

Araştırma Makalesi / Research Article

## OYUN TEORİSİ YAKLAŞIMI İLE PORTFÖY OPTİMİZASYONU ÜZERİNE LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ\*

Doç. Dr. Mehmet PEKKAYA 

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, İİBF, (mehpekkaya@gmail.com)

Fatma Hilal GÜMÜŞ 

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, SBE, (gumus@beun.edu.tr)

### ÖZET

Günümüzde portföy optimizasyon problemi kesin çözülmemiş olup hala güncelliğini korumaktadır. Oyun teorisi ise psikoloji, felsefe, tarım, matematik, mühendislik, ekonomi gibi birçok alana uyarlanmış şekilde yaygınlaşarak kullanılmaktadır. Örneğin arama motoru Google'da -game theory- kelimelerinin birlikte olduğu 3,73 milyon erişime ulaşılabilmesi, bunun yanı sıra oyun teorisine katkılarından dolayı 1994, 2005 ve 2007 yıllarında bilim insanlarının aldığı Nobel ödülleri, bu konunun güncel ve önem verildiğinin göstergesidir. Bu çalışmada, oyun teorisi yaklaşımının kullanıldığı ulusal/uluslararası literatüre ait pay senedi ile portföy optimizasyonu çalışmalarının, özellikle amaç/yöntem açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, sonuçlarının araştırmacılar ile karar vericilere sunulması amaçlanmıştır. Bu anlamda, portföy ile oyun teorisi temelinde, özellikle bu iki konuyu birlikte araştıran yaklaşık 300 kadar bilimsel çalışma incelenmiş ve konuya yakınlığı açısından 51 kadarı değerlendirilmiştir. İlgili literatürde, oyun teorisi ile pay senedi temelinde portföy optimizasyonunu birlikte dikkate alan çalışmaların özellikle son yıllarda yayınlandığı ve konulardaki yayınlar arasında makale sayısının oldukça az olduğu görülmüştür. Bu durum, ilgili alanda yapılacak çalışmaları önemini artırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Çalışmaların çoğunluğu özellikle minimaks/maksimin temelinde oyun modellerini kullanırken, kısmen farklı oyun yaklaşımları da modellemelere dahil edilmiştir. Optimizasyon modellerinde, Markovitz Ortalama Varyans yaklaşımı çerçevesinde portföy oluşturma kriterlerinin yaygın olarak kullanımına ve çözümlenmesinde ise özellikle doğrusal programlama gibi yöneylem tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara oldukça fazla rastlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Portföy, Portföy Optimizasyonu, Oyun Teorisi, Pay Senedi.

## LITERATURE EVALUATION ON THE PORTFOLIO OPTIMIZATION WITH THE GAME THEORY APPROACH

### ABSTRACT

It is important to predict the income/sales of a business in its future investment/plans. It is one of the inputs of the iron-steel production company in the manufacturing industry with its products. Periods of economic recession/ depression may affect product demands in many industries. The study aims to analyze the differences in the sales amounts of the iron-steel businesses during the pandemic period, to

\* Bu çalışma Mehmet PEKKAYA danışmanlığında Fatma Hilal GÜMÜŞ'ün ZBEÜ SBE'de bitirilmemiş doktora tez çalışması temel alınarak hazırlanmıştır. Bu çalışma 7. Uluslararası Muhasebe ve Finans Araştırmaları Kongresi (ICAFR2020)'nde bildiri özeti şeklinde sunulmuştur.

*model the factors effective in sales, and to present the results to decision-makers/researchers. During the pandemic period, it is seen that the product prices of the iron-steel business decreased in general and their sales increased. Since the company products are known to provide raw materials to the production enterprises, these production enterprises can be interpreted as taking advantage of the falling prices in this period when the production slows down and strengthen their raw material stocks. The fact that there are quite a few studies in the relevant literature on the sale of iron-steel enterprises, sales forecasting/ modeling increases the importance of the studies to be carried out in the field, although the difficulties in variables determination for the regression model. According to the regression models, it can be concluded that the product's price and the variables of "purchasing managers index" determine the sales. The fact that there are few variables in the final models, that three of the five models are acceptable, and, contrary to the economic theory, the relationship between the price-sales volume in both models is positive, led to the thought of being cautious about the results obtained, and it is suggested to investigate nonlinear models with new variables.*

**Keywords:** Portfolio, Portfolio Optimization, Game Theory, Stocks.

## 1. Giriş

Yüzyıllardır yumurtaların aynı sepete konmaması ilkesinden bahsedilmekte olup portföy optimizasyonu iş dünyası ve bilimsel çalışmalarda ilgi duyulan bir konu olmuştur. Modern portföy optimizasyonu konusunda başta Markowitz olmak üzere pek çok model önerisi ve kuram geliştirilmiş, ancak hala tam/kesin bir çözüme ulaşılammış olması, bu problem üzerine yapılacak çalışmalara olan ilgiyi güncel tutmaktadır.

İlk eserleri Babilliler dönemine kadar dayanan oyun teorisi kavramı, rakiplerin olduğu bir ortamda karar verme yaklaşımlarından biri olarak görülmektedir. Oyun teorisi, karar vericiler birbirleriyle etkileşim durumundayken rasyonel hareket ederek en kârlı seçimin yapılmasına yardımcı olur. Oyun teorisi psikoloji, felsefe, tarım, matematik, mühendislik, ekonomi gibi birçok alanda giderek talebi artan şekilde kullanılmaktadır. Oyun teorisi modelleri şirketlerin/bireylerin izole olmayan etkileşimli (çoğu zaman rakibin olduğu) ortamlarda karar vermeyi incelemesi, disiplinler arası çalışma imkânı sunması sebepleriyle ilgi çekici ve gün geçtikçe gelişen bir çözüm yöntemi haline gelmiştir. Rakip, birey veya şirket olduğu gibi çoğu zaman piyasa davranışı rakip davranış olarak modellere dâhil edilebilmektedir. Rekabet ortamının olduğu pay senedi seçimi de oyun teorisi modelinin kullanıldığı popüler alanlardan biridir.

Örneğin arama motoru olan Google'da -portfolio optimization- kelimelerinin birlikte kullanıldığı 107 milyon erişime ulaşılabilmekte, Google scholar'da ise -portfolio- kelimesinin olduğu uluslararası 3,26 milyon ve -game theory- kelimelerinin birlikte olduğu uluslararası 3,73 milyon bilimsel çalışmaya ulaşılabilir. Bu durum, portföy optimizasyonu ve oyun teorisi konularının bilimsel anlamda oldukça popüler ve tercih edilir olduğunun bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Portföy seçimindeki katkılarında Markowitz'in 1990'da, oyun teorisine katkılarında ise 1994'de Harsanyi, Nash, ile Selton'nun, 2005'de Aumann ile Thomas'ın, 2007'de Hurwics, Maskin ile Myerson'un Nobel ödülü almaları da bu iki konunun güncel ve ilgili konulardaki araştırmalara önem verildiğinin göstergesidir. Bu göstergeler, çalışmanın motivasyonu ve çıkış noktası olmuştur.

