

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**FARKLI PİYASA YAPILARININ ELEKTRİK PİYASASINA
ETKİSİ**

**Hazırlayan
Hakkı Can Ergün**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra Selçuklu**

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2024
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**FARKLI PİYASA YAPILARININ ELEKTRİK PİYASASINA
ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Hakkı Can Ergün**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra Selçuklu**

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından ARDEB 3501 programında 222M440 numaralı ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FHD-2024-13745 kodlu proje ile desteklenmiştir.

**Kasım 2024
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hakkı Can Ergün



“Farklı Piyasa Yapılarının Elektrik Piyasasına Etkisi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Hakkı Can Ergün

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra Selçuklu

Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Gamze GENÇ

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra Selçuklu danışmanlığında **Hakkı Can Ergün** tarafından hazırlanan “**Farklı Piyasa Yapılarının Elektrik Piyasasına Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

04/11/2024

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra Selçuklu

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Erhan Muğaloğlu

Üye : Doç. Dr. Üyesi Sibel Arslan

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince desteğini ve fedakârlığını sağlayan, kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra Selçuklu'ya ve bugünlere gelmemde emeği bulunan akademisyen hocalarıma teşekkür ederim.

Bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan maddi manevi emeklerini benden esirgemeyen, dürüstlüğün başarından önce geldiğini ve bilginin önemini bana aşıl原因an değerli babam Orhan Ergün'e, sevgisini ve duasını hep benimle tutan değerli annem Sibel Ergün'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca, lisans eğitiminden itibaren birlikte çalışmaya başladığımız the EMGame ekip arkadaşlarıma fedakârlıkları ve destekleri için teşekkür ediyorum.

Hakkı Can Ergün

Kasım 2024, KAYSERİ

ÖNSÖZ

Elektrik piyasaları, günümüz enerji sistemlerinde rekabeti teşvik ederek, verimliliği artırarak ve yatırımları çekerek kritik bir rol oynar. Ticari faaliyetlerin kârlılığı ve sürdürülebilirliği için en uygun elektrik piyasası yapısını belirlemek ve bu yapının hem üreticilerin hem de tüketicilerin çıkarlarını nasıl dengelediğini anlamak esastır. Bu çalışmada, farklı piyasa yapılarının elektrik piyasalarındaki etkinliği ve bunların fiyatlar ve piyasa şeffaflığı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Günlük elektrik piyasalarının merkezinde, arz ve talebin dengelendiği kritik bir metrik olan Piyasa Takas Fiyatı (PTF) yer almaktadır. Toptan piyasa takası süreciyle belirlenen PTF, toplam elektrik arzının talebi karşıladığı fiyatı yansıtır ve genellikle saatlik bazda belirlenir. Üreticiler, sağladıkları elektrik için PTF üzerinden ödeme alırlar ve kullanıcılar tükettikleri elektrik için karşılık gelen maliyetlere katlanırlar. Alıcı ve satıcı fazlalıklarının kesiştiği nokta PTF'dir. PTF, arz ve talebin dengelenmesi, fiyatlandırma mekanizmalarının yönlendirilmesi, piyasa faaliyetlerinin yönetilmesi ve yatırım kararlarının etkilenmesi açısından önemlidir. Genel itibarıyla, dünya genelinde en çok kullanılan iki farklı piyasa mekanizması vardır ve bunlar Uniform Fiyatlama (UF) ve Teklif Kadar Öde (TKÖ) mekanizmalarıdır. Elektrik piyasalarında en çok uygulanan yapı olan UF'de, ihaleyi kazanan tüm teklif sahiplerine kabul edilen en yüksek teklif olan piyasa takas fiyatı üzerinden ödeme yapılırken, TKÖ fiyatlandırma kuralında her bir teklif sahibine kendi teklif fiyatı üzerinden ödeme yapılır. Belirtilen kuralların her birinin ekonomik kriterler açısından avantaj ve dezavantajları vardır, ödeme verimliliği, arz ve talep dengesi gibi açılardan farklılık gösterebilirler.

Elektrik piyasalarının karmaşık doğası nedeniyle, bu sistemi anlamak hem piyasa katılımcıları hem de bu alandaki paydaşlar için zordur. Bu nedenle, elektrik piyasa yapısının içinde bulunan konjonktüre göre yani kullanılacak enerji türü, ekonomik ve yönetsel kurallar gibi etkenlere göre belirlenmesi önemlidir. Elektrik piyasalarını analiz etmek için kullanılan simülasyon yapısı, EMGame platformu tarafından sağlanmaktadır. Bu platform, katılımcıların stratejilerini test etmelerine olanak tanıyan iki farklı piyasa mekanizmasını, TKÖ ve UF, kapsamaktadır. Elektrik piyasası paydaşları, düzenleyici kurumlar ve politika yapımcılar için değerli bilgiler ve analizler sunulmaktadır.

Çalışma, enerji sektöründe karşılaşılan zorlukları daha iyi anlamak ve piyasaların daha etkin kullanımı ve yönetimi için gerekli bilgileri sunmaktadır.



FARKLI PİYASA YAPILARININ ELEKTRİK PİYASASINA ETKİSİ

Hakkı Can ERGÜN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2024
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Saltuk Buğra SELÇUKLU

ÖZET

Elektrik enerjisinin kesinti olmadan, kabul edilebilir bir fiyat ile verimli şekilde dağıtımını sürdürülebilirlik ve toplumsal refah açısından önem taşımaktadır. Bunun en iyi şekilde sağlanabilmesi için de elektrik piyasa yapıları kullanılmaktadır. Elektrik piyasaları, rekabeti teşvik ederek, verimliliği artırarak ve yatırımları çekerek enerji sistemlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Serbest ve rekabete dayalı bir sistem ile üretim çeşitliliği, piyasadaki üretici sayısında artış, kapasite yeterliliği ve birim fiyatta verimlilik sağlanabilme olasılığı artmaktadır. Ticari faaliyetlerin kârlılığı ve sürdürülebilirliği için önemli olan unsurlardan biri de hangi elektrik piyasa yapısının daha uygun olduğudur. Elektrik piyasalarında genel olarak iki tip ihale yapısı kullanılmaktadır: Uniform Fiyatlandırma (UF) ve Teklif Kadar Öde (TKÖ) mekanizmalarıdır.

Bu tezin amacı, elektrik piyasalarında kullanılmakta olan farklı piyasa yapılarının elektrik piyasalarının işleyişine, verimliliğine, sürdürülebilirliğine ve katılımcıların etkileşimlerine etkilerini incelemektir. Elektrik piyasalarını analiz etmek için kullanılan veriler, benzetim ile öğrenme için tasarlanmış bir elektrik ticareti oyunu olan EMGame platformu tarafından sağlanmıştır. The EMGame, TKÖ ve UF olmak üzere iki farklı piyasa mekanizmasını kapsamakta ve katılımcıların stratejilerini bu mekanizmalar altında test etmelerine olanak sağlamaktadır. EMGame platformu aracılığıyla, katılımcılar yenilenebilir enerji ve fosil yakıt santrallerinin karışımını içeren çeşitli senaryoları deneyimleme şansına sahiptir. EMGame platformu Erciyes Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde çeşitli lisans ve yüksek lisans derslerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, EMGame kullanılarak, iki farklı mekanizmayı, 10 farklı enerji kaynağını ve

üç farklı senaryoyu kapsayan 12 farklı oyundan elde edilen veriler analiz edilmiştir. Kullanılan veri seti, literatürde kullanılmış insan temelli deneysel veri setlerine kıyasla daha zengindir ve çeşitli ve derinlemesine inceleme imkânı sunmaktadır.

Çalışmada, UF ve TKÖ mekanizmalarının elektrik piyasası üzerindeki etkileri insan temelli bir çalışma ile sunulmuş ve elektrik piyasalarının daha gerçekçi bir karşılaştırması sağlanarak literatüre katkı verilmeye çalışılmıştır. Her iki piyasa yapısı da enerji kaynaklarının piyasadaki etkileri ve arz stratejileri açısından farklı avantajlar ve dezavantajlar sunmuştur. Araştırma, piyasa yapısı ve enerji türü seçiminin piyasa katılımcılarının kararları, piyasa verimliliği ve rekabet üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. UF mekanizması daha şeffaf ve az rekabetçi bir piyasa sağlarken, TKÖ mekanizması stratejik davranışlara karşı duyarlılık göstermekte ve rekabetçi bir piyasa ortamı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Piyasa Yapıları, Piyasa Analizi, Piyasa Takas Fiyatı, Uniform Fiyatlama, Teklif Kadar Öde

THE EFFECT OF DIFFERENT MARKET STRUCTURES ON THE ELECTRICITY MARKET

Hakkı Can ERGÜN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, November 2024

Advisor: Asst. Prof. Saltuk Buğra SELÇUKLU

ABSTRACT

The uninterrupted, affordable, and efficient distribution of electricity is crucial for sustainability and societal well-being. For this to be achieved optimally, electricity market structures are utilized. Electricity markets play a critical role in energy systems by promoting competition, increasing efficiency, and attracting investments. A liberalized and competitive system increases the likelihood of achieving production diversity, a higher number of producers in the market, capacity adequacy, and unit price efficiency. One of the essential factors for the profitability and sustainability of commercial activities is determining the most suitable electricity market structure. In electricity markets, there are generally two types of auction structures used, namely, Uniform Pricing (UP) and Pay-as-Bid (PAB) mechanisms.

This thesis aims to examine the effects of different market structures used in electricity markets on the functioning, efficiency, and sustainability of these markets, and the interactions among participants. The data used to analyze electricity markets are provided by the EMGame platform, an electricity trading game designed for simulation-based learning. The EMGame encompasses two different market mechanisms, PAB and UP, and allows participants to test their strategies under these mechanisms. Through the EMGame platform, participants can experience various scenarios involving a mix of renewable energy and fossil fuel power plants. The EMGame platform is used in various undergraduate and graduate courses at the Department of Energy Systems Engineering, Erciyes University. In this study, using the EMGame, data obtained from 12 different games covering two different mechanisms, 10 different energy sources, and three different scenarios were analyzed. The data set used is richer and provides a more

comprehensive and in-depth examination compared to human-based experimental data sets used in the literature.

The study presents the effects of the UP and PAB mechanisms on the electricity market through a human-based study and aims to contribute to the literature by providing a more realistic comparison of electricity markets. Both market structures offered different advantages and disadvantages in terms of the impact of energy resources in the market and supply strategies. The research demonstrates that the choice of market structure and type of energy significantly influences market participants' decisions, market efficiency, and competition.

Keywords: Electricity Market Structures, Market Analysis, Market Clearing Price, Uniform Pricing, Pay-as-Bid

İÇİNDEKİLER

FARKLI PİYASA YAPILARININ ELEKTRİK PİYASASINA ETKİSİ

YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
1. BÖLÜM.....	19
GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	19
1.1 Giriş	19
1.2 Genel Bilgiler	22
1.3 Amaç ve Gerekçe.....	26
1.4 Hedefler	27
1.5 Konu ve Kapsam	27
1.6 Literatür	27
2. BÖLÜM.....	31
YÖNTEM VE TEKNİKLER.....	31
2.1 Elektrik Piyasası Simülasyon Oyunu (EMGame) Platform Yapısı.....	31
2.2. Platformda Kullanılan Hesaplamalar	37
2.3. Veri Seti.....	42
2.4 Piyasa Takas Fiyatı	43

2.5 Herfindahl-Hirschman İndeks (HHI)	43
2.6 Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi.....	44
2.7 Teklif Kar Marjı (TKM)	45
3. BÖLÜM.....	47
BULGULAR.....	47
3.1 Piyasa Takas Fiyatı İncelemesi	47
3.2 Bütçe ve Arz-Talep İncelemesi.....	49
3.3 Herfindahl-Hirschman İndeks (HHI) İncelemesi	39
3.4 Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi İncelemesi.....	40
3.5 Teklif Kar Marjı (TKM) İncelemesi	44
4. BÖLÜM.....	50
SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	50
4.1. Sonuç	50
4.2. Tartışma ve Öneriler	53
DESTEKLER	55
ÖZGEÇMİŞ.....	56
KAYNAKÇA	58

KISALTMALAR

ÇEAŞ	: Çukurova Elektrik A.Ş
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİEİ	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPS	: Elektrik Piyasası Oyunu
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
GİP	: Gün İçi Piyasası
GÖP	: Gün Öncesi Piyasası
GW	: Gigawatts
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı'nın
İSİ	: İletim Sistemi İşletmecisi
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
MTA	: Maden Tetkik Arama
MW	: Megawatt
MYTM	: Gün Öncesi Piyasası ile Sistem İşletmecisi
ÖTM	: Özne Temelli (Tabanlı) Model
SQL	: Structured Query Language
TEAŞ	: Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TETAS	: Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
TEMMAS	: The Electricity Market Multi-Agent Simulator
TEP	: Toptan Elektrik Piyasası

AMES	: Elektrik Sistemlerin Özne Tabanlı Modellenmesi
MASCEM	: Multiagent System that Simulates Competitive Electricity Markets
FERC	: ABD Federal Enerji Düzenleme Komisyonu
SEPIA	: Simulator for Electric Power Industry Agents
EMCAS	: Electricity Markets Complex Adaptive Systems
STEMS-RT	: Multi-Agent Simulator for Spot Electricity Markets
NEMSIM	:Agent Based Simulation for Australia's National Electricity Market
ABSM	:Agent Based Simulation Model
ÖTB	: Özne Tabanlı Benzetim
ÖTS	: Özne Tabanlı Simülasyon
ÖTMS	: Özne Tabanlı Modelleme Simülasyon
GÖP	: Gün Öncesi Piyasası
MUMB	: Multi Unit Multiple Bid
TKÖ	: Teklif Kadar Öde
UF	: Uniform Fiyatlama
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı
MCP	: Market Clearing Price
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
TWh	: Teravat saat
KWh	: Kilovat saat
MW	: Megavat
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
RES	: Rüzgâr Enerjisi Santrali
HES	: Hidro Elektrik Santrali
BES	: Biyokütle Santralleri

CCGT	: Kombine Çevrim Gaz Türbini
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
LP	: Doğrusal Programlama
MILP:	: Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama
GENCOS	: Generation Companies
ÜŞ	: Üretim Şirketleri
EÜŞ	: Enerji Üretim Şirketleri
RPS:	: Yenilenebilir Portföy Standartları
YTBS	: Yük Tevzi Bilgi Sistemi
ORM	: Object Relational Mapping
HHI	: Herfindahl-Hirschman İndeks
DOJ	: Yatay Birleşme Kılavuzu
APT	: Arz Payı Tahlili
BM	: Bidding Markup
TKM	: Teklif Kar Marjı
MM	: Marjinal Maliyet
TM	: Toplam Maliyet
M	: Miktar
MR	:Marj Oranı

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1 Farklı Elektrik Piyasası Mekanizmalarının Etkilerine İlişkin Çalışmalar	26
Tablo 2 Oyun Türleri	43
Tablo 3 Her oyunun her bir periyoduna ait Herfindahl-Hirschman İndeksi (HHI)	39
Tablo 4 Oyunlar için Teklif Kar Marjı, Marj Oranları ve Santral Tipleri.....	47



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1 Piyasa Takas Fiyatı	20
Şekil 2 Ülkemizin enerji sektörünün kurumsal yapılanmasının gelişimi.....	25
Şekil 3 The EMGame Versiyonları ve Geliştirilmesi	33
Şekil 4 Simülasyon Yapısı	34
Şekil 5 Simülasyon Oyun Platformu.....	36
Şekil 6 İlk gruba ait FMCP ve FPAB oyunlarının PTF karşılaştırması.....	49
Şekil 7 İkinci gruba ait FMCP-2 ve FPAB-2 oyunlarının PTF karşılaştırması	49
Şekil 8 İlk gruba ait RMCP ve RPAB oyunlarının PTF karşılaştırması.....	49
Şekil 9 İkinci gruba ait RMCP-2 ve RPAB-2 oyunlarının PTF karşılaştırması	49
Şekil 10 İlk gruba ait RFMCP ve RFPAB oyunlarının PTF karşılaştırması	49
Şekil 11 İkinci gruba ait RFPAB-2 ve RFPAB-3 oyunlarının PTF Karşılaştırması.....	49
Şekil 12 Bütçe kutu (boxplot) grafiği.....	30
Şekil 13 RMCP oyununun teklif kutusu grafiği.....	31
Şekil 14 RMCP oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	31
Şekil 15 RPAB oyununun teklif kutusu grafiği	31
Şekil 16 RPAB oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	32
Şekil 17 RMCP-2 oyununun teklif kutusu grafiği	32
Şekil 18 RMCP-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	32
Şekil 19 RPAB-2 oyununun teklif kutusu grafiği.....	33
Şekil 20 RPAB-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği.....	33
Şekil 21 FMCP oyununun teklif kutusu grafiği	33
Şekil 22 FMCP oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	34
Şekil 23 FPAB oyununun teklif kutusu grafiği.....	34
Şekil 24 FPAB oyununun Arz-Talep-MCP grafiği.....	34
Şekil 25 FMCP-2 oyununun teklif kutusu grafiği.....	35
Şekil 26 FMCP-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği.....	35
Şekil 27 FPAB-2 oyununun teklif kutusu grafiği	35
Şekil 28 FPAB-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	36
Şekil 29 RFMCP oyununun teklif kutusu grafiği	36
Şekil 30 RFMCP oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	36

Şekil 31 RFPAB oyununun teklif kutusu grafiği	37
Şekil 32 RFPAB oyununun Arz-Talep-MCP grafiği	37
Şekil 33 RFPAB-2 oyununun teklif kutusu grafiği.....	37
Şekil 34 RFPAB-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği.....	38
Şekil 35 RFPAB-3 oyununun teklif kutusu grafiği.....	38
Şekil 36 RFPAB-3 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği.....	38
Şekil 37 RMCP için Arz Payı Tahlili.....	40
Şekil 38 RPAB için Arz Payı Tahlili	41
Şekil 39 FMCP için Arz Payı Tahlili	41
Şekil 40 FPAB için Arz Payı Tahlili.....	41
Şekil 41 RFMCP için Arz Payı Tahlili	42
Şekil 42 RFPAB için Arz Payı Tahlili	42
Şekil 43 RMCP-2 için Arz Payı Tahlili	42
Şekil 44 RPAB-2 için Arz Payı Tahlili.....	43
Şekil 45 FMCP-2 için Arz Payı Tahlili.....	43
Şekil 46 FPAB-2 için Arz Payı Tahlili	43
Şekil 47 RFPAB-2 için Arz Payı Tahlili.....	44
Şekil 48 RFPAB-3 için Arz Payı Tahlili.....	44
Şekil 49 RMCP için Teklif Kar Marjı.....	48
Şekil 50 RMCP-2 için Teklif Kar Marjı	48
Şekil 51 FMCP için Teklif Kar Marjı	48
Şekil 52 FMCP-2 için Teklif Kar Marjı.....	48
Şekil 53 RPAB için Teklif Kar Marjı	49
Şekil 54 RPAB-2 için Teklif Kar Marjı	49
Şekil 55 FPAB için Teklif Kar Marjı.....	49
Şekil 56 FPAB-2 için Teklif Kar Marjı	49
Şekil 57 RFPAB için Teklif Kar Marjı	49
Şekil 58 RFPAB-2 için Teklif Kar Marjı.....	49
Şekil 59 RFPAB-3 için Teklif Kar Marjı.....	49
Şekil 60 RFMCP için Teklif Kar Marjı	49

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

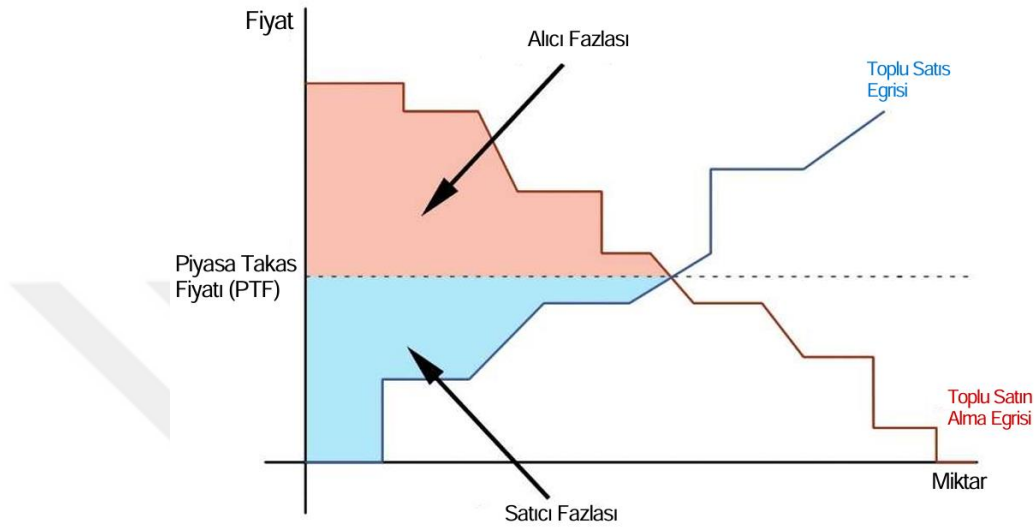
1.1 Giriş

Elektrik üreticilerinin veya tedarikçilerinin elektrik tüketicilerinden gelen talepleri karşıladığı platform, elektrik piyasası olarak adlandırılır. Elektrik piyasaları, rekabeti teşvik ederek, verimliliği artırarak ve yatırımları çekerek günümüz enerji sistemlerinde merkezi bir rol oynamaktadır. Bu piyasalar, arz-talep dinamikleri aracılığıyla şeffaf fiyat keşfini kolaylaştırarak üreticiler, perakendeciler ve tüketiciler gibi kilit paydaşlar için bilinçli kararlar alınmasını sağlar. Piyasalar, ekonomik büyümeyi teşvik ederek, yatırımları çekerek ve sistem güvenilirliğini sağlayarak önemli katkılar sunar. Belirgin düzenleyici çerçevelerin ve sinyallerin uygulanması, belirsizliği en aza indirerek gerekli kapasite ve altyapının gelişimini teşvik eder.

Ticari faaliyetlerin kârlılığı ve sürdürülebilirliği için kritik faktörlerden biri en uygun elektrik piyasası yapısının belirlenmesidir. Elektrik piyasasındaki oyuncular, üretim hizmetlerini piyasa tarafından belirlenen fiyatlarda sunmak için rekabet ederler. Elektrik piyasaları, günümüz enerji sistemlerinde rekabeti teşvik ederek, verimliliği artırarak ve yatırımları çekerek kritik bir rol oynar.

Günlük elektrik piyasalarının merkezinde, arz ve talebi dengeleyen önemli bir metrik olan Piyasa Takas Fiyatı (PTF) yer almaktadır. Toptan piyasa takası süreciyle belirlenen PTF, toplam elektrik arzının talebi karşıladığı fiyatı yansıtır ve genellikle saatlik bazda belirlenir. Piyasa katılımcıları, üreticiler ve perakendeciler de dahil olmak üzere hem elektrik miktarlarını hem de ilgili fiyatları belirten tekliflerle bu süreçte yer alır. Daha düşük teklif veren üreticiler, elektrik üretimini sağlarken, daha yüksek teklifler kabul edilmez. PTF, üretici gelirlerini önemli ölçüde etkilerken, perakendeci ve tüketici maliyetlerini de belirler. Üreticiler, sağlanan elektrik için PTF'ye dayalı olarak ödeme

alırlar ve kullanıcılar, tüketilen elektrik için karşılık gelen maliyetlere katlanırlar (Şekil 1). PTF, arz ve talebin dengelenmesi, fiyatlandırma mekanizmalarının yönlendirilmesi, piyasa faaliyetlerinin yönetilmesi ve yatırım kararlarının etkilenmesi açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 1. Piyasa Takas Fiyatı

Uniform Fiyat (UF) mekanizmasında, kazanan tüm teklif sahipleri kabul edilen en yüksek teklif olan PTF'ye göre ödeme alır. Teklif Kadar Ödeme (TKÖ) mekanizmasında, kazanan her teklif sahibi kendi teklif fiyatına göre ödeme alır, ancak PTF yine de genel piyasa dengesinin sağlanmasında rol oynar. PTF, piyasa katılımcıları için üretim ve tüketim kararlarını etkileyen kritik bir fiyat sinyali görevi görür. Üreticiler, elektrik üretip üretmeyeceklerine karar vermek için PTF'yi kullanırken, tüketiciler ve perakendeciler elektrik satın alma yönetiminde kullanır. Piyasa dinamiklerine etkisi açısından, en düşük maliyetli üreticilerin talebi karşılamak üzere sevk edilmesini sağlayarak verimliliği teşvik eder. Ayrıca, üreticilerin rekabetçi fiyatlarla elektrik sunmalarını da teşvik eder. Yüksek PTF, ek kapasite ihtiyacını işaret edebilir ve yeni üretim tesislerine yatırım yapılmasını teşvik edebilir. PTF, hava koşulları, yakıt fiyatları ve talep değişiklikleri gibi faktörlerden dolayı oldukça dalgalanabilir. Bu dalgalanmalar, piyasa katılımcıları için maliyet yönetiminde ve planlamada zorluklar yaratır.

Piyasa yapıları, elektrik piyasalarında önemli bir rol oynar ve birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bazı araştırmalar Uniform Fiyatlandırmayı

(UF) desteklerken, diğerleri Teklif Kadar Öde (TKÖ) yapısını tercih etmektedir. Bazı çalışmalar, bu yapıların birleşiminden doğan farklı bir yapının ortaya çıkmasını önermektedir. Ancak, çoğu analiz, iki açık artırma yapısının (TKÖ ve UF) kısa vadeli performanslarını karşılaştırmaya odaklanmaktadır. Öte yandan, Vickrey mekanizmaları [2] daha az yaygındır. En iyi piyasa fiyatlandırma mekanizmasının belirlenmesi, elektrik piyasalarının tasarımında tartışmalı bir konudur. Bazı piyasalarda, UF mekanizması üreticiler için daha kârlı fakat tüketiciler için daha pahalı bir fiyatlandırma getirmektedir. Bazı araştırmacılara göre, TKÖ'nün piyasa fiyatlarını düşüreceği ve fiyat oynaklığını azaltacağı beklentisiyle, elektrik piyasalarında UF'nin yerini alması beklenmektedir. Çünkü, TKÖ mekanizmasında, her bir üretici kendi maliyetine uygun bir şekilde belirli bir oranda kâr düşünerek fiyatlandırma yapar. Buna göre, TKÖ mekanizmasının, UF mekanizmasına göre daha rekabetçi bir mekanizma olduğu yorumu yapılabilir. Ancak hangi yapının daha etkin ve kullanıcı isteklerini karşılayan bir şekilde çalıştığı hakkında tam bir fikir birliği yoktur. Bu çalışmada, elektrik piyasalarında kullanılmakta olan farklı piyasa yapıları; verimlilikleri, sürdürülebilirlikleri ve oyuncu etkileşimlerinin etkileri açısından incelenmiştir. Elektrik piyasa fiyatlandırma mekanizmalarının piyasa işleyişine etkisi incelenerek, farklı piyasa yapıları altında piyasa gücü potansiyeli değerlendirilmiş ve literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Tezin temelinde benzetim ile öğrenme için tasarlanmış internet tabanlı yeni bir elektrik ticareti oyunu (the EMGame) kullanılmıştır. İki farklı elektrik piyasa yapısı ve çeşitli enerji türleri doğrultusunda oluşturmuş 12 farklı oyun senaryosu altında incelemeler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, insanlar ile oynanan oyundan elde edilen veriler ile öznelerin oyun içerisindeki iki farklı piyasa yapısında arz ve talep dengesinin durumuna ve kapasite faktörlerine göre fiyat oluşumlarının farklılık gösterip göstermediği incelenmiştir. Ayrıca, insanlar ile oynanan oyundan elde edilen veri seti kapsamında piyasa yapıları, oyun türleri ve kullanılan enerji türleri bazında analizler sunulmuştur. Her oyun için oyuncuların nihai bütçelerinin kutu (boxplot) grafiği oluşturulmuştur. Ayrıca, her bir oyun için ayrı ayrı teklif fiyat-PTF ve arz-talep grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler, Bütçe ve Arz-Talep incelemesi başlığı altında her bir oyun için PTF, teklif fiyatı, arz, talep ve oyun bütçeleri hakkında değerlendirmeler verilmiştir. Oyuncular arasındaki rekabet Herfindahl-Hirschman İndeksi (HHI) kullanılarak matematiksel olarak hesaplanmış ve değerlendirmeler sunulmuştur. Ayrıca,

oyunlardaki katılımcıların piyasa gücünü analiz etmek için Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi kullanılmış ve bu kapsamda değerlendirmeler sunulmuştur. Farklı piyasa yapıları ve enerji türleri doğrultusunda her bir oyun senaryosu altında, piyasa katılımcılarının stratejik davranışlarını analiz etmek ve kâr marjlarının hesaplanarak piyasalarda rekabetçi bir fiyatlandırma sunup sunmadıkları, Teklif Kar Marjı (TKM) hesaplanarak incelenmiştir. Ayrıca, her bir oyun için her bir periyotta her bir birim için marjinal maliyetler ortaya konulmuş ve marj oranları hesaplanarak oyunların piyasa dinamikleri üzerindeki gücü değerlendirilmiştir. Hangi piyasa yapısının hangi enerji türleri için daha etkin olduğu, enerji türü seçiminin piyasaya ve oyuncular arasındaki rekabete etkileri ve elektrik piyasalarına etki bazında piyasa yapısının mı yoksa piyasada kullanılan enerji türlerinin mi daha önemli olduğuna dair analizler sunulmuştur.

