



## Elektrik Piyasasında Satın Alım Sürecinin İhale Oyunları ile İncelenmesi

### Investigation of Purchasing Process with Auction Games in the Electricity Markets

Mehmet Onur OLGUN <sup>1\*</sup>, Ali ULUDAĞ <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, TÜRKİYE  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [onurolgun@sdu.edu.tr](mailto:onurolgun@sdu.edu.tr)

Geliş Tarihi / Received: 09.07.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 24.03.2020

Atıf şekli/How to cite: OLGUN, M.O.(2020). Elektrik Piyasasında Satın Alım Sürecinin İhale Oyunları ile İncelenmesi. DEUFMD 22(65), 649-660.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI: 10.21205/deufmd.2020226530

#### Öz

Bu çalışma ile satın alım süreçlerinin incelenmesi ve bu süreçlerin ihale oyunları kapsamındaki bilgi ve birikimler ile entegre bir şekilde ele alınması amaçlanmıştır. Satın alım süreci ile ilgili usul ve esaslar ile süreçte yaşanabilecek aksaklıklar, satın alım sürecinin tasarlanması ve yürütülmesi gibi konular için ihtiyaç duyulan gereklilikler ele alınıp incelenmiştir. Bu süreçte ihale oyunları bilgi ve birikimi ile entegre bir şekilde katılımcıların optimum faydayı sağlaması için bir analiz çalışması yapılmıştır. Elektrik piyasalarında faaliyet gösteren iki oyuncunun kazançları piyasadaki talep değişimleri ve üretim miktarlarına göre rakiplerinin stratejilerine bağlı olarak incelenmiştir. En uygun stratejiye ulaşmak için Nash dengesi bilgi ve yöntemleri kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrik İhaleleri, Oyun Teorisi, Satın Alma, Nash Dengesi, Teklif Fiyatı

#### Abstract

In this study, it is aimed to examine the purchasing processes in an integrated manner with the knowledge and knowledge within the scope of auction games. The procedures and principles for purchasing process and the requirements that are needed for issues such as problems may occur in the process. Design and execution of the purchasing process are discussed and examined. In this process, a study is examined to ensure the optimum benefit of the participants, and integrated with the of auction games. The savings of the two players operating in the electricity markets are studied based on the changes in the market demand and the amount of production based on their competitors' strategies. Nash equilibrium and methods are used to reach the most appropriate strategy.

**Keywords:** Electricity Auctions, Game Theory, Purchasing, NashEquilibrium, Auction Price .

## 1. Giriş

Uygulamalı matematiğin bir dalı olan oyun teorisi ikinci dünya savaşı döneminde ve sonrasında stratejik çalışmaların tahlilinde, iktisadi rekabet ve sosyal bilimlerde kullanılmıştır. Oskar Morgenstern ve John Von Neuman ikilisi "Theory of Games and Economic Behavior" adlı eserle 1944 yılında bu kuram üzerine dikkatleri çekmeyi başarmıştır. Oyun teorisi temel olarak rekabetçi ve çatışmalı karar verme süreci içeren ilişkilerin sonuçlarını önceden elde etmeye yönelik modeller kurmayı amaçlamaktadır. Çünkü oyun teorileri, karar birimlerinden birinin başarısının diğerinin kararına bağlı olduğu stratejik karar ilişkileri ile ilgilenmektedir. [1]

Bu özelliği oyun teorisine farklı alanlardaki çeşitli bilimlere entegre edilme imkanı vermektedir. Oyun teorileri, karar birimlerinin veya oyuncuların oluşturduğu bir sistemde, tüm oyuncuların maksimum faydayı elde etmek için vereceği karar ilintilerini analiz ederek, oyuncuların kendileri açısından en optimum tercihleri seçmesini sağlamaktadır [2]

Geçtiğimiz dönemlerde de ihale oyunları üzerinde fazlaca durulmaya başlanmıştır. Bunun nedeni ihale oyunlarının teoride içerdiği bilgilerin pratikte de uygulama imkanı sunmasından kaynaklanmaktadır.

İhale oyunları teorisi pratikte uygulama imkanı sunması ve çeşitli deneyler yoluyla yapılan ihalelerde oyun teorisindeki temel yaklaşımları test etme imkanı vermesinin yanında daha karmaşık yapıdaki ticaret durumlarında piyasaların anlaşılmasını da kolaylaştıracak önem arz eden kavramları da geliştirmiştir. Son dönemlerde ihale teorisyenleri ihalelerdeki teklif verme davranışlarını gözlemlemenin yanında daha etkin ihaleleri tasarlama konusunda çalışmalar yapmaya odaklanmıştır. Bu konuda yapılan çalışmalar sosyal ve iktisadi alandaki kurumların daha etkin ve adil bir şekilde tasarlanmasına da imkan vermiştir.

İhaleler amaç olarak mal tahsisi için fiyat rekabeti amacıyla kullanılan sistemlerdir. Alıcıların ve satıcıların bir malı almak veya satmak için fiyat tekliflerinde bulunması ile gerçekleştirilir. Al veya bırak alternatif fiyatlandırması ise ihalelerde kullanılan fiyatlandırma sistemine temel bir alternatif fiyatlandırmadır.

İhale yöntemi ile yapılan alım ve satım işleri tarihin en eski dönemlerinden bugüne kadar birçok farklı alan için kullanılmıştır. Günümüzde de çevrimiçi ihaleler, yapılan ihalelerin en fazla yaygınlık kazanan türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

İhalelerin teknik açıdan tartışılmasından önce genel özelliklerinin ve temel ayrımlarının doğru ve etkili bir şekilde yapılması gerekir. İhale kuralları ile hangi kişilerin teklifte bulunabileceği, tekliflerin ne şekilde verilebileceği, hangi teklifin kabul edileceği, ihale sürecinde ne tür bilgilerin açığa sunulacağı, ihale sonucunda kazananın nasıl belirleneceği ve hangi fiyatı ödemesi gerekeceği belirtilir. İhale ortamı ihalede sunulan mala verilen değerler, ihaleye katılım gösterenlerin sayıları, risk durumları ve bütün katılımcılar için diğer katılımcıların ihale edilen objeye vermiş olduğu değerler gibi unsurların birleşiminden oluşur.

İhaleye katılacak kişiler tekliflerini açık(sözlü) veya kapalı zarf şeklinde verirler. Kapalı zarf ihalesinde teklif vericiler tekliflerini diğer katılımcıların göremeyeceği şekilde ihaleyi düzenleyene kapalı zarfın içinde ve yazılı olarak verirler. Teklifler ihale bittikten sonra herkese açıklanır ve ihaleyi kazanan katılımcı ilan edilir. Sözlü olarak gerçekleştirilen ihalelerde ise teklifler katılımcılar tarafından ihale boyunca açıklanır. Yani iki ihale türü arasındaki en büyük fark tekliflerin diğer katılımcılar tarafından görülebilirliğidir.

