İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE OYUN TEORİSİ UYGULAMALARI

Y. LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Oğuzhan CEYLAN

Anabilim Dalı	: Bilişim
Programı	: Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik

Haziran 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE OYUN TEORİSİ UYGULAMALARI

Y. LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Oğuzhan CEYLAN

702001010

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : **5 Mayıs 2003**
Tezin Savunulduğu Tarih : **5 Haziran 2003**

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan Dağ**
Diğer Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mustafa Bağrıyanık**
Doç. Dr. Benan Zeki Orbay

Haziran 2003

ÖNSÖZ

Öncelikle zevkli bir konuda çalışmama yol göstererek olanak sağlayan sevgili hocam Doç. Dr. Hasan Dağ'a teşekkür ederim.

Bana her zaman destek olan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca değerli yorumları ve desteklerinden ötürü Şule Şahin, Abbas Ayhan Kanmaz ve Fatih Yetkin'e teşekkür ederim.

Haziran 2003 Elk. Müh. Oğuzhan CEYLAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vi

TABLO LİSTESİ vii

ŞEKİL LİSTESİ viii

SEMBOL LİSTESİ x

ÖZET xi

SUMMARY xiii

1 Giriş 1

2 Elektrik Güç Sistemlerinin Yeniden Yapılandırılması 5
- 2.1 Dikey Model 6
- 2.2 Yatay Model 6
  - 2.2.1 Yeniden Yapılandırılmış Güç Sistemlerinde Yeni Tüzel Kişiler 7
- 2.3 Yatay Yapıda Farklı Sistem Modelleri 9
  - 2.3.1 Havuz Modeli 9
  - 2.3.2 İkili Anlaşma Modeli 10
  - 2.3.3 Güç Borsası Modeli 12
  - 2.3.4 Piyasa Modellerinin Karşılaştırılması 12
- 2.4 Yeniden Yapılandırmanın Yararları 13

3 Oyun Kuramı 15
- 3.1 Kısa Tarihçe 15
- 3.2 Oyun Nedir? 16
- 3.3 Oyun Gösterilim Biçimleri 17
  - 3.3.1 Normal (stratejik) Biçim 17
  - 3.3.2 Oyun Ağacı Gösterilim Biçimi 18
- 3.4 Oyun Çeşitleri 19
  - 3.4.1 Sıfır Toplamlı Oyunlar 19

3.4.2 Sıfır Toplamlı Olmayan Oyunlar 21
3.4.3 Oyunların Çeşitli Sınıflandırım Biçimleri 23
3.5 Nash Dengesi 25
3.5.1 Nash Dengesinin Tanımı 25

4 Elektrik Güç Sistemlerinde Oyun Kuramının Uygulanması 27
4.1 İkili Anlaşma Modeli 27
4.2 Klasik Oyun Kuramı ile Nash Dengesinin Bulunması 28
4.3 Nash Dengesinin Bulunması İçin Bir Algoritma 31
4.4 Önerilen Algoritma 34

5 Uygulamalar 36
5.1 Üretici Sayısı 5, Yük Sayısı 4 Olan Bir Sistemin Nash Dengesinin Her İki Algoritma İle Bulunması 36
5.2 Üretici Sayısı 6, Yük Sayısı 3 Olan Bir Sistemin Nash Dengesinin Her İki Algoritma İle Bulunması 37
5.3 İki Algoritmanın Performans Bakımından Karşılaştırılması 39

6 Tartışma ve Gelecek Çalışmalar 44

KAYNAKLAR 45

EKLER

A Octave'de ilk algoritmanın ve önerilen algoritmanın uygulanması 48

B Gnuplotta Yapılan Çizim İçin Örnek Veri Dosyası ve Betik 53

KISALTMALAR

A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
OPEC	Petrol Üreten Ülkeler Birliği
KT	Kombinasyon Toplamı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1 Havuz modelinde fiyat belirlenmesi 10
2.2 Modellerin temel özellikleri 13

4.1 Üretici 1'in önerileri 30
4.2 Üretici 2'nin önerileri 30
4.3 Üretici 3'ün önerileri 30

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 Dikey Yapılı Model 6
2.2 Yatay Yapılı Model 7
2.3 Havuz Modeli 9
2.4 İkili Anlaşma Modeli 11

3.1 Normal gösterilim biçimi 18
3.2 Oyun Ağacı Gösterilimi 18
3.3 Sıfır toplamlı bir oyun 19
3.4 Sıfır toplamlı karma stratejili bir oyun 20
3.5 Bir başka oyunun stratejik gösterilimi 21
3.6 Karma stratejili bir oyun 22
3.7 Mahkumlar İkilemi Oyunu 24

4.1 Üretici maliyet matrisi 28
4.2 Eklenmiş matris 28
4.3 Üretici 1'in ilk önerisi sabit tutularak elde edilen matris 31
4.4 Üretici 1 çıkartıldığında elde edilen matris 32
4.5 Üretici 3 çıkartıldığında elde edilen matris 33
4.6 Nash Dengesi Fiyat Öneri Matrisi 34

5.1 Üretici sayısı 5, yük sayısı 4 olan bir sistem 36
5.2 Örnek sistemin ilk yöntemle bulunmuş Nash Dengesi 37
5.3 Örnek sistemin önerilen yöntemle bulunmuş Nash Dengesi 37
5.4 Üretici sayısı 6, yük sayısı 3 olan bir sistem 38
5.5 Örnek sistemin ilk yöntemle bulunmuş Nash dengesi 38
5.6 Örnek sistemin önerilen yöntemle bulunmuş Nash Dengesi 39
5.7 İki algoritma kullanılarak üretici sayısı sabit (3), yük sayısı artarken elde edilen yük/işlemci zamanı grafiği 40
5.8 İki algoritma kullanılarak yük sayısı sabit (10), üretici sayısı artarken elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği 40

5.9 İki algoritma kullanılarak yük sayısı artan, üretici sayısı artarken elde edilen grafik 41
5.10 İlk algoritma kullanılarak yük sayısı sabit, üretici sayısı artarken elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği 41
5.11 İlk algoritma kullanılarak yük sayıartan, üretici sayısı sabitken (3) elde edilen yük sayısı/işlemci zamanı grafiği 42
5.12 Önerilen algoritma kullanılarak yük sayısı sabit, üretici sayısı artarken,birden fazla enküçük olmadığıdurumda elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği 42
5.13 Önerilen algoritma kullanılarak yük sayısı artan, üretici sayısı sabitken, birden fazla enküçük olmadığı durumda elde edilen yük sayısı/işlemci zamanı grafiği 43
5.14 Önerilen algoritma kullanılarak, yük sayısı artan üretici sayısı artan, birden fazla enküçük olmadığı durumda işlemci zamanına bağlı 3 boyutlu grafik 43

SEMBOL LİSTESİ

G_i	i. üretim şirketi
E_1	havuz işleticisi
D_i	i. dağıtım şirketi
P_{G_i}	üretim şirketi i'nin gücü
P_{D_i}	dağıtım şirketi i'nin gücü
T	ikili anlaşma matrisi
t_{ij}	üretici i'nin yük j'ye sağladığı güç
n_g	üretici sayısı
n_d	yük sayısı
A_i	oyuncu i'nin hamle kümesi
a_i	oyuncu i'nin hamle profili
S_i	oyuncu i'nin strateji uzayı
s^*	denge strateji profili
s_{-i}	oyuncu i dışındaki oyuncuların strateji profilleri
π_i	oyuncu i'nin ödemesi
ρ	karma strateji
C	eklenmiş matris
ϵ	sistemde kabul edilen en küçük fiyat
$\ddot{O}$	öneri matrisi

ÖZET

Seksenli yıllardan itibaren dünyada elektrik güç sistemlerinde yeniden yapılandırılmaya gidilmektedir. Dikey yapılı güç sistemlerinden serbest piyasa koşullarının egemen olduğu yeniden yapılandırılmış güç sistemlerine geçilmektedir. Dikey güç sistemlerinde üretim, iletim ve dağıtım tek otoriteden yürütülür, planlanır ve fiyatlandırılır. Dikey yapılı güç sistemlerinde bütün bu işlemlerin tek otorite tarafından yapılması sistemin herhangi bir noktasında meydana gelen maliyet artımının tüketicilere de yansıması sonucunu beraberinde getirir.

Yeniden yapılandırılmış elektrik güç sistemleri genelde üç farklı piyasa yapısı ile modellenmektedir. Bunlar havuz modeli, ikili anlaşma modeli ve güç borsası modelidir. Havuz modelinde bir sistem işleticisi üreticilerin ve tüketicilerin fiyatlarını alır ve piyasa fiyatını bulur. İkili anlaşma modelinde tüketiciler ve üreticiler kendi aralarında belirleyecekleri miktarlarda güç anlaşması yapabilmektedirler. Güç borsası modelinde üreticiler ve tüketiciler gereksinimlerini ve yapmak istedikleri alışverişleri güç borsasına bildirirler. Bütün bu tekliflere göre anlık piyasa fiyatı belirlenir.

Oyun kuramı, karşılıklı etkileşim yapan karar vericilerden oluşan çeşitli problemlerin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Elektrik güç sistemlerinde, özellikle yeniden yapılandırmadan sonra oyun kuramı ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bütün bu uygulamalarda genel amaç “Nash Dengesini” bulmaktır. Nash Dengesinde, diğer oyuncular stratejilerini değiştirmediği sürece, herhangi bir oyuncunun stratejisini değiştirerek kazanç sağlayamayacağı bir strateji kümesi vardır. Stratejiler ve ödemeler Nash Dengesini oluştururlar.

Bu çalışmada ilkin bir literatür özeti verilmiştir. Sonra elektrik güç sistemlerinin yeniden yapılandırılmasına değinilmiştir. Öncelikle dikey yapı anlatılmış, sonra da yatay yapı üç bileşeni ile (havuz modeli, ikili anlaşma modeli, güç borsası modeli) anlatılmıştır. Daha sonra oyun teorisi anlatılmıştır. Oyun teorisinin elektrik güç sistemlerinde ikili anlaşma modelinde kullanılmasına ilişkin çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Varolan yöntemler anlatılmış ve yeni bir algoritma önerilmiştir. Uygulamalar kısmında, örnek sistemler varolan

yöntemle ve önerilen yöntemle çözülmüştür. Gelecekte yapılacak çalışmalara ilişkin yorumlar yapılmıştır.

SUMMARY

Electric power systems has been changing since 80's worldwide. Instead of vertically integrated power systems new models based on free trade rules are developed. In vertically integrated power systems generation, transmission and distribution are operated, planned and priced by one authority. Hence cost increase in any part of system affects consumers.

The competitive electric markets can be classified into three main models. These models are the pool model, the bilateral model and the power exchange model. In a pool model a central operator receives the bids of suppliers and/or consumers and computes clearing prices. In a bilateral model, suppliers and consumers are free to arrange power transactions with each other according to their own arrangements. In a power exchange generators and loads bid how much power to sell, for how much money and how much power to buy for how much money. Market then finds the instantaneous market clearing price.

After deregulation of electric power systems economic theories are involved in power systems literature more heavily. Game theory is used when there is an interaction between more than one decision makers. The decision makers are players of the game. In the pool model, bilateral model and the power exchange model there are many applications of game theory. In all of those applications the aim is to find a "nash equilibrium". In a nash equilibrium there is a set of strategies of the players that no player can benefit by changing his/her strategy while the other players keep their strategies unchanged. The strategies and payoffs constitute a nash equilibrium.

In this work firstly a literature review is given. Then vertically integrated power systems and deregulated power systems are explained. Vertically integrated power systems is explained first, then deregulated power systems' three market models (pool model, bilateral model and power exchange) are explained. Game theory basics is given next. A bilateral model is explained and a new algorithm is proposed by using this model. The new algorithm is compared to the existing one. In the applications chapter some example systems are solved by both the existing model and the proposed model. Finally a conclusion is given and some comments about future work are given next.

BÖLÜM 1

Giriş

Seksenli yıllardan itibaren, çeşitli ülkeler elektrik güç sistemlerinde serbest piyasa koşullarını uygulamaya geçmişlerdir. İngiltere 1990'da, Avusturalya 1994'te, Norveç ve İsveç 1996'da, Yeni Zelanda ise 1996'da serbest piyasa koşullarını uygulamaya başlamışlardır. Şili 1982'de elektrik güç sistemlerinde serbest piyasa ekonomisine geçmiş ve geçiş sonucu elde edilen kazanımlar diğer Latin Amerika ülkelerini (Arjantin, Bolivya, Kolombiya, Peru ve Brezilya) de yenilikler yapmaya itmiştir. A.B.D'de çeşitli eyaletler de yeniden yapılandırıma olanak tanımışlardır. Sözgelimi 1998 yılı Mart ayında "California Power Exchange" işletime açılarak, dünyanın en büyük yeniden yapılandırılmış elektrik piyasası kurulmuştur [1, 2].

Dünyadaki bu eğilim sonucu Türkiye'de de öncelikle Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu oluşturulmuş ve Elektrik Enerji Piyasası Kanunu yürürlülüğe konmuştur. Önümüzdeki süreçte Türkiye'de de serbest piyasa koşulları uygulanacak ve tüketicinin daha ucuza elektrik kullanması sağlanmaya çalışılacaktır.

Yeniden yapılandırma elektrik enerji üretiminin ve dağıtımının etkinliğinin arttırılması için gerekli bir koşul olarak görülür. Yeniden yapılandırma ile tüketiciye, daha ucuz, daha yüksek kaliteli ve daha güvenilir elektrik arzı hedeflenir.

Dikey yapılı sisteme göre, yatay yapılı sistemde tek bir merkezden karar alma yerini birden fazla karar alıcıya bırakmıştır. Yatay yapılı sistemde fiyatların belirlenmesinde piyasa koşulları etkindir [3].

Yeniden yapılandırılmış elektrik güç sistemlerinde temelde iki piyasa modeli karşımıza çıkar. Bunlardan ilki havuz modeli diğeri ise ikili anlaşma modelidir. Havuz modelinde piyasa fiyatı, üreticiler ve tüketiciler tarafından bildirilen fiyat önerilerine dayanır. Üreticilerin ağdaki konumları ve tüketicilerin sistem kayıpları ve sınırlandırmalara katkıları fiyatların belirlenmesinde etkindir.

İkili anlaşma modelinde ise üreticiler ve tüketiciler bağımsız olarak bir diğeriyle anlaşmaya dayalı olarak güç alışverişi yapabilirler. Ekonomik etkinlik tüketicilerin kendi seçebilecekleri üreticiler ile sağlanır. İkili anlaşma modeli, tüketiciler serbest piyasa yapısı sayesinde en etkin ekonomik kazanımı elde edebilecekleri savından dolayı daha tercih edilebilir olabilir.

Çok değişik tipte elektrik enerji piyasaları dünyada oluşmuştur. Sözgelimi İngiltere elektrik piyasasında üreticiler bir merkezi açık arttırmada ürettikleri enerjiyi satmak zorundadırlar, oysa Kaliforniya elektrik piyasasında havuza satım yapabilecekleri gibi, ikili anlaşmaları tercih edebilme olanakları da vardır [3].

Oyun kuramı, karşılıklı etkileşim yapan karar vericilerden oluşan çeşitli problemlerin incelenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Elektrik güç sistemlerinde, özellikle yeniden yapılandırmadan sonra oyun kuramı ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır [4-11].

Oyun kuramı ilkin elektrik güç sistemlerinde tüketicilerin de kendilerine ait güç üretebildikleri durum için [12]'de kullanım zamanı fiyatlandırması gözönüne alınarak, işbirlikli ve işbirliksiz oyunlar şeklinde kullanılmıştır. Öte yandan kojenerasyon yapan bir oyuncunun sisteme ya da son tüketiciye fazla olan enerjisini sattığı bir yapı için, oyun ağacı gösterilimi kullanılarak bir oyun modellemesi [13]'de yapılmıştır.

Yeniden yapılandırılmış bir elektrik güç sisteminde üretici şirketler bilgi paylaşmak istemeyeceklerdir, bu sorunun üstesinden gelebilmek için [14]'de oyun kuramı kullanılarak bir ekonomik mekanizma geliştirilmiştir.

Elektrik güç sistemlerinde oyun kuramı ile ilgili temel ve giriş düzeyinde bir çalışma olan [10]'da Bertnard ve Cournot modelleri anlatılmış ve örneklenmiş, basit matris oyunları gösterilimi anlatılmış ve denge bulunmuştur. Bütün bu işlemler fark kontratları (contracts for differences) temel alınarak yapılmıştır.