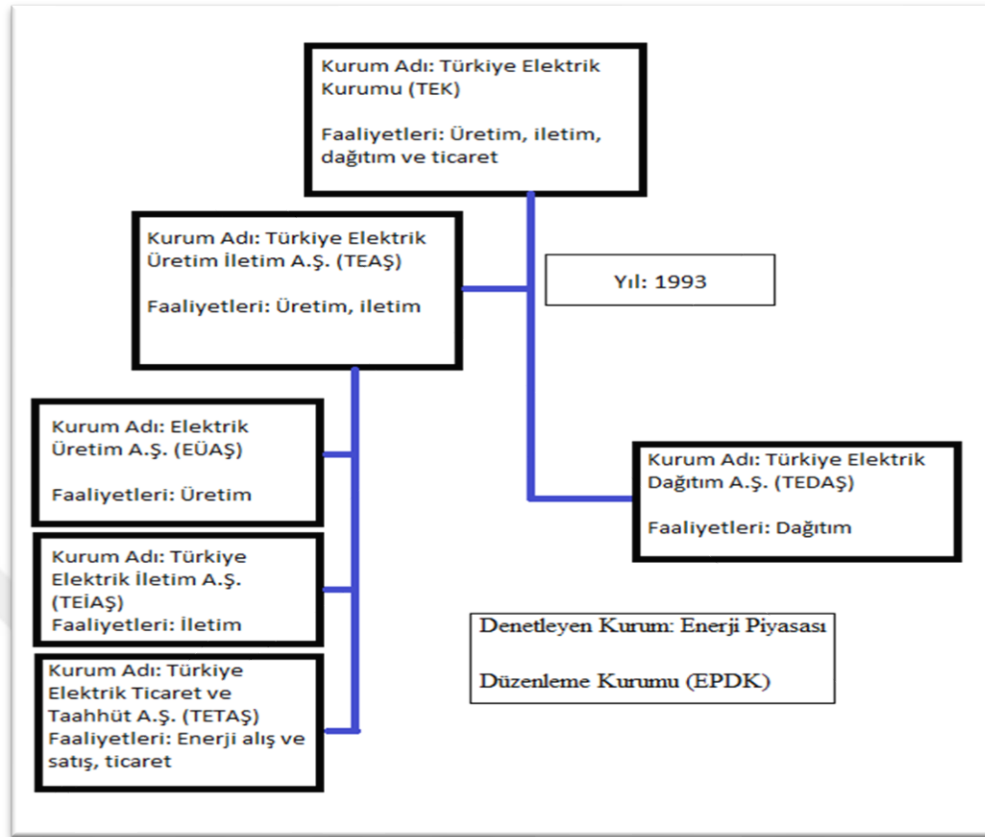
1.2 Genel Bilgiler

Ülkelerin gelişmişlik düzeyinin en iyi göstergelerinden olan elektrik enerjisi tüketimi günlük hayattaki yaygınlığıyla birlikte kullanım kolaylığı sağlamaktadır. 19. yüzyılın sonlarında öncelikle aydınlatmaya yönelik kullanıma sunulan elektrik enerjisi üretimi için artan talebi karşılamak için birincil enerji kaynakların yanı sıra yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgâr, biyokütle ve benzeri kaynakların da enerji üretimine katkı sağlamaya başlanmıştır. Elektrik enerjisi ilk kez 1878 yılında günlük yaşamda kullanılmaya başlanmış ve ilk elektrik santrali 1882 yılında Londra'da faaliyete geçmiştir. Ülkemizdeki ilk elektrik üretimi, 1902 yılında Tarsus'ta kurulan 2 kW gücündeki küçük bir su türbini ile sağlanmıştır. 1913 yılında İstanbul Silahtarağa'da kurulan 15 MW kapasiteli termik santral, ülkemizdeki ilk büyük elektrik santrali olmuştur. İstiklal Savaşı'nın sona ermesinin ardından, 1923 yılında kurulan Türkiye Cumhuriyeti'ne kadar kurulu güç 33 MW iken, 2024 yılında 3253.63 kat artarak 107.370 MW'a ulaşmıştır. 2024 yılı verileri kapsamında bu kapasitenin önemli bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Örneğin, güneş enerjisi kurulu gücü 11.930 MW, rüzgâr enerjisi kurulu gücü ise 11.886 MW seviyesindedir. Ayrıca, jeotermal enerji kurulu gücü 1.691 MW, biyokütle enerjisi kurulu gücü 2.078 MW olarak rapor edilmiştir. Doğalgaz santrallerinin kurulu gücü ise 25.401 MW ile en büyük paya sahiptir [84]. 1935 yılına gelindiğinde, Etibank, Maden Tetkik ve Arama (MTA) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) kurulmuş, ardından İller Bankası ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlükleri faaliyet göstermeye başlamıştır. Bu dönemde kurulu güç 126,2 MW, üretim

213 milyon kWh, ve elektrik verilen il merkezi sayısı 43 idi. 1948 yılında Çatalağzı Termik Santrali devreye alınmış ve 1952 yılında 154 kV'luk bir iletim hattı ile İstanbul'a elektrik sağlanmıştır. Üretimdeki gelişmeler iletimde de kendini göstermiş, ülkemiz ulusal iletim ağı ile bir uçtan diğer uca bağlanmış ve bu hatlar çeşitli güç ve tipte binlerce trafo ile donatılmıştır. 1950'li yıllarda hem devlet hem de özel sektör tarafından santraller kurulmaya ve işletilmeye başlanmıştır. Bunlar arasında, Adana ve İçel bölgesine elektrik sağlayan Çukurova Elektrik A.Ş. (ÇEAŞ) ve Antalya bölgesine elektrik veren Kepez Elektrik A.Ş. bulunmaktadır. 1950 yılının başında kurulu gücümüz 407,8 MW'a, üretimimiz ise 789,5 milyon kWh'a ulaşmıştır. 1970 yılına gelindiğinde; artan üretim, dağıtım ve tüketim miktarı ve hizmetin yaygınlaşması kurumsal bir yapıyı gerekli kılmış ve 1312 Sayılı Yasa ile TEK (TÜRKİYE ELEKTRİK KURUMU) kurulmuştur. Belediyeler ve İller Bankası dışında bütünlük sağlanmıştır. Bu dönemde kurulu gücümüz 2234,9 MW, üretimimiz ise 8,6 milyar kWh seviyelerine çıkmıştır. 1970-1980 yılları arasında, dünyadaki enerji krizinin Türkiye'ye etkisi olmuş, termik santrallerin yakıtlarının çoğunlukla dışa bağımlı olmasından dolayı arz ve talep dengesi bozulmuş ve zorunlu enerji kısıtlamalarına gidilmiştir.

Türkiye'nin kurulu gücü, tüm bu olumsuz koşullara rağmen, 1980 yılında 5118,7 MW'a, üretimi ise 23,3 milyar kWh'a ulaşmıştır. Belediyeler ve ünite gruplarının sahip olduğu elektrik tesisleri, 1982 yılında 2705 Sayılı Yasa gereğince TEK'e devredilmiş ve böylece köy satışları da dahil olmak üzere tüm satışlar TEK tarafından yapılmaya başlanmıştır. Bu dönemde kurulu gücümüz 6638,6 MW, üretimimiz ise 26,6 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 1984 yılında yürürlüğe giren 3096 Sayılı Yasa ile enerji sektöründeki TEK tekeli sona erdirilmiş ve gerekli izinleri alarak kurulacak özel sektör şirketlerine enerji iletimi, üretimi ve dağıtım konularında fırsatlar tanınmıştır. Aynı süreçte TEK'in hukuki yapısı, üniteleri ve yapısı düzenlenerek bir Kamu İktisadi Kuruluşu haline getirilmiştir. Elektrik sektöründe, 1988-1992 yılları arasında kendi yasal görev bölgelerinde elektrik üretimi, iletimi, dağıtım ve ticaretini yapmak üzere 10 kadar sermaye şirketi yetkilendirilmiştir. Ayrıca imtiyazlı şirketlerden olan ÇEAŞ ve KEPEZ A.Ş.'ye kendi görev alanlarında elektrik üretimi, dağıtım ve ticaretini yapmak üzere yetki verilmiştir. 23 yıl sonra, 13.8.1993 tarihli ve 513 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Türkiye Elektrik Kurumu özelleştirme kapsamına alınmış ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ilişkisini sürdürmüştür. Bu düzenlemeyi takiben, Bakanlar Kurulu'nun

93/4789 Sayılı Kararı ile Kurum, Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) adı altında iki ayrı İktisadi Devlet Kurumu olarak ayrılmıştır. Enerji sektöründe yeniden yapılanmaya yönelik Resmî Gazetede yayınlanan 3 Mart 2001 tarihli 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektriğin yeterli, sürekli, kaliteli, düşük maliyetli ve çevreye uyumlu bir şekilde tüketicilere ulaşması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre çalışmalar sürdürebilecek mali açıdan sürekli, güçlü ve şeffaf bir elektrik enerjisi piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanması hedeflenmiştir. Bu kanun, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan satışı ve perakende satışı, perakende satış hizmeti, ithalat ve ihracatı ile bu çalışmalarla ilişkili olarak tüm gerçek ve tüzel kişilerin hak ve sorumlulukları, Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun devreye girmesiyle çalışma usul, esas, elektrik üretim ve dağıtım varlıklarının özelleştirilmesinde yapılacak olan adımları kapsamaktadır. Resmî Gazetede yayınlanan Bakanlar Kurulu'nun 05.02.2001 tarih ve 2001/2026 sayılı kararı ile TEAŞ; Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) ve Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt Anonim Şirketi (TETAŞ) olacak şekilde üç ayrı İktisadi Devlet Kurumu olarak yeniden organize edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu karar neticesinde, TEİAŞ elektrik enerjisi iletimi, EÜAŞ üretimi ve TETAŞ da toptan satışı konusunda çalışmalar yapması tasarlanmıştır. Ülkemizin enerji sektörünün kurumsal yapılanmasının gelişimini Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ülkemizin enerji sektörünün kurumsal yapılanmasının gelişimi

Yukarıda belirtildiği gibi Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminin 1902 yılında olması ile 1312 Sayılı Yasa ile kurulan Türkiye Elektrik Kurumu’nun kuruluş tarihi 1970 ve sonrası ile ilgili istatistikî değerleri sunulacaktır. 1970 yılından 2024 yılına kadar: Kurulu güç 2.234 MW’tan 107.370 MW’a, Üretim ise 8,62 milyar kWh’ den 902.6 TWh değerine ulaşmıştır. Türkiye’de 2024 mart itibariyle elektrik üreten toplam 16 bin 302 adet elektrik santrali yer almaktadır. Güneş Enerjisi Santralleri (GES): 15.980 adet. Rüzgâr Enerjisi Santralleri (RES): 87 adet. Doğalgaz Santralleri: 94 adet. Biyokütle Santralleri (BES): 60 adet. Atık Isı Santralleri: 53 adet. Akarsu Santralleri: 21 adet. Linyit Santrali: 1 adet. Bu veriler, Türkiye Elektrik İletim AŞ (TEİAŞ) Yük Tevzi Bilgi Sistemi (YTBS) tarafından sağlanmıştır ve Mart 2024 tarihli resmi verilere dayanmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye elektrik üretiminin kısa geçmişi ve bugünkü durumu dikkate alındıktan sonra, yaşam düzey sınırını doğrudan etkileyen elektrik enerjisi üretimi

kalitesinin artması, fiyatının azaltılması ve çevresel etkilerinin minimize edilebilmesi açısından yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye alınması önem arz etmektedir. Bu kapsamda elektrik piyasaları yönetiminin ve doğru piyasa yapılandırmalarının uygulanmasının uzun vadede etkileri hem üretici hem tüketici hem de düzenleyici kurumlar tarafından görülmektedir. Belirtildiği gibi enerjinin verimli kullanımı ve maksimum düzeyde tasarruf edilmeye çalışılması, yaşanılır bir dünya için gerekli görülmektedir. Bu doğrultuda gelişecek olan enerji çeşitliliği ve yapısının doğru bir şekilde yönetilmesi; oluşacak olan arz ve talebin, mevcut kapasitesinin ve piyasa fiyatlanmasının en optimum şekilde verimli, yeterli ve ucuz olması açısından önem arz etmektedir. Piyasa yönetimi kullanılan enerji türüne ve ülkenin ekonomik yapısına göre doğru bir yaklaşımla belirlenecek olan elektrik piyasası mekanizmalarına bağlıdır.

1.3 Amaç ve Gerekçe

Bu tezin amacı, elektrik piyasalarında kullanılan farklı piyasa yapılarının işleyiş, verimlilik ve sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini incelemektir. Tez, özellikle Uniform Fiyatlama ve Teklif Kadar Öde piyasa mekanizmalarının arz ve talep dengesi, fiyat oluşumları ve rekabet düzeyi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Elektrik piyasaları, enerji sektörünün dinamik yapısını anlamak ve optimize etmek için kritik öneme sahiptir. Farklı piyasa yapıları ve fiyatlandırma mekanizmaları, enerji kaynaklarının kullanımını, arz güvenliğini ve piyasa verimliliğini doğrudan etkiler. Bu çalışma, piyasa yapılarının ve enerji kaynaklarının piyasa performansı üzerindeki etkilerini anlamak için insan temelli deneyler ve çeşitli matematiksel hesaplamalar/indeksler kullanarak, enerji sektöründe daha etkili ve rekabetçi bir ortamın nasıl sağlanabileceğine dair değerli içgörüler sunmaktadır. Bu bağlamda, enerji sektöründeki zorlukları anlamayı geliştirmek ve daha etkili piyasa yönetimini sağlamak için, paydaşlara, düzenleyicilere ve politika yapıcılara rehberlik edecek önemli veriler sunulması amaçlanmaktadır. Ayrıca araştırma, etkili fiyatlandırma stratejileri geliştirme, enerji kaynaklarının optimal kullanımı ve enerji türlerinin piyasa üzerindeki etkilerini dikkate alarak kullanımını teşvik etme konularında yol gösterici bilgiler sağlamayı amaçlamaktadır.

1.4 Hedefler

Tezin amaçları doğrultusunda hedefleri şöyledir:

- Elektrik piyasası benzetim oyunu ile farklı piyasa senaryoları için veri seti oluşturulması ve analizlerde kullanması için hazır hale getirilmesi.
- Oyun çıktıları ve oyuncu analizleri ışığında oyun platformunun geliştirilmesi.
- Farklı mekanizmalar altında oyuncu stratejilerinin analizinin yapılması.
- Enerji türlerinin piyasa yapılarına ve sisteme etkilerinin literatürde sık kullanılan indekslerle incelenmesi.

1.5 Konu ve Kapsam

Bu tez, elektrik piyasalarında kullanılan farklı piyasa yapılarının işleyiş, verimlilik, sürdürülebilirlik ve katılımcı etkileşimlerine olan etkilerini incelemektedir. İnsan odaklı bir çalışma ortaya konularak elektrik piyasalarının daha gerçekçi bir şekilde karşılaştırılması sağlanmaya ve literatürdeki eksikliklerin giderilmesine yönelik kapsamlı bir yaklaşım sunulmaya çalışılmıştır.

Tezde, elektrik piyasalarında yaygın olarak kullanılan iki temel piyasa mekanizması, Uniform Fiyatlama (UF) ve Teklif Kadar Öde (TKÖ), EMGame simülasyon platformu kullanılarak analiz edilmiştir. EMGame platformu aracılığıyla elde edilen veriler, yenilenebilir enerji ile fosil yakıt santrallerinin karışımını içeren çeşitli senaryoları kapsamaktadır. Çalışma, UF ve TKÖ mekanizmalarının elektrik piyasası üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirerek, piyasa yapısı ve enerji türü seçiminin piyasa verimliliği ve rekabet üzerindeki önemli etkilerini daha iyi anlamayı konu edinmektedir. Bu tezin çalışma alanı, tüm elektrik piyasalarının temeli olan Gün Öncesi Piyasası (GÖP) olarak sınırlandırılmıştır. Fakat piyasaların yapısı benzer olduğundan bu çalışmadaki modeller diğer piyasalara da uyarlanabilir.

1.6 Literatür

Elektrik piyasalarında önemli bir rol oynayan piyasa yapıları, birçok araştırmacı tarafından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bazı araştırmacılar Uniform Fiyatlama

(UF) yapısını desteklerken, bazıları Teklif Kadar Öde (TKÖ) yapısını desteklemektedir. Bazı çalışmalar ise bu yapıların bir kombinasyonunu veya entegrasyonları yoluyla ortaya çıkan farklı bir yapının varlığını öne sürmektedir. Ancak, çoğu analiz, iki açık artırma yapısının (TKÖ ve UF) kısa vadeli performanslarının karşılaştırılmasına odaklanmaktadır. Öte yandan, Vickrey mekanizmaları [2] daha az yaygındır.

Cramton [3], elektrik piyasalarındaki fiyatlandırma mekanizmalarını inceleyerek, UF, TKÖ ve genelleştirilmiş Vickrey kuralları dahil olmak üzere üç ana ve pratik fiyatlandırma kuralını tanıtmaktadır. UF’de, ödeme tüm kazanan teklif sahiplerine kabul edilen en yüksek teklif olan piyasa takas fiyatı üzerinden yapılır. TKÖ fiyatlandırma kuralında ise her bir teklif sahibi kendi teklif fiyatına göre ödeme alır [4]. Vickrey kuralı, tek birim fiyatlandırma için formüle edilmiş olup, en yüksek teklif verenin kazandığı ikinci fiyat kapalı teklif açık artırmasıdır [2]. En yüksek teklifi veren kazandığında, ödenen fiyat ikinci en yüksek tekliftir. Bu mekanizmanın teklif sahiplerine gerçek değerlerini teklif etmeye teşvik ettiğini iddia edilmiştir [5]. Çok birimli elektrik piyasası müzayedesinde için, Vickrey fiyatlandırma kuralının Vickrey-Clarke-Groves veya VCG [6] olarak adlandırılan değiştirilmiş bir versiyonu tanıtılmıştır. VCG’nin mekanizması, açık artırmadaki her bir teklif sahibinin, varlığının diğer tüm teklif sahiplerine getirdiği fırsat maliyetini ödemesidir. Buradaki amaç, bir teklif sahibinin aldığı ödemeyi kendi teklif fiyatından bağımsız yaparak, marjinal maliyet teklifinin daha zayıf bir strateji olarak teşvik edilebilmesidir. Başka bir deyişle, Vickrey fiyatlandırma kuralının bu değiştirilmiş versiyonu, doğru teklif verme teşvikini korur. Vickrey kuralının kapsamlı çalışmasına rağmen, elektrik piyasası çalışmalarında nispeten az ilgi görmüştür. Belirtilen kuralların her birinin ekonomik kriterler açısından avantaj ve dezavantajları vardır ve ödeme verimliliği, refah, ortalama fiyat vb. açısından birbirinden farklılık gösterebilmektedir. [7,8]. Mazzi vd. [9], piyasadaki enerji kaynaklarının arz stratejilerini değerlendirmeye odaklanmaktadır. Ancak, mevcut modellerin çoğunun UF fiyatlandırma modeline odaklandığı ve Almanya ve İtalya gibi sadece birkaç ülkenin TKÖ fiyatlandırmasını ele aldığı belirtilmiştir [4,10].

Zhao vd. [11], elektrik piyasasındaki farklı fiyatlandırma mekanizmaları arasındaki piyasa denge durumunu ve tasarımını değerlendirmektedirler. Özellikle, UF ve TKÖ gibi çeşitli fiyatlandırma mekanizmalarını, oyun teorik modeller kullanarak incelemektedir. Araştırma, UF’nin tedarikçileri teklifleri tutmaya teşvik edebileceğini ve

potansiyel olarak fiyat artışlarına yol açabileceğini vurguluyor. Buna karşılık, TKÖ piyasa fiyatlarını düşürebilir ancak karışık strateji fiyat dengelemesine neden olabilir. Simülasyonlar, yenilenebilir enerji belirsizliğinin ve yüksek gerçek zamanlı eksiklik cezası fiyatlarının teklif miktarlarını azaltarak piyasa fiyatlarını yükseltebileceğini ve tedarikçilerin kârlarını artırabileceğini göstermektedir. Ancak, bu oyun teorisi modellerinin gerçek elektrik piyasalarının karmaşıklığını tam olarak yansıtmadığı ve oyuncuların rasyonel davranışlarını varsaydığı vurgulanmaktadır [8]. Pinto vd. [12], elektrik piyasalarındaki farklı senaryoları değerlendirmek için oyun teorisi uygulamasını içeren ve oyuncuların hedefleri doğrultusunda davranışı sergilemek için stratejik seçim sağlayan yeni bir senaryo analiz algoritması önermektedirler. Oyun teorisi modelleri, oyuncuların stratejik davranışlarına ilişkin görüş sundukları ve denge sonuçlarının kolayca türetilmesine imkân sağladıkları için sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, karmaşık elektrik piyasalarının gerçeklerini yansıtacak kadar şekillendirilmemişlerdir [13]. Neredeyse tüm oyun teorisi modelleri, oyuncuların rasyonel olduklarını ve üstü kapalı olarak özne davranışının zaman içinde değişmeyeceğini varsayar fakat bu pratikte tam olarak geçerli değildir. Ayrıca, fiziksel sistem özelliklerinin ve iletim ağı kısıtlarının göz ardı edildiği belirtilmektedir [14-16]. Bu bağlamda, literatür, fiyatlandırma mekanizmalarının ve acente davranışlarının belirlenmesinde daha gerçekçi ve kapsamlı bir yaklaşımın gerekli olduğunu önermektedir.

Ethier vd. [7], Elektrik piyasası mekanizmasının, her üreticinin marjinal üretim maliyetine eşit teklifler sunabileceği bir ortam oluşturması gerektiği ifade edilmiştir. Amaçları hem insan denekler hem de bilgisayar algoritmaları ile deney ve test yapmaya uygun bir sistem üretmektir. Bulgular, basit bir TKÖ fiyatlamasıyla karşılaştırıldığında UF mekanizmasının daha uygun olduğunu öne sürmüştür. Ancak, üreticilerin marjinal maliyetlerini açıklayan rekabetçi bir piyasa mekanizması sağlamanın zor olduğu ve kârı maksimize etmeye çalışan üreticilerin teklif fiyatlarını manipüle etme potansiyeline sahip oldukları vurgulanmıştır [7,17].

Csercsik [18], gün öncesi enerji değişimlerinin takas fiyatı için yaygın olarak kullanılan geleneksel anlaşmalı açık ödeme yani ‘açık olarak öde’ (pay-as-clear) mekanizmasına alternatif önermektedir. Önerilen çerçevede, UF kavramı yerine, arz ve talep teklifleri için ayrı ayrı limit fiyatlar olan TKÖ ve piyasanın gelir dengesi için kısıtlamalar sunulmaktadır. Yukarıda bahsedilen piyasa modeli ‘açık olarak öde’ veya

‘marjinal fiyatlandırma’ ilkesine dayanmaktadır. Bu ilke, piyasa takas fiyatı kavramına dayanmaktadır. Piyasa takas fiyatı genellikle toplam sosyal refahı maksimize etmek için hesaplanır ancak, tek tip bir piyasa takas fiyatı her zaman mevcut değildir. Arz ve talep tarafı için farklı olan limit fiyatlarının piyasa durumunu belirlediği ve piyasadaki toplam işlem miktarını maksimize etmek için, TKÖ tipi bir piyasa önerilmektedir.

UF’ye kıyasla, TKÖ’nin hem kısa vadeli hem de uzun vadeli bakış açılarından verimsiz olduğu literatür incelemelerine bakarak düşünülebilir. Kısa vadede, tüketicilerin ödeme istekliliği, üreticilerin marjinal maliyetlerini aşmaktadır. Uzun vadede, üretim portföyünü bozan yüksek talep dönemlerinde baz yük üreticilerinin gelirlerinin azaldığı söylenebilir. Ek olarak, TKÖ ihalelerinde tüketici fazlası daha düşüktür. Örneğin Macatangay [19], Birleşik Krallık elektrik piyasasında UF mekanizmasıyla TKÖ mekanizmasını karşılaştırdığında, üreticinin TKÖ’de stratejik davranışla piyasa gücünü uygulamasının farklı olduğu iddia edilmektedir. Son vd.[20], elektrik piyasasında gelir denkliği olmadığını savunmaktadırlar. Üretim şirketlerinin stratejik teklif verme davranışları ile UF ve TKÖ mekanizmalarındaki kısa vadeli piyasa gücünü karşılaştırarak, UF’de elektrik satın alma maliyetinin TKÖ’den daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. TKÖ mekanizması uygulandığında Birleşik Krallık toptan elektrik fiyatlarının bir senede %19 düştüğü görülmüştür. Federico ve Rahman [21], İngiltere elektrik piyasasında UF müzayedesinden TKÖ fiyatlandırmaya geçişi incelemektedirler. Bu geçişin oluşturduğu talep belirsizliği ile iki kutuplu piyasa yapısı (tam rekabetçi ve tekel durumu) analiz edilmektedir. Piyasa gücüne sahip oyuncuların TKÖ’ye verimsiz, daha yüksek fiyatlara, daha düşük üretime ve daha düşük refaha yol açacak şekilde tepki verdikleri gösterilmiştir.

Fabra vd.[22] literatürde UF ve TKÖ fiyatlandırma kurallarının avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmaya odaklanılmıştır. Karandikar vd. [23], UF ve TKÖ mekanizmalarının ekonomik verimliliğini ve piyasa fiyatlarını karşılaştırmanın zor olacağı belirtilmiştir. Ancak, TKÖ mekanizmasının arz eğrisinden kaynaklanan dalgalanmaların daha küçük olacağını ve fiyat artışları ile öngörülemeyen piyasa hatalarının azalacağını iddia etmiştir. Bu durum, TKÖ mekanizmasının daha iyi bir esnekliğe sahip olduğunu gösterirken, üreticilerin daha az kâr elde edeceğini, ancak tüketiciler tarafında bir refah ortamının sağlanabileceğini öne sürmektedir.

Tierney vd. [24], artan elektrik maliyetlerinin politika yapıcılar ve rekabetçi piyasa ortamı göz önüne alınarak, tedarikçi teklifleri ve piyasa fiyatları açısından, toptan elektrik piyasalarında kullanılan UF ihalelerinden TKÖ'ye geçiş üzerindeki incelemeleri sunmaktadır. Piyasa yapılanmasındaki değişikliklerin tüketicilerin toplam elektrik masraflarını azaltma konusunda teşvik edilse de teklif verme ve kapasite verimliliği açısından pek avantajlı olmayabileceğini vurgulamaktadır.

Nanduri ve Das [25], TKÖ mekanizmasının piyasa verimliliğini azaltacağı, ek santrallere yardımcı olmayacağı ve piyasa güçlerini ortadan kaldırmayacağı vurgulanmıştır. Çünkü rekabetçi bir piyasada, işlem fiyatı üreticilerin maliyetinden ziyade piyasa fiyatına göre belirlenir. TKÖ mekanizmasında üreticilerin daha yüksek piyasa riskini üstlenmeleri gerektiğinden, hangi üreticinin ihalede başarılı olacağını tahmin etmek zor olabilir. Bu durum, üreticilerin daha fazla riskle karşılaşacakları ve bunun maliyetlerini artıracığı anlamına gelir ki bu da fiyatlara yansıyabilecektir.

Heim vd. [26], artan maliyetlerden kaynaklanmayan sert fiyat artışlarını analiz etmek amacıyla mikro düzeyde teklif veri analizi yapmıştır. Çalışma, TKÖ ihalelerinin UF mekanizmasına kıyasla baskın tedarikçiler arasında gizli anlaşma yeteneklerini azalttığı inancının, dinamik ortamlarda sorgulanabilir olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, çalışma TKÖ yapısının teşvikleri azaltılabileceği görüşüne karşı çıkararak, piyasa gücü yüksek ve talep esnekliği düşük olduğunda TKÖ'nün bu teşvikleri artırabileceğini öne sürmektedir.

Azadeh vd. [27], elektrik piyasaları için mevcut üç strateji, yani UF, TKÖ ve genelleştirilmiş Vickrey kurallarını karşılaştırmak için Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO) algoritmasına dayanan yenilikçi bir aracı tabanlı simülasyon modeli önermiştir. Enerji piyasasının arz tarafı aktörleri, kârlarını optimize etmek için stratejik olarak nasıl teklif vereceklerini öğrenen uyarlanabilir aktörler olarak modellenmiştir. Önerilen model, yüksek sayıda teklif verme işlevleri için uygundur. Fiyatlandırma kuralları, ortalama takas fiyatı, tahsisin etkinliği ve fiyat oynaklığı gibi farklı ekonomik kriterler kullanılarak kapsamlı bir şekilde karşılaştırılır. Ayrıca, en iyi fiyat kuralını sıralamak ve seçmek için temel bileşen analizi kullanılır. Yazarların bilgisine göre, elektrik piyasasının stratejilerini değerlendirmek için KKO'yu kullanan ilk çalışmadır. Burkett vd. [28], toplam talep üzerindeki kısıtlama ile UF kuralının, basit bir piyasa kuralı nitelemesi ile dengelenmesi

üzerinde durarak, UF dengesinin aksine, TKÖ denge tekliflerinin, piyasada ilk reddedilen teklif mekanizması olan UF ile değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Hangi kuralın daha üstün olduğunun belirlenmesi açısından bakıldığında; algoritmalar, uygun kuralı seçmemize yardımcı olmak için ya çok genel ya da özeldir. Bu bağlamda simülasyon, bu problemin üstesinden gelmek için uygun görünmektedir. Simülasyon modelleri, farklı fiyatlandırma senaryoları, rekabet dereceleri ve pazarın heterojenliği altında piyasayı değerlendirme yeteneğine sahiptir. Simülasyon araçlarının kullanılması, piyasa verimsizliklerini bulmak veya piyasa oyuncularının kararlarına destek sağlamak için çok uygun bir yoldur. Özne Tabanlı Simülasyon (ÖTS), elektrik piyasalarının daha gerçekçi modellemesini sunan yeni simülasyon metodolojisidir [29]. Örneğin Liu vd. [30], TKÖ mekanizmasının, piyasa fiyatlarını düşüreceği ve fiyat oynaklığını azaltacağı beklentisiyle, elektrik piyasalarında UF'nin yerini almasını önermiş ve iki ihale mekanizmasının dengeli sürecini karşılaştırmak ve analiz etmek için özne tabanlı bir deneysel analiz modeli oluşturmuşlardır. Oyun teorisi modellerinin bazı eksikliklerinden dolayı, özne tabanlı modelleme ve simülasyon (ÖTMS) tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir [29,31]. ÖTMS, elektrik piyasalarındaki rekabetçi yapıları ve farklı piyasa yoğunluğu seviyelerinde UF ve TKÖ gibi faktörlerin fiyatları nasıl etkilediğini esnek bir şekilde modelleyebilir. Bu yaklaşım, minimum bilgi gereksinimleri getirir ve oyun-teorik modellerin çoklu denge sorunlarını aşar. Ayrıca, temsilciler ve pazar arasındaki karşılıklı etkileşimi modeller. Özne tabanlı yaklaşım, dinamik bir ortamda öğrenme ve adapte olma süreçlerini modellemede yardımcı olur [32]. Viehmann ve diğerleri [32], Bakirtzis'in öncü çalışmasından ilham alarak ilk kez Çok Birimli Çok Teklifli (MUMB) modeli genişlettiklerini belirtmektedirler [33].

Simülasyon araçlarının kullanımı, karmaşık, dinamik ve uyarlanabilir sistemlerin analizinde oldukça uygundur ve bu araçlar, karmaşık etkileşimleri olan sistemlerin davranışlarını ve katılımcıların stratejik davranışlarını simüle ederek, piyasa kurallarının ve koşullarının sistemi nasıl etkilediğini incelemek için kullanılabilir [34,35]. Çok aracılı simülasyon araçlarıyla bireysel davranışların yanı sıra sistem davranışı ve katılımcıların stratejik davranışlarını dinamik olarak simüle ederek piyasa kurallarının ve koşullarının sistemi nasıl etkilediği incelenebilir [36,37]. Veit vd. [38], Birleşik Krallık elektrik piyasası için iki farklı özne tabanlı simülasyon modeli kullanmaktadır: AMES (Elektrik Sistemlerinin Özne Tabanlı Modellemesi) [39], açık kaynaklı bir özne tabanlı çerçeve ve

MASCEM (Rekabetçi Elektrik Piyasaları için Çok Özneli Sistem) [37]. AMES [40], ABD Federal Enerji Düzenleme Komisyonu'na (FERC) göre yeniden yapılandırılmış toptan elektrik piyasalarını incelemek için kurgulanmıştır. Yaygın olarak kullanılan satıcı pazar gücü ve pazar etkinliğinin toptan elektrik piyasaları için ne ölçüde bilgilendirici olduğunu test eder. MASCEM, piyasa oyuncularını modelleyen ve piyasadaki operasyonlarını simüle eden çok özneli bir elektrik piyasası simülatörüdür [41]. Elektrik piyasalarındaki çeşitli müzakere mekanizmalarını içeren MASCEM, öznenin etkileşimlerini ve piyasa dinamiklerini anlamak için bir araç olarak kullanılır.

