkelerde robotlaşmanın büyüme katkısı, yüksek-orta gelir grubu ülkelere göre çok daha fazladır. Robotlaşma nitelikli iş gücü ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Yüksek gelir grubu ülkelerde robotlaşmanın büyüme katkısının fazla olmasındaki temel sebeplerden birisi bu ülkelerin yüksek-orta gelir grubu ülkelere göre daha nitelikli iş gücüne sahip olmasıdır. Bununla birlikte yüksek gelir grubu ülkelerde dijital

dönüşüm süreci daha önce başladığı için bu ülkelerde operasyonel robot stoğunun fazla olmasının yanı sıra diğer dijital teknolojiler de daha yaygın kullanıldığı için üretim yapısının yüksek-orta gelir grubu ülkelere göre daha fazla dijitalleşmesi de belirleyici rol oynamaktadır. Diğer yandan yüksek gelir grubu ülkeler görece daha fazla lider konumunda firmaya sahiptirler. Bu firmaların robotlaşmaya entegrasyonunun daha iyi planlanması ve robotlaşmanın etkin kullanımı ile elde edilen çıktının artırılması da daha yüksek büyüme oranlarının ortaya çıkmasında belirleyici olabilir.

#### **1.4. Veri ve Yöntem**

Çalışmada ele alınan örneklemin belirlenmesindeki temel kriter ilgili verilerin bulunmasıdır. IFR'den temin edilen operasyonel robot stoku verisi Almanya, ABD, Arjantin, Avustralya, Avusturya, Beyaz Rusya, Belçika, Birleşik Arap Emirlikleri, Bosna Hersek, Brezilya, Bulgaristan, Çekya, Çin, Danimarka, Endonezya, Estonya, Fas, Filipinler, Finlandiya, Fransa, Güney Afrika, Güney Kore, Hırvatistan, Hindistan, Hollanda, Hong Kong, İran, İrlanda, İspanya, İsrail, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Kanada, Katar, Kolombiya, Kuveyt, Letonya, Litvanya, Malezya, Malta, Macaristan, Meksika, Mısır, Moldova, Norveç, Umman, Özbekistan, Pakistan, Peru, Polonya, Portekiz, Romanya, Rusya, Sırbistan, Singapur, Slovakya, Slovenya, Suudi Arabistan, Şili, Tayland, Tunus, Türkiye, Ukrayna, Yeni Zelanda, Yunanistan, Venezuela ve Vietnam için bulunmaktadır. Kanada ve Meksika'nın robot stoku verisi 2011 yılından itibaren başladığı için örneklemin dışında tutulmuştur.

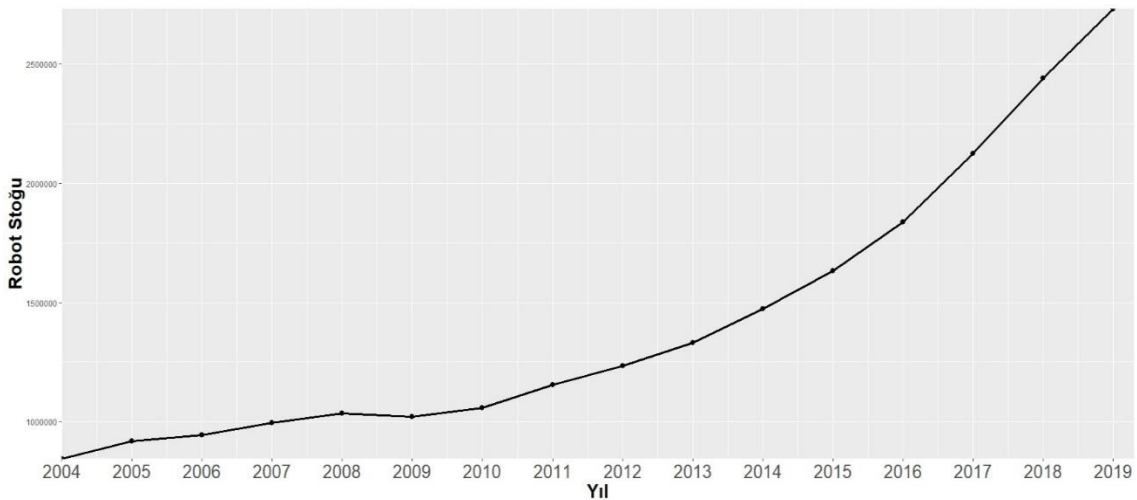
Çalışmada kullanılan robotlaşma dışındaki değişkenler Conference Board veri tabanından alınmıştır. Conference Board iş gücü verisini nicel ve nitel olmak üzere ikiye ayırmaktadır. Çalışmada iş gücü verisi iki verinin toplamı olarak alınmıştır (Niebel, 2018). Veri setindeki olağan dışı değerler ve veri kalitesinden ötürü Yunanistan, İsrail, Romanya ve Rusya analizin dışında bırakılmıştır (Niebel, 2018). Robot yoğunluğunun

hesaplamasında kullanılan çalışan sayısı tüm yıllar için bulunmadığından Arjantin, Beyaz Rusya, Brezilya ve Venezuela çalışmanın dışında bırakılmıştır. Robot yoğunluğu ihmal edilecek kadar küçük olan Kolombiya (0.046) ve Peru (0.015) örnekleme dahil edilmemiştir. Çalışmada düşük-orta gelir grubu ülkeler olan Endonezya, Filipinler, Hindistan, Moldova, Özbekistan, Pakistan, Ukrayna ve Vietnam analize dahil edilmemiştir. Bunun iki temel sebebi bulunmaktadır: 1. Yapısal farklılıklar 2. Bu ülkelerin dijital teknolojilere geçişte geri kalmış olmaları. Arap ülkeleri olan Birleşik Arap Emirlikleri, Fas, Katar, Kuveyt, Mısır, Umman ve Suudi Arabistan yapısal farklılıklarıyla sebebi analizin dışında bırakılırken, İran da uzun süreli ambargo uygulaması sebebiyle analize dahil edilmemiştir. Ülkelerin yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubu olarak sınıflandırılmasında analizin başlangıcı olan 2010 yılı Dünya Bankası sınıflandırması dikkate alınmıştır.

**Tablo 1.2: Analize Dahil Edilen Ülkelerin Sınıflandırılması**

Yüksek gelir grubu ülkeler	Almanya, ABD, Avustralya, Avusturya, Belçika, Çekya, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Güney Kore, Hırvatistan, Hollanda, Hong Kong, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İzlanda, Japonya, Macaristan, Malta, Norveç, Polonya, Portekiz, Singapur, Slovakya, Slovenya, Tayvan, Yeni Zelanda
Yüksek-orta gelir grubu ülkeler	Bosna Hersek, Bulgaristan, Çin, Güney Afrika, Letonya, Litvanya, Malezya, Sırbistan, Şili, Tayland, Tunus, Türkiye

Çalışmada 2010-2019 yılları arasındaki veriler kullanılarak tahmin yapılmaktadır. IFR'den temin edilen robotlaşma verisi 1992-2021 yılları arasında bulunmasına karşın, Conference Board'dan temin edilen değişkenler 2019 yılına kadar bulunmaktadır. Robotik değişkeni 2004 yılına kadar ülkelerin kendi ulusal raporlarına göre oluşturulurken, 2004 yılı itibariyle robot tedarikçisi firmalardan alınan veriler dikkate alınarak IFR tarafından oluşturulmuştur. Dünya'daki toplam robot stoku Şekil 1.4'te verildiği gibidir. Şekil 1.4 incelendiğinde 2008 küresel resesyonu sonrasında 2010 yılı itibariyle robotlaşmada yeni bir patikaya girildiği açıkça görülmektedir. Robot stokunun hesaplanmasındaki yöntem farklılığı, 2008 küresel resesyonu, resesyon sonrası etkiler ve robotlaşmanın 2010 yılında ivmelenmesi dikkate alınarak yapılan analizler için başlangıç yılı 2010 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 1.4: Dünya'da Toplam Robot Stoku (2004-2019)**

**Kaynak:** IFR'den elde edilen verilerle yazar tarafından hazırlanmıştır.

Çalışmada tahmin edilecek denklem Cobb-Douglas üretim fonksiyonundan yola çıkılarak belirlenmektedir. Denklemlerde Y gayri safi yurt içi hasıla, A teknolojik gelişme, K sermaye birikimi, L iş gücü ve R robotlaşmayı simgelemektedir. Literatürdeki çalışmalarda robotlaşma robotların istihdam edilmesi (Liu vd., 2020) veya sermaye birikimi kalitesini göstermesi (Jungmittag ve Pesole, 2019; Kromann vd., 2020) olmak üzere iki ayrı şekilde ele alınmaktadır. Bu çalışmada istihdam veya kalite artışı ayrımı yapılmaksızın büyüme üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. Çalışmada 1.4 no'lu denklem tüm örneklem, yüksek gelir grubu ülkeler ve yüksek-orta gelir grubu ülkeler olmak üzere üç ayrı örneklem için ayrı ayrı tahmin edilmiştir. Denklem 1.4'te i indisi ülkeleri, t yılı,  $\beta$  bilinmeyen parametreleri,  $\alpha_i$  ülke etkisini,  $\mu_t$  zaman etkisini ve  $\varepsilon_{it}$  ise hata terimini temsil etmektedir.

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^\beta R_t^\delta \quad (1.1)$$

$$\ln Y_t = A_t + \alpha \ln K_t + \beta \ln L_t + \delta \ln R_t \quad (1.2)$$

$$\Delta \ln Y_t = \Delta A_t + \alpha \Delta \ln K_t + \beta \Delta \ln L_t + \delta \Delta \ln R_t \quad (1.3)$$

$$büyüme_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 sermaye_{i,t} + \beta_2 işgücü_{i,t} + \beta_3 robot_{i,t} + \alpha_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1.4)$$

Çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımı ve tanımlayıcı istatistikleri Tablo 1.3'te verilmiştir. Çalışmada yöntem olarak panel veri setine uygun olan havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler modelleri kullanılmıştır.

**Tablo 1.3: Değişkenlerin Tanımı ve Tanımlayıcı İstatistikler**

			Tüm Örneklem		Yüksek Gelir Grubu Ülkeler		Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkeler	
Değişken	Tanım	Kaynak	Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma	Ortalama (%)	Standart Sapma
büyüme	Gayri safi yurt içi hasıladaki büyüme	Conference Board	2.555	2.165	2.319	2.063	3.184	2.309
sermaye	toplam sermaye birikimi büyümesi	Conference Board	3.299	2.187	2.916	1.708	4.322	2.893
nicelik	İş gücü niceliği büyümesi	Conference Board	0.871	2.253	0.864	1.844	0.888	3.099
nitelik	İş gücü niteliği büyümesi	Conference Board	0.464	0.652	0.392	0.596	0.657	0.751
işgücü	İş gücü büyümesi	Conference Board	1.335	2.206	1.256	1.805	1.545	3.027
robot	Operasyonel robot stoku büyümesi	IFR	13.733	15.318	10.505	13.130	22.340	17.343
Gözlem Sayısı			440		320		120	
Grup Sayısı			44		32		12	

Çalışmada kullanılan tüm değişkenler doğal logaritmadaki değişimdir ve değişkenlerin büyümesini temsil etmektedir.

### 1.5. Tahmin Sonuçları

Çalışmada ele alınan tüm örneklem için öncelikle değişkenlerde yatay kesit bağımlılığı olup olmadığı Pesaran (2015) CD testiyle araştırılmıştır. Çalışmada yatay kesit bağımlılığı bulunan değişkenler için birinci nesil birim kök testlerinden Fisher ADF ve Fisher PP yatay kesit ortalamaları çıkarılarak uygulanırken, ikinci nesil birim kök testlerinden CADF ve CIPS testleri yapılmıştır. Değişkenlerin yatay kesit bağımlılığı ve birim kök testleri Ek 1’de bulunan Tablo 1.5 ve Tablo 1.6’da listelenmektedir. Tablo 1.5’e göre tüm örneklem ve yüksek gelir grubu ülkelerde tüm değişkenlerde yatay kesit bağımlılığı varken, yüksek-orta gelir grubu ülkelerde yatay kesit bağımlılığı yoktur. Tablo 1.6’ya göre tüm değişkenler durağandır.

Model spesifikasyon testlerine geçmeden önce üç örnekleme de tahmin edilecek denklem için Wooldridge otokorelasyon testi yapılmıştır. Ek 1’de yer alan Tablo 1.7’de görüldüğü üzere tüm örnekleme ve yüksek-orta gelir grubu ülkelerde hata teriminde otokorelasyon bulunmaktadır. Çalışmada Denklem 1.4, havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler olmak üzere üç ayrı yöntemle otokorelasyon varlığı dikkate alınarak tahmin edilmiştir.

Tahmin sonuçları Tablo 1.4’te yer almaktadır. Yapılan tahminlerde sermaye ve iş gücü katsayıları önceki çalışmalarla uyumludur ve beklendiği gibidir. Bu katsayılar içerisinde sadece yüksek-orta gelir grubu ülkelerin sabit etkiler modelinde sermaye katsayısının 0.9 olması dikkati çekmektedir. Yüksek-orta gelir grubu ülkeler Çin ve Türkiye gibi özellikle son yıllarda yatırım miktarının hızlı bir şekilde arttığı ülkelere olmaktadır. Bu ülkelere benzer şekilde literatürde yatırımın fazla olduğu örneklemeleri inceleyen çalışmalarda diğer çalışmalara göre daha yüksek sermaye katsayısı raporlanmıştır. Dolayısıyla bu örnekleme deki ülkelerin yüksek gelir grubu ülkelere göre büyüme oranları daha fazlayken hem sermayenin katsayısı hem de büyüme kaynaklarına ayrıldığında sermayenin aldığı pay daha fazladır. Aynı zamanda bu örnekleme içerisinde Bosna Hersek gibi robotlaşmanın çok az olduğu ülkeler de yer almaktadır (Bosna Hersek robot stoku 2010 yılında 2 iken 2019 yılında ancak 30’a ulaşmıştır). Yüksek-orta gelir grubu ülkelerde analizin yapılmasını sağlayacak yeterli gözleme ulaşmak için bu ülkeler analizin dışında bırakılamamıştır.

Tablo 1.4’e göre tüm tahminlerde robotlaşma ile büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişki vardır. Bununla birlikte tüm örnekleme ve yüksek gelir grubu ülkelerde havuzlanmış EKK ile rassal etkiler modellerinde, yüksek-orta gelir grubu ülkelerde ise tüm modellerde robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişki istatistiki olarak anlamlıdır. Yüksek gelir grubu ülkelerde havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler

modellerinde robotlaşmadaki %1’lik artış gayri safi yurt içi hasılda sırasıyla binde 0.22, binde 0.07, binde 0.21 birim artışa yol açmaktadır. Yüksek-orta gelir grubu ülkelerde havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler modellerinde robotlaşmadaki %1’lik artış gayri safi yurt içi hasılda sırasıyla binde 0.17, binde 0.11, binde 0.15 birim artışa yol açmaktadır.

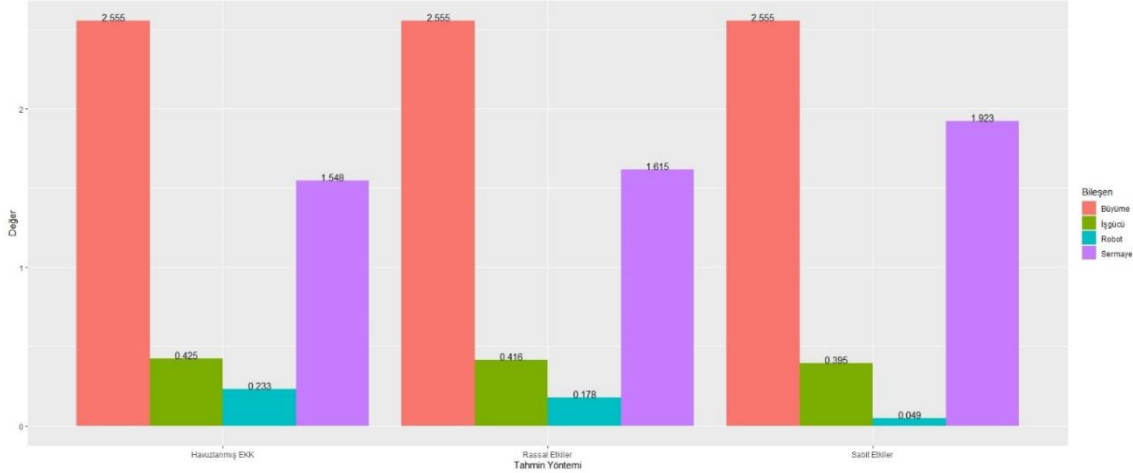
**Tablo 1.4: Tahmin Sonuçları**

Örneklem	Model	sermaye	işgücü	robot	yıl etkisi
<b>Tüm Örneklem</b>	Havuzlanmış EKK	0.469*** (0.061)	0.318*** (0.083)	0.017*** (0.005)	✓
	Sabit Etkiler Modeli	0.583*** (0.167)	0.296*** (0.088)	0.003 (0.004)	✓
	Rassal Etkiler Modeli	0.489*** (0.063)	0.312*** (0.084)	0.013*** (0.005)	✓
<b>Yüksek Gelir Grubu Ülkeler</b>	Havuzlanmış EKK	0.466*** (0.062)	0.461*** (0.060)	0.022*** (0.006)	✓
	Sabit Etkiler Modeli	0.389** (0.153)	0.455*** (0.072)	0.007 (0.006)	✓
	Rassal Etkiler Modeli	0.463*** (0.068)	0.461*** (0.061)	0.021*** (0.006)	✓
<b>Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkeler</b>	Havuzlanmış EKK <sup>a</sup>	0.456*** (0.092)	0.169*** (0.050)	0.017* (0.009)	✓
	Sabit Etkiler <sup>b</sup> Modeli	0.908*** (0.056)	0.143 (0.098)	0.011** (0.004)	✓
	Rassal Etkiler Modeli	0.509*** (0.089)	0.171 (0.113)	0.015** (0.006)	✓

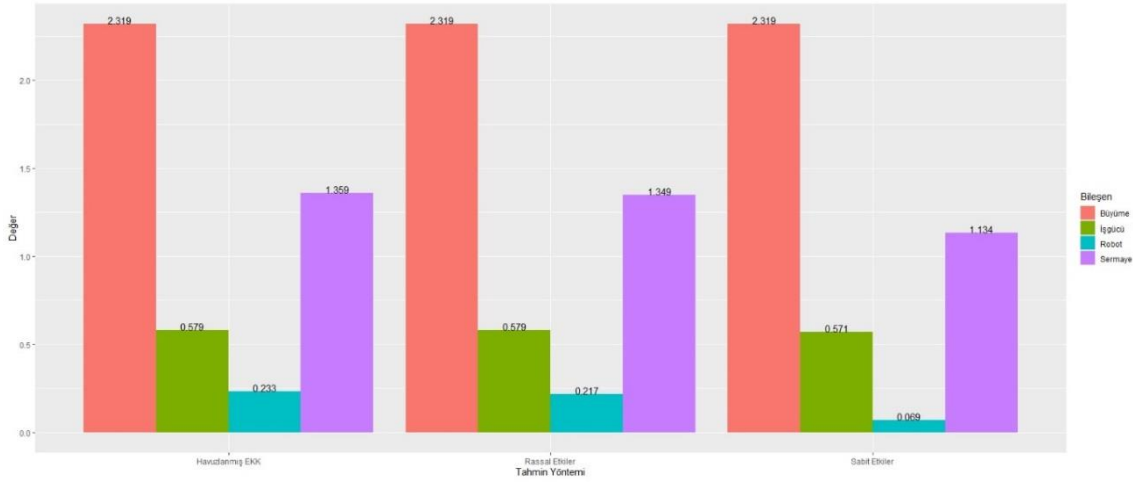
\*\*\*, \*\*, \* katsayıların sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyinde istatistiki anlamlılığı göstermektedir. <sup>a</sup> Havuzlanmış EKK tahmininde yatay kesit bağımlılığı göz önüne alınarak tahmin yapılmıştır. <sup>b</sup> Tahminde Driscoll-Kraay standart hataları kullanılmıştır. Parantez içindeki değerler robust standart hatalardır. Standart hatalar ülkeye göre cluster özelliği kullanılarak elde edilmiştir.

Tüm örneklem, yüksek gelir grubu ve yüksek-orta gelir grubu ülkeler için büyümenin kaynakları sırasıyla Şekil 1.5, Şekil 1.6 ve Şekil 1.7’de verilmektedir. Grafıklara göre büyümenin temel belirleyicisi sermayedir. Tüm örneklem ve yüksek gelir grubu ülkelerde sermayeyi iş gücü takip ederken, yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşma ikinci sırada yer almaktadır. Bu farklılaşmanın yüksek gelir grubu ülkelerde

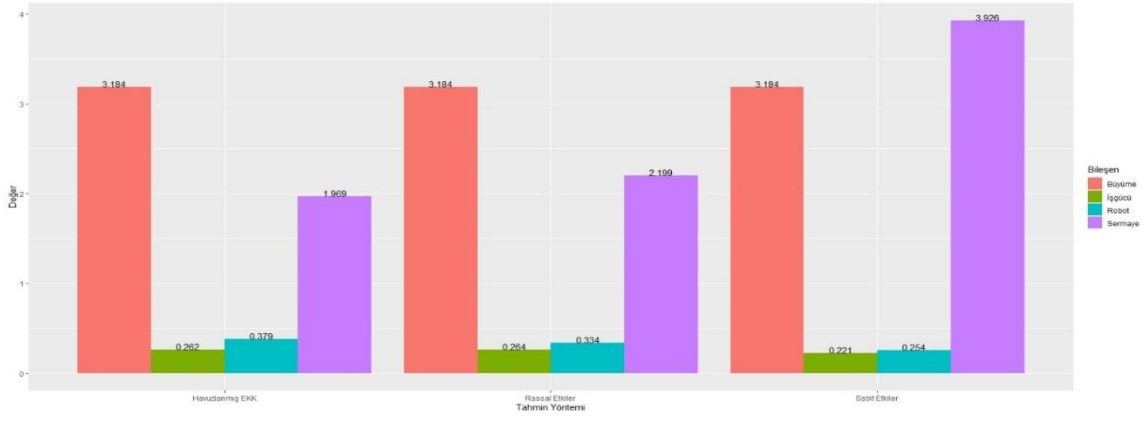
iş gücü kalitesinin daha iyi olmasına dayandığı düşünülmektedir. İş gücü kalitesi görece düşük olan yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşma büyümeye iş gücünden daha fazla katkı sunmaktadır.



Şekil 1.5: Tüm Örneklemde Büyümenin Bileşenleri

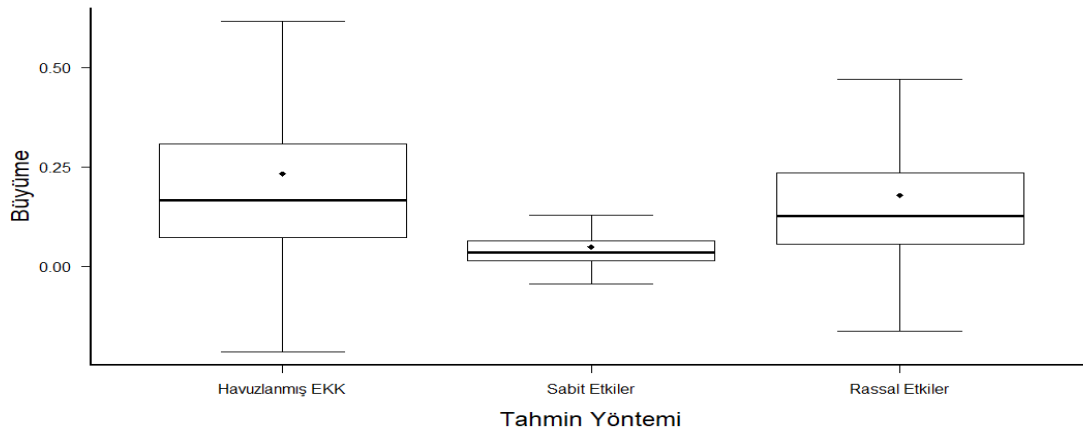


Şekil 1.6: Yüksek Gelir Grubu Ülkelerde Büyümenin Bileşenleri



**Şekil 1.7: Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkelerde Büyümenin Bileşenleri**

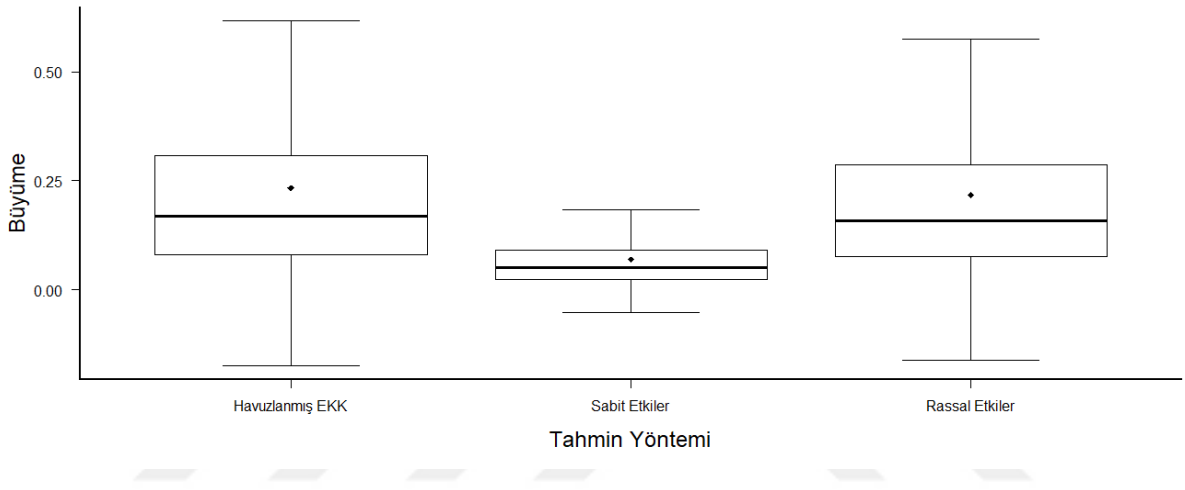
Robotlaşmanın ortalama büyüme oranlarına katkısı Şekil 1.8, Şekil 1.9 ve Şekil 1.10'da yer almaktadır. Tüm örnekleme robotlaşmadan kaynaklanan büyüme oranları havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler modellerinde sırasıyla 0.23, 0.05, 0.18'dir. Yüksek gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan kaynaklanan büyüme oranları havuzlanmış EKK, sabit etkiler ve rassal etkiler modellerinde sırasıyla 0.23, 0.07 ve 0.22 iken, yüksek-orta gelir grubu ülkelerde aynı sırayla 0.38, 0.25 ve 0.33'tür. Dolayısıyla yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmanın yarattığı büyüme etkisi daha fazladır.



**Şekil 1.8: Tüm Örnekleme Robotlaşmanın Büyüme Katkısı**

◆, ortalama değerleri temsil etmektedir.

Tablo 1.4'teki tahmin sonuçlarında görüldüğü üzere havuzlanmış EKK ve rassal etkiler modellerinde elde edilen robotlaşma katsayısı yüksek gelir grubu ülkelerde yüksek-orta gelir grubu ülkelere göre daha büyük olmasına rağmen, robotlaşmadan sağlanan büyüme daha azdır. Bunun temel sebebi yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robot stokunun az olması ve bu ülkeler robotlaşmaya yeni başladıkları için robotlaşmadaki büyümenin fazla olmasıdır.

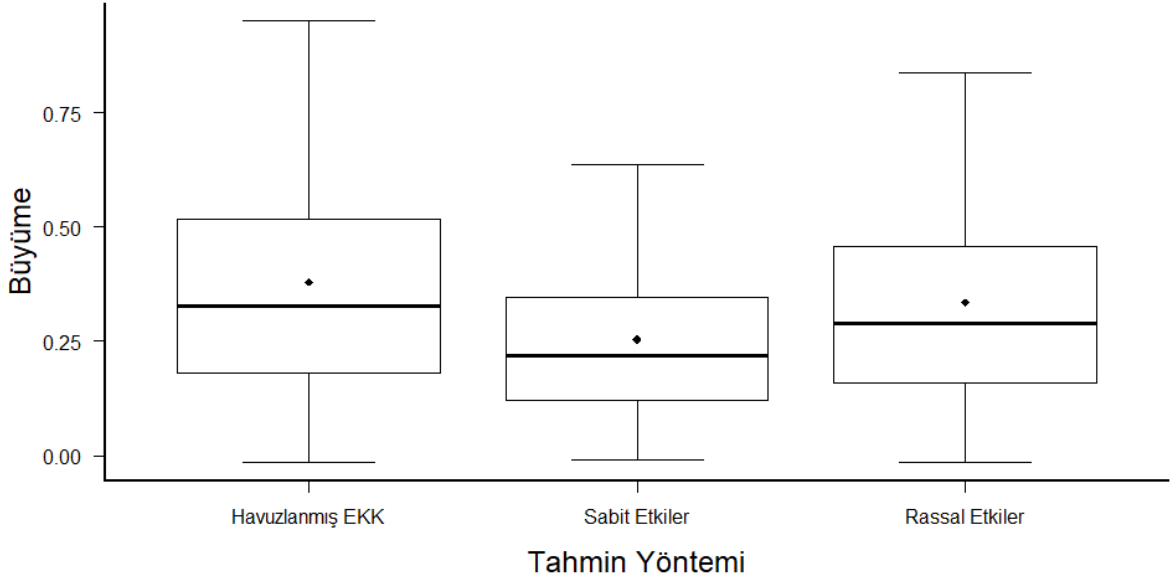


**Şekil 1.9: Yüksek Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşmanın Büyümeye Katkısı**

◆, ortalama değerleri temsil etmektedir.

Yüksek gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan sağlanan maksimum büyüme 2.162'dir. Bu büyüme 2016 yılında Malta'daki robot stokunun 17'den 45'e çıkarılması ile elde edilmiştir. Yüksek gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan sağlanan minimum büyüme ise -0.281'dir. Bu değer 2018 yılında İzlanda'da robot stokunun 42'den 37'ye düşmesi ile ortaya çıkmıştır. Yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan sağlanan maksimum büyüme 1.555'tir ve Sırbistan'da 2013 yılında robot stokunun 10'dan 25'e yükselmesi ile ortaya çıkmıştır. Yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan sağlanan minimum büyüme ise -0.016'dır. Güney Afrika'nın robot stokunun 2018 yılında

4457'den 4416'ya gerilemesi ile oluşmuştur. Dolayısıyla robot stokunun azalması büyüme üzerinde negatif etki yaratmaktadır.



**Şekil 1.10: Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkelerde Robotlaşmanın Büyümeye Katkısı**

◆, ortalama değerleri temsil etmektedir.

## 1.6. Tartışma ve Sonuç

Elde edilen sonuçlara göre gelir grubuna bakılmaksızın robotlaşma ile büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan kaynaklanan büyüme, yüksek gelir grubu ülkelere daha fazladır. Üretimin dijitalleşme sürecini geriden takip eden yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmadaki değişimin fazla olmasının yanı sıra robotların niteliğindeki iyileşmeler daha yüksek büyümeye yol açmaktadır. Bu durum dijitalleşmeyi geriden takip eden yüksek-orta gelir grubu ülkeler için önemli bir fırsat sunmaktadır. Üretim deseninin robotlar ile donatılması yüksek büyüme rakamlarına erişip, yüksek gelir grubu ülkeler ile aradaki açığın kapatılmasında önemli bir rol oynayabilir.

Yapay zekâ teknolojisi başta olmak üzere dijital teknolojilerdeki ilerlemelerin robotların niteliğinde önemli artışlar yaratması beklenmektedir. Bu çalışmada robotların niteliğindeki artışlar veri seti bulunmadığı için dikkate alınmamıştır. Robotlardaki nitelik artışının göz ardı edilmesi çalışmanın kısıtını oluşturmaktadır. Nitelik artışlarının robotlaşmayı geriden takip eden yüksek-orta gelir grubu ülkelerin yüksek gelir grubu ülke düzeylerine erişmesinde oynayacağı rolün kesin bir şekilde belirlenebilmesi için robotların niteliğini dikkate alan veri setlerinin oluşturulması gerekmektedir.

## EK-1

**Tablo 1.5: Yatay Kesit Bağımlılığı Testleri**

Değişken/Örneklem	Tüm Örneklem	Yüksek Gelir Grubu Ülkeler	Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkeler
Büyüme	13.453*** (0.000)	17.962*** (0.000)	-0.691 (0.489)
Sermaye	2.127** (0.033)	6.045*** (0.000)	1.081 (0.279)
İşgücü	6.17*** (0.000)	8.046*** (0.000)	-0.439 (0.660)
Robot	4.486*** (0.000)	4.791*** (0.000)	0.706 (0.480)

Olasılık değerleri parantez içinde verilmiştir. \*, \*\*, \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 istatistiki anlamlılığı temsil etmektedir.