Oyun kuramı havuz sisteminde bağımsız sistem işleticisi ya da üretici şirketlerin bakış açısından incelenmiştir [6]. Bu inceleme yapılırken oyuncuların kendi eylem seçenekleri ve diğer oyuncuların eylem seçenekleri hakkında tam bilgiye sahip oldukları varsayılmıştır. Bu çalışmada, oyuna katılanların kimler olduğu ve olası eylem seçenekleri (stratejileri), aralarındaki olası işbirlikleri (koalisyonlar), her işbirliği sonucu ortaya çıkan ekonomik kazanımların ve güç alışverişlerinin hesaplanması, hangi işbirliklerinin oluşabilecek olduğu ve havuzun kazanımlarını (sistemin) ençoklaştıracak işbirliklerinin cesaretlendirilmesi incelenmiştir. Her oyuncunun tam olmayan bilgiyle (kendisi ile ilgili bilgiye sahip fakat diğer oyuncular ile ilgili bilgisi yok) kendi kazancını ençoklaştırması da incelenmiştir [5]. Tam olmayan bilgiyle oynanan oyun, tam bilgiyle oynanan oyuna dönüştürülmüştür. Sonuçta oyun Nash Dengesi bulunarak çözülmüştür.

Kısa dönem piyasa fiyatlarının belirlenmesinde oyun kuramı kullanılarak inceleme yapılmıştır [11]. Jeneratörlerin ekonomik davranışları bağımsız sistem işleticisi tarafından durağan (static), tam ve mükemmel bilgi olan bir oyun ile modellenmiştir. Oyuncuların teklifleri kesin eylem seçenekleri ile modellenmiştir ve Nash Dengesini bulan bakış açısı kullanılmıştır.

Öte yandan iletim hatlarının taşıma kapasitelerinin üstüne çıkılması sonucu da oyun kuramı kullanılabilir. Elektrik güç sisteminde kısılma sonucu fiyatlandırma ve kazançlar, Cournot modeli gözönüne alınarak [15]'de tek düğümlü, iki düğümlü ve üç düğümlü hatlarda gösterilmiştir. Yine Cournot modeli gözönüne alınarak deneysel bir çalışma yapılmıştır [16]. Bu çalışmada sabit olmayan marjinal fiyatlar, simetrik olmayan oyuncular, genel oyun kuramı uygulamalarının aksine her barada üretim ve tüketim olacağı ve iletim hattı sınırlamalarının değiştiği varsayılmıştır.

İngiltere'dekine benzer bir piyasa yapısı gözönüne alınarak, yani iletim hattının, kısılma olduğunda üreticilerin üretimlerinin engelleneceği ve piyasa fiyatını belirleyeceği bir sistem incelenmiştir [17]. Daha sonra yukarıda bahsedilen iki kısıtı eniyileştiren bir açık arttırma modeli incelenmiştir ve kısılma olmayan bir sistemde, en ucuz fiyatı vermeyen bir üreticinin, etkin çözümdeki güçten daha fazla güç satarak kısılma yaratabileceği bulunmuştur. A.B.D'nin kuzeyindeki iletim kuralları sonucu ağda kısılma ya da kesilme sonucu oluşabilecek oyunlardan [18]'de bahsedilmektedir. Bu kurallar sonucu kimi şirketlerin bu kurallardaki açıklardan yararlanarak nasıl kazançlarını arttırabileceklerine değinilmektedir. Bu kurallarda bazı basit değişiklikler ile daha iyi dengeye ulaşılabileceği sonucuna varılmaktadır.

Güç sistemindeki kârları eniyileştirmek için açık erişimli bir iletim yöntemi [7]'de anlatılmıştır. Yeni bir fiyatlama tanımlaması oyun kuramı kullanılarak yapılmıştır. Önerilen yöntemde yük akışı analizi kullanılmış ve iletim kayıpları da dikkate alınmıştır.

Elektrik güç piyasalarının matris oyunları gibi modellendiği [8] ve [9]'da fiyat öneri seçenekleri "yüksek fiyat öner", "düşük fiyat öner", ve "orta değerde fiyat öner" gibi ayrıklaştırılmıştır. Ayrık fiyat önerme seçenekleri ile bütün seçenekler numaralandırılarak kazanç matrisleri oluşturulabilir ve matristen bir "denge" bulunabilir. Kaliforniya günlük elektrik piyasasında üreticilerin ve tüketicilerin çeşitli örnek tarihlerdeki fiyat öneri davranışları [19]'da incelenmiştir. Tam bilgi ve işbirliği olmayan yapı varsayılarak bir defalık değil sürekli bir oyun analizi [20]'de yapılmıştır. Bu analiz havuz sistemi temel alınarak yapılmış ve yeni bir melez yaklaşımla 2 boyutlu grafik analizle denge bulunmuştur. Grafik analizinde en iyi yanıt eğrileri kullanılmıştır.

Yeniden yapılandırılmış güç sistemlerinde açık arttırmaya katılanların nasıl bir fiyat önermeleri gerektiğine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bütün üreticilerin, tüketicilere aynı anda fiyat önerdiği ikili anlaşma modeli kullanılarak,

[4]'de "Nash Dengesi"nin bulunması için gerekli koşullar anlatılmıştır. Elektrik piyasasındaki olası oyuncuların önceden neler olabileceğine ilişkin bir analiz yapmalarına olanak sağlayacak simulatör geliştirilmiştir [21]. Açık arttırma bir seferde önerilerin yapılması ile bitebileceği gibi uygulama zorluğuna karşın yinelemeli model de vardır. Bu iki modeli karşılaştıran [22]'de tek adımlı İspanyol açık arttırmasının yanı sıra değişik durma koşulları olan çok adımlı açık arttırma yöntemleri Ocak 1998'den başlayan İspanya elektrik güç sistemleri verileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çeşitli açık arttırma yapıları formülleştirilmiştir [23]. Modellemeler dört ayrı koşula göre sınıflandırılmıştır. İlkin elektrik gücünün heterojen ya da homojen bir yapıda olduğu düşünülmüş, sonra oyuncuların belli olup olmaması durumu incelenmiştir. Tek taraflı bir açık arttırmada yani sadece satıcıların ya da sadece alıcıların fiyat önerdiği veya iki taraflı bir açık arttırmada, satıcıların da alıcıların da fiyat önerdiği durum incelenmiştir. Son olarak rezervasyon fiyatlarının içerildiği ya da içerilmediği durum gözönüne alınmıştır.

Sistem güvenliğinin çok sayıda işlemin aynı anda yapılması halinde nasıl sağlanacağı [24]'de incelenmiştir. "Monte Carlo" yöntemi kullanılarak rastgele ikili anlaşma matrisleri oluşturulmuş güvenli işlemlerin olma olasılıkları bulunmuştur.

Bu çalışmada ilkin elektrik güç sistemlerinin yeniden yapılandırılmasına değinilmiştir. Öncelikle dikey yapı anlatılmış, sonra da yatay yapı üç bileşeni ile (havuz modeli, ikili anlaşma modeli, güç borsası modeli) anlatılmıştır. Daha sonra oyun teorisi anlatılmıştır. Oyun teorisinin elektrik güç sistemlerinde ikili anlaşma modelinde kullanılmasına ilişkin çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Varolan yöntemler anlatılmış ve yeni bir algoritma önerilmiştir. Sonuçlar kısmında, genel bir değerlendirme yapılmış ve gelecekte yapılacak çalışmalara ilişkin yorumlar yapılmıştır.

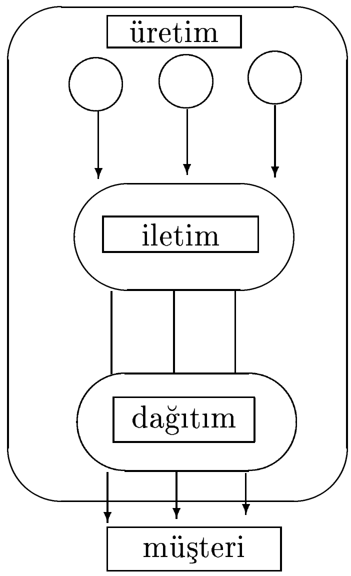
BÖLÜM 2

Elektrik Güç Sistemlerinin Yeniden Yapılandırılması

Seksenli yıllardan itibaren dünyada elektrik güç sistemlerinin yeniden yapılandırılmasına geçilmektedir. Dünyada ilk olarak Şili elektrik güç sistemini yeniden yapılandırmıştır. 1980'de yeniden yapılandırma başlamış, 1988'de ulusal elektrik şirketi özelleştirilmiştir. Arjantin 1991 yılında üretim, iletim ve dağıtımı ayırmıştır. Devletin elindeki güç şirketleri çoğunun elinde tek güç santrali olacak şekilde 40 ayrı üretim şirketine satılmıştır. Dağıtımda 18 ayrı şirket oluşmuş, ayrıca iletim de özel şirketlere devredilmiştir. Avrupa'da ilk olarak Birleşik Krallık'ta yeniden yapılandırılmaya gidilmiştir. Birleşik Krallık'taki yeniden yapılandırma Şubat 1988'de başlamış, ve dünyada yeniden yapılandırmayı tetiklemiştir. Birleşik Krallık'ta öncelikle İngiltere ve Galler'de özelleştirme yapılmış sonra İskoçya ve en son olarak Kuzey İrlanda güç sistemi özelleştirilmiştir. Norveç elektrik endüstrisi çoğunluğu yerel yönetimlere ait 200 şirketten oluşmaktaydı. İletim hattının büyük bir kısmı devlete aitti ve bu şirketler iletim hattından gereksinimlerini karşılayabiliyorlardı. Norveç 1991'de güç sistemini 3 ana bileşene ayırdı. Üretim birçok rekabet eden bağımsız üretim elemanlarına bölündü. İletim ve dağıtım doğal tekeller olarak bırakıldı. Perakende satışları rekabete açıldı. Amerika Birleşik Devletleri Nisan 1996'da üretimi ve iletimin büyük bir çoğunluğunu yeniden yapılandırdı. Eyaletler kendi yaklaşımlarını uygulayarak elektrik endüstrisini işletme konusunda kendi kararlarını vermişlerdir [3]. Türkiye de dünyadaki bu eğilime uyarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunu 2001'de kurmuştur. Bu kurulun amacı; elektriğin ve doğal gazın yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve çevreyle uyumlu bir şekilde tüketicilerin kullanımına sunulması için, rekabet ortamında özel hukuk hükümlerine göre faaliyet gösterebilecek, mali açıdan güçlü, istikrarlı ve şeffaf bir enerji piyasasının oluşturulması ve bu piyasada bağımsız bir düzenleme ve denetimin sağlanmasıdır [25].

2.1 Dikey Model

Elektrik Güç Sistemleri üretimde, iletimde ve dağıtımda tek söz sahibinin olduğu dikey yapı ile işletilegelmiştir. Bu yapıda o bölgede tek söz sahibi olan kuruluş elektriği de o bölgedeki her tüketiciye sağlamakla yükümlüdür. Bu kurum sistemi bir bütün olarak algılayarak toplam maliyeti düşürmek, uzun dönem üretim planlaması iletim sisteminin genişletilmesinin planlanması ve orta dönem de yapılacak üretim ve yakıt sağlanması gibi temel görevleri yerine getirir. Şekil 2.1'de dikey model gösterilmiştir:



Şekil 2.1: Dikey Yapılı Model

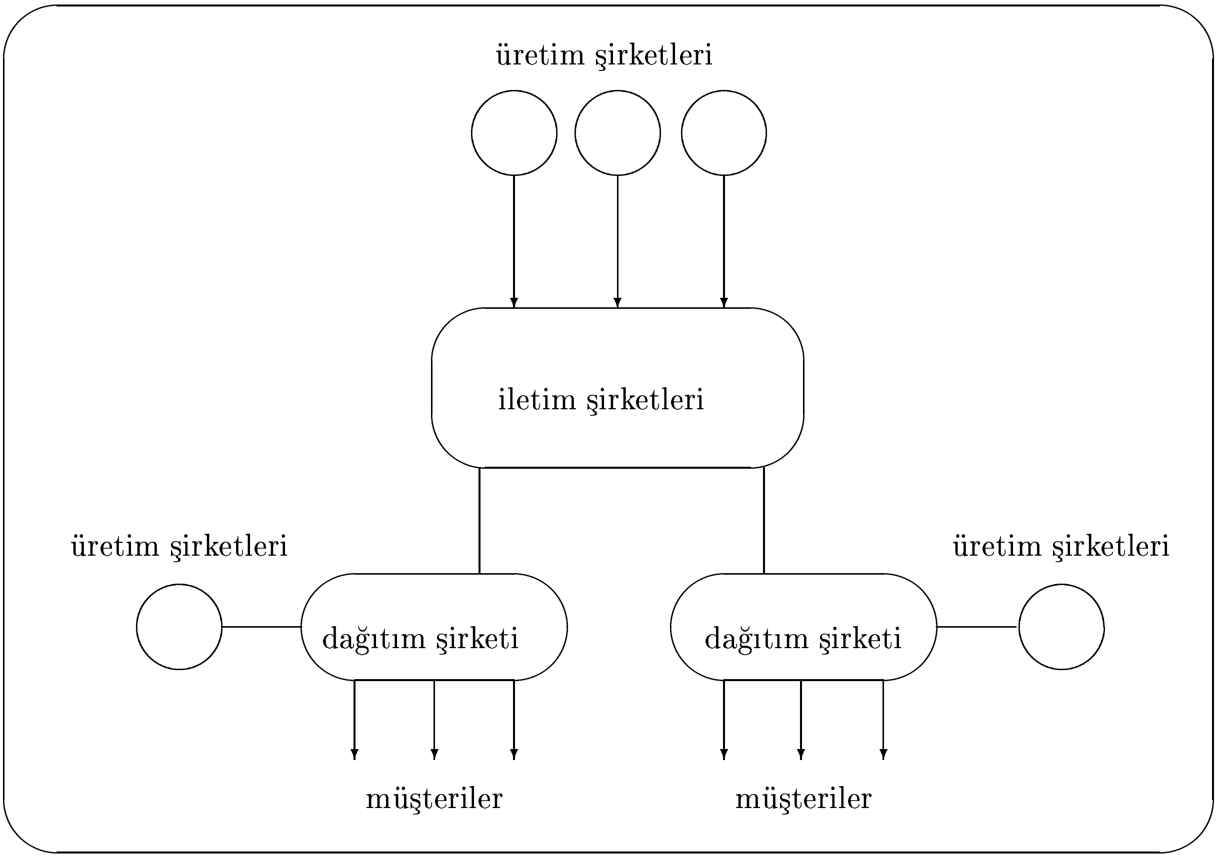
2.2 Yatay Model

Dünya genelinde elektrik güç sistemlerinde rekabet eden elektrik enerjisi sağlayıcılar arasında üreticilerin seçim şansının olduğu yeniden yapılandırmaya doğru geçilmektedir. Çoğu ülkede tüketiciler, bugün çoğu ülkede telefon servislerini kendileri seçebildikleri gibi çeşitli perakandecilerden gücü de seçebileceklerdir.

Elektrik güç sistemlerinde yeniden yapılandırılmaya gidilirken ilk adım elektrik üretimi ile iletimini ayırmaktır. Sonraki adım ise üretim sektöründe rekabet yaratabilmek için güç havuzları, ikili anlaşma yapıları ve anlık güç piyasaları oluşturmaktır.

Öte yandan iletim sisteminin, güç akışlarının kontrolü kolaylıkla yapılamayacağı ve iletim sistemi çeşitli fiziksel parçalara bölünüp satılırsa çeşitli güç akış anlaşmaları gerçekleşemeyeceğinden ötürü bütünlüğü korunmalıdır. Ancak iletim sisteminin herkes tarafından istediğinde ve eşit bir biçimde kullanması için bir yapıya gereksinim vardır. Dağıtım sistemi de iletim sistemine benzer özellikler taşıdığından bütünlüğü korunur. Ancak iletim ve dağıtım sistemine tüzel kişilerin erişim hakkı sağlanmıştır. İletim ve dağıtım sistemine sahip olan kurumun temelde iki görevi vardır. Bunlardan ilki sistemin yüksek etkinlikle ve mümkün olduğunca ekonomik olarak işletilmesidir. Diğer yerine getirilmesi gereken koşul ise herkesin (güç satıcıları, güç alıcıları) hatları kullanma konusunda eşit haklara sahip olmasıdır.

Öte yandan elektrik güç sistemlerinde satılan ve alınan tek unsur aktif güç değildir. Reaktif güç de satılıp alınmaktadır. Şekil 2.2'de Yatay Yapılı Model gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Yatay Yapılı Model

2.2.1 Yeniden Yapılandırılmış Güç Sistemlerinde Yeni Tüzel Kişiler

Yeniden yapılandırılmış güç sistemlerinde birçok yeni tüzel kişilik çıkmıştır. Bunlar aşağıda verilmiştir.