Bu çalışmada, oyun teorisi yaklaşımının kullanıldığı ulusal/uluslararası literatüre ait pay senedi ile portföy optimizasyonu çalışmalarının, özellikle amaç/yöntem açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, sonuçlarının araştırmacılar ile karar vericilere sunulması amaçlanmıştır. Bu anlamda, portföy ile oyun teorisi temelinde, özellikle bu iki konuyu birlikte araştıran yaklaşık 300 bilimsel ulusal-uluslararası çalışmaya ulaşılarak incelenmiş, bunlardan 51 tanesi çalışmada değerlendirilmiştir. İlgili literatürde, oyun teorisi ile birlikte portföy optimizasyonu /pay senedi seçimini dikkate alan literatür çalışmasına rastlanmamış olması, çalışmanın ilgili alana katkısı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde portföy optimizasyon modelleri özetlenmiştir. Üçüncü bölümde ilgili literatürdeki oyun teorisi modelleri üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölüm materyal yöntem açıklamasından ve beşinci bölüm ise oyun teorisi temelinde portföy optimizasyonu çalışmalarının incelenmesinden oluşmaktadır. Sonuç bölümü ise ele alınan literatür değerlendirilmesinden oluşmaktadır.

## **2. Portföy Optimizasyonu**

Çoğunlukla pay senedi, tahvil gibi menkul kıymetlerden ya da ürün, konut, taşıt, arsa vb. varlıklardan oluşan finansal nitelikli kıymetler portföyü oluşturur. Daha geniş bir ifadeyle portföy, çeşitli amaçlarını gerçekleştirmek isteyen yatırımcıların sahip oldukları, birbiriyle ilişkileri olan finansal varlıkların oluşturduğu, kendine öz ve ölçülebilir yeni bir varlıktır (Ceylan & Korkmaz, 1998). Portföy yönetimi, portföyün çeşitli tekniklerle risk ve getiri açısından değerlendirilerek oluşturulması ve yapılan bu varlık dağılımının yönetilmesi konularıdır. Amaç, çeşitlendirme yaparak oluşabilecek riskleri azaltmaktır. Risk ve getiri bir menkul kıymete yatırım yapılırken dikkate alınması gereken kavramlardır. En eski zamanlarda dahi insanlar yatırım yaparken bu iki kavramı dikkate alarak hareket etmişlerdir.

Yatırım araçlarının, belli bir dönemde yatırımcılarına sağladığı kazanç getiri olarak ifade edilebilir. Markowitz modeline göre getiri, varlığa ait tarihi getiri serisine ait ortalama ile temsil edilmektedir. Portföyün getirisi, belli bir dönem için yatırımdan beklenen veya elde edilecek gelir oranını ifade etmektedir. Portföyün getirisi, portföyün içindeki varlıkların ağırlıklarının, bu varlıkların beklenen getirileriyle çarpımları toplamına eşittir (Markowitz, 1952).

Finansal anlamda risk, beklenen getiriden pozitif veya negatif sapma olasılığı olarak da ifade edilmektedir. Beklentiden sapmayı temsil eden varlık getiri serisine ait standart sapma genelde varlık riski olarak değerlendirilir. 1950'li yıllarda portföy optimizasyonunda geliştirdiği Ortalama Varyans (OV, Mean Variance) modeliyle Markowitz, Modern portföy teorisinin temellerini atmıştır. Markowitz risk, getiri ve varlıklar arasındaki korelasyonları dikkate alarak portföy optimizasyonu üzerine çeşitli çalışmalar yapmış ve aynı yıllarda Roy ile birlikte Modern Portföy teorisinin temelini atmıştır. Yine 1958-1970 yılları arasında Tobin, Sharpe, Lintner ve Mossin'in modern Portföy teorisine katkıları olmuştur (Pekkaya, 2011).

## **3. Oyun Teorisi**

Oyun, her biri kazanmayı isteyen rekabet halindeki çok sayıda karar vericinin (oyuncunun) bulunduğu karar ortamı olarak tanımlanabilir (Cinemre, 2011). Günlük yaşamda, sonucun sadece bireyin kendi seçimiyle değil, aynı zamanda başkalarının seçimine de bağlı olacağını bilerek çoğu zaman kararlara ulaşılabilir. Örneğin birkaç arkadaşınızla buluşursanız, arkadaşla-

rınızın beklemesi gerekip gerekmediği, kendinizin ne zaman geleceğinize değil, aynı zamanda arkadaşlarınızın gelme zamanına da bağlıdır (Perea, 2012). Satranç, briç gibi oyunların yanısıra günlük birçok sosyal davranış da oyun teorisi kapsamında değerlendirilebilir.

Oyun esnasında belirlenen her bir stratejinin oyunculara yüklediği kazanç ve kayıpların yer aldığı matris, ödeme matrisi (kazanç /oyun matrisi) olup oyun modelleri genelde bu ödeme matrisi üzerinden analiz edilir. İki kişili bir oyunun ödeme matrisindeki satırda satır oyuncusu, sütununda da sütun oyuncusu (birçok modelde piyasa/doğa davranışı) bulunur. Sütun oyuncusunun satır oyuncusuna ödeme yaptığı temel alınır. Oyunun değeri, oyun sonunda taraflar arasında yapılacak olan ortalama ödeme miktarını ifade eder, genellikle  $\vartheta$  ile gösterilir.

Oyunları sınıflandırılırken, oyuncu sayıları, strateji sayıları, ödeme toplamları vb. çok sayıda başlık altında gruplandırma yapılabilir. İlgili literatürde aşağıdaki gibi başlıca beş ana başlık görülebilir.

Tam ve eksik bilgili oyunlar

Statik ve dinamik oyunlar

İki kişili ve n-kışili oyunlar (oyuncu sayısı)

Sıfır toplamlı ve sıfır toplamlı olmayan oyunlar (oyun sonucu)

İşbirlikçi ve işbirlikçi olmayan oyunlar

Klasik modeller, dinamik karar vermede başarısız olabilmektedir. Çünkü bireylerin başkalarının kararlarından bilinçli olarak etkilenen kararlar aldıkları gerçeğini ihmal eden nedensönuç modelleridir. Oyun teorisi, oyuncuların rasyonel oldukları ve kendi çıkarlarına göre hareket ettikleri varsayımı altında, çatışma ve işbirliği durumlarına en uygun çözümleri bulmayı amaçlamaktadır (Kelly, 2003).