**Tablo 1.6: Birim Kök Testleri**

Örneklem	Test	büyüme	sermaye	işgücü	robot
Tüm Örneklem	Fisher ADF	10.074*** (0.000)	8.342*** (0.000)	13.311*** (0.000)	17.670*** (0.000)
	Fisher PP	17.553*** (0.000)	4.067*** (0.000)	14.931*** (0.000)	10.188 (0.000)
	CADF	-2.830*** (0.002)	-9.994*** (0.000)	-9.682*** (0.000)	-1.915** (0.028)
	CIPS	-3.019***	-2.074	-2.388	-2.753**
Yüksek Gelir Grubu Ülkeler	Fisher ADF	8.784*** (0.000)	5.992	8.806*** (0.000)	11.1366*** (0.000)
	Fisher PP	5.687*** (0.000)	3.362 (0.004)	12.513*** (0.000)	9.0098*** (0.000)
	CADF	-4.275*** (0.000)	-13.471*** (0.000)	-5.845*** (0.000)	-37.853*** (0.000)
	CIPS	-2.740***	-2.150*	-2.545***	-2.131*
Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkeler	Fisher ADF	10.074*** (0.000)	8.342*** (0.000)	13.311*** (0.000)	17.670*** (0.000)
	Fisher PP	17.553*** (0.000)	4.067*** (0.000)	14.931*** (0.000)	10.188 (0.000)
	CADF	-2.830*** (0.002)	-9.994*** (0.000)	-9.682*** (0.000)	-1.915** (0.028)
	CIPS	-3.019***	-2.074	-2.388	-2.753**

Olasılık değerleri parantez içinde verilmiştir. \*, \*\*, \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 istatistiki anlamlılığı temsil etmektedir.

**Tablo 1.7: Otokorelasyon Testi**

	Wooldridge Otokorelasyon Testi	Olasılık Değeri
Tüm Örneklem	10.612	0.002
Yüksek Gelir Grubu Ülkeler	-2.131	0.000
Yüksek-Orta Gelir Grubu Ülkeler	0.403	0.538



## 2. DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN İNOVASYON FAALİYETLERİNE ETKİSİ

### 2.1. Giriş

Bilgisayar teknolojilerindeki gelişmeler temelinde ortaya çıkan “Endüstri 4”, “4. Sanayi Devrimi” veya “Dijital Çağ” gibi farklı isimlerle de anılan süreç ekonomilerin dijital olarak dönüşümünü yansıtmaktadır. Dijital dönüşüm süreci tüketici ve firma davranışındaki değişimin yanı sıra mezo ve makro düzey iktisadi olguların da değişimiyle pazar yapılarının yeniden şekillenmesini ifade etmektedir.

Ülkelerin ortaya çıkan bu yeni pazar yapılarında yer alabilmeleri dijital dönüşüm sürecini devam ettirmelerine bağlıdır. Dijital dönüşüm sürecinin tamamlanmasında öne çıkan iktisadi aktör ise firmalardır. Firmalar yeni teknolojileri takip ederek sektördeki diğer firmalar ile rekabet gücünü kaybetmemek için dijital teknolojilere adaptasyonlarını diğer firmaların gerisinde kalmayacak şekilde devam ettirmelidirler. Firmaların dijital teknolojilere adaptasyonu ülkelerin küresel pazarlarda söz sahibi firmalara sahip olabilmesi açısından önem arz etmektedir. Dijital teknolojilere adaptasyon firmanın rekabet gücünü korumasının yanı sıra firma kaynaklarının etkin kullanımını da sağlamaktadır.

Firmalarda dijital dönüşüm sürecinin ortaya çıkardığı önemli sonuçlardan bir diğeryse dijitalleşmeyle birlikte firma büyümesinin sağlanmasıdır. Dijitalleşme firmaların bilgi asimetrisini azaltmak (Kong vd., 2022), tedarik zincirini güçlendirmek (Büyüközkan ve Göçer, 2018), işlem maliyetlerini azaltmak (Kimani vd., 2020), verimliliği artırmak (Ballestar vd., 2020) gibi pek çok kanal üzerinden performans artışı ve büyüme etkisi ortaya çıkarmaktadır (Müller vd., 2018; DeStefano vd., 2020).

Firmalarda büyümeyi sağlayan önemli unsurlardan birisi inovasyondur. Dijital teknolojilerin inovasyon süreçlerinde kullanılması dijital inovasyon kavramı olarak da

anılmaktadır. Bununla birlikte dijital inovasyon kavramı inovasyonun tamamen veya kısmen sonucu olarak da değerlendirilmektedir. Dijital teknolojilere adaptasyon firmaların inovasyon faaliyetleri üzerinde de belirleyici role sahip olarak firma büyümesine katkı sağlamaktadır (Ferreira vd., 2019:588).

Dijitalleşme süreci firmaların tüketiciler, rakipler, paydaşlar gibi pazardaki diğer aktörlerle etkileşimlerini de değiştirmektedir. Diğer aktörlerle etkileşimi temel alan kavramlardan birisi “ortak değer yaratma”dır (Porter ve Kramer, 2011). Ortak değer yaratma kavramı, kapitalist sistemin meşruiyetinin sorgulanması ve firma faaliyetlerinin sosyal, ekonomik ve çevresel olumsuz etkilerinin vurgulanmasıyla ortaya çıkmaktadır (Crane vd., 2014). Ortak değer, firmaların kendi rekabetçiliğini artırırken, diğer aktörlerin de sosyal ve ekonomik koşullarını iyileştirmesini ifade etmektedir (Ferreira vd., 2019:584). Dijitalleşme de firmaların diğer aktörlerle etkileşimlerinde birlikte değer oluşturmalarını sağlamaktadır (Autio, 2017:7). Başka bir ifadeyle dijitalleşme sadece firmada değer yaratmakla kalmayıp, ekonomik ve sosyal değer yaratılmasına da katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla dijitalleşme süreciyle birlikte ekonominin tamamı üzerinde pozitif bir etki ortaya çıkmaktadır. Dijital dönüşüm sürecindeki hızlanma pandemiyle birlikte ivme kazanarak devam etmektedir.

Bu çalışmanın amacı, firmaların ileri dijital teknolojilere adaptasyonu ile inovasyon faaliyetleri arasındaki ilişkinin ortaya konmasıdır. Çalışmanın temel özgün değeri, firmaların ileri dijital teknolojilere adaptasyonunun yapay zekâ, bulut bilişim, büyük veri, robotik, akıllı cihazlar ve blok zinciri olmak üzere alt kategoriler için ele alınarak firmanın inovasyon faaliyetlerine etkisinin belirlenmesidir. Çalışmada dijital teknolojilerdeki değişimi takip edebilecek güncel bir veri setinin kullanılması, otuz dokuz ülkeden oluşan geniş bir örneklemin ele alınması ve ileri dijital teknolojilere adaptasyon kararının firmanın hedefleri ve stratejileri gibi ortak unsurlara dayanması sebebiyle

korelasyona sahip olduğunu göz önünde bulunduran multivariate probit yönteminin kullanılması çalışmanın diğer özgün değerlerini oluşturmaktadır.

Çalışmanın ikinci kısmında dijital teknolojilerin firmada yarattığı etkiler ve bir kurum olarak iş birliğinin önemine değinilmektedir. Üçüncü kısımda çalışmada kullanılan veri ve yöntem yer almaktadır. Dördüncü kısımda araştırma bulguları sunulmaktadır. Beşinci ve son kısımda ise elde edilen bulgular tartışılarak sonuç bölümü sunulmaktadır.

## **2.2. Literatür**

Yirminci yüzyılın sonunda ortaya çıkan bilgisayar ve bilişim teknolojilerindeki gelişmeler zamanla iktisadi yapının tamamına yayılan bir değişim sürecine zemin hazırlamıştır. Bu teknolojik gelişmeler yirmi birinci yüzyılda yapay zekâ, bulut bilişim gibi daha ileri teknolojilere evrilerek yeni bir boyut kazanmıştır. İleri dijital teknolojiler ise tüketici davranışından tedarik zincirine kadar iktisadi yapının temel unsurlarında köklü değişikliklere yol açmaktadır. Dijitalleşmeyle birlikte evrilerek gelişen piyasaların özellikle son yıllarda ortaya çıkan durağanlaşma sorununa çözüm olabileceği düşünülmektedir (Van Ark, 2015; Remes vd., 2018).

Dijitalleşme ile büyüme arasındaki ilişkinin belirlenmesindeki ana öğelerden birisi ekonominin bel kemiğini oluşturan firmalardır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde dijital teknolojilere adaptasyonun firmalar üzerinde yarattığı etkilerin araştırmacıların dikkatini çeken konuların başında yer aldığı görülmektedir. Dijital teknolojilere adaptasyonun firmaya etkileri büyüme (DeStefano vd., 2020), performans (Ferraris vd., 2019), inovasyon faaliyetleri (Rammer vd., 2021) ve verimlilik (Müller vd., 2018; Heyman vd., 2021) gibi pek çok açıdan araştırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda

dijital teknolojilere adaptasyonun araştırılan unsurlar üzerinde pozitif etkiye sahip olacağı öne sürülmüştür.

Dijital teknolojilerin firmada yarattığı etkiler arasından rekabet avantajı kazandırması ve büyümeyi desteklemesi yönüyle inovasyon faaliyetleri öne çıkmaktadır. Dijital teknolojiler, firmaların organizasyonel ve alt yapı özelliklerini değiştirmekle sınırlı kalmayıp inovasyon faaliyetlerinin de dönüşmesine sebep olmaktadır (Nambisan vd., 2019). Dijital teknolojiler inovasyonun temelinde yer alan bilgi üretim sürecini değiştirmesinin (Antonelli, 2017) yanı sıra üretim sürecinde bir girdi olarak bilgi stokunun artmasını sağlamaktadır (Léger & Swaminathan, 2007). Bununla birlikte firmaların dijital teknolojilere adaptasyonu verimlilik artışı başta olmak üzere, bilgi ayıklama yöntemleri sayesinde bilgi kalitesinin artması, bilginin yönetiminin ve karar vermenin kolaylaşması ve bilgiye erişim maliyetlerinin düşmesi gibi pek çok farklı kanal aracılığıyla inovasyon faaliyetlerini desteklemektedir. Literatürde ileri dijital teknolojiler ile firmaların inovasyon faaliyetleri arasındaki ilişkiyi araştıran sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda yapay zekâ (Rammer vd., 2021), bulut bilişim (Kshetri, 2011) ve büyük veri (Niebel vd., 2019; Ghasemaghaei ve Calic, 2020) teknolojilerinin inovasyon faaliyetlerine etkisi incelenmiştir. Bildiğimiz kadarıyla, ileri dijital teknolojiler ile inovasyon faaliyetleri arasındaki ilişkiyi inovasyon türüne göre araştıran ve ileri dijital teknolojileri teknoloji türüne göre detaylı olarak ele alan bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla birlikte ileri dijital teknolojilerin görece yeni olması ve yeni teknolojilere adaptasyon sürecinde ortaya çıkan gecikmelerden dolayı bu konuda yapılan çalışmalar da oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla ileri dijital teknolojilerin firma inovasyon faaliyetlerine etkileri kesin olarak bilinmemektedir.

İnovasyon faaliyetlerinde inovasyonun temel girdisi olan bilginin difüzyon süreçleri rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında bilgi difüzyon süreçleri küreselleşme

vasıtasıyla uluslararası pazarla ve iş birliği vasıtasıyla da pazardaki diğer kurum/kuruluşlarla etkileşimi temsil etmektedir. Firmalar küreselleşme ve iş birliği kanalları üzerinden ulusal ve uluslararası pazardaki bilgiyi edinerek, bilgi asimetrilerini azaltmaktadırlar. Bilgi asimetrilerinin azalması ise firmanın yeni teknolojilere ilişkin daha fazla bilgiye sahip olmasının yanı sıra pazardaki dönüşümü takip edebilmesine olanak tanımaktadır. Firmaların küreselleşmesi genellikle ihracat faaliyetleri ile karakterize edilmektedir (Hsu vd., 2016; Arvanitis vd., 2017). İhracat faaliyetinde bulunan firmalar küresel pazarlara entegrasyonları sayesinde yeni teknolojiye ilişkin daha fazla farkındalığa sahip olmaktadır. Spesifik olarak dijital teknolojiler açısından bakıldığında ise, dijital teknolojilere adaptasyonunun küresel pazarda işlem maliyetlerini azaltmak ve pazardaki gelişmelere hızlı cevap verme kabiliyeti sağlamak gibi avantajları da ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte artan rekabet ortamı da firmaları küresel pazardaki yerlerini koruyabilmek için yeni teknolojileri takip etmeye zorlamaktadır.

Yeni kurumsal iktisat yaklaşımıyla rasyonel davranış kavramı yerini iktisadi aktörler arası etkileşimleri şekillendiren “oyunun kuralları” kavramına bırakmaktadır (North, 1990:3). Oyunun kuralları, yasalar ve düzenlemeler, geleneksel örgütsel yapılar ve sosyal normları kapsamaktadır (DiMaggio, 1998). Pazardaki diğer aktörlere ulaşım ve iş birliği ortamı da oyunun kurallarını oluşturan önemli bir unsurdur. Firmaların faaliyet gösterdikleri pazarın iş birliği yapısındaki iyileşmeler, ortak değer yaratma sürecini destekleyerek firmaların rekabet kabiliyetini artıracak ve inovasyon faaliyetlerini destekleyecektir.

### **2.3. Veri ve Yöntem**

Çalışmada Avrupa Komisyonu tarafından düzenlenen Flash Eurobarometer anketleri arasında olan “SMEs, Start-ups, Scale-ups and Entrepreneurship” anketinin veri seti kullanılmaktadır. Bu anket, 27 Avrupa Birliği ülkesi, Bosna Hersek, Brezilya,

Kanada, İzlanda, Japonya, Kuzey Makedonya, Norveç, Sırbistan, Türkiye, İngiltere, ABD ve Kosova'da gerçekleştirilmektedir. Anket, tüm ülkelerde mikro (örneklem %60'ı), küçük (minimum 30 firma olmak üzere örneklem %20'si), orta (minimum 20 firma olmak üzere örneklem %15'i) ve büyük (minimum 10 firma olmak üzere örneklem %5'i) işletmelere uygulanmaktadır. Çalışmada imalat (C grubu), perakende satış (G grubu), hizmetler (H, I, J, K, L, M, N, P, Q ve R grubu) ve sanayi (B, D, E ve F grubu) olmak üzere farklı sektörlerden firmalar seçilerek, örneklem tüm sektörleri kapsamı sağlanmaktadır. Tüm sektörlerdeki firma sayıları, her ülkenin ilgili sektördeki firma oranına göre belirlenmektedir (European Commission, 2020).

Çalışmada firma inovasyon faaliyetleri bilgi difüzyonu temelinde ele alınmaktadır. Bilgi difüzyonu ileri dijital teknolojilere adaptasyon ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte literatürde bilgi difüzyon süreçlerini desteklediği belirtilen farklı kanallar da yer almaktadır. Bu kanalların başında yer alan dış ticaret ve firmaların uluslararası zincir grubun bir parçası olup olmadığı modelde yer almaktadır (Léger ve Swaminathan, 2007). Son olarak uygulamalı inovasyon literatüründe belirleyici olduğu ortaya konan firma özelliklerini ve firmanın faaliyet gösterdiği çevreyi temsil eden değişkenler modele eklenmektedir (Sternberg ve Arndt, 2001; Hobday, 2005; Léger ve Swaminathan, 2007). İnovasyon faaliyetlerinde belirleyici olduğu ortaya konan değişkenlerin başında yer alan firma büyüklüğü çalışmada çalışan kişi sayısı ile temsil edilmektedir. Firmaların faaliyet gösterdiği çevre özellikleri ise firmanın lokasyonu, pazardaki iş birliği ortamı ve faaliyet gösterilen sektörü temsil eden kukla değişkenler ile araştırılmaktadır. Dijital teknolojilerin difüzyonu ile inovasyon faaliyetleri arasındaki ilişkinin araştırılmasında kullanılan değişkenler ve tanımları Tablo 2.1'de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ise Tablo 2.2'de listelenmektedir.

**Tablo 2.1: Dijital Teknolojilerin Difüzyonunun İnovasyon Faaliyetlerine Etkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Değişkenler ve Tanımları**

Değişkenler	Tanım
<u>Bağımlı değişkenler</u>	
ino_ürün	Firma son 12 ay içerisinde ürün inovasyonu uygulamaya koyduysa=1, değilse=0
ino_süreç	Firma son 12 ay içerisinde süreç inovasyonu uygulamaya koyduysa=1, değilse=0
ino_örgütsel	Firma son 12 ay içerisinde örgütsel inovasyon uygulamaya koyduysa=1, değilse=0
ino_pazarlama	Firma son 12 ay içerisinde pazarlama inovasyonu uygulamaya koyduysa=1, değilse=0
ino_eko	Firma son 12 ay içerisinde eko-inovasyon uygulamaya koyduysa=1, değilse=0
ino_diğer	Firma son 12 ay içerisinde diğer bir inovasyonu uygulamaya koyduysa=1, değilse=0
<u>Bağımsız değişkenler</u>	
yapay zekâ	Firma yapay zekâ teknolojisine adapte olduysa=1, değilse=0
bulut_bilişim	Firma bulut bilişimine adapte olduysa=1, değilse=0
büyük_veri	Firma büyük veri teknolojisine adapte olduysa=1, değilse=0
robotik	Firma robotik teknolojisine adapte olduysa=1, değilse=0
akıllı_cihazlar	Firma akıllı cihaz teknolojisine adapte olduysa=1, değilse=0
blok_zinciri	Firma blok zinciri teknolojisine adapte olduysa=1, değilse=0
çalışan	Firmada çalışan kişi sayısının doğal logaritması
lokasyon	Firma şehirde kurulu ise=1, değilse=0
küreselleşme	Firma ihracat gerçekleştirdiyse=1, değilse=0
uluslararası_grup	Firma uluslararası zincir grubunun parçasıysa=1, değilse=0
işbirliği	Diğer firmalar, kamu sektörü, eğitim kurumu vs. gibi erişim ve iş birliği (4=Çok iyi, 3=Oldukça iyi, 2=Oldukça kötü, 1=Çok kötü)
<u>Kontrol değişkenleri</u>	
hizmet	Firma hizmet sektöründe ise =1, değilse=0
imalat	Firma imalat sektöründe ise =1, değilse=0
perakende	Firma perakende sektöründe ise =1, değilse=0

**Tablo 2.2: Çalışmada Kullanılan Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri**

Değişkenler	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
ino_ürün	0.293	0.455	0	1
ino_süreç	0.210	0.407	0	1
ino_örgütsel	0.172	0.378	0	1
ino_pazarlama	0.221	0.415	0	1
ino_eko	0.232	0.422	0	1
ino_diğer	0.085	0.279	0	1
yapay zekâ	0.083	0.276	0	1

bulut_bilişim	0.498	0.500	0	1
büyük veri	0.157	0.364	0	1
robotik	0.092	0.289	0	1
akıllı cihazlar	0.294	0.455	0	1
blok_zinciri	0.036	0.186	0	1
çalışan	2.421	1.641	0	9.200
lokasyon	0.500	0.500	0	1
küreselleşme	0.343	0.475	0	1
uluslararası_grup	0.101	0.301	0	1
işbirliği	2.980	0.705	1	4
hizmet	0.405	0.491	0	1
imalat	0.201	0.401	0	1
perakende	0.272	0.445	0	1
Gözlem sayısı: 13042				

Çalışmada firmaların ileri dijital teknolojilere adaptasyonunun inovasyon faaliyetlerindeki rolü multivariate probit modeli kullanılarak belirlenmektedir. Multivariate probit modeli, ortak açıklayıcı değişkenlerden etkilenen birden fazla iki değerli bağımlı değişkenin aynı anda tahmin edilmesine olanak tanımaktadır. Farklı açıklayıcı değişkenlerden etkilenen iki değerli bağımlı değişkenlerin aynı anda tahmin edilmesi de mümkündür (Cappellari ve Jenkins, 2003:279).

Multivariate probit modelinin genel gösterimi Denklem 2.1, Denklem 2.2, Denklem 2.3 ve Denklem 2.4 ile verilmektedir (Cappellari ve Jenkins, 2003:279; Greene, 2003:710). Aşağıdaki denklemlerde  $y_{ij}^*$ ,  $y_{ij}$ ,  $x_{ij}$ ,  $\beta_{ij}'$  ve  $\varepsilon_{ij}$  sırasıyla gözlemlenemeyen sürekli değişken,  $y_{ij}^*$ 'ın gözlemlenen karşılığı, bağımsız değişkenler, katsayılar ve hata terimini temsil etmektedir. Hata terimi sıfır ortalama ve bir varyans ile çok değişkenli normal dağılıma sahiptir. Hata teriminin kovaryansı ise sıfırdan farklı olmalıdır. Dolayısıyla hata teriminin varyans-kovaryans matrisinin diagonal elemanları bire eşitken, diagonal olmayan elemanları simetrik olarak eşittir.

$$y_{ij}^* = \beta_j' x_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (2.1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } y_{ij}^* > 0 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$E[\varepsilon_1 | x_1, x_2, \dots, x_j] = E[\varepsilon_2 | x_1, x_2, \dots, x_j] = \dots = E[\varepsilon_j | x_1, x_2, \dots, x_j] = 0 \quad (2.3)$$

$$\text{Var}[\varepsilon_1 | x_1, x_2, \dots, x_j] = \text{Var}[\varepsilon_2 | x_1, x_2, \dots, x_j] = \dots = \text{Var}[\varepsilon_j | x_1, x_2, \dots, x_j] = 1 \quad (2.4)$$

Çalışmada firmaların ileri dijital teknolojilere adaptasyonun altı alt kategoriye ayrılan inovasyon faaliyetindeki rolü ortak açıklayıcı değişkenler kullanılarak aynı anda tahmin edilmektedir. Multivariate probit modeli, çok değişkenli normal dağılım fonksiyonunu hesaplamakta kullanılan en popüler simülasyonlardan GHK (Geweke-Hajivassiliour-Keane) pürüzsüz yinelemeli koşullandırma simülatörü prosedürünü kullanan simüle edilmiş maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir. Altı değişkenli standart normal dağılımın logaritmik olabilirlik fonksiyonu Denklem 2.5'te gösterildiği gibidir. Denklemde  $\Phi_6$ ,  $E_i$  ortalamaya ve  $\Omega$  varyans-kovaryans matrisine sahip altı değişkenli standart normal dağılımı,  $w_i$  ise opsiyonel ağırlığı göstermektedir (Cappellari ve Jenkins, 2003:279-280). Çalışmada ağırlıklandırma yapılmadan tahmin sonuçları elde edilmektedir.

$$L = \sum_{i=1}^N w_i \log \Phi_6 (E_i, \Omega) \quad (2.5)$$

$$E_i = (K_{i1} \beta'_1 x_{i1}, K_{i2} \beta'_2 x_{i2}, K_{i3} \beta'_3 x_{i3}, K_{i4} \beta'_4 x_{i4}, K_{i5} \beta'_5 x_{i5}, K_{i6} \beta'_6 x_{i6}) \quad (2.6)$$

$$K_{ij} = 2y_{ij} - 1 \quad (2.7)$$

$$\Omega_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j = k \\ \Omega_{kj} = K_{ij} K_{ik} \rho_{jk} = K_{ij} K_{ik} \rho_{kj}, & \text{eğer } j \neq k \end{cases} \quad (2.8)$$

Multivariate probit modelinde kararlar arasındaki korelasyon varlığı Lagrange çarpan istatistiği, olabilirlik oranı veya Wald testi ile araştırılabilir (Greene, 2003:712).

Korelasyon varlığını araştıran altı durumda da boş hipotez  $\rho$  ile temsil edilen kovaryansın sıfıra eşit olduğunu belirtmektedir. Boş hipotezin kabul edildiği durumlarda, modellerin hata terimleri arasındaki korelasyon sıfıra eşit olduğu için model ayrı ayrı tahmin edilebilen bağımsız denklemlerden oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle multivariate probit modeli yerine her bir denklem için ayrı ayrı probit modeli tahmin yeterlidir.

Çalışmada gözlemlenen değişkenlerin 0 ve 1 değerini alma ihtimalleri doğrultusunda  $2^6$  olası durum bulunmaktadır. Gözlemlenen değişkenlerin hepsinin 1 olma durumu başarı, 0 olma durumu başarısızlık olarak isimlendirilirse, tüm gözlemlenen değişkenlerin başarılı olma olasılığı aşağıdaki denklemlerde belirtildiği gibidir (Cappellari ve Jenkins, 2003:280).

$$\text{Prob}(y_1=1, y_2=1, y_3=1, y_4=1, y_5=1, y_6=1) = \text{Prob}(\varepsilon_1 \leq \beta'_1 x_1, \varepsilon_2 \leq \beta'_2 x_2, \varepsilon_3 \leq \beta'_3 x_3, \varepsilon_4 \leq \beta'_4 x_4, \varepsilon_5 \leq \beta'_5 x_5, \varepsilon_6 \leq \beta'_6 x_6) \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \text{Prob}(y_1=1, y_2=1, y_3=1, y_4=1, y_5=1, y_6=1) &= \text{Prob}(\varepsilon_6 \leq \beta'_6 x_6 \mid \varepsilon_5 < \beta'_5 x_5, \varepsilon_4 < \beta'_4 x_4, \\ &\varepsilon_3 < \beta'_3 x_3, \varepsilon_2 < \beta'_2 x_2, \varepsilon_1 < \beta'_1 x_1) * \text{Prob}(\varepsilon_5 < \beta'_5 x_5 \mid \varepsilon_4 < \beta'_4 x_4, \varepsilon_3 < \beta'_3 x_3, \varepsilon_2 < \beta'_2 x_2, \varepsilon_1 < \beta'_1 x_1) * \text{Prob} \\ &(\varepsilon_4 < \beta'_4 x_4 \mid \varepsilon_3 < \beta'_3 x_3, \varepsilon_2 < \beta'_2 x_2, \varepsilon_1 < \beta'_1 x_1) * \text{Prob}(\varepsilon_3 < \beta'_3 x_3 \mid \varepsilon_2 < \beta'_2 x_2, \varepsilon_1 < \beta'_1 x_1) * \text{Prob}(\varepsilon_2 < \beta'_2 x_2 \\ &\mid \varepsilon_1 < \beta'_1 x_1) * \text{Prob}(\varepsilon_1 < \beta'_1 x_1) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Çalışmada ileri dijital teknolojilere adaptasyonun firmanın inovasyon faaliyetlerindeki rolü Denklem 2.11 tahmin edilerek bilgi difüzyonu temelinde araştırılmaktadır. Denklemde firmaların ileri dijital teknolojilere adaptasyonunun yanı sıra çalışan sayısı, lokasyon, küreselleşme, uluslararası grup ve pazarın iş birliği yapısı yer almaktadır. Denklem 2.11'deki  $y_i^*$ ,  $\varepsilon_i$  ve  $\beta$  terimleri ise sırasıyla gözlemlenemeyen sürekli değişken, hata terimi ve bilinmeyen katsayıları temsil etmektedir.

$$y_i^* = \beta_1 \text{yapay\_zekâ}_i + \beta_2 \text{bulut\_bilişim}_i + \beta_3 \text{büyük\_veri}_i + \beta_4 \text{robotik}_i + \beta_5 \text{akıllı\_cihazlar}_i + \beta_6 \text{blok\_zinciri}_i + \beta_7 \text{çalışan}_i + \beta_8 \text{lokasyon}_i + \beta_9 \text{küreselleşme}_i +$$

$$\beta_{10} \text{uluslararası\_grup}_i + \beta_{11} \text{işbirliği}_i + \beta_{12} \text{hizmet}_i + \beta_{13} \text{imalat}_i + \beta_{14} \text{perakende}_i + \varepsilon_i \quad (2.11)$$

#### 2.4. Ampirik Sonuçlar

Multivariate probit tahmin sonuçları Tablo 2.3'te listelenmektedir. Modellerin bir arada tahmin edilmesinin gerekliliği olabilirlik oran testi ile araştırılmaktadır. Olabilirlik oran testinin prob ve chi2 değerlerine göre boş hipotez reddedilmektedir. Modellerdeki bağımlı değişkenlerin ayrı ayrı bağımsız modellerde tahmin edilmemesi bunun yerine değişkenler arasındaki korelasyonu dikkate alan multivariate probit modeli ile tahmin yapılması gerekmektedir. Korelasyon katsayılarının tamamı en az %5'te anlamlıdır ve katsayıları pozitiftir. Başka bir ifadeyle tahmin edilen tüm modellerin hata terimleri arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır. Firmaların inovasyon yapması, firmanın finansman durumundan çalışan niteliğine kadar firma karakteristiği, hedefleri ve politikalarıyla yakından ilişkilidir. Dolayısıyla firmanın farklı inovasyon türlerini yapmasında inovasyon türleri arasında bir ilişkinin bulunması beklenen bir durumdur.

Tahmin sonuçlarına göre firmaların ihracat faaliyetinde bulunması ve uluslararası bir zincir grubun parçası olması ile tüm inovasyon türleri arasında en az %5'te anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Çalışan sayısı ile ürün ve diğer hariç tüm inovasyon türleri arasında %1'de anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişki pazarlama inovasyonunda negatif yönlü iken, diğer tüm inovasyon türlerinde pozitif yönlüdür. Firmaların lokasyonu ile pazarlama inovasyonu arasında %1'de anlamlı pozitif yönlü ilişki varken, eko-inovasyon ile %5'te anlamlı negatif yönlü ilişki vardır. Pazardaki iş birliği yapısı ile ürün ve eko-inovasyon arasında en az %5'te anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır.

Tablo 2.3'e göre firmaların yapay zekâ teknolojisine adaptasyonları ile diğer inovasyon hariç tüm inovasyon türleri arasında en az %5 anlamlılığa sahip pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Bulut bilişim, büyük veri ve akıllı cihazlara adaptasyon ile tüm inovasyon türleri arasında en az %5 düzeyinde anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişki vardır. Robotik teknolojisine adaptasyon ile pazarlama inovasyonu ve örgütsel inovasyon hariç tüm inovasyon türleri arasında en az %5'te anlamlı, pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Blok zinciri teknolojisine adaptasyon ile örgütsel inovasyon ve pazarlama inovasyonu arasında ise en az %5'te anlamlı, pozitif bir ilişki bulunmaktadır.



**Tablo 2.3: Multivariate Probit Tahmin Sonuçları (Katsayılar)**

Bağımsız Değişkenler	Bağımlı Değişkenler					
	ino_ürün	ino_süreç	ino_örgütsel	ino_pazarlama	ino_eko	ino_diğer
yapay zekâ	0.222*** (0.057)	0.167*** (0.050)	0.096** (0.046)	0.152*** (0.045)	0.116*** (0.042)	0.080 (0.067)
bulut_bilişim	0.192*** (0.028)	0.125*** (0.029)	0.231*** (0.023)	0.198*** (0.028)	0.076*** (0.027)	0.107*** (0.037)
büyük_veri	0.203*** (0.037)	0.168*** (0.035)	0.220*** (0.038)	0.245*** (0.043)	0.206*** (0.054)	0.107** (0.043)
robotik	0.164*** (0.040)	0.392*** (0.049)	0.084* (0.046)	-0.022 (0.053)	0.200*** (0.053)	0.177*** (0.062)
akıllı_cihazlar	0.248*** (0.026)	0.242*** (0.032)	0.121*** (0.034)	0.164*** (0.029)	0.469*** (0.033)	0.099*** (0.032)
blok_zinciri	0.081 (0.051)	0.111 (0.070)	0.215*** (0.071)	0.132* (0.056)	0.095* (0.057)	0.152* (0.079)
çalışan	0.004 (0.008)	0.030*** (0.010)	0.071*** (0.011)	-0.023*** (0.009)	0.062*** (0.008)	0.013 (0.010)
lokasyon	0.043 (0.028)	-0.042 (0.027)	0.023 (0.026)	0.079*** (0.021)	-0.068** (0.028)	0.006 (0.036)
küreselleşme	0.293*** (0.025)	0.171*** (0.034)	0.145*** (0.034)	0.078* (0.037)	0.110*** (0.030)	0.124*** (0.040)
uluslararası_g rup	0.222*** (0.048)	0.123** (0.050)	0.209*** (0.042)	0.123*** (0.047)	0.199*** (0.039)	0.189*** (0.038)
işbirliği	0.058*** (0.019)	0.034 (0.021)	0.027 (0.018)	0.035 (0.022)	0.061** (0.028)	-0.020 (0.018)
hizmet	0.177*** (0.049)	-0.081* (0.046)	0.088* (0.051)	0.229*** (0.045)	-0.088* (0.047)	0.090 (0.065)
imalat	0.405*** (0.057)	0.326*** (0.050)	-0.049 (0.055)	0.131*** (0.048)	-0.034 (0.054)	-0.015 (0.089)
perakende	0.408*** (0.045)	-0.097 (0.060)	0.032 (0.046)	0.393*** (0.050)	-0.038 (0.044)	0.024 (0.075)
sabit	-0.923*** (0.073)	-1.055*** (0.094)	-1.550*** (0.076)	-0.897*** (0.083)	-1.240*** (0.103)	-1.703*** (0.091)
	<b>Korelasyon Katsayısı</b>			<b>Katsayı Standart Hatası</b>		
rho 21	0.303***			(0.022)		
rho 31	0.203***			(0.020)		
rho 41	0.324***			(0.021)		
rho 51	0.239***			(0.018)		
rho 61	0.099***			(0.025)		
rho 32	0.228***			(0.022)		
rho 42	0.235***			(0.023)		
rho 52	0.265***			(0.019)		
rho 62	0.114***			(0.031)		
rho 43	0.315***			(0.020)		
rho 53	0.154***			(0.020)		
rho 63	0.103***			(0.032)		
rho 54	0.199***			(0.021)		
rho 64	0.064**			(0.026)		
rho 65	0.079***			(0.027)		
<b>Likelihood ratio test</b> (H0: rho21 = rho31 = rho41 = rho51 = rho61 = rho32 = rho42 = rho52 = rho62 = rho43 = rho53 = rho63 = rho54 = rho64 = rho65 = 0)				Ki-Kare (15) = 2042.23 Olasılık Değeri = 0.0000		

Parantez içindeki değerler robust standart hatalardır. Standart hatalar ülkeye göre cluster özelliği kullanılarak elde edilmiştir. \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir. Ülke özellikleri dikkate alınmaktadır. Referans sektör olarak sanayi alınmıştır.