İhalelerde teklifler farklı şekillerde verilebilir. Yani eş zamanlı, yukarı yönlü veya aşağı yönlü olarak verilebilir. Aşağı yönlü olarak tekliflerin verildiği ihalelerde en yüksek teklifi veren katılımcı ihaleyi kazanır. Hollanda'daki ihaleler bu şekildedir. Tekliflerin yukarı yönlü olduğu ihalelerde katılımcılar bir önceki tekliften yüksek değerler vererek süreci devam ettirirler. Eş zamanlı ihalelerde ise katılımcılar tekliflerini aynı anda verirler. Japonya'daki balık piyasaları bu şekildedir. El işaretleri fiyatları temsil eder ve balıklar bu şekilde kısa süre içinde alınır ve satılırlar. [3]

İhaleler kazananın ödeme yapacağı fiyat açısından da ikiye ayrılır. Ödeme kazananın ödediği fiyat üzerinden yapılıyor ise bu ihale birinci fiyat ihalesi olarak adlandırılır. En yaygın olan ihaleler bu tiptir. Eğer kazananın ödeme yaptığı fiyat ikinci en yüksek fiyat ise bu tip ihalelerde ikinci en yüksek fiyat ihalesi olarak

adlandırılır. Yani ihaleyi kazananın ödediği fiyat kaybedenler içinden yapılan tekliflerin en büyüğüdür. İkinci fiyat ihalelerinin en önemli özelliği olan gerçeği söyletme özelliğinden dolayı oyun teorisyenleri açısından büyük önem arz etmektedir.

Genel anlamda yukarı yönlü, birinci fiyat ve sözlü olarak gerçekleştirilen ihaleler İngiliz ihalesi olarak isimlendirilirken, aşağı yönlü, birinci fiyat ve sözlü olarak gerçekleştirilen ihaleler Hollanda ihalesi olarak adlandırılır.

İhaleye konu olan nesneye verilen değerle ilgili bilgilerin niteliğine göre de ihaleleri bağımsız özel bilgili ihaleler ve ortak değerli ihaleler olarak ikiye ayırabiliriz. Bağımsız özel bilgili ihale olarak adlandırılan birinci ihale türünde bağımsız olarak kastedilen şey her bir katılımcının mala verdiği değer kendi özel bilgisi olması ve bütün diğer katılımcıların özel bilgisinden bağımsız olmasıdır. Özel değerden kastedilen şey ise her bir katılımcı malın değerini kendi bilgisi ile değerlendirdiğinden diğer herhangi bir alıcının değerini öğrendiği zaman bu mala biçtiği değer değişmeyeceğidir. Yani her bir katılımcının özel bilgisi mala biçeceği değeri belirlemek için yeterli olmaktadır.

Ortak değerli ihalelerde ise temel katılımcıların mala farklı değerler vermeleri değil malın değeri ile ilgili farklı bilgilere sahip olmalarından gelmektedir. Bu süreçte katılımcılar diğer katılımcılardan birinin yönelimi ile ilgili bir bilgiye ulaşması halinde tekliflerini değiştirebilecektir. Özel bilgili ihalelerde ise durum böyle değildir. Diğer katılımcıların mala verdiği değerle ilgili bir bilgiye ulaşılsa bile ona verilen değer değişmeyecektir. Fakat ortak değerli ihalelerde mala verilen değer diğer katılımcıların verdiği değere bağlı olarak değişebilmektedir. Çünkü ona sahip olmak için verilen değer yeniden satış değeri üzerinde de etkili olmaktadır.

Ayrıca ihaleler herkese açık olarak gerçekleştirilebileceği gibi sadece belli kişilerin davet edilmesi ile de gerçekleştirilebilir. Birçok ihalede rezervasyon fiyatı da uygulanmaktadır. En yüksek teklifin rezervasyon fiyatından düşük olması durumunda ihale geri çekilir ve satış gerçekleşmez. İhaleyi düzenleyen tarafın rezervasyon fiyatı koyması katılımcılar arasında gerçekleşebilecek olası bir iş birliğini önlemek amaçlıdır.

Yapılan bu çalışma ile satın alma süreçlerinin oyun teorisi kavramlarından ihale oyunları ile entegre bir şekilde analiz edilmesi ve değişen piyasa koşullarında oyuncuların optimum faydayı elde etmeleri için en uygun stratejilerini belirlemeleri için bilimsel analiz yöntemlerinin kullanımı ile çözüm önerileri sunulması amaçlanmaktadır.

## 2. Tam Bilgi Altında İhaleler

İhale teorisi kavramı ekonomi literatürüne 21. yüzyılda girmiş olup William Vickrey'in oyun teorisi kavramlarını kullanarak 1961 ve 1962 yıllarında yapmış olduğu çalışmalar bu alana önemli katkılar yapmıştır. İkinci fiyat kapalı zarf ihalesi Vickrey'in bu çalışmalarında geliştirilmiştir ve gene bu çalışmalar ile gelir denklik teoremi ortaya konmuştur. İlerleyen yıllarda yapılan çok sayıdaki akademik çalışmalar ile ihale teorisi adlı önemli bir alan ortaya çıkmıştır. İhale kuralları gereği en yüksek teklifte bulunan katılımcı ihaleye konu objeye sahip oluyorsa bu ihaleler standart ihale olarak adlandırılmaktadır.[4]

Piyangolar ise standart olmayan ihale modellerine örnek olarak gösterilebilir. Piyangolar da herhangi bir teklifçinin kazanma şansı kendi teklifinin tüm teklif tutarına oranı kadar olmaktadır. Standart olmayan bir model için en yüksek teklifi veren katılımcının ihaleyi kesinlikle kazanacağını söyleyemeyiz.

İhalelerden Hollanda ihalesi, İngiliz ihalesi, birinci fiyat kapalı zarf ihalesi, ikinci fiyat kapalı zarf ihalesini standart ihaleler olarak sınıflandırabiliriz. İngiliz ihalesi ve Hollanda ihalesi sözlü veya açık ihaleler olarak adlandırılır. Bunlar, tekliflerin herkesçe gözlemlenebildiği ve açıkça alındığı ihalelerdir. Bunlardan en eski ve en yaygın kullanılan ihale türü İngiliz ihalesidir. Genellikle antika eşyaların ve sanat eserlerinin satışları İngiliz ihalesi türü olan açık artırma yöntemi ile yapılır. İngiliz ihalesi üç farklı uygulama yöntemi ile karşımıza çıkmaktadır:

1. Teklif verenler fiyatı artırır: İhaleyi yöneten kişi çoğu zaman nispeten düşük bir fiyatla ihaleyi açar. Katılımcılar farklı seanslarda fiyat artırır. Fiyat arttığı süre ihale devam eder ve bu objeye en yüksek fiyatı veren katılımcı sahip olur.

2. İhaleyi düzenleyen fiyatı artırır: Satıcı veya satıcı adına hareket eden ihale yöneticisi

seanslar boyunca nesnenin fiyatını artırır. Bu süreçte teklif verenler ihalede kalıp kalmamaya karar verirler.

3.Fiyatlar sürekli olarak artar: Fiyatlar sabit bir şekilde ve sürekli olarak artar. Bu esnada katılımcılar ihalede kalıp kalmamaya karar verirler. Bu model kesintisiz artan teklifli ihale olarak da adlandırılmaktadır. Örneğin Japon ihalesi olarak adlandırılan model buna örnektir. İhaleye konu olan ürün oyundan ayrılmayan ve en sona kalan katılımcının olur.

İngiliz ihalesinde oyuncuların stratejisi, nesnenin fiyatı oyuncunun nesneye biçtiği değere gelene kadar oyunda kalmak ve bu değeri geçmesi durumunda oyundan çıkmak olmaktadır.

Azalan fiyat ihalesi olarak da adlandırılan Hollanda ihalesinde ise tam tersidir. İhale yönetici başlangıç aşamasında kimsenin kabul etmesi beklenmeyen yüksek bir teklif ile ihaleyi açar. Ardından fiyat düştükçe katılımcılar devam etmeye veya ihaleden ayrılmaya karar verirler. İlan edilen fiyat teklifini kabul eden ilk teklif sahibi ihaleyi kazanan taraf olur.