- Üretim Şirketleri (üreticiler)

- İletim Şirketleri
- Dağıtım Şirketleri
- Tüketiciler
- Bağımsız Sistem İşleticileri
- Borsa İşleticileri

2.2.1.1 Üretim Şirketleri

Bu tüzel kişiler elektriği üretirler ve satarlar. Bir şirket bir ya da birden çok üreticiye, güç satmak amacıyla sahip olabilir, bağımsız güç üreticisi olarak da bilinir.

2.2.1.2 İletim Şirketleri

İletim hatlarına sahip olan ve işleten şirketlerdir. Temel sorumlulukları, elektriği üreticiden tüketiciye iletmek ve iletim hatlarını sistemdeki her tüzel kişiye uygun hale getirmektir.

2.2.1.3 Dağıtım Şirketleri

Yerel dağıtım ağına sahip olan ve işleten tüzel kişilerdir. Anlık-piyasalardan ya da üretim şirketleri ile doğrudan anlaşmalar yaparak aldıkları elektrikle tüketicileri beslerler.

2.2.1.4 Tüketiciler

Elektriği tüketen tüzel kişilerdir. Yeniden yapılandırılmış yapılarda tüketicinin elektriği almak için çeşitli seçenekleri vardır. Anlık-piyasadan fiyat önererek alabileceği gibi, üretim şirketinden ya da yerel dağıtım şirketinden doğrudan da alabilir.

2.2.1.5 Bağımsız Sistem İşleticisi

Sistemin güvenilirliğinden (reliability) ve güvenliğinden (security) sorumlu tüzel kişidir. Bağımsızdır ve herhangi bir alışveriş yapmaz.

2.2.1.6 Piyasa İşleticisi

Elektrik piyasa alışverişinin işletilmesinden sorumlu tüzel kişiliktir. Piyasa üyelerinden fiyat önerilerini alır ve piyasa yapısına göre piyasa fiyatını belirler.

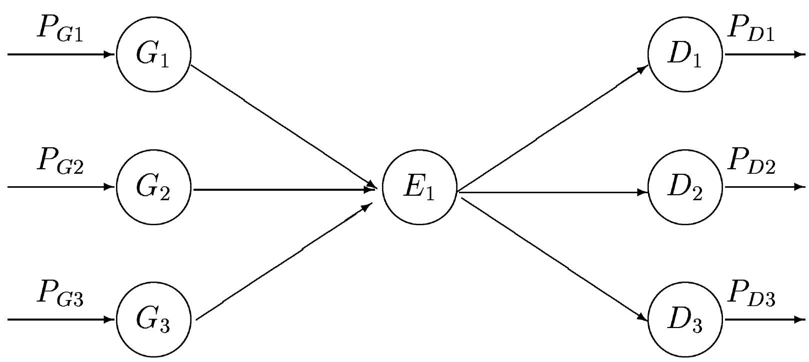
Piyasalar, ertesi gün için saatlik alışveriş ya da gelecekte alışveriş (hafta, ay, yıl) gibi farklı alışveriş şemalarına sahip olabilir.

2.3 Yatay Yapıda Farklı Sistem Modelleri

Dikey sistemde enerji alışverişlerinin kontrolü ve sistemin güvenli sınırlar içinde işletilmesi tek bir sorumlu tarafından başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Yatay yapılı sistemde tek bir sorumlu tarafından bütün bu işlemler yapılmamaktadır. Şu ana kadar önerilen ve uygulanan bir çok yatay yapılı sistem modeli vardır. Bu çalışmada üç temel model üzerinde durulacaktır. Bunlar, havuz modeli, ikili anlaşma modeli, ve güç borsası modeldir.

2.3.1 Havuz Modeli

Havuz modelinde tek bir fiyat belirleyici şirket tarafından, piyasada rekabet etmekte olan üreticilerden elektrik enerjisini satın alınır ve elektrik enerjisi tüketicilere sabit bir fiyata satılır. Havuz modeli İngiltere ve Galler'de uygulanan bir modeldir. Bu modelde enerji üreticileri ve tüketicileri arasındaki bütün enerji alışverişi bir güç havuzu aracılığı ile gerçekleşir. Havuz modelinde enerjiyi her tüzel kişi için alan tek bir otorite vardır. Bu otorite sistemdeki gereksinim oranında gücü almak için bütün fiyat/enerji oranlarını satıcılardan alır ve bunlardan fiyatça düşük olanlarını seçer. Genellikle havuz işleticisi, ayrıca güç sisteminin işletilmesinden de sorumludur. Şekil 2.3'de havuz modelinin yapısı gösterilmektedir. Burada G_i üretim şirketlerini, E_1 havuz operatörünü, D_i dağıtım şirketlerini, P_{Gi} üretim şirketlerindeki gücü P_{Di} dağıtım şirketlerindeki gücü temsil etmektedir.



Şekil 2.3: Havuz Modeli

Fiyatlar toplam üretim maliyetini düşük tutma amacına uygun bir şekilde belirlenir. İngiliz modelinde, iletim sınırlamaları üreticilerin ya da tüketicilerin

Tablo 2.1: Havuz modelinde fiyat belirlenmesi

Öneri No	*Güç(MW)*	*birim fiyat*
31	500	2.43
6	600	2.38
3	1110	2.34
28	500	2.32
1	2100	2.30
43	1210	2.19
5	1500	2.14
23	1430	2.11
27	3200	2.09
13	1380	2.08
19	1430	2.05
22	200	2.03
9	3500	1.44
2	4100	0.00
7	2500	0.00

sorumluluğunda olmadığından gözardı edilir ve fiziksel konuma bakılmaksızın aynı fiyat uygulanır.

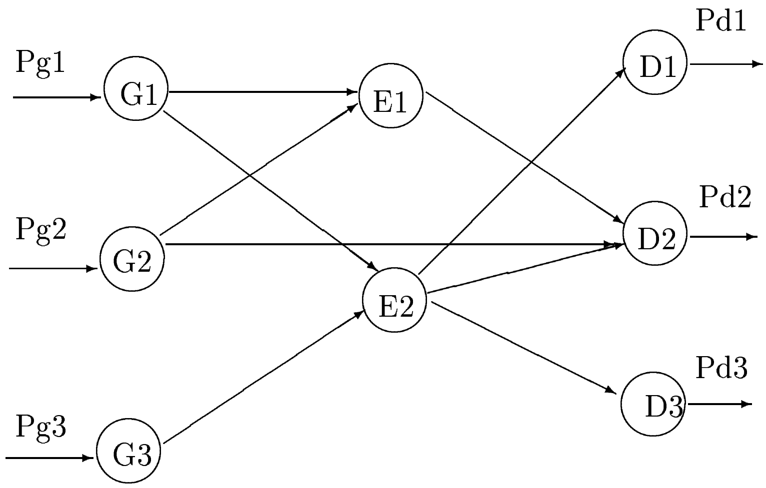
Tablo 2.1'de havuz modelinde fiyat belirlenmesine ilişkin bir örnek verilmiştir. Fiyatlar en yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır. 22.507 MW güce ihtiyaç olduğu varsayılacak olursa, en alttaki öneriden itibaren bu gücü karşılayacak olan 1 nolu öneriye kadarki güç önerileri dikkate alınır. Piyasa temizleme fiyatı bu öneriler arasındaki en yüksek değer olan 1 numaralı önerinin değeri olan 2.30 $[\frac{birimfiyat}{kWh}]$ olur. 2 ve 7 numaralı öneri sahiplerinin 0 birim fiyat önermelerinin sebebi ise oluşacak piyasa fiyatını peşinen kabullenmiş olmalarıdır.

2.3.2 İkili Anlaşma Modeli

Yeniden yapılandırma sonrası geleneksel güç şirketleri, özelleştirme ve üretim, iletim dağıtım işlevlerini ayırma yoluyla derece derece bağımsız şirketlere dönüşmüşlerdir. Alışılagelmiş tipteki güç şirketleri de bağımsız güç üreticileri de tüketiclere güç satmak için birbirleriyle rekabet halindedirler. Tüketiciler herhangi bir üretici ile daha ucuza ve daha iyi servis almak üzere anlaşma yapabilir. İkili anlaşma sisteminde, bağımsız satıcılar ve alıcılar, özel olarak anlaştıkları fiyatta ve koşullarda elektrik gücünü alıp satabilirler. Fakat kamuya anlaşmalarının bir kısmı ya da tamamı hakkında bilgi vermek zorunda olabilirler.

Anlaşma yapıldıktan sonraki adım üreticiden tüketiciye gücü iletmek olacaktır. Yeniden yapılandırılmış güç sistemlerinde genellikle iletim tek bir şirketin elinde olur. İletim her kullanıcının erişimine açıktır. Kullanıcılar üreticiler, tüketiciler ya da aracı (güç acentası, güç komisyoncusu) olabilir. İletim hattının fiziksel sınırlamalarından ötürü sistem güvenliği için koordinasyona gereksinim olacaktır. Ayrıca iletim hattındaki kayıplar da incelenmesi gereken bir sorundur.

İkili anlaşma modeli Norveç'te uygulanan modeldir. İkili anlaşma modeli Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Bu şekilde G'ler üreticileri, E'ler elektrik alan/satan şirketleri, D'ler de dağıtım şirketlerini göstermektedir.



Şekil 2.4: İkili Anlaşma Modeli

Yeniden yapılandırılmış elektrik güç sistemlerinde üreticiler ve tüketiciler vardır. Üreticiler ve tüketiciler arasındaki herhangi bir grup alışveriş matris olarak gösterilebilir. Alışveriş matrisindeki her satır bir üreticinin olası bütün alıcılara sattığı gücün değerini, her sütun da bir alıcının olası bütün üreticilerden satın aldığı gücün değerini verir [26, 24]. Denklem (2.1)'de kayıpsız sistemde bir ikili anlaşma matrisi gösterilmektedir [24].

$$T = \begin{bmatrix} t_{1,1} & \cdots & t_{1,nd} \\ \vdots & t_{ij} & \vdots \\ t_{ng,1} & \cdots & t_{ng,nd} \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Denklem (2.1)'de t_{ij} i. üreticinin j. tüketiciye sağladığı gücü, ng toplam üretici sayısını, nd de toplam yük sayısını göstermektedir. Bu matristeki bazı temel kurallar;

- Sütun (Yük) Kuralı: T matrisindeki j. sütundaki toplam değer, j barasındaki toplam bara yüküne eşit olmalıdır.
- Satır (Üretim) Kuralı: T matrisindeki i. satırdaki toplam değer, üretim barası i'deki toplam uygun kapasiteye eşit ya da düşük olmalıdır.

Bu ikili anlaşma matris modeli ışığında herhangi ikili ya da çoklu anlaşmalar T matrisi ile gösterilebilir ve anlaşmalar sonunda oluşacak bara yükleri ve üretim vektörleri bulunabilir [26, 24].

2.3.3 Güç Borsası Modeli

Hükümetler tarafından güç endüstrisinde ticari borsa yapısı kurulabilir. Bu borsa menkul kıymetler borsası gibi çalışır. Alıcılar kendi gereksinimlerini ve ödemek istedikleri fiyatı borsaya bildirirler. Sözgelimi bir alıcı yarın için 330.000Kw'a gereksinimim var ve 3000$[\frac{TL}{kwh}]$ ödemek istiyorum diyebilir. Satıcılar da satmak istedikleri enerji miktarını ve satmak istediği fiyatı borsaya bildirebilir. Sözgelimi bir satıcı elimde 500.000Kw var ve 6000$[\frac{TL}{kwh}]$'a satmak istiyorum diyebilir.

Güç borsasında satıcılar da alıcılar da sadece piyasaya göre tekliflerini vermektedirler. Pazarlık yaptıkları herhangi bağımsız satıcılar ya da alıcılar yoktur. Borsada olduğu gibi güç borsası da anlık olarak piyasa fiyatını belirler ve bu fiyat her an değişir. Belirlenen piyasa fiyatında alışverişler yapılır. Dolayısıyla gücü 3000$[\frac{TL}{kwh}]$'dan almak isteyen alıcı da, gücü 6000$[\frac{TL}{kwh}]$'dan satmak isteyen satıcı da sözgelimi anlık piyasa fiyatının 4800$[\frac{TL}{kwh}]$ olduğunu bilirler, ve önerilmiş fiyatlarını piyasa fiyatına yaklaştırmaları gerekir. Dolayısıyla güç borsası taleple etkileşerek dalgalı fiyatlar oluşturur ve bu yönüyle diğer malların borsaları ile benzeşir.

Güç borsasında satıcılar da alıcılar da diğer borsalarda olduğu gibi kiminle iş yaptıklarını bilmezler.

2.3.4 Piyasa Modellerinin Karşılaştırılması

Yeniden yapılandırmada sadece burada değinilen piyasa modelleri yoktur, ancak en sık rastlanan modeller bunlardır. Bu üç modelin çeşitli bileşimleri piyasa modeli olarak kullanılabilir fakat bu çeşit uygulamalar azınlıkta kalmıştır. Aynı anda üç model olmasa da iki modelin uygulandığı çeşitli örnekler vardır. Sözgelimi Kaliforniya'da ikili alışverişlere izin verilirken, "Western Power Exchange"'de ise satıcı ve alıcılara, anlık, saatlik ya da bir günlük borsa koşullarında alışveriş izini verilmiştir. Benzer şekilde, yeniden yapılandırılmış başka eyalet ya da ülke sistemlerinde ikili anlaşmalara sadece büyük miktarda, söz gelimi 100 MW'dan fazla güç alındığı zaman izin verilmektedir. Bu piyasalarda daha küçük tüketicilerin alımları için bir havuz işleticisi vardır.

Bu üç modelin ayrı ayrı uygulamalarında farklılık gözlenebilir. Sözgelimi ikili anlaşmalara izin verilen sistemlerde, bu ikili anlaşmalar ne kadar gizli olabilir? Uygulanan bazı ikili anlaşma modellerinde yapılan ikili anlaşmadaki alışveriş miktarı, yeri, zamanı ve fiyatı piyasada duyurulmak zorunda iken uygulanan bazı ikili anlaşma modellerinde böyle bir zorunluluk yoktur. Piyasada duyurma zorunluluğu piyasadaki satıcıların ve alıcıların stratejilerini etkiler.

Benzer şekilde güç borsasında alışveriş zamanı da bir yeniden yapılandırılmış sistemden diğerine değişebilmektedir. Çoğu güç borsasında alışveriş günlük ya da saatlik yapılabilmektedir. Bu tip piyasada daha uzun süre sonunda güç alışverişi yapmak isteyen şirketler ikili anlaşma yapan başka bir şirket bulmak zorundadırlar. Diğer güç borsaları satıcılara ve alıcılara aylık ya da yıllık güç alışverişi olanağı tanımaktadır.

Fakat rekabete açık her güç endüstrisinde yukarıda tartışılan üç modelin biri ya da birden çoğu kullanılarak bir güç piyasası oluşturulur. Aşağıdaki tabloda bu üç modelin temel özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.2: Modellerin temel özellikleri

Model	*Alıcı Sayısı*	Satıcı Bilgisi	*Ödemeler*
Havuz	Bir	Var	Genelde aynı
İkili Ant.	Birçok	Var	Aynı değil
Güç Değ.	Birçok	Yok	Aynı

2.4 Yeniden Yapılandırmanın Yararları

Elektrik sektöründe serbest piyasa koşullarının sağlanması güç üretiminin etkinliğinin artması ve tüketicilerin kazançlı çıkması sonucunu doğurur. Dikey modelde sistemin etkin bir şekilde çalışıp çalışmadığına bakılmaksızın fiyatlarla oynama yapılabilir. Serbest piyasa koşullarının oluşmasıyla bu yaklaşım büyük ölçüde değişmiştir. Artık üreticiler en etkin ve en ekonomik şekilde davranmak zorundadırlar. Yeniden yapılandırılmış güç sistemleri sonucu tüketiciler ve üreticilerin birçok kazanımı vardır. Bunlara aşağıda kısaca değinilmiştir.

- Ucuz Elektrik: Ucuz elektrik enerjisi ile bir bölge yeni endüstri ve iş olanaklarına kavuşur. Üretim maliyetlerini düşürmek enerjiyi yoğun kullanan tüketicilerin kendi işlerinde de daha fazla kazanmasına sebep olur.

- Etkin Kapasite Genişletme Planlaması : Üretim şirketleri yeniden yapılandırılmış sistemlerde arz-talep dinamikleri hakkında daha fazla bilgi sahibi olduklarından uygun yerlerde ve zamanda yatırım yapma olanağına kavuşurlar. Yeni katılımcılar elektrik güç endüstrisinin değişik sektörlerine katılmak için cesaretlendirilir.