Zhi vd. [42], elektrik piyasaları için gelecekteki modellerin geliştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla mevcut özne tabanlı simülasyon (agent-based simulation) paketlerini ve tekniklerini incelemektedirler. Zhi vd. göre özne tabanlı simülasyon son yıllarda elektrik piyasalarının modellenmesi ve analizinde popüler bir teknik olmuştur. Çalışmalarında, elektrik piyasaları için geliştirilen dört popüler özne tabanlı simülasyon paketini incelemekte ve karşılaştırmaktadırlar. Bunlardan birincisi olan SEPIA [43], elektrik piyasası için özne tabanlı simülasyonu kullanmanın en eski yöntemlerinden biridir. İkincisi, güçlü bir elektrik piyasası özne tabanlı simülasyon paketi olan Elektrik Piyasası Karmaşık Uyarlanabilir Sistem modeli EMCAS'tır [44]. Üçüncüsü STEMS-RT [45] ve dördüncüsü ise NEMSİM'dir [46]. Bunların dışında, literatürde bildirilen birkaç elektrik piyasası özne tabanlı simülasyon modelini de incelemektedirler. Bunlar, Birleşik Krallık'taki elektrik piyasası için iki özne tabanlı bir simülasyon modeli [38], elektrik piyasaları için açık kaynaklı özne tabanlı bir çerçeve olan AMES [39], ve MASCEM'dir [37]. Karşılaştırmalara göre, SEPIA elektrik piyasaları için en eski özne tabanlı simülasyon paketlerinden biri ve EMCAS, en güçlü özne tabanlı simülasyon paketlerinden biri olarak kabul edilir. Bir elektrik piyasası modelinin ana katılımcıları arasında üreticiler, üretim şirketleri, müşteriler, müşteri şirketleri, iletim sistemleri, iletim şirketleri ve ISO bulunmaktadır. SEPIA'da, ISO hariç belirtilen tüm sistem katılımcıları modellenmiştir. EMCAS'ta bir ISO ve iki ek temsilciye (düzenleyici ve dağıtım şirketleri) sahip sistem katılımcıları ve temsilci modeli neredeyse eksiksizdir. STEMS-RT, havuz piyasasındaki acentelerin teklif verme davranışlarına odaklanmakta ve bu nedenle sadece üretim şirketleri ve talep şirketleri modellenmektedir. EMCAS'a benzer şekilde, NEMSİM'deki sistem katılımcıları da neredeyse eksiksizdir. AMES esas olarak elektrik enerjisi tedarikçilerinin ihale sürecini araştırmaktadır ve bu nedenle sadece

üreticiler ve üretim şirketleri/üretici tesisleri dikkate alınmaktadır. Hem AMES hem de MASCEM hemen hemen tüm önemli katılımcıları içerir. AMES'teki bir satıcı, bir müşteri şirketini veya bir üretim şirketini temsil eder. Veit vd. 'nin modeli [38], bir elektrik piyasasındaki özneleri dikkate alır. Talep ve arz özneleri aslında sırasıyla müşteriler ve üretim şirketleridir. Macal vd. [47] EMCAS modelini piyasanın yeniden yapılandırılmasını ve yeni teknolojilerin elektrik şebekesi üzerindeki etkisini incelemek için yeniden tasarlamıştır. Model, başlangıçta elektrik piyasasının yeniden yapılandırılmasının etkilerini anlamaya yardımcı olmak için bir elektronik laboratuvar olarak geliştirilmişti. Daha sonra, yeni teknoloji gelişmelerinin elektrik şebekesinin büyük bölümleri üzerinde elektrik gücünün mevcudiyeti, fiyatı ve güvenilirliği üzerindeki etkilerini anlamak için uygulandı. EMCAS'ın, sonuçları politika yapıcılar tarafından çok karmaşık bir sosyo-teknik sistemin dinamiklerini anlamada kullanılan büyük ölçekli etmen tabanlı modellerin birkaç örneğinden birisi olduğu belirtilmektedir. EMCAS ayrıca, gün öncesi tahminlerindeki belirsizlikleri ve üretim birimlerinin kullanılabilirliğini hesaba katmak için gerçek zamanlı piyasa işleyişini simüle edebilir.

Oyun teorisi modelleri, oyuncuların stratejik davranışlarına ilişkin görüş sundukları ve denge sonuçlarının kolayca türetilmesine imkân sağladıkları için sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak, karmaşık elektrik piyasalarının gerçeklerini yansıtacak kadar şekillendirilmemişlerdir [13]. Neredeyse tüm oyun teorisi modelleri, oyuncuların rasyonel olduklarını ve üstü kapalı olarak özne davranışının zaman içinde değişmeyeceğini varsayar fakat bu pratikte tam olarak geçerli değildir. Ayrıca, fiziksel sistem özelliklerinin sonuçlarda önemli farklılıklara yol açabilmesi durumu [14] ve iletim şebekesi kısıtlamaları, birçok oyun-teorik elektrik piyasası çalışmasında [15,16] göz ardı edilmektedir.

Elektrik piyasasındaki şirketler, piyasa tarafından belirlenen bir fiyata üretim hizmeti sunmak için rekabet ederler. Düzenleyici kurumlar piyasa hareketleri kontrolü için analiz-destek modellerine ihtiyaç duymaktadır. Elektrik sektöründeki rekabete yönelik eğilim, araştırmacıların karar ve analiz destek modelleri geliştirme çabalarını artırmıştır. Pazar analizi yapabilmek ve en uygun model yaklaşımlarını belirleyebilmek için Ventosa vd. [48] literatürü optimizasyon, denge ve simülasyon modelleri olarak sınıflandırarak elektrik piyasasının modellenmesi yaklaşımlarını sunmaktadır. Piyasa modellemesinin en düşük seviyesi, sistem marjinal fiyatı, optimizasyon modeli için bir

girdi parametresidir. Fiyat sabitlendiğinden, piyasa geliri ana karar değişkeni olan firmanın üretiminin doğrusal bir fonksiyonu haline gelir. Buna göre, modelin çözümünü elde etmek için geleneksel Doğrusal Programlama (LP) ve Karışık Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP) teknikleri kullanılabilir. Ancak, bu tür bir optimizasyon modeli, piyasayı yalnızca yarı-tam rekabet koşullarında doğru bir şekilde temsil edebilir, çünkü firmanın kararlarının piyasa takas fiyatı üzerindeki etkisini ihmal eder.

S.Stoft [49], iki farklı yapıdaki oyun için: TKÖ fiyatlandırması altında Nash dengesinin (NE), UF fiyatlandırmaya göre daha az toplam gelir sağlayacağını ve TKÖ fiyatlandırması altında tüketicilerin toplam ödemesinin daha az olacağı kanıtını ve incelemesini sunmaktadırlar. Teorik sonucu doğrulamak için, modeli Lemke ve Howson algoritması [50] kullanarak simüle etmiş ve örnek için kârma strateji NE'yi elde etmişlerdir. Modellerinde esnek bir talep durumu oluşturmuş, Lemke ve Howson algoritmasını kullanarak her iki fiyatlandırma mekanizması altında beklenen toplam piyasa dengelenmiş talepleri karşılaştırmışlardır. Teoriyi, simülasyonda ikiden fazla oyuncuya genişletmemişlerdir. Çok oyunculu oyunlar için hesaplama çabası, oyuncu sayısıyla birlikte hızla artma eğilimindedir. Çok oyunculu elektrik piyasası modellerini çözmeye yönelik yaklaşımların bir tartışmasına Lee ve Baldick [51] yer vermektedir.

Power ve Bunn [52] UF ihalesinde ÜŞ'lerin (Gencos, Generation Companies- ÜŞ, Üretim Şirketleri) kâr varyansının piyasa kâr varyansına karşılık geldiğini göstermiştir. Her bir Genco'nun üretim miktarları istikrarlı ve üretim maliyetleri sabit iken Genco'nun kârındaki değişim piyasa fiyatlarının değişimi tarafından belirlenir. ÜŞ'ler arasındaki rekabetin UF ihalesinde daha yoğun olduğu belirtilmektedir. Rassenti vd. [53]'ne göre her bir ÜŞ'nin TKÖ müzayedesindeki teklifleri piyasa fiyatlarına yakındır. Tekliflerdeki küçük farklılıklar üretim miktarlarında büyük farklılıklara neden olabilir ve sonuç olarak ÜŞ'lerin kârı ciddi şekilde değişir. Böylece TKÖ müzayedesinde fiyat oynaklığını azaltabilir. TKÖ'deki piyasa fiyatları nispeten sabit olduğundan, ÜŞ'ler bunlar üzerinde rasyonel tahminlerde bulunabilir ve bunları tekliflere referans olarak kullanabilir, piyasa fiyatları yüksek bir seviyeyi koruyabilir. Deneyler, her iki mekanizmanın da tam rekabet dengesine yaklaştığını ancak TKÖ'nün ortalama takas fiyatının UF'den daha yüksek olduğunu ve fiyatların daha istikrarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumda ÜŞ'lere yapılan ödemelerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Sugianto ve Liao [54], farklı açık artırma fiyatlandırma kurallarının piyasa performansı üzerindeki etkilerini özne tabanlı

modelleme yaklaşımıyla incelemiştir. Çalışmada, TKÖ fiyatlandırma kurallarının, teklif verenlerin birbirlerinin stratejilerini öğrenme ve buna tepki verme sürecinde karmaşık bir yapı oluşturabileceğini öne sürmektedir. Ayrıca, Vickrey fiyatlandırmasının, eşit olmayan Enerji Üretim Şirketleri (EÜŞ) paylarının varlığında toplam maliyeti yönetme ve istikrar arasında bir denge sağladığını ortaya koymaktadır.

Aliabadi vd.[55] piyasa takas mekanizmasının iki bileşenden oluştuğunu düşünmektedirler: fiyatlandırma kuralları ve düzenleme politikaları. Elektrik piyasasındaki ihale mekanizmasına ilişkin bir oyun teorik anlayışını ve üretim şirketlerinin öğrenme mekanizmasını bütünleştiren özne tabanlı bir simülasyon modeli kullanarak, elektrik üretim şirketlerinin farklı piyasa takas mekanizmaları altındaki stratejik davranışlarını araştırmaktadırlar. Literatürdeki en yaygın iki fiyatlandırma kuralı UF ve TKÖ modellerini karşılaştırmaktadırlar. TKÖ fiyatlandırması ile karşılaştırıldığında, UF altında teklif fiyatları ortalama marjinal maliyetlere daha yakın olurken, Enerji Üretim Şirketlerinin (EÜŞ) toplam kârı da daha yüksektir. EÜŞ'nin toplam kârını en aza indirmede, TKÖ fiyatlandırma kuralı ve rastgele paylaşırma politikasının bir kombinasyonunun en umut verici olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunu sağlamak için, EÜŞ'nin iyi bilinen Q-öğrenme algoritmasının bir çeşidine dayalı olarak kendi deneyimlerinden öğrenebileceği özne tabanlı bir simülasyon modeli tasarlamaktadırlar. Ayrıca, pekiştirmeli öğrenme altında, tekliflerin iki katılımcılı bir durum için Nash dengesinde birleşebileceğini ve kalabileceğini bulmuşlardır.

Khorasani ve Mashhadi [56], iki açık artırma mekanizması (UP ve PAB) ile bir sorunu çözmek için Q-öğrenme algoritmasını uygulayarak, eksik bilgiye dayalı kararlar veren katılımcıların bulunduğu gerçek bir piyasayı simüle etmeyi amaçlamaktadır. Vale ve diğerleri [41], Pereira ve diğerleri [57], ve Pacaba ve diğerleri [58], UF çerçevesinde piyasa katılımcılarının stratejik davranışlarını modellemek için farklı öğrenme yöntemlerini kullanmaktadır. Sugianto ve Liao [59], piyasa performansı üzerindeki üç farklı fiyatlandırma kuralının etkisini simülasyonlar yoluyla incelemektedir. Aliabadi ve diğerleri [60] oligopolistik bir elektrik piyasasında her öznenin öğrenme davranışının piyasa teklif fiyatlarını ve kâr seviyelerini nasıl etkilediğini araştırmaktadır. Aliabadi ve diğerleri [55], Q-öğrenme modelinin etkilerini ele almaktadır. Calabria ve diğerleri [61], Brezilya elektrik piyasası için yenilikçi bir tasarım önererek, katılımcı davranışlarını simüle etmek için Özne Tabanlı Modelleme (ÖTM) ve güçlendirme Q-öğrenmeyi

kullanmaktadır. Chen ve diğ erleri [62], elektrik piyasası üyelerinin davranışlarını simüle etmede zeki özne algoritmalarının önemini vurgulamaktadır. Morteza ve diğ erleri [63], elektrik TK    k artırımlarında tedarikçiler için teklif verme karar verme sorununu ele alarak, geçmiş deneyimlerden optimal teklif fiyatlarını öğrenmek için Q- ğrenme algoritmasını tanıtan model tabanlı bir yaklaşım önermektedir. Kardakos ve diğ erleri [64], gün öncesi elektrik piyasasında optimal teklif stratejisine odaklanarak, rakiplerin teklif eğrilerindeki belirsizlikleri dikkate alan üç aşamalı stokastik iki seviyeli bir optimizasyon modeli önermektedir.

Bazı makaleler, elektrik piyasalarının farklı yönlerini, simülasyonları ve insan konularının hesaplama özneleri ile entegrasyonunu kapsamaktadır. Özne tabanlı simülasyon modelleri elektrik piyasası araştırmalarında değerli olsa da insan tabanlı deneyler piyasa dinamiklerini, katılımcı davranışlarını ve politika müdahalelerinin etkisini anlamak için tamamlayıcı bir yaklaşım sunmaktadır. Duffy [65],  zne tabanlı modelleme ile insan denek deneyleri arasındaki ilişkiyi araştırarak,  TM'nin ampirik geçerliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, bilgisayarlı deneysel tasarımlarda insan deneklerin yapay öznelerle değiştirilmesine ilişkin i ğr r ler sunmaktadır. Delarue ve diğ erleri [66], enerji mühendisliği öğrencileri için bir simülasyon paketi tanıtarak, elektrik piyasalarının gelişen yapısını vurgulamaktadır. Delarue ve diğ erleri [67], öğrenmeyi kilit özellikler aracılığıyla geliştirmeye odaklanan iki simülasyon oyunu ile bir teknoloji-ekonomik eğitim paketi sunmaktadır. Trinh ve diğ erleri [68], deneysel ekonomi ve özne tabanlı modelleme kullanarak bir Avrupa toptan elektrik piyasasında üreticilerin stratejik davranışlarını incelemekte ve insan katılımcılar ile bilgisayar tabanlı özneler arasındaki sonuçları karşılaştırmaktadır. Yu ve Sun [69], çok seviyeli g   piyasalarında elektrik perakendecilerinin ticaret risk kontrol modelini analiz ederek, karmaşık piyasa ortamlarında karar verme yeteneklerini insan tabanlı deneyler yoluyla değerlendirmektedir. Shayegh ve Sanchez [70], düzenlenmiş ve serbest piyasalarda Yenilenebilir Portföy Standartlarının (RPS) temiz enerji teknolojileri üzerindeki etkisini değerlendirerek, basitleştirilmiş bir elektrik piyasası modeli kullanmakta ve insan tabanlı deneyimleri gözlemlemektedir. Wang ve diğ erleri [71], RPS altında eyaletler arası elektrik piyasalarında katılımcılar için risk altında karar verme ile ilgili zorlukları ve fırsatları analiz ederek, insan tabanlı deneyler kullanmaktadır. Tablo 1, literatürdeki genel ilgili çalışmaları göstermektedir.

Tablo 1 Farklı Elektrik Piyasası Mekanizmalarının Etkilerine İlişkin Çalışmalar

Ref.	Market Yapısı	Metodoloji	Çalışma tanımı	Sonuçlar
[2]	Vickrey, TKÖ ve UF yapıları	Elektrik market model	Elektrik piyasaları için üç alternatif fiyatlandırma kuralı sunmaktadır. Her yapı incelenmekte ve etkilerinden bahsedilmektedir.	Tek tip ve teklife göre ödeme fiyatlandırmasını harmanlayan hibrit bir fiyatlandırma modeli önerilmektedir.
[11]	TKÖ ve UF yapıları	Game Teorisi	Oyun teorik modellerini kullanarak UF ve TKÖ kapsamında denge teklif stratejilerini, piyasa fiyatlarını ve karları analiz eder.	UF fiyat tavanını tetikleyebilir, TKÖ ise piyasa fiyatlarının ve kârının düşmesine yol açabilir.
[32]	TKÖ ve UF yapıları	Aracı tabanlı Q-öğrenme modelleri	Rekabetçi elektrik dengeleme piyasaları için uygun ihale tasarımını belirlemek amacıyla incelemeler sunulmaktadır.	UF genellikle daha yüksek fiyatlara yol açar ve genellikle daha yüksek verimliliğe sahiptir. TKÖ stratejik ihaleyi kolaylaştırır.
[33]	TKÖ ve UF yapıları	Aracı Tabanlı Simülasyon	Oyuncuların farklı fiyatlandırma mekanizmaları altındaki davranışlarını incelemek için aracı tabanlı bir simülasyon kullanıldı.	UF fiyatları TKÖ fiyatlarından daha düşüktür.
[30]	TKÖ ve UF yapıları	Aracı Tabanlı Simülasyon	UF ve TKÖ mekanizmalarının dengeli işleyişini bir simülasyon platformuyla karşılaştırır ve analiz eder.	Piyasa dengeye ulaştığında UF mekanizmasındaki PTF, TKÖ sistemine göre daha düşüktür.
[72]	UF yapısı	Aracı Tabanlı Simülasyon	Aracı tabanlı modelleme yoluyla pazar yapısının karmaşıklığını, katılımcılar arasındaki stratejik etkileşimleri ve pazar kurallarını değerlendirir.	Piyasa gücü azaltımının yokluğunda, üreticiler piyasa kusurlarından faydalanabilir ve önemli ölçüde daha yüksek karlar elde edebilir. Güç azaltma kurallarının dahil edilmesinin, piyasa gücünün kullanılmasının bastırılmasında etkili olduğu gösterilmiştir.
[56]	TKÖ ve UF yapıları	Aracı Tabanlı Simülasyon (Q-öğrenme algoritmasıyla en uygun teklif verme stratejileri)	Katılımcıların eksik bilgilere dayanarak karar verdikleri gerçek bir piyasayı simüle etmek için Q-öğrenme algoritmasını önermektedir. Çalışma, iki ihale mekanizması (UF - TKÖ) kapsamında Q-öğrenme algoritmasını kullanarak enerji ve eğirme rezervi	QL tabanlı konular uygun davranışı öğrenebilir ve teklif stratejilerini farklı pazar koşulları altında ayarlayabilir.

Ref.	Market Yapısı	Metodoloji	Çalışma tanımı	Sonuçlar
			piyasalarında en uygun teklif stratejilerinin bulunmasına yönelik incelemeler sunmaktadır.	
[58]	UF yapısı	Aracı Tabanlı Simülasyon	UF yapısını dikkate alarak piyasayı simüle etmek ve piyasa katılımcılarının elektrik fiyatlarını karlı bir şekilde etkileyebilecek stratejik davranışlarını belirlemek için aracı tabanlı bir model önermektedir.	GenCo'nun karını artırmak için UF pazarına sunduğu stratejik tekliflerin etkileri.
[59]	UF, TKÖ ve Vickrey-Clarke-Grove yapıları	Aracı Tabanlı Simülasyon	Rekabetçi elektrik piyasasında farklı ihale fiyatlandırma kurallarının piyasa performansı üzerindeki etkisi, ihaleye dayalı bir elektrik piyasası modeli kullanılarak üç farklı fiyatlandırma kuralına yönelik simülasyonlarla incelenmiştir.	UF, piyasada yüksek ve değişken toplam nakliye maliyetlerine yol açmıştır. TKÖ fiyatlandırması, düşük nakliye maliyetlerine yol açan doğru fiyatları teşvik eder; Vickrey fiyatlandırması, toplam maliyetin kontrolü ve istikrarı arasında iyi bir denge sağlar.
[60]	UF ve TKÖ yapıları	Aracı Tabanlı Simülasyon, Game Teorisi	Elektrik piyasasında ihale mekanizmasının oyun-teorik anlayışı ile üretim şirketlerinin öğrenme mekanizmasını bütünleştiren etmen tabanlı bir simülasyon modeli kullanılarak, enerji üretim şirketlerinin farklı piyasa takas mekanizmaları altındaki stratejik davranışları incelenmektedir.	UF, GenCo'ları marjinal maliyetlerine yakın teklifler vermeye teşvik ediyor, ancak bu daha yüksek toplam kârla sonuçlanıyor, bu da tüketici yararının azaldığını gösteriyor. Çalışma, ISO için daha iyi bir fiyatlandırma kuralı olarak TKÖ'yü önermektedir.
[61]	UF yapısı	Aracı Tabanlı Simülasyon, Q-Öğrenim	Brezilya elektrik piyasası, piyasa katılımcılarının sözleşmeleri yerine getirmede esnekliğini artırmak için sanal rezervuarlar sunuyor. Yaklaşım, katılımcı davranışını simüle etmek için takviye Q-Öğrenimini kullanan Aracı Tabanlı Model tarafından desteklenir.	Q-öğrenmeyi kullanan Aracı Tabanlı Model ile katılımcı davranışını simüle etmenin olumlu etkileri.
[63]	TKÖ yapısı	Model tabanlı yaklaşım ve QL algoritması	Bir tedarikçinin bakış açısından elektrik ihalelerinde teklif karar verme sürecini araştırıyor. Simülasyonlar yoluyla en uygun teklif stratejilerini belirlemede etkinliğini göstermek için bir Q-öğrenme algoritması sunar.	TKÖ yapısı elektrik piyasasında bir tedarikçi için en uygun ihale stratejisidir.

Ref.	Market Yapısı	Metodoloji	Çalışma tanımı	Sonuçlar
[65]	UF yapısı	Özne Tabanlı Modelleme ve Simülasyon	ÖTM'nin ampirik geçerliliğini vurgulayan, etmen tabanlı modelleme ile insan denek deneyleri arasındaki ilişki. Ayrıca bilgisayarlı deneysel tasarımlarda insan deneklerin yapay öznelerle değiştirilmesine ilişkin bilgiler sunulmaktadır.	İnsan denek deneylerinden elde edilen verileri açıklama açısından etmen tabanlı modelleme yaklaşımlarının ampirik geçerliliği.
[66]	UF ve TKÖ yapıları	Elektrik Piyasası Simülasyon Oyunu	Elektrik piyasalarının gelişen yapısının vurgulanması, rekabetin teşvik edilmesi ve enerji mühendisliği öğrencileri için bir simülasyon paketinin tanıtılması	Simülasyon öğrencilere öğrenme potansiyeli sağladı ancak bazı özellikler optimize edilebilir.
[67]	UF ve TKÖ yapıları	Elektrik Piyasası Simülasyon Oyunu	Temel özellikler yoluyla öğrenmeyi geliştirmeye odaklanan, iki simülasyon oyunu içeren bir eğitim paketi sunulmaktadır.	Simülasyon öğrenme potansiyeli sağlar ve bazı özelliklerin optimize edilmesiyle daha iyi sonuçlar elde edilebilir.
[68]	UF ve TKÖ yapıları	Elektrik Piyasası Simülasyon Oyunu	İnsan katılımcılar ile bilgisayar tabanlı acenteler arasındaki sonuçları karşılaştırarak, acente bazlı modelleme kullanarak Avrupa toptan elektrik piyasasındaki üreticilerin stratejik davranışlarını inceliyor.	Hesaplamalı araçlar ile insan gruplarından elde edilen veriler karşılaştırıldığında, araçlar daha iyi performans göstermektedir.
[69]	UF ve TKÖ yapıları	Elektrik Market ve Simülasyon	İnsan temelli deneyler yoluyla karmaşık piyasa ortamlarında elektrik satın alan şirketin elektrik sistemlerini optimize etmek için elektrik perakendecilerinin elektrik satın alma ve satma davranışlarını incelemektedir.	Çok seviyeli elektrik piyasasında risk değeri teorisi ile insan temelli yaklaşımın birleşimi başarılı oldu.
[70]	UF yapısı	Elektrik piyasalarının stilize modeli	Basitleştirilmiş bir elektrik piyasası modeli kullanarak ve insan temelli deneyimleri gözlemleyerek temiz enerji teknolojilerinin serbestleştirilmiş piyasalardaki etkisini değerlendirilmektedir.	İlk olarak, düzenlenmiş ve kuralsızlaştırılmış piyasalara ilişkin sınıflandırmaları mutlak değildir. İkincisi, teknolojik yeniliğin olmadığı statik bir piyasayı düşünüyorlar.
[71]	UF ve TKÖ yapıları	Çok özneli oyun modeli ve MATLAB	İnsan temelli deneyler kullanarak, eyaletler arası elektrik piyasalarındaki katılımcılar için piyasa karar verme zorluklarını ve fırsatlarını öngörüyor.	Elektrik piyasası sorunlarına yönelik optimal karar alma modelinin oluşturulması

Karmaşık yapılar olan elektrik piyasalarının öğretiminde, simülasyon oyunlarının başarısı, kullanıcılarına sağladıkları benzersiz uygulama ortamları sayesinde, karmaşık konuların veya kavramların anlaşılmasını artırarak, geleneksel ve klasik pedagojik yöntemlere göre dikkate değer şekilde üstündür [73-79]. Elektrik piyasalarını simüle etmek için çeşitli oyunlar ve programlar bu araştırmalar kapsamında incelenmiştir [79-83]. Bu oyunların çoğu, şimdilerde artık geçerliliğini yitirmiş, kullanımı zor, ek yükleme ve kurulum gerektiren, belirli çalışmalar veya alanlar için tasarlanmış ya da yalnızca sınırlı sayıda oyuncuya izin veren oyunlardır. Sonuç itibariyle, elektrik piyasalarının karmaşıklığı nedeniyle özne tabanlı simülasyonun hem araştırma amaçlı hem de ticari uygulamalarda elektrik piyasalarını modellemek için uygun bir araç olduğu sonucuna varılmıştır. Genel olarak, bir elektrik piyasasındaki tüm büyük katılımcılar özne olarak modellenmektedir. Bu nedenle, elektrik piyasalarında gerekli bilgi ve becerileri sağlamak ve geliştirmek için yenilikçi bir elektrik piyasası simülasyon oyunu olan EMGame tasarlanmaktadır. Bu çalışmada, elektrik piyasalarını incelemek için kullanılan simülasyon yapısı, EMGame platformunda somutlaştırılmıştır.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE TEKNİKLER

Elektrik piyasası simülasyon oyunları, öğrencilerin ve araştırmacıların gerçekçi piyasa koşullarını deneyimlemeleri için pratik öğrenme araçları olarak tasarlanmıştır. Bu simülasyonlar katılımcılara elektrik piyasasında üretici, tüketici veya düzenleyici gibi çeşitli roller üstlenme fırsatı sunarak onları fiyat belirleme, ihale ve enerji ticareti gibi temel piyasa faaliyetlerini deneyimleme fırsatı sunar. Elektrik piyasalarında gerekli bilgi ve becerileri sağlamak ve geliştirmek için yenilikçi bir elektrik piyasası simülasyon oyunu olan EMGame, Abusah ve Selçuklu [1] tarafından tasarlanmıştır. Simülasyon oyunu zaman içerisinde geliştirilmiş ve bu gelişim sürecinin detayları elektrik piyasası simülasyon oyunu platform yapısı başlığı altında verilmiştir. Bu tez çalışması ile simülasyon oyunu kullanılarak iki farklı piyasa yapısı dahilinde enerji türlerine bağlı olarak çeşitli senaryolar altında elektrik piyasa yapılarının dinamikleri analiz edilmiştir. Piyasa katılımcılarının, yani oyuncuların, simülasyon oyununda birer piyasa aktörü gibi hareket etmesiyle yaptıkları yatırımlar ve ticaretler her bir farklı dönem için uyguladıkları stratejiler kolaylıkla izlenebilmekte ve istenilen doğrultuda analizleri yapılabilmektedir. Böylelikle, piyasaya etki eden katılımcı, piyasa yapısı, enerji türü gibi birçok etkenin etki düzeyleri çıkarılabilir, katılımcılar arasındaki rekabet incelenebilir ve çeşitli senaryolar altında piyasa dinamikleri değerlendirilebilir. Ayrıca, insan temelli bir çalışma sunularak elektrik piyasa yapılarının daha gerçekçi bir şekilde incelenmesi ve analiz edilebilmesi sağlanmıştır.

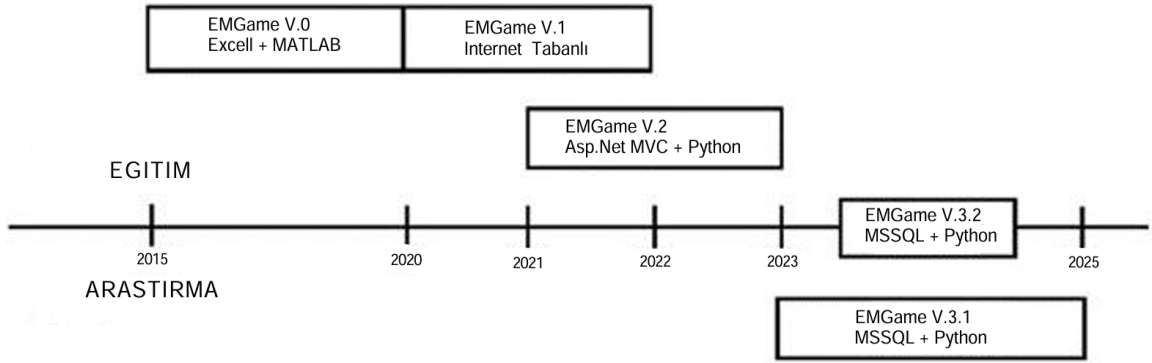
2.1 Elektrik Piyasası Simülasyon Oyunu (EMGame) Platform Yapısı

Mevcut EMGame versiyonu, Asp.Net MVC, Entity Framework, Bootstrap ve MSSQL tabanlı olarak geliştirilmiştir. Asp.Net MVC, .NET Framework dilleri ile Model-

Görünüm Denetleyici (İng: Model-View-Controller, MVC pattern) kullanılarak hızlı çalışan, test edilebilir, tekrar kullanılabilir parçaları olabilen ağ uygulamaları geliştirilebilmesi sağlanmıştır. Büyük çaplı projeler geliştirmeye ve geliştirilen uygulamanın test edilebilir olmasına imkân vermektedir. Entity Framework, Object Relational Mapping (ORM) imkânı sağlar. ORM, veri tabanında bulunan tablo ve alanları nesne olarak kullanmamıza olanak tanıyan bir yazılım mimarisidir. Bu sayede yazılım geliştiriciler, veri tabanı ve SQL komutlarına ihtiyaç duymadan uygulama geliştirebilirler. Bootstrap ise, internet sitesini kolayca uyarlanabilir hale getirir; yani, tablet, telefon, masaüstü bilgisayar ve her türlü ekran çözünürlüğüne duyarlı olacak şekilde ayarlamamıza olanak tanıyan ücretsiz ve açık kaynaklı bir çerçevedir.

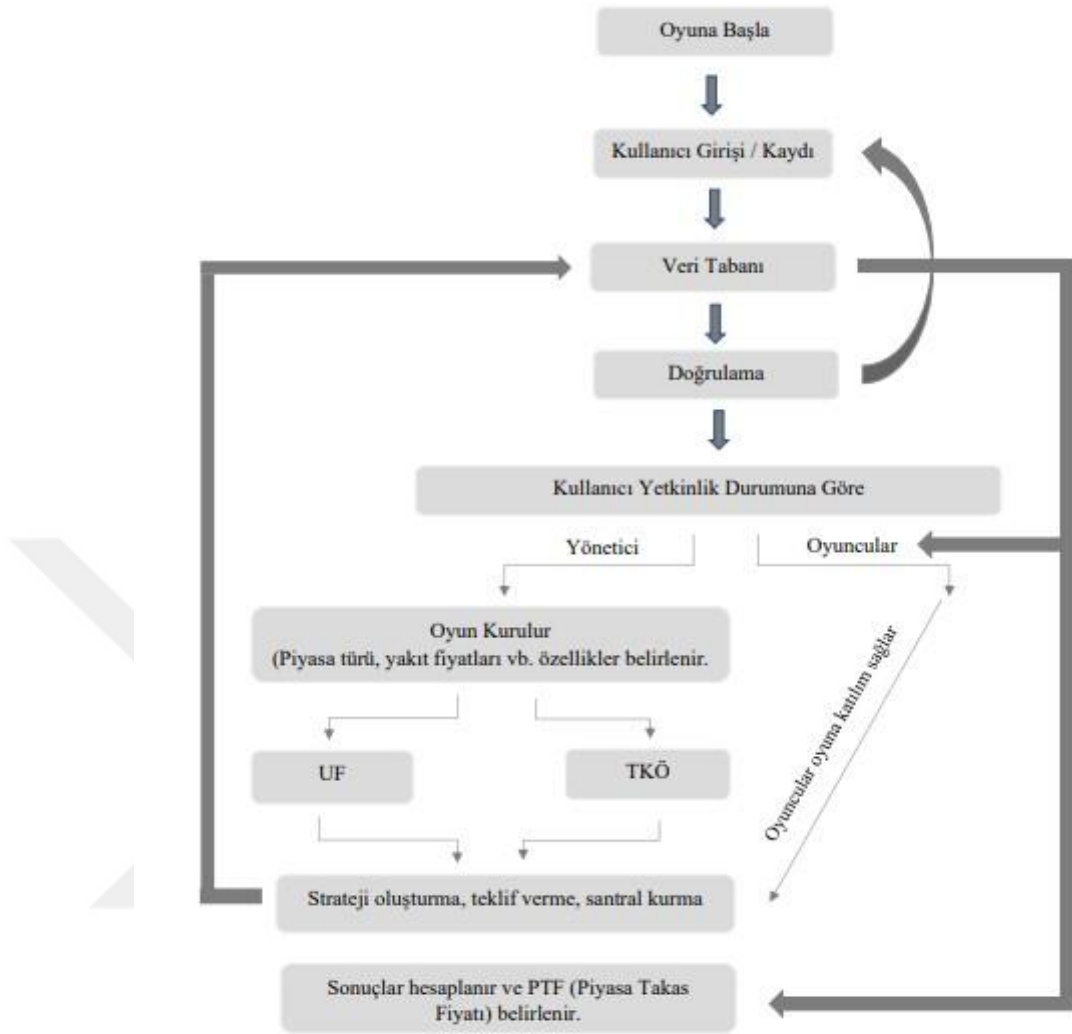
EMGame¹, halen kullanılmakta olup, geliştirilmeye devam etmektedir (Şekil 3). Oyun platformu başlangıçta Erciyes Üniversitesi Enerji Sistem Mühendisliği Bölümü'nde ilgili derslerde kullanılmaya başlanmış olup, ilk denemeler Excel ve Matlab tabanlı basit bir oyun modeli (EMGame V.0) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oyunun ilk internet tabanlı versiyonu (V.1) bir yüksek lisans tezi projesi kapsamında başlatılmıştır [1]. Daha sonra, görsel ve içerik açısından geliştirilmiş bir versiyon (V.2) Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen FLO-2021-10857 kodlu projesi ve TUBİTAK tarafından desteklenen 1919B012004662 kodlu projesi ile tamamlanmıştır. Oyun, yine TUBİTAK tarafından desteklenen ve şu anda yürürlükte olan 222M440 kodlu 3501 Kariyer Geliştirme Programı kapsamındaki projede bilimsel araştırma ve inceleme amaçlı geliştirilmeye devam etmektedir ve projenin sonraki aşamalarında piyasa incelemelerinde kullanılmak üzere bir benzetim modeline dönüştürülecektir (V.3.1).