Hollanda ihalelerinde katılımcıların stratejileri nesneye kendi biçtiği değerden daha yüksek bir ödeme yapmamaktır. Bu ihale türüne sık rastlanmamakla birlikte, çabuk bozulan ürünlerin satışında kullanılmaktadır.

Birinci ve ikinci fiyat kapalı zarf ihalelerinde katılımcılar tekliflerini kapalı zarf içinde ihaleciye sunarlar. Katılımcılar tekliflerini verirken diğer katılımcıların verdiği teklifi bilmeden hareket ederler. İhale yöneticisi ilgili nesneyi en yüksek değerli teklifi veren katılımcıya verir. Bu tip ihaleler sıklıkla devlet veya özel sektör tarafından gerçekleştirilen mal veya hizmet satışlarında kullanılmaktadır.

İkinci en yüksek fiyat kapalı zarf ihalesinde ise ihaleyi kazanan katılımcı ödemeyi kendi verdiği teklif üzerinden değil, ihaleye konu olan ikinci en yüksek fiyat teklifi üzerinden yaparak ilgili nesneye sahip olur.

İkinci fiyat kapalı zarf ihaleleri ihale teorisi için yüksek bir öneme sahiptir. İnternet üzerinden yapılan ihalelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Literatürde bu yöntem, bulmuş olan kişinin adı olan Vickrey ihalesi olarak anılmaktadır.

İngiliz ve Hollanda ihaleleri dinamik ihaleler olarak adlandırılmaktadır. Katılımcıların bir

ihalede çok sayıda teklif vermelerine imkan verdiğinden ve ihale süreci içinde bazı bilgileri açığa vurduğundan bu şekilde isimlendirilmişlerdir. Dinamik ihalelerde katılımcılar tekliflerini birden fazla kez birbirini izleyen oturumlarda sunabiliyorlarsa tekrarlı ihaleler veya çok seanslı ihaleler olarak adlandırılır. Katılımcılar tekliflerini seanslar şeklinde değil de sürekli bir biçimde sunabiliyorlarsa bu tip ihalelerde kesintisiz teklifli ihaleler olarak adlandırılır.

Teklifçilerin tekliflerini kapalı bir zarf içinde sadece tek bir seansta sundukları ihalelere tek seanslı ihaleler adı verilir. Birinci fiyat ve ikinci fiyat kapalı zarf ihaleleri tek seanslı ihalelerdir.

### 2.1. Kesikli teklif değerli ihaleler

Tam bilgili ihalelerde her katılımcı diğer tüm katılımcıların nesneye ne kadar değer verdiğini tahmin etmektedir. Yani n sayıda katılımcının olduğu bir ihalede değer vektörleri  $v=(v_1, v_2, \dots, v_n)$  bütün katılımcılar tarafından öngörülmektedir.

İhaleyi en yüksek teklif miktarına sahip katılımcı kazanır ve ödemeyi bu teklif değeri üzerinden yapar. İki katılımcının teklif değerlerinin eşit olması durumunda kazanan oyuncu yazı tura ile belirlenir.

Özetle tam bilgi altında gerçekleşen kesikli teklif değerli ihalelerde ihaleye konu olan nesne ona en fazla değeri verene gider ve ödeme miktarları da tüm bu ihalelerde aynıdır.

### 2.2. Sürekli Teklif Değerli İhaleler

#### 2.2.1. Birinci fiyat kapalı zarf ihalesi

İhaleye katılım sağlayan  $i$  teklifçisi  $b_i$  tutarında bir teklifte bulunur. İhalede en yüksek teklife sahip  $r$  kadar kişi olması durumunda sonuç çekilişle belirlenir. Kazanma ihtimali de  $\frac{1}{r}$  olur.

$$f(b) = \begin{cases} \frac{V_i - b_i}{r}, & b_i = m \text{ i} \\ 0, & b_i < m \text{ i ise} \end{cases} \quad (2.1)$$

Burada  $f(b)$  kazanç fonksiyonunu ifade etmektedir.  $m$  ile en yüksek teklif değeri ( $i$  teklifçisinin en yüksek teklifi sunmaması durumunda kazancı sıfır olacaktır),  $b_1, b_2, \dots, b_n$  ile teklif vektörleri,  $V_i - b_i$  ile de özel değerlendirme ve ödenen fiyat arasındaki pozitif kazanç ifade edilmektedir. Kazanan teklifçilerin hepsine kazanılan ürün eşit paylaştırılıp tedarik edilecektir.

a-)  $b_i > v_2$  olması halinde,  $b_i > v_i$  olur bu durumda j katılımcısı sıfır teklifinde bulunur yani ihaleden çekilmiş olur. Aksi takdirde negatif fayda elde edecektir.

b-)  $b_i \leq v_2$  olması halinde  $b_i < v_i$  olur. Bu durumda birinci katılımcı  $b_i$  teklifinde bulunabilir, ihaleyi kazanır ve sonuç olarak  $v_1 - b_i > 0$  kadar fayda elde etmiş olur

### 2.2.2. İkinci fiyat kapalı zarf ihalesi

Bu ihale türünde katılımcının ihaleyi kazanabilmesi için en yüksek teklifi vermesi gerekir. Fakat ihaleye konu olan objeye kendi verdiği değeri değil, diğer katılımcıların vermiş olduğu, ikinci en yüksek teklifi ödeyerek sahip olur.

İhaleyi kazanan katılımcı kendi teklifi olan  $b_i$  değerini değil diğer teklif tutarlarının ( $b_j$ ) en yükseğini ödemesi gerekecektir. ( $m-i$ ) en yüksek ikinci teklif tutarını ifade etmek üzere;

$$(m-i) = \max (b_j : j \neq i)$$

İkinci fiyat kapalı zarf ihalesinde i teklifçisinin kazanç fonksiyonu;

$$f_i(b_1, b_2, \dots, b_n) = \begin{cases} \frac{v_i - m - i}{r}, & m - i < b_i \leq m_i \text{ ise} \\ 0, & b_j < m - i \text{ ise} \end{cases} \quad (2.2)$$

Hibrit bir ihale türü olan Anglo Hollanda ihalesi dinamik bir ihaleyi kapalı zarf ihalesi ile birleştirmektedir. İlk aşaması, satıcının bir açılış fiyatı koyduğu ve iki teklifçi kalana kadar fiyatın artırıldığı İngiliz ihalesi olmaktadır. İkinci aşaması ise birinci fiyat kapalı zarf ihalesidir. Sona kalan iki katılımcı asgari ilk seansın kapanış fiyatı tutarında teklifte bulunurlar. En yüksek teklifi sunan katılımcı ihaleyi kazanır ve teklif tutarı kadar ödeme yapar.

Hollanda ingiliz ihalesi de hibrit olan iki aşamalı bir modeldir. İlk aşamada satıcı nispeten yüksek bir fiyat ile ihaleyi açar ve katılımcılardan birinin kabul ettiği noktaya kadar fiyatların düşürülmesi ile tamamlanan bir Hollanda ihalesidir. İlk aşama sonundaki bu kapanış fiyatı ikinci aşamada düzenlenecek İngiliz ihalesinin açılış fiyatı olmaktadır.

All-Pay ihaleleri ihaleye katılan bütün katılımcıların teklifte buldukları tutar kadar ödemede bulunduğu ancak ihaleyi en yüksek teklifte bulunan katılımcının kazandığı ihalelerdir. Bu tür ihalelerde satıcı verilen tekliflerin toplamı kadar kazanç elde eder.