- Fiyatlandırma Tarifelendirmeye Oranla Daha İyi Sonuç Üretir: Fiyat sinyalleri rekabete dayalı piyasayı belirler. Endüstri katılımcıları, tüketicilere elektrik arzının maliyetini düşürmeye teşvik edilir.

- Maliyet Enküçüklemesi: Yeniden yapılandırma sonucu bağımsız tüketiciler bütun sistem ile değil sadece kendi üretimlerini gözönüne alacaklarından ötürü güç maliyetleri düşer.

- Daha Fazla Seçme Şansı: Perakendeciler elektrik satarken birçok seçenek sundukları için tüketiciler rekabete dayalı sistemde daha çok seçim şansına sahiptirler.

- Daha İyi Servis ve Fiyat: Perakendeciler fiyat ve servis olarak rekabetçi olmak zorunda olmalarından ötürü tüketici daha iyi servis ve fiyat alabilir.

- İş Olanaklarında Artış: Yeniden yapılandırma ile daha fazla şirket oluşacağından doğal olarak bölgedeki iş olanakları da artar.

BÖLÜM 3

Oyun Kuramı

3.1 Kısa Tarihçe

Oyun kuramı ile ilgili ilk çalışmalar Cournot, Bertnard, ve Edgeworth tarafından 19. yüzyıl sonu ve 20. yüzyıl başında, az sayıda satıcının bulunduğu piyasada (oligopol) yapılmış olarak kabul edilebilir. Bu çalışmalarda bahsedilen piyasada fiyatlandırma ve üretim miktarı hakkında görüşler öne sürülmüştür [27]. Cournot 1838'deki çalışmasının, üretici rekabeti bölümünde özel bir ikili (düopol) piyasa yapısını inceler ve Nash dengesinin daha kısıtlı bir çözüm yapısını önerir [28]. Edgeworth 1881'de anlaşma (kontrat) eğrilerini iki şirketin ya da iki farklı tüketicinin olduğu bir yapıda, oyuncuların kazançlarını bulmada bir yol olarak ortaya koymuştur [28].

Öte yandan modern oyun kuramı ise Zarmelo (1918), Borel (1921), von Neumann (1928) ve von Neumann ve Morgenstern'in (1944) çalısmaları ile başladı denilebilir. John von Neumann 1928'de minmax kuramını ispatlamıştır. Ayrıca ardışık gösterilim biçiminden de 1928'de bahsetmiştir. Öte yandan Neumann ve Morgenstern'in 1944'de "The Theory of Games and Economic Behavior" adıyla yayınlanan eseri oyun kuramının en temel eserlerinden biridir ve genellikle oyun kuramının ilk çalışması olarak kabul edilir. Bu çalışmada bir oyunun oyun ağacı gösterilimi ve normal gösterilimi tanıtılmış, "minmax" çözümü anlatılmış ve bu çözümün iki oyunculu sıfır toplamlı oyunlarda varolduğu bulunmuştur [27].

Tucker mahkumlar ikilemini geliştirmiştir [31]. John Nash 1950 ve 1953 yılları arasındaki 4 makalesinde işbirliksiz oyun kuramı hakkında gelecekteki çalışmalara ışık tutmuştur. "Equilibrium Points in N-Person Games (1950)" "Non-cooperative Games (1951)" isimli makalelerinde Nash, işbirliksiz oyunlarda stratejik dengenin, "Nash Dengesinin", varolduğunu ispatlamıştır [28]. Nash Dengesi, her oyuncunun stratejisinin diğer oyuncuların stratejilerine göre kendi kazançlarını ençoklaştırmaları üzerine kuruludur [27]. Ayrıca işbirlikli oyunları, işbirliksiz oyunlara dönüştürerek çözmeyi öneren "Nash Programını" önermiştir.

Selten (1965) çoğu oyunda, normal biçimli oyunlarda elde edilen "Nash Dengesinin", ardışık oyunlar gözönüne alınarak yapılan incelemelerde anlamsız gelen birçok denge oluşturduğunu gözlemlemiştir. Harsanyi 1967'de bütün oyuncuların, diğer oyuncuların kazanç fonksiyonlarını bildiği klasik oyun kuramı tekniklerini kullanarak oyuncuların diğer oyuncuların kazançları hakkında kesin bilgiye sahip olmadığı durumları modellemiştir [27].

Öte yandan oyun kuramında her oyuncunun mantıklı karar vericiler olduğu varsayılırken evrimsel oyun kuramında hiçbir oyuncu akıllı kabul edilmemektedir, zamanla gözlem yaparak, etkileşerek ögrendikleri varsayılmaktadır [29].

İşbirliksiz bulanık oyun kuramı Butnariu (1978,1979) tarafından önerilmiş, Billot tarafından sadeleştirilmiştir. Bu yaklaşımın en ilginç yanı oyunların, oyuncuların kendi kişisel yorumlarına göre oynanıyor olmasıdır [30].

3.2 Oyun Nedir?

Oyun kuramı karşılıklı etkileşim halinde bulunan karar vericilerin olduğu durumlarda sözkonusu olur. Bir kişilik davranış kuramının genelleştirilmış halidir. Kârını ençoklaştırmak isteyen mantıklı bir karar vericinin kazancı, başka bir kârını ençoklaştırmak isteyen mantıklı karar vericiye bağlıysa nasıl davranmalıdır sorusuna cevap aranmaktadır. Dolayısıyla her iki karar verici karşısındakinin nasıl bir karar vereceğini düşünerek eylem seçimini yapmak durumunda olacaktır.

Aslında oyun kuramı ilk bakışta sadece ekonomi alanında uygulanan bir kuram olarak düşünülebilecekse de hukuk, politika, mühendislik gibi birçok alanda uygulaması vardır. Sözgelimi OPEC üyelerinin yıllık üretim miktarlarını belirlemeleri bir oyundur. Örneğin Suudi Arabistan, Kuveyt'in petrol üretiminin Kuveyt'in Suudi Arabistan üretim öngörümüne bağlı olduğunu bilir. Elbette gündelik hayatta karşılaşılan kart oyunları, video oyunları, alan oyunları (futbol) gibi birçok oyun tipi olduğunu da söyleyebiliriz. Fakat bütün bunların oyun kuramına uygun olup olmadıklarını incelememiz gerekir. Bunun için bir oyunda neler vardır buna bakmak gerekir.

- Belirli bir sayıda oyuncu vardır (genelde 2).
- Oyuncuların yaptıkları hamleler vardır.
- Oyuncuların oyunla ilgili bilgisi vardır..
- Oyuncuların yaptıkları hamleler stratejilerine bağlıdır.
- Stratejinin belirlediği bazı seçimler vardır.
- Oyuncuların yaptıkları hamleler sonucu kazançları ya da kayıpları vardır (ödeme).

- Oyunun bir ya da daha fazla sonucu vardır, örneğin biri yener, ya da yenilir.
- Sonuç tüm oyuncular tarafından seçilen stratejilere bağlıdır. Eylem seçeneklerine göre (stratejik) etkileşim.
- Oyun sonunda bir denge noktasına ulaşılabilir.

Dolayısıyla aşağıdaki örnekler oyun değildir:

- Sadece şansın etken olduğu oyunlar (piyango, sayısal loto)(strateji yok)
- Oyuncular arası stratejik etkileşim olmayan oyunlar (solitaire)

Oyuncular bağımsız karar vericilerdir. Her oyuncunun amacı hamleleri kendi kazancını ençoklaştıracak şekilde seçmektir. Oyuncunun hamlesi a_i oyuncunun seçebileceği bir seçimdir. Oyuncu a'nın hamle kümesi $A_i = \{a_i\}$ olarak gösterilebilir ve oyuncunu yapabileceği bütün hamlelerin içerildiği kümedir. Hamle profili $a = a_i, \quad (i = 1, \cdots, n)$ olarak gösterilir. Oyundaki her n oyuncunun bir hamlesini içerir. Oyuncunun bilgi kümesi farklı değişkenlerin farklı değerlerini, daha önce oynanan hamleleri içerir. Dolayısıyla oyun sırasında bilgi kümesi değişebilir. Oyuncu i'nin stratejisi s_i, oyuncunun bilgi kümesi ışığında oyuncuya hangi anda hangi hamleyi seçmesi gerektiğine ilişkin kural verir. Oyuncunun strateji kümesi ya da strateji uzayı $S_i = s_i$ oyuncuya uygun olan stratejilerdir. Strateji profili $s = (s_1, \cdots, s_n)$ oyundaki her n oyuncu için bir stratejiden oluşan kümedir. Oyuncu i'nin ödemesi $pi_i(s_1, \cdots, s_n)$, bütün oyuncular hamlelerini yaptıktan sonra elde ettiği kazanç ya da kayıptır. Ödeme aynı zamanda oyuncu i'nin kendisi ve diğer oyuncular tarafından seçilecek stratejilerin bir fonksiyonu olarak da düşünülebilir. Denge $s^* = ({s_1}^*, \cdots, ({s_n}^*))$ ise oyundaki n adet oyuncunun da en iyi stratejilerinden oluşan strateji profilidir.

3.3 Oyun Gösterilim Biçimleri

Oyunlar gösterilim biçimlerine göre ikiye ayrılır. Bunlar normal gösterilim biçimi ve oyun ağacı gösterilim biçimidir.

3.3.1 Normal (stratejik) Biçim

Normal biçimde oyunlar matrisler halinde gösterilir.

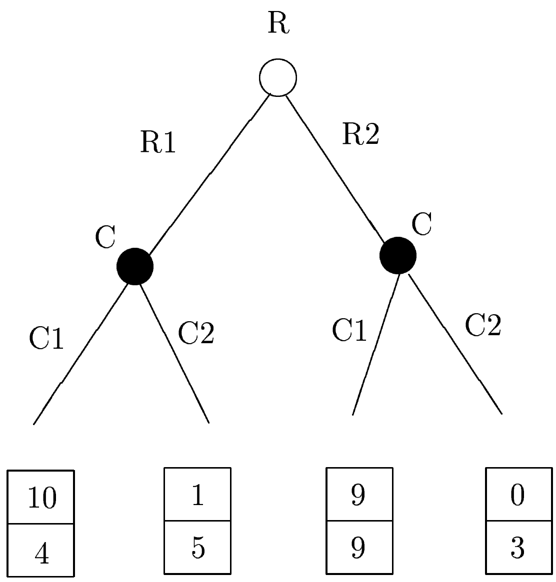
Şekil 3.1'de iki oyunculu bir oyununun normal gösterilimi vardır. Oyunda C ve R oyuncuları vardır. R, R2 seçeneğini, C de C1 seçeneğini oynarsa, R 9 birim kazanacak, C de 9 birim kaybedecektir. Diğer seçeneklerin oyuncular tarafından seçilmesi ile oyuncuların kazançları aynı şekilde bulunabilir.

	C1	C2
R1	10,4	1,-5
R2	9,-9	0,-3

Şekil 3.1: Normal gösterilim biçimi

3.3.2 Oyun Ağacı Gösterilim Biçimi

Ağaç gösterilim biçimi kullanılan bir oyunda oyuncu kümesi, hamle sırası, yapılmış olan hamlelerin fonksiyonu olarak oyuncuların kazançları, oyuncuların hamle yapmaları halindeki tercihleri, her oyuncunun tercihlerini yaparken sahip olduğu bilgi, dışsal olaylar üstündeki dağılım olasılıkları bilgileri vardır. Genelde sıralı (ardışık) oyunlar bu gösterilim biçimine uygundurlar.



Şekil 3.2: Oyun Ağacı Gösterilimi

Şekil 3.2'de Şekil 3.1'de normal biçimde gösterilen oyun, oyun ağacı biçiminde gösterilmiştir.

Normal gösterilim biçiminde işlem ya da sıra hakkında bir bilgi yoktur, oyuncuların hamlelerini aynı anda yapacakları düşünülmektedir. R'nin hamlesini, C'den birkaç saniye önce yaptığını düşünecek olursak bu durum normal biçimde gösterilemez. Dolayısıyla oyun ağacı gösterilimi sözkonusu olur.

3.4 Oyun Çeşitleri

3.4.1 Sıfır Toplamlı Oyunlar

İki oyuncudan oluşan bir oyunda eğer bir oyuncunun oyun sonundaki kazancı diğer oyuncunun kaybına eşitse bu oyun sıfır toplamlı bir oyundur. Sıfır toplamlı oyunlar, normal biçimde gösterilir fakat ödeme matrisinin herhangi bir elemanında diğer oyunlar gibi 2 değil tek bir eleman vardır.

	B				
A	2	-3	4	-5	8
	6	7	5	8	7
	-2	6	4	9	-3

Şekil 3.3: Sıfır toplamlı bir oyun

Şekil 3.3'te sıfır toplamlı bir oyun gösterilmektedir. Matristeki sayılar A'nın kazanımlarını göstermektedir. A'nın kendisi için varolan ilk seçeneği seçmesi durumunda yani ilk satırı seçmesi halinde B oyuncusu kendisi için en iyi seçenek olan 4. sütun seçecek ve 5 birim kazanacaktır. Bu kez A oyuncusu ikinci satırı seçsin bu durumda da B en az kayıplı olmak amacıyla 3. sütunu seçecek yani 5 birim zarar edecektir. Eğer A oyuncusu 3. satırı seçerse, B'nin seçimi açıkça görüldüğü üzere 5. sütun olacaktır. Bütün bu olasılıklar gözönüne alındığında A oyuncusunun beklenen davranışı her satırdaki en küçük elemanı bulmak ve bunların en büyüğünü seçmek olacaktır. B oyuncusu da her sütunun en büyüğünü bulacak ve bunların en küçüğünü seçecektir. Bu karar verme yöntemine "minmax" yöntemi denilir. Dikkat edilecek olursa verilen örnekte A'nın ve B'nin alacağı kararlar aynı noktayı işaret etmektedir, bu tip oyunlara tepe noktası olan oyunlar denilir [32, 33].

Oyunun tepe noktası bulunmayabilir, yani A ve B oyuncularının tek bir eylemle yetinebilmeleri olası olmayabilir. Bu tip durumlarda karma stratejiler devreye girecektir.

Şekil 3.4'de başka bir oyun gösterilmektedir. A oyuncusu her satırın en küçüğünün en büyüğünü seçmeyi düşünecektir ki, bu da 1'dir. B ise sütunların en büyüklerinin en küçüğünü seçmeyi düşünecektir ki, bu da 3'tür. Bu iki değer birbirine eşit değildir, dolayısıyla bu oyunun bir "tepe noktası" yoktur.

Bu durumda A ve B oyuncuları çeşitli olasılıklarla eylemlerini seçecektir.

	B		
A	-2	3	1
	3	1	5
	4	2	-1

Şekil 3.4: Sıfır toplamlı karma stratejili bir oyun

Sözgelimi A oyuncusunun üç oyun seçeneğinin herbirine $i = 1, 2, 3$ olmak üzere x_i denilebilir, genelleştirilecek olursa,

$$x_1 + x_2 + \cdots + x_m = 1 \qquad x_i \geq 0 \tag{3.1}$$

Aynı şekilde B oyuncusunun üç seçeneğinin herbirine $j = 1, 2, 3$ olmak üzere y_j denilebilir, genelleştirilecek olursa:

$$y_1 + y_2 + \cdots + y_n = 1 \qquad y_j \geq 0 \tag{3.2}$$

yazılabilir. Yani A oyuncusunun m adet stratejisi vardır ve bunların herbirini $x_1, x_2, \cdots, x_m$ olasılıkla kullanacaktır, B oyuncusunun da n adet stratejisi vardır ve bunların herbirini $y_1, y_2, \cdots, y_n$ olasılıkla kullanacaktır. Ödemeleri ise a_{ij} ile gösterelim.

A oyuncusu x_i olasılıklarını her sütun için ayrı ayrı hesaplanacak olan ödeme miktarlarının beklenen değerleri içinde en küçük olanını ençoklaştıracak şekilde belirler. B oyuncusu y_j olasılıklarını her satır için ayrı ayrı hesaplanacak olan ödeme miktarlarının beklenen değerleri içinde en büyük olanını enküçükleştirecek şekilde belirler. Matematiksel bir şekilde ifade edilirse;

$$max_{x_i}\left\{min\Big(\sum_{i=1}^{m} a_{i1}x_i, \sum_{i=1}^{m} a_{i2}x_i, \cdots, \sum_{i=1}^{m} a_{in}x_i\Big)\right\} \tag{3.3}$$

$$min_{y_j}\left\{max\Big(\sum_{j=1}^{n} a_{1j}y_j, \sum_{j=1}^{n} a_{2j}y_j, \cdots, \sum_{j=1}^{n} a_{mj}y_j\Big)\right\} \tag{3.4}$$

A oyuncusu (3.3) eşitliğini gerçekleştirecek x_i olasılıklarını, B oyuncusu da (3.4) eşitliğini gerçekleştirecek y_j olasılıklarını bulmaya çalışacaktır.