¹ www.theemgame.com



Şekil 3. The EMGame Versiyonları ve Geliştirilmesi

Bu çalışma, EMGame elektrik ticareti oyununun kullanımı üzerine inşa edilmiştir. EMGame platformu, Oyuncu Etkileşim Platformu (arayüz tasarımı), Simülasyon Platformu ve Veri tabanından oluşur. Simülasyon Platformu, web tabanlı olarak tasarlanmıştır. Simülasyon platformunun akışı Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4. Simülasyon Yapısı

EMGame, elektrik ticaretinin temel pratik kavramlarını anlamaya yardımcı olur ve farklı piyasa mekanizmaları arasında karşılaştırmalar yapılmasını sağlar. Oyun, iki farklı mekanizma yapısı (UF ve TKÖ) için kurulabilir. Her oyuncu mümkün olan en fazla kârı elde etmeyi hedefler. Oyuncular sisteme kullanıcı adı ve şifreleri ile giriş yaparlar. Açılan ilk sayfanın üst kısmında oyunun kaçınıcı dönemde olduğunu gösteren periyot, oyuncu (kullanıcı ismi), bazı enerji türleri için birim fiyatı başına karbondioksit cezası, her dönem için oluşan bütçe, periyottaki toplam elektrik talebi ve her periyot için belirlenen oyun süresi gösterilmektedir. Oyunda her oyuncu, yatırım ve ticaret portföylerini yönetebilecekleri kendi oyun sayfalarına yönlendirilir. Ayrıca enerji santrallerinin birim yatırım maliyetleri, birim yakıt cezası maliyetleri, karbondioksit emisyonu maliyetleri ve bakım-onarım maliyetleri gibi santrali ilgilendiren parametreleri

daha ayrıntılı bir şekilde görmeyi sağlayan birim maliyet tablosu oyun sekmesinin üstünde verilmektedir. Portföy, oyuncunun hali hazırda bulunan enerji santrallerini, kullanılabilir kapasitesini, aktif çalışma süresini ve son çalışma zamanı (santral emeklilik zamanı) bilgilerini içermektedir. Yatırım bölümünde, oyuncular yeni enerji santrallerine yatırım yapmaya karar verirler ve maliyetler, kapasite, verimlilik ve karbon emisyonları gibi detayları incelerler. İnşaat döneminin ardından, yeni kurulan santraller portföye eklenir ve operasyonel dönemin ardından emekliye ayrılırlar. Ticaret bölümü, oyuncuların teklif sunulmak istenen santrallerin enerji türünü, miktar (MW) ve teklif fiyatlarını (\$/MWh) belirlemelerine olanak tanıyan 0 ila 200 dolar aralığında teklifler vermeyi içerir. Periyot süresi zarfında tüm oyuncuların ticaret ve yatırım işlemlerini tamamlamaları gerekir. Verilen süre boyunca işlem yapmayan veya yapamayan kullanıcılar, tüm kapasitelerini en yüksek fiyattan (200\$) teklif etmiş kabul edilir. Böylece arz-talep dengesinin bozulması engellenir. Ticaret sonuçları, her bir santral için ticari faaliyetleri gösteren piyasa sonuç sayfasında vurgulanır. Sevk edilen teklifler tablosu, teklifleri ve kabul edilen oranları gösterirken, tüm teklifler tablosu, tüm şirketlerin tekliflerini göstererek çeşitli stratejilere dair içgörüler sunar. Böylece diğer oyuncuların nasıl bir strateji oluşturduğuna dair bir fikir elde edilebilmektedir. Sıralama bölümü, en kârlı katılımcıyı belirler ve dönem için en yüksek bütçeyi vurgular. Böylece oyun, seçilen piyasa yapısına göre tamamlanır ve oyun verileri veri tabanı bölümünde saklanır. Ayrıca son kısımdaki market fiyat eğrisi, enerji türüne göre karbon cezaları eğrisi gibi grafikler yer almaktadır. The EMGame simülasyon platformu aşamaları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Simülasyon Oyun Platformu

Asp.Net MVC, MSSQL veri tabanına bağlanma süreçlerini kolaylaştırır. Bu modül, piyasa takas fiyatını (PTF) hesaplayan bir algoritmayı içerir ve belirlenen PTF kullanılarak her oyuncu için gelir ve gider gibi hesaplamalar bu modül içinde gerçekleştirilir. Simülasyon oyunları sırasında, katılımcı teklifleri, piyasa fiyatları, üretim ve tüketim miktarları gibi kritik bilgiler toplanır. Bu veriler analiz ve değerlendirme için MSSQL veri tabanında saklanır. MSSQL veri tabanı, veri yönetimi için kullanılır ve oyuncuların teklif verileri ile elektrik piyasası arasında bir köprü görevi görür. Oyun sonrası analiz verileri, her oyuncu ve her dönem için tüm kararları etkileyen verileri kapsar ve veri tabanında saklanır. Bu modül, PTF hesaplayan bir algoritmayı içerir. Ayrıca, belirlenen PTF kullanılarak her oyuncu için gelir ve gider hesaplamaları bu modül içinde gerçekleştirilir. Hesaplamalar tamamlandıktan sonra sonuçlar veri tabanına ve oyuncuların web sayfalarına gönderilir. Bu süreç, piyasa dinamiklerini ve katılımcıların davranışlarını anlamak için esastır. Elde edilen veriler, fiyat analizleri, arz-talep dengesi, oyuncu stratejisi ve enerji kaynaklarının kullanımı ve verimliliği gibi çeşitli alanlarda değerlendirilir. Ayrıca, stratejik kararların ve piyasa mekanizmalarının etkilerini anlamada önemli bir rol oynayan piyasa dalgalanmalarının ve farklı piyasa yapılarına ilişkin karşılaştırmalı analizler yapılır. Bu verilerin toplanması ve işlenmesi genellikle özel yazılımlar veya bilgisayar destekli programlar aracılığıyla gerçekleştirilir, her senaryo için titizlikle kaydedilir ve analiz edilir.

2.2. Platformda Kullanılan Hesaplamalar

Bu kısımda, oyunun arka planında işlenen hesaplamalar verilmektedir. Bu hesaplamaların konu ile ilgili detaylı bilgi edinmek isteyen araştırmacılar ve öğrenciler tarafından teorik olarak bilinmesinde fayda vardır fakat, oyunun daha anlaşılır oynanabilmesi için oyunculardan bu hesaplamaları yapması istenmez. Hesap sonuçları, önceki bölümde anlatıldığı gibi çıktılar olarak ilgili grafikler, tablolar veya veri seti olarak alınabilmektedir.

2.2.1. Talep

Belirli bir piyasada, belirli bir zamanda, satın alınmak istenen kapasitedir. Başlangıçta talep (D_1), oyuncuların başlangıç kapasitelerine göre hesaplanır ve ilerleyen periyotlarda aşağıda belirtilen formül ve hesaplamalara göre artmaktadır.

$$D_1 = (1 - r) \sum_i (S_i) \quad (1)$$

$$D_t = (1 + r) D_{t-1} \quad (2)$$

Burada, D_1 başlangıç talebi (1. Periyot), D_t t periyodunda marketteki talebi, S_i i oyuncusunun toplam arzını ve r ise oyun kurucu tarafından belirlenen iki değer arasından uniform dağılıma göre seçilen bir oranı belirtmektedir (formülde % r olarak kullanılır). Örneğin, oyun kurucu [5, 10] değerlerini girdiyse $r = \%5$ veya $r = \%10$ veya bunların arasında herhangi bir değer alır.

2.2.2. CO₂ Cezası

CO₂ emisyonu, atmosfere salınan karbondioksit miktarını ifade eder. Elektrik üretimine uygulanan karbon cezası oyun başlangıcında sabit olarak verilir fakat fosil kaynak kullanan santrallerin kapasitesinin değişimine göre CO₂ cezası her bir periyotta hesaplanarak güncellenir. Uygulanacak olan ceza maliyeti aşağıda verilen formül ve hesaplamalara göre belirlenir.

$$E_t^{CO_2} = \sum_p (E_p^{CO_2} \times S_{p,t}^D \times 8760) \quad (3)$$

$$P_t^{CO_2} = P_0^{CO_2} + \alpha^{CO_2} \times E_{t-1}^{CO_2} \quad (4)$$

Burada, $P_t^{CO_2}$ t periyodunda CO₂ fiyatını (cezası), $P_0^{CO_2}$ başlangıç CO₂ fiyatını (cezası) belirtmektedir (oyun kurucu tarafından belirlenir). $E_t^{CO_2}$ t periyodunda CO₂ salımını (emisyonu), $E_p^{CO_2}$ p santralinin CO₂ salım oranını (ton/MWh) belirtmektedir (oyun kurucu tarafından belirlenir). $S_{p,t}^D$ p santralinin t periyodunda kabul edilen (dispatched) kapasitesini, 8760 bir yıldaki (periyottaki) saat sayısını ve α^{CO_2} CO₂ salımını (emisyonu) sabitini belirtmektedir (oyun kurucu tarafından belirlenir).

2.2.3. Yakıt Fiyatı

Yakıt maliyeti enerji üretiminde kullanılan enerji kaynağının maliyetidir. Başlangıçta oyun kurucu tarafından verilen maliyet, ileriki periyotlarda ilgili yakıtın talebe göre değişir.

$$F_{t,f} = \sum_p (F_p^f \times S_{p,t}^D \times 8760) \quad (5)$$

$$P_{t,f} = P_{0,f} + \alpha_f \times F_{t-1,f} \quad (6)$$

Burada, $P_{t,f}$ t periyodunda f yakıtının fiyatını, $P_{0,f}$ başlangıçta f yakıtının fiyatını belirtmektedir (oyun kurucu tarafından belirlenir). $F_{t,f}$ t periyodunda f yakıtının toplam tüketimini, F_p^f f yakıtı kullanan p santralinin yakıt tüketim oranını (ton/MWh) ve α_f ise f yakıtının tüketimi sabitini belirtmektedir (oyun kurucu tarafından belirlenir).

2.2.4. Santralin Birim Yatırım Maliyeti

Yatırım yapılan santralin yatırım maliyetinin kullanım ömrü boyunca üretebileceği toplam enerji miktarına bölünerek elde edilen maliyettir. Yani, bir birim enerji üretiminin yatırım maliyetidir. Oyunda bir periyotta (bir yılda) 8760 saat olduğu varsayılmaktadır.

$$C_p^{inv} = \frac{I_p}{S_p \times O_p \times 8760} \quad (7)$$

Burada, I_p ; p santralinin toplam yatırım maliyetini ve O_p ; p santralinin çalışma süresini (periyot) belirtmektedir. Oyun kurucu tarafından belirlenmektedir. C_p^{inv} ; p santralinin birim (saatlik) yatırım maliyetini, S_p ; p santralinin kapasitesini ve 8760 ise bir yıldaki (periyottaki) saat sayısını belirtmektedir.

2.2.5. Santralin Birim Yakıt Maliyeti

Bir birim (1 MWh) enerji daha üretmek için gerekli olan yakıt maliyetidir ve her bir santral için her bir periyotta güncellenir.

$$C_{t,p}^{fuel} = \frac{P_{t,f}}{n_p} \quad (8)$$

Burada, $P_{t,f}$ t periyodunda f yakıtının fiyatını, n_p ; p santralinin verimliliğini ve $C_{t,p}^{fuel}$ ise t periyodunda f yakıtı kullanan p santralinin birim (saatlik) yakıt maliyetini belirtmektedir.

2.2.6. Santralin Birim CO₂ Maliyeti (Cezası)

Bir birim (1 MWh) enerji üretiminin CO₂ ceza maliyetidir ve her bir santral için her bir periyotta güncellenir.

$$C_{t,p}^{CO_2} = P_t^{CO_2} \times E_p^{CO_2} \quad (9)$$

Burada, $P_t^{CO_2}$; t periyodunda CO₂ fiyatını (cezası), $E_p^{CO_2}$; p santralinin CO₂ salınım oranını(ton/MWh)(oyun kurucu tarafından belirlenir) ve $C_{t,p}^{CO_2}$ ise t periyodunda p santralinin birim (saatlik) yakıt maliyetini belirtmektedir.

2.2.7. Santralin Birim Bakım-Onarım Maliyeti

Bakım-Onarım maliyeti, santral kurulumu sonrası santralden enerji üretiminin devamlılığını sağlamak için yapılması gereken maliyetleridir (santral destek ekipmanları, planlanmış bakımlar gibi harcamalardır). Burada bir birim (1MWh) enerji üretiminin bakım-onarım maliyeti su şekilde hesaplanır;

$$C_p^{OM} = \frac{P_p^{OM}}{S_p \times 8760} \quad (10)$$

Burada, P_p^{OM} ; p santralinin yıllık bakım-onarım maliyetini ve C_p^{OM} ; p santralinin birim (saatlik) bakım-onarım maliyetini belirtmektedir.

2.2.8. Santralin Birim Üretim Maliyeti

Bir birim (1 MWh) enerji üretiminin toplam maliyetidir ve her bir santral için her bir periyotta güncellenir. Birim üretim maliyeti; birim yatırım, birim yakıt, birim CO₂ ve birim bakım-onarım maliyetlerinin toplamıdır.

$$C_{t,p} = C_p^{inv} + C_{t,p}^{fuel} + C_{t,p}^{CO_2} + C_p^{OM} \quad (11)$$

Burada, $C_{t,p}$; t periyodunda p santralinin birim (saatlik) üretim maliyetini belirtmektedir.

2.2.9. Bütçe, Gelir-Gider ve Kâr-Zarar Hesapları

Gelir hesabı piyasa mekanizmasına bağlı olarak değişir. UF ve TKÖ mekanizmalarında ana fark, her bir teklife yapılan ödeme şeklidir. UF’de, her şirkete PTF

üzerinden ödeme yapılırken TKÖ’de her teklife, verilen teklif fiyatı üzerinden ödeme yapılır.

UF mekanizmasında oyuncunun gelir hesabı şu şekilde yapılır:

$$IN_{i,p,t} = PTF_t \times S_{p,t}^D \quad (12)$$

$$IN_{i,t} = \sum_{p \in i} IN_{i,p,t} \quad (13)$$

Burada, PTF_t ; t periyodunda piyasa takas fiyatını, $IN_{i,p,t}$; i oyuncusunun p santralinin t periyodundaki gelirini, $IN_{i,t}$; i oyuncusunun t periyodundaki toplam gelirini ve $S_{p,t}^D$; p santralinin t periyodunda kabul edilen (dispatched) kapasitesini belirtmektedir.

TKÖ mekanizmasında oyuncunun gelir hesabı şu şekilde yapılır:

$$IN_{i,b,t} = B_{i,b,t} \times S_{i,b,t}^D \quad (14)$$

$$IN_{i,t} = \sum_{b \in i} IN_{i,b,t} \quad (15)$$

Burada, $IN_{i,b,t}$; i oyuncusunun b teklifinden t periyodundaki gelirini, $IN_{i,t}$; i oyuncusunun t periyodundaki toplam gelirini, $S_{i,b,t}^D$; i oyuncusunun b teklifinin t periyodunda kabul edilen (dispatched) kapasitesini ve $B_{i,b,t}$; i oyuncusunun t periyodunda b teklifi parasal değerini belirtmektedir.

Oyuncunun toplam gider hesabı ise şu şekildedir:

$$OUT_{i,p,t} = (C_{t,p}^{fuel} + C_{t,p}^{CO2}) \times S_{p,t}^D \times 8760 + P_p^{OM} \quad (16)$$

$$OUT_{i,t} = \sum_{p \in i} OUT_{i,t,p} \quad (17)$$

Burada, $OUT_{i,p,t}$; i oyuncusunun p santralinin t periyodundaki giderini ve $OUT_{i,t}$; i oyuncusunun t periyodundaki toplam giderini belirtmektedir.

Gelir ve giderlere bağlı olarak oyuncuların kâr-zarar ve bütçe hesaplamaları aşağıdaki gibi tamamlanır:

$$PL_{i,t} = IN_{i,t} - OUT_{i,t} \quad (18)$$

$$BUD_{i,t} = BUD_{i,t-1} + PL_{i,t-1} \quad (19)$$

Burada, $PL_{i,t}$; i oyuncusunun t periyodundaki kârı-zararını ve $BUD_{i,t}$ ise i oyuncusunun t periyodundaki bütçesini belirtmektedir.

2.3. Veri Seti

EMGame platformu, Erciyes Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde lisans ve lisansüstü öğrenciler tarafından kullanılmaktadır. Piyasa simülasyonları aracılığıyla öğrenciler, yenilenebilir enerji ve fosil yakıt santrallerinin bir karışımını içeren çeşitli senaryoları deneyimleme şansına sahip olmaktadır. Oyunların ayrıntılı açıklamaları Tablo 2'de verilmiştir. Bu çalışma için veriler; iki farklı mekanizmayı (UF ve TKÖ yapıları), 10 farklı enerji kaynağını ve üç farklı senaryoyu kapsayan 12 farklı oyundan elde edilmiş ve analiz edilmiştir. Kullanılan veri seti, literatürde yaygın olarak kullanılan insan tabanlı deneysel veri setlerine kıyasla daha fazla çeşitlilikte oyun ve etki düzeylerine dayalı sıralama sunmaktadır. EMGame platformunda TKÖ ve UF piyasa mekanizmalarından elde edilen veri setinde tanımlanan değişkenler arasında oyun türleri, oyuncu kimlik numaraları, enerji santrali isimleri, her oyun dönemi zaman bazlı olarak, her oyuncunun satabileceği kapasite (MW), oyuncunun teklif fiyatı, toplam kapasite (MW), satılan kapasite miktarı (MW), piyasa temizleme fiyatları ve nükleer, linyit kömürü, CCGT, hidro, güneş, karasal ve deniz üstü rüzgar, biyoyakıt, jeotermal ve ithal kömür gibi santral türleri yer almaktadır. Oyunlardan elde edilen veriler veri tabanından çıkarılmaktadır. Her oyuna ait veriler ayrı ayrı sınıflandırılır. Oyunlar için elde edilen her veri seti, Python programlama dili kullanılarak analiz edilmektedir

Tablo 2 Oyun Türleri

Oyunlar	Piyasa Mekanizmaları	Kullanılan Enerji Çeşitleri	Katılımcı ve Periyot Sayısı
RMCP	MCP: UF	Y: Yalnız Yenilenebilir Enerjiler	13 katılımcı ile 25 periyot boyunca oynandı
RPAB	TKÖ	Yalnız Yenilenebilir Enerjiler	11 katılımcı ile 25 periyot boyunca oynandı
FMCP	UF	F: Yalnız Fosil Enerjiler	11 katılımcı ile 25 periyot boyunca oynandı
FPAB	TKÖ	Yalnız Fosil Enerjiler	10 katılımcı ile 25 periyot boyunca oynandı
RFMCP	UF	YF: Yenilenebilir ve Fosil Enerjiler	11 katılımcı ile 25 periyot boyunca oynandı
RFPAB	TKÖ	Yenilenebilir ve Fosil Enerjiler	11 katılımcı ile 25 periyot boyunca oynandı
RMCP-2	UF	Yalnız Yenilenebilir Enerjiler	18 katılımcı ile 24 periyot boyunca oynandı
RPAB-2	TKÖ	Yalnız Yenilenebilir Enerjiler	18 katılımcı ile 24 periyot boyunca oynandı
FMCP-2	UF	Yalnız Fosil Enerjiler	15 katılımcı ile 24 periyot boyunca oynandı
FPAB-2	TKÖ	Yalnız Fosil Enerjiler	20 katılımcı ile 24 periyot boyunca oynandı
RFPAB-2	TKÖ	Yenilenebilir ve Fosil Enerjiler	16 katılımcı ile 24 periyot boyunca oynandı
RFPAB-3	TKÖ	Yenilenebilir ve Fosil Enerjiler	19 katılımcı ile 24 periyot boyunca oynandı

2.4 Piyasa Takas Fiyatı

Elektrik piyasalarında arz-talep dengesinin sağlandığı fiyatı temsil eden Piyasa Takas Fiyatı (PTF), genellikle saatlik bazda belirlenen önemli bir kavramdır. Teklifler ve ihaleler açısından bakıldığında elektrik piyasası katılımcıları, üreticiler ve perakendeciler gibi, satın almak veya satmak istedikleri elektriğin fiyatını ve miktarını belirten teklifler sunar. PTF'nin anlaşılması, elektrik piyasasındaki paydaşlar için hayati öneme sahiptir, bu paydaşlar arasında politika yapıcılar, piyasa operatörleri, üreticiler ve tüketiciler bulunur. PTF'nin arz ve talep dengesini sağlarken oluşan fiyat farklılıklarının, şeffaf ve verimli piyasa işlemleri ile piyasa oyuncuları davranışları kapsamında incelendiğinde rekabetçi ve adil fiyatlandırma sağlayıp sağlamadığı analiz edilebilir.

2.5 Herfindahl-Hirschman İndeks (HHI)

Herfindahl-Hirschman Endeksi (HHI), ekonomi ve tekelleşme karşıtı (anti-trust) analizlerde piyasa yoğunlaşmasının yaygın olarak kullanılan bir ölçüsüdür. Bir pazardaki

rekabetin derecesini, o pazarda faaliyet gösteren tüm firmaların pazar paylarının karelerini toplayarak değerlendirir. Genel olarak HHI, bir pazardaki rekabet düzeyine ilişkin değerli bilgiler sağlar ve rekabetçi pazarları teşvik etmeyi ve tüketici refahını korumayı amaçlayan piyasa düzenleyicilere bilgi sağlamaya yardımcı olur.

Herfindahl-Hirschman Endeksi (HHI), piyasa yoğunluğunun yaygın bir ölçüsüdür ve piyasa rekabetçiliğini belirlemek için kullanılır. HHI indeksi, firma i 'nin pazar payı (S_i) ve piyasadaki firma sayısı (N) dikkate alınarak şöyle hesaplanır:

$$HHI = \sum_{i=1}^N (S_i)^2 \quad (20)$$

Amerika Birleşik Devletleri Adalet Bakanlığı Yatay Birleşme Kılavuzlarına göre, HHI'nin 1800'ün üzerinde olması, piyasanın yüksek derecede yoğunlaşmış olduğunu gösterir. Dönemler (yıllar) arasında HHI'de 100 puanlık bir artış varsa, bu durum bir veya daha fazla oyuncunun (firmanın) pazar payının artarak rekabeti önemli ölçüde azaltma veya tekel oluşturma eğiliminde olduğunu belirtir. HHI, piyasa yoğunluğunun bir ölçüsü olarak daha yüksek değerlerle daha büyük yoğunluğu gösterdiğinden, verileri analiz ederek oyunların piyasa rekabetçiliği ile ilgili eğilimleri ve potansiyel endişeleri belirleyebiliriz. Tabloda vurgulanan hücreler, tekelleşme karşıtı endişelerini potansiyel olarak artıran büyük HHI artışlarının (>100 puan) olduğu birkaç durumu ortaya koymaktadır. Özellikle, on iki oyundan on tanesi için 11. dönem ortak HHI artış dönemi olarak görülmektedir. Ancak bu artış, büyük miktarda kurulu gücün emekliliği ve yerine yapılmayan yatırımlar nedeniyle gerçekleşmiştir. Ayrıca, FPAB oyunu daha büyük HHI artışları sergilemektedir ve HHI'nin 1800'ü aştığı tek oyundur. Fakat, bu durum sadece oyunun sonunda bir dönemde gerçekleşmiştir. Diğer yüksek piyasa yoğunluğu ($HHI > 1800$) örnekleri gözlemlenmemiştir.

2.6 Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi

Elektrik piyasasında Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi, belirli bir bölge veya piyasa alanında elektrik arzı ve talebi arasındaki dengeyi değerlendirmeyi sağlar. APT'nin temel amacı, herhangi olası kesintilere veya şebeke istikrarsızlığına yol açabilecek arz yetersizliklerini veya fazlalıklarını göstermektir. APT indeksi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\delta_i = D_p - \sum_i S_{-i} \quad (21)$$

Burada, δ_i firmanın arz payı endeksini, D_p piyasanın pik talebini ve S_{-i} ise ilgili firma hariç diğer tüm firmaların toplam üretim kapasitesini temsil eder. Eğer δ_i herhangi bir firma için pozitifse, bu firmanın piyasa gücü rekabeti bozacak düzeydedir.

2.7 Teklif Kar Marjı (TKM)

PTF ile fiyat belirleyici teknolojinin marjinal maliyeti arasındaki karşılaştırma, Teklif Kar Marjı (TKM, İngilizce literatürde “bidding markup”) olarak adlandırılır ve Denklem (22) ile hesaplanır.

$$TKM = PTF - MM \quad (22)$$

Marjinal Maliyet (MM), ilave bir birim elektriğin üretim maliyetidir. Teklif kâr marjı, PTF ile fiyat belirleyici teknolojinin marjinal maliyeti arasındaki farktır. Bu, fiyatı belirleyen elektrik üreticisinin kâr marjını yansıtır. Düşük bir TKM marjinal maliyete yakın rekabetçi fiyatlandırmayı işaret eder. Tam rekabetçi bir firma için $PTF = MM$ ve $TKM = 0$ 'dır

Marj Oranı (Markup Rate -MR- veya Lerner endeksi olarak da bilinir), piyasa gücünün bir ölçüsüdür. Marj Oranı (MR) Denklem (23) ile hesaplanır.

$$MR = (PTF - MM) / PTF \quad (23)$$

Tam rekabetçi bir firma için $PTF = MM$ ve $MR = 0$ 'dır. Böyle bir üreticinin pazar gücü yoktur. Bir oligopol veya tekel firma için $PTF > MM$ 'dir, dolayısıyla endeksi pozitifdir, $MR > 0$ 'dır.

Farklı piyasa mekanizmalarını ve enerji kaynaklarını içeren oyunların MR (Marj Oranı) değerlerine dayanarak piyasa gücünü karşılaştırmak, hangi oyunların daha yüksek piyasa gücüne sahip olduğunu belirlememizi sağlar. Piyasa gücü, Marj Oranı (MR) değerleri ile belirlenir; bu oran, piyasa fiyatlarının marjinal maliyetlere göre ne kadar üzerinde olduğunu gösterir. Pozitif MR değerleri, üreticilerin piyasa fiyatları üzerinde daha fazla kontrole sahip olduklarını ve dolayısıyla piyasa gücünün yüksek olduğunu gösterir. Negatif MR değerleri ise, üreticilerin maliyetlerini karşılayamadığını veya

piyasa fiyatları üzerinde sınırlı güce sahip olduklarını gösterir. Bu çalışmada, MR değerleri 0.2'nin üzerinde olan oyunlarda piyasa gücünün yüksek olduğu ve üreticilerin piyasa fiyatları üzerinde belirgin bir kontrole sahip olduğu varsayılmıştır (firmanın %25'e kadar kâr elde etme isteği normal kabul edilmiştir).

Genel olarak, daha düşük marjinal maliyetlere sahip teknolojilerin (örneğin, yenilenebilir enerji kaynakları) tipik olarak daha yüksek marjinal maliyetlere sahip olanlara (örneğin, fosil yakıtlar) kıyasla daha düşük fiyatlarla teklif vermeleri beklenir.



3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu kısımda, piyasayı etkileyen durumlar ve parametreler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çeşitli matematiksel hesaplama yöntemlerine, analizlere ve çıkarımlara bu kısımda yer verilmiştir.

3.1 Piyasa Takas Fiyatı İncelemesi

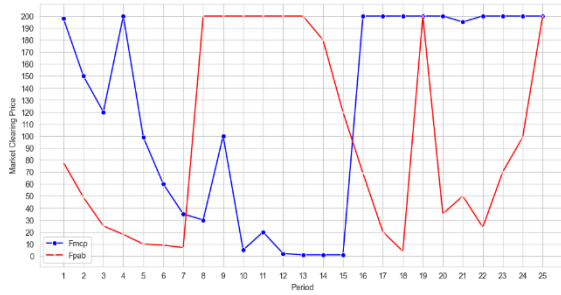
Şekil 6'dan Şekil 11'e kadar verilen grafiklerde, oyunların kendi aralarında mekanizma yapılarına göre PTF karşılaştırma grafikleri verilmiştir. Ayrıca, her bir oyunun her periyodu için toplu PTF karşılaştırması **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir. Bu grafikler üzerinde hem piyasa mekanizmalarının hem de kullanılan kaynak çeşidinin (örneğin YEK) piyasaya etki analizleri yapılabilir. Örneğin Şekil 6'da verilen grafikte yalnızca fosil yakıtların bulunduğu UF piyasa (FMCP) ve yalnızca fosil yakıtların bulunduğu TKÖ piyasa (FPAB) oyunlarının her bir periyot için piyasa takas fiyatları karşılaştırılmıştır. Grafikte UF piyasada PTF'nin TKÖ piyasadakine göre yüksek başladığı fakat oyunculara oyun başında verilen ilk santrallerin emekli olduğu 8. periyottan sonra daha düşük kaldığı fakat 15. periyottan sonra tavan fiyata çıktığı görülmektedir. Aynı senaryonun tekrarı (yalnızca fosil yakıtların bulunduğu piyasa karşılaştırması) Şekil 7'de sunulmuştur. UF piyasada PTF, başlangıçta TKÖ piyasadakine kıyasla düşük seyretmiş, ilk emekliliklerden sonra tavan fiyatı görüp tekrar düşüşe geçmiştir. TKÖ piyasadaki PTF, başlangıçta yüksek seyretmiş, 12. periyottan sonra düşmeye başlamış ve ancak 18. periyottan sonra UF seviyesinin altına inmiştir.

Şekil 8'de yalnızca yenilenebilir enerjilerin bulunduğu UF piyasa (RMCP) ve yalnızca yenilenebilir enerjilerin bulunduğu TKÖ piyasa (RPAB) oyunlarının her bir periyot için piyasa takas fiyatları karşılaştırılmaktadır. Grafik, UF piyasada PTF'nin genel olarak TKÖ piyasadakinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Fakat Şekil 9'da aynı

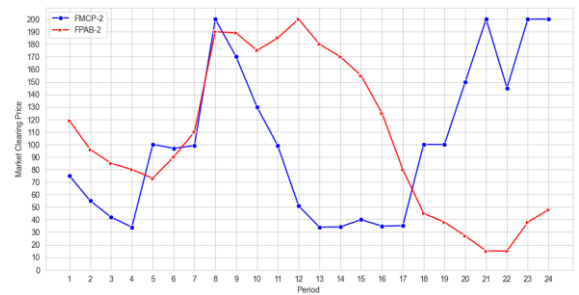
senaryonun tekrarında (yalnızca yenilenebilir enerjilerin bulunduğu UF piyasa ile RMCP-2 oyunu ve yalnızca yenilenebilir enerjilerin bulunduğu TKÖ piyasa ile RPAB-2 oyunu karşılaştırmasında) durum değişmektedir. Bu oyunda, UF piyasada PTF'nin başlangıçta yüksek seviyelerde seyredip zamanla hafif dalgalanmalar gösterdiği görülmektedir. TKÖ piyasada ise PTF'nin ilk periyottan itibaren düzenli bir azalma gösterdiği ve 10. periyotta sıfıra yaklaştığı görülür. UF piyasada PTF'nin, 10. periyotta ilk santrallerin emekliliğine kadar TKÖ piyasadan daha yüksek olduğu ancak sonrasında daha düşük seyrettiği görülmektedir.