Lobicilik faaliyetleri gibi gerçekte çok az rastlanan birtakım sosyal durumları anlamak için önem arz etmektedir. Örneğin politikacıların seçim kampanyası sürecinde, lehte kazanımlar elde etmek üzere lobi gruplarının faaliyetleri bir ihale sürecini ve bu süreçte lobi grupları tarafından yapılan bağışlar, sonradan iadesi mümkün olmayan teklifleri ifade eder.

Hollanda ihalesi aşağı doğru, birinci fiyat ve sözlü bir ihaledir. Bu nedenle Hollanda ihalesinde her alıcının vereceği tek bir karar bulunmaktadır. En yüksek teklifte bulunan katılımcı ihaleyi kazanır ve teklifte bulunduğu bu miktar kadar ödeme yapar. Teklif verme yerine fiyatın koyulması durumunda bu birinci fiyat ihalesine denk olacaktır.

N sayıda alıcının ortak bir dağılım fonksiyonundan  $f(x)$  çekilen bağımsız özel değerlere sahip olması halinde, Hollanda ihalesindeki simetrik denge noktası birinci fiyat ihalesindeki fiyatla aynı olacaktır.

$$b(v) = \frac{1}{(F(v))^{n-1}} \int_v^v (f(x))^{n-1} \quad (2.3)$$

Bir alıcının değerinin  $v$  olması durumunda, bu Hollanda ihalesinin simetrik Nash dengesi  $b(v)$  demektir. Bu değer simetrik Nash dengesidir, yani birinci fiyat ve Hollanda ihaleleri satıcı için ex-post (yani gerçekleşen  $v_1, \dots, v_n$  değerleri için) aynı geliri sağlar.

### 3. Satın Alma Süreci

Mal alma, hizmet temin etme veya yapım gibi işlerde; şirketlerin amaçlarının ve proje hedeflerinin detaylı bir şekilde açıklanması, rekabette adillik, doğruluk ve şeffaflığın sağlanması, ekonomiklik ve paranın en doğru biçimde kullanılmasının sağlanması gibi kriterleri dikkate alarak ihtiyaç duyulan tüm alım işlemlerinin zamanında gerçekleştirilmesi işlemi satın alma olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle ihtiyaç olan mal ve hizmetlerin ekonomiklik dikkate alınarak en uygun fiyata ve en yüksek kaliteyle güvenilir kaynaklardan temin edilmesi şeklinde tanımlanabilir.

Açık ihale yöntemi kullanılarak yapılacak olan alımlarda ihale duyuruları ihale açılış tarihinden en az yirmi gün önce yayımlanmalıdır. İlanda işin adı, alımın türü, tekliflerin sunulacağı yer, tarih ve saat, teklifin açılış tarihi ve saati gibi detaylar yer almalıdır. Detaylı bilgilerin temin edileceği internet adresleri veya irtibat kişileri ile ilgili bilgilerin bulunması da zorunludur. Bedeli 20.000 TL'yi

aşmayan alımların ulusal gazetelerde ilan ile duyurulması zorunlu değildir.

İsteğe bağlı olarak tüm ilanlar detaylı bir şekilde internet sayfalarında yayınlanabilir. İlan yayımlandıktan sonra ihale dosyalarında değişiklik yapılmaması gerekir. Değişiklik yapılması zorunlu olursa, buna sebep olan etkenler bir tutanakla tespit edilerek önceki ilanlar geçersiz sayılır ve iş yeniden aynı şekilde ilan edilir.

İlk aşama ihale ihtiyaçlarının belirlenmesi ve teknik şartnamesinin hazırlanması ile değerlendirme komitesinin oluşturulmasıdır. İkinci aşamada belirtilen ihtiyaçları karşılayabilecek nitelikte olan en az beş adaydan oluşan kısa bir listenin hazırlanması gelir. Daha sonra ihaleye konu olan işle ilgili teknik detayların ve gerçekleştirme yöntemleri ile ilgili tekliflerin alınması gelir. İhaleye konu ihtiyaçları karşılayabilecek olan istekliler ile yöntem ve çözümler üzerine görüşmeler yapılır. Teknik görüşmeler yapıldıktan sonra bu defa ihaleye ilişkin teknik şartnameye dayalı fiyat tekliflerini de içeren son teklifler alınır. Alınan teklifler değerlendirilir ve şartname ile karşılaştırması yapılır, uygunluğu denetlenir. İsteklilerin verdiği teklifler ile ilgili fiyat görüşmeleri yapılır ve son indirimli fiyat teklifleri yazılı ve kapalı zarf şeklinde alınır. Son fiyat teklifleri açılır ve en uygun teklif veren istekliye ihale verilir. Sözleşme imzalanır ve uygulamaya konular ve ihale süreci tamamlanmış olur.

#### 4. Oyun Teorisi ve Elektrik İhalesi Uygulaması

Temelleri 1921 yılında Fransız matematikçi Emil Borel tarafından atılan oyun teorisi John Von Neumann'ın temel ilkeleri ele alması ile uygulama alanına taşınmıştır. Oyun kuramı ile diğer rakiplerinin seçimlerine dayalı olarak bireyin başarısının matematiksel davranış biçimleri yakalanmaya çalışılır.[5]

Bu alanda büyük katkı sağlayan ve oyun teorisindeki sorunlara çözüm getiren bir diğer isimde John Forbes Nash'tir. İktisadi alandaki oyunlar için çoğu zaman eleme yöntemi denge değerine ulaşmak için yeterli olmamaktadır. Bu nedenle böyle durumlarda daha etkili çözümler üretecek etkili bir yöneme ihtiyaç duyulmuştur. Nash dengesi bu ihtiyaçlara çözüm getirebilecek etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmıştır. Oyuncuların strateji seçimleri belirli iken hiçbir

oyuncunun stratejisini değiştirmemesi durumunda strateji bileşimi Nash dengesidir. [6]

Oyunlarda peşi sıra eleme yöntemiyle denge değerine ulaşmanın mümkün olmadığı durumlarda daha güçlü bir çözüm değerine ihtiyaç duyarız ve Nash dengesi bize bu aracı sağlar. Diğer oyuncuların strateji seçimleri belirliken, hiçbir oyuncu seçimini değiştirmek için bir neden görmüyorsa, strateji

bileşimi bir Nash dengesidir Nash dengesidir. Bu konuda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta eleme yöntemi Nash dengesinin bir parçası değildir ve Nash dengesi de bir eleme yöntemi çözümü değildir. [7]

İşbirlikçi olmayan açık artırmalı bir elektrik ihalesi havuzunda tedarikçilerin teklif stratejilerini belirleme üzerinde çalışma yapılacaktır. İhalelerde tüm üreticiler kendi fiyatlarını belirlemektedir ve ardından tüm üreticilere tek bir fiyat ödenmektedir. Tüm tedarikçiler kar maksimizasyonunu sağlamak için Nash dengesini kullanmak istemektedirler. Süreç tam bilgi altında gerçekleşmektedir. En uygun tekliflerin oluşturulması için sistem talep tahminleri gerçekleştirilmektedir.

Üreticiler belirli dönemlerde tekliflerini vermektedirler ve bu tekliflerin çok yüksek olması gibi durumlarda satış yapamama riski ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Ayrıca bireysel teklif stratejilerinde katılımcıların eylemleri ihalenin muhtemel sonuçlarını veya kazançlarını değiştirebilmektedir.

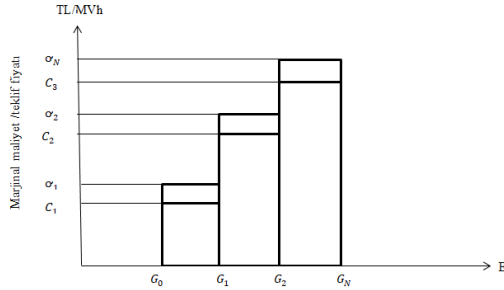
Oyuncular, her oyuncunun stratejik seçimini ve oyundaki tüm oyuncuların stratejilerinin etkileşimlerini göz önünde bulundurarak ihaleyi kazanmak ve karlarını en üst düzeye çıkarmak için çaba sarf etmektedir.