Multivariate probit tahmininden elde edilen marjinal etkiler Tablo 2.4'te listelenmektedir.

**Tablo 2.4: Marjinal Etkiler**

Bağımsız Değişkenler	Bağımlı Değişkenler					
	ino_ürün	ino_süreç	ino_örgütsel	ino_pazarlama	ino_eko	ino_diğer
<b>yapay zekâ</b>	0.072 (0.014)	0.045 (0.014)	0.023 (0.008)	0.044 (0.011)	0.032 (0.010)	0.012 (0.005)
<b>bulut_bilişim</b>	0.060 (0.012)	0.032 (0.011)	0.054 (0.018)	0.055 (0.014)	0.021 (0.007)	0.015 (0.007)
<b>büyük_veri</b>	0.066 (0.013)	0.045 (0.014)	0.055 (0.018)	0.072 (0.017)	0.058 (0.018)	0.016 (0.007)
<b>robotik</b>	0.053 (0.010)	0.112 (0.031)	0.020 (0.007)	-0.006 (0.002)	0.057 (0.018)	0.028 (0.012)
<b>akıllı_cihazlar</b>	0.080 (0.015)	0.064 (0.020)	0.029 (0.010)	0.046 (0.012)	0.138 (0.037)	0.015 (0.007)
<b>blok_zinciri</b>	0.026 (0.005)	0.029 (0.010)	0.054 (0.018)	0.038 (0.010)	0.026 (0.009)	0.024 (0.011)

Marjinal etkiler, ortalama değerlerde alınmaktadır. Parantez içindeki değerler standart sapmalardır.

Tablo 2.4'e göre firmalar yapay zekâ teknolojisi kullanırlarsa ürün inovasyonu, süreç inovasyonu, örgütsel inovasyon, pazarlama inovasyonu ve eko-inovasyonları gerçekleştirme olasılığı sırasıyla %7, %4, %2, %4 ve %3 artar. Firmalar bulut bilişim, büyük veri ve akıllı cihazlar teknolojilerine geçiş yaparlarsa ürün, süreç, örgütsel, pazarlama, eko ve diğer inovasyonları gerçekleştirme olasılığı sırasıyla %6, %3, %5, %5, %2, %1; %7, %4, %5, %7, %6, %2; %8, %6, %3, %5, %14 ve %1 artar. Robotik teknolojisine adaptasyon sağlanırsa ürün, süreç, eko ve diğer inovasyonları gerçekleştirme olasılığı sırasıyla %5, %11, %6 ve %3 artar. Son olarak firmalar blok zinciri teknolojisine adapte olurlarsa örgütsel ve pazarlama inovasyonu gerçekleştirme olasılığı sırasıyla %5 ve %4 artar.

Tablo 2.5'te tahmin edilen başarı olasılıkları listelenmektedir. Gözlemlenen değişkenin 1 olma olasılığı başarılı, 0 olma durumunun başarısız olarak isimlendirildiği (Cappellari ve Jenkins, 2003:280) göz önünde bulundurulursa, p<sub>1|0</sub>s tüm ileri teknolojilere adaptasyon olasılığının başarısız (0) olma durumunu, p<sub>1|1</sub>s ise başarılı (1)

olma durumunu temsil etmektedir. Tüm modellerin başarısız olma olasılığı ortalama %39 iken, başarılı olma olasılığı ortalama %0.3'tür. Tablo 2.6'da yer alan çalışmada kullanılan örneklemin inovasyon oranlarına göre hiçbir inovasyon türünü yapmayan firma oranı %39.2 iken, tüm inovasyon türlerini gerçekleştiren firma oranı %0.7'dir.

**Tablo 2.5: Tahmin Edilen Başarı Olasılıkları**

Değişkenler	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
pall0s	0.388	0.184	0.001	0.855
pall1s	0.003	0.011	1.42e-06	0.221
pmarg1 (ino_ürün)	0.293	0.154	0.042	0.910
pmarg2 (ino_süreç)	0.210	0.144	0.020	0.927
pmarg3 (ino_örgütsel)	0.173	0.114	0.014	0.814
pmarg4 (ino_pazarlama)	0.223	0.119	0.027	0.791
pmarg5 (ino_eko)	0.232	0.148	0.012	0.854
pmarg6 (ino_diğer)	0.085	0.061	0.009	0.531

Tablo 2.5'te yer alan pmarg değerleri ise her bir model için marjinal başarılı olma olasılığını temsil etmektedir. Tabloya göre birinci model olan ürün inovasyonu gerçekleştirmenin 1 olma olasılığı başka bir ifadeyle birinci modelin başarılı olma olasılığı ortalama %29'dur. Ürün inovasyonunu %23 ile beşinci model olan eko-inovasyon, %22 ile dördüncü model olan pazarlama inovasyonu, %21 ile ikinci model olan süreç inovasyonu ve %17 ile üçüncü model olan örgütsel inovasyon takip etmektedir. İnovasyon faaliyetleri içerisinde diğer inovasyon gerçekleştirmenin 1 olma olasılığı %8 ile son sırada yer almaktadır. Elde edilen başarı olasılıkları Tablo 2.6'da listelenen çalışmada kullanılan örneklemin ileri dijital teknoloji adaptasyon oranlarıyla uyumludur. Tabloya göre inovasyon türleri içerisinde ürün inovasyonu ön plana çıkmaktadır ve firmaların %29'u ürün inovasyonu gerçekleştirmektedir. Ürün inovasyonunu %23, %22, %21 ile sırasıyla eko-inovasyon, pazarlama inovasyonu ve süreç inovasyonu takip etmektedir. Bu oranları %17 ile örgütsel inovasyon izlerken, diğer inovasyon %8 ile son sıradadır.

**Tablo 2.6: Çalışmada Kullanılan Örneklemin İnovasyon Oranları**

İnovasyon Türü	İnovasyon Uygulamaya Koyan Firma Sayısı	İnovasyon Uygulamaya Koyan Firma Oranı
inovasyon yapmayan	5111	%39.2
tüm inovasyon türlerini yapan	86	%0.7
ino_ürün	3828	%29.3
ino_süreç	2736	%21
ino_örgütsel	2249	%17.2
ino_pazarlama	2886	%22.1
ino_eko	3031	%23.2
ino_diğer	1109	%8.5

## 2.5. Tartışma ve Sonuç

Literatürde yer alan çalışmaların önemli bir bölümünde inovasyon türlerinden bir tanesi araştırılmakta veya bağımsız olarak tahminler yapılmaktadır. Nitekim multivariate probit tahmininden elde edilen korelasyon katsayıları, inovasyon türlerinin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve farklı inovasyon türlerinin eş anlı olarak araştırılmasının daha doğru sonuçlar üreteceğini ortaya koymaktadır. Firmaların inovasyon yapması, firmanın mali durumundan alt yapısı ve çalışan niteliğine kadar firmanın ana hatlarını oluşturan unsurlardan etkilenmektedir. Başka bir ifadeyle firmaların inovasyon yapmasında ortak pek çok unsur bulunmaktadır. Dolayısıyla ürün, süreç ve eko inovasyonlar ile örgütsel ve pazarlama inovasyonları her ne kadar birbirinden farklı özelliklere sahip görünseler de inovatif firmalar pazardaki sundukları üründen, pazarlama tekniğine kadar bir bütün olarak firmayı inovasyonla donatmaktadırlar. Bu sebeple de türüne bakılmaksızın farklı inovasyon türleri bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Firmaların inovasyon yapmasında çalışan sayısı, uluslararası bir zincir grubun parçası olma, iş birliği ortamı ve ihracat faaliyetleri, belirleyici role sahiptir. İhracat ve iş birliği vasıtasıyla diğer kurumlar ile etkileşim firmaların pazara ilişkin güncel bilgiye erişimini desteklerken firmadaki bilgi stoğunun artmasını sağlamaktadır. Artan bilgi

stoğu ise girdi olarak bilgiyi kullanan inovasyonları desteklemekte ve firmaların rekabet gücünün korunmasında da rol oynamaktadır.

Elde edilen sonuçlar kamu açısından değerlendirildiğinde, diğer kurumlara erişim ve iş birliği ortamının firmaların inovasyon faaliyetlerinde itici bir unsur olduğu göz önünde bulundurulursa, pazarın bu açıdan desteklenmesi ve geliştirilmesine yönelik politikalar uygulanmalıdır. Bununla birlikte iş birliği ürün inovasyonu ve eko-inovasyonda istatistiki olarak anlamlı etkiye sahiptir. Ürün inovasyonları, firmaların pazar payını artırması ve ülkelerin marka yaratması açısından büyük öneme sahiptir. Eko-inovasyonlar ise çevreye karşı duyarlı olmasının yanı sıra kaynak verimliliğinin sağlanmasında öne çıkmaktadır. Dolayısıyla ürün ve eko-inovasyonların sürdürülebilir büyümedeki kilit rolü düşünüldüğünde iş birliği ortamının kamu politikalarıyla desteklenmesinin önemi belirgin hale gelmektedir.

Firmaların ileri dijital teknolojilere adaptasyonu ile tüm inovasyon faaliyetleri arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Sürdürülebilir büyümenin inovasyon faaliyetleri temelinde ortaya çıktığı göz önünde bulundurulursa, firmaların ileri dijital teknolojileri kullanımının desteklenmesinin ve dijital dönüşüm sürecinin hızlandırılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Dijital teknolojiler içerisinde ise yapay zekâ, bulut bilişim, büyük veri ve akıllı cihazlar teknolojileri ön plana çıkmaktadır. İnovasyon açısından değerlendirildiğinde dijital teknolojiler içerisinde öne çıkan bu dört teknolojiye öncelik verilmelidir.

Elde edilen bulgular, özellikle son yıllarda belirginleşen ekonomilerdeki durağanlaşma sorununa ileri dijital teknolojilerin çözüm üretebileceğini göstermektedir. Bu teknolojiler ile inovasyon arasındaki ilişki inovasyon türüne göre farklılık gösterse de genel olarak değerlendirildiğinde inovasyon yapmada pozitif role sahip olduğu söylenebilir. Dijital teknolojiler artan Dünya nüfusu karşısında artarak devam etmesi

beklenen durağanlaşma sorununa inovasyonların indüklenmesini sağlayarak katkıda bulunabilir.

Diğer taraftan elde edilen sonuçlar, gelişmekte olan ülkelerin teknoloji açıklarını kapatarak inovasyoncu konuma geçebilmesinde de ileri dijital teknolojilerin önemini ortaya koymaktadır. Küreselleşen Dünya'da özellikle Covid-19 salgını, Ukrayna-Rusya savaşı, yeşil dönüşüm gibi ülkeleri zorlayan ve ekonomiler üzerinde baskı kuran şartlar piyasaların yeniden şekillenmesine sebep olmaktadır. Yeniden şekillenen piyasaları fırsata çevirme şansına sahip gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra piyasadaki mevcut yerini korumak isteyen ülkelerin de dijital dönüşüm yarışında yerlerini almaları gerekmektedir. Firmaların ileri dijital teknolojilere yönelimini sağlayarak dijital dönüşüm sürecinin desteklenmesinde pazardaki iş birliği ortamının iyileştirilmesine yönelik politikalar da önem arz etmektedir.

Firmaların belirli bir süre boyunca takip edilerek dijital dönüşüm sürecinin araştırıldığı veri setlerinin bulunmaması çalışmanın temel kısıtıdır. Özellikle son yıllarda dijital teknolojilerin önemine yapılan vurgunun artmasıyla önümüzdeki yıllarda daha detaylı ve uzun süreli veri setlerinin oluşturulması beklenmektedir. Firmaların uzun süreli takibinin yapıldığı panel veri setleriyle yapılacak çalışmalar, dijital teknolojilerin firmaya etkilerinin daha belirgin bir şekilde ortaya konmasını sağlayacaktır. Diğer taraftan dijital teknolojilerin firmadaki pozitif etkilerinin ortaya çıkmasında ne kadar zamana ihtiyaç duyulduğu belirlenerek pozitif etkilerin elde edilmesindeki gecikmeler panel veri setleriyle değerlendirilebilir.

### **3. YENİLENEBİLİR ENERJİ DİFÜZYON PATİKASI VE BİLGİ DİFÜZYONU**

## TEMELİNDE SOSYAL ETKİLEŞİMLER

### 3.1. Giriş

Avrupa Yeşil Mutabakatı ve pandemi süreci döngüsel ekonomilere yapılan vurguyu artırmaktadır. Mutabakat çerçevesinde oluşacak yeni iş çevrimlerine adaptasyon için ülkeler farklı politikalar geliştirmektedir. Bu dönüşüm sürecinde ülkeler kendi iç dinamiklerine göre stratejiler geliştirseler de yenilenebilir enerji politikalarına verilen önemin arttığı açıkça görülmektedir. Diğer yandan piyasalardaki dijital dönüşüm enerji sektörünü de yapısal olarak değiştirirken, performans artışlarından maliyetin azalmasına kadar pek çok avantaj sunarak (Olabi vd., 2023) yenilenebilir enerji kaynaklarının ileride daha cazip bir alternatif olmasını vaat etmektedir.

Türkiye, 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi içerisindeki payını %30'a çıkarmayı hedeflemektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010:16). Bu hedefler doğrultusunda 29/12/2010 tarihinde 6094 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun uygulamaya konulmuştur.

Türkiye bulunduğu coğrafi konum sebebiyle pek çok Avrupa ülkesinin üzerinde güneşlenme süresi ve güneşlenme şiddetine sahip olduğu için güneş enerjisinde avantaja sahiptir. 6094 sayılı kanunda yer alan sabit fiyat alım politikalarıyla birlikte 2011-2017 yıllarında lisanslı ve lisanssız kurulu güneş enerjisi kapasitesi önemli ölçüde artırılmıştır. Bu politikalar sayesinde Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda 5 GW olarak belirlenen 2023 yılı hedefine (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2014:22) 2018 yılında ulaşılmıştır (Owid). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2019-2023 yılları stratejik planında 2023 yılı yeni güneş enerjisi hedefi ise 10 GW olarak belirlenmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2019:76).

Türkiye’de önemli miktarda kullanılabilir çatı alanı olmasına rağmen uygulanan sabit fiyat alım politikaları, çatı sistemlerine geçişi istenilen seviyelere çıkarmaya yetmemiştir. Bu sebeple 2018 yılı itibariyle ‘çatı mevzuatı’ olarak bilinen yeni bir mevzuat uygulamaya konulurken, 2019 yılında aylık mahsuplaşma düzenlemesi yapılmıştır. Bu mevzuat ile birlikte çatı alanlarının güneş enerjisi üretimi için kullanımının artırılması planlanmaktadır. Yapılan düzenlemeyle AVM, hastane, eğitim kurumları gibi çatı alanı fazla olan konutların yüksek güçte güneş enerjisi üretiminin önü açılmaktadır. Daha önce uygulanan sabit fiyat alım tarifeleri 13,3 sent iken, yeni mevzuat ile birlikte satın alınan birim elektrik fiyatına düşürülmüştür. Dolayısıyla uygulamaya konulan yeni mevzuatın, kısıtlı üretim kapasitesi olan hane halkı üzerindeki etkileri tartışılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı Türkiye’de PV sistem difüzyon sürecinin ve bu süreçte bilgi difüzyonunu sağlayan sosyal etkileşimlerin rolünün araştırılmasıdır. Çalışmada ekonometrik modelleme ile ajan bazlı modelleme kombinasyonundan oluşan hibrit bir model kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında uygulanan politika değişikliklerinin etkileri araştırılırken, farklı senaryolar altında difüzyon sürecinin nasıl seyredeceği incelenmektedir.

Konutlarda PV sistem difüzyonunun ekonometrik tahmin ve ajan bazlı modellemeden oluşan hibrit bir model ile araştırılması çalışmanın ilk özgün değerini oluşturmaktadır. Oluşturulan hibrit modelle literatüre yöntemsel olarak katkı sağlanmaktadır. Çalışmanın ikinci ve temel özgün değeri ise Türkiye’de konutlarda PV sistem difüzyon patikasının ortaya konmasıdır. Türkiye’de yıllar itibariyle PV sistem adaptasyon oranlarının belirlenmesi ve uygulanan kamu politikalarının etkisinin ortaya konması gerek döngüsel ekonomiler kapsamında politik değerlendirmelerin yapılabilmesi gerekse belirlenen kurulu kapasite hedeflerine ulaşılabilmesi açısından

büyük öneme sahiptir. Çalışmanın üçüncü ve son özgün değeri ise Türkiye’de uygulanan kamu politikalarındaki değişimin PV sistem difüzyon patikasında yarattığı etkinin ortaya konmasıdır.

Çalışmanın ikinci kısmında yenilenebilir enerji difüzyon sürecini belirleyen unsurlar ve bu süreçte sosyal etkileşimlerin rolüne ilişkin bilgi verilmektedir. Çalışmanın üçüncü kısmında ajan bazlı model ve logit model sunulmaktadır. Çalışmanın dördüncü kısmında simülasyona yer verilirken beşinci kısmında simülasyon değerlendirmesi yapılmaktadır. Çalışmanın altıncı ve son kısmında ise sonuç bölümü yer almaktadır.

### **3.2. Literatür**

2020 yılında Dünya’daki elektrik tüketiminin yaklaşık %29’u yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Owida). Dünya’da toplam yenilenebilir enerji kapasitesi 2020 yılında 2799 GW’tır ve bu kapasitenin 714 GW’ı güneş enerjisidir (IRENA, 2021:2-20). Artan güneş enerjisi kapasitesinin PV sistem maliyetlerini azaltması böylelikle güneş enerjisi kapasitesindeki ivmenin artması beklenmektedir. Dahası döngüsel ekonomi vurgusu ile birlikte tüketicilerin kendi ihtiyaç duydukları enerjiyi üretmelerini hedefleyen politikalara verilen önem artmaktadır. Bu gelişmeler ışığında konularda PV sistem difüzyonunu araştıran çalışma sayısı da artmaktadır.

İnovasyon difüzyonu ajanlar arası etkileşimler ve etkileşimler neticesinde bilginin ajanlar arasında difüzyonu temelinde ortaya çıkmaktadır (Garcia ve Jager, 2011:148). Ajanlar arası etkileşimleri temel alan bir yöntem olarak ajan bazlı modelleme, inovasyon difüzyon sürecinin doğasına en uygun modeller arasında yer almaktadır. Bilgisayar teknolojilerinde ortaya çıkan gelişmelerle birlikte özellikle son yıllarda ajan bazlı modelleme çalışmalarına ilginin arttığı görülmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde enerji alanında da çok sayıda ajan bazlı modelleme çalışmasının bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmaların bazılarında enerji

piyasası (Ma ve Nakamori, 2009; Chappin ve Dijkema, 2010) ve piyasadaki yeni ürünlerin özellikle de bir fenomen olarak elektrikli araçların difüzyonu (Eppstein vd., 2011; Shafiei vd., 2012; Tran, 2012; McCoy ve Lyons, 2014; Plötz vd., 2014) araştırılmaktadır. Bazı çalışmalarda ise yenilenebilir enerji başlığı altında konutlarda PV sistem difüzyonu araştırılmaktadır (Zhao vd., 2011; Iachini vd., 2015; Palmer vd., 2015; Rai ve Robinson, 2015; Pearce ve Slade, 2018; Stavrakas vd., 2019).

Konutlarda PV sistem difüzyonunu araştıran ajan bazlı modelleme çalışmalarında hanelerin özellikleri ve tutumlarının adaptasyon kararı üzerindeki etkisi incelenmektedir. Ekonometrik yöntemlere dayalı çalışmalarda hane temsilcisinin cinsiyeti, yaşı ve eğitimi gibi farklı hane özellikleri dikkate alınırken (Ameli ve Brandt, 2015; Rahut vd., 2017; Bashiri ve Alizadeh, 2018), ajan bazlı modelleme çalışmaları gelir etkisi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Literatürde gelir ve yenilenebilir enerji adaptasyonu arasında pozitif ilişki olduğunu savunan çalışmaların (Kwan, 2012:337; Dharshing, 2017:121) yanı sıra gelirin etkisinin bulunmadığını (Korcaj vd., 2015:411) veya negatif etkisinin bulunduğunu gösteren çalışmalar (Bashiri ve Alizadeh, 2018:3137; Van der Kam vd., 2018:76) da yer almaktadır.

PV sistem adaptasyonunda öne çıkan davranış ve tutumların içerisinde en önemli unsurlardan birisi çevresel yaklaşımlardır. Çevreye karşı duyarlılık ve çevresel problemlerin farkındalığı arttıkça PV sistem adaptasyon olasılığı da artmaktadır (Chen, 2014; Korcaj vd., 2015:413). Ajan bazlı modelleme çalışmalarında hanelerin çevreye karşı tutumlarının bir ölçüsü olarak çevresel fayda tanımlanmaktadır (Iachini vd., 2015:143-144; Palmer vd., 2015:112).

Tutum ve davranışları belirleyen temel unsurlardan birisi sosyal ağlar içerisinde hangi sosyal statüde yer alındığı ve ağ içerisindeki aktörlerin birbirleri üzerindeki etkisidir. Dolayısıyla sosyal yapı ve sosyal etkileşimler PV sistem adaptasyonda belirleyici role sahip diğer bir unsur olarak yer almaktadır (Pearce ve Slade, 2018:101;

Stavrakas vd., 2019:7). Sosyal etkileşimler aracılığıyla ortaya çıkan bilgi difüzyonu sayesinde PV sisteme ilişkin farkındalık ve bilgi artmaktadır. Bilgi ve farkındalığın artması ise PV sistem difüzyonunu hızlandırmaktadır (Ameli ve Brandt, 2015:10; Bashiri ve Alizadeh, 2018:3137).

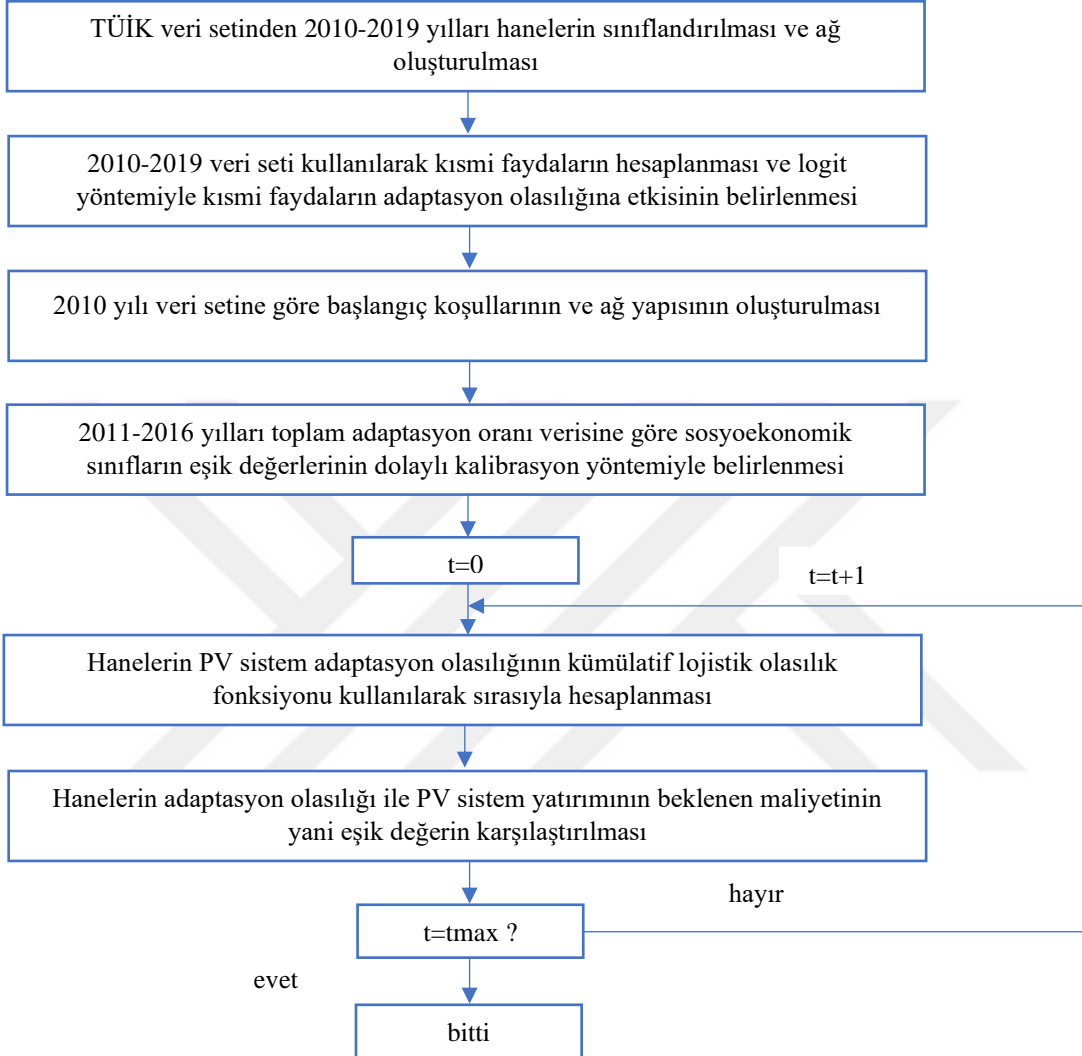
Çalışmaların yoğunlaştığı araştırma konularından bir diğeri PV sistem geri ödeme süresidir (Sun vd., 2013; Muhammad-Sukki vd., 2014; Sow vd., 2019; Duman ve Güler,2020). Yenilenebilir enerji politikalarının temel amacı geri ödeme sürelerini azaltarak yenilenebilir enerji adaptasyonunu artırmaktır. Ajan bazlı modelleme çalışmalarında ise geri ödeme sürelerine göre belirlenen PV sistemin ekonomik faydası araştırılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmaların tamamı geri ödeme süreleri ile yenilenebilir enerji arasında ters yönlü bir ilişkinin var olduğu üzerinde uzlaşmaktadır.

### **3.3. Model**

Çalışmada hanelerin adaptasyon kararı altı aşamadan meydana gelen ekonometrik yöntem ile ajan bazlı modellemenin kombinasyonundan oluşan hibrit bir model ile araştırılmaktadır. Modelin aşamaları Şekil 3.1’de gösterilmektedir.

Birinci aşamada 2010-2019 yılları için hanelerin sosyoekonomik sınıflandırılması yapılarak, ağ yapısı ve her hane için komşuluk bilgisi oluşturulmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak, hanelerin PV adaptasyonundan beklenen kısmi faydaları hesaplanmaktadır. İkinci aşamada logit modeli kullanılarak, kısmi faydaların adaptasyon kararı üzerindeki etkisi belirlenmektedir. Üçüncü aşamada 2010 yılı veri seti kullanılarak ağ bilgisi ve başlangıç koşulları oluşturulmaktadır. Dördüncü aşamada dolaylı kalibrasyon yöntemi (Fagiolo vd., 2007:208-210) kullanılarak eşik değerler belirlenmektedir. Beşinci aşamada hanelerin adaptasyon olasılığı kümülatif lojistik olasılık fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır. Altıncı ve son aşamada ise haneler sıralı olarak adaptasyon kararını değerlendirmektedirler. Bu aşamada hanelerin adaptasyon olasılığı ile PV sistem yatırımının beklenen maliyeti olarak tanımlanan eşik değer karşılaştırılmaktadır.

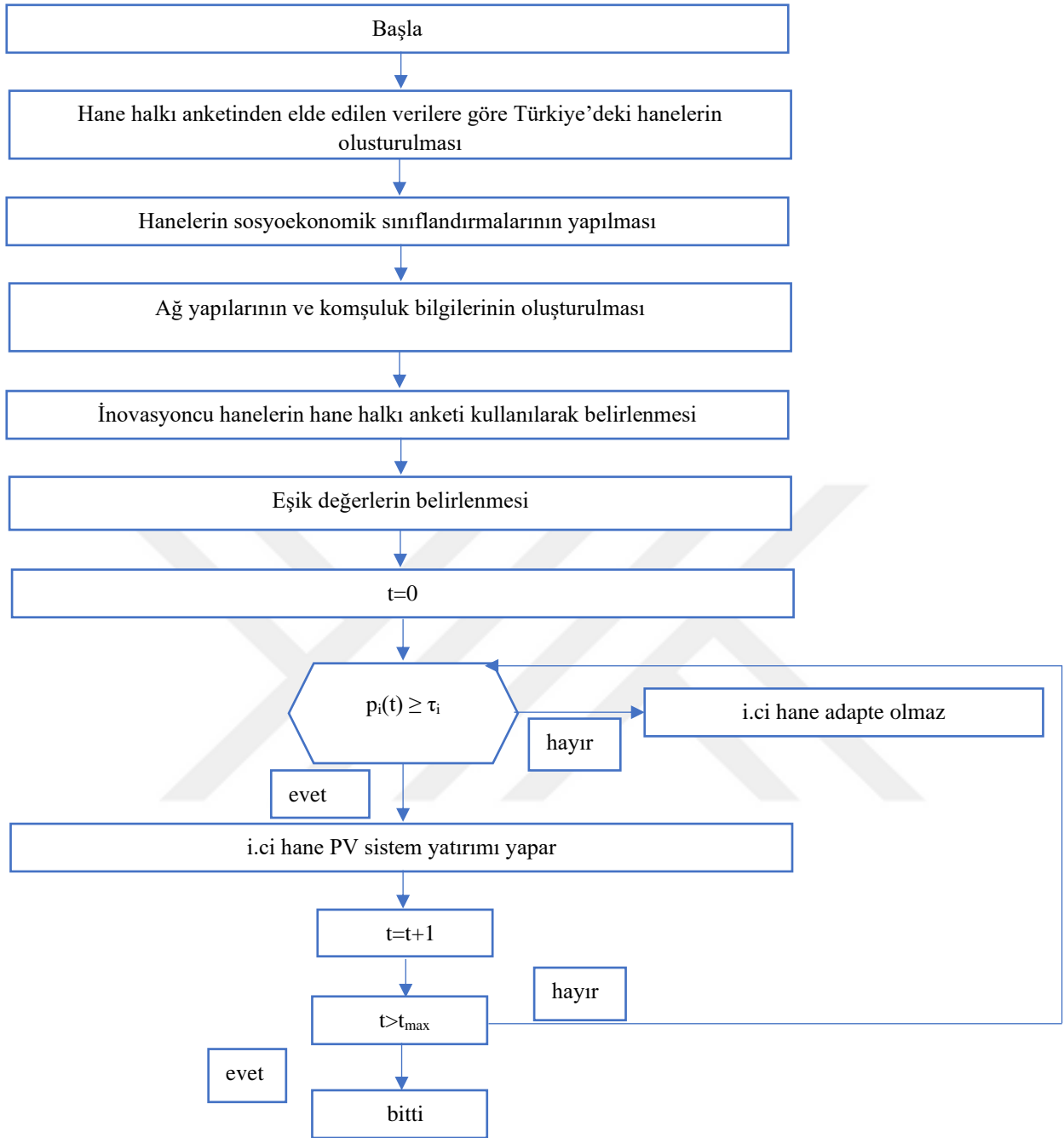
Adaptasyon olasılığı, eşik değere eşit veya büyük olan haneler PV sistem yatırımı yapmaya karar vermektedirler.



**Şekil 3.1: Hibrit Model**

### 3.3.1. Ajanların karar mekanizması

Güneş enerjisine adaptasyon söz konusu olduğunda fotovoltaik (PV) sistem yatırımından tüm hane etkilendiği ve tüm hanenin kullanımına yönelik bir ürün olarak karşımıza çıktığı için bu çalışmada ajanlar haneleri temsil etmektedir.



**Şekil 3.2: Karar Mekanizması Akış Diyagramı**

vermediyse 0 değerini almaktadır.

$$x_i(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{Denklem 3.2 (t) anında sağlanıyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.1)$$

Ajanların adaptasyon kararı Denklem 3.2'ye göre belirlenmektedir ve temelde fayda maliyet analizine dayanmaktadır.

$$p_i(t) \geq \tau_i \quad (3.2)$$

$p_i(t)$  i ajanının t anında PV sistem adaptasyon olasılığını ve  $\tau_i$  i ajanının eşik değerini yani yatırımdan beklenen maliyetini temsil etmektedir. Haneler, PV sistem yatırım olasılığının beklenen maliyete eşit veya büyük olduğu durumlarda güneş enerjisine adaptasyon kararı vermektedirler.