Bu grafiklerden çıkarılan yorumlar, piyasa mekanizmalarından ziyade piyasaya katılan teknolojilerin etkisinin daha fazla olduğunu düşündürmektedir. Ancak, %100 yenilenebilir bir piyasada, UF mekanizmasının başlangıçta daha yüksek PTF seviyeleri oluşturduğu ve bu sayede oyuncuların (üretim şirketlerinin) piyasadan yeni yatırımlar için yeterli gelir elde etmelerine olanak tanıdığını ve onları yeni santrallere yatırım yapmaya teşvik ettiği söylenebilir. TKÖ mekanizması, piyasada %100 fosil kaynak olması durumunda %100 yenilenebilir senaryosuna göre kısmen daha iyi davranmakta fakat, yeni yatırımlar için olumlu fiyat sinyalleri göndermekte bazen başarısız olmakta ve oyuncuları daha yüksek seviyelerde teklif vermeye zorlamaktadır.

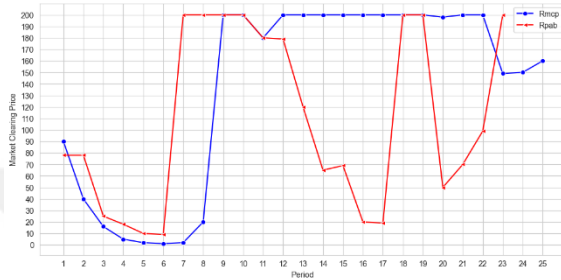
Şekil 10 ve Şekil 11, yenilenebilir ve fosil kaynakların beraber kullanıldığı mekanizmaların karşılaştırmalarını sunmaktadır. Bu oyunlarda yaşanan teknik bir aksaklıktan dolayı dört oyundan sadece biri UF mekanizması ile oynanabilmiştir. Bu sebeple sağlıklı karşılaştırma imkânı kısıtlıdır. Fakat, ilginç olan durum, en iyi sonuçları veren senaryonun yenilenebilir ve fosil kaynakların beraber kullanıldığı TKÖ mekanizması altında RFPAB-3 oyununda elde edilmesidir. Bu oyunda PTF, 120 dolar seviyesinden kısa zamanda 20 dolar seviyesine düşmüş ve diğer oyunlara kıyasla daha az dalgalanma ile düşük fiyat seviyeleri korunmuştur. Bu senaryonun diğerlerinden neden daha iyi sonuçlar verdiğinin daha detaylı analiz edilmesi gereklidir fakat insan temelli deneylerin kısıtı burada kendini göstermektedir. Örneğin RFPAB-1, 2 ve 3 oyunlarından 1 ve 2 benzer sonuçlar verirken RFPAB-3 en iyi sonuçları vermiştir. Aradaki farkı incelemek için aynı senaryoyu tekrar deneye tabi tutmak veya aralarında sağlıklı karşılaştırmalar yapmak pek mümkün değildir.



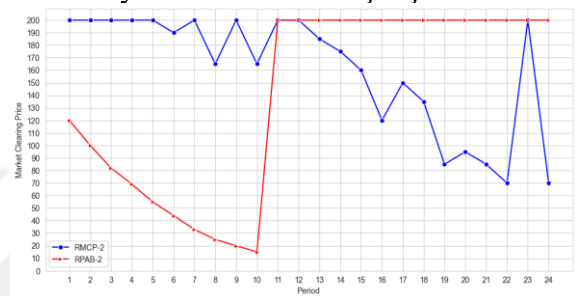
Şekil 6. İlk gruba ait FMCP ve FPAB oyunlarının PTF karşılaştırması



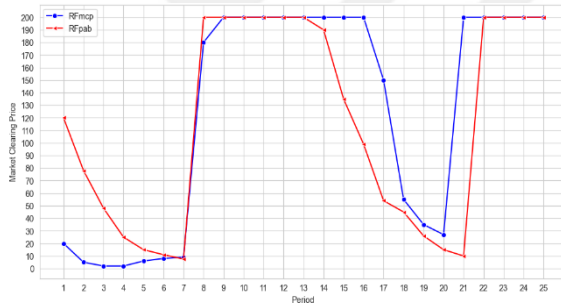
Şekil 7. İkinci gruba ait FMCP-2 ve FPAB-2 oyunlarının PTF karşılaştırması



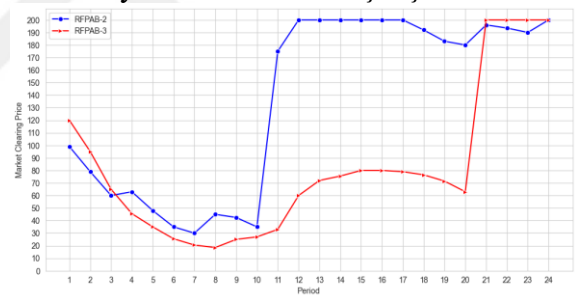
Şekil 8. İlk gruba ait RMCP ve RPAB oyunlarının PTF karşılaştırması



Şekil 9. İkinci gruba ait RMCP-2 ve RPAB-2 oyunlarının PTF karşılaştırması



Şekil 10. İlk gruba ait RFMCP ve RFPAB oyunlarının PTF karşılaştırması



Şekil 11. İkinci gruba ait RFPAB-2 ve RFPAB-3 oyunlarının PTF Karşılaştırması

3.2 Bütçe ve Arz-Talep İncelemesi

Şekil 12, her oyun için oyuncuların nihai bütçelerinin kutu (boxplot) grafiğini sunmaktadır. Bir oyunun bütçe kutu grafiği, oyuncu bütçelerinin %25'lik, %50'lik, %75'lik dilimleri, medyan, ortalama, minimum, maksimum ve aykırı değerlerini görsel olarak göstermektedir. Kutuyu ikiye bölen çizgi medyan değeri temsil eder. Aykırı değerler dairelerle gösterilmektedir. Kutu grafiğinin şekli, oyunun sonunda oyuncu bütçelerinin nasıl dağıldığını gösterir ve toplam gelir ve gelir dağılımı açısından farklı oyun türlerini karşılaştırmanın yararlı bir yoludur. Örneğin, FPAB ve FMCP oyunları zıt bütçe dağılımlarına sahiptir. FPAB oyununda oyuncular FMCP oyununa göre daha az kazanmış, ancak gelir dağılımı daha adil olmuştur. Başka bir belirgin karşılaştırma, RFPAB ve RFMCP oyunları arasında yapılabilir. Bu karşılaştırmalar, piyasa mekanizmalarının gelir ve gelir dağılımı üzerindeki etkisini göstermektedir. TKÖ

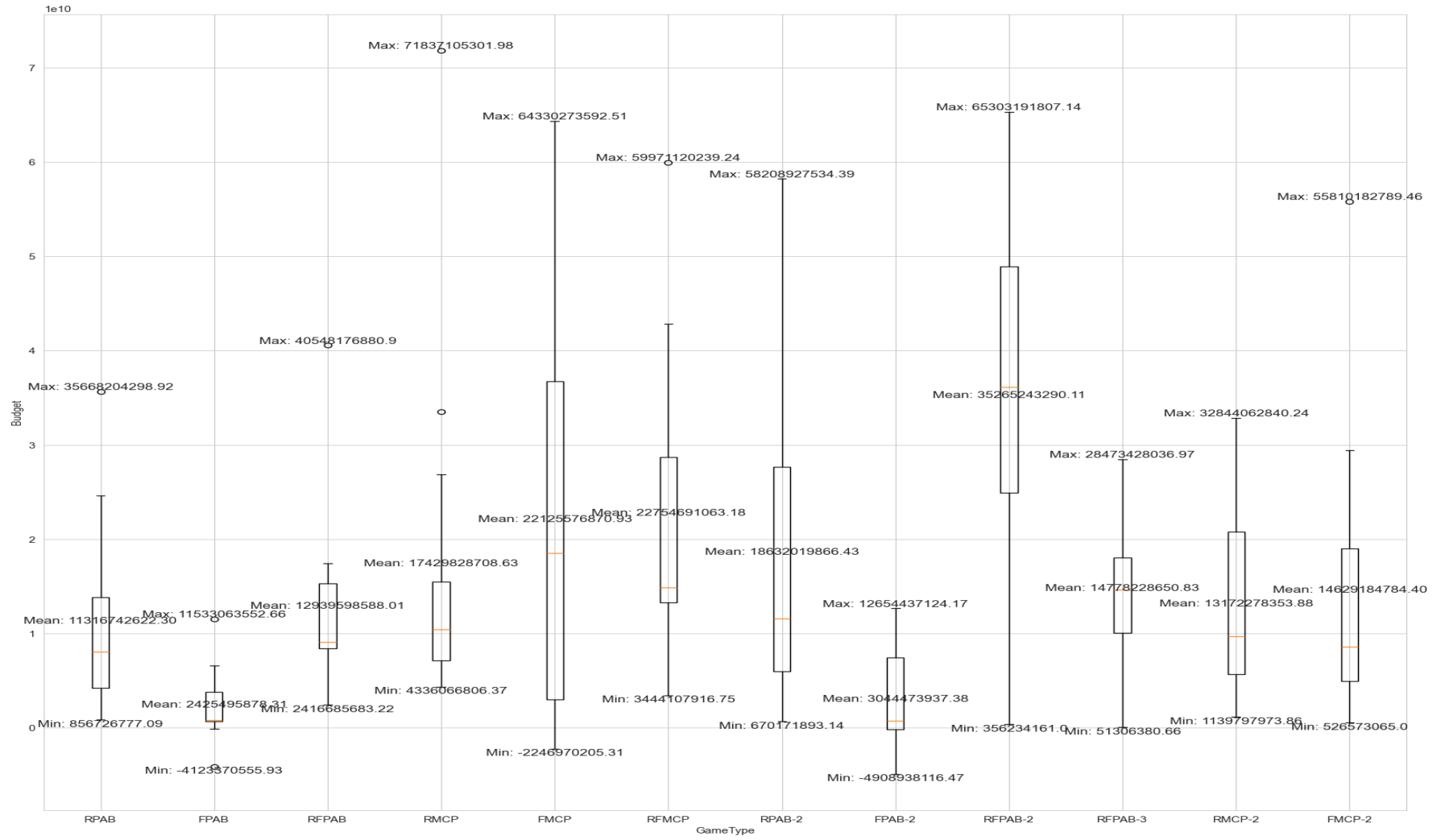
mekanizması daha az gelir, ancak daha adil bir gelir dağılımı sonucunu vermektedir. Ancak, RPAB ve RMCP oyunlarının benzer kutu grafikleri vardır. Bu, piyasa mekanizmasının etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu durum, piyasanın %100 yenilenebilir olması nedeniyle olabilir. Dolayısıyla, enerji kaynaklarının piyasa mekanizmasından ayrı etkilerini belirlemek için daha fazla analiz gereklidir. Örneğin, UF piyasasında tek farkın enerji kaynakları olduğu RMCP-2 ve FMCP-2 oyunlarının karşılaştırılması, enerji kaynaklarının gelir dağılımı üzerindeki etkisini önermemektedir. Ancak, RPAB-1-2, FPAB-1-2 ve RFPAB-1-2 oyun grubu ile RMCP, FMCP ve RFMCP oyun grubu, yani mekanizma ve enerji kaynaklarının birleşiminin karşılaştırılması, %100 fosil yakıt ve TKÖ mekanizmasına sahip bir piyasanın (FPAB) daha az toplam gelir, ancak daha adil gelir dağılımı sonucunu verdiğini önermektedir. Öte yandan, %100 fosil yakıt ve UF mekanizmasına sahip bir piyasa (FMCP) en yüksek toplam gelir ve daha az adil gelir dağılımı sonucunu vermektedir.

Şekil 13'den Şekil 20'e kadar olan grafikler, yalnızca yenilenebilir enerji kaynaklarının izin verildiği UF ve TKÖ mekanizması piyasalarında RMCP ve RPAB oyunları için sunulmaktadır. Şekil 13, Şekil 15, Şekil 17 ve Şekil 19, her oyunun her dönemine ait teklif fiyat aralıklarını gösteren teklif kutu grafikleri sunar. İlk RMCP oyununda, PTF 90 \$/MWh ile başlayıp sekizinci döneme kadar sıfıra düşmektedir. Toplam arz kapasitesi talebin altına düştüğünde PTF, en yüksek izin verilen fiyata (200 \$/MWh) yükselmektedir. İkinci RMCP oyununda (RMCP-2), PTF 200 \$/MWh tavan fiyatı ile başlayıp, on birinci döneme kadar yüksek kalmakta, ardından arz kapasitesi talebin altına düştüğünde azalmaya başlamaktadır. Hem ilk hem de ikinci RPAB oyunlarında, PTF ilk RMCP oyununa kıyasla biraz daha yüksek bir fiyatla (96 \$/MWh) başlayıp en düşük 20 \$/MWh'ye düşmektedir. İlk RMCP oyununa benzer şekilde, toplam arz kapasitesi talebin altına düştüğünde PTF en yüksek izin verilen fiyata yükselmektedir. TKÖ mekanizmasının genellikle UF mekanizmasından daha yüksek fiyatlarla sonuçlandığını, ancak daha önemli farkların teklif aralıkları ve kapasite yatırımlarında meydana geldiğini çıkarabiliriz. Her dönemdeki oyuncuların teklif aralıkları, RMCP ve RPAB oyunları için Şekil 13, Şekil 15, Şekil 17 ve Şekil 19'deki kutu grafiklerinden görülebilir. Aralıklar, çoğu kurulu kapasitenin (yaklaşık 8000 MW) emekliye ayrıldığı on birinci döneme kadar benzerdir. Bundan sonra, arz talebi karşılayamadığı için fiyat artar ve 200 \$/MWh tavan fiyatına ulaşır. RMCP oyunlarında, teklif fiyatları genellikle sıfır

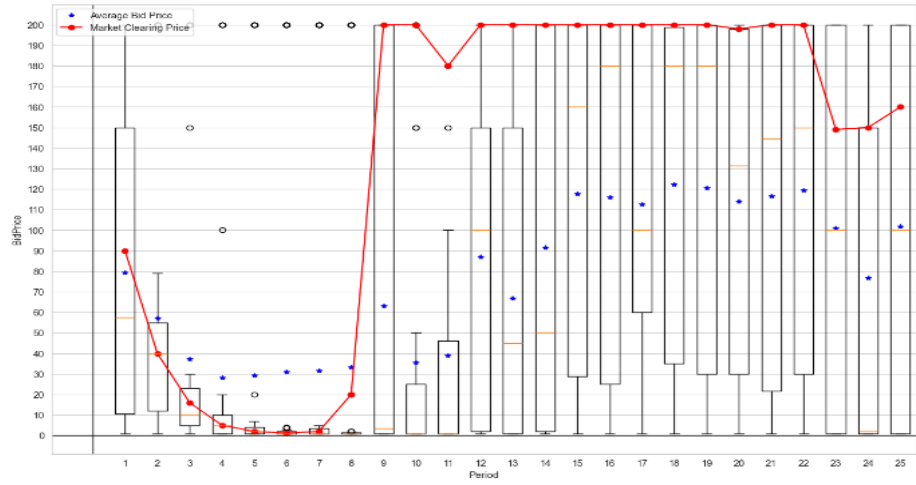
ile 200 \$/MWh arasında değişmekte ve ortalama teklif fiyatı 150 \$/MWh'nin altındadır. İlk RMCP oyununda, arz kapasite yatırımları üç dönemde taleple eşitlenir ve arz-talep dengesi sağlandıktan beş dönem sonra PTF tekrar azalmaya başlar. Ayrıca, ikinci RMCP oyununda, arz kapasitesi yalnızca on birinci dönemde talebin biraz altına düşmektedir. Öte yandan, arz-talep dengesi ilk RPAB oyununda sonuna kadar sağlanamamış ve neredeyse tüm oyuncuların teklif fiyatları oyunun geri kalanında 190 \$/MWh'nin üzerinde olmuştur. İkinci RPAB oyununda, arz-talep dengesi sekiz dönemde negatiftir. Ortalama teklif fiyatları 150 \$/MWh'nin üzerinde olup, medyan teklif fiyatları oyunun geri kalanında daha da yüksektir. Bu sonuçlar, %100 yenilenebilir bir piyasada, UF mekanizmasının oyuncuların (üretim şirketlerinin) piyasadan yeni yatırımlar için yeterli gelir elde etmelerine olanak tanıdığını ve onları yeni santrallere yatırım yapmaya teşvik ettiğini önermektedir. Ayrıca, oyuncuları teklif fiyatlarını düşürmeye teşvik etmektedir. Ancak, TKÖ mekanizması, yeni yatırımlar için olumlu fiyat sinyalleri göndermekte başarısız olmakta ve oyuncuları daha yüksek seviyelerde teklif vermeye zorlamaktadır.

Şekil 21'den Şekil 28'a kadar, yalnızca fosil yakıtların izin verildiği UF ve TKÖ mekanizması piyasalarındaki FMCP ve FPAB oyunları için grafikler sunulmaktadır. RMCP (Şekil 13) ve FMCP (Şekil 21) oyunlarını karşılaştırdığımızda, toplam üretim kapasitesinin (teklif edilen toplam kapasitenin) ilk kapasitelerin emekliye ayrıldığı on birinci döneme kadar sabit kaldığını ve RMCP oyununda yatırım eksikliği nedeniyle toplam kapasitenin sıfıra ulaştığını görüyoruz. Arz-talep dengesi sıkı olmasına rağmen, PTF başlangıçta düşük kalmaktadır. Ancak, yatırım eksikliği ve arz-talep dengesindeki olumsuz fark nedeniyle, PTF 200 \$/MWh tavanına ulaşmakta ve oyunun sonuna kadar yüksek kalmaktadır. %100 yenilenebilir enerji altında UF mekanizması kısa vadede düşük PTF 'ye neden olur, ancak bu yatırımı teşvik etmez, dolayısıyla uzun vadede PTF çok yüksek olur. Buna karşılık, FMCP oyununda, toplam üretim kapasitesi, kurulu kapasitelerin emekli olduğu on birinci döneme kadar artmakta ve bundan sonra bile yatırımlar devam etmektedir. Kısa ve orta vadede PTF azalmakta ve arz-talep dengesindeki yüksek pozitif fark nedeniyle orta vadede yatırımlar durmaktadır. Dolayısıyla, uzun vadede arz talebi karşılayamaz (arz-talep dengesinde olumsuz fark) ve PTF 200 \$/MWh tavanına ulaşır. %100 fosil yakıt altında UF mekanizması kısa vadede PTF'yi düşürür, ancak yatırımları aksatmaz. Ancak, orta vadede PTF sıfıra ulaşır ve bu durum yatırımları durdurur, dolayısıyla uzun vadede PTF çok yüksek olur.

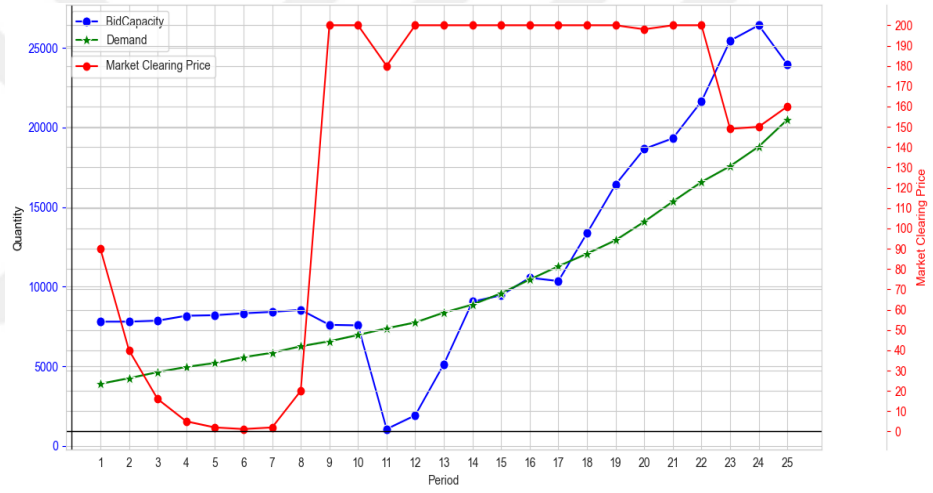
Şekil 29'dan Şekil 36'ye kadar, yenilenebilir enerji ve fosil yakıtların izin verildiği UF ve TKÖ mekanizması piyasalarındaki RFMCP ve RFPAB oyunları için grafikler sunulmaktadır. En olumlu oyun sonuçları, yenilenebilir enerji ve fosil yakıtların karışımını içeren bir enerji kaynağı portföyü ve teklif kadar ödeme (TKÖ) piyasa mekanizması ile karakterize edilen RFPAB senaryosunda gözlemlenmiştir. Şekil 35 ve Şekil 36'de oyunların teklif kutu grafiklerinin karşılaştırılması yapılması, genel olarak, teklif fiyat aralıklarının UF piyasalarında TKÖ piyasalarına göre daha geniş olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, bir TKÖ piyasasında teklif stratejisi oluşturmanın daha karmaşık olduğunu göstermektedir. Bu, özellikle özne tabanlı modeller gibi simülasyon modelleri ile piyasaları incelemek için önemlidir; burada özne davranışını tasarlamak önemlidir. Ayrıca, arz ve talep dengede olduğunda PTF'nin tüm teklif fiyatlarının medyanına yakın olduğunu söyleyebiliriz. Diğer senaryolara kıyasla daha düşük seviyelerde daha istikrarlı bir PTF'yi gösteren Şekil 35 ve Şekil 36, fiyat dalgalanmalarını hafifleten olumlu bir arz-talep dengesi ile karakterize edilmiştir. Ancak, oyuncu katılımının azalması ve yeni yatırımların düşüşü nedeniyle oyun sonunda (20. dönem sonrası) performans bozulmuş, bu da arz-talep dengesizliğine ve ardından PTF dalgalanmalarına yol açmıştır.



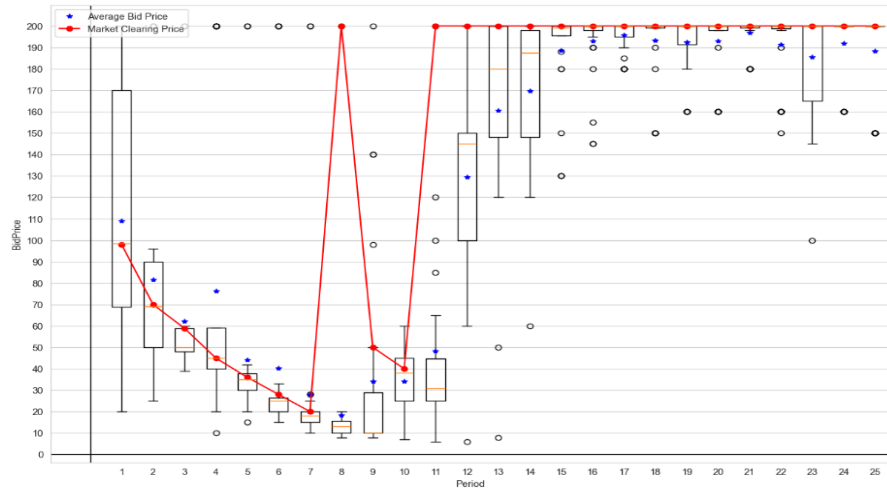
Şekil 12. Bütçe kutu (boxplot) grafiği



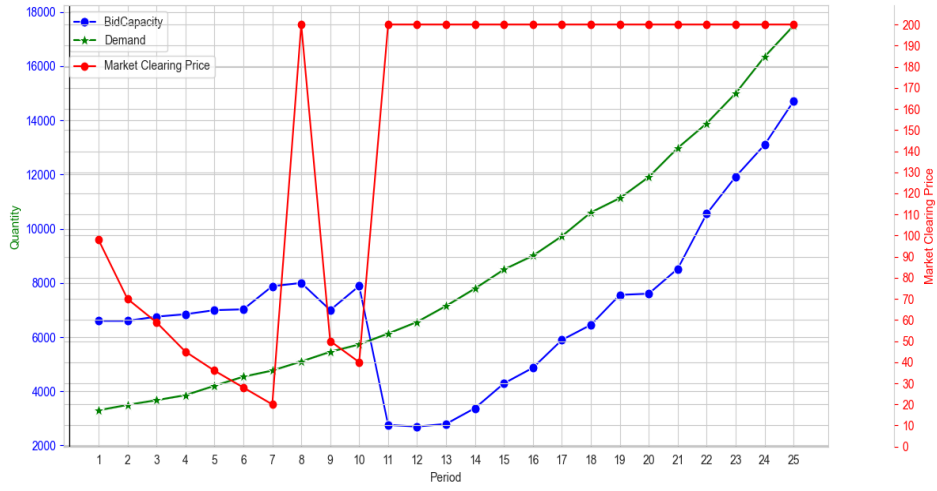
Şekil 13. RMCP oyununun teklif kutusu grafiği



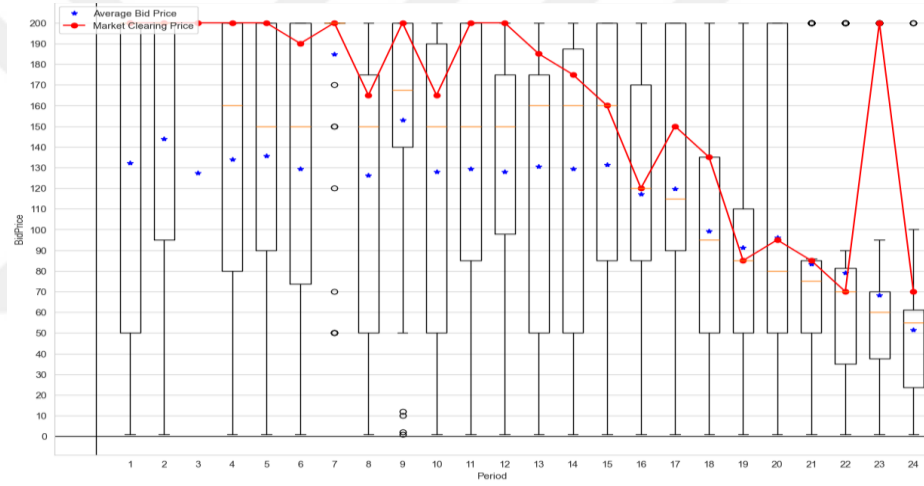
Şekil 14. RMCP oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



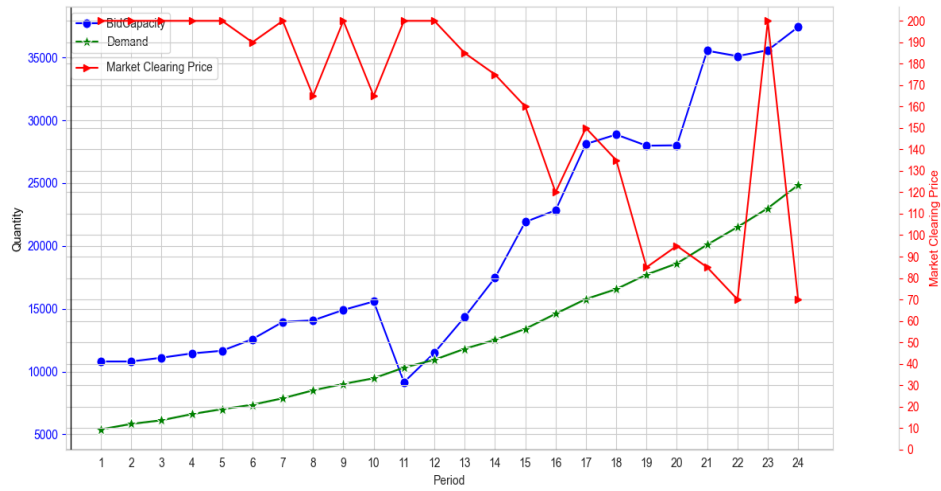
Şekil 15. RPAB oyununun teklif kutusu grafiği



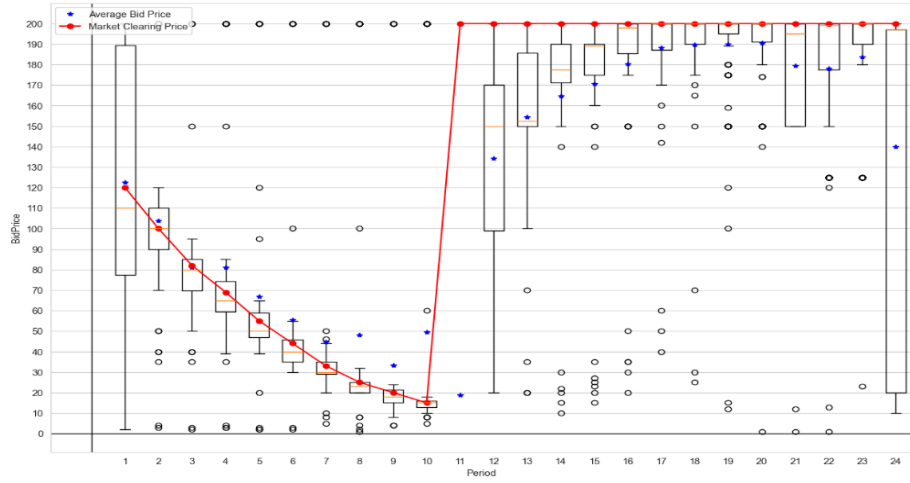
Şekil 16. RPAB oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



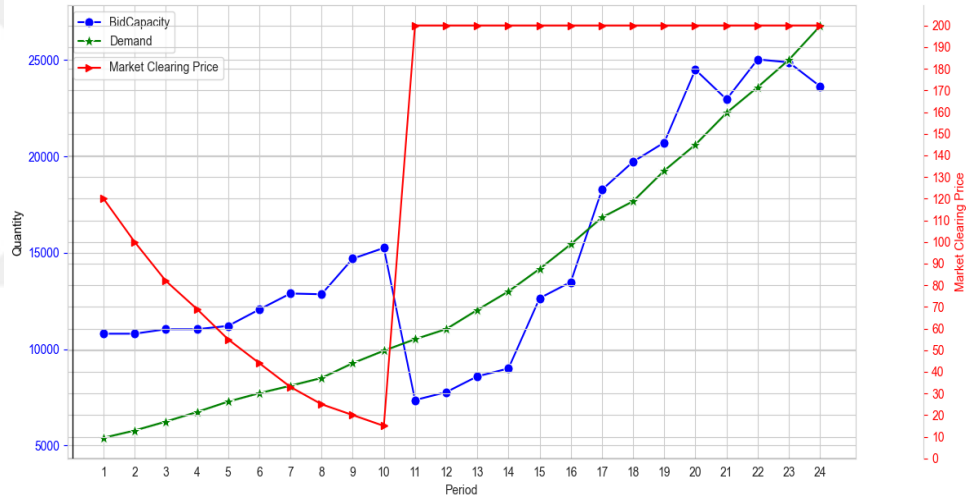
Şekil 17. RMCP-2 oyununun teklif kutusu grafiği



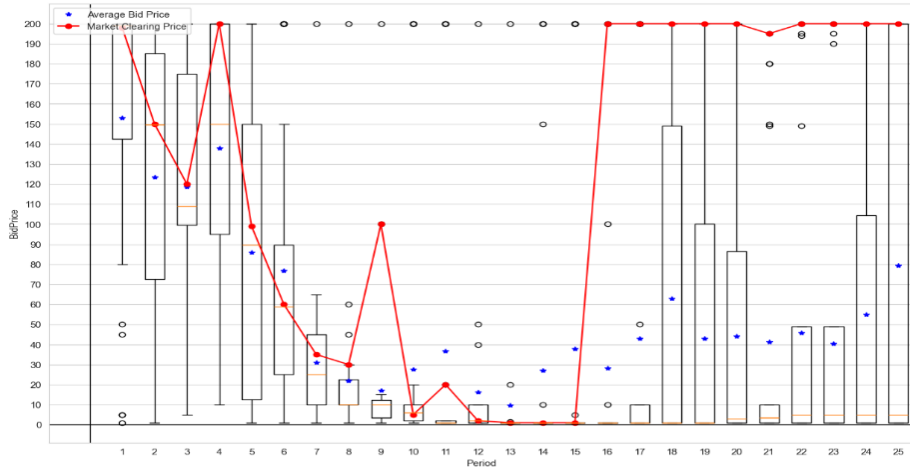
Şekil 18. RMCP-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