İşbirlikçi olmayan oyun teorisi, her bir üreticinin optimal tedarik miktarına karşılık gelen elektrik piyasasının denge durumunu belirlemek için önerilmiştir.

Basitleştirilmiş bir oyun teorisi çerçevesinde teklif verme ve kendi kendine zamanlama sorunlarını çözmek için etkili bir gevşeme temelli yöntem ele alınacaktır.

Nash dengesi fikri eksik bilgili enerji pazarlarında elektrik fiyatlandırması için destek sağlama amacı ile kullanılacaktır. Nash dengesi teklif teklif stratejileri oluşturmak için bir ağ optimizasyon tekniği uygulanmaktadır.

Teklifler genellikle miktar ve fiyat teklifleri şeklindedir ve ertesi gün boyunca tedarikçilerin ne kadar satış yapmak istediğini belirtir.



**Şekil 4.1.** Marjinal maliyet ve fiyat eğrileri

$$C_k = f(G_k), \quad \Pi_k = g(G_k), \quad \sigma_k = C_k + \Pi_k$$

$C_k$ , tedarik edilen gücün  $G_k$  fonksiyonu olarak ifade edilen marjinal maliyettir.

$\Pi_k$ , bakım, işletme, yükseltme maliyetleri gibi bir dizi faktörü yansıtır.

$\sigma_k$ ,  $G_k$  üretim düzeyinde güç birimi başına fiyattır.

Önerilen metotta ;

i-) Karşılaştırma A ve B ile sınırlıdır.

ii-) Düşük tekliflere öncelik verilecektir.

iii-) Kazanan her tedarikçiye eşit ödeme yapılacaktır. Bu ilk fiyat müzayedesi marjinal maliyete yakın fiyata teşvik edecektir.

İv-)  $G_k$  üretim düzeyinde güç birimi başına  $\sigma_k$  teklif fiyatı  $G_{k+1}$  miktarındaki marjinal maliyeti  $C_{k+1}$ 'den düşüktür. Şekil 4.1 e referansla  $\sigma_k < C_{k+1}$  olduğu elde edilmektedir.

v-) Sistem talepleri  $\Delta G_k$ 'nın adımları, iki üretici tarafından sunulan en düşük miktarların toplamına göre değişmektedir. En yüksek miktardaki birimleri ( $G_1A + G_1B \leq D_R \leq G_NA + G_NB$ ) dir.

vi-) A tedarikçisinin tüm enerji bandı miktarı B ile aynıdır ( $G_1A = G_1B$ ). İki tedarikçinin enerji bantlarının tümü aynı değerdedir ( $G_1A - G_0A = G_1B - G_0B$ ).

vii-) Her oyuncu stratejilerinin getirisini bilmektedir. Ancak diğer rakiplerinin seçeneklerini bilmemektedir.

viii-) Oyuncular Nash dengesinde ekonomik hedeflere ulaşmak için aldığı bir bilgi parçasını göz önüne aldığı anda kendisi için en uygun stratejiyi seçerler.

Tablo 4.1'de her bir oyuncunun seçtikleri stratejiye bağlı olarak gerçekleşen ödeme fonksiyonları ile beklenen faydalarının gösterimi açıklanmıştır.

**Tablo 4.1.** Stratejilere bağlı beklenen faydalar

	$s_1^B$	$s_2^B$	$s_3^B$
$s_1^A$	$(PF_{11}A, PF_{11}B)$	$(PF_{12}A, PF_{12}B)$	$(PF_{12}A, PF_{12}B)$
$s_2^A$	$(PF_{21}A, PF_{21}B)$	$(PF_{21}A, PF_{12}B)$	$(PF_{12}A, PF_{12}B)$
$s_3^A$	$(PF_{31}A, PF_{31}B)$	$(PF_{12}A, PF_{12}B)$	$(PF_{12}A, PF_{12}B)$

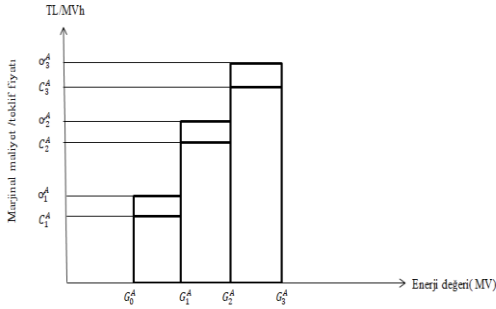
Her oyuncunun olası stratejileri  $S^A = (s_1^A, s_2^A, \dots, s_l^A)$  ve  $S^B = (s_1^B, s_2^B, \dots, s_l^B)$ , belirli zaman periyotları için ( $G_i, \sigma_i$ ) oyuncuların çıktı fiyatlarını,  $s = (s_1^A, s_m^B)$  oyuncuların gelirlerini,  $PF_{lm}^A(s_l^A, s_m^B)$  ve  $PF_{lm}^B(s_l^A, s_m^B)$  ödeme fonksiyonlarını,  $\sigma_{MCP}$  sunulan en yüksek teklifi temsil etmektedir.

$$PF_{lm}^A(s_l^A, s_m^B) = \sigma_{MCP} \cdot G_1^A - [C_1^A \cdot \Delta G_1^A + C_2^A \cdot \Delta G_2^A + \dots + C_l^A \cdot \Delta G_l^A] \quad (4.1)$$

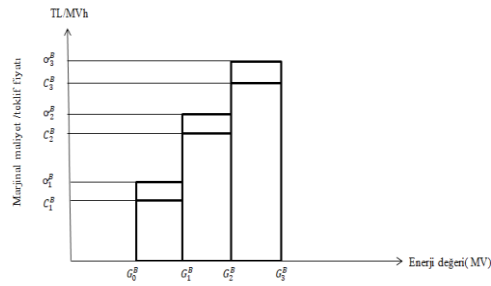
$$PF_{lm}^B(s_l^A, s_m^B) = \sigma_{MCP} \cdot G_m^B - [C_1^B \cdot \Delta G_1^B + C_2^B \cdot \Delta G_2^B + \dots + C_m^B \cdot \Delta G_m^B] \quad (4.2)$$

Her bir oyuncu için marjinal maliyet ve fiyat eğrileri şekil 4.4 ve şekil 4.5 te gösterilmiştir.

Şekil 4.2'de ve şekil 4.3'te tedarikçilerin marjinal maliyet ve birim fiyat eğrilerinin gösteriliş biçimi açıklanmıştır.



Şekil 4.2. A Tedarikçisinin marjinal maliyet ve birim fiyat eğrisi



Şekil 4.3. B tedarikçisinin marjinal maliyet ve birim fiyat eğrisi

Piyasa şartlarına göre beş olası durum öngörülüyor. Bunlar 4ΔG, 5ΔG, 6ΔG, 7ΔG, 8ΔG olarak ifade ediliyor. Sipariş edilen çiftler  $D_{fi}^A$ ,  $D_{fj}^B$  ile gösteriliyor ve talep tahminlerini ifade ediyor.