Oyun teorisinde ilk eserin Babillilere ait, Musevi ceza ve medeni hukukunu açıklayan, milattan sonra beş yüz yıl süreyle geçerliliğini korumuş olan Talmud adıyla anılan yasalarda rastlanıldığı kabul edilmektedir. (Aumann & Maschler, 1985:195-213). Waldegrave, 1713’de iki kişili oyunlar üzerinde minimaks olarak adlandırılan karma stratejiden bahsetmiştir (Kuhn, 1953). Zermelo teoremi, satranç temelinde şansın belirleyici olmadığını gösteren iki rakibin olduğu oyun teorisi alanındaki ilk kayda geçmiş teoremlerdendir. Oyun teorisinde diğer bir önemli çalışmayı da sıfır toplamlı iki kişili oyunlarla ilgilenen matematikçi Borel gerçekleştirmiştir (Walker, 2012).

Neumann ve Morgenstern, 1944’te “The Theory of Games and Economic Behaviour” isimli kitabında, oyun teorisi alanının ekonomik ve matematiksel temeli oluşturulmuştur. Ayrıca, ekonomik ve sosyal soruların genellikle uygun strateji oyunlarının matematiksel modelleri olarak tanımlanabileceğine değinilmiştir (Geçkil & Anderson, 2010).

John Forbes Nash, 1950-1953 yılları arasında “N kişili oyunlarda denge noktası”, “Pazarlık problemi”, “İşbirliksiz oyunlar” ve “İki-kışili işbirlikçi oyunlar” isimli dört temel çalışma yaparak oyuncuların hamle seçeneklerinin, öteki oyuncuların en iyi kararı almasında etkili olduğunu göstermiş ve Nash dengesi adı verilen stratejik dengenin varlığından bahsetmiştir (Nash, 1950a,1950b,1951a,1951b). 1953 yılında Shapley işbirlikçi oyunla birleşen, Shapley değeri olarak adlandırılan kavramı ortaya atmıştır. Aumann, 1974’de ilişkili denge kavramını

önermiştir. Rubinstein, 1952’de pazarlığa işbirlikçi olmayan bir yaklaşım öne sürmüştür (Walker, 2012). Harsanyi, Nash, ile Selton 1994’de, Aumann ile Thomas 2005’de, Hurwics, Maskin ile Myeron 2007’de oyun teorisine olan katkılarıyla Nobel ödülüne layık görülmüşlerdir.

Oyun teorisinin temel uygulamaları ekonomi, siyaset bilimi (hem ulusal hem de uluslararası düzeyde), taktik ve stratejik askeri problemler, evrimsel biyoloji ve en son bilgisayar bilimi gibi alanlarda kabul edilir. Muhasebe, istatistik, matematiğin temelleri, sosyal psikoloji ve epistemoloji ve etik gibi felsefe dalları ile de önemli bağlantıları olduğu görülebilir. Oyun teorisi, sosyal bilimin rasyonel tarafı için bir tür şemsiye ya da derlenmemiş teori olup burada “sosyal” insan ile insan olmayan oyuncular (bilgisayarlar, hayvanlar, bitkiler) içerecek şekilde geniş çapta yorumlanabilmektedir (Aumann, 1987).

Oyun teorisinde, oyunculardan birinin kesin davranışı bilinmeyen doğa olarak kabul edilebileceği, sonuçlar üzerinde tam kontrole sahip olmayan diğer oyuncu ise karar verici olarak değerlendirilmektedir. Portföy modellerinde oyun teorisi sütun oyuncusunun “Doğa” olduğu yani piyasaya karşı oynanan iki kişili sıfır toplamlı bir oyun olarak ele alınarak, piyasaya karşı portföy optimizasyonunu üzerinde çalışan pek çok çalışmaya rastlanabilmektedir. Çalışmada açıkça oyun teorisini modeline dahil ettiğini ifade eden çalışmalara yer verilmiştir.

#### **4. Gereç ve Yöntem**

Çalışmada son dönemlerde portföy ile oyun teorisi temelinde, özellikle bu iki konuyu birlikte araştıran ulusal ve uluslararası yazındaki bilimsel makale ve tezler dikkate alınmıştır. İnternet tarayıcısında, “game”, “oyun teorisi”, “işbirlikçi oyun” gibi sözcükler ile birlikte “portfolio”, “stok exchange models”, “portfolio optimization”, “investment”, “portföy optimizasyonu” gibi anahtar kelimelere ait kombinasyonlar kullanılmıştır. Ulaşılan onbinlerce çalışmalardan, konuya yakın anlatımlı olanlar başta tarama sayfasından, sonrasında özet içeriklerinden elemeye tabi tutulmuş ve 300 kadarı çalışma için dikkate alınmasına karar verilmiştir. Bu karar verme sürecinde, portföy ile oyun teorisini birlikte ele alan çalışmalar seçilmiştir. Sonraki aşamada, özellikle konu çerçevesine uyumlu olan pay senedi optimizasyonu ile oyun teorisini birlikte ele alan başlıca çalışmalar ön planda değerlendirilmiştir. Başlıca çalışmalardan kasıt, tebliğ/tez çalışmalarından ziyade, listeye dâhil edilecek makalelerin iyi dergilerde yayınlanmış veya nispeten orijinal olmasının arzulanmasıdır. Bu alanda ikisi hariç son yirmi yılda yapılmış 26 gibi oldukça kısıtlı sayıda makale çalışmasına rastlanması, çalışma alanı açısından oldukça önu açık bir konu üzerinde durulduğunun göstergesi kabul edilmiştir. Ayrıca, birisi uluslararası olmak üzere toplam 15 tane lisansüstü tez çalışması bu alanda değerlendirilmiştir.

Oyun modelleri ile portföy oluşturma çalışmalarının birlikte kullanıldığı, emeklilik fonları, sigorta, ürün, bilgisayar/mobil cihazlar, rüzgâr çiftlikleri vb. alanlarda da portföy optimizasyon çalışmalarına rastlanmıştır. Bu çalışmalar da çalışmanın ilgi alanına yöntem/yaklaşım açısından yakın olduğundan dolayı dikkate alınmıştır. İlgili literatürdeki bu tüm çalışmalar, veri, yöntem ve bulgu/sonuç açısından literatür taraması yaklaşımı ile incelenmiştir.

#### **5. Oyun Teorisi Yaklaşımıyla Portföy Optimizasyonu Üzerine Literatür Değerlendirmesi**

Bu bölüm ve çalışma, özellikle pay senedi seçimi /portföy optimizasyonu konularının oyun modelleriyle birlikte işlendiği çalışmaları kapsamaktadır. Bu anlamda, ilgili alandaki çalışmaların özellikle son 20 yıl içinde yaygınlaştığı görülmüştür. Bunun yansısı, oyun teorisi temelinde finansta stratejik model önerileri oldukça kısıtlı sayıdadır (Villena & Reus, 2016).

Bell & Cover (1988), çalışmalarında en iyi portföy için gerekli optimizasyon koşullarını göstermiştir. İki kişili sıfır toplamli oyunlarda azalmayan fi fonksiyonu üzerinde çalışmışlardır. Logaritmik optimal portföyün pay senedi piyasasında, oyunun tek aşamalı olması veya çok aşamalı olarak tekrarlanması durumlarında (n-yatırım döneminde) optimal kaldığından bahsetmiş bunun yanı sıra matematiksel teorem ve ispatlara yer vermiştir.