Hanelerin karar mekanizmasına ilişkin akış diyagramı Şekil 3.2'de yer almaktadır. Analizin yapıldığı tüm yıllarda modelde yer alan tüm haneler için bu akış diyagramı sırayla yinelenmektedir.

### 3.3.2. Fayda Fonksiyonu

PV sistem yatırımdan beklenen fayda U ile temsil edilmektedir ve Denklem 3.3'te gösterildiği gibi beş bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenler sırasıyla ekonomik fayda, çevresel fayda, gelir faydası, iletişim faydası ve sosyal normlar olarak tanımlanmaktadır.

$$U_i(t) = F\{U_{\text{ekonomik},i}(t), U_{\text{çevre},i}(t), U_{\text{gelir},i}(t), U_{\text{iletişim},i}(t), U_{\text{sosyal}}(t)\} \quad (3.3)$$

Ekonomik fayda, iletişim faydası ve sosyal normlar 0 ile 1 arasında değer alan doğrusal (lineer) fayda fonksiyonu olarak ele alınmaktadır. Çevresel fayda ve gelir faydası ise teknoloji difüzyon süreçlerinin S-şekilli yapısıyla uyumlu olarak S-şekilli fayda fonksiyonu şeklinde tanımlanmaktadır. S-şekilli fayda fonksiyonlarının hem teoride hem uygulamada kullanımı bulunmaktadır (Rogers, 2003; Modis, 2007; Phillips, 2007; Zhao vd., 2011; Iachini vd., 2015; Palmer vd., 2015).

### 3.3.2.1. Ekonomik Fayda

PV sistemlerin ekonomik analizinde net bugünkü değer (NBD), karlılık endeksi, fayda maliyet oranı, iç karlılık oranı, düzenlenmiş iç karlılık oranı, geri ödeme süresi, fatura tasarrufları ve indirgenmiş enerji maliyeti gibi farklı değişkenler kullanılmaktadır (Drury vd., 2011:6-11). Çalışmalarda en fazla yer verilen değişkenlerden birisi NBD ve geri ödeme süresidir.

Geri ödeme süresi yatırımdan elde edilen getirinin yatırımın maliyetine eşit olduğu süreyi ifade etmektedir. Çalışmada ekonomik fayda geri ödeme süresi kullanılarak Denklem 3.4'teki gibi hesaplanmaktadır. Denklemden  $gs$  geri ödeme süresini temsil ederken, PV sistemin ortalama ekonomik ömrü 20 yıl olduğundan maksimum geri ödeme süresi 21, minimum geri ödeme süresi ise 1 olarak alınmaktadır (Iachini vd., 2015:143; Palmer vd., 2015:110). Geri ödeme süresi 20 yılın üzerinde hesaplanan haneler için ekonomik fayda sıfır olarak kabul edilmektedir.

$$U_{\text{ekonomik},i}(t) = \frac{\text{maksimum(geri ödeme süresi)} - gs(i)}{\text{maksimum(geri ödeme süresi)} - \text{minimum(geri ödeme süresi)}} \quad (3.4)$$

$$U_{\text{ekonomik},i}(t) = \frac{21 - gs(i)}{20} \quad (3.5)$$

Geri ödeme süresi, NBD negatiften pozitive döndüğü yıl olarak tanımlanmaktadır. NBD, yatırımın bugüne indirgenmiş değerini ifade etmektedir. PV sistem maliyetleri azaldıkça, hücre ve panel verimliliği arttıkça NBD artmaktadır. NBD sifıra eşit olduğunda güneş enerjisi üretmenin maliyeti elektrik maliyetine eşit olmaktadır ve bu şebeke paritesine ulaşmak olarak adlandırılmaktadır (Denholm vd., 2009:1). NBD PV sistem yatırımdan elde edilmesi beklenen getirilerin bugüne indirgenmiş değerinden, PV sistem yatırım maliyetinin çıkarılması ile elde edilmektedir. Denklem 3.6'da  $I_0(t)$ ,  $R(t)$  ve  $i(t)$  sırasıyla PV sistem yatırımının  $t$  anındaki maliyeti, yatırımdan beklenen getiriler ve

indirgeme oranını temsil etmektedir. İndirgeme oranı ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (Weighted Average Cost of Capital – WACC) yöntemi kullanılarak Denklem 3.7'deki gibi belirlenmektedir (Cebeci, 2017:112).. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti, yatırımda kullanılan kaynakların getirileri ilgili kaynağın yatırım içerisindeki oranı ile çarpılarak elde edilmektedir (Farber vd., 2006:215; Mian ve Vélez-Pareja, 2008:24; Bal, 2009:223; Güzel ve Cingöz, 2016:39). Denklem 3.7'de E öz kaynak miktarını,  $K_E$  öz kaynak sermaye maliyetini, D yabancı kaynak miktarını yani yatırım için kullanılan kredi miktarını,  $K_D$  kredi faiz oranını, T ise vergi oranını temsil etmektedir (Türkiye'de kullanılan kredi tutarının toplam faizi üzerinden %5 banka sigorta muamele vergisi ve %15 kaynak kullanımı destekleme fonu olmak üzere %20 vergi alınmaktadır).  $K_E$ , 1 yıl ve üzeri vadeli TL mevduat faiz oranı olarak alınmaktadır.  $K_D$  ise TL üzerinden tüketici ihtiyaç kredisi faiz oranına eşittir. 2021-2034 yıllarında uygulanacak faiz oranları mevcut verinin bulunduğu yıllardaki ortalama değerler alınarak hesaplanmaktadır. Mevduat faiz oranı ve tüketici ihtiyaç kredisi faiz oranı 2010 yılı baz alınarak hesaplanan yıllık TÜFE oranlarına göre reel hale dönüştürülmektedir (Merkez Bankası, 2021). Böylelikle tüm yıllar için reel ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti bulunmaktadır. Öz kaynak miktarının ilk yatırım maliyetine oranı kişi başına ortalama kullanılabilir gelire sahip haneler için %50 olarak kabul edilmektedir (Flora vd., 2019:10). Diğer haneler için öz kaynak miktarının ilk yatırım maliyetine oranı kişi başına ortalama kullanılabilir gelir ile doğru orantılı olacak şekilde belirlenmektedir.

$$NBD(i,t) = -I_0(t) + \sum_{t=1}^{20} \frac{R(t)}{(1+i(t))^t} \quad (3.6)$$

$$WACC = (E/I_0) K_E + (D/I_0) K_D (1-T) \quad (3.7)$$

PV sistem yatırım maliyeti, maksimum pik gücü ( $P_{max}$ ) ile PV sistem yatırımının kW başına fiyatının ( $p_{GP}$ ) çarpımından oluşmaktadır.  $P_{max}$  Denklem 3.9 kullanılarak

hesaplanmaktadır. Denklem 3.9'da  $G$ ,  $A_{GP}$ ,  $\eta_C$  ve  $\eta_{GP}(t)$  sırasıyla normal koşullarda ışımaya şiddeti, PV sistemi için kullanılabilir çatı alanı, hücre verimliliği ve yatırım anındaki PV sistem verimliliği olarak adlandırılmaktadır. Çalışmada  $G$  değeri  $1 \text{ kW/m}^2$  (Palmer vd., 2015:110) ve çekirdek verimliliği %16 (EPIA, 2011:25) olarak alınmaktadır.

Türkiye'de hane başına ortalama kullanılabilir çatı alanı yaklaşık olarak  $72 \text{ m}^2$ 'dir (Bhattacharjee vd., 2018:8). Kullanılabilir çatı alanı, PV sistem yatırım maliyetini ve PV sistemin kurulu gücünü belirleyen temel unsurlardan birisidir. Yaygın kullanıma sahip olan silikon PV sistem için kW başına gerekli çatı alanı ortalama  $7-8 \text{ m}^2$  civarındadır (EPIA, 2011:25). Çalışmada hanelerin sahip olduğu kullanılabilir çatı alanı hane tipine bağlı olarak belirlenmektedir. Hanelerin kullanılabilir çatı alanının müstakil konutlarda hanenin konut alanının  $1/3$ 'ü, diğer konutlarda ise hanenin konut alanının  $1/5$ 'i olduğu kabul edilmektedir. Kullanılabilir çatı alanı değerleri kW başına gerekli alan olan  $8$ 'e bölünerek, en yakın tam sayıya yuvarlanmaktadır. Bu varsayımlar altında oluşturulan başlangıç veri setine göre hanelerin sahip olduğu çatı alanı ortalama  $3,4 \text{ kW}$  PV sistem kurulumuna izin vermektedir. Bu değer ise bir hanenin elektrik ihtiyacını karşılayan ortalama bir değer olan  $3 \text{ kW}$ 'a (Dinçer, 2011:13; Güngül vd., 2018:140) yakındır.

PV sistem verimliliğinin 2010 yılındaki başlangıç değerinin %13 (EPIA, 2011:25) olduğu ve her yıl %1,5 verimlilik artışı (Kost vd., 2012; Palmer vd., 2015:122) olduğu kabul edilmektedir. PV sistem yatırımının kW başına  $t$  anındaki fiyatı Denklem 3.10'a göre hesaplanmaktadır. Denklem 3.10'da  $p_{GP}(t_0)$  PV sistem yatırımının kW başına baz alınan yıldaki fiyatını,  $TKK(t)$   $t$  anında küresel düzeyde toplam kurulu PV sistem kapasitesini,  $TKK(t_0)$  baz yıldaki küresel düzeyde toplam kurulu PV sistem kapasitesini ve  $b$  tecrübe parametresini simgelemektedir. Tecrübe parametresi, öğrenme oranından faydalanılarak elde edilmektedir. Öğrenme oranı 2020 yılına kadar %20, 2030 yılına kadar %18 ve 2040 yılına kadar ise %16 olarak alınmaktadır (EPIA, 2011:70).

$$I_0(t) = P_{\max}(t) p_{GP}(t) \quad (3.8)$$

$$P_{\max}(t) = G A_{GP} \eta_C \eta_{GP}(t) \quad (3.9)$$

$$p_{GP}(t) = p_{GP}(t_0) \left( \frac{TKK(t)}{TKK(t_0)} \right)^{-b} \quad (3.10)$$

$$\ddot{O} = 1 - 2^{-b} \quad (3.11)$$

PV sistem yatırımdan beklenen ekonomik getiriler, elektrik tasarruflarından elde edilen getiriler ( $R_{tasarruf}$ ), kamu destekleri ( $R_{kamu}$ ), idari ödemeler ( $R_{idari}$ ), bakım ve ön yatırım maliyetleri ( $R_{bakim}$ ) ve amortisman ödeneği olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır.

$$R(t) = R_{tasarruf}(t) + R_{kamu}(t) - R_{idari}(t) - R_{bakim}(t) - R_{amortisman}(t) \quad (3.12)$$

Elektrik tasarruflarından elde edilen getiriler hanelerin ürettikleri elektriğin ne kadarını tükettiklerine başka bir deyişle öz tüketim oranına ve kamu politikalarına göre değişmektedir. Elektrik tasarruflarının hesaplanmasında 2018 yılına kadar Denklem 3.13 kullanılırken, bu yıldan itibaren Denklem 3.14 kullanılmaktadır. Aşağıdaki Denklemlerde  $E_{GP}(t)$ ,  $X_{\text{öztüketim}}$ ,  $p_{\text{elek,alış}}$ ,  $p_{\text{elek,satış}}$ ,  $\mu_{\text{elek,alış}}$  ve  $\mu_{\text{elek,satış}}$  sırasıyla PV sisteminin ürettiği elektrik miktarı, öz tüketim oranı, elektriğin şebekeden satın alınma bedeli, tüketim fazlası elektriğin şebekeye satış bedeli, elektrik satış fiyatı artış oranı ve elektrik alış fiyatı artış oranı olarak tanımlanmaktadır. Denklemde yer alan öz tüketim oranı %50 olarak alınmaktadır (Flora vd., 2019:10). 2010-2020 yılları elektrik alış ve satış fiyatları EPDK'nın belirlediği tutarlara eşit olarak belirlenirken, sonraki yıllar için denklemlerde yer alan elektrik fiyatı artış oranına göre hesaplama yapılmaktadır. Elektrik fiyatlarının 2010-2020 yılları arasındaki ortalama artış oranı %10,67 olduğundan bu oran elektrik alış ve satış fiyatlarındaki artış oranı olarak alınmaktadır. PV sisteminin ürettiği elektrik miktarı ise Denklem 3.15'e göre hesaplanmaktadır. Denklemde  $E_{\text{güneş}}$  güneş ışınım

şiddetini ve  $\gamma$  PV sistem aşınımını temsil etmektedir. GEPA verilerine göre Türkiye’de yıllık güneş ışınım şiddeti  $1527 \text{ kWh/m}^2$ ’dir. PV sistem aşınım değeri ise %0,40 olarak alınmaktadır (Flora vd., 2019:10).

$$R_{\text{tasarruf}}(t) = E_{\text{GP}}(t) X_{\text{öztüketim}} p_{\text{elek,alış}} (1 + \mu_{\text{elek,alış}})^{t-1} \quad (3.13)$$

$$R_{\text{tasarruf}}(t) = E_{\text{GP}}(t) [ X_{\text{öztüketim}} p_{\text{elek,alış}} (1 + \mu_{\text{elek,alış}})^{t-1} + (1 - X_{\text{öztüketim}}) p_{\text{elek,satış}} (1 + \mu_{\text{elek,satış}})^{t-1} ] \quad (3.14)$$

$$E_{\text{GP}}(t) = E_{\text{güneş}} P_{\text{max}}(t) (1 - \gamma)^{t-1} \quad (3.15)$$

Türkiye’de 2018 yılına kadar mahsuplaşma yapılmadığı için bu yıla kadar elektrik tasarruflarından elde edilen getiriler sadece öz tüketimden kaynaklanmaktadır. 2018 yılında uygulamaya konulan mahsuplaşma düzenlemesiyle birlikte kullanılmayan elektrik miktarı şebekeye satılmaktadır. Yapılan düzenlemeye göre kullanılmayan elektrik miktarının şebekeye satış fiyatının şebekeden elektrik alış fiyatına eşit olduğu kabul edilmektedir.

Kamu destekleri PV sistem yatırımlarında uygulanan teşvik ve sübvansiyon politikalarının bir ürünüdür. Kamu desteği Denklem 3.16 kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklemde  $E_{\text{GP}}(t)$ ,  $X_{\text{öztüketim}}$  ve  $p_{\text{FIT}}$  sırasıyla PV sisteminin ürettiği elektrik miktarı, öz tüketim oranı ve tarife garantili fiyattır. Türkiye’de 2018 yılına kadar uygulanan tarife garantili fiyat (feed-in tariff - FIT) politikası kapsamında hanelerin öz tüketim fazlası elektrik üretimi  $13,3 \text{ cent/kWh}$  tarife ( $p_{\text{FIT}}$ ) fiyatı üzerinden satın alınmaktadır. Her hane için hesaplanan tutar vergiden muaf tutulmaktadır ve aylık olarak ödeme yapılmaktadır. Türkiye’de tarife garantili fiyat uygulamasının yanı sıra yerli PV sistem kullanımını desteklemek için de teşvik mekanizması uygulanmaktadır. Yerli ürün kullanım destekleri sadece lisanslı üreticilere verildiği ve lisanssız üretim yapan hane halkı bu teşvik mekanizmasından yararlanamadığı için kamu desteklerinde yer verilmemektedir.

$$R_{\text{kamu}}(t) = E_{\text{GP}}(t) (1 - X_{\text{öztüketim}}) \text{ pFIT} \quad (3.16)$$

İdari ödemeler, tedarikçiye şebeke kullanım karşılığında yapılan dağıtım sistemi kullanım bedeli ve yıllık sistem işletim bedelinden oluşmaktadır. Üretimi 10 kW'ın altında kalan lisanssız üretim tesislerinden yıllık sistem işletim bedeli alınmadığı için çalışmada idari ücretler dağıtım sistemi kullanım bedeline eşittir. 2018 yılından (31.12.2017 tarihinden) önceki PV sistem yatırımları için kabule hazırdır tutanağı almış olan üretim tesisleri ile 2018 yılından sonra yapılacak PV sistem yatırımları için farklı fiyatlama yapılmaktadır. 2018 yılından itibaren yapılan yatırımlarda kullanılan dağıtım bedeli, tedarikçiden enerji alan orta gerilim seviyesinden bağlı tek terimli ticarethanelerin dağıtım bedeline eşittir. 2018 yılından önceki yatırımları için geçerli dağıtım bedeli ise 2018 yılından itibaren uygulanan dağıtım bedeline %75 oranında indirim yapılarak elde edilmektedir. İndirimli dağıtım bedelleri, 10/5/2005 tarihli ve 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında belirlenen fiyatlardan yararlanılan süre boyunca uygulanmaktadır. Dağıtım bedeli tıpkı elektrik fiyatları gibi EPDK kurul kararı ile belirlenmektedir ve yılda birden fazla düzenleme yapılabilmektedir. Çalışmada kullanılan dağıtım bedelleri ( $\phi_{\text{dağıtım}}$ ) EPDK'nın belirlediği dönemlik tarifelerin her yıl için ortalama değerleri alınarak belirlenmektedir. 2020 sonrası yıllar için dağıtım bedelleri elektrik fiyatlarındaki hesaplanan %10,67 ortalama artış oranına göre oluşturulmaktadır. İdari ödemeler ise sisteme verilen net elektrik miktarı üzerinden Denklem 3.17'ye göre hesaplanmaktadır.

$$R_{\text{idari}}(t) = E_{\text{GP}}(t) (1 - X_{\text{öztüketim}}) \phi_{\text{dağıtım}} \quad (3.17)$$

Bakım ve ön yatırım maliyetleri, ilk yatırım maliyetinin belirli bir oranından oluşmaktadır. Ön yatırım maliyetleri, mühendislik ve tasarım gibi işler için uzman görüşü alınması, statik rapor, başvuru ücreti ve proje onayı gibi yatırımın başlangıcında ortaya çıkan maliyetlerdir. Bakım maliyetleri ise yıllık olarak ortaya çıkan bakım ve onarım

giderlerinden meydana gelmektedir. Çalışmada lisanssız üreticiler için ön yatırım maliyetlerinin başlangıç maliyetlerinin yaklaşık %1,6'sı olduğu kabul edilmektedir (Cebeci, 2017:107). PV sistem bakım giderlerinin ise başlangıç maliyetlerinin yaklaşık %1'i olduğu kabul edilmektedir. Bakım maliyetlerinin yıllık %2 oranında artış gösterdiği varsayılmaktadır (Kost vd., 2012; Palmer vd., 2015:122).

$$R_{\text{bakım}}(t) = \begin{cases} (\beta_{\text{bakım}} + \beta_{\text{önyatırım}})I_0, & t = 1 \\ \beta_{\text{bakım}}I_0, & t \neq 1 \end{cases} \quad (3.18)$$

Amortisman ödeneği, PV sisteminin ekonomik ömrü boyunca güneş paneli başlangıç yatırım maliyetinin eşit olarak dağıtılması ile oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle ekonomik ömrünün sonunda güneş paneli yatırım değeri sıfır olacak şekilde amortisman ödemesi ayrılmaktadır.

$$R_{\text{amortisman}}(t) = I_0(t)/20 \quad (3.19)$$

### 3.3.2.2. Çevresel Fayda

PV sistem yatırım kararlarında en etkili unsurlardan birisi ajanların çevreye karşı tutumlarıdır (Zhai ve Williams, 2012:351; Iachini vd., 2015:143-144; Bashiri ve Alizadeh, 2018:3133). PV sistem yatırımlarının erken aşamalarında yatırım kararı ekonomik olmasa bile çevresel kaygılarla adaptasyon kararı alındığını gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Van Benthem vd., 2008; Rai ve McAndrews, 2012). PV sistem yatırımlarının çevresel faydası panelin sağladığı CO<sub>2</sub> emisyonu azalması ile temsil edilebilir. Çalışmada kolaylık sağlaması için PV sistem yatırımlarının çevresel faydası panelin ürettiği temiz enerji ile orantılı olarak alınmaktadır ve sistemin güneş enerjisi üretmek için ihtiyaç duyduğu elektrik miktarı görece çok küçük olduğundan ihmal edilmektedir (Palmer vd. 2015:112).

Çevresel fayda Denklem 3.20, 3.21 ve 3.22 kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklemlerde  $P_{\max}(t_0)$  yatırım yılındaki maksimum pik gücünü,  $E_{GP,i}$  PV sisteminin beklenen ömür boyu elektrik üretimini,  $E_{GP,toplam}$  ise yatırım esnasında diğer tüm PV sistemlerinin beklenen ömür boyu elektrik üretim ortalamasını ifade etmektedir. Çevresel faydanın bu formda gösterimi, PV sistemden beklenen elektrik üretimi azaldığında hanelerin CO<sub>2</sub> tasarruflarını daha fazla göz önünde bulundurmalarını yansıtmaktadır.  $E_{GP,toplam}$  bir kırılma noktası oluşturmaktadır ve  $E_{GP,i}$  bu ortalama değerinin altında iken ajanların PV sisteminden elektrik üretmesi pozitif marjinal etki yaratırken, üzerinde olduğu durumlarda PV sisteminden enerji üretmenin marjinal etkisi azalmaktadır (Palmer vd., 2015:112).

$$U_{\text{çevre},i}(t) = \frac{\exp\left(\frac{E_{GP,i}(t) - E_{GP,toplam}(t)}{10000}\right)}{1 + \exp\left(\frac{E_{GP,i}(t) - E_{GP,toplam}(t)}{10000}\right)} \quad (3.20)$$

$$E_{GP,i}(t) = \sum_{t=1}^{20} E_{\text{güneş}} P_{\max}(t_0) (1 - \gamma)^{t-1} \quad (3.21)$$

$$E_{GP,toplam}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i(t) E_{GP,i}}{\sum_{i=1}^N x_i(t)} \quad (3.22)$$

### 3.3.2.3. Gelir Faydası

Gelir faydası, hane halkının yıllık kullanılabilir gelirinin adaptasyon kararı üzerindeki etkisini tanımlamaktadır. Denklem 3.23'te yer alan  $w_i$  i.ci ajanın her bir hane üyesine düşen yıllık kullanılabilir gelirini,  $w$  ise toplumda her bir hane üyesine düşen yıllık ortalama kullanılabilir geliri ifade etmektedir. Hane üyesi başına yıllık kullanılabilir gelir ve hane üyesi başına yıllık ortalama kullanılabilir gelir aritmetik ortalamalar alınarak hesaplanmaktadır.  $N$  ve  $h_i$  sırasıyla toplumdaki hane sayısını ve  $i$ . ajanın hane halkı sayısını temsil etmektedir.

$$U_{\text{gelir},i}(t) = \frac{\exp\left(\frac{w_i - w}{10000}\right)}{1 + \exp\left(\frac{w_i - w}{10000}\right)} \quad (3.23)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{h_i} w_j}{h_i} \quad (3.24)$$

$$w = \frac{\sum_{i=1}^N w_i}{N} \quad (3.25)$$

### 3.3.2.4. İletişim Faydası

Çalışmada ajanlar arası etkileşimler iletişim faydası ve sosyal normlar olmak üzere iki farklı şekilde temsil edilmektedir. İletişim faydası iki veya daha fazla ajan arasında etkileşim olduğu durumda ortaya çıkmaktadır (Zhao vd., 2011:2195; Iachini vd., 2015:144; Palmer vd., 2015:114; Pearce ve Slade, 2018:101). İletişim faydası, ajanların sahip olduğu bilgi ve tecrübenin etkileşime girdikleri ajana yayılması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Başka bir ifadeyle ajanlar diğer ajanlar ile etkileşime girdiklerinde onların tecrübe ve bilgilerini öğrenerek elde ettikleri bilgiden de fayda sağlamaktadırlar. Aynı sosyoekonomik sınıftan ajanlar arasındaki iletişim etkisi daha güçlüdür (Rogers, 2003:5).

İletişim faydası ajanların etkileşim içerisinde oldukları ajanlar ile ilişkilerinden sağladıkları fayda düzeyini temsil etmektedir ve ajanların PV sistemine adaptasyon sağlamış olan komşularının oranı ile hesaplanmaktadır. Denklem 3.26'da  $A_{i,j}$  simgesi ile gösterilen komşuluk matrisi ajanların iletişim kurdukları ajanları başka bir deyişle komşularını,  $k_i$  ise  $i$ .ci ajanın komşu sayısını tanımlamaktadır.

$$U_{\text{iletişim},i}(t) = \frac{\sum_{j=1}^N A_{ij}x_j(t)}{k_i} \quad (3.26)$$

$$A_{i,j} = \begin{cases} 1, & i \text{ ajanı } j \text{ ajanı üzerinde etkiye sahipse} \\ 0, & i \text{ ajanının } j \text{ ajanı üzerinde etkisi yoksa} \end{cases} \quad (3.27)$$

### 3.3.2.5. Sosyal Normlar

Sosyal normlar, toplumun inovasyona karşı yaklaşımının bir ölçüsüdür. Toplumun yenilenebilir enerjiye ilişkin tutumunu göstermenin yanı sıra toplumun

kültürünü de yansıtan bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda tıpkı iletişim faydasında olduğu gibi, ajanların toplumda yer alan bilgiyi toplum ile etkileşimleri sayesinde almaları ve bu bilgidен fayda sağlamaları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Sosyal normlar, tüm nüfus içerisinde PV sisteme adapte olan hane oranına eşittir ve aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (McCoy ve Lyons, 2014:7).

$$U_{\text{sosyal}}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i(t) \quad (3.28)$$

### 3.3.3. Veri Seti

Hane halkı tüketim harcamaları deseni ve gelir dağılımını araştıran anketlerden ilki 1994 yılında hane halkı gelir ve tüketim harcamaları anketi başlığı altında ortaya çıkmaktadır. Bu yıldan sonra ise 2002 yılından itibaren düzenli olarak her yıl gerçekleştirilen hane halkı bütçe anketi uygulanmaktadır. Çalışmada hane halkı bütçe araştırması verileri TÜİK tarafından izin alınarak kullanılmaktadır (TÜİK, 2020). Kamu politikalarındaki önemli değişiklikler göz önünde bulundurularak çalışmada 2010-2019 yılları arasındaki veri setinden yararlanılmaktadır.

PV sistem yatırımlarını belirleyen en önemli unsurlardan birisi PV sistem maliyetlerini belirleyen sistemin kW başına fiyatıdır. PV sistem kW başına fiyatı baz alınan yıldaki fiyat ve toplam kurulu kapasiteye göre belirlenmektedir. PV sistemin 2010 yılı kW başına vergiler hariç fiyatı ortalama bir değer olarak 2.5 € kabul edilmektedir (EPIA, 2011; Dinçer, 2011). Küresel düzeyde toplam kurulu PV sistem kapasitesi, 2010-2019 yılları için Owid (our world in data) gerçek verilerine ve 2020-2024 yılları için simülasyon tahminlerine (ESP, 2020) göre alınmaktadır. 2025 yılından itibaren toplam kurulu PV sistem kapasitesi ortalama büyümeler dikkate alınarak hesaplanmaktadır. 2020-2024 yılları simülasyon tahminlerine göre belirlenen küresel toplam kurulu kapasite değerlerinde ortalama %18'lik bir artış beklenmektedir. Teknoloji difüzyon patikasının

S-şekline ve ortalama artış hızında beklenen yavaşlama göz önünde bulundurularak, çalışmada 2025-2030 yılları için %15'lik bir artış olacağı varsayılmaktadır. Gerçek veri, simülasyon sonuçları ve yapılan hesaplamalara göre küresel düzeyde toplam kurulu PV sistem kapasitesi ve bu değerler kullanılarak hesaplanan PV sistem kW başına fiyatı ve PV sistem yatırım maliyeti Tablo 3.1'de gösterilmektedir. PV sistem kW başına fiyatlar yıllık ortalama kur değerlerine göre TL'ye çevrilmektedir. Merkez Bankası 2010-2020 yılları kur değerlerine göre ortalama euro kuru artışı yaklaşık olarak %15'tir (Merkez Bankası, 2021). Çalışmada 2021-2030 yılları arasındaki kur değerleri ortalama döviz kuru artışlarına göre hesaplanmaktadır.



**Tablo 3.1: Küresel toplam kurulu PV kapasitesi ve PV sistem kW başına maliyet**

Yıllar	Küresel toplam kurulu kapasite (GW)	PV sistem kurulu başına W fiyat (€)	PV sistem kurulu başına W fiyat (TL)	PV sistem kW yatırım maliyeti (TL)
2010	40.12936	2.5	4.9978	831.5627
2011	71.37011	2.088	4.873	818.5951
2012	102.6763	1.8627	4.3124	733.3486
2013	139.4578	1.6784	4.2491	737.1575
2014	176.0147	1.5507	4.5144	798.5063
2015	221.9878	1.4316	4.3286	781.1930
2016	295.8157	1.3009	4.3544	799.9053
2017	388.5501	1.1896	4.910	916.5769
2018	488.741	1.0994	6.2392	1188.6561
2019	586.4213	1.0295	6.5486	1275.3754
2020	746	1.085	8.7296	1683.1279
2021	896	1.0297	9.5266	1864.3361
2022	1064	0.9803	10.4301	2071.7764
2023	1248	0.9366	11.4598	2310.440
2024	1448	0.8976	12.6302	2584.6167
2025	1650.72	0.8561	13.8532	2898.6812
2026	1881.821	0.8246	15.3452	3250.9085
2027	2145.276	0.7943	16.998	3645.9361
2028	2445.614	0.7650	18.8287	4088.9646
2029	2788	0.7369	20.8566	4585.8268
2030	3066.8	0.8244	26.833	5977.9562

Çalışmada kullanılan tüm değişkenler Tablo 3.2’de yer almaktadır. Tablo 3.2’de değişkenlerin simgeleri ve nasıl belirlendiği kısaca özetlenmektedir.

**Tablo 3.2: Çalışmada Kullanılan Değişkenler**

Değişken ismi	Simgesi	Belirlenme yöntemi
<b>Zaman</b>	t	Başlangıçta t=0, tmax=21
<b>Adaptasyon kararı</b>	$x_i(t)$	Hane PV yatırımı yaptıysa 1, yapmadıysa 0 değerini alır.
<b>Kümülatif lojistik olasılık (Adaptasyon olasılığı)</b>	$p_i(t)$	Logit modele göre hesaplanmaktadır.
<b>Eşik değer</b>	$\tau_i$	Yazar tarafından dolaylı kalibrasyon yöntemiyle belirlenmektedir.
<b>Beklenen fayda</b>	$U_i(t)$	$F\{U_{\text{ekonomik},i}(t), U_{\text{çevre},i}(t), U_{\text{gelir},i}(t), U_{\text{iletişim},i}(t), U_{\text{sosyal},i}(t)\}$ Çalışmada hesaplanmamaktadır. Beş kısmi faydanın fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.
<b>Ekonomik fayda</b>	$U_{\text{ekonomik},i}(t)$	Denklem 3.4'e göre hesaplanmaktadır.
<b>Çevre faydası</b>	$U_{\text{çevre},i}(t)$	Denklem 3.20'ye göre hesaplanmaktadır.
<b>Gelir faydası</b>	$U_{\text{gelir},i}(t)$	Denklem 3.23'e göre hesaplanmaktadır.
<b>İletişim faydası</b>	$U_{\text{iletişim},i}(t)$	Denklem 3.26'ya göre hesaplanmaktadır.
<b>Sosyal normlar</b>	$U_{\text{sosyal},i}(t)$	Denklem 3.28'e göre hesaplanmaktadır.
<b>Geri ödeme süresi</b>	gs	Denklem 3.6'ya göre hesaplanmaktadır.
<b>Net bugünkü değer</b>	NBD	Denklem 3.6'ya göre hesaplanmaktadır.
<b>PV yatırım maliyeti</b>	$I_0$	Denklem 3.8'e göre hesaplanmaktadır.
<b>PV yatırımdan beklenen getiri</b>	R(t)	Denklem 3.12'ye göre hesaplanmaktadır.
<b>İndirgeme oranı</b>	i(t)	Denklem 3.7'ye göre hesaplanmaktadır.
<b>PV yatırım öz kaynak oranı</b>	E/ $I_0$	Ortalama gelire sahip olanlar için %50, gelirle doğru orantılı olarak belirlenmektedir.
<b>PV yatırım kredi oranı</b>	K/ $I_0$	Öz kaynak oranına göre belirlenmektedir.
<b>1 yıl ve üzeri TL mevduat faiz oranı</b>	$K_E$	2010-2020 yılı Merkez Bankası verisi 2021-2030 yılı için 2010-2020 yılları ortalama değeri
<b>İhtiyaç kredisi faiz oranı</b>	$K_D$	2010-2020 yılı Merkez Bankası verisi 2021-2030 yılı için 2010-2020 yılları ortalama değeri
<b>Maksimum pik gücü</b>	$P_{\text{max}}$	Denklem 3.9'a göre hesaplanmaktadır.
<b>PV sistem kW başına fiyat</b>	$p_{\text{GP}}(t)$	Denklem 3.10'a göre hesaplanmaktadır.
<b>Normal koşullarda ışıma şiddeti</b>	G	1 kW/m <sup>2</sup> olarak alınmaktadır.
<b>Kullanılabilir çatı alanı</b>	$A_{\text{GP}}$	Müstakil konutlarda konut alanının 1/3'ü, Diğer konutlarda 1/5'i olarak hesaplanır ve birim kW için gerekli 8 m <sup>2</sup> veya katlarına en yakın tamsayı olarak belirlenmektedir.
<b>Çekirdek verimliliği</b>	$\eta_C$	%16
<b>PV sistem verimliliği</b>	$\eta_{\text{GP}}(t)$	Başlangıçta %13, her yıl %1.5 arttığı kabul edilmektedir.
<b>Toplam kurulu kapasite</b>	TKK(t)	2010-2019 – Owid (our World in data) veri seti 2020-2024 – ESP tahminleri 2025-2030 – Yıllık %15 artış varsayılmaktadır.
<b>Tecrübe parametresi</b>	b	Denklem 3.11'e göre hesaplanmaktadır.
<b>Öğrenme oranı</b>	ÖÖ	2020 yılına kadar %20, 2030 yılına kadar %18 ve 2040 yılına kadar ise %16 olarak alınmaktadır.
<b>Elektrik tasarruf getirisi</b>	$R_{\text{tasarruf}}(t)$	Denklem 3.13 ve 3.14'e göre hesaplanmaktadır.