Tablo 4.2'de 5 olası sistem talebi vakasına dair durumlar gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Beş olası sistem talebi

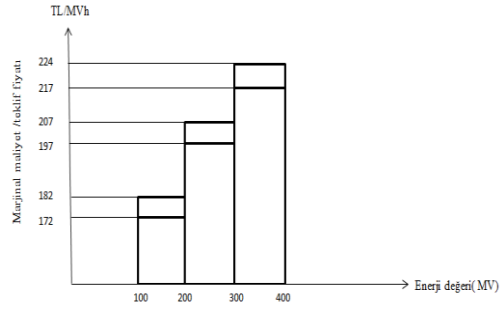
	$D_{fj}^B$	$D_{fj}^B$	$D_{fj}^B$	$D_{fj}^B$	$D_{fj}^B$
$D_{fi}^A$	4ΔG, 4ΔG	4ΔG, 5ΔG	4ΔG, 6ΔG	4ΔG, 7ΔG	4ΔG, 8ΔG
$D_{fi}^A$	5ΔG, 4ΔG	5ΔG, 5ΔG	5ΔG, 6ΔG	5ΔG, 7ΔG	5ΔG, 8ΔG
$D_{fi}^A$	6ΔG, 4ΔG	6ΔG, 5ΔG	6ΔG, 6ΔG	6ΔG, 7ΔG	6ΔG, 8ΔG
$D_{fi}^A$	7ΔG, 4ΔG	7ΔG, 5ΔG	7ΔG, 6ΔG	7ΔG, 7ΔG	7ΔG, 8ΔG

Sistem talebinin  $D_{f3}^A$  olması durumunda her tedarikçinin oyun matrislerinin gösteriliş biçimi tablo 4.3'te açıklanmıştır.

Tablo 4.3. Tedarikçilerinin oyun matrisleri

	$S_1^A$	$S_1^A$	$S_1^A$
$S_1^A$	$PF_{11}^A,$ $PF_{11}^B$	$PF_{12}^A,$ $PF_{12}^B$	$PF_{13}^A,$ $PF_{13}^B$
$S_1^A$	$PF_{21}^A,$ $PF_{21}^B$	$PF_{22}^A,$ $PF_{22}^B$	$PF_{23}^A,$ $PF_{23}^B$
$S_1^A$	$PF_{31}^A,$ $PF_{31}^B$	$PF_{32}^A,$ $PF_{32}^B$	$PF_{33}^A,$ $PF_{33}^B$

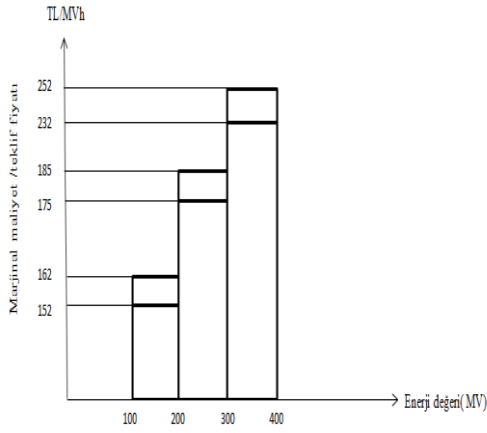
A satıcısı şekil 7.4'te ki gibi marjinal maliyetlerle elektrik temini için bir fiyat seçmelidir ve böylece kendi stratejik teklifi yoluyla faydalarını önemli derecede artırmalıdır.



Şekil 4.4. A tedarikçisinin teklif fiyatları

B satıcısı şekil 4.5'te ki gibi marjinal maliyetlerle elektrik temini için bir fiyat seçmelidir ve böylece kendi stratejik teklifi yoluyla faydalarını önemli derecede artırmalıdır.





**Şekil 4.5.B** tedarikçisinin teklif fiyatları

Tablo 4.4'te sistem talebinin 400 GWh olması durumunda her iki oyuncunun da beklenen kar hesaplamaları verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Sistem talebi 400 GWh olursa beklenen faydalar.

	$s_1^B = (200, 162)$	$s_2^B = (300, 185)$	$s_3^B = (400, 252)$
$s_1^A = (200, 182)$	(19200, 21200)	(19800, 21800)	(33200, <u>35200</u> )
$s_2^A = (300, 207)$	(24200, 26200)	(20700, <u>29400</u> )	(38700, 25200)
$s_3^A = (400, 224)$	( <u>27600</u> , 29600)	( <u>22400</u> , <u>34500</u> )	(42200, -)

Sistem talebinin 400 GWh olması durumunda şekil 4.4 ve şekil 4.5. dikkate alınarak yapılan hesaplamalar ile tablo 4.4. oluşturulmuş ve Nash dengesi ile birinci oyuncunun kazancı 22400 TL, ikinci oyuncunun kazancı 34500 TL bulunmuştur.

Tablo 4.5'te sistem talebinin 500 GWh olması durumunda her iki oyuncunun da beklenen kar hesaplamaları verilmiştir.

**Tablo 4.5.** Sistem talebi 500 GWh olursa beklenen faydalar.

	$s_1^B = (200, 162)$	$s_2^B = (300, 185)$	$s_3^B = (400, 252)$
$s_1^A = (200, 182)$	(19200, 21200)	(19800, 22800)	(33200, <u>42900</u> )
$s_2^A = (300, 207)$	(25200, 26200)	(24200, 29400)	(38700, <u>35200</u> )
$s_3^A = (400, 224)$	( <u>30300</u> , 29600)	( <u>27600</u> , <u>34500</u> )	( <u>42200</u> , 25200)

Sistem talebinin 500 GWh olması durumunda şekil 4.4. ve şekil 4.5. dikkate alınarak yapılan hesaplamalar ile tablo 4.5. oluşturulmuş ve Nash dengesi ile birinci oyuncunun kazancı 27600 TL, ikinci oyuncunun kazancı 34500 TL bulunmuştur.

Tablo 4.6'da sistem talebinin 600 GWh olması durumunda her iki oyuncunun da beklenen kar hesaplamaları verilmiştir.

**Tablo 4.6.** Sistem talebi 600 GWh olursa beklenen faydalar.

	$s_1^B = (200, 162)$	$s_2^B = (300, 185)$	$s_3^B = (400, 252)$
$s_1^A = (200, 182)$	(19200, 21200)	(19800, 22800)	(33200, <u>44900</u> )
$s_2^A = (300, 207)$	(25200, 26200)	(25200, 29400)	(38700, <u>42900</u> )
$s_3^A = (400, 224)$	( <u>31000</u> , 29600)	( <u>30300</u> , 34500)	( <u>42200</u> , <u>35200</u> )

Sistem talebinin 600 GWh olması durumunda şekil 4.4. ve şekil 4.5. dikkate alınarak yapılan hesaplamalar ile tablo 4.6. oluşturulmuş ve Nash dengesi ile birinci oyuncunun kazancı 42200 TL, ikinci oyuncunun kazancı 35200 TL bulunmuştur.

Bu çalışmanın yapılmasının amacı optimal teklif stratejileri oluşturmak için bir metodolojiden yararlanmaktır. Sonuçta Nash dengesi işbirlikçi olmayan eş zamanlı hamle oyunlarını çözmek için uygun bir çözüm konsepti oluşturmuştur. Böyle bir denge, oyuncunun kendisi için en iyi olan stratejiyi seçmesi durumunda, diğer oyuncunun denge stratejisini kullanması koşuluyla geçerli olmaktadır.