Sengupta (1989), portföy modellerini hem sıfır toplamli hem de sıfır toplamli olmayan iki kişili oyunlar olarak modellemiştir. Ayrıca portföy karar probleminde ilk oyuncunun karar verici olduğundan ve ikinci oyuncu olan doğanın rastgele dağıttığı getirilere göre yatırım kararını seçtiğinden bahsetmiş ve oyunun doğaya karşı oynanan bir karar probleminin çözümü olarak düşünülebileceğini belirtmiştir. Her bir doğa durumunun doğanın stratejilerinin bir alt kümesi olarak kabul edilebileceğinden ve bunun karar vericinin stratejilerinde bir sinyal olarak görülebileceğinden bahsetmiştir. Çalışmasında maksimin kriterini White (1976) tarafından uygulandığı şekliyle ele aldığını belirtmiş, ayrıca eksik bilgili oyunlarda getiri uygulamalarının sonuçlarını değerlendirmiştir. Dinamik oyun modellerinin hem teorik hem de deneysel açıdan daha fazla analiz gerektirdiği sonuca varmıştır. İkinci olarak da saf/arı stratejiden ziyade karma strateji seçilmesinde eksik bilginin rolünün Bayesian strateji açısından da değerlendirilmesi gerektiği sonucu vurgulanmıştır.

Migdalas (2002) çalışmasında varlık fiyatlandırması ve portföy seçimi, finansman ve muhasebe alanlarında oyun teorisinin ve etkili olan modellerinin artan rolüne ilişkin bir bakış açısı oluşturmayı amaçlamıştır. Oyun teorisinde var olan beklenen fayda maksimizasyonu, asimetrik bilgi, Nash ve Bayes dengesi, sinyal oyunları gibi kavramların finans ve muhasebe alanlarında yapılan çok sayıda uygulamalarına kapsamlı bir şekilde değinmiştir. Sonuç olarak araştırmanın, rasyonel davranış varsayımından ziyade davranışsal modellere yönelimin arttığı, kademeli bilgi ve heterojen inançları kullanarak zenginleştirilmiş bir oyun teorik model olmak üzere gelişen iki tip yönünün olduğu çıkarımına varmaktadır.

Deng vd. (2005), çalışmalarında klasik MV modelinin ağırlıklı olarak ortalama getiriye dayanması ve ortalama getiri değerlerinin doğru tahmin edilmesinin güç olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple yeni bir minimaks modeli oluşturmuşlar, riskli varlıkların getirilerinde ağırlıklandırılmış kriterleri maksimize etmeyi amaçlamışlar ve lineer programlama ile çözüm yapmışlardır. En kötü olası evrilme şartlarında optimal portföy seçimi ve denge sorununa değinmişler ve konu ile ilgili çeşitli teorem ve ispatlarına yer vermişlerdir.

Farias vd. (2005), çalışmalarında MV, Ortalama Mutlak Sapma (MAD) ve Minimaks modellerini karşılaştırmışlardır. Brezilya Borsasından seçilen 1999-2003 yıllarına ait 12'şer aylık ayrı veri setlerinde piyasa getirilerini kullanarak oluşturdukları optimal portföyleri kıyaslamışlardır. Minimaks modelin genellikle daha başarılı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ding (2006), çalışmasında maksimum, minimum kriteri altında portföy seçim sorununu incelemiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan programlamadan faydalanarak çözüm için bir algoritma sağlamıştır. Sonrasında çözüm modelini MV ve Young'ın minimaks modeli ile karşılaştırarak farklara ve benzerliklere yer vermiştir.

Chen (2007), çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinde ağırlıkların değerlendirilmesinde geliştirilen çok fazla yaklaşım olduğunu belirtmiş, ağırlıkları birden fazla karar vericiyle iki kişili sıfır toplamli bir oyun olarak formüle ederek elde etmiştir. Çalışmasında kâğıt

endüstrisindeki bir şirketin uygun portföy seçiminde yatırım alternatiflerini değerlendiren çok sayıda karar vericinin olduğu bir oyun modelini uygulamıştır.

Korn & Steffensen (2007), portföy optimizasyonu problemine, yatırımcının rakibi olarak kabul edilen piyasanın çöküş dönemlerini ele alarak oyun teorisini matematiksel bakış açısıyla dahil etmişlerdir. Bu en kötü durum senaryosundaki portföy optimizasyonu problemini Hamilton-Jakobi-Bellman kısmi diferansiyel denklemi ile karakterize ederek sürekli zamanda stokastik diferansiyel oyun modeli olarak görmüşlerdir.

Ferreira vd. (2009) çalışmalarında geçmişteki verileri kullanarak gelecekteki yatırımları tahmin etmek için 1998-2005 yılları arası Brezilya piyasa verilerinden yararlanmışlardır. Beklenen kayıpların risk ölçüsü olarak kabul edildiği karar modelinin analizinde Bayes teoreminden faydalanmışlardır. Portföy seçim problemine finansal piyasalarda kullanımının uygun olduğu sonucuna vardıkları bir model önermişlerdir.

Basak & Chabakauri (2010), MV analizinin özel bir durumuna, zaman tutarsızlığına (kesikli ve sürekli zamanda) oyun teorik yaklaşmışlardır. Eksik bir piyasa ortamında MV optimizasyonu ile dinamik varlık tahsisi problemine riskli hisseler için basit izlenebilir bir çözüm sunmuşlardır. Optimal MV dinamik portföylerin basit, sezgisel ve izlenebilir bir yapıya sahip olduğunu göstermişlerdir.

Yang vd. (2013) çalışmalarında, portföy optimizasyonu problemine işbirlikçi olmayan oyun teorisi perspektifinden bakmışlardır. Optimizasyonu Genelleştirilmiş Nash Denge Problemi (GNEP) olarak modellemişlerdir ve piyasa portföyü ile kıyaslandığında kabul edilebilir bir sonuç elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Björk vd. (2014), çalışmalarında, sürekli zamanda MV portföy optimizasyonunu incelemeyi amaçlamışlardır. Problemi oyun teorik çerçeveye yerleştirerek alt oyun mükemmel Nash denge stratejilerini aramışlardır. Riskten kaçınmanın varlıkla ters orantılı olduğu durumda riskli varlığa yatırılan denge noktası miktarının mevcut varlıkla orantılı olduğu analitik bir çözüm sunmuşlardır.