A'nın x_i değerleri için bulduğu değerler x_i^*, B'nin y_j değerleri için bulduğu değerler y_j^* ise oyun değeri

$$v^* = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_i^* y_j^* \tag{3.5}$$

olacaktır.

3.4.2 Sıfır Toplamlı Olmayan Oyunlar

Sıfır toplamlı olan oyunlarda, bir oyuncunun hamlesinin o oyuncuya getirisinin değeri, diğer oyuncuya getirisinin değerine mutlak değer olarak eşittir, fakat işaret olarak tersidir. Sıfır toplamlı olmayan oyunlarda böyle bir zorunluluk yoktur, yani aynı hamleyi yapan iki oyuncu da o hamleden kazançlı çıkabilir.

Şekil 3.1'de gösterilen oyun bir sıfır toplamlı olmayan oyundur. Şekil tekrar incelenecek olursa, her iki oyuncunun da ilk eylem seçeneklerini seçmeleri halinde birinin 10 birim, diğerinin de 4 birim kazanacağı kolaylıkla görülebilir.

	L	M	R
U	4,3	5,1	6,2
M	2,1	8,4	3,6
D	3,0	9,6	2,8

Şekil 3.5: Bir başka oyunun stratejik gösterilimi

Şekil 3.5'de başka bir oyun stratejik biçimde gösterilmiştir. Şekil 3.5 dikkatli bir şekilde incelenecek olursa birinci oyuncunun hangi hamleyi yapacağı farketmeksizin, R seçeneğinin ikinci oyuncuya, M seçeneğinden daha fazla kazanç getireceği açıktır. Dolayısı ile mantıklı bir oyuncu M'yi oynamayacaktır. Birinci oyuncu da bu bilgiyi bildiğine göre birinci oyuncu için U'yu seçmek M ya da D'yi seçmekten daha avantajlı olacaktır. Dolayısı ile eğer ikinci oyuncu, birinci oyuncunun M'yi oynamayacağını bildiğini biliyorsa, ikinci oyuncu birinci oyuncunun U'yu oynayacağını bilir, dolayısıyla ikinci oyuncu L'yi oynamalıdır. Biraz önce anlatılan işleme yinelemeli baskınlık denir ve bu oyunda kesin strateji sözkonusudur.

Baskın stratejileri matematiksel olarak gösterebilmek için öncelikle "bütün diğer oyuncuların stratejilerinin" gösterilmesi gerekmektedir. Bunun için herhangi bir $y = y_1, \cdots, y_n$ vektörü için y_{-i} ile $(y_1, \cdots, y_{i-1}, y_{i+1}, \cdots, y_n)$ vektörü kastediliyor olacaktır. Herhangi bir oyunda, sözgelimi s_{-3} 3. oyuncu dışındaki bütün oyuncuların strateji profillerini gösterecektir. Bu profil 3. oyuncunun en çok ilgileneceği profildir, çünkü kendi stratejisini seçmek için kullanacaktır. Bu gösterim şekli ile kendi en iyi yanıtını bulabilir. Oyuncu i'nin diğer oyuncular tarafından seçilen s_i stratejilerine en iyi yanıtı en çok kârı veren ${s_i}^*$ stratejisiyle verirler. En çok kâr ise

$$\pi_i({s_i}^*, s_{-i}) \geq \pi_i({s_i}^{'}, s_{-i}) \quad \forall {s_i}^{'} \neq {s_i}^* \tag{3.6}$$

ile verilir. Eğer bir oyuncunun ${s_i}^*$ stratejisi diğer oyuncuların oynayabilecekleri her stratejiye kesinlikle en iyi yanıtsa bu strateji baskın stratejidir ve diğer oyuncuların oynayacakları stratejiler farketmeksizin, ${s_i}^*$ stratejisi ile ödemesi en çok olur. Öte yandan baskın-strateji dengesi ise her oyuncunun baskın stratejisini içeren bir strateji profilidir. Çok az oyunda baskın strateji içeren denge vardır. Baskınlığın kullanılması baskın strateji içermeyen oyunlarda da bu oyunlar gibi kesin sonuçlar vermese de kullanışlı olabilir. Zayıf baskınlık kavramına bu tip kesin baskın strateji olmadığı zaman başvurulur. Oyuncu i için ${s_i}^{'}$ stratejisinden daha iyi ${s_i}^{''}$ stratejisi olma olasılığı varsa ve bu strateji hiçbir zaman daha kötü değilse, bununla beraber daha yüksek ödemeyle sonuçlanıyorsa ve hiçbir zaman daha düşük ödemeyle sonuçlanmıyorsa, oyuncu i için ${s_i}^{'}$ stratejisi zayıf baskındır. Matematiksel olarak;

$$\pi_i({s_i}^{''}, s_{-i}) \geq \pi_i({s_i}^{'}, s_{-i}) \quad \forall s_{-i} \tag{3.7}$$

ve

$$\pi_i({s_i}^{''}, s_{-i}) \geq \pi_i({s_i}^{'}, s_{-i}) \quad \exists s_{-i} \tag{3.8}$$

olarak ifade edilir. Yinelemeli baskın denge ise bir oyuncunun strateji kümesinden bir zayıf baskın strateji silinerek, kalan stratejilerden hangilerinin zayıf baskın olduğu bulunarak, bu bulunan zayıf baskın stratejilerden birisi yine silinerek ve her oyuncu için sadece bir strateji kalıncaya kadar bu işlem devam ettirilerek bulunur.

	L	R
U	2,0	-1,0
M	0,0	0,0
D	-1,0	2,0

Şekil 3.6: Karma stratejili bir oyun

Şekil 3.6'da başka bir oyun gösterilmiştir. Bu oyunda birinci oyuncunun U stratejisi, M stratejisine baskın değildir, çünkü ikinci oyuncu R'yi seçerse, M U'dan daha fazla kazanç getirir. Öte yandan birinci oyuncu için D stratejisi de M'ye baskın değildir, çünkü ikinci oyuncu L'yi seçerse M D'den daha fazla kazanç getirir. Fakat eğer birinci oyuncu U'yu ve D'yi $\frac{1}{2}$'şer olasılıkla seçerse ikinci oyuncu nasıl bir seçim yaparsa yapsın $\frac{1}{2}$ birim kazancı garantileyecektir. Bu da M'nin getirisi olan 0 birimden daha fazladır. Bu işleme karma strateji denir.

Karma strateji ρ kesin stratejiler üstundeki olasılık dağılımıdır. Her oyuncunun rastsal olasılık dağılımı istatistiksel olarak karşısındakinin rastsal olasılık dağıtımına bağlıdır. i oyuncusunun karışık strateji uzayını $\sum_i$ ile gösterelim. $\rho_i(s_i)$'de s_i stratejisine olasal dağılımı göstersin. Karışık strateji uzayı $\sum = x_i \sum_i$ ve ρ elemanı ile gösterilir. i. oyuncunun ρ'daki ödeme değeri

$$\sum_{s \in S} \left(\prod_{j=1}^{I} \rho_j(s_j) \right) u_i(s) \tag{3.9}$$

olacaktır.

Sözgelimi Şekil 3.5'de 1. oyuncu için bir karışık strateji $(\rho_1(U), \rho_1(M), \rho_1(D))$ vektörü olacaktır. Burada $\rho_1(U)$,$\rho_1(M)$ ve $\rho_1(D))$ negatif olmayan değerlerdedir ve $\rho_1(U) + \rho_1(M) + \rho_1(D)) = 1$ değerini alacaktır. $\rho_1 = (\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$, $\rho_2 = (0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ görünümlerinin ödeme değerleri ise (3.9)'den yararlanılarak;

$$u_1(\rho_1, \rho_2) = \frac{1}{3}(0.4 + \frac{1}{2}.5 + \frac{1}{2}.6) + \frac{1}{3}(0.2 + \frac{1}{2}.8 + \frac{1}{2}.3) + \frac{1}{3}(0.3 + \frac{1}{2}.9 + \frac{1}{2}.2)$$

$$u_1(\rho_1, \rho_2) = \frac{11}{2}$$

olarak bulunur. Benzer şekilde $u_2(\rho_1, \rho_2) = \frac{27}{6}$ olarak bulunabilir.

3.4.3 Oyunların Çeşitli Sınıflandırım Biçimleri

Oyunlar oynanış sıralarına, oynanış sayılarına, oyundaki bilgi seviyesine ve işbirliği olanaklarına göre de sınıflandırılabilirler. Bu oyun çeşitleri aşağıda gösterilmiştir.

- **Aynı Anlı Oyunlar:** Hamlenin ya da hamlelerin oyuncular tarafından aynı anda yapıldığı oyunlara denilir. Bu tip oyunlarda, oyuncu diğer oyuncunun nasıl bir hamle yapacağını analiz ederek hamlesini yapar. Bu tip oyunlara verilebilecek örnek mahkumlar ikilemi oyunudur.

  Mahkumlar ikilemi oyunu literatürde çok sık rastlanan bir oyun olduğu için burada değinmekte fayda vardır. Mahkumlar ikilemi oyunu Tucker tarafından ortaya konulmuştur, fakat yayınlanmamıştır. Mahkumlar ikilemi oyununda iki suçlu polis tarafından yakalanmış ve ikisi ayrı birer hücreye konulmuşlardır. Polis suçlulardan diğeri aleyhinde şahitlik yapmasını istemektedir. Eğer ilk suçlu diğerini suçlar, diğer suçlu onu suçlamazsa ilk suçlu şahitlik yaptığı için ödül de kazanacaktır. Bu durumun tersi ikinci suçlu için de geçerlidir. Her iki oyuncu da birbirleri aleyhinde şahitlik yaparsa iki oyuncunun bu seçenekten kazancı olmayacaktır. İki oyuncu da birbirlerini suçlamazsa iki oyuncu da birer birimle ödüllendirilecektir. İki oyuncunun da suçlamama eylemini yapmaları ikisi için en iyi sonuçtur. Buna rağmen iki oyuncu da suçla seçeneğini tercih edecektir.

	suçlama	suçla
suçlama	1,1	-1,2
suçla	2,-1	0,0

Şekil 3.7: Mahkumlar İkilemi Oyunu

- **Sıralı Oyunlar:** Hamlenin ya da hamlelerin oyuncular tarafından sıra ile gerçekleştiği oyunlardır. Dolayısı ile bu tip oyunlarda, oyuncular ileriki hamlelerdeki olasılıkları da analiz edip, ona göre kararlarını verirler. Bu tip oyunlara verilebilecek örnek satrançtır.

- **Tek Hamleli Oyunlar:** Oyunun oyuncular tek hamle yaptıktan sonra bittiği oyunlara denilir. Bazı ihalelerde aynı anda şirketler tekliflerini iletirler ve oyun biter.

- **Yinelemeli Oyunlar:** Bu tip oyunlarda oyun, aynı oyuncularla tekrar oynanılır.

- **Tam Bilgiyle Oynanan Oyunlar:** Bu tip oyunlarda bütün oyuncuların stratejileri ve bu stratejilerin getirileri bütün oyuncular tarafından bilinmektedir. Gündelik hayatta pek rastlanan oyunlar değildir.

- **Tam Olmayan Bilgiyle Oynanan Oyunlar:** Diğer oyuncuların stratejilerinin ya da kazançlarının tam olarak bilinmediği oyunlardır. Gündelik hayatta genelde bu tip oyunlarla karşılaşılır.

- **İşbirlikli Oyunlar:** Bu tip oyunlarda çeşitli oyuncular diğer oyunculara karşı ortak bir strateji belirleyip hareket edebilirler. Ekonomide pazarlıklı uygulamalar genelde işbirlikli oyunlardır.

- **İşbirliksiz Oyunlar:** Her oyuncunun, diğer oyuncularla herhangi bir işbirliği yapmaksızın, kendi kazancını ençoklaştırmaya çalıştıkları oyunlardır.

3.5 Nash Dengesi

Daha önce anlatılan yinelemeli baskınlıkla bütün oyunlar çözülemez. Nash Dengesi çözümü burada devreye girer.

3.5.1 Nash Dengesinin Tanımı

Nash Dengesi her oyuncunun stratejisinin diğer oyuncuların stratejilerine en iyi cevap olduğu stratejilerdir. s^* strateji profili eğer herhangi bir oyuncu diğer oyuncular stratejilerinden sapmadıkları zaman kendi stratejisinden saparak bir kazanç sağlamıyorsa Nash Dengesidir. Matematiksel olarak;

$$\forall \quad \pi_i(s_i{}^*, s_{-i}{}^*) \geq \pi_i(s_i{}^{'}, s_{-i}{}^*) \quad \forall s_i{}^{'} \tag{3.10}$$

Nash Dengesi eğer her oyuncunun rakiplerinin stratejilerine bir eşsiz (unique) eniyi cevabı varsa "tamdır" (strict). s^* ancak ve ancak s^*, Nash Dengesi ise ve her i için, her $s_i \neq s^*$ ise tam dengedir.

Nash Dengesine giden yolda ilk çalışmalar az sayıda satıcının bulunduğu piyasada 1838'de Cournot tarafından ve 1883'de Bertnard tarafından yapılmıştır. Cournot modelinde firmalar aynı anda piyasa fiyatına satacakları maldan ne kadar üreteceklerine karar verirler. Bertnard modelinde ise firmalar aynı anda fiyatları belirlerler ve daha sonra talebi karşılayacak kadar mal üretirler. Bu iki oyundaki denge "Cournot Dengesi" ve "Bertnard Dengesi" olarak bilinir, fakat bu iki dengeyi, iki farklı oyunun Nash Dengesi olarak düşünmek daha yararlı olacaktır.

Cournot modelinde iki firmalı aynı ürünün üretildiği bir piyasa vardır. Bu modelde stratejiler üretim miktarları olacaktır. Birinci şirket ve ikinci şirket aynı anda ne kadar üretim yapacaklarını seçeceklerdir. Bu seçimi yapacakları kümenin $Q_i = [0, \infty]$ aralığında tanımlı q_i büyüklüğü olduğu varsayılsın. İki şirkette ürettikleri miktarı piyasada oluşan piyasa fiyatında satacaklardır ve bu piyasa fiyatı iki şirket için de aynı olacaktır. Piyasa fiyatı da $p(q)$ ile gösterilsin, burada $q = q_1 + q_2$ olduğu da dikkate alınmalıdır. Şirket i'nin üretim maliyeti $c_i(q_i)$ ise şirketin toplam kazancı;

$$u_i(q_1, q_2) = q_i p(q) - c_i(q_i) \tag{3.11}$$

olacaktır. Oyun stratejik formda Q_i kümesi ve u_i kazanç fonksiyonları ile belirlenir. "Cournot yanıt fonksiyonları" $r_1 : Q_2 \to Q_1$ ve $r_2 : Q_1 \to Q_2$ her şirketin diğer şirketin üretim miktarına belirlediği fonksiyonlardır. Eğer u_i türevlenebilirse, konkavsa ve uygun sınır koşulları sağlanıyorsa bu yanıt fonksiyonlarını birinci derece şartlarını kullanarak çözebiliriz. Sözgelimi $r_2()$;

$$p(q_1 + r_2(q_1)) + p^{'}(q_1 + r_2(q_1)) - c_2^{'}(r_2(q_1)) = 0 \tag{3.12}$$

Eğer iki yanıt fonksiyonu r_1 ve r_2 Cournot oyununda kesişiyorsa, kesişim Nash Dengesidir. Herhangi bir şirket diğer şirketin üretim miktarı da belli iken üretim miktarını değiştirerek bir kazanç elde edemez.

Nash Dengesi, oyunun nasıl oynanacağına ilişkin "tutarlı" öngörülerdir. Eğer bütün oyuncular bir Nash Dengesinin oluşacağını öngörürlerse o zaman herhangi bir oyuncunun eline farklı oynayarak daha fazla kâr (ya da daha az zarar) elde etmeyecektir. Dolayısıyla sadece ve sadece Nash Dengesini oyuncular öngörebilirler, diğer oyuncuların öngörebildiklerini öngörürler ve benzeri şekilde bu devam eder. Karşıt olarak eğer Nash profilinde olmayan bir öngörüm oluşursa en az bir oyuncu hata yapmış demektir.

Kesin baskın strateji dengesi gibi Nash Dengesi de zayıf ya da güçlü olabilir. Her baskın strateji dengesi bir Nash Dengesidir öte yandan her Nash Dengesi bir baskın strateji dengesi değildir.