##### 5. Elektrik Piyasasında Müzayede Modelleri

Elektrik piyasaları, elektriğin üretimi, tüketimi ve perakendeciliğinde özel sektörün artan rolü ile karmaşık bir rekabetçi iş ortamına dönüşmektedir. İletim ve dağıtım faaliyetlerinin bile birçok ülkede özel payı vardır. Tüm bu karmaşık yapı göz önünde bulundurulduğunda tedarikçilerin talep tahmini, üretim ve teklif verme stratejileri geliştirmelerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda bu alanda çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Toptan elektrik piyasalarında yaygın olarak kullanılan, merkezi iki tek fiyat açık artırma biçimi vardır. Her iki format da jeneratörlerden gelen arz tekliflerini talep eden ve müşteri talebine hizmet etmek için ne kadar enerji ürettiklerini belirleyen bağımsız bir üçüncü taraf pazar operatörü tarafından işletilmektedir. Merkezi olarak taahhüt edilmiş pazarlarda, üreticiler dışbükey olmayan işletme maliyetlerini ve kısıtlamalarını ileten karmaşık teklifler sunar. Buna karşılık, jeneratörler, yalnızca enerji tedarik etmek istedikleri fiyatı belirten basit teklifler sunar.

Kuruluşundan bu yana, elektrik piyasalarında performansı arttırmak için çeşitli açık artırma tasarımları kullanılmıştır. Literatürde bulunan çoğu elektrik piyasası tasarımının ortak bir özelliği, statik mühürlü teklif ihalelerinin kullanılmasıdır. Ancak, açık artırma teorik literatürüne başvurmak, açık teklifleri kullanan dinamik açık artırmaların, daha iyi fiyat keşfi, artan şeffaflık ve denge durumlarına daha yakın açık artırma sonuçları gibi önemli faydalar sağlayabileceğini göstermektedir.[8]

O. Karaca ve M. Kamgarpour yaptıkları çalışmada belirli kontrol rezerv piyasalarında uygulanan teklif olarak ödeme mekanizması ile reklam ve spektrum ihalelerinde kullanılan yerleşik bir açık artırma mekanizması olan Vickrey-Clarke-Groves mekanizmasını ele almışlardır. Oyun teorisi ve müzayede

teorisinden faydalanarak Nash dengesini oyuncuların stratejik davranışları açısından karşılaştırmışlardır. Elektrik piyasasına dayanan bir koalisyon oyunu formüle ederek doğru teklif vermeyi sağlayan alternatif mekanizmalar önermişlerdir.[9]

K. Derinkuyu ve M. Güler yaptıkları çalışma ile gün öncesi piyasa gibi piyasa türlerini tartışmışlardır. Ayrıca bu pazarlardaki fiyatları belirlemek için açık artırma mekanizmasını açıklamışlardır. ARIMA adı verilen bir tahmin metodolojisi kullanarak önümüzdeki günlerin elektrik fiyatlarını tahmin etmek için bir örnek uygulama yapmışlardır.[10]

Yenilenebilir üretimin daha fazla nüfuz etmesi ile elektrik piyasalarında karşılaşılan belirsizlik önemli ölçüde artmıştır. Geleneksel olarak, jeneratörlere belirsiz miktarların tahminlerine dayalı olarak gerçek zamanlı bir ön miktar tayin edilir. Belirsizlik gerçekleştiğinde talep karşılığında emin olmak için pahalı gerçek zamanlı ayarlamalar yapılması gerekir. Belirsizliklerin olasılık dağılımı ve gerçek zamanlı sapma maliyetleri göz önüne alındığında, öngörü miktarlarını optimize etmek için G. Zakeri , G.Pritchard ve M. Bjornal yaptıkları çalışma ile yeni bir stokastik programlama mekanizması önermişlerdir. [11]

Toptan elektrik piyasalarında olduğu gibi tedarikçilerin belirsiz maliyetlere sahip olduğu ve üretim birimlerinin mevcudiyeti konusunda belirsizliğin olduğu çok birimli tedarik ihalelerinde piyasa tasarımının teklif verme davranışını nasıl etkilediği analiz edildiğinde piyasa şeffaflığının artmasıyla piyasa sonuçlarının rekabet gücünün arttığı görülmüştür. [12]

Elektrik piyasalarının serbestleştirilmesi önemli ekonomik faydalar sağlamıştır. Literatürde bu durum her biri farklı bir ifade düzeyi sağlayan iki ana yaklaşıma göre incelenir. Oyun teorisine dayanan ilk yaklaşım, pazarların resmi bir analizini sağlar ve basit pazar modellerinde (örneğin açık artırma mekanizması) optimal jeneratör stratejilerini bulmaya izin verir. Çok etmenli simülasyonlara dayanan ikinci yaklaşım, üreticilerin basit öğrenme algoritmaları uyguladığını varsayar. Bu yaklaşım kişinin karmaşık pazar modelleri ile başa çıkmasına izin verir, ancak literatürde çözümün optimalliği konusunda resmi bir sonuç yoktur. [13]

R. Baldik vd. bir elektrik piyasasında tekdüze ve teklif olarak ödeme fiyatlandırmasının rakip fiyatlandırma mekanizmalarını analiz etmişlerdir. Kısa vadeli bir açık artırma oyununda büyük bir oyuncunun ve küçük bir oyuncunun stratejik davranışını analiz etmek için oyun teorisi ve açık artırma teorisini kullanmışlardır. Gelir denkliği teoreminin sonucundan beklenenin aksine, iki oyunculu statik bir oyun için, talep esnek olmadığında teklif olarak fiyatlandırmanın Nash dengesinin altında daha az toplam gelir sağlayacağı kanıtlanmıştır. Bu teorik sonucu doğrulamak için karma strateji NE çözücüsü kullanılarak bir model simüle edilmiştir. [14]

Günümüzde, jeneratör pazar gücünü azaltmak için uygun bir teklif mekanizmasının tasarlanması, elektrik piyasası reformunu derinleştirmek için temel yaklaşımlardan biri olarak kabul edilmektedir. Zhen Liu vd. yaptıkları çalışmada Sinyal oyunu teorisine dayanarak elektrik müzayede piyasalarındaki ana elektrik teklif mekanizmalarını analiz etmişler ve bilgi bozukluğunun derecesini teklif mekanizmalarını değerlendirmede önemli bir faktör olarak değerlendirmişlerdir. Jeneratör yarı rastgele eşleme (GSM) mekanizması olarak tanımlanan bir teşvik elektrik teklif mekanizması önermişlerdir. Yeni teklif mekanizmasını doğrulamak için , çoklu araçlara dayalı bir simülasyon modeli geliştirmek için Swarm platformu kullanılmıştır. Simülasyon modelinde, üreticiler ve alıcılar fiyatlarını ve elektrik miktarlarını ayarlamak için kısmen üstün çalışma stratejisini kullanmışlardır. Daha sonra, GSM teklif mekanizmasının bir simülasyon denemesini incelemişler ve yüksek-düşük eşleştirme (HLM) teklif mekanizmasının simülasyonu karşılaştırmışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre, HLM'nin denge durumunda takas fiyatı azalır, toplam işlem hacmi artar, elektrik üreticilerinin karları azalır ve alıcıların genel faydaları artar.[15]

Bir başka çalışmada JB Cruz vd. oligopolistik dinamik elektrik çift taraflı açık artırmalarda teklif stratejileri geliştirme sorununu incelemiştir. Elektrik çift taraflı açık artırmaları dinamik sistemler olarak modellenmiş ve piyasa katılımcıları (üretici firmalar ve hizmet veren kuruluşlar) için Nash-Cournot stratejileri kullanılmıştır. Simülasyon çalışmaları yoluyla, elektrik çift taraflı açık artırmalarının verimliliğini ve rekabet gücünü, yalnızca elektrik

sağlayıcı açık artırmalarının (geliştirilmiş teklif stratejilerini kullanarak) karşılaştırmışlardır.[16]