<b>Kamu getirisi</b>	$R_{kamu}(t)$	Denklem 3.16'ya göre hesaplanmaktadır.
<b>İdari ödemeler</b>	$R_{idari}(t)$	Denklem 3.17'ye göre hesaplanmaktadır.
<b>Bakım ve ön yatırım maliyetleri</b>	$R_{bakım}(t)$	Denklem 3.18'e göre hesaplanmaktadır.
<b>Amortisman ödeneği</b>	$R_{amortisman}(t)$	Denklem 3.19'a göre hesaplanmaktadır.
<b>PV sisteminin ürettiği elektrik miktarı</b>	$E_{GP}(t)$	Denklem 3.15'e göre hesaplanmaktadır.
<b>PV sisteminin beklenen ömür boyu elektrik üretimi</b>	$E_{GP,i}$	Denklem 3.21'e göre hesaplanmaktadır.
<b>Yatırım esnasında diğer tüm PV sistemlerinin beklenen ömür boyu elektrik üretim ortalamasını</b>	$E_{GP,toplam}$	Denklem 3.22'ye göre hesaplanmaktadır.
<b>Öz tüketim oranı</b>	$X_{öztüketim}$	%50
<b>Elektriğin şebekeden satın alınma bedeli</b>	$p_{elek,alış}$	EPDK yıllık ortalama fiyatlarına eşittir.
<b>Tüketim fazlası elektriğin şebekeye satış bedeli</b>	$p_{elek,satış}$	EPDK yıllık ortalama fiyatlarına eşittir.
<b>Elektrik satış fiyatı artış oranı</b>	$\mu_{elek,alış}$	2010-2020 yılları arasındaki ortalama artış oranı olarak hesaplanır (%10,67).
<b>Elektrik alış fiyatı artış oranı</b>	$\mu_{elek,satış}$	2010-2020 yılları arasındaki ortalama artış oranı olarak hesaplanır (%10,67).
<b>Güneş ışınım şiddeti</b>	$E_{güneş}$	GEPA verisi - 1527 kWh/m <sup>2</sup>
<b>PV sistem aşınma oranı</b>	$\gamma$	%0.40
<b>Tarife garantili fiyat</b>	$p_{FIT}$	13,3 cent/kWh (Yeni düzenlemeye göre tarife garantili fiyat, satın alınan birim elektrik fiyatına eşittir.)
<b>Dağıtım bedeli</b>	$\varphi_{dağıtım}$	EPDK yıllık ortalama fiyatlarına eşittir. 2020 sonrası için %10.67 artış oranı kabul edilerek hesaplanmaktadır.
<b>Ön yatırım maliyetleri oranı</b>	$\beta_{önyatırım}$	Başlangıç maliyetlerinin %1.6'sı
<b>Bakım maliyetleri oranı</b>	$\beta_{bakım}$	Başlangıç maliyetlerinin %1'i ve yıllık %2 oranında artmaktadır.
<b>Hane üyesi başına düşen yıllık kullanılabilir gelir</b>	$w_i$	TÜİK veri setinden belirlenmektedir.
<b>Toplumdaki hane sayısı</b>	$N$	TÜİK veri setinden belirlenmektedir.
<b>Hane halkı sayısı</b>	$h_i$	TÜİK veri setinden belirlenmektedir.
<b>Toplumda hane üyesine düşen yıllık ortalama kullanılabilir gelir</b>	$w$	TÜİK veri setinden belirlenmektedir.
<b>Komşuluk matrisi</b>	$A_{i,j}$	Küçük dünya ağları paket program ile yazar tarafından oluşturulmaktadır.
<b>Komşu sayısı</b>	$k_i$	Küçük dünya ağları paket program ile yazar tarafından oluşturulmaktadır.
<b>Sosyoekonomik sınıf puanı</b>	SES puanı	Denklem 3.29'a göre TÜİK verisi kullanılarak hesaplanmaktadır.
<b>Adaptasyon olasılığı sabiti</b>	$\alpha$	Logit tahminine göre belirlenmektedir.
<b>Adaptasyon olasılığı katsayıları</b>	$\xi_j$	Logit tahminine göre belirlenmektedir.

### 3.3.4. Sosyoekonomik Sınıflandırma

Avrupa ülkelerinin kendine özgü sosyoekonomik sınıflandırma ölçütleri bulunmasının yanı sıra sosyoekonomik sınıflara göre karşılaştırma analizlerinin yapılabilmesi için ortak bir sınıflandırma ölçütü olan ESeC (European Socio-Economic Classification of Occupations, ESeC) de kullanılmaktadır. ESeC sınıflamasının yapılabilmesi için ISCO88'e göre kodlanmış meslek bilgisi gerekmektedir. Türkiye'de bu düzeyde meslek bilgisi anketlerde yer almadığı için çalışmada bu sınıflandırmanın kullanılması mümkün değildir.

Türkiye'de Veri Araştırma, Televizyon İzleme Araştırmaları Kurulu, Türkiye Araştırmacılar Derneği, MAYAK Araştırma gibi kuruluşlar ve araştırmacılar (Kalaycıoğlu vd., 2010) tarafından gerçekleştirilen bazı sosyoekonomik sınıflandırmalar bulunmaktadır. Bu endeksler hane, hane sorumlusu veya mahalle gibi farklı temel ölçütlere göre oluşturulmaktadır. PV sistem yatırımlarından tüm hane yararlandığı için çalışmada sosyoekonomik sınıflandırma için temel ölçüt olarak hane seçilmesi daha doğru olacaktır. Türkiye'ye özgü sosyoekonomik sınıflandırma endeksleri incelendiğinde çoğu endekse göre istatistiki olarak daha güvenli olması ve neredeyse tamamına göre daha güncel olması sebepleriyle çalışmada Kalaycıoğlu vd. (2010)'nin sınıflandırması temel alınmaktadır.

Bu sınıflandırmaya göre Türkiye'de en yüksek sınıf grubu A olmak üzere, A, B, C1, C2 ve D olarak isimlendirilen beş farklı grup bulunmaktadır. Sosyoekonomik sınıflandırmanın belirlenmesinde hane üyelerinin eğitim düzeyi, kişi başına düşen ortalama hane geliri, hane iş gücünün meslek statüsü, hanenin sahip olduğu mülkler başka ifadeyle hanenin servet bilgisi ve hanenin sahip olduğu eşya bilgisi kullanılmaktadır (Kalaycıoğlu vd., 2010).

Çalışmada hane üyelerinin eğitim düzeyi, kişi başına düşen ortalama hane geliri ve hanenin mülkiyet bilgisi kullanılarak sosyoekonomik sınıf puanları oluşturulmaktadır. Hanenin sahip olduğu eşya bilgisi zaman içerisinde hızla eskidiği için çalışmada değerlendirmeye dahil edilmemektedir. Hane iş gücünün mesleki prestijini temsil eden meslek statüsü ise veri setinde detaylı bir şekilde yer almadığı için analizin dışında tutulmaktadır.

Sosyoekonomik sınıf puanlarının oluşturulmasında Kalaycıoğlu vd. (2010)'nin belirlediği katsayılar kullanılmaktadır. Her hanenin sosyoekonomik sınıf puanı Denklem 3.29'a göre hesaplanmaktadır. Sosyoekonomik sınıfların oluşturulmasında kullanılan değerler Tablo 3.3'te gösterildiği gibidir ve Türkiye'deki sosyoekonomik sınıf oranları göz önünde bulundurularak yazar tarafından belirlenmektedir.

$$\text{Sosyoekonomik sınıf (SES) puanı} = 30.978 + 0.775 * \text{Eğitim yılı ortalaması} + 0.003 * \text{Kişi başına düşen hane geliri} + 1.975 * \text{Hane mülkiyet değeri} \quad (3.29)$$

**Tablo 3.3: SES sınıflandırması**

Sosyoekonomik sınıf	SES değeri
A	$\geq 50.5$
B	$\geq 46$
C1	$\geq 43$
C2	$\geq 39.5$
D	$< 39.5$

Çalışmada her hanenin eğitim düzeyi aşağıdaki tablolara göre hesaplanmaktadır. Hane eğitim düzeyi belirlenirken 15 yaş üzerindeki kişiler ile 15 yaş altında eğitimine devam etmeyen kişilerin eğitim yılı bilgileri değerlendirmeye dahil edilmektedir.

**Tablo 3.4: Eğitimini tamamlayan kişiler**

Eğitim Bilgisi	Eğitim yılı (mezun)
Okumadı	0
İlkokul	5
Ortaokul	8
Lise	11
İki yıllık yüksekokul	13
Üniversite	15
Lisansüstü	17

**Tablo 3.5: 15 yaş ve üzeri eğitime devam edenler**

Eğitim Bilgisi	Eğitim yılı
İlköğretim	7
Lise	10
İki yıllık yüksekokul	12.5
Üniversite	13.5
Lisansüstü	16.5

Çalışmada kişi başına düşen ortalama hane geliri 2010 yılı fiyatları baz yıl alınarak belirlenmektedir. Fiyat dönüşümleri tüketici fiyat endeksine göre belirlenmektedir.

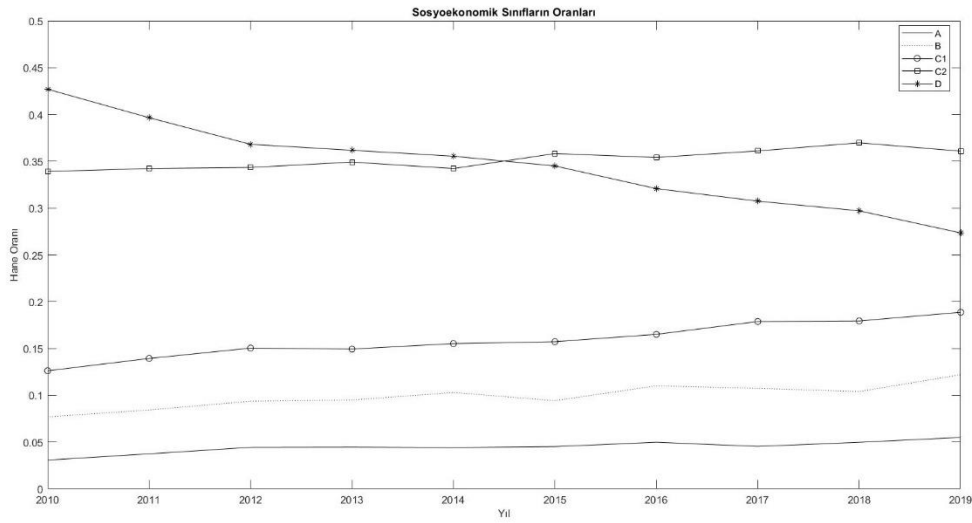
Yıllara göre fiyat dönüşüm oranları Tablo 3.6'da gösterildiği gibidir.

**Tablo 3.6: Yıllara göre fiyat endeksi**

Yıl	Endeks
2010	100
2011	106.4719
2012	115.9389
2013	124.6263
2014	135.6614
2015	146.0678
2016	157.4248
2017	174.9687
2018	203.5454
2019	234.4371

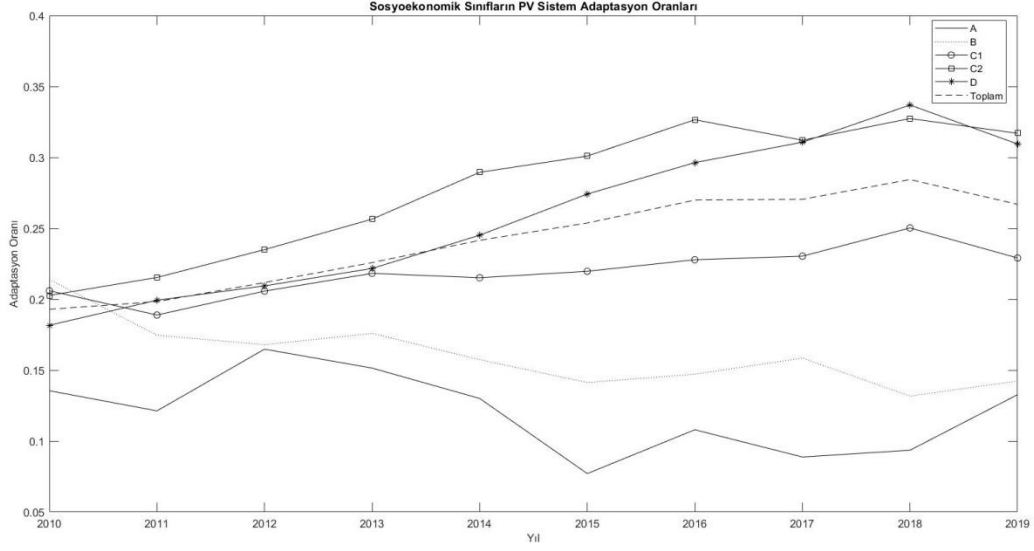
Çalışmada hanenin oturduğu konuta sahiplik bilgisi, ikinci konutun bulunup bulunmadığı ve otomobil sahibi olup olmadığı bilgisi kullanılarak hanenin mülkiyet değeri elde edilmektedir. Bu mülklerden her birinin bulunma durumu için 1, bulunmama durumu için 0 değeri verilmektedir.

Yıllara göre sosyoekonomik sınıflar ve sosyoekonomik sınıfların PV sistem adaptasyon oranları Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



**Şekil 3.3: Sosyoekonomik Sınıfların Oranları**

Şekil 3.3'e göre A, B, C1 ve C2 gruplarının nüfus içerisindeki oranı zamanla düşük bir ivmeyle artarken, D grubunun oranı azalmaktadır. D sosyoekonomik sınıf oranı azalırken diğer sınıfların oranlarındaki artışın eğitim politikalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Şekil 3.4'e göre A ve B gruplarında yer alan hanelerin PV sistem kullanım oranları zamanla azalmaktadır. C1, C2 ve D gruplarında ise PV sistem yatırımları zamanla artmaktadır ve toplam adaptasyon oranının yükselmesinde bu grupların adaptasyon kararı etkili olmaktadır.



**Şekil 3.4: Sosyoekonomik Sınıfların Adaptasyon Oranları**

### 3.3.5. Ağ Yapısı

Küçük dünya ağları gerçek dünya ile daha uyumludur ve teknoloji difüzyon süreçlerini daha iyi yansıtmaktadır. Çalışmada yer alan tüm ağların küçük dünya ağları özelliklerini taşıdığı kabul edilmektedir. Oluşturulan tüm ağlar için dışsal komşuluk oranının bir ölçüsü olan bağlanma olasılığı ( $\beta$ ) değeri 0.1 ve komşu sayısının ölçüsü olan K değeri 4 olarak alınmaktadır. Tüm ağlar için başlangıç koşulları 2010 yılı veri setine göre oluşturulmaktadır.

Sosyoekonomik sınıfların tamamı bütün ağ yapısını yani toplumu oluştururken, her bir sosyoekonomik sınıf alt ağ yapılarını başka bir ifadeyle alt kümeleri oluşturmaktadır. Statik ağ ve dinamik ağ analizlerinde tüm haneler aynı ağ içerisinde yer almaktadır. Tüm hanelerin sosyoekonomik sınıfına bakılmaksızın birbirleriyle iletişim kurma olasılığı bulunmaktadır.

Statik ağ yapısında haneler, hanelerin özellikleri ve ağ ilişkileri başlangıç durumundan itibaren sabit kalmaktadır. Ağların dinamik hale getirilmesi ağdaki ajanların, ajan özelliklerinin ve/veya ilişkilerin zamanla değişmesi ile mümkündür. Çalışmada dinamik analizde ağdaki hanelere veri seti ile uyumlu olacak şekilde yeni haneler eklendiği veya çıkarıldığı kabul edilmektedir. Sosyoekonomik sınıflardaki toplam hane sayısının arttığı yıllarda yeni haneler ağı eklenmektedir. Eklenen yeni hanelerin sosyoekonomik sınıfın ilgili yıldaki ortalama özelliğini taşıdığı kabul edilmektedir. Sosyoekonomik sınıfların hane sayısının azaldığı durumlarda ise ağdan çıkarılacak hane rassal olarak belirlenmektedir. Yıllara göre sosyoekonomik sınıflardaki hane sayısı belirlenirken ilgili hanenin Türkiye’de kaç haneyi temsil ettiğinin bir ölçüsü olan hane faktörü göz önünde bulundurulmaktadır. 2020-2030 yılları hane sayıları 2010-2019 yıllarında hane sayılarındaki ortalama artışlar dikkate alınarak tüm sosyoekonomik sınıflar için ayrı ayrı belirlenmektedir. Dinamik ağ analizinde sosyoekonomik sınıfa göre belirlenen hane sayısı Tablo 3.7’de yer almaktadır.

**Tablo 3.7: Sosyoekonomik Sınıf Hane Sayısı**

Sınıf	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
A	390	479	507	614	718	768	716	831	936
B	849	1028	1161	1457	1230	1500	1494	1521	1758
C1	1397	1761	1874	2137	1885	2024	2294	2303	2448
C2	3597	4468	4592	5225	3976	4096	4274	4462	4476
D	4108	4813	4856	5835	3838	3494	3491	3451	3266
Toplam	10341	12549	12990	15268	11647	11882	12269	12568	12884

### 3.3.6. PV Sistem Adaptasyon Olasılığının Hesaplanması

Hanelerin inovasyona karşı tutumunu gösteren herhangi bir ölçüt mevcut anketlerde yer almamaktadır. İnovasyona karşı tutumu belirten bir değişken olarak hanelerin PV sistem yatırımına adapte olma olasılığı, gözlenebilir bağımsız değişkenler

kullanılarak ikili adaptasyon modeli ile belirlenmektedir (Schreinemachers vd., 2009:521). İnovasyon difüzyon eğrilerinin S-şekilli yapısını iyi bir şekilde tanımladığı için lojistik fonksiyon kullanılmaktadır (Meade ve Islam, 2006; Plötz vd., 2014). Kümülatif lojistik olasılık fonksiyonunda  $p_i$  adaptasyon olasılığını gösterirken,  $\alpha$ ,  $\xi_j$  ve  $U_j$ , sırasıyla sabiti, katsayıları ve bağımsız değişkenleri temsil etmektedir.

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \sum_{j=1}^5 \xi_j U_j)}} \quad (3.30)$$

Çalışmada yer alan bağımsız değişkenler, ekonomik fayda, çevre faydası, gelir faydası ve iletişim faydası olmak üzere fayda bileşenlerini temsil etmektedir. Logit model kullanılarak fayda bileşenlerinin PV sistem adaptasyon kararı üzerindeki etkisi araştırılmakta başka bir ifadeyle kümülatif lojistik olasılık fonksiyonundaki katsayılar belirlenmektedir. Logit modelinde katsayılar, bağımsız değişkenin bağımlı değişkenin gerçekleşme olasılığını hangi yönde etkilediğini ifade etmektedir. Bu çalışmada logit modelden elde edilen katsayılar PV sistem adaptasyon olasılığının katsayılarını temsil etmektedir. Logit tahmininde bağımlı değişken PV sistem yatırım kararının verilmesi başka bir deyişle yeni teknolojiye adaptasyonun sağlanmasıdır. Bağımlı değişken PV yatırım kararının alındığı durumlarda 1, adaptasyonun olmadığı durumlarda ise 0 değerini almaktadır.

**Tablo 3.8: Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri**

Değişkenler	Ortalama	Standart Hata	Minimum	Maksimum
X (Adaptasyon kararı)	0.2439	0.4294	0	1
Ekonomik fayda	0.4431	0.1761	0	1
Çevre fayda	0.7132	0.0887	0.3968	1
Gelir fayda	0.4842	0.1438	0.2722	1
İletişim fayda	0.2439	0.2602	0	1
Sosyal normlar	0.2439	0.0308	0.1929	0.2844
Gözlem sayısı: 109271				

**Tablo 3.9: Korelasyon Matrisi**

Değişkenler	X (Adaptasyon kararı)	Ekonomik fayda	Çevre fayda	Gelir fayda	İletişim fayda	Sosyal normlar
X (Adaptasyon kararı)	1					
Ekonomik fayda	0.0354	1				
Çevre fayda	0.2773	0.0025	1			
Gelir fayda	-0.1186	0.2529	-0.0386	1		
İletişim fayda	0.5538	0.0684	0.2000	-0.1446	1	
Sosyal normlar	0.0718	0.8801	0.0088	-0.0057	0.1182	1

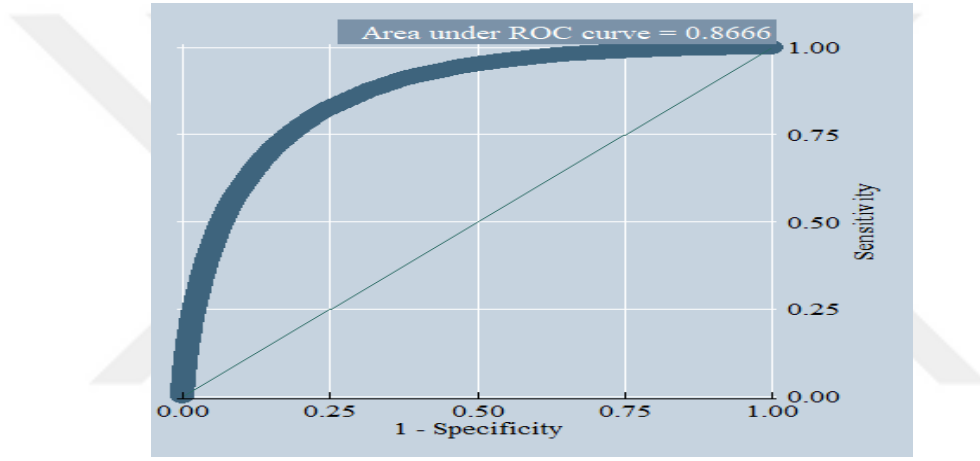
Logit tahmininde kullanılan veri seti 2010-2019 yılları TÜİK hane halkı bütçe anketinden faydalanılarak hazırlanmaktadır. Bu yıllarda sıcak su elde etmek için güneş enerjisi kullanan hanelerin bağımlı değişkeni 1 değerini almaktadır. Hanelerin ekonomik faydası, çevre faydası, gelir faydası ve iletişim faydası bölüm 3.2’de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır. İletişim faydasının hesaplanabilmesi için her yıla özgü hane sayısına göre küçük dünya ağları meydana getirilmektedir. Çevre faydasının hesaplanmasında kullanılan kişilerin ürettiği güneş enerjisi miktarı, simülasyon başlangıç koşulları oluşturulurken benimsenen varsayımla benzer şekilde son on yılın ortalama verimlilik değeri alınarak hesaplanmaktadır. Değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ve korelasyon matrisi Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da yer almaktadır.

**Tablo 3.10: Logit Tahmin Sonuçları**

Bağımsız Değişken	Katsayı	Standart hata
Ekonomik fayda	0.3495***	0.1246
Çevre fayda	6.8316***	0.1018
Gelir fayda	-1.2392***	0.0754
İletişim fayda	5.1779***	0.037
Sosyal normlar	0.0854	0.6806
Sabit	-7.3222***	0.158

Gözlem sayısı: 109271  
Wald chi2: 24179.41  
Prob > chi2: 0.0000

Standart hatalar robust değerlerdir. \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir.



**Şekil 3.5: ROC Eğrisi**

Logit tahmin sonuçları Tablo 3.10’da gösterildiği gibidir. Logit tahminine göre gelir faydasının katsayısı negatiftir. Gelir faydasının negatif katsayıya sahip olması, Türkiye’de gelirle yenilenebilir enerji adaptasyonu arasında ters yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Logit modelden elde edilen katsayılara göre hanelerin PV sistem adaptasyon olasılığı Denklem 3.30 aracılığıyla hesaplanmaktadır. Tahmin sonuçlarına göre sosyal normlar dışında fayda bileşenlerinin tamamı adaptasyon kararı üzerinde %1 anlamlılık düzeyinde etkiye sahiptir. Şekil 3.5’te yer alan ROC eğrisi, modelin PV

adaptasyon kararını açıklamaktaki yeterliliğini göstermektedir. ROC eğrisine göre model yaklaşık %87 oranında doğru tahmin üretmektedir.

### 3.3.7. Sosyal Etkileşimlerin Etkinliğinin Belirlenmesi

Fayda fonksiyonu bileşenlerinin PV sistem adaptasyonu üzerindeki etkisi, standardize edilmiş değişkenler kullanılarak elde edilen logit tahminine göre karşılaştırılmaktadır. Standardize edilmiş değişkenler ile logit tahminindeki marjinal etkiler, bağımsız değişkenlerdeki bir standart sapmalık değişimin bağımlı değişken üzerinde yarattığı değişimi göstermektedir. Marjinal etkiler incelendiğinde, PV sistem difüzyon sürecinin temel belirleyicisinin iletişim faydası olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle iletişim faydası, PV sistem yatırım kararında diğer fayda bileşenlerine göre daha fazla etkiye sahiptir.

**Tablo 3.11: Standardize Edilmiş Logit Tahmin Sonuçları**

Bağımsız Değişken	Katsayı	Standart hata
Ekonomik fayda	0.0615	0.0219***
Çevre fayda	0.6058	0.009***
Gelir fayda	-0.1782	0.0108***
İletişim fayda	1.3474	0.0096***
Sosyal normlar	0.0026	0.021
Sabit	-1.6111	0.0096***
Gözlem sayısı: 109271 Wald chi2: 24179.41 Prob > chi2: 0.0000		

Standart hatalar robust değerlerdir. \*, \*\* ve \*\*\* sırasıyla %10, %5 ve %1 anlamlılık düzeyini ifade etmektedir. Marjinal etkiler, ortalamada değerlerdir.

### 3.3.8. Kalibrasyon ve Doğrulama

Sosyoekonomik sınıfların eşik değerlerinin belirlenmesinde dolaylı kalibrasyon yöntemi benimsenmektedir (Fagiolo vd., 2007:208-210). Bu yöntemle göre sosyoekonomik sınıfların eşik değerlerinin belirlenmesinde farklı değerler yazar tarafından kullanılmaktadır ve gerçek veri ile en uyumlu olan değerler eşik değer olarak

belirlenmektedir (Palmer vd., 2015:118). Çalışmada kullanılan eşik değerler 2011-2016 yılları arasındaki veri setine göre yazar tarafından belirlenmektedir. Modelin ve parametrelerin doğrulaması ise 2017-2019 yılları toplam adaptasyon oranı verisi kullanılarak yapılmaktadır. Çalışmadaki tüm modeller için belirlenen eşik değerler Tablo 3.12’de listelenmektedir.

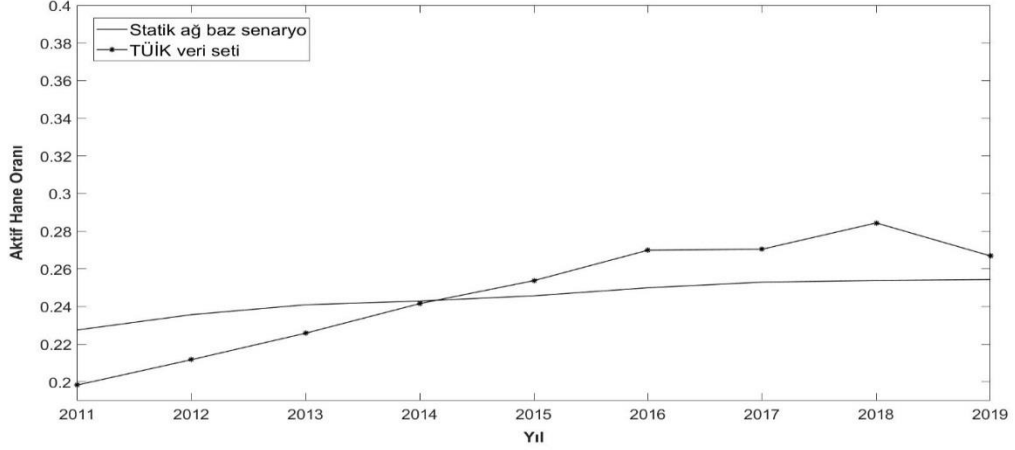
**Tablo 3.12: Sosyoekonomik Sınıfların Eşik Değerleri**

Sosyoekonomik sınıf	A	B	C1	C2	D
Eşik değer	0.96	0.95	0.79	0.49	0.57

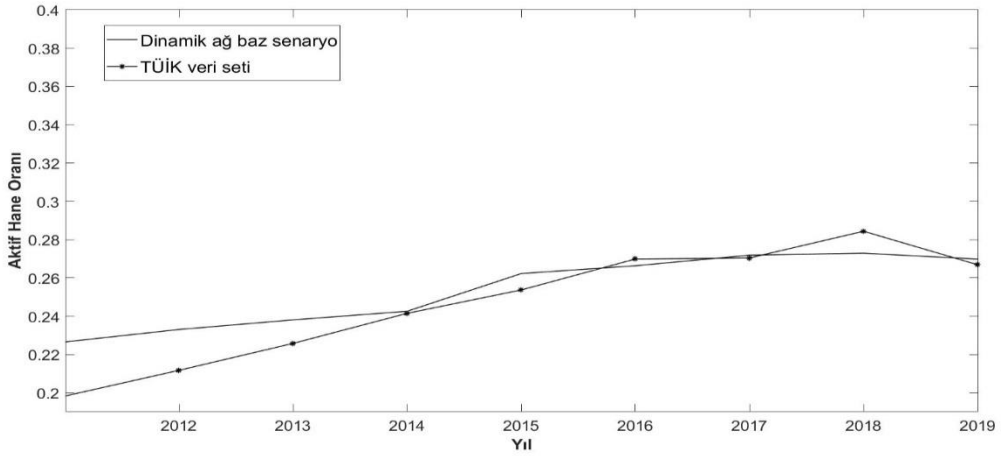
Statik ağ ve dinamik ağ modelleri 2011-2019 yılları baz senaryo ve anket verilerinden oluşturulan PV sistem adaptasyon oranları sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de yer almaktadır. Her iki modelin de 2011-2016 yılları simülasyon sonuçları anket verileri ile uyumludur. 2017-2019 yılları simülasyon sonuçları ile anket verileri de yakın değerlere sahip olduğu için modellerin ve parametrelerin doğrulandığı kabul edilmektedir. Grafikler incelendiğinde, anket verilerinden elde edilen adaptasyon oranının yukarı yönlü ivmesi 2018 yılında artarken, simülasyon sonuçlarının bu artışı yakalayamadığı görülmektedir. Bu farkın, 2018 yılındaki politika değişikliğine ilişkin beklentilerin 2017 yılında ortaya çıkmasına ve kurulumu 2018 yılında olsa da 2017 yılı sonuna kadar alınan izinler için sabit fiyat tarifesi uygulamasının geçerli olmasına dayandığı düşünülmektedir.

Dinamik ağ modelinde simülasyondan elde edilen adaptasyon oranlarının statik ağa görece eğiminde daha fazla değişim olduğu görülmektedir. Bunun temel sebebi ağın dinamik olmasıdır. Yıllar içinde pasifleşen haneler rassal olarak seçilmektedir. Haneler ölüm, boşanma gibi herhangi bir sebeple yok olabilmektedir. Ağdan çıkan hanelerin belirlenmesinde bir kısıt konulmamasının gerçek hayatla daha uyumlu olduğu

düşünülmektedir. Eklenen hanelerin buldukları sosyoekonomik sınıftaki adaptasyon oranı kadarının aktif olduğu kabul edilmektedir. Eklenen hanelerden geriye kalanların ise pasif olduğu ve model içinde yatırım kararını değerlendirdiği varsayılmaktadır.