BÖLÜM 4

Elektrik Güç Sistemlerinde Oyun Kuramının Uygulanması

4.1 İkili Anlaşma Modeli

Elektrik güç sistemlerinde ikili anlaşma modelinde oyun kuramı kullanılabilir. Birden çok satıcının (üretici) ve birden çok alıcının (yük) olduğu bir ikili anlaşma modeli ilk fiyata dayalı bir açık arttırma temel alınarak aşağıdaki varsayımlara göre [4]'de oluşturulmuştur.

- Tam ve eksiksiz bilgi var. Sözgelimi fiyat önerisini yapan her üretici kendi maliyetini ve diğerlerinin maliyetlerini bilmektedir. Bütün üreticilerin maliyetleri ve yüklerin ödemek istedikleri en fazla fiyat genel bilgidir.
- Üreticiler sistem kayıpları ve iletim harcamalarından sorumludur. Dolayısıyla yükler aynı büyüklükte olsalar da, bir üreticinin o yükleri besleme fiyatının maliyetleri farklı olabilir.
- Her üretici en fazla bir yükü besleyebilir. Örneğin her üreticinin en fazla bir önerisi kazanan öneri olabilir. Bu varsayım üreticinin kapasite sınırlarıyla ilintilidir. Eğer bir üretici birden fazla yükü beslemeye hak kazanırsa, bu üretici daha yüksek kârı veren yükü beslemeyi seçecektir. Kârlar da aynı ise bu kez sistemin bütünündeki maliyeti düşürecek seçim yapılacaktır.
- İki üretici bir yük için aynı fiyatı önerirse yük seçimini rastgele yapar.
- Herhangi bir yük için, bütün öneriler, o yükün ödemek isteği en fazla fiyatı aşıyorsa yük ikili anlaşma yapmaz. Yeniden bir ikili anlaşma önerisi alınmaz. Yük ya kendi kaynaklarından beslenir ya da başka piyasalara başvurur.

Bir ikili anlaşma modelinde m adet üretici ve n adet yük olsun, Aşağıda m=3 ve n=2 alınarak oluşan bir sistemin maliyet matrisi, T verilmiştir. Bu matriste t(g,y) değeri üretici g'nin yük bloğu y'yi beslemek için gereken toplam maliyetidir. Toplam maliyet; üretim maliyeti, sistem kayıpları için gereken ödemeler ve iletim

T=

y1	y2	
3	1.5	g1
5	3	g2
6	2	g3

Şekil 4.1: Üretici maliyet matrisi

fiyatını içermektedir. Sözgelimi t(1,1)=3, üretici 1'in yük 1'i beslemesi için gereken birim fiyatı göstermektedir.

Öte yandan yük 1 en fazla 10 birim fiyat ödemek istesin ($i_1 = 10$) ve yük 2 de en fazla 12 birim fiyat ödemek istesin ($i_2 = 12$). Bir yükün ödemek istediği en fazla fiyat, bir yedek üreticinin maliyetinden bulunabilir. Bu yedek üretici, ikili anlaşma piyasasında daha ucuz bir fiyat elde edilmezse yükü besleyebilir. Bu yedek üreticinin diğer yükleri besleme maliyeti sonsuz kabul edilebilir. Üreticilerin maliyet matrislerini, yüklerin en fazla ödemek istediği fiyatlarla birleştirirsek aşağıdaki genişletilmiş C matrisine ulaşırız;

C=

y1	y2	
3	1.5	g1
5	3	g2
6	2	g3
10	∞	i1
∞	12	i2

Şekil 4.2: Eklenmiş matris

C matrisindeki her eleman c(g,y) ile gösterilecektir, ve $c(m+y,y) = i(y)$ yük y'nin ödemek istediği en fazla fiyattır.

4.2 Klasik Oyun Kuramı ile Nash Dengesinin Bulunması

Bu sistemde üreticilerin her yükü beslemek için gereken maliyetleri, ve yüklerin ödemek istedığı en fazla fiyat bilinmektedir. Nash Dengesine ulaşılması için her üreticinin ne kadarlık bir teklifte bulunması gerektiğinin bulunması için klasik yol izlenirse 3 boyutlu ödeme matrislerinin oluşturulması gerekir. Bu işlemin yapılması şöyle gerçekleşir. Her bir üretici öneri fiyatlarını belirlemek için iki karar vermek durumunda olacaktır. Bir üretici ilkin hangi yükü beslemek istediğine karar vermeli, ikincil olarak da hangi üreticiye karşı rekabet edeceğine karar vermelidir. Sözgelimi Şekil 4.2'de üretici 1, yük 1'i beslemek için üretici 3 ile rekabet ederse, üretici 1'in yük 1 için önermesi gereken fiyat, üretici 3'ün yük 1'i besleme maliyetinden sistemde kabul edilen en düşük fiyat kadar az olmalıdır. En düşük önerilebilen fiyat 0.001 birim olarak kabul edilirse, üretici 1'in önereceği fiyat $c(2,1) - \epsilon = 4.999$ olacaktır. Dolayısıyla üretici 1 bu seçenek için 1.999 birim kâr etmiş olacaktır. Üretici 1 üretici 2 ile yük 1'i beslemek için ancak maliyet olarak daha ucuzsa rekabet edebilir. Yük 1'i üretici 1'in 1.999 birim fiyat kârla beslemesi, üretici 1'in yük 2'yi daha fazla kârla besleyememesi durumunda daha fazla istenir. Üretici 1'in yük 2'yi daha fazla kâr ile beslemesi için en az $1.999 + \epsilon = 2.000$ kâr etmesi gerekir. Dolayısıyla bu seçenek için üretici 1'in yük 2'için önerceği fiyat $2 + c(1,2) = 3.5$ birim fiyat olacaktır. Yük 1 ve yük 2 için üretici 1'in bu fiyat önerisi şöyle gösterilebilir: $(4.999; 3.5)$. Yukarıdaki işlemle her üreticinin önereceği fiyatlar bulunabilir. Sözgelimi üretici 1'in önerileri aşağıdaki gibi bulunur:

- G-2 ile Y-1 için rekabet ederse, öneri $(4.999; 3.5)$
- G-3 ile Y-1 için rekabet ederse, öneri $(5.999; 4.5)$
- Y-1 için rekabet eden yoksa, yük 1'in ödemek istediği en fazla fiyattan, ϵ kadar düşük öneri $(9.999; 8.5)$
- G-2 ile Y-2 için rekabet ederse, öneri $(4.5; 2.999)$
- G-3 ile Y-2 için rekabet ederse, öneri $(3.5; 1.999)$
- Y-2 için rekabet eden yoksa, yük 2'nin ödemek istediği en fazla fiyattan, ϵ kadar düşük öneri $(13.5; 11.999)$
- hiç bir yükü besleyemezse, kendi maliyetinde öneri $(3; 1.5)$

Benzer şekilde üretici 2 ve üretici 3'ün önerileri bulunabilir. Tablo (4.1)'de birinci üreticinin önerileri, Tablo (4.2)'de ikinci üreticinin önerileri, Tablo (4.3)'de üçüncü üreticinin önerileri verilmiştir. Öneriler bulunduktan sonra üç boyutlu ödemeler matrisi oluşturmak için kullanılır. Aşağıdaki öneri kombinasyonu için;

- üretici 1:$(4.999; 3.5)$ (G-3'e karşıY-1 için)
- üretici 2:$(5.999; 4)$ (G-3'e karşıY-1 için)

Tablo 4.1: Üretici 1'in önerileri

Üretici	*Yük*	*Öneri*
$1 \to 2$	1	$4.99; 3.5$
$1 \to 3$	1	$5.99; 3.5$
-	1	$9.99; 8.5$
$1 \to 2$	2	$4.5; 2.99$
$1 \to 3$	2	$3.5; 1.99$
-	2	$13.5; 1.99$
hiç	2	$3; 1.5$

Tablo 4.2: Üretici 2'nin önerileri

Üretici	*Yük*	*Öneri*
$2 \to 1$	1	$5; 3$
$2 \to 3$	1	$5.999; 4$
-	1	$9.999; 8$
$2 \to 1$	2	$5; 3$
$2 \to 3$	2	$5; 3$
-	2	$14; 11.999$
hiç	-	$5; 3$

Tablo 4.3: Üretici 3'ün önerileri

Üretici	*Yük*	*Öneri*
$3 \to 1$	1	$6; 2$
$3 \to 2$	1	$6; 2$
-	1	$9.99; 6$
$3 \to 1$	2	$6; 2$
$3 \to 1$	2	$7; 2.999$
-	2	$16; 11.999$
hiç	2	$6; 2$

- üretici 3:$(9.999; 6)$ (Y-1'in ödemek istediği en fazla fiyattan ϵ kadar düşuk önerilen durum)

Bu öneri fiyatlarında Y-1 de Y-2 de üretici 1'i seçer. Üretici 1 ise bu durumda yük 2'yi daha fazla kâr verdiği için (2 birim fiyat) seçer. Üretici 2, 0.999 birim fiyat kârla yük 1'i besleyebilecektir. Yüksek öneri fiyatlarından ötürü hiçbir yükü besleyemeyeceğinden ötürü üretici 3 sıfır birim fiyat kâr elde eder. Üretici 1, 2 ve 3'ün kârları $(2, 0.999, 0)$ olarak gösterilebilir. Bir üreticinin önerisi sabit tutularak, 3 boyutlu ödemeler matrisi belli sayıdaki 2 boyutlu ödemeler matrisi olarak gösterilebilir. Sözgelimi üretici 1'in ilk fiyat önerisi $(4.999; 3.5)$ için Şekil

4.3'de gösterilen ödemeler matrisi elde edilir.

G-1: 4.999;3.5				
G-2/G-3	(9.999;6)	(7;2.999)	(16;11.999)	(6;2)
(5.999;4)	2,.999,0	1.999,0,.999	2,.999,0	1,999,0,0
(9.999;8)	2,2.499,1.999	1.999,0,.999	2,4.999,0	1,999,0,0
(14;11.999)	2,0,3.999	1.999,0,.999	2,0,0	1,999,0,0
(5;3)	1.999,0,0	1.999,0,.999	1,999,0,0	1,999,0,0

Şekil 4.3: Üretici 1'in ilk önerisi sabit tutularak elde edilen matris

Üretici 1'in diğer önerileri de sabit tutularak yedi adet 2-boyutlu ödemeler matrisi elde edilir. Daha sonra alışılagelmiş oyun kuramı yaklaşımları kullanılarak Nash Dengesi fiyat önerileri bulunur.

4.3 Nash Dengesinin Bulunması İçin Bir Algoritma

İkili anlaşmalarda Nash Dengesinin bulunması için bir algoritma [4]'de önerilmiştir. Şekil 4.2'de verilmiş olan matris gözönüne alınsın. Bu matris her yükün içerildiği üretici-yük maliyetleri olarak adlandırılabilir. üretici 1'in yük 1'i, üretici 3'ün de yük 2'yi beslediği üretici-yük kombinasyonu $\{(1,1),(3,2)\}$ şeklinde gösterilebilir. Buradaki maliyet terimlerinin toplamı bir kombinasyonun toplamı (KT) olarak tanımlanabilir. $c(1,1,)+c(3,2)$ bütün üretici-yük kombinasyonları içinde en küçük toplama sahip olanıdır.

$$KT = \underset{\substack{g_i=1\cdots 5 \\ g_j=1\cdots 5, g_i\neq g_j}}{min} [c(g_i,1)+c(g_j,2)]$$

$$KT = c(1,1)+c(3,2) = 5$$

Nash Dengesi öneri fiyatları şöyle hesaplanabilir. KT_{-g}'nin üretici g'nin piyasadan çıkartıldığında piyasadaki en küçük toplama sahip olan üretici-yük kombinasyonu olduğu varsayılsın. KT de bütün üreticiler piyasada iken en küçük toplama sahip olan üretici-yük kombinasyonu ise üretici g'nin öneri fiyatlarının hesaplanması için öncelikle Şekil 4.2'deki matriste üretici g'nin bulunduğu satır matristen çıkartılır. Bu durum için piyasadaki en küçük toplama sahip üretici-yük kombinasyonu bulunur. Bu kombinasyonun toplamının bütün üreticilerini piyasada bulunduğu zaman elde edilen kombinasyonun toplamından farkı üretici g'nin kâr marjıdır. Nash Dengesinde üretici g'nin önereceği fiyat maliyet fiyatı ve beslemek istediği yük için oluşacak kâr marjının toplamından sistemde kabul edilen en küçük fiyat (ϵ) kadar düşük olur. Şekil 4.2'de matrissel gösterilimi verilmiş olan sistemde 3 üretici ve 2 yük vardır. İlk üretici matristen çıkartılırsa Şekil 4.4'de verilen matris elde edilir;

y1	y2	
5	3	g2
6	2	g3
10	∞	i1
∞	12	i2

Şekil 4.4: Üretici 1 çıkartıldığında elde edilen matris

Bu durumdaki en küçük toplama sahip üretici-yük kombinasyonu ve en küçük toplam ise;

$$KT_{-1} = \underset{\substack{g_i=2,3,4,5 \\ g_j=2,3,4,5, g_i \neq g_j}}{min} [c(g_i, 1) + c(g_j, 2)]$$

$$KT_{-1} = c(2, 1) + c(3, 2) = 7$$

olarak elde edilir. Üreticinin kâr marjı ise

$$\pi(1) = KT_{-1} + KT = 7 - 5 = 2$$

olarak bulunur. Üretici 1 Nash Dengesinde yük 1'i besleyecektir. Üretici 1'in yük 1'e bu durumdaki fiyat önerisi ise;

$$\ddot{o}(1, 1) = c(1, 1) + \pi(1) - \epsilon = 5 - \epsilon$$

olacaktır. Önerilebilen en düşük fiyat (ϵ) bu sistem için 0.001 birim fiyat olarak kabul edilmişti dolayısıyla

$$\ddot{o}(1, 1) = 5 - 0.001 = 4.999$$

olarak bulunur. Her üretici denge koşullarında beslemeyeceği yüklere de fiyat önermek durumundadır. Böylelikle diğer üreticilerin Nash Dengesinde fiyat önermeleri sağlanacaktır. Ayrıca herhangi başka bir üreticinin Nash Dengesi fiyat önerme stratejisinden ayrılmasından ötürü amaçlanan yükü kazanaması durumunda diğer yüklere fiyat önermek başka yükü kazanma olasılığını beraberinde getirir. Öneri fiyatları üreticinin kâr marjını koruyacak şekilde yapılır, sözgelimi üretici 1 yük 1'den beklediği kâr 2 birim fiyat olacağından, yük 2'deki önerisi;

$$\ddot{o}(1,2) = c(1,2) + \pi(1) = 1.5 + 2 = 3.5$$

olacaktır.

Nash Dengesinde üretici 2 herhangi bir yükü besleyemeyecektir. Dolayısıyla maliyet fiyatlarını önereceği varsayılacaktır.