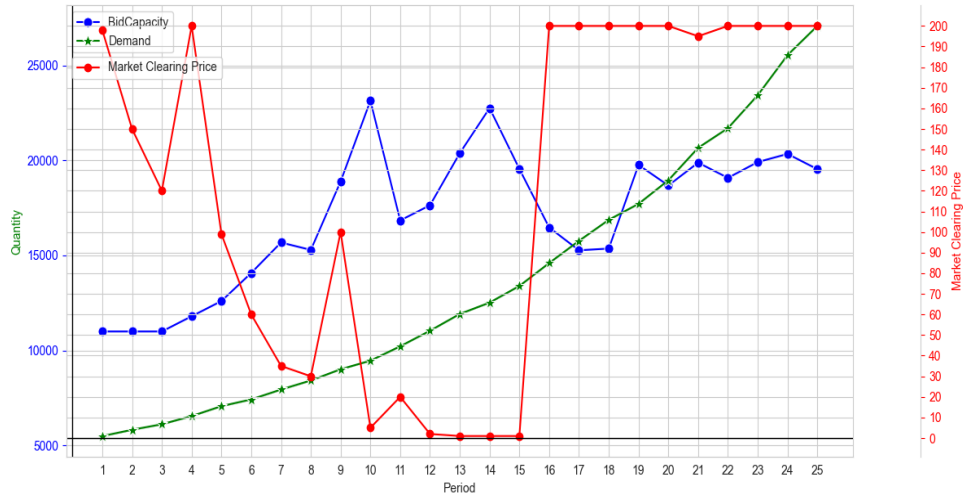
Şekil 19. RPAB-2 oyununun teklif kutusu grafiği



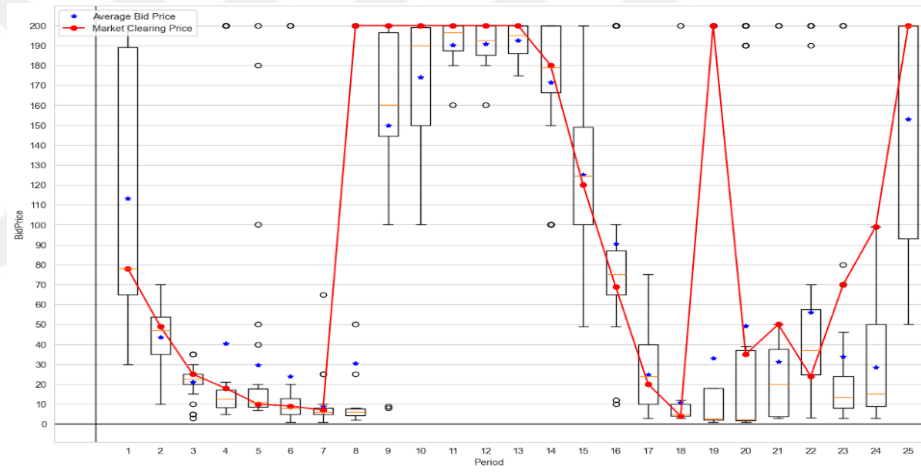
Şekil 20. RPAB-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



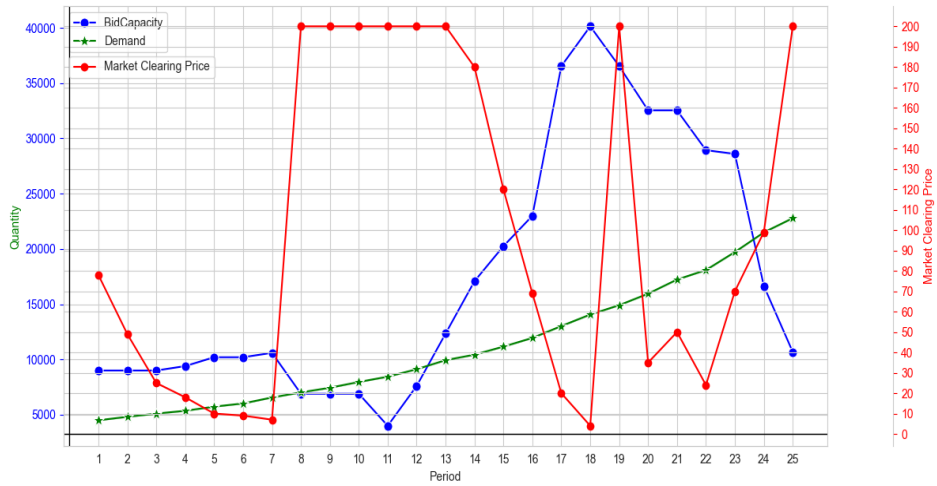
Şekil 21. FMCP oyununun teklif kutusu grafiği



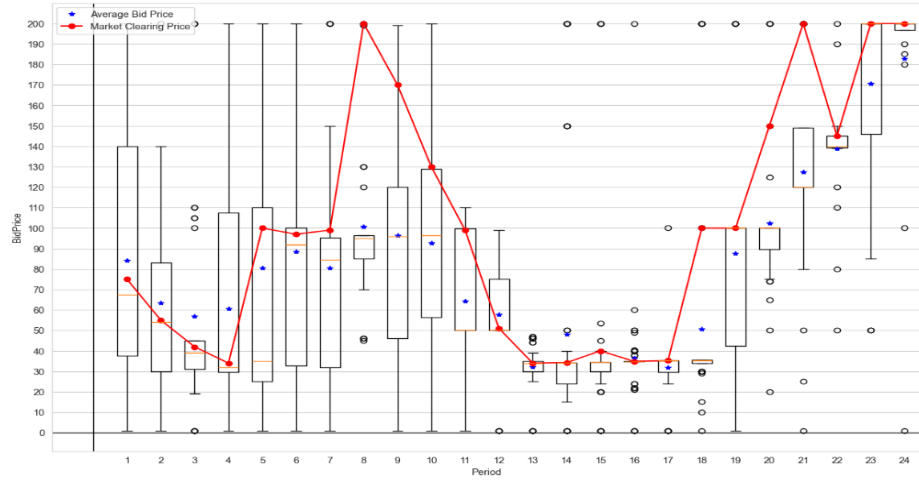
Şekil 22. FMCP oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



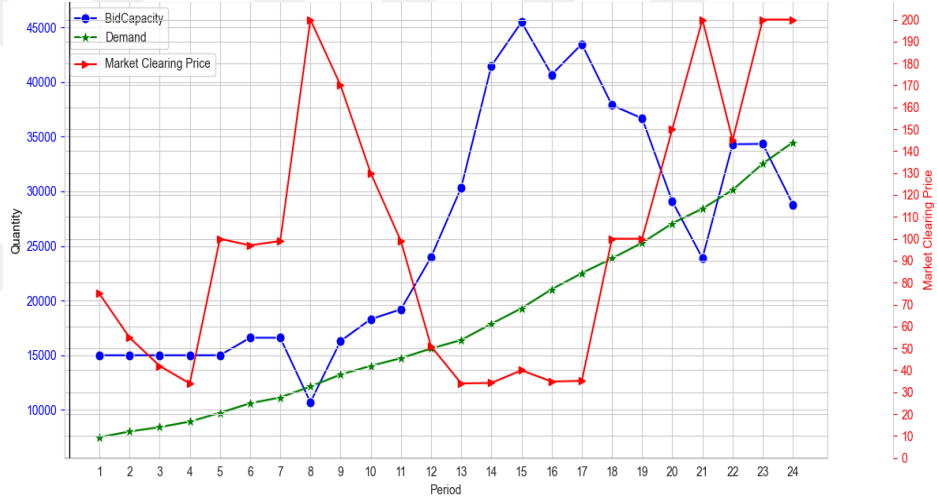
Şekil 23. FPAB oyununun teklif kutusu grafiği



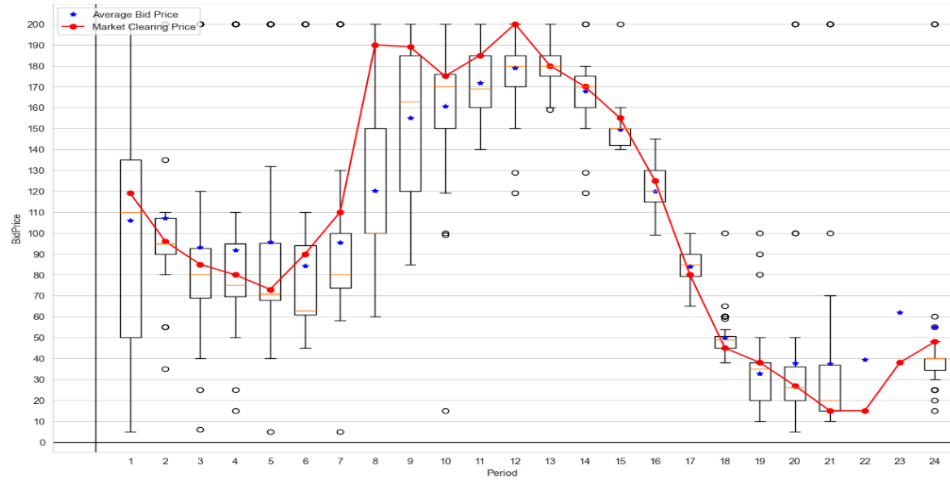
Şekil 24. FPAB oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



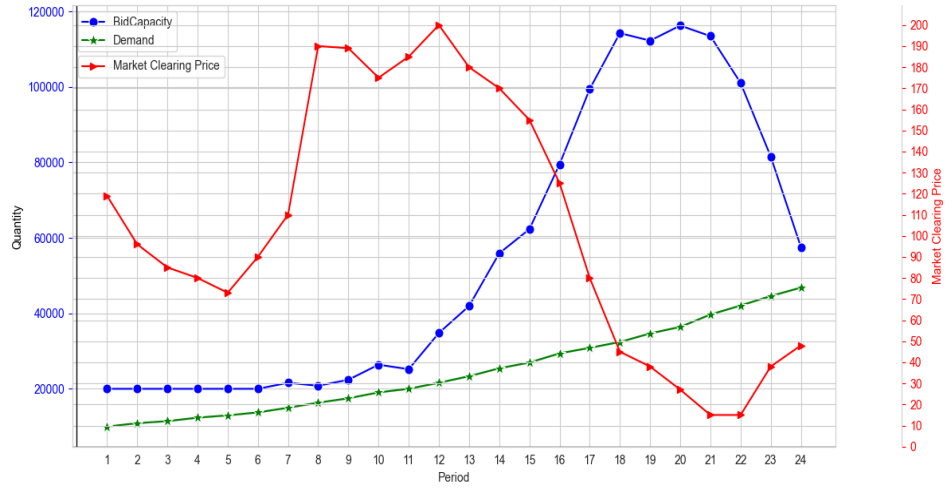
Şekil 25. FMCP-2 oyununun teklif kutusu grafiği



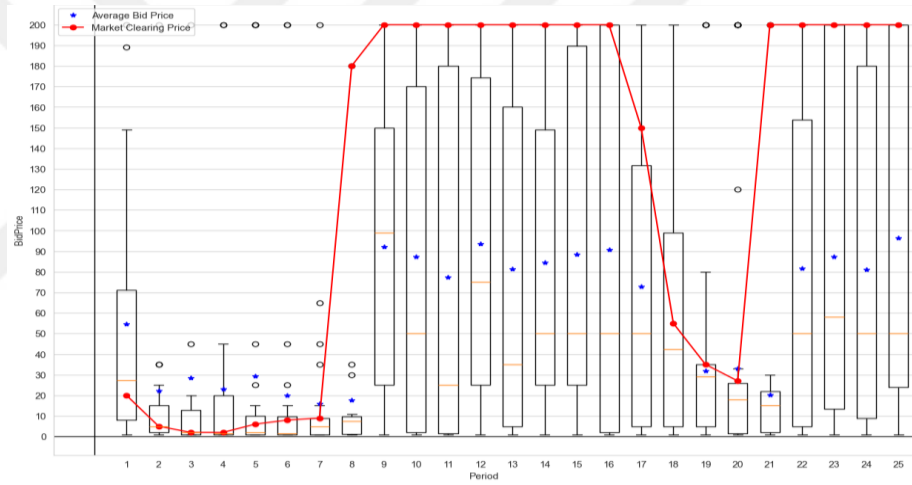
Şekil 26. FMCP-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



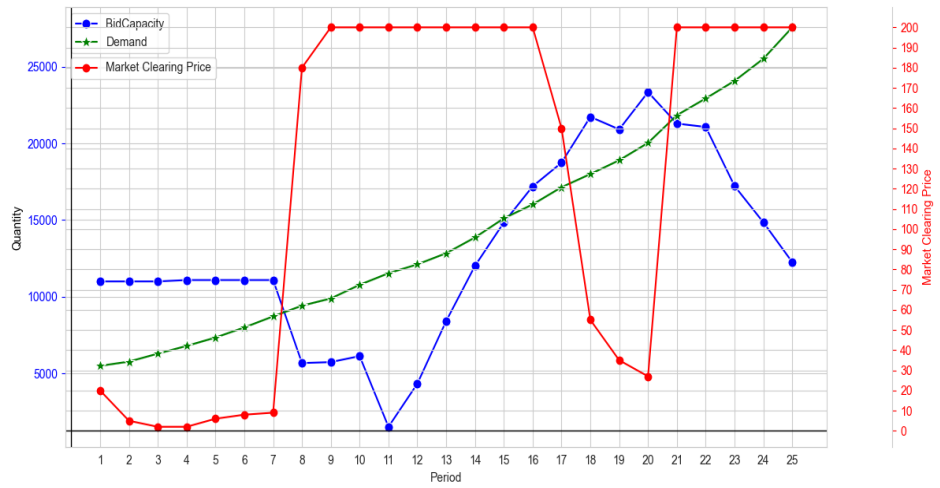
Şekil 27. FPAB-2 oyununun teklif kutusu grafiği



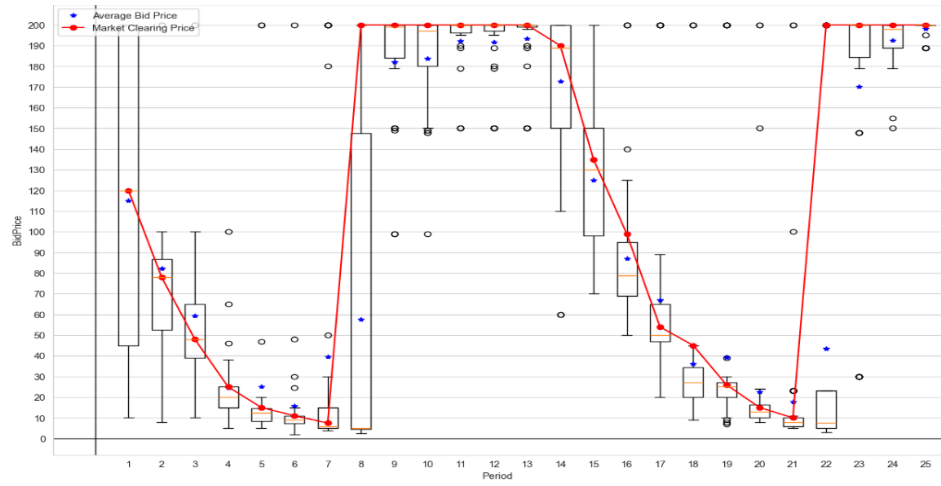
Şekil 28. FPAB-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



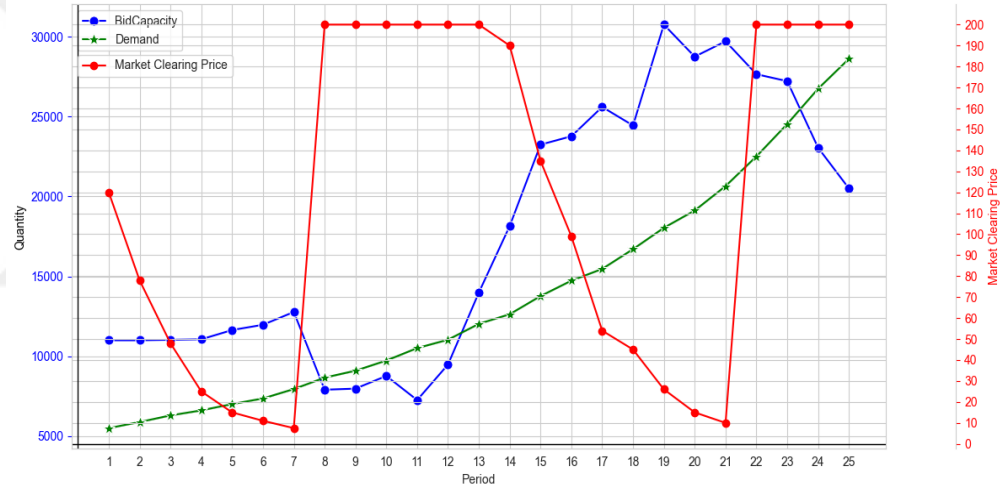
Şekil 29. RFMCP oyununun teklif kutusu grafiği



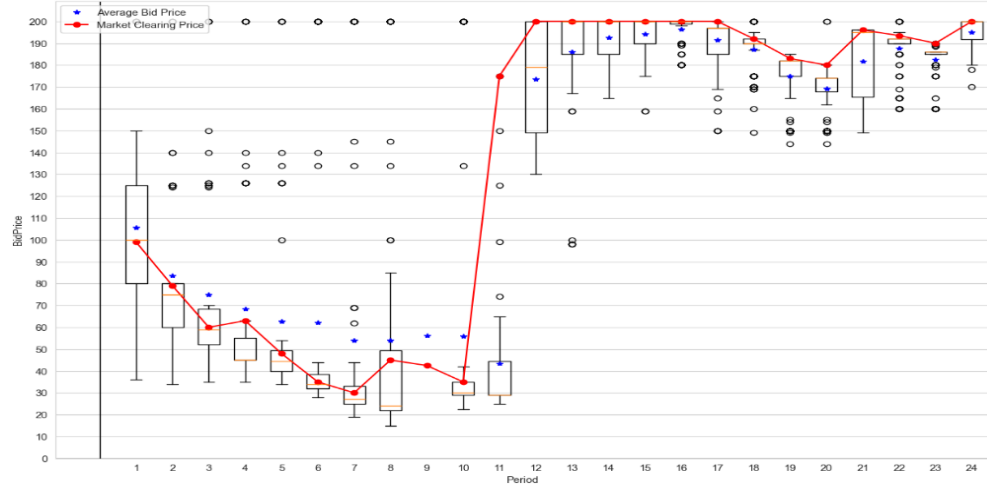
Şekil 30. RFMCP oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



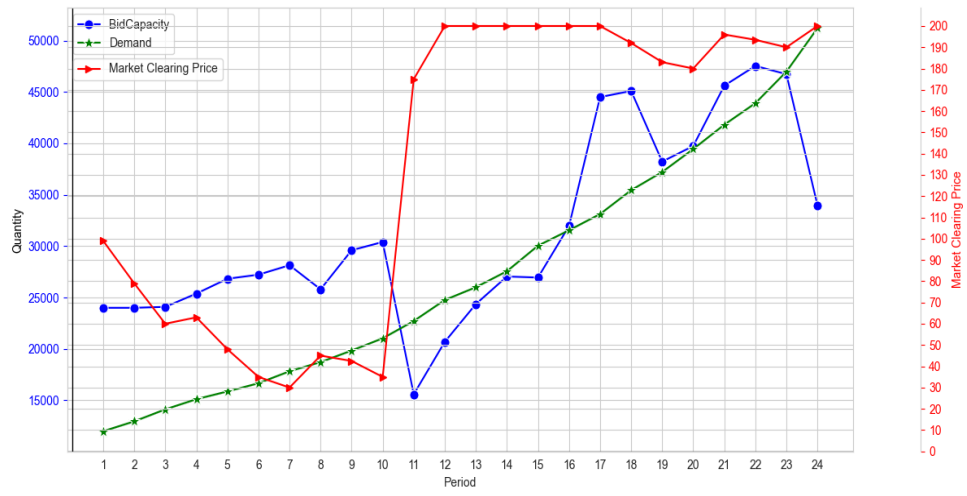
Şekil 31. RFPAB oyununun teklif kutusu grafiği



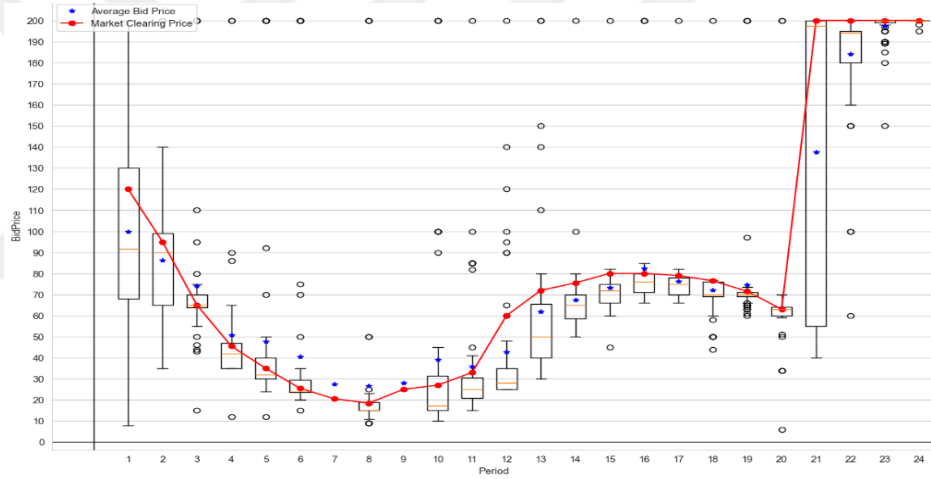
Şekil 32. RFPAB oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



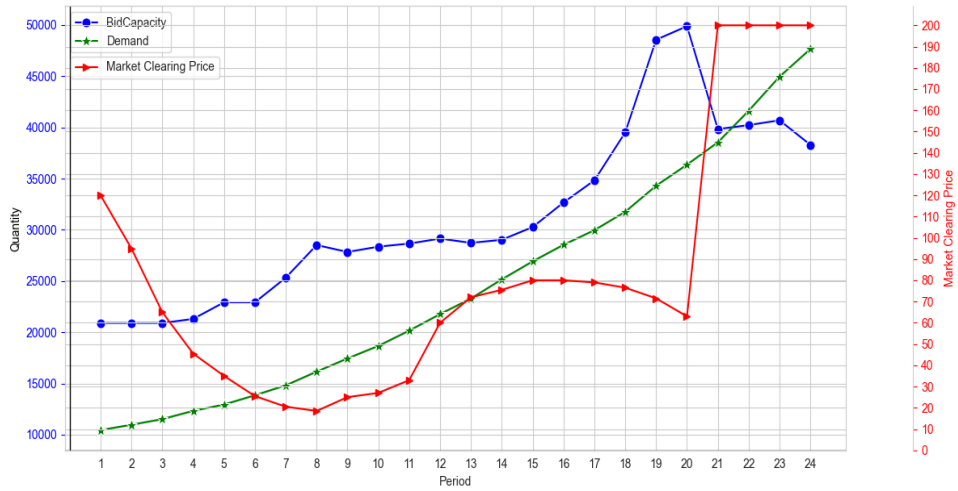
Şekil 33. RFPAB-2 oyununun teklif kutusu grafiği



Şekil 34. RFPAB-2 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği



Şekil 35. RFPAB-3 oyununun teklif kutusu grafiği



Şekil 36. RFPAB-3 oyununun Arz-Talep-MCP grafiği

3.3 Herfindahl-Hirschman İndeks (HHI) İncelemesi

Tablo 3, her oyunun her dönemi için Herfindahl-Hirschman Endeksi'ni (HHI) sunar. Piyasa mekanizması seçiminin (UF veya TKÖ) ve enerji kaynağının (fosil yakıtlar veya yenilenebilir enerjiler) rekabet ve HHI dalgalanmaları üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı ve tüm senaryoların kabul edilebilir piyasa yoğunluğu seviyelerine sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, en uygun oyun sonuçlarının gözlemlendiği RFPAB-3 oyunu ideal HHI istatistiklerine sahiptir.

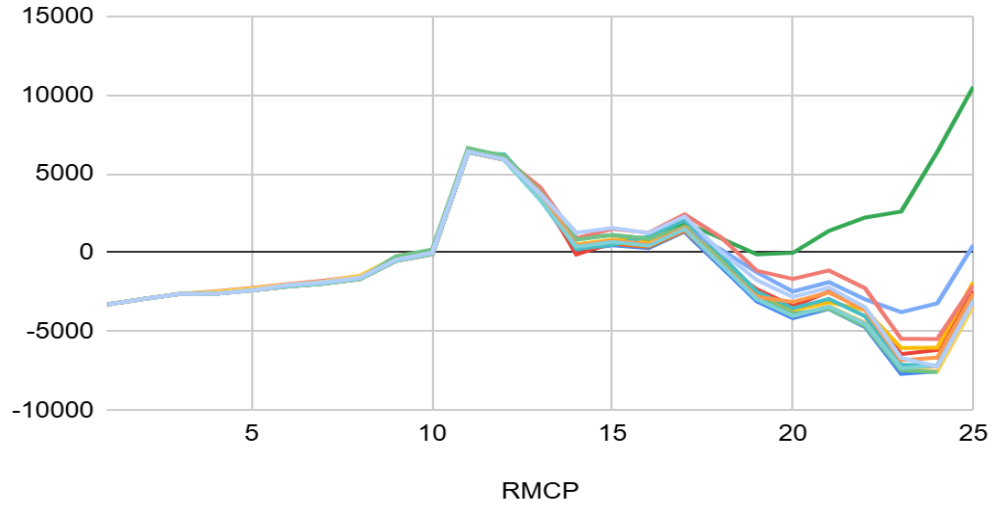
Tablo 3 Her oyunun her bir periyoduna ait Herfindahl-Hirschman İndeksi (HHI)

HHI	RMCP	RPAB	FMCP	FPAB	RFMCP	RFPAB	RMCP-2	RPAB-2	FMCP-2	FPAB-2	RFPAB-2	RFPAB-3
1	486	627	432	463	434	424	345	328	310	242	203	405
2	511	598	407	495	397	414	318	339	328	245	206	394
3	504	574	419	505	422	381	310	336	322	237	203	396
4	470	561	398	455	447	393	302	343	312	247	198	404
5	469	562	356	409	447	396	300	336	330	245	183	356
6	469	558	401	428	427	372	286	327	276	241	180	348
7	440	476	352	386	427	368	280	293	286	221	170	331
8	425	463	561	614	815	574	265	341	421	295	215	289
9	566	567	486	587	799	573	250	294	332	299	191	297
10	549	494	385	587	692	521	233	281	294	241	185	286
11	1293	919	626	1400	1684	1081	366	465	443	310	364	283
12	632	984	622	693	1122	782	317	430	373	262	337	275
13	477	1003	521	587	541	579	233	378	329	231	292	275
14	341	838	454	482	519	454	212	364	252	223	250	280
15	350	660	474	518	445	369	182	324	247	239	228	259
16	301	596	491	448	396	344	182	296	276	239	192	236
17	316	471	534	444	375	333	329	237	283	212	227	215
18	305	453	508	494	427	314	328	206	319	212	216	202
19	277	414	487	573	446	479	346	189	335	226	257	174
20	275	465	512	573	471	506	350	159	393	228	244	165
21	276	460	806	788	505	494	477	173	517	255	335	199
22	305	453	866	905	537	572	485	163	703	299	312	212
23	480	459	886	955	707	584	482	165	702	355	353	199
24	658	600	861	1550	901	769	538	179	899	537	463	214
25	786	730	917	2291	932	934						

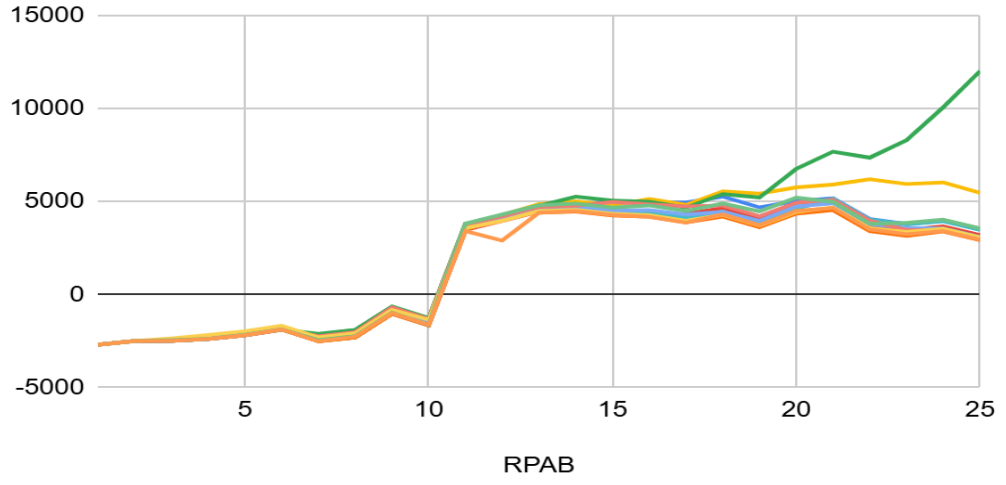
Herfindahl-Hirschman İndeksi (HHI) piyasa yoğunluğunu ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir ölçüttür, ancak bazı dezavantajları vardır. HHI, öncelikle piyasa paylarına odaklanır ve elektrik piyasalarında kritik bir sorun olan piyasa gücünün kullanılması gibi rekabeti etkileyebilecek diğer faktörleri dikkate almaz. Bu nedenle, oyunlardaki katılımcıların piyasa gücünü analiz etmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir ve bunun için bu çalışmada Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi kullanılmıştır.

3.4 Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi İncelemesi

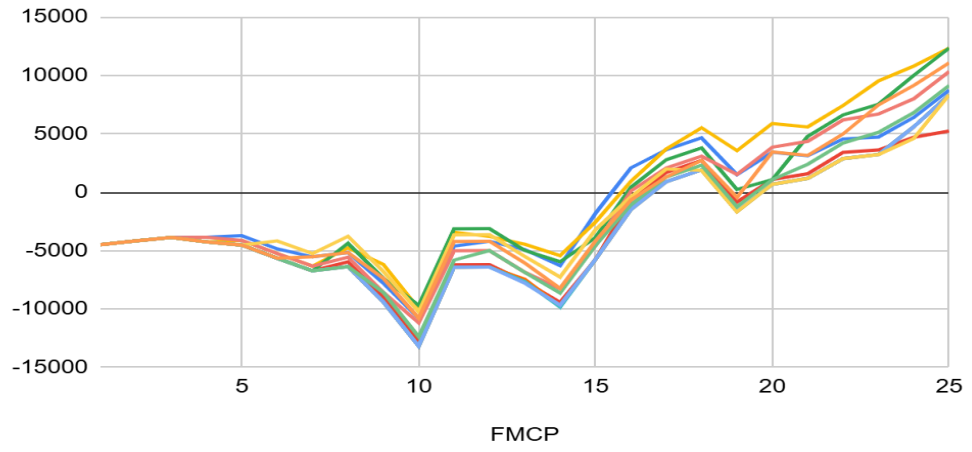
Şekil 37 ile Şekil 48 arasındaki şekiller, tüm oyun senaryolarında tüm oyuncular için periyotlar boyunca Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi trendlerini göstermektedir. Piyasa mekanizması seçimi (UF veya TKÖ) ve enerji kaynağı (fosil yakıtlar veya yenilenebilirler) genel APT trendini belirgin bir şekilde etkilemiyor gibi görünse de RPAB ve RPAB-2 oyunları (TKÖ mekanizması altında yenilenebilir enerji tabanlı piyasalar) istenmeyen eğilimler sergilemektedir. Çoğu oyuncu için APT değerleri çoğu dönem boyunca sürekli olarak yüksek kalmaktadır. Buna karşılık, FPAB-2 oyununda tüm oyuncular tüm dönemler boyunca negatif APT değerleri sürdürmekte olup, bu durum aşırı yatırımların talebi aşan önemli bir fazla yaratmasından kaynaklanmaktadır. FPAB ve RFPAB-3 oyunları da son dönemlerde azalan yatırımlar nedeniyle arz-talep dengesinde düşüşe yol açan durumlar hariç olmak üzere olumlu eğilimler sergilemektedir. Bu bulgular, TKÖ mekanizmasının %100 yenilenebilir enerji pazarında piyasa gücü açısından optimal sonuçlar vermeyebileceğini, ancak yalnızca fosil yakıtlara dayalı bir pazarda avantajlı olabileceğini önermektedir.