Şekil 3.6: Statik ağ

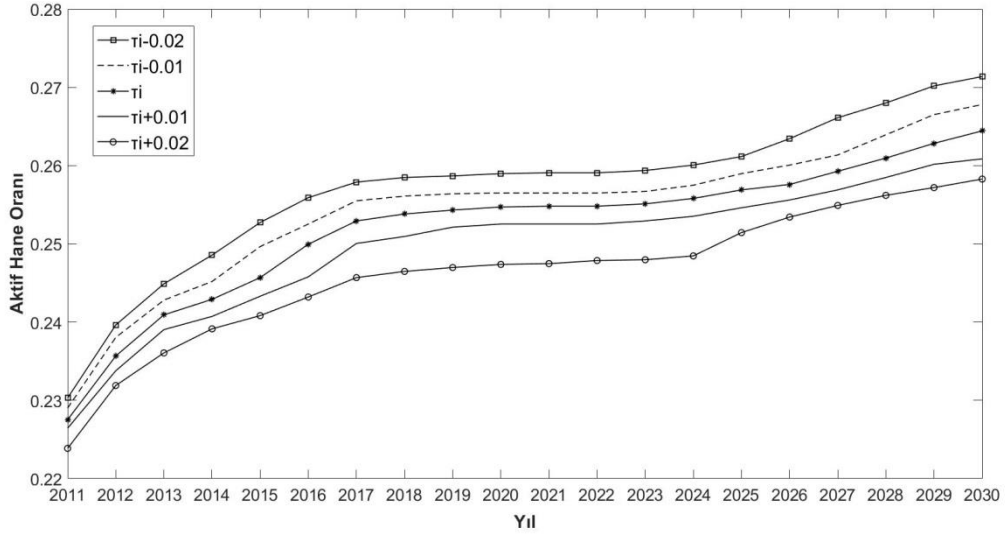


Şekil 3.7: Dinamik ağ

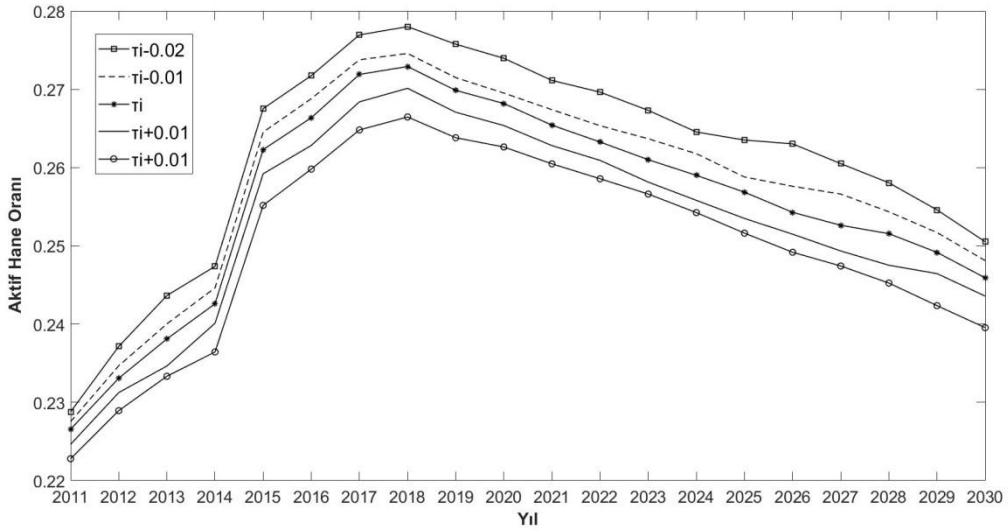
### 3.3.9. Duyarlılık Analizi

Çalışmada ele alınan statik ağ ve dinamik ağ modelleri duyarlılık analizi parametre kalibrasyonu ile ele alınmaktadır. Modellerin parametre değerlerine duyarlılığı farklı eşik değerlerindeki adaptasyon oranlarına göre araştırılmaktadır.

Duyarlılık analizi aynı zamanda modelin doğruluğunun da araştırılmasına olanak tanımaktadır. PV sistem adaptasyonunun maliyetini temsil eden eşik değeri arttığı zaman PV sistem adaptasyonunun azalması beklenmektedir. Eşik değeri azaldığı zaman ise PV sistem adaptasyonunun artması gerekmektedir.



Şekil 3.8: Statik Ağ Modeli



Şekil 3.9: Dinamik Ağ Modeli

Statik ve dinamik ağ duyarlılık analizi grafikleri incelendiğinde, modelin eşik değer duyarlılığının beklendiği gibi olduğu görülmektedir. He iki ağ yapısında da eşik değerin %3 ve %6 arttığı durumlarda adaptasyon oranı azalırken, %3 ve %6 azaldığı durumlarda ise adaptasyon oranı artmaktadır.

### 3.4. Simülasyon

Çalışmada ele alınan modellerin duyarlılığı ve doğruluğu altı farklı senaryo altında incelenmektedir. Bunlardan ilki baz senaryo olarak nitelendirilmektedir ve mevcut mahsuplaşma politikasının devam ettiği varsayımı altında PV sistem adaptasyonu araştırılmaktadır. Baz senaryo simülasyonlarının ardından iki farklı durum için difüzyon süreci incelenmektedir.

**Tablo 3.13: KW başına PV Fiyatları**

Yıl	Baz senaryo	Düşük senaryo	Yüksek senaryo
2020	1683.1279	1794.0452	1597.6119
2021	1864.3361	1987.195	1769.6133
2022	2071.7764	2208.3055	1966.514
2023	2310.440	2462.6969	2193.0517
2024	2584.6167	2754.9417	2453.298
2025	2898.6812	3089.7028	2751.4056
2026	3250.9085	3465.1418	3085.737
2027	3645.9361	3886.2015	3460.6941
2028	4088.9646	4358.4254	3881.2133
2029	4585.8268	4888.0306	4352.8311
2030	5977.9562	6323.7406	5709.5128

Düşük senaryo kümülatif kurulu kapasitenin beklenenden %20 düşük gerçekleştiği, yüksek senaryo ise kümülatif kurulu kapasitenin beklenenden %20 fazla gerçekleştiği PV sistem ilk yatırım maliyetlerini dikkate almaktadır.

Bunlardan ilki PV sistem ilk yatırım maliyetlerinin değişmesidir ve senaryo2 olarak adlandırılmaktadır. İlk yatırım maliyetlerini belirleyen temel unsur kW başına PV sistem fiyatlarıdır ki bu da kümülatif kurulu kapasite ile orantılıdır. Yüksek senaryoda kümülatif kurulu kapasitenin beklenenden %20 fazla olduğu durumdaki PV sistem ilk

yatırım maliyetleri, düşük senaryoda ise kümülatif kurulu kapasitenin beklenenden %20 düşük gerçekleştiği maliyetler dikkate alınmaktadır. Baz senaryo, düşük senaryo ve yüksek senaryo için kW başına fiyat Tablo 3.13'te gösterilmektedir.

İkinci durum ise PV sistem yatırımlarını teşvik eden kamu politikalarıdır. PV sistem yatırımlarını teşvik eden ve Avrupa'da yaygın olarak kullanılan en önemli politikalardan birisi sabit fiyat alım garantileridir. Sabit fiyat alım garantilerinin uygulanması senaryo3 olarak nitelenmektedir. Mahsuplaşma politikaları kapsamında öz tüketim fazlası elektriğin şebeke tarafından satın alınmasında uygulanan tarife şebekenin sattığı elektrik fiyatlarına eşittir ve ortalama 8 sent civarındadır. Önceki yıllarda uygulanan 13,3 sent sabit fiyat alım tarifesinin uygulanması yüksek senaryo tahminidir. Yüksek senaryoda son yıllardaki ortalama kur değişimi (2010-2020 yılları kur değerlerine göre ortalama %17 artış) de göz önünde bulundurularak tarife oluşturulmaktadır (Merkez Bankası, 2021). Tarifinin mahsuplaşma politikasına göre belirlenen fiyatlamanın %10 üstünde uygulanması orta senaryo, %10 altında olması ise düşük senaryo tahminidir. Kullanılan sabit fiyat alım tarifeleri Tablo 3.14'te yer almaktadır.

**Tablo 3.14: Sabit Fiyat Alım Garantileri**

Yıl	Baz senaryo	Yüksek senaryo	Orta senaryo	Düşük senaryo
2020	0.5816	0.9339	0.6397	0.5234
2021	0.6436	1.0926	0.708	0.5793
2022	0.7123	1.2784	0.7836	0.6411
2023	0.7883	1.4957	0.8672	0.7095
2024	0.8724	1.745	0.9597	0.7852
2025	0.9655	2.0475	1.0621	0.869
2026	1.0686	2.3955	1.1754	0.9617
2027	1.1826	2.8028	1.3008	1.0643
2028	1.3087	3.2793	1.4396	1.1779
2029	1.4484	3.8367	1.5932	1.3036
2030	1.6029	4.489	1.7632	1.4426
2031	1.774	5.2521	1.9514	1.5966
2032	1.9633	6.145	2.1596	1.7669
2033	2.1727	7.1896	2.3900	1.9555
2034	2.4046	8.4119	2.645	2.1641
2035	2.6611	9.8419	2.9273	2.395
2036	2.9451	11.515	3.2396	2.6506
2037	3.2593	13.4726	3.5853	2.9334
2038	3.6071	15.7629	3.9678	3.2464
2039	3.992	18.4426	4.3912	3.5928
2040	4.4179	21.5779	4.8597	3.9761
2041	4.8893	25.2461	5.3782	4.4004
2042	5.411	29.538	5.9521	4.8699
2043	5.9883	34.5594	6.5872	5.3895
2044	6.6273	40.4345	7.29	5.9646
2045	7.3344	47.3084	8.0679	6.601
2046	8.117	55.3508	8.9287	7.3053
2047	8.9831	64.7605	9.8814	8.0848
2048	9.9416	75.7697	10.9358	8.9475
2049	11.0024	88.6506	12.1026	9.9021
2050	12.1763	103.7212	13.394	10.9587

Yüksek senaryo, orta senaryo ve düşük senaryoda sabit fiyat alım tarifeleri sırasıyla 13.3 sent, baz senaryodan %10 daha fazla ve baz senaryodan %10 daha az olarak alınmaktadır.

PV sistem yatırımlarını belirleyen ikinci bir politika olarak PV sistem yatırımı için gerekli finansmanın sağlanması araştırılmaktadır ve senaryo4 olarak

isimlendirilmektedir. Hanelerin PV sistem yatırımları için ihtiyaç duydukları kredilere tüketici kredisine göre daha düşük faiz oranlarına sahip konut kredisi faiz oranlarının uygulandığı varsayımı yüksek senaryoyu oluşturmaktadır. PV sistem finansman maliyetinin indirilmesi PV sistemden beklenen getirilerin bugüne indirgenmiş değerinin artması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sistemin geri ödeme süresi indirgenerek, ekonomik faydası artırılmaktadır. Düşük senaryoda ise mevcut tüketici kredisi faiz oranlarının %5 arttığı kabul edilmektedir.

PV sistem yatırımlarına ilişkin kamu politikalarının temel amacı geri ödeme süresinin kısaltılmasıdır. Türkiye'nin PV sistem yatırımlarını artırmasının geri ödeme sürelerinin kısaltılmasına bağlı olduğunu vurgulayan çalışmalar yer almaktadır (Flora vd., 2019:8; Duman ve Güler, 2020:709). Alternatif bir senaryo olarak, uygulanan kamu politikasının içeriğine bakılmaksızın, geri ödeme sürelerinin kısaltılması senaryo5 başlığı altında incelenmektedir. PV sistem yatırımlarının geri ödeme sürelerinin 7 yıla ve 3 yıla düşürülmesi durumunda adaptasyon oranları araştırılmaktadır.

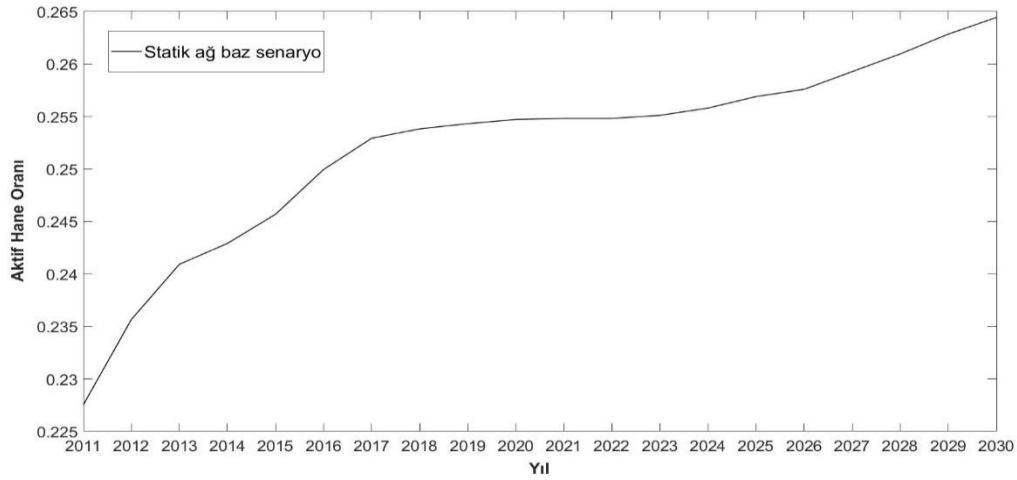
Çalışmada ele alınan bir diğer senaryo, hanelerin PV sistem adaptasyonunu zorunlu hale getiren düzenlemelerin uygulanmasıdır ve senaryo6 olarak isimlendirilmektedir. Bu senaryo iki aşamada incelenmektedir. Birinci aşamada daha önce PV sistem adaptasyonu olmayan haneler tespit edilmektedir. Bu hanelerden rassal olarak belirlenen hanelerin zorunlu olarak PV sistem yatırımı yaptıkları varsayılmaktadır. Zorunlu PV sistem yatırımı yapacak hane sayısı, daha önce PV sistem kullanmayan haneler içerisinde 50 hane, 100 hane ve 150 hane olarak alınmaktadır. İkinci aşamada, bu politikanın farklı sosyoekonomik statülerde uygulanmasının etkileri araştırılmaktadır. A, B, C1, C2 ve D statülerinde bulunan ve daha önce PV sistem adaptasyonu olmayan hanelerden 50 tanesi rassal olarak seçilmektedir.

Son olarak kamu politikasındaki farklılaşmanın etkisini araştırmak için senaryo7 incelenmektedir. Senaryo7'de PV sistemlerinde 2018 yılına kadar uygulanmakta olan

sabit fiyat alım politikasının devam etmesi durumu araştırılmaktadır. Böylelikle kamunun PV sistemler için belirlediği mahsuplaşma politikası ile sabit fiyat alım tarifesi politikası karşılaştırılmaktadır başka bir ifadeyle kamu politikasındaki değişim incelenmektedir.

### 3.4.1. Baz Senaryo

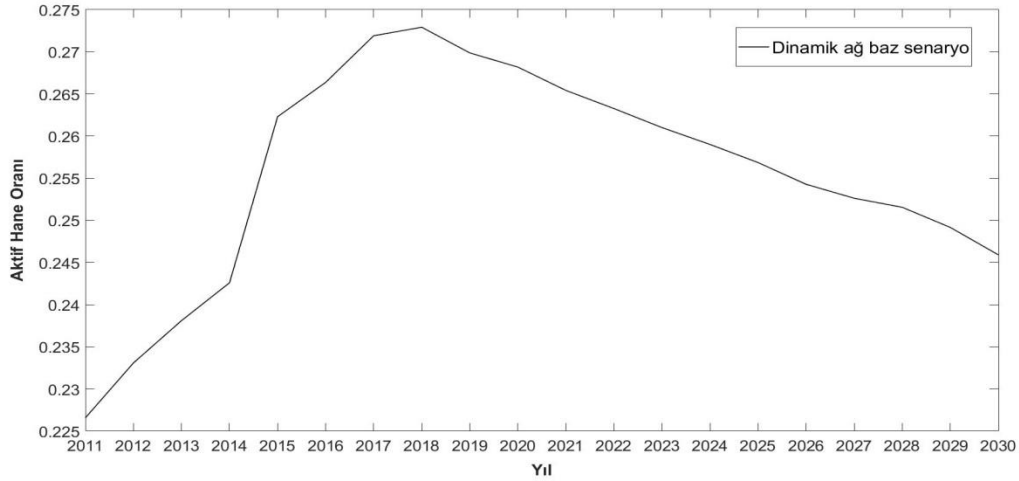
Statik ağ baz senaryoya göre 2020-2030 yılları arasındaki PV sistem ortalama geri ödeme süresi 17,6 yıl, dinamik ağ baz senaryoya göre ise 13,8 yıl olarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan geri ödeme süreleri literatürde yer alan çalışmalarla uyumludur (Acar vd., 2020:27-28). Baz senaryodaki mahsuplaşma politikalarına göre belirlenen geri ödeme sürelerinin PV sistem yatırım kararında ikna edici seviyenin altında olduğu açıktır (Flora vd., 2019:2). Baz senaryolara göre belirlenen adaptasyon oranı grafikleri de hane halkının PV sistem yatırımı konusundaki isteksizliğini desteklemektedir.



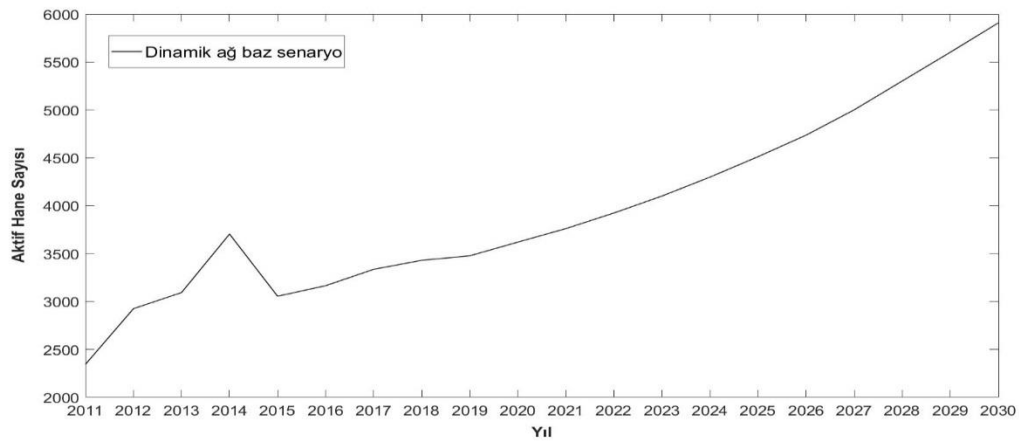
**Şekil 3.10: Baz Senaryo Statik Ağ Adaptasyon Oranı**

Statik ağ baz senaryoya göre 2020 yılında %26 civarında olan adaptasyon oranı, 2030 yılında yaklaşık %27'ye ulaşmaktadır. 2010-2017 yılları arasında uygulanan sabit fiyat alım garantisi politikası ile sağlanan ivme, 2018 yılında mahsuplaşma politikasına geçilmesi ile yerini neredeyse bir durgunluk durumuna bırakmaktadır.

Dinamik ağ baz senaryoya göre ise PV sistem adaptasyon oranları zamanla düşmektedir. PV sistem yatırımları cazibesini kaybettiği için yeni adaptasyon sayısı düşerken, zamanla hane sayısı arttığı için adaptasyon oranlarında düşüş gözlenmektedir.



**Şekil 3.11: Baz Senaryo Dinamik Ağ Adaptasyon Oranı**



**Şekil 3.12: Baz Senaryo Dinamik Ağ PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

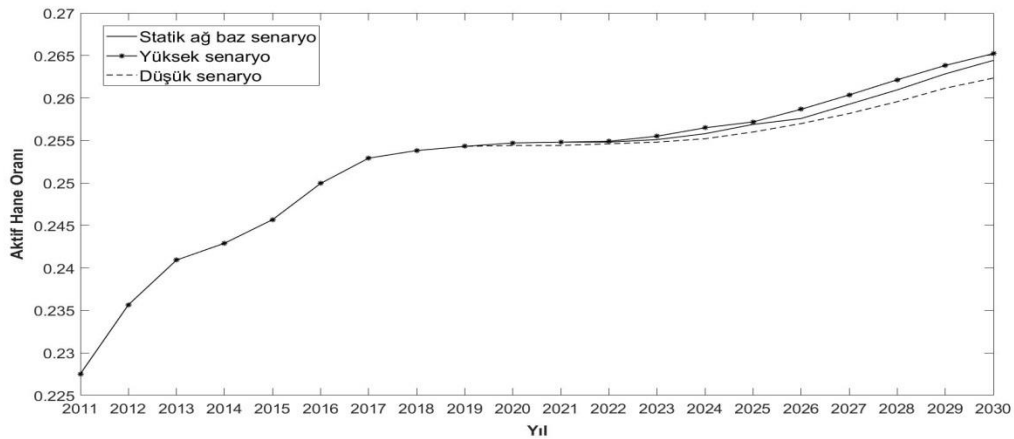
Şekil 3.12 göz önünde bulundurulduğunda Şekil 3.11'deki adaptasyon oranlarındaki azalmanın temel sebebinin PV sistem adaptasyon sayısının yeni hane sayısından çok daha az kalması olduğu ortaya konmaktadır. Şekil 3.10'da yıllar itibariyle hanelerin PV sistem adaptasyonunun devam ettiği daha açık bir şekilde görülmektedir.

Bununla beraber 2011-2018 yıllarında PV sistem adaptasyonunun kazandığı ivme sonraki yıllarda devam ettirilememektedir.

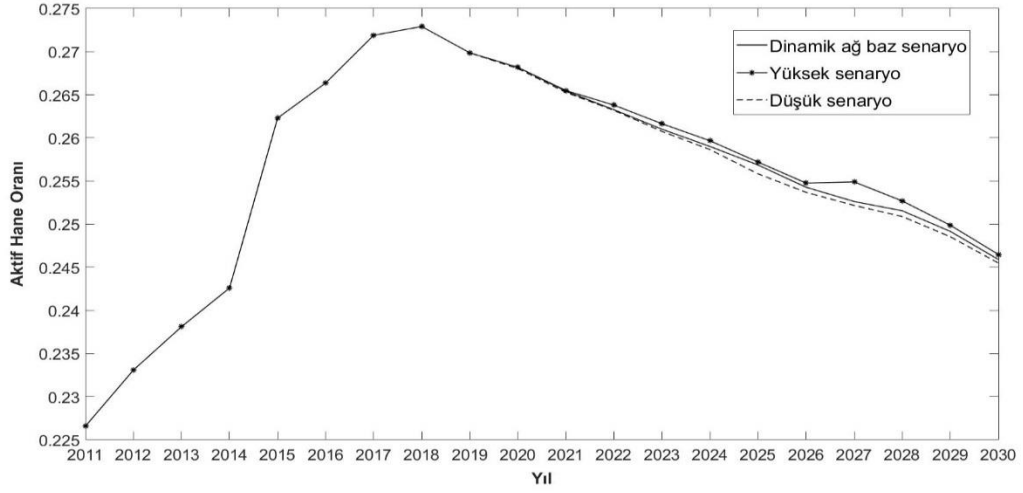
### 3.4.2. İlk Yatırım Maliyetleri

İlk yatırım maliyetlerindeki değişiklikler göz önüne alındığında hem statik ağ hem de dinamik ağ analizinde baz senaryo, yüksek senaryo ve düşük senaryo neredeyse aynı sonuçları ürettiği Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te görülmektedir.

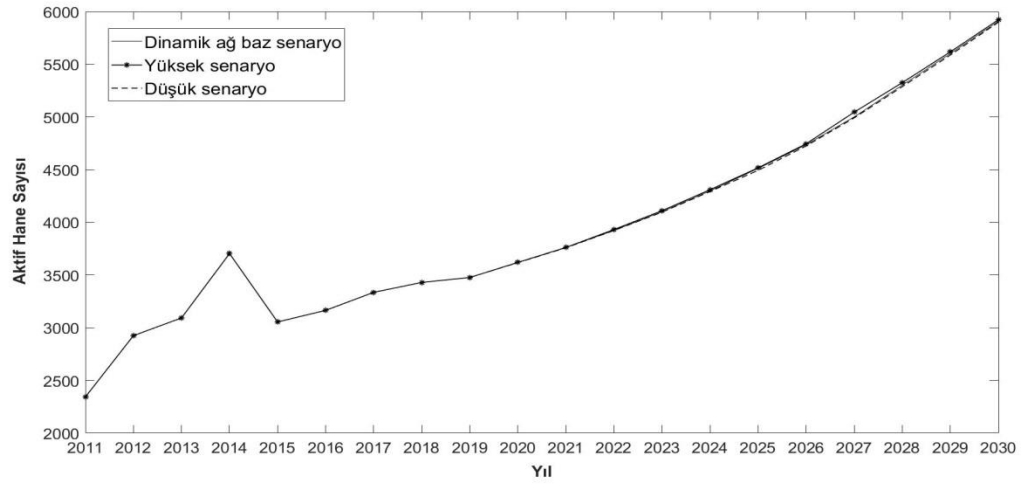
Baz senaryoya göre nispi değişiklikler çok az olsa da yüksek senaryoda beklendiği gibi adaptasyon oranları artarken, düşük senaryoda azalmaktadır. Bununla birlikte difüzyon patikasının yöneliminde herhangi bir değişiklik meydana gelmemektedir. Adaptasyon oranlarındaki değişimin küçük olmasının temelinde küresel toplam kurulu kapasiteye göre belirlenen PV sistem fiyatlarının Euro üzerinden belirlenmesi yer almaktadır. Türkiye'de ortalama Euro kuru artışının yaklaşık %15 olarak belirlendiği göz önünde bulundurulduğunda PV sistem fiyatlarındaki düşüşün hane halkını yatırıma yönlendirememesi anlaşılır hale gelmektedir.



**Şekil 3.13: Statik Ağ Senaryo2**



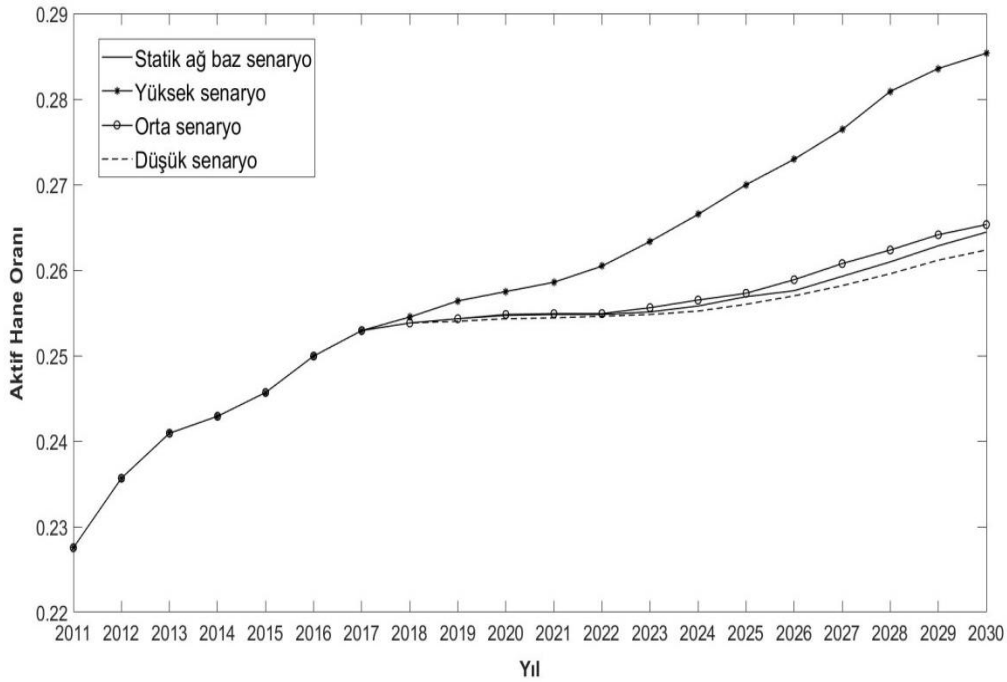
**Şekil 3.14: Dinamik Ağ Senaryo2**



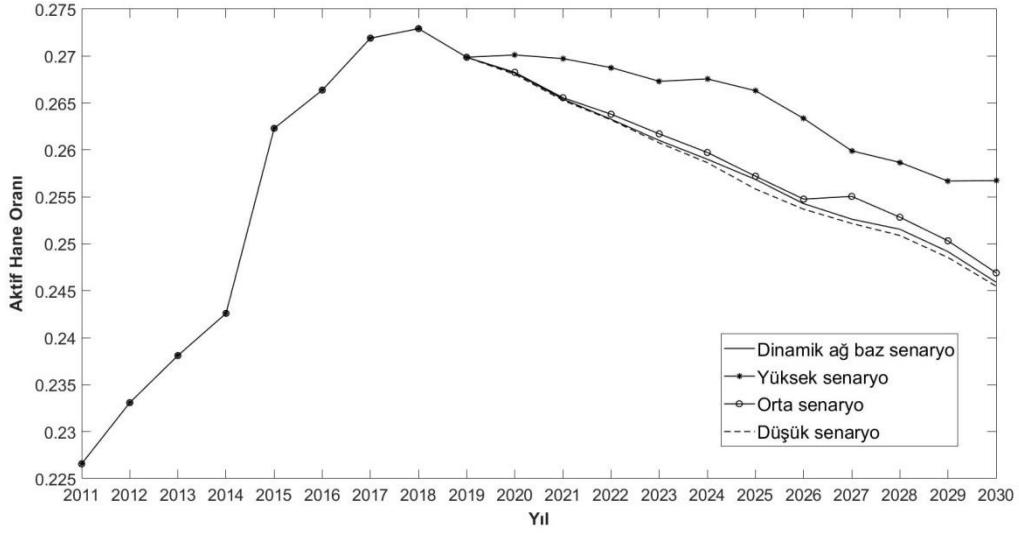
**Şekil 3.15: Dinamik Ağ Senaryo2 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

### 3.4.3. Sabit Fiyat Alım Tarifeleri

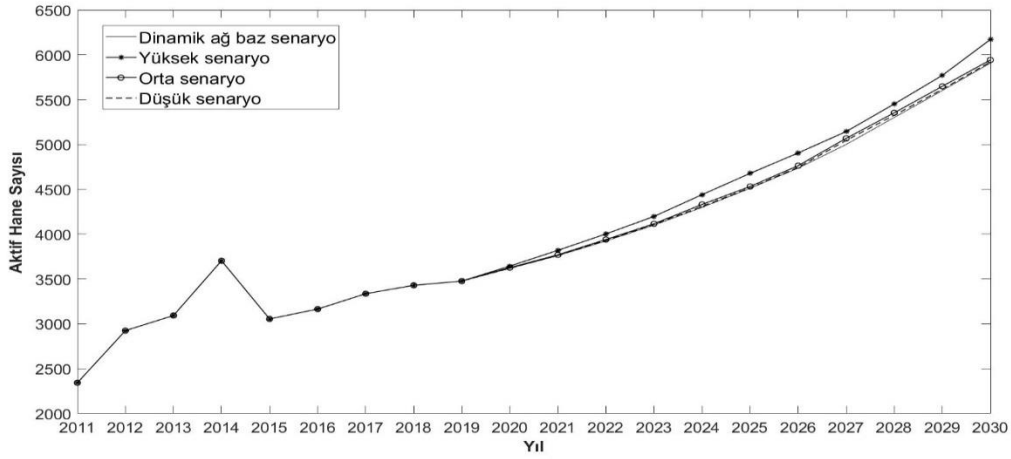
Sabit fiyat alım tarifelerinin değerlendirildiği simülasyon sonuçları Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de yer almaktadır. Grafikler açıkça göstermektedir ki hane halkı PV sistem yatırımı yapmak için teşvike ihtiyaç duymaktadır. Yüksek senaryoda uygulanan tarifeler mevcut politikanın çok üzerinde olduğu için PV sistem adaptasyon oranlarındaki azalış trendi statik ağda kırılırken, dinamik ağda azalmaktadır. Orta ve düşük senaryolar ise hane halkını yatırıma ikna etmekte yetersiz kalmaktadır. Statik ağ analizi yüksek senaryo simülasyonu 2011-2018 yılları arasındaki hızlı adaptasyon oranlarının temelinde sabit fiyat alım tarifelerinin olduğunu desteklemektedir. Çünkü adaptasyon oranı bu yıllardaki ivmeye yakın bir yönelime sahip olmaktadır. Bununla birlikte her iki ağ analizinde de yüksek senaryoda bile 2011-2018 yılları arasındaki difüzyon hızına erişilememektedir.