Trenado vd. (2014) portföy seçiminde kurumsal sosyal sorumluluğu karar alma süreci kriterlerine dahil etmiş ve bir sürdürülebilirlik göstergesi belirlemişlerdir. Doğaya karşı oynanan hedef oyunları olarak geliştirdikleri bir model formüle ederek bu modeli uluslararası piyasalarda test etmişlerdir. Önerdikleri modelin analitik yapısını ayrıntılı olarak çalışmalarında sunmuşlar, belirledikleri amaç ve kısıtlar ile oluşturdukları senaryoda hedef programlama fikrinden yola çıkmışlardır. Sonuç olarak yaklaşımlarındaki modelde kullanılan kriterlerin yatırımcılar açısından anlaşılabilir olması, bunun etkileşimli ve dinamik bir süreç olan yatırım sürecini kolaylaştırabilir oluşu ayrıca modelde bulunan orta büyüklükteki doğrusal programlama (LP) problemlerinin çözümünün hesaplama yükü bakımından hafif olması modelin avantajlı yönlerindedir.

Koçak (2014) çalışmasında Londra borsa verilerini kullanmış, aynı hedeflere sahip fakat farklı risk kapasitelerinde hisse senetleri ile oluşturulan portföy ortaklığı optimizasyonunu oyun teorisi yardımı ile incelemiştir. Oyun teorisi uygulama aşamasında oluşturduğu kazanç matrisini farklı üç uzmana danışarak oluşturmuş, elde edilen optimal kazancı Shapley vektörü kullanarak, risk katsayılarına bağlı kalarak dağıtmıştır.

Wu & Chen (2015) çalışmalarında, riskten kaçınmanın dinamik olarak piyasa durumlarına bağlı olduğu varsayımıyla, yatırımcıların rastgele davranışlarını ortalama varyans (MV) portföy seçim problemi ile birleştirmişlerdir. Bu problemi Nash dengesi çerçevesinde araştırmışlar, denge yatırım stratejisini ve denge fonksiyonunu bir kapalı fonksiyon olarak ifade etmişlerdir.

Özçalık vd. (2016), yaptıkları çalışmada 2011-2015 yılları arasında 5 farklı yatırım aracının aylık getirilerini ele alarak, portföy seçiminde oyun teorisini kullanmışlardır. Yatırımcıların ve piyasanın stratejilerini belirlemişler ve aylara göre verilebilecek optimal kararları getiri matrisleri aracılığıyla belirlemişlerdir.

Tüfekçi & Avşarlıgil (2016) çalışmalarında, oyun teorisi yaklaşımının portföy oluşturma sürecindeki etkinliğini incelemişlerdir. Ocak 1999 – Aralık 2014 tarihleri arasında Borsa İstanbul'da (BİST) işlem gören, işlem hacmi en yüksek ilk 4 bankanın aylık pay senedi fiyatlarını veri seti olarak kullanmışlardır. Oyun teorisi yaklaşımında Maks-Min ve Min-Maks stratejilerini kullanarak yatırım oyununun aylar bazında denge noktasını araştırmışlardır. Yapılan analizde denge çözüm noktası bulunmayan aylarda yapılacak olan yatırım oranları karma tekniklerle belirlenmiştir.

Villena & Reus (2016) çalışmalarında, yatırımcıların oligopolistik piyasalardaki dağılımını belirlemek için ortalama varyans portföy optimizasyonunu ve oyun teorisini birleştirmişler ve yatırımcıların Nash dengesini bularak etkin sınırı yeniden tanımlamışlardır. Ayrıca büyük ve atomik yatırımcıların stratejik davranışlarını oligopol piyasada portföy optimizasyon modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çerçevede etkin sınırın her oyuncu için farklı olduğunu ve kalan yatırımcıların boyutuna ve risk tolerans derecesine bağlı olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca iki varlık ve iki yatırımcı (büyük ve atomik) ile genel modelin basitleştirilmiş bir uygulamasını yapmışlardır. İyi bilinen bir grup ETF (Borsa yatırım fonu) için işlem hacmine bağlı olarak fiyatın değişiklik gösterdiğini uygulamalı olarak kanıtlamışlardır.

Yavuz & Eren (2016) çalışmalarında, günümüzde yatırım araçlarından birçok kişinin takip etmiş olduğu Altın, Euro, Dolar ve BİST100 endeks değerlerini ele alan bir portföy oluşturmuşlardır. İki kişili sıfır toplamlı oyun yaklaşımını kullanarak optimal portföy ve kazanç tespit etmişlerdir. Yatırımcının kazancını maksimize eden portföyü LP ile hesaplamışlar ve sonuçları irdelemişlerdir.

Berilo vd. (2017) çalışmalarında, minimaks optimum portföyü ile piyasa endeksini ve Markowitz MV portföylerinin performanslarını karşılaştırarak analiz etmişlerdir. Sonucun minimaks modeliyle oluşturulan yatırım stratejileri lehine olduğunu gözlemlemişlerdir.

Demirci vd. (2017) çalışmada BİST 100 de işlem gören ve Türkiye'de ilk 100'de yer alan 8 holdingi seçmişler, endeks değerlerini alarak fiyat getiri verilerini analiz etmişlerdir. Yatırım probleminin doğaya karşı oynanan bir oyun olarak görüldüğü çalışmalarında iki kişili sıfır toplamlı oyun teorisi yaklaşımı ile optimal getiriye sahip olan portföy oluşturmuşlardır. Portföy getirilerini oyun teorisi ile hesaplayarak LP ile modellemişlerdir.

Essid vd. (2018) çalışmalarında, game cross-efficiency olarak adlandırılan bir yaklaşımı portföy seçiminde uygulamışlardır. Bu analizde her bir finansal varlık, rekabet eden bir oyuncu olarak görülmüştür. Uygulama olarak 2010-2015 yılları arasında Paris borsasından elde ettikle-



ri verileri kullanmışlar ve oluşturdukları portföyle Paris borsasındaki tüm gösterge portföyleri geride bıraktıkları sonucuna ulaştıklarını belirtmişlerdir.

Tataei vd (2018) çalışmalarında, optimal portföy seçimi modelini işbirlikçi oyun teorisi ile sunmuşlardır. Oyuncuları risk düzeylerine göre beş farklı gruba ayırarak oyuncuların ortaklıklarla pazarı yenmeye çalışacağını varsaymışlardır. Çalışmanın analiz aşamasında önerdikleri portföyün inceledikleri dönemlerin çoğunda genel olarak toplam piyasa endeksine kıyasla daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Acar (2019) çalışmasında borsa, Dolar, Euro, altın, mevduat hesapları ve Bitcoin yatırım araçlarının 2012-2018 geçmiş verilerini kullanarak bir uygulama yapmıştır. Doğaya karşı oynanan sıfır toplamı oyun modelinde optimal portföyleri oluşturmuştur. Varlıkların ağırlıklarını kullanarak beklenen getirilerini hesaplanmış, MV modeline göre ise varlıkların kovaryanslarını dikkate alarak portföy riskini hesaplamıştır. Elde ettiği portföylerin görece performanslarını Değişim Katsayısı ve Sharpe oranı ölçütleriyle değerlendirmiş, yatırım kararı ve portföy seçiminde yararlı alternatif bir model önerisinde bulunmuştur.