Üretici 3'ün Şekil 4.2'deki matristen çıkartılması durumunda Şekil 4.5'de verilen matris elde edilir;

y1	y2	
3	1.5	g1
5	3	g2
10	∞	i1
∞	12	i2

Şekil 4.5: Üretici 3 çıkartıldığında elde edilen matris

Bu durumdaki en küçük toplama sahip üretici-yük kombinasyonu ve en küçük toplam ise;

$$KT_{-3} = \min_{\substack{g_i=1,2,4,5 \\ g_j=1,2,4,5, g_i \neq g_j}} [c(g_i,1) + c(g_j,2)]$$

$$KT_{-3} = c(1,1) + c(2,2) = 6$$

olarak elde edilir. Üreticinin kâr marjı ise

$$\pi(3) = KT_{-3} + KT = 7 - 6 = 1$$

olarak bulunur. Üretici 1 Nash Dengesinde yük 3'ü besleyecektir. Üretici 1'in yük 3'e bu durumdaki fiyat önerisi ise;

$$\ddot{o}(3,2) = c(3,2) + \pi(3) - \epsilon = 2 + 1 - 0.001 = 2.999$$

olacaktır. Benzer şekilde üretici 3'ün yük 1'e fiyat önerisi,

$$\ddot{o}(3,1) = c(3,1) + \pi(3) = 6 + 1 = 7$$

olacaktır. Sonuçta Nash Dengesi fiyat önerileri matrisi aşağıdaki gibi bulunmuş olur,

	y1	y2	
	4.999	3.5	g1
Ö=	5	3	g2
	7	2.999	g3

Şekil 4.6: Nash Dengesi Fiyat Öneri Matrisi

4.4 Önerilen Algoritma

Bir önceki bölümde anlatılan algoritmanın çok üreticili ve çok tüketicili sistemlerde yavaş olduğu octave'da yazılan programlar sonucu gözlenmiştir. Dolayısıyla daha hızlı bir algoritma bulunması gerekmektedir. Bu bölümde birden fazla enküçük yük-üretici kombinasyonları olmayan durumlar için daha hızlı çalışan bir algoritma önerilmektedir. Bu algoritma şöyle çalışmaktadır;

- Öncelikle maliyet bilgileri ile Şekil 4.1'deki gibi üretici-yük maliyet matrisi oluşturulur.
- Bu matrisin ilk sütunundaki en küçük eleman bulunur. Sözgelimi Şekil 4.1'de bu değer 3'tür.
- Aynı sütundaki en küçük elemandan bir büyük eleman bulunur. Bu da bahsedilen örnekte kolaylıkla görülebileceği gibi 5'tir.
- İkinci adımda bulunan en küçük elemanın bulunduğu satırdaki bütün elemanlara, en küçük eleman ile üçüncü adımda bulunan bir büyük değer arasındaki fark kadar değer eklenir;

y1	y2	
5	**3.5**	g1
5	3	g2
6	2	g3

- Önerilebilen en düşük fiyat, hangi sütun için işlem yapılıyorsa, o sütunda işlem yapılmış değerden çıkartılır.

$$5 - \epsilon = 5 - 0.001 = 4.999$$

- İkinci adımdan bir önceki adıma kadar yapılan işlemler bütün sütunlar için yapılır.

	y1	y2	
	4.999	3.5	g1
	5	3	g2
	7	**3**	g3

$$3 - \epsilon = 3 - 0.001 = 2.999$$

- Her sutundaki en küçük eleman ile bir büyük eleman arasındaki fark önerilebilen en düşük fiyat ise Nash Dengesine ulaşılmıştır.

	y1	y2	
	4.999	3.5	g1
	5	3	g2
	7	2.999	g3

$$5 - 4.999 = 0.001$$

$$3 - 2.999 = 0.001$$

- Nash Dengesine ulaşılmamışsa bulunan bu yeni değerlerle ikinci adıma dönülür ve işlemler Nash Dengesine ulaşılıncaya kadar devam edilir.

BÖLÜM 5

Uygulamalar

5.1 Üretici Sayısı 5, Yük Sayısı 4 Olan Bir Sistemin Nash Dengesinin Her İki Algoritma İle Bulunması

Üretici sayısı 5, yük sayısı 4 olan bir sisteme ait veriler Şekil 5.1'de verilen matriste gösterilmiştir.

y1	y2	y3	y4	
1	7	3	11	g5
8	8	4	7	g4
9	7	5	3	g3
4	3	10	2	g2
9	3	11	10	g1
15	∞	∞	∞	i4
∞	20	∞	∞	i3
∞	∞	12	∞	i2
∞	∞	∞	25	i1

Şekil 5.1: Üretici sayısı 5, yük sayısı 4 olan bir sistem

Octave programı ile [34] ilk algoritma ve önerilen yeni algoritma kullanılarak yazılan programlar sonucu bulunan Nash Dengeleri Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de verilmiştir. Matrislerden kolaylıkla görülebileceği gibi aynı sonuçlar elde edilmiştir. 0.001 birimlik farklar programlama yapılırken ϵ kabul edilen değerler nedeniyle oluşmaktadır. Önerilen algorita için programlama yapılırken ϵ kabul

y1	y2	y3	y4	
10	3.999	12	11	g1
5	4	11	2.999	g2
9	7	5	3	g3
9	9	4.999	8	g4
4.999	11	7	15	g5

Şekil 5.2: Örnek sistemin ilk yöntemle bulunmuş Nash Dengesi

y1	y2	y3	y4	
9.999	3.999	11.99	11	g1
5	4	11	2.999	g2
9	7	5	3	g3
9	9	4.999	8	g4
4.999	11	7	15	g5

Şekil 5.3: Örnek sistemin önerilen yöntemle bulunmuş Nash Dengesi

edilen değerler her adımda değil son adımda matristeki değerler eklendiğinden farklar oluşmaktadır.

5.2 Üretici Sayısı 6, Yük Sayısı 3 Olan Bir Sistemin Nash Dengesinin Her İki Algoritma İle Bulunması

Üretici sayısı 6, yük sayısı 3 olan bir sisteme ait veriler Şekil 5.4'de verilmiştir.

Şekil 5.5'de ve Şekil 5.6'da 6 üreticili 3 yüklü sistemin "Nash Dengesi" sırasıyla önce ilk yöntem, sonra da önerilen yöntem kullanılarak bulunmuştur.

y1	y2	y3	
5	9	9	g6
6	10	4	g5
6	2	4	g4
11	1	2	g3
1	11	5	g2
6	7	11	g1
15	∞	∞	i3
∞	20	∞	i2
∞	∞	15	i1

Şekil 5.4: Üretici sayısı 6, yük sayısı 3 olan bir sistem

y1	y2	y3	
5	9	9	g1
6	10	4	g2
7	2.999	5	g3
13	3	3.999	g4
4.999	15	9	g5
6	7	11	g6

Şekil 5.5: Örnek sistemin ilk yöntemle bulunmuş Nash dengesi

y1	y2	y3	
5	9	9	g1
6	10	4	g2
6.98	2.98	4.98	g3
13	2.999	3.999	g4
4.999	15	9	g5
6	7	11	g6

Şekil 5.6: Örnek sistemin önerilen yöntemle bulunmuş Nash Dengesi

5.3 İki Algoritmanın Performans Bakımından Karşılaştırılması

Bu bölümde boyutların belli olduğu rastgele üretici-yük kombinasyonları oluşturularak, her iki algoritmanın performansları ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır. İlk algoritma için iki farklı program yazılmıştır. Bunlardan ilkinde de, ikincisinde de öncelikle üretici-yük kombinasyonlarını ifade etmek amacıyla rastgele matrisler oluşturulmuştur. İlk programda bütün üretici-yük kombinasyonları içerisindeki en küçük toplam, rastgele indis vektörleri oluşturarak bulunmuştur. İkinci programda ise bu işlem, bütün üretici-yük kombinasyon toplamları hesaplanarak yapılmıştır (Ek B). İkinci algoritma için 1 program yazılmıştır (Ek B). Çizimler gnuplotta [35] yapılmıştır (Ek A).

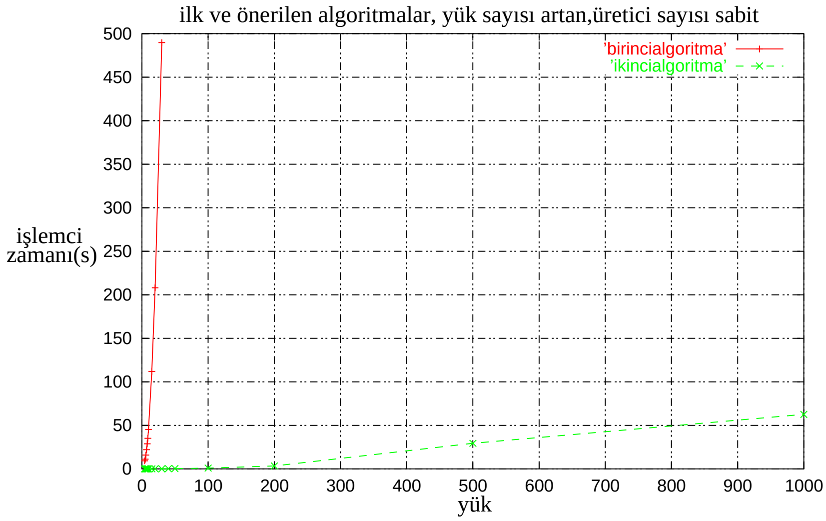
İlk algoritma için yazılan ikinci programın işlemci zamanı tüketici ve üretici sayısı arttığında oldukça fazla olduğu için karşılaştırma bölümünde yer verilmemiştir.

Şekil 5.7'de ilk algoritmada ve önerilen algoritmada üretici sayısı sabit (3) tutularak elde edilen yük/işlemci zamanı grafiği verilmektedir.

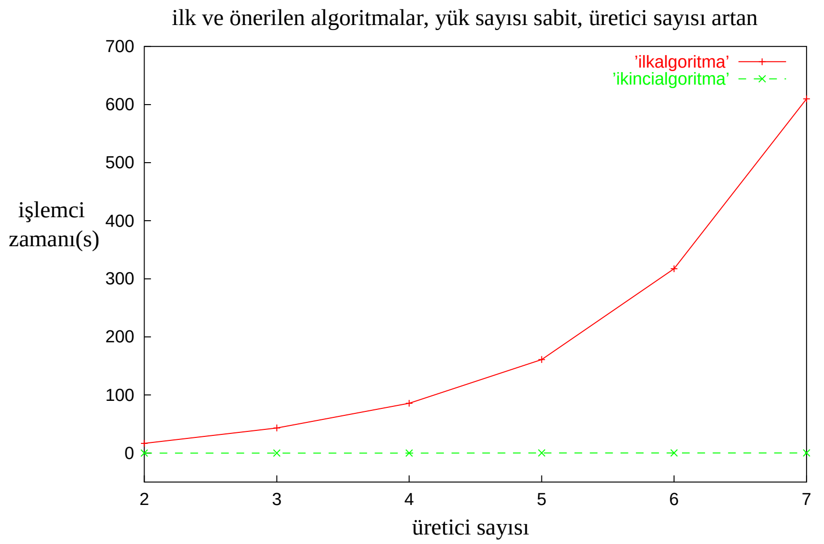
Öte yandan Şekil 5.8'de ilk algoritma ve önerilen algoritmada yük sayısı sabit (10) tutularak elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği verilmektedir.

Şekil 5.9'da ilk algoritma ve önerilen algoritmada yük sayısı ve üretici sayısı arttırılırken işlemci zamanına bağlı grafik gösterilmektedir.

Şekil 5.10'da ilk algoritma kullanılarak elde edilen, yük sayısı sabit (10), üretici sayısı artan üretici/işlemci zamanı ölçekli grafik gösterilmektedir.



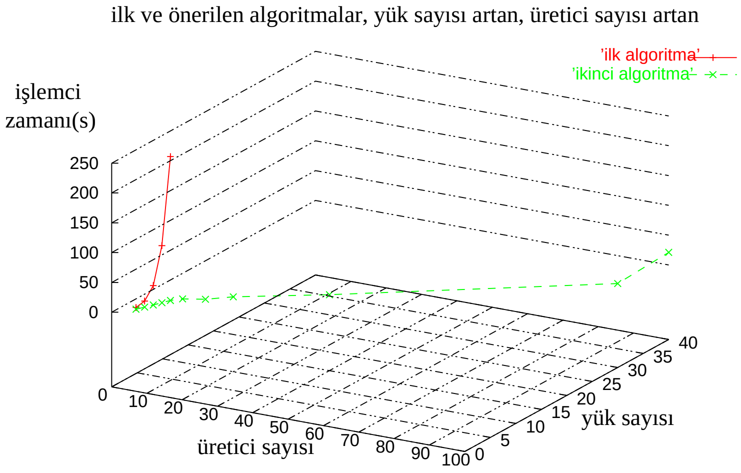
Şekil 5.7: İki algoritma kullanılarak üretici sayısı sabit (3), yük sayısı artarken elde edilen yük/işlemci zamanı grafiği



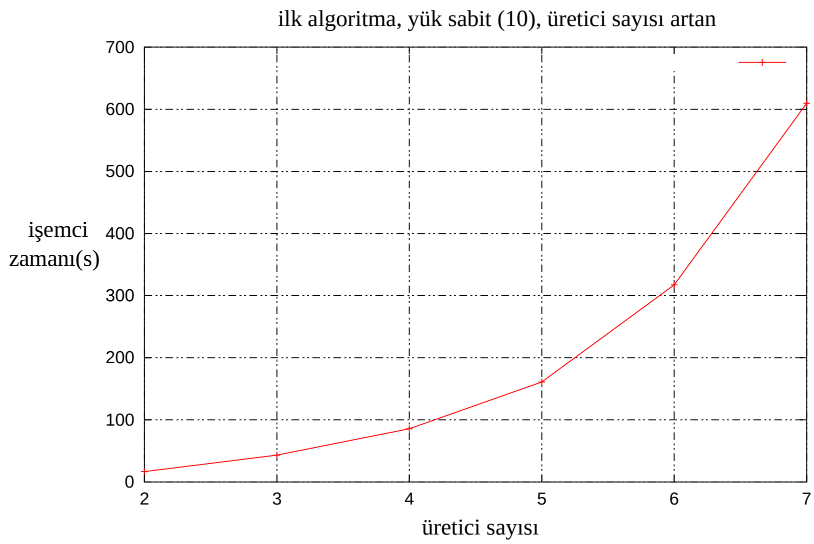
Şekil 5.8: İki algoritma kullanılarak yük sayısı sabit (10), üretici sayısı artarken elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği

Şekil 5.11'de ilk algoritma kullanılarak elde edilen, yük sayısı artan, üretici sayısı sabit (3) yük sayısı/işlemci zamanı ölçekli grafik gösterilmektedir.

Şekil 5.12'de önerilen algoritma kullanılarak elde edilen, yük sayısı sabit (100), üretici sayısı artan üretici/işlemci zamanı ölçekli grafik gösterilmektedir.



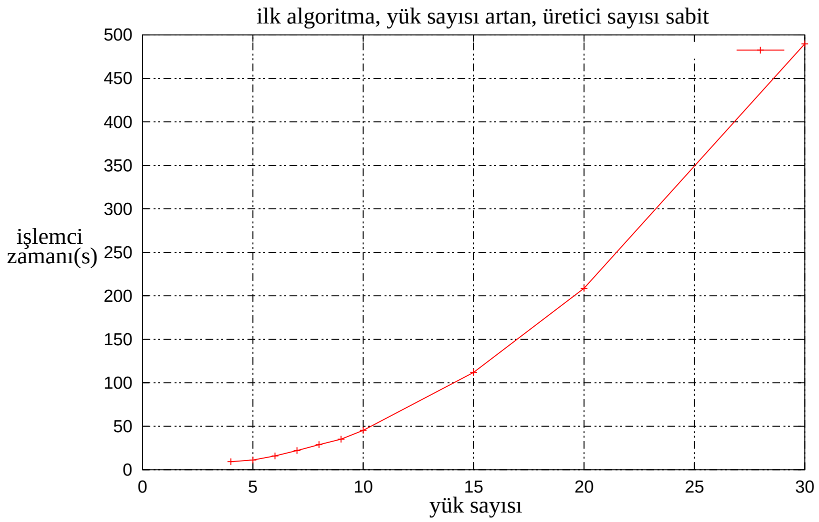
Şekil 5.9: İki algoritma kullanılarak yük sayısı artan, üretici sayısı artarken elde edilen grafik



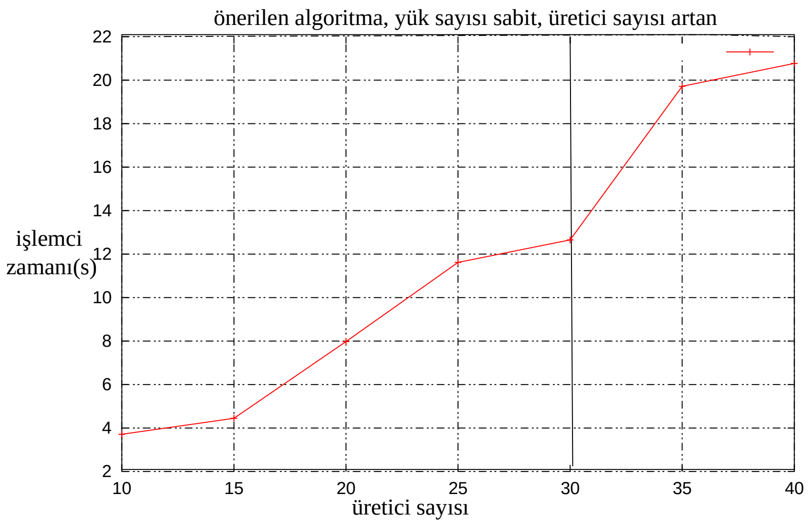
Şekil 5.10: İlk algoritma kullanılarak yük sayısı sabit, üretici sayısı artarken elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği

Şekil 5.13'de önerilen algoritma kullanılarak elde edilen, yük sayısı artan, üretici sayısı sabit (20) yük sayısı/işlemci zamanı ölçekli grafik gösterilmektedir.