Şekil 3.16: Statik Ağ Senaryo3



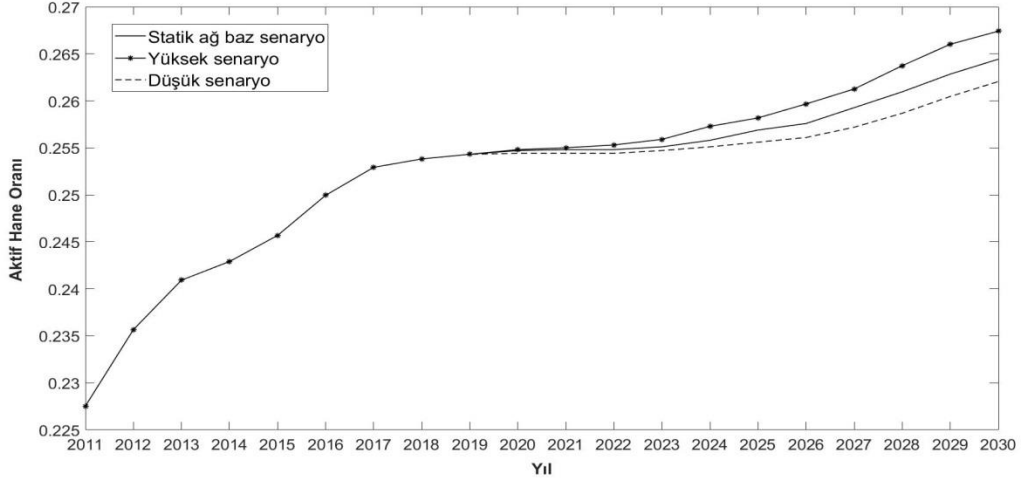
**Şekil 3.17: Dinamik Ağ Senaryo3**



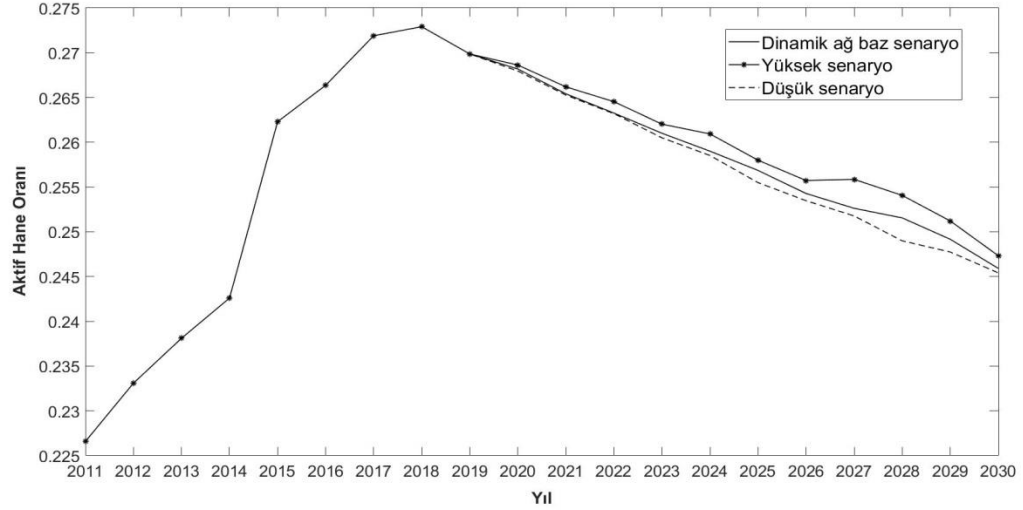
**Şekil 3.18: Dinamik Ağ Senaryo3 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

### 3.4.4. PV Sistem Finansmanı

Geri ödeme süresini belirleyen unsurlardan bir diğeri de PV sisteminden elde edilen getirilerin net bugünkü değerinin hesaplanmasında kullanılan indirgeme oranıdır. Çalışmada indirgeme oranları her hane için heterojen olarak ve reel faiz oranları kullanılarak oluşturulmaktadır. Dolayısıyla PV sistem finansmanında uygulanan farklı faiz oranları da yatırım kararı üzerinde belirleyici role sahiptir.

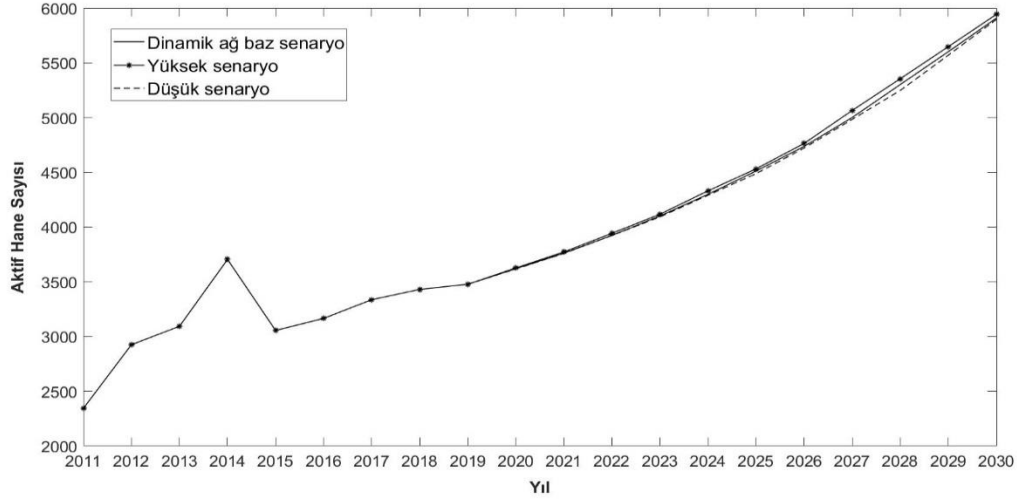


**Şekil 3.19: Statik Ağ Senaryo4 (PV Sistem Finansmanı)**



**Şekil 3.20: Dinamik Ağ Senaryo4 (PV Sistem Finansmanı)**

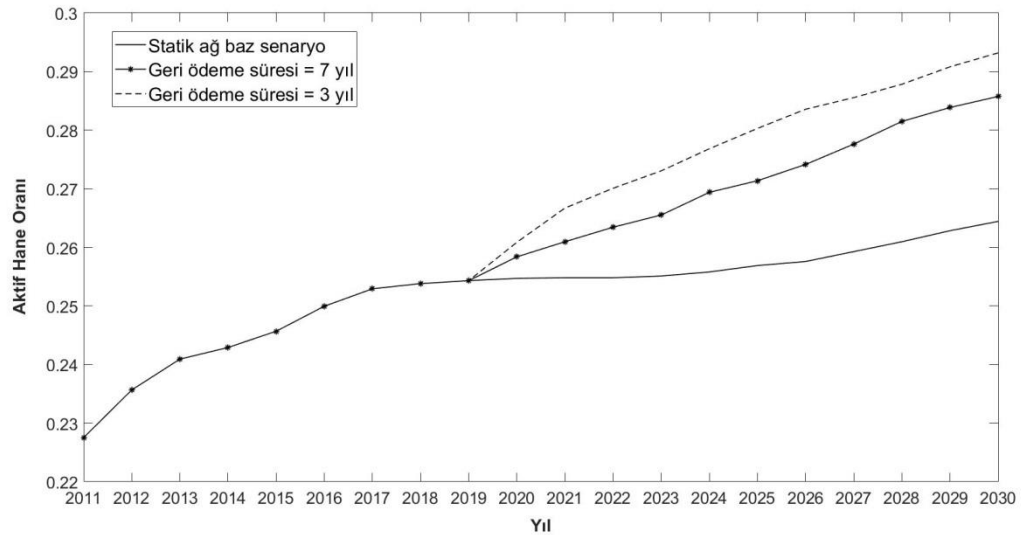
Farklı faiz oranlarının adaptasyon üzerindeki etkisi Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de yer almaktadır. Her iki ağ analizinde de yüksek senaryoda adaptasyon oranları yüksek, düşük senaryoda ise düşük olarak tahmin edilmektedir. Bununla birlikte uygulanan faiz oranlarının birbirine oldukça yakın olması sebebiyle difüzyon patikalarının ve PV sisteme adapte olan toplam hane sayısının baz senaryoya çok benzer olduğunu belirtmek gerekir.



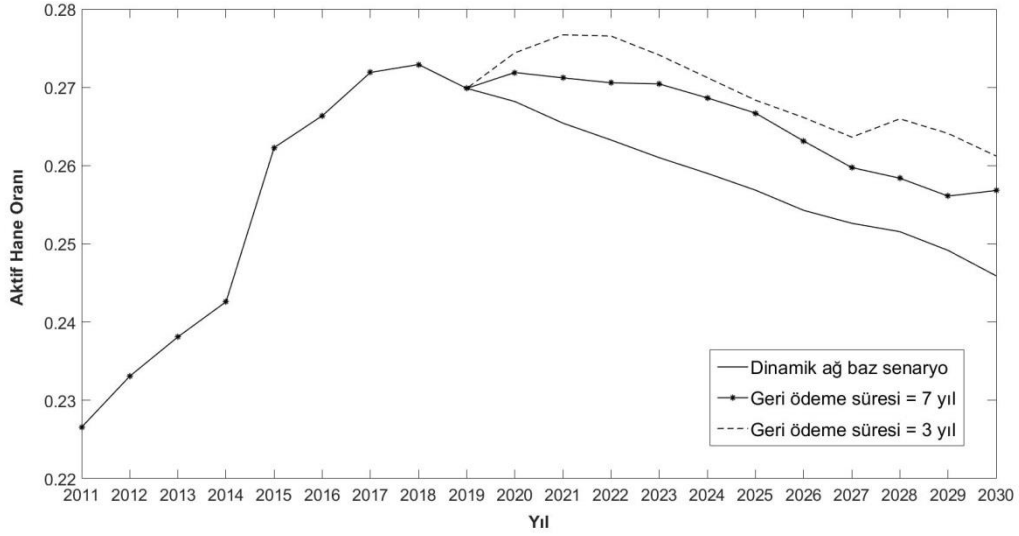
**Şekil 3.21: Dinamik Ağ Senaryo4 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

### 3.4.5. Geri Ödeme Süreleri

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'te açıkça görülmektedir geri ödeme sürelerinin düşürülmesi PV sistem yatırımlarının 2011-2018 yıllarında kazandığı ivmeyi kazanabilmesi için gereklidir. PV sistem yatırımının geri ödeme süresi yatırımın rasyonel hale geldiği seviyelere düşerse adaptasyon oranı baz senaryoya göre artmaktadır.

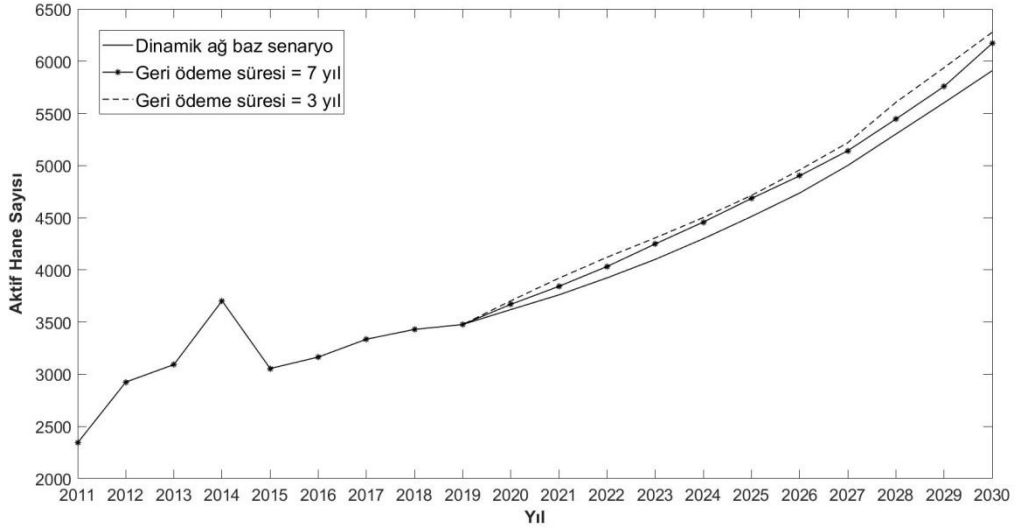


**Şekil 3.22: Statik Ağ Senaryo5**



**Şekil 3.23: Dinamik Ağ Senaryo5**

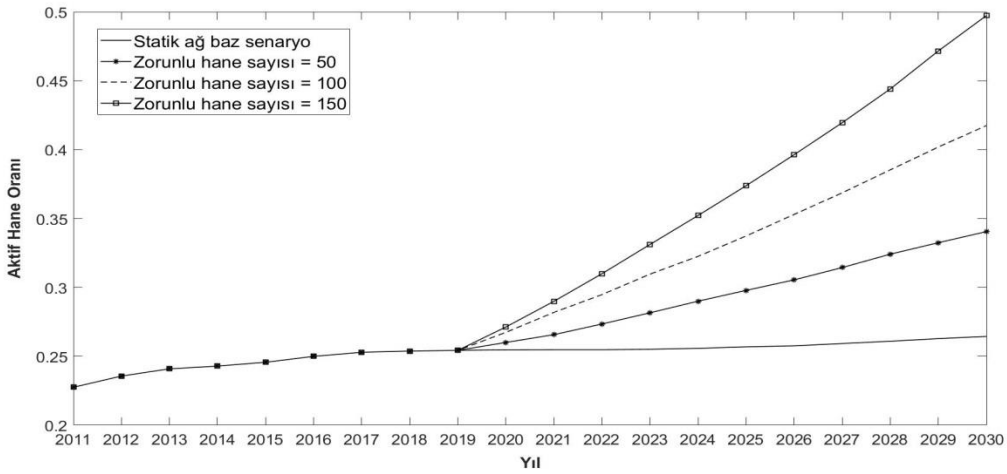
PV sistem geri ödeme süresinin 7 yıla düşürülmesi, sabit fiyat alım tarifelerinin 13,3 sente çıkarılmasına oldukça benzer sonuçlar üretmektedir. Statik ve dinamik ağ analizlerinde geri ödeme süresinin 7 yıla düşürülmesi baz senaryoya göre önemli artışlar olmasını sağlasa da 2011-2018 yıllarındaki difüzyon ivmesinin yakalanmasına yetmemektedir. Geri ödeme süresinin 3 yıla düşürülmesi ise statik ağ analizinde 2011-2018 yıllarında kazanılan ivmenin devam ettirilmesini sağlamaktadır. Dinamik ağ analizinde ise yukarı yönlü ivmenin birkaç yıl daha devam etmesini sağlarken, sonraki yıllarda baz senaryoya benzer şekilde adaptasyon oranında azalış trendini ortaya çıkarmaktadır. Bununla beraber adaptasyon hızını arttırdığı açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.23'e göre geri ödeme süresinin 7 yıla düşürülmesinin etkisi daha fazla iken, 3 yıla düşürülmesi adaptasyon hızını artırsa da bu artış hızı zamanla azalmaktadır.



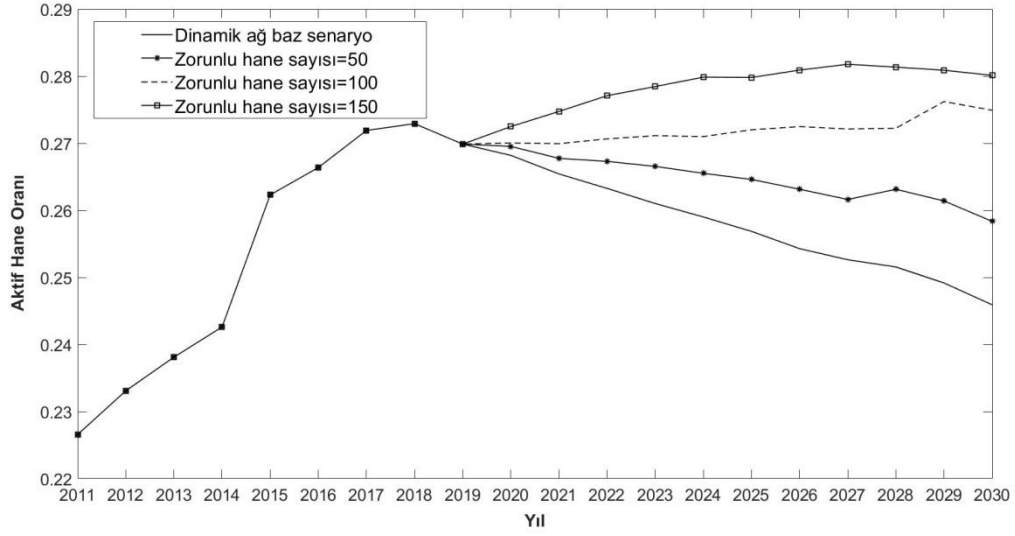
**Şekil 3.24: Dinamik Ağ Senaryo5 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

### 3.4.6. Zorunlu PV Sistem Adaptasyonu

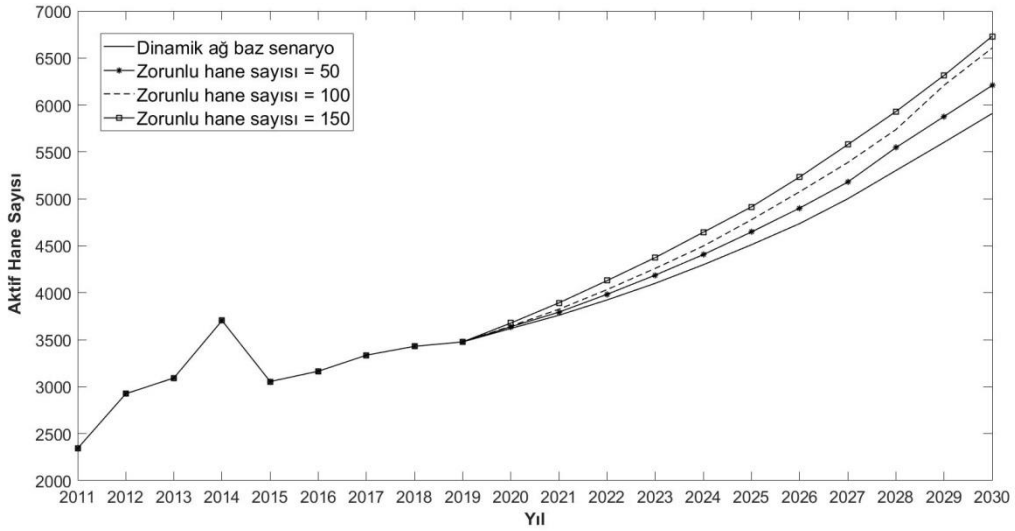
PV sisteme getirilecek zorunlu yatırım düzenlemeleri sadece hanelerin bir kısmının adaptasyonunu sağlamayacak aynı zamanda sosyal etkileşimler aracılığıyla daha fazla sayıda hanenin adapte olmasını beraberinde getirecektir. Başka bir ifadeyle pozitif dışsallık etkisi ortaya çıkacaktır. Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de de bu durum açıkça görülmektedir.



**Şekil 3.25: Statik Ağ Senaryo6**



**Şekil 3.26: Dinamik Ağ Senaryo6**

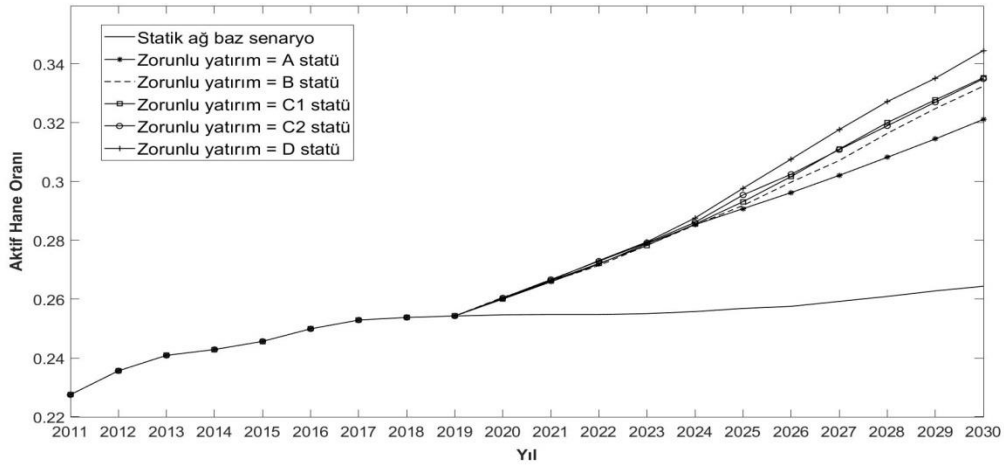


**Şekil 3.27: Dinamik Ağ Senaryo6 PV Sisteme Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

İkinci aşamada zorunlu PV sistem adaptasyon politikası hangi sosyoekonomik statüdeki hanelere uygulanmalı sorusunun cevabı aranmaktadır. Elbette ki böyle bir kamu politikasının hanelerin sosyoekonomik statüleri tespit edilerek bu statülere göre düzenlenmesi mümkün değildir. Nitekim hanelerin yerleşim yeri seçimleri ile

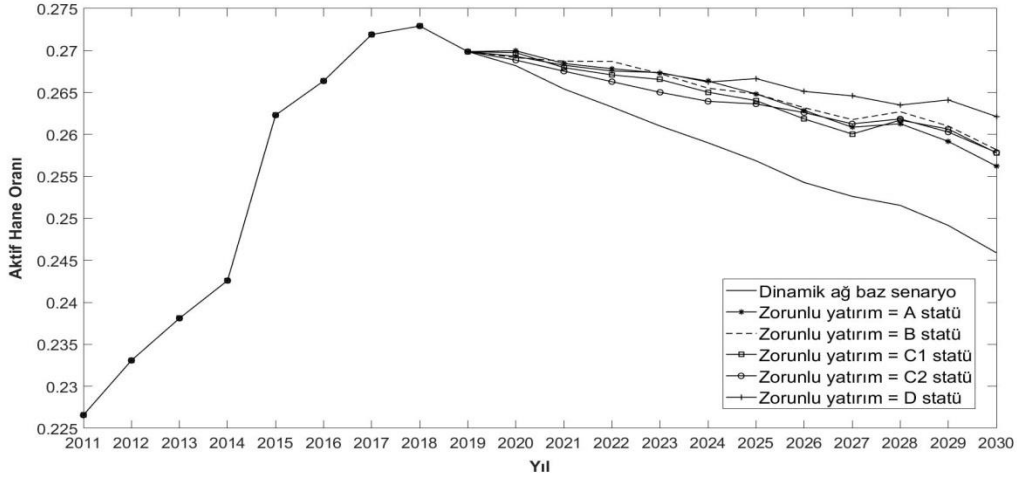
sosyoekonomik statüleri arasındaki sıkı ilişki oldukça açıktır. Dolayısıyla bu senaryoda aranan cevap zorunlu PV sistem yatırımı düzenlemesinin hangi sosyoekonomik statüye hitap eden yerleşim yerlerine uygulanması gerektiğidir.

Statik ve dinamik ağ simülasyonlarından elde edilen sonuçlara göre zorunlu PV yatırım düzenlemesi D sosyoekonomik statüdeki hanelere uygulandığında en fazla etki ortaya çıkmaktadır. Dinamik ağ yapısında D sosyoekonomik statüyü C1 ve C2 statüsü takip etmektedir. Üçüncü sırada A statü yer alırken düzenlemenin B statüye uygulanmasının en az etkiyi yarattığı görülmektedir. Her ne kadar en fazla sonuç D sosyoekonomik statüde sağlansa da böyle bir düzenlemenin uygulanmasının haneler üzerinde yaratacağı gelir eşitsizliği açısından da ayrıca değerlendirilmesi gerektiği açıktır.



**Şekil 3.28: Statik Ağ Senaryo6 Sosyoekonomik Statüye Göre Zorunlu PV Yatırım Düzenlemesi**

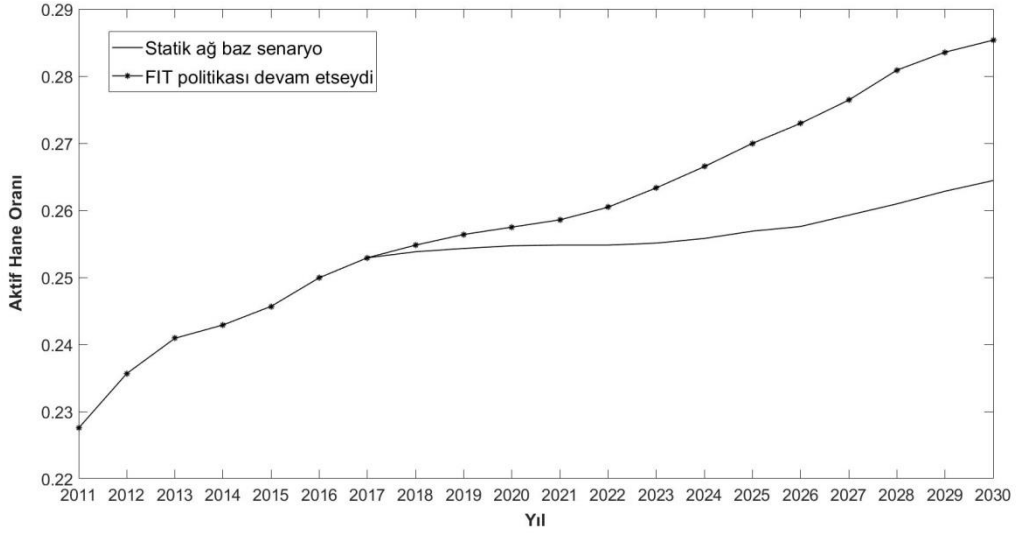
Sosyoekonomik statüde daha önce PV adaptasyonu olmayan 50 hane bulunmaması durumunda, mümkün olan sayıdaki haneye zorunlu PV adaptasyon politikasının uygulandığı kabul edilmektedir.



**Şekil 3.29: Dinamik Ağ Senaryo6 Sosyoekonomik Statüye Göre Zorunlu PV Yatırım Düzenlemesi**

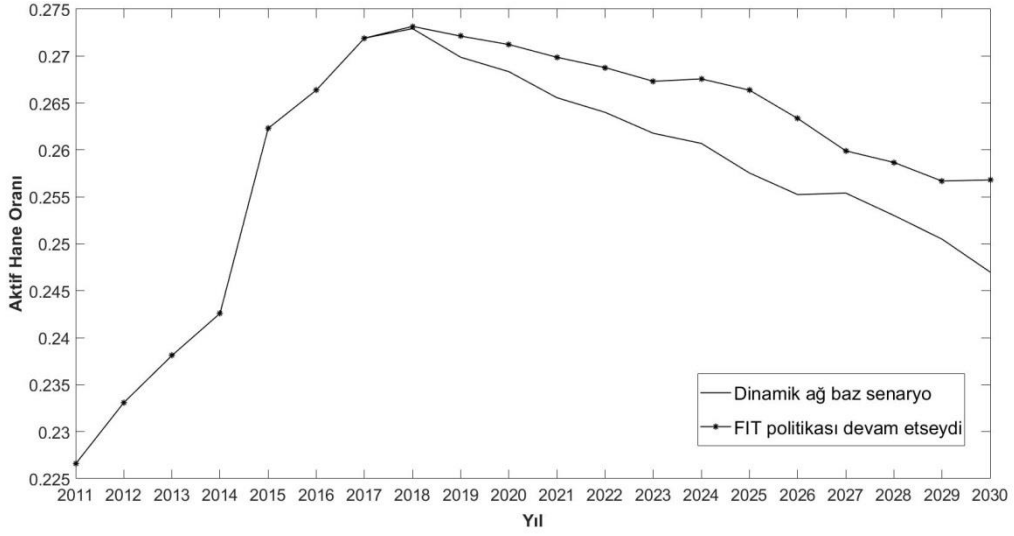
### 3.4.7. Kamu Politikaları Farklılaşması

Kamu politikalarındaki değişikliğin PV sistem adaptasyon eğrisini önemli ölçüde belirlediği görülmektedir. Statik ağ analizinde mahsuplaşma politikasına geçilmediği durumda 2030 yılında hanelerde %30'a yakın adaptasyon oranı beklenirken, politika değişikliği ile birlikte bu oranın %27 olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, 13,3 sent sabit fiyat alım tarifesinin uygulanmaya devam edildiği durumda da 2011-2019 ile 2020-2030 yılları arasındaki adaptasyon hızının farklı olduğu ve 2020-2030 yıllarında difüzyon patikasının eğiminin azaldığı dikkati çekmektedir.

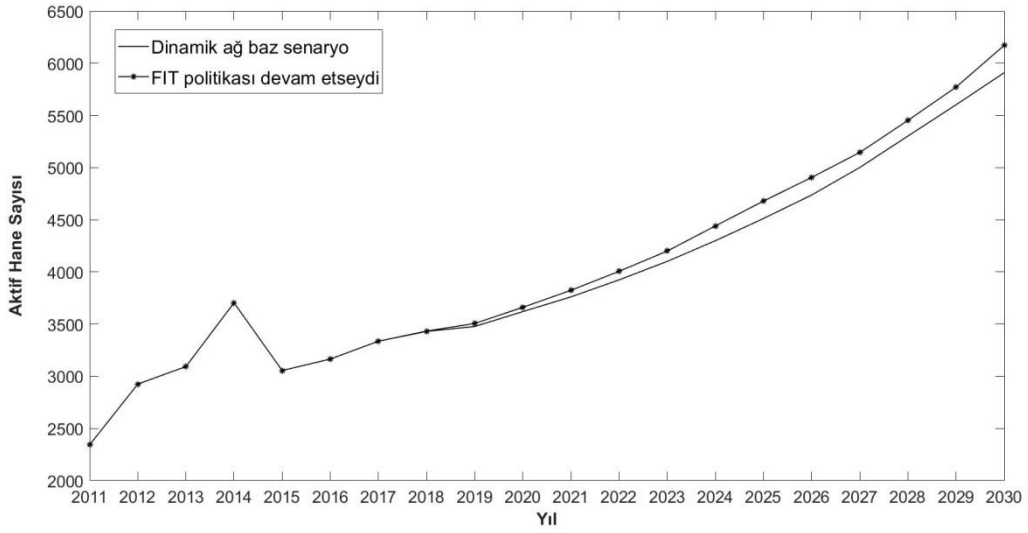


**Şekil 3.30: Statik Ağ Kamu Politikaları Karşılaştırması**

Dinamik ağ analizi simülasyonu ise statik ağda belirlenen difüzyon patikasının eğimindeki azalmayı desteklemektedir. Şekil 3.31'e göre sabit fiyat alım tarifesini uygulanmaya devam edilseydi de PV sistem adaptasyon oranlarında azalma ortaya çıkacaktı. Başka bir ifadeyle sabit fiyat alım tarifesinin devam ettirilmesi, PV sistem yatırımlarını baz senaryoya göre önemli ölçüde artırsa da hane sayısındaki artışı karşılamaya yetmediği için adaptasyon oranındaki düşüşü engelleyememektedir. Şekil 3.32'de de sabit fiyat alım tarifesinin devam ettirildiği durumda adaptasyon hızının dolayısıyla PV sisteme adapte olan toplam hane sayısının arttığı görülmektedir.



**Şekil 3.31: Dinamik Ağ Kamu Politikaları Karşılaştırması**



**Şekil 3.32: Dinamik Ağ Kamu Politikaları Karşılaştırması PV Sistemine Adaptasyon Sağlayan Toplam Hane Sayısı**

### 3.5. Simülasyon Değerlendirmesi

Türkiye’de 2011-2017 yıllarında uygulanan sabit fiyat alım tarifleri PV sistem yatırımlarının geri ödeme sürelerini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu yıllarda yatırımın ekonomik etkisi hane halkı adaptasyon kararlarında da açıkça görülmektedir. 2018 yılında uygulanmaya başlanan mahsuplaşma politikası ile birlikte PV sistem yatırımları önceki yıllarda kazandığı ivmeyi kaybetmektedir. Her ne kadar TÜİK veri setinden elde edilen 2018 yılı adaptasyon oranlarında artış devam ediyor gözükse de bunun sebebi farklıdır. 2018 yılında yapılan mevzuat değişikliği 2017 yılında tartışılmaya başlanmıştır. Daha önemlisi 2017’de onay alan ve 2018’de kurulacak olan PV yatırımları da 13,3 sent sabit fiyat alım tarifesine tabii tutulmuştur. Dolayısıyla 2018 yılında difüzyon hızı azalsa bile küçük bir artış olmasının temelinde bunlar yer almaktadır.

Statik ağ analizinde hane sayısı sabit kabul edildiği ve teknolojiye bir kere adapte olan hanenin tekrar adapte olmama durumu olmadığı için baz senaryo 2020-2030 yılları adaptasyon oranları neredeyse durağan hale gelmektedir. Uygulanan politika değişikliği ile birlikte PV sistem adaptasyon oranları sabite yaklaşmakta başka bir ifadeyle çok az sayıda hane adaptasyon kararı almaktadır.

Dinamik ağ analizi, az sayıda hanenin yeni adaptasyon kararı alması yanı sıra statik ağ analizine benzer sonuçlar üretmektedir. 2018-2019 yıllarında uygulanan mahsuplaşma politikasının düzenlenmesi sonucunda hanelerin PV sistem adaptasyonu önemli ölçüde azalsa da devam etmektedir. Nitekim hane sayısındaki artışa göre yeni adaptasyon kararı çok az olduğundan hane halkı adaptasyon oranları zamanla azalmaktadır. Bununla beraber 2011-2018 yıllarında adaptasyon eğrisinin kazandığı ivmeye erişilemediği de açık bir şekilde görülmektedir. Dinamik ağ baz senaryosu göz önünde bulundurulduğunda, statik ağ baz senaryoda adaptasyon oranında beklenen küçük de olsa artış değerinin, hane sayısının sabit olmasından kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır.

PV sistem adaptasyon oranlarının incelenmesinde kullanılan ilk yatırım maliyetleri, sabit fiyat alım tarifeleri ve faiz oranları yatırımın geri ödeme süresini belirlemektedir. Simülasyon sonuçları açıkça göstermektedir bu değişkenlerde meydana gelen nispi değişiklikler, PV sistem yatırımını teşvik etmeye yetmemektedir ve adaptasyon oranlarında önemli değişiklikler yaratmamaktadır.

Difüzyon patikasının aşağı yönlü eğiliminin kırılması ancak geri ödeme süresinin 7 yıl, 3 yıl gibi önemli ölçüde indirildiği veya 13,3 sent sabit fiyat alım tarifelerinin yeniden uygulanmaya başlandığı radikal politikalar ile mümkün olmaktadır. Nitekim bu politikalar bile 2011-2018 yıllarında kazanılan ivmeye ulaşılmasına ve yukarı yönlü difüzyon eğrilerinin elde edilmesine yetmemektedir. Kamu politikalarının farklılaştırılmadan, 13,3 sent sabit fiyat alım tarifesinin uygulandığı durumda bile her ne kadar adaptasyon oranları baz senaryonun çok üzerinde olsa dahi, difüzyon hızında azalma trendi gözlenmektedir.