Lamparielloa vd. (2020) çalışmalarında portföy optimizasyonunda ortaya çıkan Nash oyununu incelemişlerdir. Temel Nash oyununun monotonluğu için yeterli koşulları belirtmişlerdir. Hiyerarşik denge seçim probleminde Tikhonov benzeri bir algoritma sunmuşlardır. Çoklu portföy modeli tanıtılarak, Dow Jones borsası ve Euro Stoxx 50 pay senedi piyasasına ait endeksler ve varlıklar üzerinde önerdikleri modelin bir uygulamasını yapmışlardır.

İbrahim vd. (2020) çalışmalarında Malezya genel seçiminden önce ve sonra portföyler oluşturarak genel seçimlerin yatırım üzerindeki etkisini araştırmışlar, politik bir değişiklikte oyun teorisi yaklaşımı kullanılarak sektörel bir portföy modeli önermişlerdir. FBMKLCI'dan (Malezya borsası) seçilen farklı sektörlerdeki pay senetlerinin günlük kapanış fiyatı verilerini kullanarak, işbirlikçi oyun teorisi yardımıyla siyasi değişimlerin piyasada etkili olduğunu kanıtladıklarını ifade etmişlerdir.

Bu aşamadan sonra ilgili literatürde yer alan ve çalışma kapsamında incelenen makaleler Tablo 1'de özet olarak sunulmuştur.

**Tablo 1: Oyun Teorisi ile Pay Senedi Portföy Optimizasyonu Makaleleri**

<b>Araştırmacı</b>	<b>Veri-Yöntem</b>	<b>Açıklama</b>
Bell & Cover (1988)	İki kişili sıfır toplamı oyunlarda Fi fonksiyonu- Logaritmik optimal portföy	En iyi portföy için gerekli optimizasyon koşullarını göstermişlerdir.
Sengupta (1989)	Sıfır toplamı oyun-sıfır toplamı olmayan oyun-eksik bilgili oyunlar-maksimin	Oyun doğaya karşı oynanan bir yatırım problemi olarak ele alınabilir.
Migdalas (2002)	Nash ve Bayes dengesi, sinyalli oyunlar kavramlarına değinen finansal çalışmalara yer vermiş	Rasyonel davranıştan ziyade davranışsal modelleme-inanç ve bilgi temelinde iki tip oyun modeli varlığına değinmişlerdir.

**Tablo 1 devam**

<b>Araştırmacı</b>	<b>Veri-Yöntem</b>	<b>Açıklama</b>
Deng (2005)	Markovitz modelinde, kesin bilinmeyen ortalamaya dayandırılması sorunu üzerine Minimaks modeli çalışılmıştır.	Optimal minimaks portföyü analitik olarak sunmuştur.
Farias vd. (2005)	Brezilya borsasında uygulama (1999-2003); MV-MAD-Minimaks,	Minimaks modelinin daha başarılı olduğu sunucuna ulaşımlardır.
Ding (2006)	LP- doğrusal olmayan programlama- Young'ın minmaks modeli-MV teorik bahsedilmiştir.	Portföy optimizasyonunda uygulanan modeller kıyaslanmıştır.
Chen (2007)	Kâğıt endüstrisinde uygulama; ÇKKV-İki kişili sıfır toplamlı oyun,	ÇKKV de grup oyunu bilgisayar programı tarafından kodlanabilir önerisinde bulunmuşlardır.
Korn-Steffensen (2007)	En kötü durum senaryosunda oyun teorisi modeli, Hamilton- Jacobi-Bellman kısmi diferansiyel denklemi-teorik ele almış	Aşırı riskin bulunduğu, en kötü durumlarda uygulanabilecek bir karar modeli önermişlerdir.
Ferreira vd. (2009)	Brezilya finans piyasasına uyg. (1998-2005); Karar teorisi modeli, Bayes teoremi	Finansal piyasalarda kullanımı uygun olan bir model önerisinde bulunmuşlardır.
Basak & Chabakauri (2010)	Markov süreci- MV portföy optimizasyonu- kesikli ve sürekli zamanda oyun teorik yaklaşım	Hamilton-Jacobi-Bellman denkleminin bir uzantısını türetmişler, riskli hisselerde MV için çözüm sunmuşlardır.
Yang vd. (2013)	İş birliği olmayan oyun teorisi- Genelleştirilmiş Nash dengesi, teorem ispatları ve algoritmalara yer verilmiştir	Nash denge problemi modelleyerek genelleştirmişlerdir.
Björk vd. (2014)	Markovitz modeli- mükemmel Nash dengesi- Hamilton-Jacobi-Bellman denklemleri, teorik açıdan incelenmiştir	Riskli varlığa yatırılan denge miktarının mevcut varlıkla orantılı olduğu analitik bir çözüm sunmuşlardır.
Trenado vd. (2014)	Uluslararası pay senedi piyasalarda uygulama; Oyun teorisi- Hedef programlama- Hedef Oyunlar- LP,	Önerdikleri modelin yatırım sürecini kolaylaştırabileceğinden bahsetmişlerdir.
Koçak (2014)	Londra borsasında uygulama; Doğaya karşı oyun, Shapley, Koalisyon oyunları.	Shapley vektörü ile koalisyon oyunlarına çözüm önerilmiştir.
Wu-Chen (2015)	MV, Nash dengesi, teorem ve ispatlara yer verilmiştir.	Denge yatırım stratejisini kapalı fonksiyon olarak ifade etmişlerdir.
Özçalık vd. (2016)	Borsa, altın, dolar, Euro, faiz yatırım araçları (2011-2015); LP.	Optimal yatırım kararını veren stratejileri aylık olarak belirlemişlerdir.