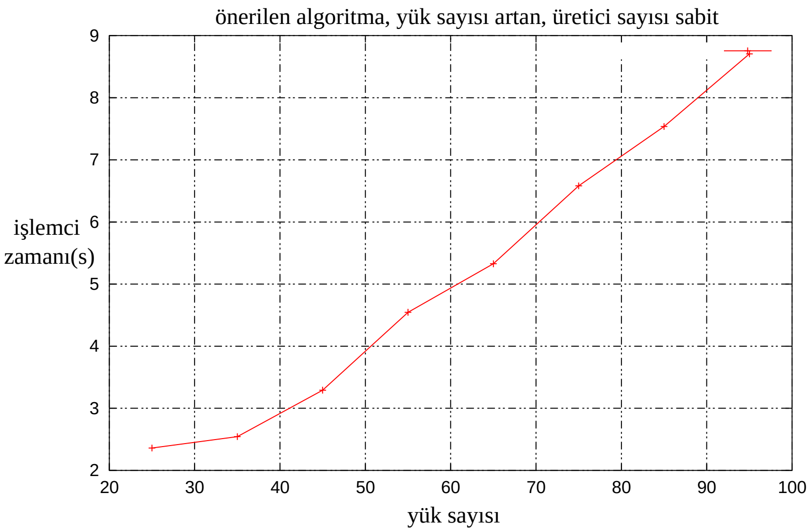
Şekil 5.14'de önerilen algoritma kullanılarak elde edilen, yük sayısı artan, üretici sayısı artan, işlemci zamanına bağlı 3 boyutlu grafik verilmiştir.



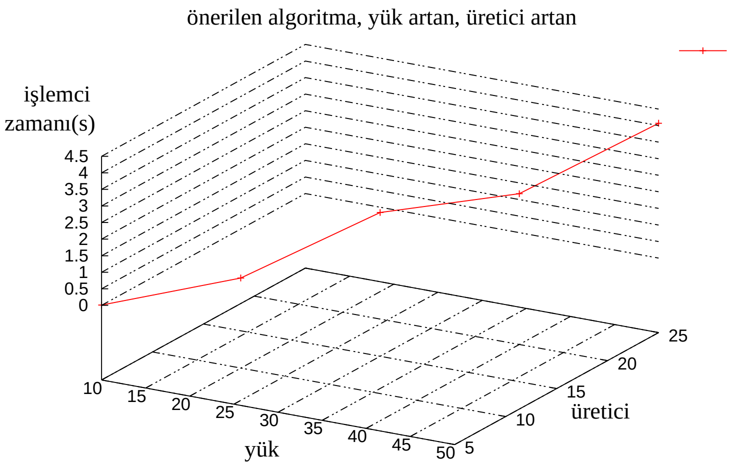
Şekil 5.11: İlk algoritma kullanılarak yük sayıartan, üretici sayısı sabitken (3) elde edilen yük sayısı/işlemci zamanı grafiği



Şekil 5.12: Önerilen algoritma kullanılarak yük sayısı sabit, üretici sayısı artarken,birden fazla enküçük olmadığıdurumda elde edilen üretici/işlemci zamanı grafiği



Şekil 5.13: Önerilen algoritma kullanılarak yük sayısı artan, üretici sayısı sabitken, birden fazla enküçük olmadığı durumda elde edilen yük sayısı/işlemci zamanı grafiği



Şekil 5.14: Önerilen algoritma kullanılarak, yük sayısı artan üretici sayısı artan, birden fazla enküçük olmadığı durumda işlemci zamanına bağlı 3 boyutlu grafik

BÖLÜM 6

Tartışma ve Gelecek Çalışmalar

Oyun kuramı ile değişik disiplinlerin ilgileri son zamanlarda artmaktadır. Oyun kuramındaki klasik çalışmalar matematiksel buluşlar ile ilgilenirken görece olarak az da olsa hesaplamalı anlayış büyük ve karmaşık sistemlerlerde çalışmaya yol açmaktadır. Oyun kuramının hızla gelişen bu “hesaplamalı” alanı bu tip algoritmik sorunlarla ilgilenmektedir. Yapay zeka, makina ögrenmesi, teorik bilgisayar bilimi, ekonomi, biyoloji, elektrik mühendisliği gibi birçok disiplinde uygulamalar sözkonusudur.

Bu çalışmada elektrik güç sistemlerinde ikili anlaşmalarda “Nash Dengesi” bulunması için varolan bir algoritma yerine birden fazla enküçük üretici-yük kombinasyonu olmayan durumlar için bir algoritma önerilmiştir. Verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere önerilen algoritma ilk algoritmaya göre oldukça hızlı çalışmaktadır. Bu algoritma özellikle az satıcılı çok alıcılı sistemlerde kullanılabilir. Böylelikle diğer algoritmadan çok daha hızlı bir şekilde çözüme ulaşılabilir. Ayrıca bu algoritma çok kolay bir şekilde, çok alıcılı çok satıcılı açık arttırma kullanılan her türlü yapıda uygulanabilir.

Gelecekte bu algoritma sadece birden fazla enküçük olmayan durumlar için değil de bütün durumlar için çalışır hale getirilebilir. Ayrıca üreticilerin yük besleme maliyetlerinin hemen bilinmediği çeşitli parametrelerle bulunduğu bir yapıya da uygulama yapılabilir. Öte yandan iletim hattında oluşabilecek kayıplar, kısılma gibi etmenler gözönünde bulundurularak önerilen model daha gerçekçi bir yapıya büründürülebilir

Gerçek hayattaki oyunlarda tam bilgiye erişmek imkansızdır. Bu sebeple ikili anlaşma modelindeki oyun tam olmayan bilgi ile oynanan bir oyuna çevrilip çözülebilir. Ayrıca bu çalışmada anlatılan oyun bir kez oynanmakta ve sonuçlanmaktadır. Oysa birçok kez ikili anlaşma için açık arttırma yapılabilir dolayısıyla oyun yinelemeli bir şekle dönüştürülebilir.

Öte yandan oyun kuramı ile bulanık mantığın da günümüzde çeşitli uygulamalarına rastlanmaktadır [36]. Oyuncuların birbirlerinin yapacakları eylemler ile ilgili olasal bilgileri kullanılarak bu tip bir çalışma da yapılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Bhattacharya, K., Bollen, M. H. J., and Daalder, J.,**2001, Operation of Restructured Power Systems, *Kluwer Academic Publishers.*

[2] **Supatgiat, C., Zhang, R. Q., and Birge, J. R.,** 2001, Equilibrium Values in a Competitive Power Exchange Market, *Computational Economics,* **17,** pp. 93–121.

[3] **Philipson, L., and Willis, H. L.,** 1998, Understanding Electric Utilities and De-Regulation, *Marcel Dekker.*

[4] **Song, H., Liu, C., and Lawarrée. J.,** 2002, Nash Equilibrium Strategies in a Bilateral Electricity Market, *IEEE Transactions On Power Systems,* **17(1),** pp. 73-79.

[5] **Ferrero, R. W., Rivera, J., F., and Shahidehpour, S. M.,** 1998, Application of Games with Incomplete Information for Pricing Electricty in Deregulated Power Pools, *IEEE Transactions On Power Systems,* **13(1),** pp. 184-189.

[6] **Ferrero, R. W., Shahidehpour, S. M., and Ramesh, V. C.,** 1997, Transaction Analysis in Deregulated Power Systems Using Game Theory, *IEEE Transactions On Power Systems,* **12(3),** pp. 1340–1347.

[7] **Bai, X., Shahidehpour, S. M., Ramesh, V. C., and Yu, E.,** 1997, Transmission Analysis by Nash Game Method, *IEEE Transactions On Power Systems,* **12(3),** pp. 1046–1052.

[8] **Krishna, V., and Ramesh, V. C.,** 1998, Intelligent Agents for Negotiations in Market Games, Part 1: Model, *IEEE Transactions On Power Systems,* **13(3),** pp. 1103–1108.

[9] **Krishna, V., and Ramesh, V. C.,** 1998, Intelligent Agents for Negotiations in Market Games, Part 2: Application, *IEEE Transactions On Power Systems,* **13(3),** pp. 1109–1114.

[10] **Singh, H.,** 1999, Introduction to Game Theory and Its Application in Electric Power Markets, *IEEE Computer Applications in Power,* **12(4),** pp. 18-20,22.

[11] **Moitre, D.,** 2002, Nash Equilibria in Competitive Electric Energy Markets, *Electric Power Systems Resesarch,* **60(3),** pp. 153–160.

[12] **Maeda, A., and Kaya, Y.,** 1992, Game Theory Approach to Use of Non-commercial Power Plants under Time-of-Use Pricing, *IEEE Transactions On Power Systems,* **7(3),** pp. 1052–1059,

[13] **Kuwahata, A.,and Asano, H.,** 1994, Utility-Cogenerator Game for Pricing Power Sales and Wheeling Fees, *IEEE Transactions On Power Systems,* **9(4),** pp. 1875–1879.

[14] **Silva, C., Wollenberg, B. F., and Zheng, C. Z.,** 2001, Application of Mechanism Design to Electric Power Markets. *IEEE Transactions On Power Systems*, **16(1),** pp. 1-8.

[15] **Stoft, S.,** 1998, Using Game Theory to Study Market Power in Simple Networks, http://www.stoft.com/e/lib/html/ldtopic-gt.shtml, Technical report.

[16] **Cunningham, L. B., Baldick, R., and Baughman, M. L.,** 2002, An Emprical Study of Applied Game Theory: Transmission Constrained Cournot Behavior, *IEEE Transactions On Power Systems.* **17(1),** pp. 166–171.

[17] **Seeley, K., Lawarrée, J., and Liu, C.,** 2000, Analysis of Electricty Market Rules and Their Effects on Strategic Behaviour in a Noncongestive Grid, *IEEE Transactions On Power Systems*, **15(1),** pp. 157–162.

[18] **Alvarado, F. L., and Rajaman, R.,** 1999, The Best Game in Town: NERC's TLR Rules, *IEEE/PES Winter Meeting: Tutorial on Game Theory.*

[19] **Guan, X., Ho, Y., and Pepyne, D. L.,** 2001, Gaming and Price Spikes in Electric Power Markets, *IEEE Transactions On Power Systems,* **16(3),** pp. 402–408.

[20] **Park, J., Kim, B. H., Kim, J., Yung, M., and Park, J.,** 2001, A Continuous Strategy Game for Power Transactions Analysis in Competitive Electricity Markets, *IEEE Transactions On Power Systems,* **16(4),** pp. 847–855.

[21] **Praça, I., Ramos, C., and Vale, Z. A.,** 2001, Competitive Electricty Markets: Simulation to Improve Decision Making. *IEEE Porto Power Tech Conference*, **1,** pp. 6.

[22] **Contreras, J., Candiles, O., Fuente, J. I., and Gomez, T.,** 2001, Auction Design in Day-ahead Electricty Markets. *IEEE Transactions On Power Systems,* **16(3),** pp. 409–417.

[23] **Dekrajangpetch, S., and Sheble, G. B.,** Structures and Formulations for Electric Power Auctions, *Electric Power Systems Research,* **54(3),** pp. 159–167.

[24] **Cheng, J. W. M.,Galiana, F. D., and McGillis, D. T.,** 1998, Studies of Bilateral Contracts with Respect to Steady-State Security in a Deregulated Enviroment, *IEEE Transactions On Power Systems,* **13(3),** pp. 1020–1025.

[25] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu Sanaldoku Yöresi, http://www.epdk.gov.tr.

[26] **Galiana, F. D. and Ilic, M.,** 1998, A Mathematical Framework for the Analysis of Power Transactions under Open Access, *IEEE Transactions On Power Systems*, **13(2),** pp. 681–687.

[27] **Fudenberg, D., and Tirole, J.,** 1996, Game Theory. *The MIT Press.*

[28] http://william-king.www.drexel.edu/top/class/histf.html.

[29] http://www.econ.ku.dk/sloth/FreeSeminar/FreeSeminar.htm.

[30] **Sarangi, S.,** 2000, Exploring Payoffs and Beliefs in Game Theory, Ph. D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State Univesity.

[31] **Rasmussen, E.,** 1989, Games and Information, *Blackwell Publishers.*

[32] **Cerit, C.,** 1996, Lineer Programlama.

[33] **Owen, G.,** 1995, Game Theory, *Academic Press.*

[34] http://www.octave.org.

[35] http://www.gnuplot.info.

[36] **Garagic., D., and Cruz., J. B.,** 2003, An Approach to Fuzzy Noncooperative Nash Games, *Journal of Optimization Theory and Applications,* **118(3)**, (yayımlanacak).

EKLER A

Octave'de ilk algoritmanın ve önerilen algoritmanın uygulanması

```
%Bu program rastgele indisler oluşturarak, rastgele oluşmuş bir
%matrisin Nash dengesini bulur.
%İlk algoritma kullanılır.
% rastsalcag.m
% rastsal.m i çağırır
zamanbas=cputime();
A=round(10*rand(8,6))+1
birim=0.001
[a,m]=rastsal(A)
t=size(A)
satir=t(1)
sutun=t(2)

for i=1:sutun
en=[A(1:m(i)-1,:); A(m(i)+1:satir,:)]
[b,c]=rastsal(en)
tt(i)=b
end
eklenti=tt-a
nash=A
for i=1:sutun
nash(m(i),:)=A(m(i),:)+eklenti(i);
end
for i=1:sutun
nash(m(i),i)=nash(m(i),i)-birim;
end
nash
zaman=toc()
zamanson=cputime()-zamanbas
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
rastsal.m

function [buyuk,sonuc]=rastsal(A)

t=size(A);
satir=t(1)
sutun=t(2);
m=0
for i=1:sutun
        yeni(i)=0;
iii(i)=0;
enyeni(i)=0;
end
for j=1:satir*sutun*200
        for i=1:sutun
          a(i)=round((satir-1)*rand())+1;
        end
        for t=1:sutun-1
            for kk=t+1:sutun
                   if (a(t)==a(kk))
                    for m=1:sutun
                           a(m)=0;
                     end
                   end
             end
       end
        if (a(1)<>0)
         yeni=[yeni a];
        end
end
yeni
boyut=size(yeni);
sutunun=boyut(2);
ll=0;
yeni=[yeni(:,2:sutunun)];
buyuk=1000;
toplam=0;
```

```
for j=1:sutunun-1
        for i=1:sutun
        toplam=toplam+A(yeni(i,j),i);
 end
        if buyuk>toplam
             indeksimiz=j;
              buyuk=toplam;
end
toplam=0;
end
 buyuk;
 indeksimiz;
sonuc=yeni(:,indeksimiz);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%yeni.m
%önerilen algoritma için octave'da yazılmış program
zamanbas=cputime();
A=round(10*rand(100,40))+1
ll=size(A)
n=ll(2);
m=ll(1);
epsilon=0.0100;
donus=0;
count=0;
yeni=99
while(1)
donus
        for i=1:n
                [enkucuk,indeks]=min(A(:,i))
        indeks
                sonuc=5000;
                count=0;
                for j=1:m
                        if (count>0)
                     break
                else
                DEGISKEN=j
                if (j<>indeks)
```

```
                yeni=A(j,i)-enkucuk
                        if (yeni==0)
                         count=count+1
                        end
                        end
                       t=j;
                       if (yeni<>0  &&sonuc>yeni&& yeni<>epsilon )
                               sonuc=yeni
                       end
                       yeni=111
                       end
                       end
                       if (donus==0 && yeni<>0)
                       A(indeks,:)=A(indeks,:)+sonuc
                       A(indeks,i)=A(indeks,i)-epsilon
                       else if(yeni<>0)
                       A(indeks,:)=A(indeks,:)+sonuc-epsilon;
                       end
                      end
                 A
  end
k=0;
enidir=989
      for i=1:n
       [kucuk,indeksii]=min(A(:,i))
   for j=1:m
                        indeksii
       if (j<>indeksii)
          enidir=A(j,i)-kucuk
       end
       if (enidir<3*epsilon && enidir<>0)
            k=k+1
       break
       end
 end
         if (k>=n)
         A
 zamanson=cputime()-zamanbas
         exit
```

```
end
end
donus=donus+1
end
```

EKLER B

Gnuplotta Yapılan Çizim İçin Örnek Veri Dosyası ve Betik

```
##################################################################
####ciz.gp betiği
####ilkalg. veri dosyasını çağırarak çizim yapar
set terminal postscript eps enhance color 16
set size 1.0,1.0
set grid x
set grid y
set title "ilk algoritma, talep artan, jen sbt"
set xlabel "talep"
set ylabel "cpu (s)"
plot 'ilkalg.' with linesp
###################################################################
####ilkalg. veri dosyası
4  9.34
5  11.21
6  15.88
7  22.03
8  28.87
9  35.12
10 45.36
15 111.89
20 208.7
30 489.75
```

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan Ceylan 18-10-1977'de Ankara'da dünyaya geldi. Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nden 1995 yılında mezun oldu. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Elektrik Mühendisliği bölümünden Elektrik Mühendisi ünvânı alarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Programında yüksek lisans programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı bölümde eğitimine devam etmektedir.