PV sistem adaptasyon oranlarının artırılması ve hatta 2011-2018 yılların adaptasyon hızının aşılması ancak zorunlu PV sistem yatırımı düzenlemesi ile mümkün olmaktadır. Çalışmada yeni konut sayıları dikkate alınmamış olmakla birlikte, hane sayılarındaki artışların konut taleplerini ve yeni konut sayısını artırdığı göz önünde bulundurulursa dolaylı da olsa çıkarımlar yapmak mümkündür. Yeni konutlara PV sistem zorunluluğunun getirilmesi hem ağ dışsallıkları sayesinde iletişim faydasını artırarak eski binalardaki hanelerde de adaptasyonu sağlayacak hem de dışsal bir şok gibi difüzyon patikasının ivmesini artıracaktır.

### 3.6. Sonuç

Türkiye’de PV sistem adaptasyonu ile ekonomik fayda, çevresel fayda, iletişim faydası ve sosyal normlar arasında pozitif bir ilişki bulunurken, gelir faydası ile adaptasyon olasılığı arasında negatif bir ilişki bulunmaktadır. Fayda fonksiyonu bileşenlerinin etkileri incelendiğinde, adaptasyon kararında en belirleyici unsurun iletişim faydası olduğu görülmektedir. Dolayısıyla Türkiye’de PV sistem difüzyon patikasını şekillendiren en önemli unsur tüketiciler arasındaki etkileşim başka bir ifadeyle ağ dışsallığının bir ürünü olan tüketiciler arasındaki bilgi difüzyonudur.

Türkiye’de 2011-2017 yılları arasında uygulanan 13,3 sent sabit fiyat alım tarifesi, PV sistem adaptasyonunu önemli ölçüde hızlandırmıştır. Mahsuplaşma politikasının uygulanmasıyla PV sistem geri ödeme süreleri uzarken, yatırımın ekonomik faydası düşmektedir. Her ne kadar ‘çatı mevzuatı’ uygulaması adaptasyon oranlarını azaltmış olsa da simülasyon sonuçları 13,3 sent sabit fiyat alım tarifesinin devam ettirildiği durumda da ilerleyen yıllarda difüzyon patikasının aşağı yönlü eğiliminin engellenemediğini göstermektedir. Dolayısıyla literatürde yer alan çalışmalar PV sistem adaptasyon oranlarının artırılması için geri ödeme sürelerinin azaltılması gerektiğini savunsa da geri ödeme süresini azaltmaya yönelik politikalar adaptasyon sayısını artırırsa da Türkiye’de difüzyon patikasının pozitif ivmeli bir trende sahip olmasına yetmemektedir. Difüzyon patikasının yukarı yönlü ivmeli bir patikaya sahip olması ancak zorunlu PV sistem yatırımı düzenlemesinin uygulanması ile mümkün olmaktadır.

Türkiye’de PV sistem adaptasyon olasılığını belirleyen unsurlar göz önünde bulundurulduğunda adaptasyon oranlarının hızlı bir şekilde yükselmesini sağlamak için geri ödeme süreleri azaltılırken zorunlu PV sistem düzenlemelerinin de yapılması gerektiği açık bir şekilde görülmektedir.

## GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çalışmada elde edilen bulgulara göre, ekonomilerdeki dijital dönüşümün 2008 Büyük Resesyonu sonrasında ortaya çıkan ve önümüzdeki yıllarda devam etmesi beklenen durağanlaşma sorununa çözüm olabileceği düşünülmektedir. Dijital dönüşüm sürecinin sadece ekonomik boyutuyla değil çevresel boyutuyla da sürdürülebilir büyümeye katkı sağlaması beklenmektedir. Dijitalleşmeyle yeniden şekillenen küresel piyasalarda mevcut yerini korumak isteyen gelişmiş ülkelerin yanı sıra inovasyoncu konuma geçmek isteyen gelişmekte olan ülkelerin de hızlı bir şekilde mevcut dijital dönüşüm sürecini yakalaması gerekmektedir. Dijital teknolojilerdeki ilerlemeler ivmelenerek devam ederken bu gelişim sürecinin piyasalardaki dönüşüm etkisinin de devam etmesi beklenmektedir. Dolayısıyla mevcut teknolojik gelişmelerin yakalanmasının yanı sıra ülkelerin piyasalarda dijitalleşmeden kaynaklanması beklenen dönüşümü takip edebilecek uzun dönemli kamu politikalarının uygulanması sürdürülebilir büyüme açısından önem arz etmektedir.

Birinci makalede elde edilen bulgulara göre üretim deseninin dijitalleşmesini temsil eden robotlaşma ile ekonomik büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunurken, ikinci makalede elde edilen bulgulara göre ileri dijital teknolojiler ile inovasyon arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Dijital teknolojilerde kümülatif bir şekilde devam eden ilerlemeler ve inovasyonların eski teknolojideki yıkım etkisi göz önüne alındığında, dijital dönüşüm süreci gelişmekte olan ekonomiler için önemli bir fırsat oluşturmaktadır. Diğer taraftan birinci makaleden elde edilen bulgular, robotlaşmada aynı orandaki artışın gelişmiş ülkelerde daha fazla büyümeye yol açtığını göstermektedir. Dolayısıyla gerek nitelikli iş gücünün varlığı gerek dijital teknolojilerin verimli bir şekilde uyarlanması, gelişmiş ülkelerde dijitalleşmenin ekonomiye daha fazla katkı sunmasını sağlamaktadır.

Dijital dönüşüm sürecinin enerji bağımlılığını azaltarak da sürdürülebilir büyümeye destek olması beklenmektedir. Dijitalleşme performans artışlarından maliyet minimizasyonuna kadar pek çok farklı açıdan yenilenebilir enerji kaynaklarını avantajlı hale getirdiği için çevresel olarak da katkı sunacağı düşünülmektedir. Üçüncü makalede elde edilen bulgulara göre, PV sistemlerde geri ödeme süresinin düşmesi PV sistem kullanımını artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı arttığı için enerji bağımlılığı fosil kaynak kullanımına görece azalmaktadır. Nitekim PV sistemlerine adaptasyondaki artış, konut artışının gerisinde kaldığı için adaptasyon oranları zamanla azalmaktadır. Yenilenebilir enerji üretimindeki artışın toplumun enerji tüketimindeki artışın gerisinde kalmadan, PV sistem adaptasyon oranlarının artırılabilmesi için zorunlu PV sistem yatırımı sağlayan politikaların uygulanması gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- Acar, A., Sarı, A. C. ve Taranto, Y. (2020). *Binalarda Çatı Üstü Güneş Enerjisi Potansiyeli - Türkiye’de Çatı Üstü Güneş Enerjisi Sistemlerinin Hayata Geçmesi için Finansman Modelleri ve Politikalar*. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, Sabancı Üniversitesi.
- Acemoglu, D. ve Restrepo, P. (2020). “Robots and jobs: Evidence from US labor markets”. *Journal of Political Economy*, 128(6): 2188-2244.
- Ameli, N. ve Brandt, N. (2015). “Determinants of Households’ Investment in Energy Efficiency and Renewables: Evidence From The OECD Survey on Household Environmental Behaviour and Attitudes”. *Environmental Research Letters*, 10(4): 044015.
- Antonelli, C. (2017). “Digital knowledge generation and the appropriability trade-off”. *Telecommunications Policy*, 41(10): 991-1002.
- Arvanitis, S., Kyriakou, N. ve Loukis, E. N. (2017). “Why Do Firms Adopt Cloud Computing? A Comparative Analysis Based on South and North Europe Firm Data”. *Telematics and Informatics*, 34(7): 1322-1332.
- Autio, E. (2017). “Digitalisation, Ecosystems, Entrepreneurship and Policy. Perspectives into Topical Issues in Society and Ways to Support Political Decision Making. Government’s Analysis”. Research and Assessment Activities Policy Brief, 20/2017.
- Bal, H. (2009). “Sermaye Bütçelemesi Yatırım Kararlarında Özkaynağa Nakit Akımı Yönteminin Kullanılması ve Projeye Nakit Akımı Yöntemi ile Karşılaştırılması”. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1): 219-236.
- Ballestar, M.T., Díaz-Chao, Á., Sainz, J. ve Torrent-Sellens, J. (2020). “Knowledge, robots and productivity in SMEs: Explaining the second digital wave”. *Journal of Business Research*, 108: 119-131. DOI: [10.1016/j.jbusres.2019.11.017](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.11.017)
- Bashiri, A. ve Alizadeh, S. H. (2018). “The Analysis of Demographics, Environmental and Knowledge Factors Affecting Prospective Residential PV System Adoption: A Study in Tehran”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 3131-3139.
- Bhattacharjee, U., Goyal, R. K., Nagpal, A., Chauhan, S., Alam, S., Lise, W., ... ve Garud, S. (2018). *Turkey-Rooftop Solar Market Assessment: Summary Note* (No. 123720, pp. 1-14). The World Bank.
- Brock, W. A. ve Taylor, M. S. (2005). “Economic growth and the environment: a review of theory and empirics”. *Handbook of economic growth*, 1B: 1749-1821.

- Bugmann, G., Siegel, M. ve Burcin, R. (2011, September). A role for robotics in sustainable development?. In *IEEE Africon'11* (pp. 1-4). IEEE.
- Büyüközkan, G. ve Göçer, F. (2018). “Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research”. *Computers in Industry*, 97: 157-177.
- Cappellari, L. ve Jenkins, S. P. (2003). Multivariate probit regression using simulated maximum likelihood. *The STATA journal*, 3(3): 278-294.
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi* (Uzmanlık tezi). T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No: 2977.
- Cette, G., Devillard, A. ve Spiezia, V. (2022). “Growth factors in developed countries: A 1960–2019 growth accounting decomposition”. *Comparative Economic Studies*, 1-27.
- Cette, G., Nevoux, S. ve Py, L. (2021). “The impact of ICTs and digitalization on productivity and labor share: evidence from French firms”. *Economics of Innovation and New Technology*, 1-24.
- Chappin, E. J. ve Dijkema, G. P. (2010). “Agent-Based Modelling of Energy Infrastructure Transitions”. *International Journal of Critical Infrastructures*, 6(2): 106-130.
- Chen, K. K. (2014). “Assessing The Effects of Customer Innovativeness, Environmental Value and Ecological Lifestyles on Residential Solar Power Systems Install Intention”. *Energy Policy*, 67: 951-961.
- Compagnucci, F., Gentili, A., Valentini, E. ve Gallegati, M. (2019). “Robotization and labour dislocation in the manufacturing sectors of OECD countries: a panel VAR approach”. *Applied Economics*, 51(57): 6127-6138.
- Conference Board Total Economy Database. <https://conference-board.org/data/economydatabase/total-economy-database-productivity> Son erişim tarihi: 8 Mart 2023.
- Crane, A., Palazzo, G., Spence, L. J. ve Matten, D. (2014). “Contesting the value of “creating shared value”. *California Management Review*, 56(2): 130-153.
- Denholm, P., Margolis, R. M., Ong, S. ve Roberts, B. (2009). *Break-Even Cost for Residential Photovoltaics in The United States: Key Drivers and Sensitivities* (No. NREL/TP-6A2-46909). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- DeStefano, T., Kneller, R. ve Timmis, J. (2020). “Cloud computing and firm growth”. *CESifo Working Papers*, No: 8306.

- Dharshing, S. (2017). "Household Dynamics of Technology Adoption: A Spatial Econometric Analysis of Residential Solar Photovoltaic (PV) Systems in Germany". *Energy research & social science*, 23: 113-124.
- DiMaggio, P. (1998). "The New Institutionalisms: Avenues of Collaboration". *Journal of Institutional and Theoretical Economics (JITE)/Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, 154(4): 696-705.
- Dinçer, F. (2011). "Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme". *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 14(1): 8-17.
- Drury, E., Denholm, P. ve Margolis, R. (2011). *Impact of Different Economic Performance Metrics on The Perceived Value of Solar Photovoltaics* (No. NREL/TP-6A20-52197). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Du, L. ve Lin, W. (2022). "Does the application of industrial robots overcome the Solow paradox? Evidence from China". *Technology in Society*, 68: 101932.
- Duman, A. C. ve Güler, Ö. (2020). "Economic Analysis of Grid-Connected Residential Rooftop PV Systems in Turkey". *Renewable Energy*, 148: 697-711.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2010). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014)*. <http://www.sp.gov.tr/tr/stratejik-plan/s/269/Enerji+ve+Tabii+Kaynaklar+Bakanligi+2010-2014>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2014). *Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (Aralık 2014)*. <https://www.ebrd.com/documents/admin/trkiye-ulusal-yenileneblr-enerj-eylem-plani.pdf>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2019). *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Planı*. <http://www.sp.gov.tr/tr/stratejik-plan/s/1971/Enerji+ve+Tabii+Kaynaklar+Bakanligi+2019-2023>
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> . Son Erişim Tarihi: 16/03/2023.
- EPIA (European Photovoltaic Industry Association), (2011). *Solar Generation 6: Solar Photovoltaic Electricity Empowering The World*. European Photovoltaic Industry Association (EPIA), Brussels, Belgium. <http://www.epia.org>
- Eppstein, M. J., Grover, D. K., Marshall, J. S. ve Rizzo, D. M. (2011). "An Agent-Based Model to Study Market Penetration of Plug-In Hybrid Electric Vehicles". *Energy Policy*, 39(6): 3789-3802.

- ESP (Europe Solar Power), (2020). *Global Market Outlook for Solar Power/2020–2024*. Solar Power Europe: Brussels, Belgium. <https://www.solarpowereurope.org/global-market-outlook-2020-2024/>
- European Commission, Brussels (2020). Flash Eurobarometer 486 (SMEs, Start-ups, Scale-ups and Entrepreneurship). *GESIS Data Archive, Cologne*. ZA7637 Data file Version 2.0.0, <https://doi.org/10.4232/1.13639>.
- Fagiolo, G., Moneta, A. ve Windrum, P. (2007). “A Critical Guide to Empirical Validation Of Agent-Based Models in Economics: Methodologies, Procedures, and Open Problems”. *Computational Economics*, 30(3): 195-226.
- Farber, A., Gillet, R. L. ve Szafarz, A. (2006). “A General Formula for The WACC”. *International Journal of Business*, 11(2): 211-218.
- Faucheux, S., Muir, E. ve O'Connor, M. (1997). “Neoclassical natural capital theory and" weak" indicators for sustainability”. *Land Economics*, 73(4): 528-552.
- Ferraris, A., Mazzoleni, A., Devalle, A. ve Couturier, J. (2019). “Big Data Analytics Capabilities and Knowledge Management: Impact on Firm Performance”. *Management Decision*, 57(8): 1923-1936.
- Ferreira, J. J., Fernandes, C. I. ve Ferreira, F. A. (2019). “To Be or Not to Be Digital, That Is The Question: Firm Innovation and Performance”. *Journal of Business Research*, 101: 583-590.
- Flora, A., Özenç, B. ve Wynn, G. (2019). “Yeni Teşvikler Türkiye'nin Çatı Tipi Güneş Enerjisi Sektörünü Aydınlatıyor”. Institute for Energy Economics and Financial Analysis, [https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/12/TR\\_New-Incentives-Brighten-Turkey-Rooftop-Solar-Sector\\_December-2019.pdf](https://ieefa.org/wp-content/uploads/2019/12/TR_New-Incentives-Brighten-Turkey-Rooftop-Solar-Sector_December-2019.pdf) .
- Fu, X. M., Bao, Q., Xie, H. ve Fu, X. (2021). “Diffusion of industrial robotics and inclusive growth: Labour market evidence from cross country data”. *Journal of Business Research*, 122: 670-684.
- Garcia, R. ve Jager, W. (2011). “From The Special Issue Editors: Agent-Based Modeling of Innovation Diffusion”. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2): 148-151.
- Ghasemaghaei, M., & Calic, G. (2020). Assessing the impact of big data on firm innovation performance: Big data is not always better data. *Journal of Business Research*, 108: 147-162.
- Graetz, G. ve Michaels, G. (2018). “Robots at work”. *Review of Economics and Statistics*, 100(5): 753-768.
- Greene, W. H. (2003). *Econometric analysis*. Pearson Education, New Jersey (Fifth Edition).

- Guillemette, Y. ve Turner, D. (2021). The long game: fiscal outlooks to 2060 underline need for structural reform. OECD Economic Policy Paper 29. Paris: OECD Publishing.
- Güngül, M., Bayraç, H. N. ve Güllü, M. (2018). “Türkiye’de Konutlarda Güneş Enerjisinden Elektrik Üretiminin TOPSIS Yöntemiyle Analizi”. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(3): 133-144.
- Güzel, A. ve Cingöz, A. (2016). “Proje Değerlendirmede Yeni Bir Yaklaşım: Dinamik Ortalama Sermaye Maliyeti”. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 2(2): 31-68.
- Heyman, F., Norbäck, P. J. ve Persson, L. (2021). “Artificial Intelligence, Robotics, Work and Productivity: The Role of Firm Heterogeneity”. IFN Working Paper, No: 1382.
- Hobday, M. (2005). Firm-level innovation models: perspectives on research in developed and developing countries. *Technology analysis & strategic management*, 17(2): 121-146.
- Hsu, P. F., Kraemer, K. L., ve Dunkle, D. (2006). “Determinants of e-business use in US firms”. *International Journal of Electronic Commerce*, 10(4): 9-45.
- Iachini, V., Borghesi, A. ve Milano, M. (2015, September). “Agent Based Simulation of Incentive Mechanisms on Photovoltaic Adoption”. In *Congress of the Italian Association for Artificial Intelligence* (s. 136-148). Springer, Cham.
- IRENA, (2022). [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA\\_-\\_RE\\_Capacity\\_Highlights\\_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_-_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf?la=en&hash=6122BF5666A36BECD5AAA2050B011ECE255B3BC7) . Son Erişim Tarihi:16/03/2023.
- IRENA, 2021. Renewable Capacity Statistics 2021. <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>
- Jungmittag, A. ve Pesole, A. 2019. “The impact of robots on labour productivity: A panel data approach covering 9 industries and 12 countries”. *JRC Working papers Series on Labour, Education and Technology*, No: 2019/08.
- Kalaycıoğlu, S., Çelik, K., Çelen, Ü. ve Türkyılmaz, S. (2010). “Temsili Bir Örneklemede Sosyo-Ekonomik Statü (SES) Ölçüm Aracı Geliştirilmesi: Ankara Kent Merkezi Örneği”. *Sosyoloji Araştırmaları Dergisi*, 13(1): 182-220.
- Kimani, D., Adams, K., Attah-Boakye, R., Ullah, S., Frecknall-Hughes, J. ve Kim, J. (2020). “Blockchain, business and the fourth industrial revolution: Whence, whither, wherefore and how?” *Technological Forecasting and Social Change*, 161: 120254.

- Kong, T., Sun, R., Sun, G., ve Song, Y. (2022). “Effects of digital finance on green innovation considering information asymmetry: An empirical study based on Chinese listed firms”. *Emerging Markets Finance and Trade*, 58(15): 4399-4411.
- Korcaj, L., Hahnel, U. J. ve Spada, H. (2015). “Intentionst to Adopt Photovoltaic Systems Depend on Homeowners' Expected Personal Gains and Behavior of Peers”. *Renewable Energy*, 75: 407-415.
- Kost, C., Schlegl, T., Thomsen, J., Nold, S. ve Mayer, J. (2012). “Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien”. *Fraunhofer ISE*.
- Kromann, L., Malchow-Møller, N., Skaksen, J. R. ve Sørensen, A. (2020). “Automation and productivity—a cross-country, cross-industry comparison”. *Industrial and Corporate Change*, 29(2): 265-287.
- Kshetri, N. (2011). “Cloud Computing in the Global South: drivers, effects and policy measures”. *Third World Quarterly*, 32(6): 997-1014.
- Kwan, C. L. (2012). “Influence of Local Environmental, Social, Economic and Political Variables on The Spatial Distribution of Residential Solar PV Arrays Across The United States”. *Energy Policy*, 47: 332-344.
- Lanzafame, M. (2021). “Demography, growth and r owth and robots in adv obots in advanced and emer anced and emerging economies”. Fondazione Eni Enrico Mattei Working Papers.
- Léger, A., & Swaminathan, S. (2007). *Innovation theories: Relevance and implications for developing country innovation* (No. 743). DIW Discussion Papers.
- Li, Y., Zhang, Y., Pan, A., Han, M. ve Veglianti, E. (2022). “Carbon emission reduction effects of industrial robot applications: heterogeneity characteristics and influencing mechanisms”. *Technology in Society*, 70: 102034.
- Liu, J., Ren, L., Chu, X. ve Gong, D. (2020). “The effects of robots on the long-run economic growth”. *Tehnički vjesnik*, 27(1): 73-80.
- Ma, T. ve Nakamori, Y. (2009). “Modeling Technological Change in Energy Systems—From Optimization to Agent-Based Modeling”. *Energy*, 34(7): 873-879.
- McCoy, D. ve Lyons, S. (2014). “Consumer Preferences and The Influence of Networks in Electric Vehicle Diffusion: An Agent-Based Microsimulation in Ireland”. *Energy Research & Social Science*, 3: 89-101.
- Meade, N. ve Islam, T. (2006). “Modelling and Forecasting The Diffusion of Innovation—A 25-Year Review”. *International Journal of Forecasting*, 22(3): 519-545.
- Merkez Bankası, (2021). <https://evds2.tcmb.gov.tr/>

- Mian, M. A. ve Vélez-Pareja, I. (2008). “Applicability of The Classic WACC Concept in Practice”. *Latin American Business Review*, 8(2): 19-40.
- Modis, T. (2007). “Strengths and Weaknesses of S-Curves”. *Technological Forecasting & Social Change*, 74(6): 866-872.
- Muhammad-Sukki, F., Abu-Bakar, S. H., Munir, A. B., Yasin, S. H. M., Ramirez-Iniguez, R., McMeekin, S. G., ... ve Tahar, R. M. (2014). “Feed-In Tariff for Solar Photovoltaic: The Rise of Japan”. *Renewable Energy*, 68: 636-643.
- Müller, C. (2022). World Robotics 2022 – Industrial Robots. IFR Statistical Department, VDMA Services GmbH, Frankfurt am Main, Germany.
- Müller, O., Fay, M. ve Vom Brocke, J. (2018). “The Effect of Big Data and Analytics on Firm Performance: An Econometric Analysis Considering Industry Characteristics”. *Journal of Management Information Systems*, 35(2): 488-509.
- Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). “The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes”. *Research Policy*, 48(8): 103773.
- Niebel, T. (2018). “ICT and economic growth—Comparing developing, emerging and developed countries”. *World Development*, 104: 197-211.
- Niebel, T., Rasel, F., & Viete, S. (2019). “BIG data—BIG gains? Understanding the link between big data analytics and innovation”. *Economics of Innovation and New Technology*, 28(3): 296-316.
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Alt, J. ve North, D. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge.
- Olabi, A. G., Abdelkarem, M. A. ve Jouhara, H. (2023). “Energy Digitalization: Main categories, Applications, Merits and Barriers”. *Energy*, 271: 126899.
- Owid (Our World in Data). <https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity> (Erişim tarihi: 18/03/2021).
- Owida (Our World in Data). <https://ourworldindata.org/renewable-energy> (Erişim tarihi: 04/06/2021).
- Palmer, J., Sorda, G. ve Madlener, R. (2015). “Modeling The Diffusion of Residential Photovoltaic Systems in Italy: An Agent-Based Simulation”. *Technological Forecasting and Social Change*, 99: 106-131.
- Park, C. Y., Shin, K. ve Kikkawa, A. (2021). “Aging, automation, and productivity in Korea”. *Journal of the Japanese and International Economies*, 59: 101109.

- Pearce, P. ve Slade, R. (2018). “Feed-In Tariffs For Solar Microgeneration: Policy Evaluation and Capacity Projections Using A Realistic Agent-Based Model”. *Energy Policy*, 116: 95-111.
- Pesaran, M. H. (2015). “Testing weak cross-sectional dependence in large panels”. *Econometric reviews*, 34(6-10): 1089-1117.
- Phillips, F. (2007). “On S-Curves and Tipping Points”. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(6): 715-730.
- Plötz, P., Gnan, T. ve Wietschel, M. (2014). “Modelling Market Diffusion of Electric Vehicles with Real World Driving Data—Part I: Model Structure and Validation”. *Ecological Economics*, 107: 411-421.
- Porter, M. ve Kramer, M. (2011). “Creating Shared Value”. *Harvard Business Review*, 89 (1/2): 62-77.
- Qiulin, C., Duo, X. ve Yi, Z. (2019). “AI's Effects on Economic Growth in Aging Society: Induced Innovation and Labor Supplemental Substitution”. *China Economist*, 14(5): 54-66.
- Rahut, D.B., Behera, B. ve Ali, A. (2017). “Factors Determining Household Use of Clean and Renewable Energy Sources for Lighting in Sub-Saharan Africa”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72: 661-672.
- Rai, V. ve McAndrews, K. (2012, May). “Decision-Making and Behavior Change in Residential Adopters of Solar PV”. *Proceedings of the World Renewable Energy Forum*.
- Rai, V. ve Robinson, S. A. (2015). “Agent-Based Modeling of Energy Technology Adoption: Empirical Integration of Social, Behavioral, Economic, and Environmental Factors”. *Environmental Modelling & Software*, 70: 163-177.
- Rammer, C., Czarnitzki, D. ve Fernández, G. P. (2021). “Artificial Intelligence and Industrial Innovation: Evidence from Firm-Level Data”. *ZEW-Centre for European Economic Research Discussion Paper*, (21-036).
- Remes, J., Mischke, J. ve Krishnan, M. (2018). “Solving the Productivity Puzzle: The Role of Demand and the Promise of Digitization”. *International Productivity Monitor*, 35: 28-51.
- Rennings, K. (2000). “Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics”. *Ecological economics*, 32(2): 319-332.
- Rogers, E., 2003. *Diffusion of Innovations (3th edition)*. USA: The Free Press.
- Schreinemachers, P., Berger, T., Sirijinda, A. ve Praneetvatakul, S. (2009). “The Diffusion of Greenhouse Agriculture in Northern Thailand: Combining

Econometrics and Agent-Based Modeling”. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 57(4): 513-536.

Shafiei, E., Thorkelsson, H., Ásgeirsson, E. I., Davidsdottir, B., Raberto, M. ve Stefansson, H. (2012). “An Agent-Based Modeling Approach to Predict The Evolution of Market Share of Electric Vehicles: A Case Study From Iceland”. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(9): 1638-1653.

Sow, A., Mehrtash, M., Rouse, D. R. ve Haillet, D. (2019). “Economic Analysis of Residential Solar Photovoltaic Electricity Production in Canada”. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 33: 83-94.

Stavrakas, V., Papadelis, S. ve Flamos, A. (2019). “An Agent-Based Model to Simulate Technology Adoption Quantifying Behavioural Uncertainty of Consumers”. *Applied Energy*, 255: 113795.

Sternberg, R. ve Arndt, O. (2001). “The firm or the region: what determines the innovation behavior of European firms?”. *Economic geography*, 77(4): 364-382.

Sun, Y. W., Hof, A., Wang, R., Liu, J., Lin, Y. J. ve Yang, D. W. (2013). “GIS-Based Approach for Potential Analysis of Solar PV Generation at The Regional Scale: A Case Study of Fujian Province”. *Energy Policy*, 58: 248-259.

Tran, M. (2012). “Agent-Behaviour and Network Influence on Energy Innovation Diffusion”. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 17(9): 3682-3695.

TÜİK (2020), Hanehalkı Bütçe İstatistikleri Mikro Veri Seti, <https://www.turkiye.gov.tr/tuik-mikro-veri-talep-uygulamas-3399>

Van Ark, B. (2015). “Productivity and digitization in Europe: Paving the road to faster growth”. *Digiworld Economic Journal*, 100: 107-124.

Van Benthem, A., Gillingham, K. ve Sweeney, J. (2008). “Learning-By-Doing and The Optimal Solar Policy in California”. *The Energy Journal*, 29(3).

Van der Kam, M. J., Meelen, A. A. H., Van Sark, W. G. J. H. M. ve Alkemade, F. (2018). “Diffusion of Solar Photovoltaic Systems and Electric Vehicles among Dutch Consumers: Implications for The Energy Transition”. *Energy Research and Social Science*, 46: 68-85.

Zhai, P. ve Williams, E. D. (2012). “Analyzing Consumer Acceptance of Photovoltaics (PV) Using Fuzzy Logic Model”. *Renewable Energy*, 41: 350-357.

Zhao, J., Mazhari, E., Celik, N. ve Son, Y. J. (2011). “Hybrid Agent-Based Simulation for Policy Evaluation of Solar Power Generation Systems”. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(10): 2189-2205.

## ÖZET

Sürdürülebilir büyüme, araştırmacılar ve kurumlar tarafından birbirinden farklı şekillerde tanımlansa da bu tanımlar ekonomik ve çevresel olmak üzere iki temel çerçeveye sahiptir. Başlangıçta sürdürülebilir büyümenin ekonomik boyutu üzerinde durulmasına karşın, İkinci Dünya Savaşı sonrası üretim yapısındaki hızlı makineleşmeden kaynaklanan çevresel etkilerin 1970'li yıllarda ortaya çıkmasıyla çevresel boyutu ön plana çıkmıştır. Bu tez çalışmasında sürdürülebilir büyüme ekonomik ve çevresel boyutuyla ele alınmaktadır.

2008 Büyük Resesyonu'ndan sonra büyüme oranlarındaki artışlar azalma trendine girmiştir. Özellikle yirmi birinci yüzyılda bilgisayar ve bilişim teknolojilerindeki gelişmeler yeni bir boyuta evrilirken ekonomilerin dijital dönüşümünün durağanlaşma sorununa çözüm olabileceği düşünülmektedir. Tezin birinci makalesinde üretim deseninin dijitalleşmesini temsil eden robotlaşma ile büyüme arasındaki ilişki araştırılmaktadır. Gelir grubuna bakılmaksızın robotlaşma ile büyüme arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Bununla birlikte yüksek-orta gelir grubu ülkelerde robotlaşmadan kaynaklanan büyüme, yüksek gelir grubu ülkelere daha fazladır.

Sürdürülebilir büyümedeki temel itici güçlerin başında inovasyon yer almaktadır. İkinci makalede ileri dijital teknolojiler ile inovasyon arasındaki ilişki incelenmektedir. İleri dijital teknolojilere adaptasyon ile inovasyon arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Dijital teknolojiler içerisinde ise yapay zekâ, bulut bilişim, büyük veri ve akıllı cihazlar teknolojileri ön plana çıkmaktadır.

Ekonomilerin dijital dönüşümü enerji sektörünü de yapısal olarak değiştirirken yenilenebilir enerji kaynaklarının ileride daha cazip bir alternatif olmasını vaat

etmektedir. Diğer yandan artan Dünya nüfusuyla birlikte enerji ihtiyacı artarken, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Rusya-Ukrayna savaşı gibi gelişmeler ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek enerji bağımlılığını azaltacak politikaları uygulamasına zemin hazırlamaktadır. Üçüncü makalede Türkiye’de fotovoltaik (PV) sistem adaptasyonu ele alınarak güneş enerjisine geçişte alternatif politikalar analiz edilmektedir. Türkiye’de PV sistem adaptasyon oranlarının hızlı bir şekilde yükselmesini sağlamak için geri ödeme süreleri azaltılırken zorunlu PV sistem düzenlemelerinin de yapılması gerekmektedir.



## ABSTRACT

Sustainable growth, although defined in various ways by researchers and institutions, has two main frameworks: economic and environmental. Initially, the focus was on the economic dimension of sustainable growth, but the environmental impacts arising from rapid mechanization in the production structure after World War II became prominent in the 1970s. Sustainable growth is examined in both its economic and environmental dimensions in this thesis.

After the 2008 Great Recession, growth rates began to decline. Particularly in the twenty-first century, as advancements in computer and information technologies evolve to a new level, it is believed that the digital transformation of economies could solve the problem of stagnation. In the first article of the thesis, the relationship between robotization, representing the digitalization of the production pattern, and growth is investigated. A positive correlation between robotization and growth is found regardless of income group. However, growth resulting from robotization is higher in upper-middle-income countries than in high-income countries.

Innovation is at the forefront of the main driving forces in sustainable growth. The relationship between advanced digital technologies and innovation is examined in the second article. There is a significant relationship between the adoption of advanced digital technologies and innovation. Artificial intelligence, cloud computing, big data, and smart devices are emerging technologies among digital technologies.

The digital transformation of economies is also changing the energy sector structurally, promising that renewable energy sources will become a more attractive alternative in the future. On the other hand, with the increasing world population, the energy demand is growing, while developments such as the European Green Deal and the Russia-Ukraine war pave the way for countries to implement policies that reduce energy

dependency by turning to renewable energy sources. The adoption of photovoltaic (PV) systems in Turkey is examined, and alternative policies for transitioning to solar energy are analyzed in the third article. To rapidly increase PV system adoption rates in Turkey, repayment periods must be reduced, and mandatory PV system regulations must also be implemented.