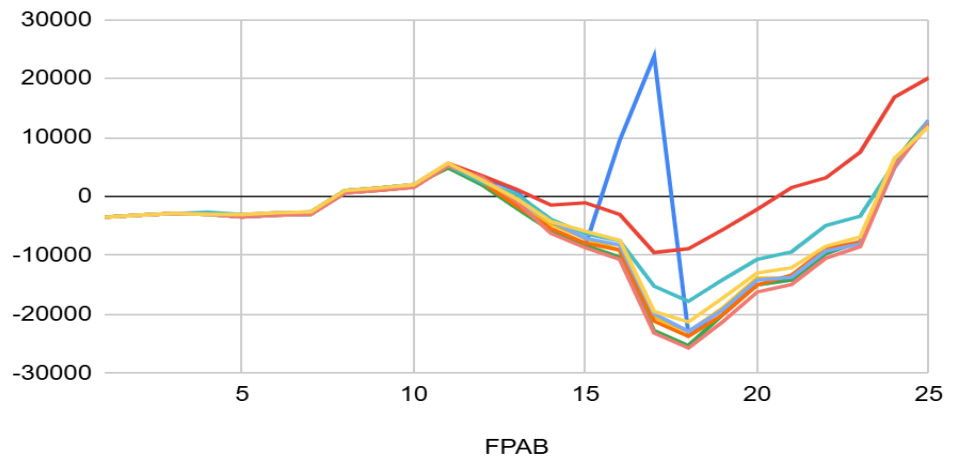
Şekil 37. RMCP için Arz Payı Tahlili



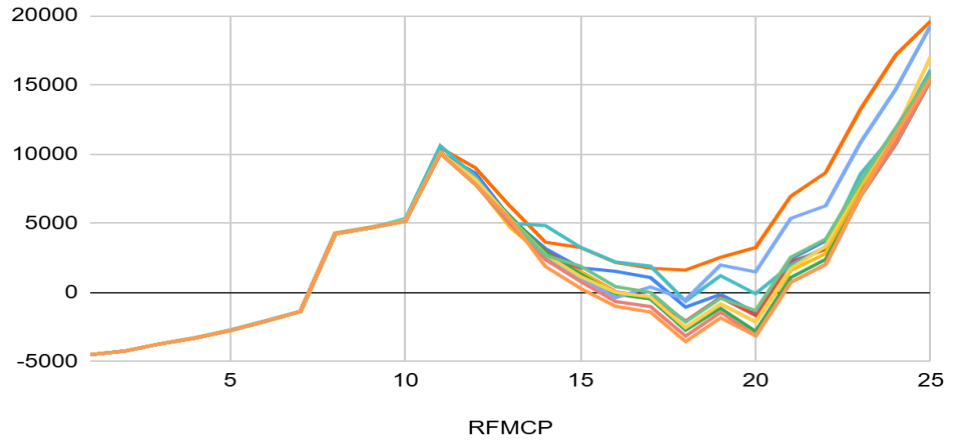
Şekil 38. RPAB için Arz Payı Tahlili



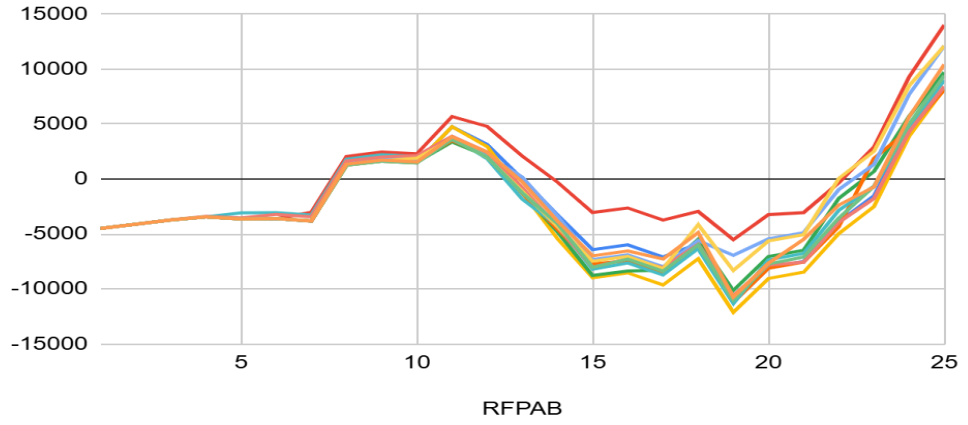
Şekil 39. FMCP için Arz Payı Tahlili



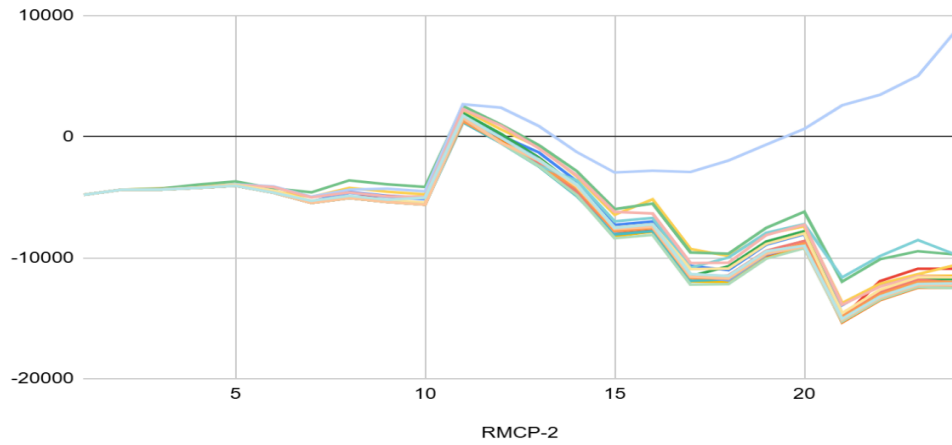
Şekil 40. FPAB için Arz Payı Tahlili



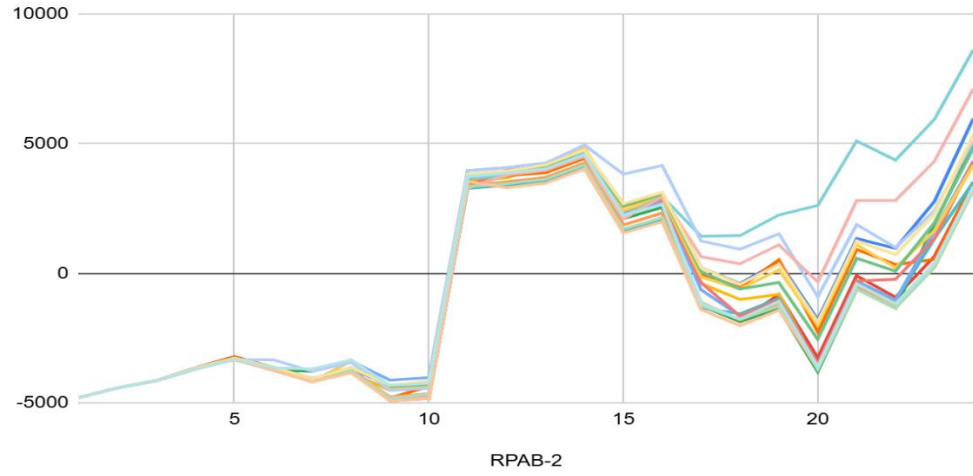
Şekil 41. RFMCP için Arz Payı Tahlili



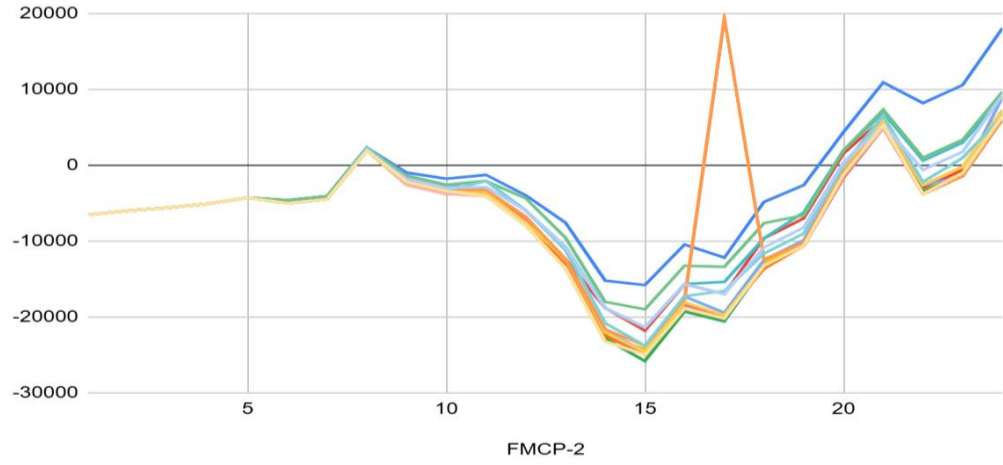
Şekil 42. RFPAB için Arz Payı Tahlili



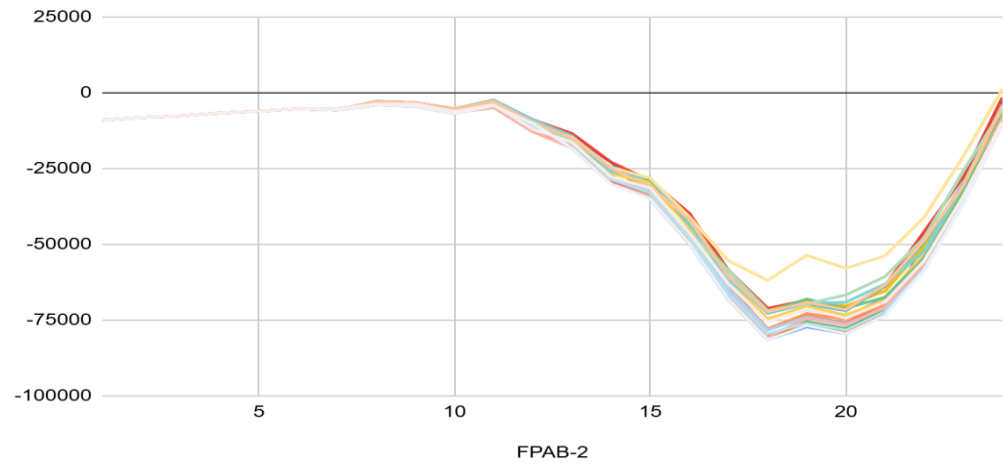
Şekil 43. RMCP-2 için Arz Payı Tahlili



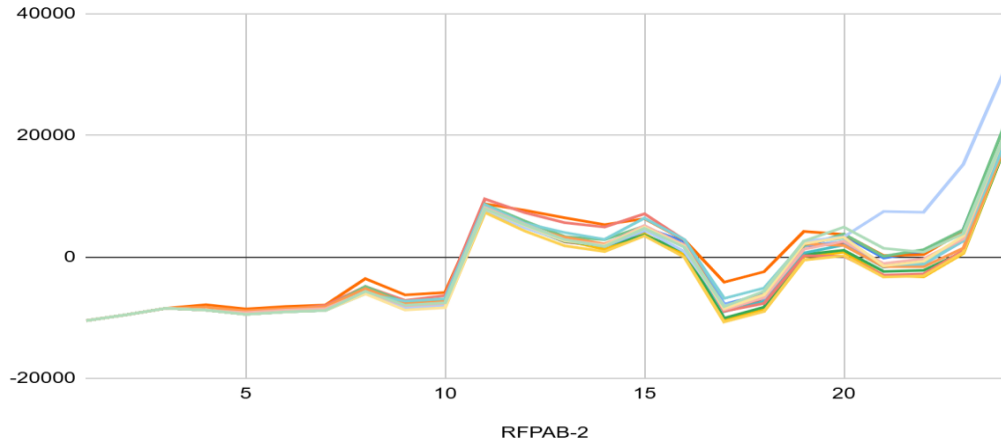
Şekil 44. RPAB-2 için Arz Payı Tahli



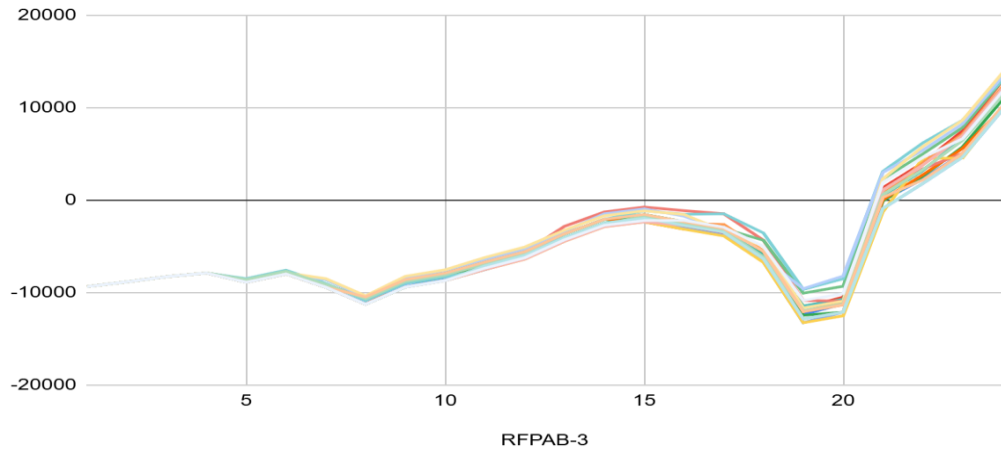
Şekil 45. FMCP-2 için Arz Payı Tahli



Şekil 46. FPAB-2 için Arz Payı Tahli



Şekil 47. RFPAB-2 için Arz Payı Tahlili



Şekil 48. RFPAB-3 için Arz Payı Tahlili

3.5 Teklif Kar Marjı (TKM) İncelemesi

Bütün oyunların teklif kâr marjı, fiyat belirleyen santral tipleri ve marj oranları Tablo 4’te verilmiştir. Bu bölümdeki hesaplamalarda birim üretim maliyeti kullanılmıştır. Birim üretim maliyeti, marjinal maliyete birim yatırım maliyeti eklenmiş haldeki maliyettir.

Tam rekabetçi bir firma için marj oranı sıfıra yakın olmalıdır. Böyle bir üreticinin pazar gücü yoktur. Negatif değerler, piyasa fiyatını belirleyen teknolojinin zararına teklif verdiğini gösterir. Firma açısından uzun süren negatif değerler sürdürülebilir olmamakla birlikte piyasa açısından bir periyotta negatif değer olması önemli bir sorun değildir. Rekabetin eksik olduğu bir piyasada bir oligopol veya tekel firma için marj oranı yüksek pozitif değerler alır. Bu sebeple yüksek pozitif değerler piyasa açısından sorun teşkil eder.

Tablo 4'teki kırmızı hücreler, teklif marj oranlarının 0.2'yi aştığı durumlardır ve bu periyotlarda pazar gücü kullanıldığı düşünülebilir (firmanın %25'e kadar kâr elde etme isteği normal varsayılmıştır).

RMCP 1-2 oyunları ile FMCP 1-2 oyunları için hesaplanan marj oranlarını karşılaştırdığımızda, Uniform Fiyatlama (UF) mekanizması altında %100 yenilenebilir enerjiye dayalı piyasaların sıklıkla çok yüksek marj oranlarına çıktığını görmekteyiz. Yenilenebilir enerjilerden rüzgâr gibi teknolojilerin marjinal maliyetleri fosil teknolojilere göre çok düşük olduğu için marj oranlarının 1'e yaklaşması beklenen bir sonuç olmakla beraber teklif kâr marjları incelendiğinde teklif fiyatlarının marjinal maliyetin çok üstünde bir kârla verildiği görülmektedir ve bu istenen bir durum değildir. %100 yenilenebilir enerjiye dayalı piyasalarda marj oranlarının 1'e yaklaşmasına rağmen TKM'nin ve dolayısıyla PTF'nin düşmesi istenir. UF mekanizmasının bu beklentiyi sağlayamadığı görülmektedir. RMCP 1-2 oyunları ile RPAB 1-2 oyunları karşılaştırıldığında, Teklif Kadar Öde (TKÖ) mekanizması altında %100 yenilenebilir enerjiye dayalı piyasalarda da durumun benzer olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, %100 yenilenebilir enerjiye dayalı piyasaların her iki mekanizmada da istenen rekabet ortamını oluşturamadığı ve beklenen fiyat düşüşlerini sağlayamadığı görülmektedir.

RFMCP oyunu (uniform fiyatlama mekanizmasında fosil ve yenilenebilir karışık senaryosu), diğer UF mekanizması (RMCP ve FMCP) oyunları ile karşılaştırıldığında, RFMCP'nin %100 yenilenebilir (RMCP) senaryosundan daha iyi, %100 fosil (FMCP) senaryosundan daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. RFMCP'nin kötü sonuçlar verdiği periyotlar incelendiğinde bu periyotlarda fiyat belirleyen teknolojinin daha sıklıkla yenilenebilir bir teknoloji olduğu (en yüksek değer olarak hidro ve kısmen jeotermal), kâr marjını ve dolayısıyla PTF'yi çok yükselttiği görülmektedir. Bu sonuçlar da özellikle hidro ve jeotermal gibi marjinal maliyeti biraz daha fazla olan yenilenebilir teknolojilerin piyasada istenmeyen etkiler doğurduğunu göstermektedir.

Marj oranları bakımından en iyi sonuçlar RFPAB-3 (TKÖ altında karışık kaynak) oyununda elde edilmiştir. Bu oyunda dahi marj oranlarının istenen seviyenin hemen altında kaldığı son 4 periyodun 1'inde fiyat belirleyici teknoloji linyit enerjileri olmuştur ve TKM 38.5\$ gibi çok yüksek seviyelere çıkmıştır. RFPAB 1 ve 2 oyunlarının da diğerlerine kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Dolayısıyla, TKÖ

mekanizması altında karışık kaynak senaryosunun genelde en tercih edilebilir senaryo olduğu belirtilebilir.

Kaynakların TKM ve marj oranı performanslarına bakıldığında en kötü sonuç, hidro enerjisinin fiyat belirleyici olduğu bir periyotta (RMCP-2 oyununun ilk 3 periyodunda, TKM değeri 178.31\$) elde edilmiştir. Hidro santrallerinin fiyat belirleyici olduğu periyot sayısı fazla değildir ancak marj oranı yüksek ve TKM değerleri diğer teknolojilere kıyasla daha yüksektir. Hidroelektrik santraller 8 periyotta fiyat belirleyici olmuş ve bunların sadece 1'inde iyi sonuç vermiştir. Kalan 7 periyotta yüksek marj oranı ve TKM değerleri ile kötü bir performans sergilemiştir.

En sıklıkla istenmeyen sonuç veren teknoloji rüzgâr olmuştur. Rüzgârın marj oranı daha düşük görünmekle birlikte TKM değerleri yüksek seyretmektedir. Örneğin, RPAB-2 oyununda 11. periyod sonrası fiyat belirleyici teknolojinin rüzgâr santralleri olduğu ve TKM değerlerinin 123\$ seviyelerinde sabit kaldığı belirtilebilir.

Yalnızca fosil olan senaryolarda istenmeyen sonuçları doğuran fiyat belirleyici en sıklıkla linyit teknolojisi olmuştur. Ancak, kömür ve linyitin fiyat belirleyici olduğu diğer durumlarda marj oranı ve TKM genelde istenen seviyelerde kalmıştır.

CCGT (doğal gaz kombine çevrim) santralleri 9 periyotta fiyat belirleyici olmuş ve bunların 7'sinde (hepsi RFMCP oyununda) düşük marj oranları sağlamıştır. Bu sonuçlar santral sahibi şirketler için pek olumlu olmamakla birlikte piyasada fiyat rekabetinin yüksek olmasını sağlamıştır.

Jeotermal santraller 11 periyotta fiyat belirleyici olmuş ve bunların 6'sında çok yüksek marj oranı ve TKM değerleri ile kötü performans gösterirken 5 periyotta istenen değerlerde kalmıştır. Biyoyakıt santrali ise sadece bir periyotta fiyat belirleyici olmuş ve yüksek kâr marjı ve marj oranı ile kötü performans vermiştir.

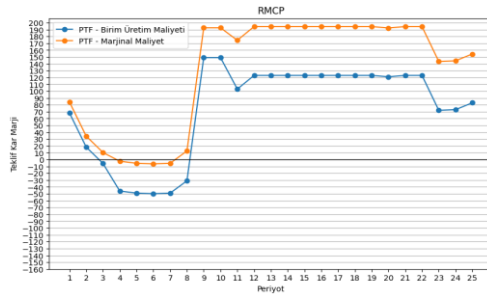
Daha düşük marjinal maliyetlere sahip yenilenebilir enerji kaynakları santrallerinin daha yüksek marjinal maliyetlere sahip fosil yakıtlı santrallere kıyasla daha düşük fiyatlarla teklif vermeleri beklenir. Bu kapsamda, her bir oyun ve her bir dönem için teklif kâr marjı analizleri sunulmuştur.

Tablo 4 Oyunlar için Teklif Kar Marjı, Marj Oranları ve Santral Tipleri
(MR: Marj Oramı, ST: Santral tipi, H: Hidro, J: Jeotermal, R: Rüzgâr, L: Linyit, C: CCGT, B: Biyoyakıt, K: İthal Kömür)

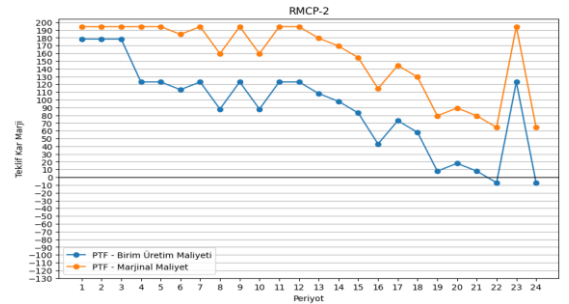
Periyot		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
RMC P	TK M	68.31	18.31	-5.69	-46	-49	-49.81	-49	-31	149	149	103	123	123	123	123	123	123	123	121	123	123	123	72	73	83
	ST	H	H	H	J	J	J	J	J	J	J	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	MR	0.759	0.457	-0.35	-9.2	-24.5	-41.5	-24.5	-1.55	0.745	0.745	0.572	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.61	0.615	0.615	0.611	0.615	0.615	0.483	0.486	0.518
RPAB	TK M	21	-7	-18.1	-32	-41	-49	-57	123	-27	-37	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123
	ST	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	MR	0.214	-0.1	-0.3	-0.71	-1.13	-1.75	-2.85	0.615	-0.54	-0.925	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.61	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.61	0.615	0.615
FMCP	TK M	62.07	12.9	-18.2	60.56	-41.64	-81.85	-108	-114.3	-45.53	-141.8	-128	-147.3	-149.6	-150.9	-152.2	45.42	44	42.7	41.32	39.93	33.52	37.11	35.68	34.23	32.77
	ST	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	MR	0.313	0.086	-152	0.302	-0.42	-1.36	-3.08	-3.809	-0.455	-28.35	-6.40	-73.66	-149.6	-150.9	-152.2	0.227	0.22	0.213	0.206	0.199	0.1718	0.185	0.178	0.171	0.163
FPAB	TK M	-57.93	-88.1	-113	-121.4	-130.6	-132.8	-136	55.71	54.47	53.21	51.95	50.67	49.38	28.09	-33.24	-85.58	-135	-153.3	41.32	-125	-111.4	-138.9	-94.3	-66.77	32.77
	ST	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	MR	-0.742	-1.79	-4.53	-6.74	-13	-14.76	-19.46	0.278	0.272	0.266	0.259	0.253	0.246	0.156	-0.277	-1.24	-6.79	-38.32	0.206	-3.573	-2.229	-5.789	-1.34	-0.674	0.163
RFM CP	TK M	-23.17	-38.45	-41.7	-42.01	-38.28	-36.57	-35.8	158.31	178.31	162.13	149	149	49.38	48.09	46.76	45.42	-5.94	-102.3	-123.68	-133	38.52	37.11	73.69	149	149
	ST	C	C	C	C	C	C	C	H	H	B	J	J	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	K	J	J
	MR	-1.158	-7.69	-20.8	-21	-6.38	-4.57	-3.983	0.879	0.891	0.81	0.745	0.745	0.247	0.24	0.233	0.227	-0.039	-1.86	-3.53	-4.92	0.192	0.185	0.368	0.745	0.745
RFPA B	TK M	-15.9	-59.1	-90.26	-114.4	-125.6	-130.8	-135	55.71	54.47	53.21	51.95	50.67	49.38	38.09	-18.24	-55.58	-101.9	-112.3	-132.68	-145	-151.4	37.11	35.68	34.23	32.77
	ST	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	MR	-0.132	-0.757	-1.88	-4.57	-8.376	-11.89	-18.07	0.278	0.272	0.266	0.259	0.253	0.247	0.2	-0.135	-0.561	-1.887	-2.495	-5.103	-9.671	-15.14	0.185	0.178	0.171	0.163
RMC P-2	TK M	178.31	178.31	178.31	123	123	113	123	88	123	88	123	123	108	98	83	43	73	58	8	18	8	-7	123	-7	
	ST	H	H	H	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
	MR	0.891	0.891	0.891	0.615	0.615	0.594	0.615	0.533	0.615	0.533	0.615	0.615	0.583	0.56	0.518	0.358	0.486	0.429	0.094	0.189	0.094	-0.1	0.615	-0.1	
RPAB -2	TK M	43	23	5	-8	-22	-33	-44	-52	-57	-62	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	
	ST	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
	MR	0.358	0.23	0.06	-0.115	-0.4	-0.75	-1.33	-2.08	-2.85	-4.13	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	0.615	
FMCP -2	TK M	-30.66	-51.5	-65.3	-74.2	-9.1	-13	-11.8	88.26	57.36	16.44	52.97	-64.4	-116	-117	-113	-119.7	-120.	-57.3	-58.7	-10	38.52	-17.	73.7	149.8	
	ST	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	C	K	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	C	
	MR	-0.408	-0.936	-1.55	-2.182	-0.09	-0.133	-0.119	0.441	0.337	0.126	0.535	-1.262	-3.43	-3.436	-2.831	-3.433	-3.43	-0.573	-0.586	-0.067	0.1926	-0.123	0.368	0.749	
FPAB-2	TK M	-16.93	-41.1	-53.2	-59.4	-67.6	-51.8	-33.07	45.71	43.47	28.21	36.95	50.67	29.38	18.09	1.76	-29.6	-75.94	-112.3	-120.68	-133	-146.5	-147.9	-126.3	-117.77	
	ST	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
	MR	-0.142	-0.428	-0.62	-0.743	-0.926	-0.576	-0.3	0.24	0.23	0.161	0.199	0.25	0.163	0.106	0.011	-0.236	-0.949	-2.495	-3.175	-4.928	-9.765	-9.859	-3.324	-2.453	
RFPA B-2	TK M	-36.93	-58.1	-78.2	-76.4	-92.64	-106.8	-113.07	-99.29	-103.03	-111.8	26.95	50.67	49.38	48	46.76	45.42	44.05	34.7	24.32	19.93	34.52	30.61	25.68	34.23	
	ST	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
	MR	-0.373	-0.735	-1.3	-1.21	-1.93	-3.052	-3.769	-2.206	-2.424	-3.194	0.154	0.25	0.247	0.24	0.234	0.227	0.22	0.18	0.132	0.11	0.176	0.158	0.135	0.171	
RFPA B-3	TK M	-15.9	-42.1	-73.26	-93.9	-105	-116	-122	-125	-120	-119	-115	-89.33	-78	-76	-73	-74	-76	-80	-87	-97	38.5	37.11	35.68	34.23	
	ST	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
	MR	-0.13	-0.44	-1.12	-2.06	-3.01	-4.56	-5.97	-6.79	-4.82	-4.43	-3.486	-1.488	-1.09	-1.01	-0.91	-0.93	-0.973	-1.056	-1.219	-1.54	0.19	0.185	0.178	0.171	

Şekil 49'den Şekil 60'e kadar olan grafiklerde her bir dönemde (periyo) teklif kâr marjı eğrileri gösterilmektedir. Bu grafiklerde mavi çizgi, PTF ile birim üretim maliyeti arasındaki farkı ve turuncu çizgi, PTF ile marjinal maliyet arasındaki farkı gösterir. Mavi eğri ve turuncu eğri arasındaki fark, birim üretim maliyeti ile marjinal maliyet arasındaki birim yatırım maliyeti farkıdır. Birim üretim maliyeti (mavi çizgi) yatırım maliyetini içerirken marjinal maliyet (turuncu) yatırım maliyetini içermez. Tam rekabetçi bir piyasada teklif kâr marjı eğrilerinin sıfıra yakın olması beklenir.

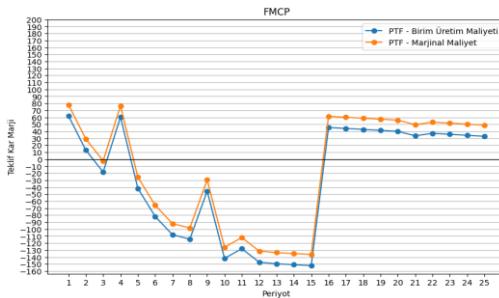
Tablo 4'ten çıkarılan sonuçlarla paralel olarak grafiklerden de yenilenebilir enerjilerin hâkim olduğu oyunlarda (RMCP ve RPAB oyunlarında) beklenen TKM değerlerine ulaşamadığı görülmektedir. Fosil kaynakların hâkim olduğu oyunlarda (FMCP ve FPAB oyunlarında) ise TKM değerleri daha düşük seyretmektedir. Tablo ve grafiklerden görüldüğü gibi piyasa fiyatındaki rekabet düzeyine piyasa mekanizmasından ziyade piyasaya hâkim olan kaynak türünün daha çok etkisi olmaktadır. Karışık kaynak türü olduğunda ise (RFMCP ve RFPAB oyunlarında) teklif kadar öde mekanizmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. En ideal sonuçlar RFPAB-3 oyununda elde edilmiştir, yani, fosil ve yenilenebilir kaynakların beraber kullanıldığı teklif kadar öde mekanizması ideal sonuçlara yaklaşmıştır.