Ödeme maliyetini en aza indirme, teklif maliyetini en aza indirmeye kıyasla tüketici ödemelerinin azalmasına yol açtığını göstermektedir. Güç tedarikçileri farklı açık artırma mekanizmaları altında farklı teklifler verebildikleri için ve açık artırma mekanizmalarının kapsamlı değerlendirilmesi için piyasa davranışlarının araştırılması gereklidir. Feng Zhao vd. yaptıkları çalışma ile iki açık artırma mekanizması için oyun teorisi çerçevesi içinde tedarikçilerin stratejik davranışlarını incelemiştir. Genel matris Nash oyunları yaklaşık Nash kavramı kullanılarak ve daha önce çekirdek olarak geliştirilen açık artırma algoritmalarıyla çözülmüştür. Test sonuçları, teklif maliyeti minimizasyonuna kıyasla ödeme maliyeti minimizasyonu altında tüketiciler için maliyet tasarruflarını göstermektedir. Genel matris Nash oyunları daha sonra yaklaşık Nash kavramı kullanılarak ve daha önce çekirdek olarak geliştirilen açık artırma algoritmalarıyla çözülmüştür. [17]

Eric Guerci vd. yaptıkları çalışma ile serbestleştirilen elektrik piyasaları bağlamında müzayede piyasalarının verimliliği sorununu ele almıştır. Elektrik piyasalarının tasarımında dünya çapında iki farklı açık artırma mekanizması, yani tek tip ve ayrımcı fiyat belirleme kuralları kullanılmıştır. Bu çalışmada, iki açık artırma mekanizmasının görece verimliliği oyun içi öğrenme yaklaşımı çerçevesinde incelenmiştir. Elektrik tedarikçilerinin davranışı, uyarlanabilir bir öğrenme algoritması ile modellenmiştir ve elektrik piyasası modellemesinde yaygın bir hipoteze göre talebin sabit ve esnek olmadığı varsayılmaktadır. Hesaplamalı deney sonuçları oyun teorisi çözümlerine, yani Nash dengesine ve Pareto optima'ya göre yorumlanmıştır. Farklı talep seviyelerine sahip ikili ve üçlü rekabete karşılık gelen farklı ekonomik senaryolar göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçlar, önerilen koşullarda satıcıların Nash dengesine karşılık gelen rekabetçi stratejiler oynamayı öğrendiklerini göstermektedir. Bu çalışma sunulan hesaplama ortamında ve ekonomik senaryolarda, ayrımcı müzayede mekanizmasının tekdüze müzayede mekanizmasından daha etkili sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.[18]

## 6. Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışma ile satın alma süreçleri, oyun teorisi kavramlarından ihale oyunları ile entegre bir şekilde analiz edilmiş ve elektrik piyasalarında, değişen piyasa koşullarında oyuncuların optimum faydayı elde etmeleri için en uygun stratejileri belirlemelerine yönelik bilimsel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Oyuncuların optimal teklif stratejileri oluşturmak ve eş zamanlı hamle oyunlarını çözmek için Nash dengesinden faydalanmaları uygun görülmüştür.

Satın alma süreçlerinin incelenmesi ve ihale oyunları ile entegre bir şekilde ele alınması sağlanmış ve bu sayede oyuncular optimum faydalarını elde etmişlerdir. Satın alma süreci ile ilgili usul ve esaslar ile süreçte yaşanabilecek aksaklıklar, satın alma sürecinin tasarlanması ve yürütülmesi gibi konular için ihtiyaç duyulan gereklilikler ele alınıp incelenmiştir. Bu süreçte oyun teorisi içindeki ihale oyunları bilgi ve birikimi ile katılımcıların optimum faydayı sağlaması için entegre bir analiz çalışması yapılmıştır. İhale oyunları ile elektrik piyasalarında faaliyet gösteren iki oyuncunun piyasadaki talep değişimleri ve üretim miktarlarına bağlı olarak elde edecekleri kazançları, rakiplerinin de stratejilerine bağlı olarak optimum seviyede tutmaları için uygulamaları gereken stratejiler incelenmiş ve en uygun stratejiye ulaşmaları için Nash dengesi bilgi ve yöntemleri kullanılmıştır.

İleriki çalışmalarda bu çalışmada kullanılan yöntem ve teknikler göz önünde bulundurularak yeni tahmin modelleri ortaya konulabilir ve çıktıların karşılaştırılması yapılabilir. Farklı simülasyon ve modelleme yöntemleri ortaya konularak optimum kazanç yöntemleri geliştirilebilir.

## Kaynakça

- [1] Arı, T. (2013). Uluslararası İlişkiler Kuramları I.TC. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2645- Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1612
- [2] Turocy, L. B, Stengel, (2001) Oyun Teorisi Theodore L. Turocy Texas A & M University Bernhard Von Stengel London School Of Economicscdam Araştırma Raporu LSE-CDAM 2001-09 8 Ekim 2001
- [3] Basılğan, M. (2013). İktisat ve deneysel yöntem: deneyler, tartışmalar ve gelecek, İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 48, 6189.
- [4] Vickrey,(1961),“Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders,” Journal of Finance, 16: 8-37.
- [5] Şahin, S. & Eren, E. (2012). Oyun teorisinin gelişimi ve günümüz iktisat paradigmasının oluşumuna etkileri. Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi, 4(1), 265-274
- [6] Hyksová, M. (2013). Several milestones in the history of gametheory, doi=10.1.1.319.8082
- [7] Demirkan, Y. (2010) “Oyunlar Teorisi Ve Tarihsel Gelişimi” İstanbul Erkek Lisesi Dergisi ss.50-54.
- [8] S. Lange, J. Bryant, P. Sokolowski, X. Yu, 2019, Descending-clock reverse auction for electricity markets considering power flow constraints, IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society
- [9] O. Karaca, M. Kamgarpour, (2017), Game theoretic analysis of electricity market auction mechanisms, 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC).
- [10] K. Derinkuyu, M.Güler, (2019), Environmentally Benign Energy Solutions, Springer,2019, 155-175
- [11] G. Zakeri, G. Pritchard, M. Bjorndal, (2018), Pricing Wind: A Revenue Adequate, Cost Recovering Uniform Price Auction for Electricity Markets with Intermittent Generation, Informs Journal on Optimization,(1-1)
- [12] P. Holmberg, F. Wolak, (2016), Electricity Markets: Designing Auctions Where Suppliers Have Uncertain Costs, Journal of Applied Econometrics,5-12
- [13] N. Gatti, S. Ceppi, An algorithmic game theory study of wholesale electricity markets based on central auction,(2010), Integrated Computer-Aided Engineering,4,273-290
- [14] R. Baldick,K. Lee, S. Oğlu, Ş. Sıddık, Short-term electricity market auction game analysis: uniform and pay-as-bid pricing,(2004), IEEE Güç Sistemlerine İlişkin İşlemler,19(4)
- [15] Z. Liu, X. Zhang, J.Lieu, (2010), Design of the incentive mechanism in electricity auction market based on the signaling game theory, Elsevier Energy ,35(4),1813-1819
- [16] JB Cruz, AR Kian,RJ Thomas,(2005), Bidding strategies in oligopolistic dynamic electricity double-sided auctions,20(1),50-58
- [17] F. Zhao, P.Luh, Y. Zhao, J Yan,G. Stern, S. Chang, (2007), Bid Cost Minimization vs. Payment Cost Minimization: A Game Theoretic Study of Electricity Markets, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa ABD
- [18] E. Guerci, S.Ivaldi,M. Raberto, S. Cinnotti,(2007), Learning Oligapolistic Competition in Electricity Auctions, Computational Intelligence, 23(2), 197-220