**Tablo 1 devam**

<b>Araştırmacı</b>	<b>Veri-Yöntem</b>	<b>Açıklama</b>
Tüfekçi & Avcı (2016)	BİST'te uygulama (1999-2014); Maksimin- Minmaks,	Çalışmalarında Oyun Teorisi etkin sonuç vermemiştir.
Villena & Reus (2016)	Borsa yatırım fonunda Büyük/atomik yatırımcı uyg.; Nash dengesi, MV- etkin sınır- Büyük oyuncu stratejik davranışları.	Etkin sınırının her oyuncu için farklı olduğunu gözlemleyerek, modelin atomik oyuncu sürü davranışlarında da kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.
Yavuz-Eren (2016)	Altın-Euro-Dolar-BİST100 getirileri; İki kişili sıfır toplamı oyun, LP	Oyun teorisi uygulamaları maddi gelirleri etkin ve verimli kullanabilmeyi sağlar sonucuna ulaşmışlardır.
Berilo vd. (2017)	Avrupa sermaye piyasası, Euro Stoxx 50 (2004-2015); MV- Minimaks portföyleri	Endeks ile portföy modellerinden minimaks daha başarılı bulunmuştur.
Demirci vd. (2017)	BİST100 de uyg.; Doğaya karşı oyun- İki kişili sıfır toplamı oyun-LP.	Her bir dönem için optimal çözüme ulaştıran pay senetlerini belirlemiştir.
Essid vd. (2018)	Paris borsasında uyg. (2010-2015); Game cross-efficiency,	Oluşturdukları portföy gösterge değerlerden başarılı bulunmuştur.
Tatei vd. (2018)	İşbirlikçi oyun, Treynor ve Sharpe rasyoları	İnceledikleri çoğu dönemde başarılı sonuca ulaşılmıştır.
Acar (2019)	6 yatırım aracı ile uyg. (2012-2018); MV- Minimaks- Doğaya karşı oyun-LP-Sharpe oranı- Değişim katsayısı.	Portföy seçimine yararlı ve verimli bir alternatif model önerisinde bulunulmuştur.
Lamparielloa vd. (2020)	Dow Jones ve Euro Stoxx 50 uyg.; Nash dengesi, Çoklu portföy modeli için denge,	Çoklu Nash dengesinde denge seçim modeli önermişlerdir.
Ibrahim vd. (2020)	Malezya borsasında uygulama; İşbirlikçi oyun	Siyasi değişimin olduğu ortamda portföy optimizasyonuna oyun modeli önermişlerdir.

İlgili literatürde, oyun teorisi üzerine yayınlanan makaleler binleri, pay senedi temelinde portföy optimizasyonu üzerine yayınlanan makaleler ise on binleri bulduğu bilinmektedir. Tablo 1 ve literatür özetinden de görüldüğü üzere, birlikte bu her iki konuyu dikkate alan makalelere özellikle son yıllarda rastlanmış olup makale sayısı da oldukça az kabul edilebilir. Son yıllarda konuya verilen Nobel ödülleri de dikkate alındığında bu alanda yapılacak çalışmaların önemini koruduğu ve arttırdığı düşünülmüştür. Bu çalışmalardan çoğu sadece pay senedi üzerinde yoğunlaşırken, bir kısmı döviz kuru, altın, kripto para vb. yatırım araçlarını da portföye dahil ettiği gözlenmiştir. Bu çalışmaların yine çoğunluğu temel oyun modellerini (özellikle minimaks/maksimin) portföy optimizasyonunda kullanırken, Hamilton-Jacobi-Bellman (HJB) denklemleri, ÇKKV, işbirlikçi oyun gibi yaklaşımların da modellemelere dahil edildiği göz-

lenmiştir. Ayrıca modellemelerde, Markowitz MV yaklaşımı çerçevesinde portföy oluşturma kriterlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. İlgili oyun modellerinin /problemlerinin çözümlenmesinde, başta LP olmak üzere, hedef programlama gibi yöneylem tekniklerini kullanan çalışma sayısı da oldukça fazladır. Minimaks/maksimin çözümlerinde de LP kullanıldığı bilinmektedir.

## **Oyun Teorisi ile Pay Senedi Portföy Optimizasyonu Hakkındaki Tezler**

Ulusal tez merkezi incelendiğinde son 20 yılda, oyun teorisinin ele alındığı yaklaşık 119 lisansüstü çalışmaya rastlanılmış olup bu çalışmalar biyoistatistik, ekonometri, ekonomi, felsefe, matematik, mühendislik, psikoloji, savunma teknolojileri, siyasal bilimler, tarım gibi birçok alana uyarlanmış şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmalar arasından pay senedi seçimi veya portföy optimizasyonu konularına oyun teorisi yaklaşımını dahil eden başlıca 15 lisansüstü çalışmaya rastlanılmış olup bunlardan 4 tanesi doktora, 11 tanesi yüksek lisans tez çalışmasıdır. Çalışmanın kısıtları dahilinde incelenen başlıca lisansüstü tez çalışmalarına ait içeriklere aşağıda kısaca yer verilmiştir.

Veysoğlu (2002) doktora tez çalışmasında BİST’te tam bilgili ve eksik bilgili durumlar da nasıl davranılması gerektiğini incelemiş, yapay sinir ağları modellemesinin oyuncuların pay senetleri hakkındaki değerlendirme mekanizmalarının tahmininde nasıl kullanılabileceğini göstermiştir. Pay senetlerinin risk-fiyat tahminleri için kullanılacak listeleri sunmuştur.

Özkök (2009) doktora tez çalışmasında BİST-30 da işlem gören pay senetleri ile portföy oluşturmuş ve portföy seçim problemine yeni bir model önermiştir. Ayrıca doğaya karşı sıfır toplamlı oyun oynayan oyuncuların ortaklıklar kurarak elde ettikleri kazancı arttırdıklarını göstermişlerdir. Farklı risk gruplarında, oyuncuların elde ettikleri ortak kazancı Shapley vektörü kullanılarak paylaşmıştır.

Ayrıca İspanyolca uluslararası bir teze rastlanmıştır. Trenado (2014), hazırladığı tez çalışmasında çeşitli kriterleri doğaya karşı oynanan bir oyun modeline dâhil etmiş ve teorik modeli gerçek 20 firmaya ait finansal verilerle uygulamıştır. Daha sonra bir dizi çevresel ve sosyal gösterge verilerini kullanarak çok kriterli optimizasyon teknikleri yardımıyla bir endeks elde etmiş ve bu endeksi de modeline dahil ederek modelini geliştirmiştir.

Avşarlıgil (2017) doktora tez çalışmasında belirlediği 8 yatırım aracını kullanarak maksmin yaklaşımıyla denge çözümüne ulaşamamış, klasik LP, Konno-Yamazaki LP ve Verdegay bulanık LP teknikleri kullanarak optimal portföyler belirlemiştir. Bu teknikleri ile elde ettiği sonuçları kıyaslamıştır.

Duman (2004) yüksek lisans tezinde BİST’te yatırımcının portföy oluşturma amacı için sektörlerin rekabetini incelemeyi amaçlamıştır. Sıfır toplamlı oyun modeliyle borsanın sektörel analizini yapmıştır. Doğan (2009) yüksek lisans tez çalışmasında, farklı risk gruplarındaki yatırımcılar için 5 farklı yatırım aracı kullanarak oyunun farklı modellerde çözümünü lineer programlama ile yapmıştır. Portföy yelpazesinin genişletilmesiyle daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceği sonucuna varmıştır. Öner (2010) yüksek lisans tezinde BİST’te iki kişili sıfır toplamlı oyun modelini portföy oluşturma probleminde kullanmıştır. Yürüten (2010) yüksek lisans tez çalışmasında çeşitli finansal piyasa araçları kullanarak, iki kişili sıfır toplamlı oyun modeliyle optimal getiriye sahip portföyü tespit etmeyi amaçlamıştır.

Gedikoğlu (2012) yüksek lisans tez çalışmasında 2001-2010 aralığında BİST'te pay senetleri sektör endeks verilerinden yararlanarak iki kişili sıfır toplamı bir oyun modeli kurgulamış LP ile analizi sonucunda hangi sektöre ne oranda yatırım yapılması gerektiğine dair fikir vermeyi amaçlamıştır.