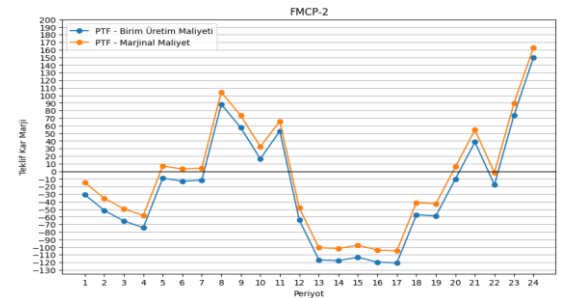
Şekil 49. RMCP için Teklif Kar Marjı



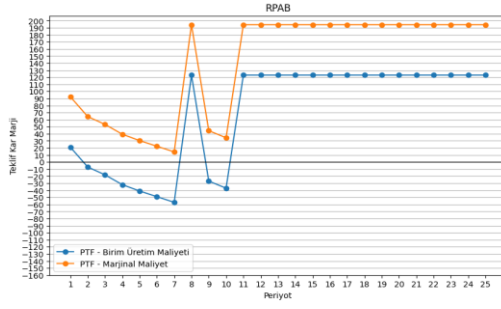
Şekil 50. RMCP-2 için Teklif Kar Marjı



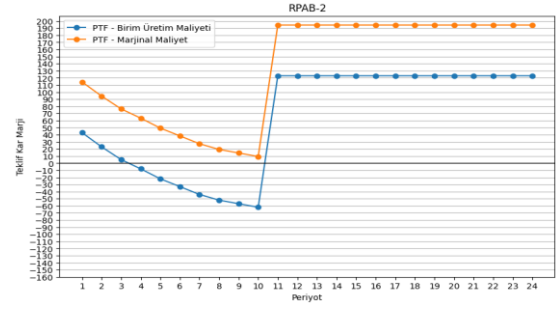
Şekil 51. FMCP için Teklif Kar Marjı



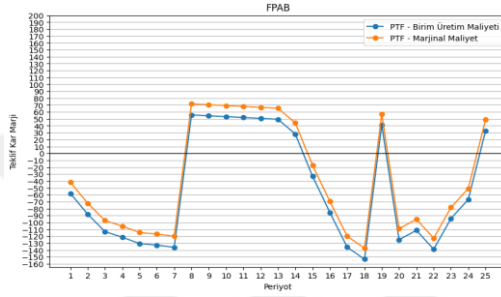
Şekil 52. FMCP-2 için Teklif Kar Marjı



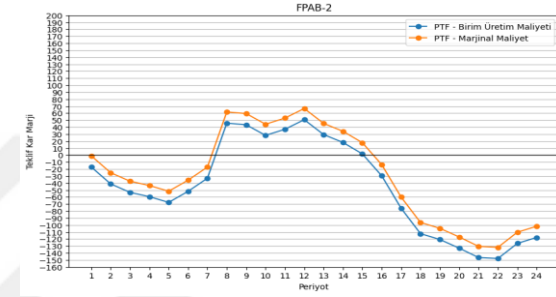
Şekil 53. RPAB için Teklif Kar Marjı



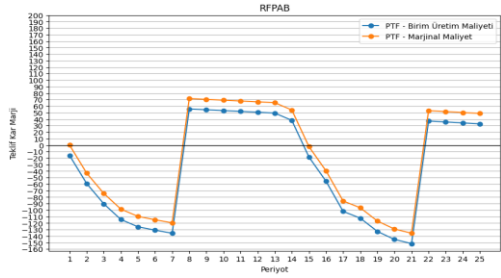
Şekil 54. RPAB-2 için Teklif Kar Marjı



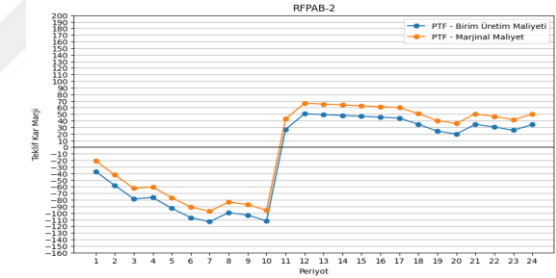
Şekil 55. FPAB için Teklif Kar Marjı



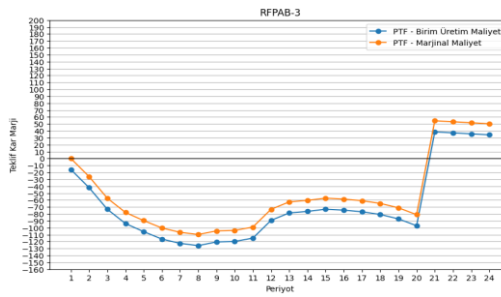
Şekil 56. FPAB-2 için Teklif Kar Marjı



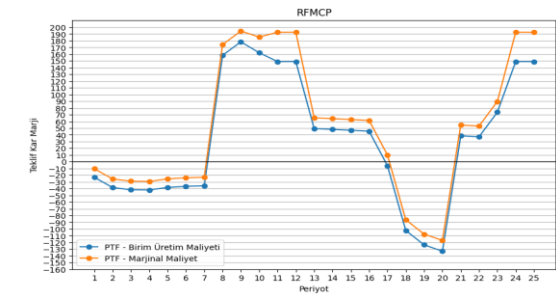
Şekil 57. RFPAB için Teklif Kar Marjı



Şekil 58. RFPAB-2 için Teklif Kar Marjı



Şekil 59. RFPAB-3 için Teklif Kar Marjı



Şekil 60. RFMCP için Teklif Kar Marjı

4. BÖLÜM

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç

Elektrik enerjisi, sürdürülebilirlik ve toplumsal refah açısından büyük önem arz etmektedir ve günlük yaşamın vazgeçilmez bir unsuru olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle, temiz enerji kaynaklarından sağlanan, düşük maliyetli, kaliteli ve yeterli kapasiteye sahip bir elektrik piyasası toplumsal refahı artıracaktır. Elektrik piyasaları, rekabeti teşvik ederek, verimliliği artırarak ve yatırımları çekerek kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, elektrik piyasalarında kullanılan iki farklı piyasa yapısı olan Uniform Fiyatlama (UF) ve Teklif Kadar Öde (TKÖ) mekanizmalarının piyasa işleyişine, piyasa takas fiyatına, piyasanın rekabetçiliğine ve katılımcı davranışlarına etkileri incelenmiştir. EMGame platformu kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon ile bu iki mekanizma, farklı enerji kaynakları ve senaryolar altında test edilmiş ve analiz edilmiştir. Yenilenebilir ve fosil yakıtlı enerji santrallerinin karışımını içeren üç farklı senaryoyu kapsayan 12 oyun üzerinden elde edilen veriler analiz edilmiş ve literatürde yaygın olarak kullanılan insan temelli deneysel veri setlerine kıyasla daha fazla oyun ve etki seviyelerine dayalı sıralamalar sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, piyasa yapısının enerji arzı, fiyat oluşumu ve katılımcı stratejileri üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir. Analizlerden elde edilen önemli sonuçlar şöyledir:

- TKÖ mekanizması, katılımcıları üretim maliyetlerine göre fiyat teklifi vermeye zorlar ve bu, genellikle rekabeti artırarak piyasa fiyatlarını düşürme potansiyeline sahiptir. TKÖ, doğru koşullar altında daha rekabetçi bir piyasa yaratabilir, ancak bu mekanizma stratejik davranışlara açık olduğu için, bazı durumlarda yüksek fiyat teklifleri de ortaya çıkabilmektedir.

- Piyasa yapısının yanı sıra, piyasada tercih edilen enerji türlerinin de büyük bir öneme sahip olduğu ve bu tercihlerin piyasa dinamikleri (piyasa fiyatı, arz-talep dengesi, kâr marjları vb.) üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.
- Piyasa takas fiyatı incelemelerine göre hem UF hem de TKÖ yapılarında, sadece yenilenebilir veya sadece fosil enerji kaynakları kullanıldığında fiyat hareketlerinin oldukça değişken (volatil) olduğu gözlemlenmiştir.
- Her iki piyasa yapısında da hem yenilenebilir enerji hem de fosil kaynaklı enerjiler kullanıldığında piyasanın daha dengeli hareket sergilediği görülmüştür. Bu durum, piyasa mekanizmalarından ziyade piyasaya katılan teknolojilerin etkisinin daha ağır olduğunu düşündürmektedir. Piyasalarda yenilenebilir enerjilerin kullanılması piyasa hareketlerinin daha stabil olmasına etki ettiği düşünülmektedir.
- Bütçe ve arz-talep incelemeleri, TKÖ piyasasının UF piyasasına göre kısmen daha rekabetçi bir ortam oluşturduğunu göstermiştir.
- TKÖ mekanizması daha az gelir, ancak daha adil bir gelir dağılımı sağladığı söylenebilir. Ancak, piyasa mekanizmasının etkisi net değildir. Enerji kaynaklarının piyasa mekanizmasından ayrı etkilerini belirlemek için daha fazla analiz gereklidir.
- Mekanizma ve enerji kaynaklarının birleşiminin karşılaştırılması, %100 fosil yakıt ve TKÖ mekanizmasına sahip bir piyasanın daha az toplam gelir, ancak daha adil gelir dağılımı sonucunu verdiğini önermektedir. Öte yandan, %100 fosil yakıt ve UF mekanizmasına sahip bir piyasa en yüksek toplam gelir ve daha az adil gelir dağılımı sonucunu vermektedir.
- %100 yenilenebilir bir piyasada, UF mekanizmasının oyuncuların (üretim şirketlerinin) piyasadan yeni yatırımlar için yeterli gelir elde etmelerine olanak tanıdığını ve onları yeni santrallere yatırım yapmaya teşvik ettiği söylenebilir. Ayrıca, bu senaryo oyuncuları teklif fiyatlarını düşürmeye teşvik etmektedir. Ancak, TKÖ mekanizması, yeni yatırımlar için olumlu fiyat sinyalleri göndermekte başarısız olmakta ve oyuncuları daha yüksek seviyelerde teklif vermeye zorlamaktadır.

- %100 fosil yakıt altında UF mekanizması kısa vadede PTF'yi düşürmektedir, ancak yatırımları aksatmaz. Ancak, orta vadede PTF sıfıra ulaşmakta ve bu durum yatırımları durdurmaktadır, dolayısıyla uzun vadede PTF çok yükselebilir.
- Teklif fiyat aralıklarının UF piyasalarında TKÖ piyasalarına göre daha geniş olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, bir TKÖ piyasasında teklif stratejisi oluşturma'nın daha karmaşık olduğunu göstermektedir.
- Piyasa yoğunluğu ölçütü olan Herfindahl-Hirschman Endeksi (HHI) incelemelerinde, piyasa mekanizması seçiminin (UF veya TKÖ) ve enerji kaynağının piyasa yoğunluğu ve HHI dalgalanmaları üzerinde herhangi bir etkisi olmadığı ve tüm senaryoların kabul edilebilir piyasa yoğunluğu seviyelerine sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, en ideal HHI istatistiklerine sahip oyun sonuçlarının fosil ve yenilenebilir kaynaklarının beraber kullanıldığı teklif kadar öde mekanizması altında olduğu gözlemlenmiştir.
- Arz Payı Tahlili (APT) Endeksi incelemelerinden çıkarılan bulgular, TKÖ mekanizmasının %100 yenilenebilir enerji pazarında piyasa gücü açısından optimal sonuçlar vermeyebileceğini, ancak yalnızca fosil yakıtlara dayalı bir pazarda avantajlı olabileceğini önermektedir.
- Teklif kâr marjı incelemesinde, %100 yenilenebilir enerjiye dayalı piyasaların her iki mekanizmada da istenen rekabet ortamını oluşturamadığı ve beklenen fiyat düşüşlerini sağlayamadığı görülmektedir.
- Hidro ve jeotermal gibi marjinal maliyeti biraz daha fazla olan yenilenebilir teknolojilerin piyasada istenmeyen etkiler doğurduğu gözlemlenmiştir. Marj oranları bakımından TKÖ mekanizması altında karışık kaynak senaryosunun genelde en tercih edilebilir senaryo olduğu belirtilebilir.
- Teklif kâr marjında en sıklıkla istenmeyen sonuç veren teknoloji rüzgâr olmuştur. Rüzgârın marj oranı daha düşük görünmekle birlikte TKM değerleri yüksek seyretmektedir.
- Yenilenebilir enerjilerin hâkim olduğu oyunlarda beklenen teklif kâr marjı (TKM) değerlerine ulaşılamadığı görülmektedir. Fosil kaynakların hâkim olduğu oyunlarda

ise TKM değerleri daha dūşük seyretmektedir. Piyasa fiyatındaki rekabet düzeyine piyasa mekanizmasından ziyade piyasaya hâkim olan kaynak türünün daha çok etkisi olmaktadır. Fosil ve yenilenebilir kaynakların beraber kullanıldığı teklif kadar öde mekanizması ideal sonuçlara yaklaşmıştır.

- En olumlu oyun sonuçları, yenilenebilir enerji ve fosil yakıtların karışımını içeren bir enerji kaynağı portföyü ve teklif kadar ödeme piyasa mekanizması ile karakterize edilen senaryoda gözlemlenmiştir.

4.2. Tartışma ve Öneriler

Bu çalışma, elektrik piyasalarının daha gerçekçi bir karşılaştırmasını sunarak, mevcut literatürdeki eksiklikleri gidermeyi amaçlayan insan odaklı bir yaklaşım önermektedir. Ancak, insan temelli deneysel tasarımlar, her oyuncunun tam katılımını veya ilgisini garanti etmediği gibi, tüm oyuncuların oyun detaylarına aynı düzeyde hâkim olmasını da sağlayamaz. Oyuncuların oyuna tam anlamıyla odaklanmaları, periyotlara tam katılım sağlamaları ve stratejileri doğru şekilde kavramaları da her zaman garanti edilemez. Bu çalışmada oyun senaryoları ve oyuncu sayıları mümkün olduğunca dengeli tutulmaya çalışılmış, ancak bazı oyunlar için oyuncu sayılarında farklılıklar meydana gelmiştir. Bu sebeplerle, elde edilen verilerden çıkarılan sonuçlar dikkatle değerlendirilmelidir ve evrensel geçerli olduğu iddia edilemez.

Çalışma kapsamında çeşitli oyunlar arasında en ideal sonuçlar, fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının beraber kullanıldığı teklif kadar öde mekanizması altında RFPAB-3 oyunundan elde edilmiştir ve ideal sonuçlara yaklaşmıştır. Ancak, burada hangi kaynakların hangi oranda olmasının piyasada fiyat rekabetine ne kadar etkisi olacağının araştırılması yerinde olacaktır.

İnsan temelli deneylerle özne tabanlı modellerin karşılaştırılması, bu tür çalışmalar için aralarındaki farkın anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Bir özne tabanlı modelin avantajı, istikrarlı sonuçlar ve sağlam veriler elde etmek için birçok kez çalıştırılabilmesidir. Örneğin, Weidlich [15], her vakanın 400.000 ila 700.000 ardışık ihale ile 50 kez çalıştırıldığını belirtmektedir. İnsan temelli deneylerde ise istikrarlı sonuçlar garantilemek imkansızdır. Öte yandan, bir özne tabanlı modelde karar verme sürecinde insan dokunuşu eksiktir. İnsan deneyleri ile bilgisayar kontrollü oyuncu

deneyleri birbiri ile kıyaslanabilir. Bu da çeşitli senaryolar altında deney ve analiz yapılmasını kolaylaştıracaktır.

Oyuncu performansının tekrarlanan oyunlar boyunca genellikle iyileştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle, deneysel veri toplama sürecinden önce bir eğitim dönemi uygulanması, öğrenme etkisini minimize etmek açısından faydalı olacaktır.



DESTEKLER

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ARDEB 3501 Programı kapsamında 222M440 numaralı proje ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından FHD-2024-13745 numaralı proje ile desteklenmiştir.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hakki Can Ergun

Uyruğu:

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

E-mail:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilimi	2024
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Enerji Sistemleri Müh..	2021
Lise	Hisar Anadolu Lisesi	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2021-2023	HES KABLO	Alüminyum Üretim/Proses Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce – Upper Intermediate

YAYINLAR

1. Ergun, H.C. (2024). *INVESTIGATION OF MARKET STRUCTURE AND ENERGY RESOURCE EFFECTS ON THE ELECTRICITY MARKETS WITH HUMAN-BASED SIMULATIONS. INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED ENERGY STUDIES, NEW YORK ENERGY BOOK; ISBN - 978-625-367-727-5, 88-96.*



KAYNAKÇA

1. ABUSAH, I. C., SELÇUKLU, S. B. 2022. Simülasyon ile Öğrenme İçin Tasarlanmış Web Tabanlı Yeni Bir Elektrik Ticareti Oyunu. **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi**, **38**(1), 21-37.
2. Vickrey, W. 1961. Counterspeculation, auctions and competitive sealed tenders. **The Journal of Finance**, **16**(1), 8-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1961.tb02789.x>
3. Cramton, P. (2004, 10-13 Oct. 2004). Alternative pricing rules. IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 2004.,
4. Sensfuß, F., Ragwitz, M., Genoese, M. 2008. The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. **Energy Policy**, **36**(8), 3086-3094. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.035>
5. Milgrom, P. 1989. Auctions and Bidding: A Primer. **Journal of Economic Perspectives**, **3**(3), 3-22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1257/jep.3.3.3>
6. Clarke, E. H. 1971. Multipart Pricing of Public Goods. **Public Choice**, **11**, 17-33. <http://www.jstor.org/stable/30022651>
7. Ethier, R., Zimmerman, R., Mount, T., Schulze, W., Thomas, R. 1999. A uniform price auction with locational price adjustments for competitive electricity markets. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, **21**(2), 103-110. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0142-0615\(98\)00034-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0142-0615(98)00034-9)
8. Lucking-Reiley, D. 2000. Vickrey Auctions in Practice: From Nineteenth-Century Philately to Twenty-First-Century E-Commerce. **Journal of Economic Perspectives**, **14**(3), 183-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1257/jep.14.3.183>
9. Mazzi, N., Kazempour, J., Pinson, P. 2018. Price-Taker Offering Strategy in Electricity Pay-as-Bid Markets. **IEEE Transactions on Power Systems**, **33**(2), 2175-2183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TPWRS.2017.2737322>
10. Clò, S., Cataldi, A., Zoppoli, P. 2015. The merit-order effect in the Italian power market: The impact of solar and wind generation on national wholesale electricity prices. **Energy Policy**, **77**, 79-88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.038>
11. Zhao, D., Botterud, A., Ilic, M. 2023. *Uniform Pricing vs Pay as Bid in 100%-Renewables Electricity Markets: A Game-theoretical Analysis* Proceedings of the 14th ACM International Conference on Future Energy Systems, Orlando, FL, USA. pp. 236–241
12. Pinto, T., Praça, I., Vale, Z., Morais, H., Sousa, T. M. 2013. Strategic bidding in electricity markets: An agent-based simulator with game theory for scenario analysis. **Integrated Computer-Aided Engineering**, **20**, 335-346. <https://doi.org/https://doi.org/10.3233/ICA-130438>
13. David, A. K., Fushuan, W. (2000, 16-20 July 2000). Strategic bidding in competitive electricity markets: a literature survey. 2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134),

14. Kardakos, E., Simoglou, C., Bakirtzis, A. 2014. Optimal bidding strategy in transmission-constrained electricity markets. **Electric Power Systems Research**, **109**, 141–149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2013.12.014>
15. Weidlich, A. 2008. Engineering Interrelated Electricity Markets - An Agent-Based Computational Approach ve pp.
16. Ruiz, C., Kazempour, J., Conejo, A. 2012. Equilibria in Futures and Spot Electricity Markets. **Electric Power Systems Research**, **84**, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.09.019>
17. Sakk, E., Thomas, R. J., Zimmerman, R. (1997, 7-10 Jan. 1997). Power system bidding tournaments for a deregulated environment. Proceedings of the Thirtieth Hawaii International Conference on System Sciences,
18. Csercsik, D. 2020. A Two-Sided Price-Decoupled Pay-As-Bid Auction Approach for the Clearing of Day-Ahead Electricity Markets. **The 4th International Conference on Power, Energy and Mechanical Engineering**, **162**, 5, Article 01006 <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016201006>
19. Macatangay, R. E. A. 2001. Market definition and dominant position abuse under the new electricity trading arrangements in England and Wales. **Energy Policy**, **29**(5), 337-340. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00138-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00138-5)
20. You Seok, S., Baldick, R., Kwang-Ho, L., Shams, S. 2004. Short-term electricity market auction game analysis: uniform and pay-as-bid pricing. **IEEE Transactions on Power Systems**, **19**(4), 1990-1998. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.836192>
21. Federico, G., Rahman, D. 2003. Bidding in an Electricity Pay-as-Bid Auction. **Journal of Regulatory Economics**, **24**(2), 175-211. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1024738128115>
22. Fabra, N., von der Fehr, N.-H., Harbord, D. 2006. Designing electricity auctions. **The RAND Journal of Economics**, **37**(1), 23-46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1756-2171.2006.tb00002.x>
23. Karandikar, R. G., Khaparde, S. A., Kulkarni, S. V. 2010. Strategic evaluation of bilateral contract for electricity retailer in restructured power market. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, **32**(5), 457-463. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2009.09.018>
24. Tierney, S. F., Schatzki, T., Mukerji, R. (2008). Uniform-Pricing versus Pay-as-Bid in Wholesale Electricity Markets: Does it Make a Difference? *Analysis Group, Economic, Financial and Strategy consultants*, 1-25.
25. Nanduri, V., Das, T. K. 2009. A survey of critical research areas in the energy segment of restructured electric power markets. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, **31**(5), 181-191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2009.01.004>
26. Heim, S., Götz, G. 2021. Do Pay-As-Bid Auctions Favor Collusion? Evidence from Germany's market for reserve power. **Energy Policy**, **155**, 112308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112308>
27. Azadeh, A., Skandari, M. R., Maleki-Shoja, B. 2010. An integrated ant colony optimization approach to compare strategies of clearing market in electricity markets: Agent-based simulation. **Energy Policy**, **38**(10), 6307-6319. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.022>

28. Burkett, J., Woodward, K. 2020. Uniform price auctions with a last accepted bid pricing rule. **Journal of Economic Theory**, **185**, 104954. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jet.2019.104954>
29. Weidlich, A., Veit, D. 2008. A critical survey of agent-based wholesale electricity market models. **Energy Economics**, **30**(4), 1728-1759. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.01.003>
30. Liu, Z., Yan, J., Shi, Y., Zhu, K., Pu, G. 2012. Multi-agent based experimental analysis on bidding mechanism in electricity auction markets. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, **43**(1), 696-702. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.05.056>
31. Veit, D., Weidlich, A., Krafft, J. 2009. An agent-based analysis of the German electricity market with transmission capacity constraints. **Energy Policy**, 4132-4144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.023>
32. Viehmann, J., Lorenczik, S., Malischek, R. 2021. Multi-unit multiple bid auctions in balancing markets: An agent-based Q-learning approach. **Energy Economics**, **93**, 105035. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105035>
33. Bakirtzis, A., Tellidou, A. C. 2006. Agent-Based Simulation of Power Markets under Uniform and Pay-as-Bid Pricing Rules using Reinforcement Learning ve pp.
34. Deshmukh, A., Ponci, F., Monti, A., Cristaldi, L., Ottoboni, R., Riva, M., Lazzaroni, M. (2006, 24-27 April 2006). Multi Agent Systems: an Example of Dynamic Reconfiguration. 2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings,
35. Prýmek, M., Horák, A. 2010. Multi-agent approach to power distribution network modelling. **Integrated Computer-Aided Engineering**, **17**, 291-303. <https://doi.org/https://doi.org/10.3233/ICA-2010-0348>
36. Badawy, R., Hirsch, B., Albayrak, S. 2010. Agent-based coordination techniques for matching supply and demand in energy networks. **Integrated Computer-Aided Engineering**, **17**, 373-382. <https://doi.org/https://doi.org/10.3233/ICA-2010-0350>
37. Praca, I., Ramos, C., Vale, Z., Cordeiro, M. 2003. MASCEM: a multiagent system that simulates competitive electricity markets. **IEEE Intelligent Systems**, **18**(6), 54-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/MIS.2003.1249170>
38. Veit, D., Weidlich, A., Yao, J., Oren, S. 2006. Simulating the dynamics in two-settlement electricity markets via an agent-based approach. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, **1**, 83-97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17509653.2006.10671000>
39. Bagnall, A. J., Smith, G. D. 2005. A multiagent model of the UK market in electricity generation. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, **9**(5), 522-536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TEVC.2005.850264>
40. Li, H., Tesfatsion, L. 2009. Development of Open Source Software for Power Market Research: The AMES Test Bed. **Iowa State University, Department of Economics, Staff General Research Papers**, **2**. <https://doi.org/https://doi.org/10.21314/JEM.2009.020>
41. Vale, Z. A., Pinto, T., Praça, I., Morais, H. 2011. MASCEM: Electricity Markets Simulation with Strategic Agents. **IEEE Intelligent Systems**, **26**, 9-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/MIS.2011.3>

42. Zhou, Z., Chan, W. K., Chow, J. H. 2007. Agent-based simulation of electricity markets: a survey of tools. **Artificial Intelligence Review**, 28(4), 305-342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10462-009-9105-x>
43. Harp, S. A., Brignone, S., Wollenberg, B. F., Samad, T. 2000. SEPIA. A simulator for electric power industry agents. **IEEE Control Systems Magazine**, 20(4), 53-69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/37.856179>
44. Conzelmann, G. 2008. Electricity Market Complex Adaptive System (EMCAS): A New Long-term Power Market Simulation Tool. **Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis**.
45. Audouin, R., Hermon, F., Enriken, R. (2006, 29 Oct.-1 Nov. 2006). Extending a Spot Market Multi-Agent Simulator to Model Investment Decisions. 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition,
46. Grozev, G., Batten, D., Anderson, M., Lewis, G., John, M., Katzfey, J. (2005). NEMSIM : Agent-based Simulator for Australia ' s National Electricity Market.
47. Macal, C., Thimmapuram, P., Koritarov, V., Conzelmann, G., Veselka, T., North, M., Mahalik, M., Botterud, A., Cirillo, R. (2014, 7-10 Dec. 2014). Agent-based modeling of electric power markets. Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014,
48. Ventosa, M., Baíllo, Á., Ramos, A., Rivier, M. 2005. Electricity market modeling trends. **Energy Policy**, 33(7), 897-913. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.013>
49. Stoft, S. 1998. Using Game Theory to Study Market Power in Simple Networks. **Federal Energy Regulatory Commission**.
50. Lemke, C. E., Howson, J. J. T. 1964. Equilibrium Points of Bimatrix Games. **Journal of The Society for Industrial and Applied Mathematics**, 12, 413-423. <https://doi.org/https://doi.org/10.1137/0112033>
51. Kwang-Ho, L., R., B. 2003. Solving three-player games by the matrix approach with application to an electric power market. **IEEE Transactions on Power Systems**, 18(4), 1573-1580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TPWRS.2003.818744>
52. Bower, J., Bunn, D. 2001. Experimental analysis of the efficiency of uniform-price versus discriminatory auctions in the England and Wales electricity market. **Journal of Economic Dynamics and Control**, 25(3), 561-592. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(00\)00036-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0165-1889(00)00036-1)
53. Smith, V., Wilson, B., Rassenti, S. 2003. Discriminatory Price Auctions in Electricity Markets: Low Volatility at the Expense of High Price Levels. **Journal of Regulatory Economics**, 23, 109-23. <https://doi.org/https://doi.org/s10.1023/A:1022250812631>
54. Sugianto, L. F., Liao, K. Z. 2014. Comparison of different auction pricing rules in the electricity market. **Modern Applied Science**, 8, 147-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.5539/mas.v8n1p147>
55. Esmaeili Aliabadi, D., Kaya, M., Sahin, G. 2017. An Agent-based Simulation of Power Generation Company Behavior in Electricity Markets under Different Market-Clearing Mechanisms. **Energy Policy**, 100, 191-205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.063>
56. Khorasani, J., Rajabi Mashhadi, H. 2016. An Agent-based Electricity Market Simulator. **Computational Intelligence in Electrical Engineering**, 7(1), 23-34. <https://doi.org/https://doi.org/10.22108/isee.2016.20713>

57. Pinto, T., Vale, Z., Rodrigues, F., Praça, I., Morais, H. (2011, 11-15 April 2011). Multiagent system for adaptive strategy formulation in electricity markets. 2011 IEEE Symposium on Intelligent Agent (IA),
58. Pacaba, D. D. P., Nerves, A. C. (2012, 19-22 Nov. 2012). Multiagent-based market simulator for the wholesale electricity spot market. TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference,
59. Sugianto, L. F., Liao, K. 2014. Comparison of Different Auction Pricing Rules in the Electricity Market. **Modern Applied Science**, **8**, 148-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.5539/mas.v8n1p147>
60. Esmaeili Aliabadi, D., Kaya, M., Sahin, G. 2017. Competition, risk and learning in electricity markets: An agent-based simulation study. **Applied Energy**, **195**, 1000-1011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.121>
61. Calabria, F. A., Saraiva, J. T., Rocha, A. P. (2015, 19-22 May 2015). A virtual reservoir electricity market design applied to the Brazilian system using an Agent Based Model. 2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM),
62. Pu, T., Chen, N., Wang, W., Li, Y., Liu, G. (2014, 23-26 Sept. 2014). The research of electricity market stability simulation under different congestion degree based on ACE. 2014 China International Conference on Electricity Distribution (CICED),
63. Rahimiyan, M., Rajabi Mashhadi, H. 2008. Supplier's optimal bidding strategy in electricity pay-as-bid auction: Comparison of the Q-learning and a model-based approach. **Electric Power Systems Research**, **78**(1), 165-175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eprsr.2007.01.009>
64. Kardakos, E. G., Simoglou, C. K., Bakirtzis, A. G. J. I. T. o. S. G. 2016. Optimal Offering Strategy of a Virtual Power Plant: A Stochastic Bi-Level Approach. **7**, 794-806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TSG.2015.2419714>
65. Duffy, J. 2006. Chapter 19 Agent-Based Models and Human Subject Experiments. In L. Tesfatsion & K. L. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics* (Vol. 2, pp. 949-1011). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02019-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02019-8)
66. Delarue, E., Laga, E., Meeus, L., Belmans, R., haeseleer, W. D. (2009, 27-29 May 2009). Techno-economic educational simulation games for trading and generating electrical energy. 2009 6th International Conference on the European Energy Market,
67. Delarue, E., Laga, E., Meeus, L., Belmans, R., D'haeseleer, W. J. I. J. o. E. E. 2011. Achieving learning potentials in an educational simulation game for trading and generating electrical energy. **27**(4), 703.
68. Trinh, Q. C., Saguan, M., Meeus, L. 2013. Experience With Electricity Market Test Suite: Students Versus Computational Agents. **IEEE Transactions on Power Systems**, **28**(1), 112-120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2199335>
69. Yu, X., Sun, Y. 2019. Trading risk control model of electricity retailers in multi-level power market of China. **7**(6), 2756-2767. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ese3.457>
70. Shayegh, S., Sanchez, D. L. 2021. Impact of market design on cost-effectiveness of renewable portfolio standards. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **136**, 110397. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110397>

71. Wang, H., Chen, Y., Wu, Z., Xu, H. J. E. E. J. A. E. E. 2022. Optimal Decision-Making of Trans-Provincial Electricity Market Subjects with Risks under Renewable Portfolio Standards. **119**, 1141-1167. <https://doi.org/10.32604/ee.2022.016151>
72. Yu, N.-P., Liu, C.-C., Price, J. 2010. Evaluation of Market Rules Using a Multi-Agent System Method. **Power Systems, IEEE Transactions on**, **25**, 470-479. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TPWRS.2009.2030379>
73. Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., Dixon, D. 2011. Gamification: Using game design elements in non-gaming contexts ve pp.
74. Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H. (2014, 6-9 Jan. 2014). Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. Hawaii International Conference on System Sciences,
75. Jennings, D. 2002. Strategic management: an evaluation of the use of three learning methods. **Journal of Management Development**, **21**(9), 655-665. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/02621710210441658>
76. Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., Freeman, A. 2014. *NMC Horizon Report: 2014 K-12 Edition*.
77. Kapp, K. M. 2012. The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education John Wiley & Sons ve pp.
78. Ligtoet, A., Chappin, E. 2012. Observing player behavior in an electricity market game ve pp.
79. Paşaoğlu, G. 2011. Using the decentralized and liberalized electricity market microworld (LEMM) as an educational tool. **Energy Policy**, **39**(1), 187-199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.032>
80. Davis, T. L., 2020. Features of the Energy Market Game.(Web sayfası: www.energymarketgame.org.), (Erişim Tarihi:
81. Liu, H., Yuan, B., Dai, H., Lin, J., Ni, Y. X. 2001. Framework design of a general-purpose power market simulator based on multi-agent technology ve pp.
82. Trigo, P., Marques, P., Coelho, H. 2010. (Virtual) Agents for running electricity markets. **Simulation Modelling Practice and Theory**, **18**(10), 1442-1452. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.04.003>
83. Trigo, P., Sousa, J. A., Marques, P. 2013. Multi-agent simulation of electricity markets economically-motivated decision-making. **International Journal of Computer Science and Electronics Engineering**. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10400.21/6694>
84. GENSED. 2024. TEİAŞ 2024 Ocak Ayı Kurulu Güç Raporunu Yayımladı.(Web sayfası: <https://www.gensed.org/basin/tei%CC%87a%C5%9F-2024-ocak-ay%C4%B1-kurulu-g%C3%BC%C3%A7-raporunu-yay%C4%B1mlad%C4%B1>.), (Erişim Tarihi: Şubat 2024)