İpek (2019) yüksek lisans tez çalışmasında piyasaya karşı oynanan iki kişili bir oyun modelini BİST-30 endeks hisselerine ait 2008-2017 verileri üzerinde uygulamıştır. Oyun teorisi ile aylar bazında portföyler oluşturularak getiri değerlerine ulaşmış, bu değerleri Modern Portföy Teorisi için beklenen getiri olarak kullanmış, aylar bazında portföyler oluşturmuş ve elde edilen portföy bileşimlerini, seçilebilecek hisse senetlerine eşit yatırım yapılması durumu ve BİST-30 endeksine yatırım yapılması durumu ile karşılaştırmıştır.

Tez çalışmaları incelendiğinde, çalışmaların çoğunda BİST verileri kullanılarak uygulamalar yapıldığı, oyunun yatırımcı ile piyasa (doğa) arasında oynanan iki kişili, sıfır toplamı bir oyun olarak modellendiği ve çözüm yöntemleri arasında klasik LP'nın yer aldığı görülmüştür.

### **Diğer Alanlarda Oyun Teorisi ile Portföy Optimizasyonu Çalışmaları**

Sadeghi & Zandieh (2011) çalışmalarında rekabetçi bir pazarda etkili bir ürün portföy yönetimi yapılabilmesi için oyun teorik bir model belirlemişlerdir. Sundukları bu matematiksel modelde problemi tam bilgili, iki kişili, işbirlikçi olmayan bir oyun olarak formüle etmişlerdir ve modelin uygulanabilirliğini iki rakip ve dört farklı ürünle oluşturulan bir pazarda, sayısal bir örnekle göstermişlerdir. Geliştirilen modelin birkaç etkene bağlı olarak belirlendiğini, gelecek çalışmalarda optimizasyon probleminin farklı özelliklere odaklanarak da geliştirilebileceği önermektedirler. Benzer şekilde Liu vd. (2015), Goswami vd. (2016), Sadeghian vd. (2020) ürün portföy yönetimi konusunda çalışmalar yapmışlar ve çalışmalarına oyun teorik yaklaşımı da dahil etmişlerdir.

Liao & Li (2014) çalışmalarında bilgisayar ve mobil cihazlar üzerinde optimum veri portföyünü sağlamak için oyun teorik bir çerçevede modelleme yapmışlardır, Cadre vd. (2015) çalışmalarında rüzgar çiftliklerine ait portföyü optimize etmek için sinyalli oyunlardan yararlanarak bir model önermişlerdir. Guan & Liang (2016) Nash denge portföy oyununu emeklilik fonlarında uygulamışlardır, Fu (2017) çoklu portföy optimizasyonuna bilgi havuzu oyunu önerisinde bulunmuş, Garivaltis (2019) matematik alanındaki çalışmasında sürekli zamanda oyun teorik optimal portföylerden bahsetmiştir. Yurynets vd. (2020) ise sigorta portföyü optimizasyonu için oyun teorisi yaklaşımından yararlanmışlardır.

Pay senedi temelinde portföy optimizasyonu dışında kalan oyun teorisi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalarda daha çok pazarlama veya ürün portföyü üzerine yapıldığı görülmüştür. Ayrıca, emeklilik fonları, sigorta, bilgisayar/mobil cihazlar, rüzgâr çiftlikleri vb. farklı alanlarda oyun ile portföy optimizasyon çalışmalarına rastlanmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların analizinde de genelde LP kullanımı gözlenmiştir.

## **6. Sonuç ve Öneriler**

Bu çalışmada, oyun teorisi yaklaşımının kullanıldığı ulusal/uluslararası literatüre ait pay senedi ile portföy optimizasyonu çalışmalarının, özellikle amaç/yöntem açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu anlamda, portföy ile oyun teorisi temelinde,

özellikle bu iki konuyu birlikte araştıran çalışmalar incelenmiş /değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, oyun teorisi ile pay senedi temelinde portföy optimizasyonu üzerine yayınlanan makaleler konular ayrı ayrı düşünüldüğünde on binleri bulurken, birlikte her iki konuyu dikkate alanlar özellikle son yıllarda olup makale sayısı oldukça az kabul edilebilir. Bu durum, ilgili alanda yapılacak çalışmaların önemini arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu alanda yazılan ulusal tezlerin de özellikle son on yıl içinde olduğu dikkat çekicidir.

İlgili literatürdeki çalışmalardan çoğu sadece pay senedi üzerinde yoğunlaşırken, bir kısmının döviz kuru, altın, kripto para vb. yatırım araçlarını da portföye dahil ettiği gözlenmiştir. Yine çalışmaların çoğunluğu özellikle minimaks/maksimin temelinde oyun modellerini portföy optimizasyonunda kullanırken, Hamilton–Jacobi–Bellman denklemleri, ÇKKV, işbirlikçi oyun gibi yaklaşımların da modellenmelere dahil edildiği gözlenmiştir. Ayrıca modellenmelerde, Markowitz MV yaklaşımı çerçevesinde portföy oluşturma kriterlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. İlgili oyun modellerinin /problemlerinin çözülmesinde, başta doğrusal programlama olmak üzere, hedef programlama gibi yöneylem tekniklerini kullanan çalışma sayısı da oldukça fazladır.

Ayrıca, kısıtlı sayıda da olsa oyun modelleri ile portföy oluşturma çalışmalarının birlikte kullanıldığı, emeklilik fonları, sigorta, ürün, bilgisayar/mobil cihazlar, rüzgâr çiftlikleri vb alanlarda da portföy optimizasyon çalışmalarına da rastlanmıştır. Portföy optimizasyonu problemi, önemini yıllardır kaybetmeyen ve hala kesin çözümü bulunmayan bir konu olup, ilgili literatür incelendiğinde, bu alanda oyun modelleri ile yapılacak veya hibrit olarak oyun modeli kullanarak yapılacak çalışmaların çözüme katkıda bulunabileceğine ve önünün açık olduğuna dair bir gösterge olarak kabul edilebilir.

## Kaynakça

- Acar, E. (2019). Oyun teorisi ile bireysel yatırım kararı: Minimax yaklaşımıyla portföy optimizasyonu. *International Social Sciences Studies Journal*, 5(34), 2286-2297.
- Aumann, R. J. (1987). *Game theory in the new palgrave a dictionary of economics*. New York: Stockton.
- Aumann, R. J. & Maschler, M. (1985). Game theoretic analysis of a bankruptcy problem from the Talmud. *J. of Economic Theory*, 36 (2), 195-213.
- Avşarlıgil, N. (2017). Portföy seçiminde oyun teorisi ve alternatif çözüm yaklaşımları üzerine bir model önerisi (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Basak, S. & Chabakauri, G. (2010). Dynamic mean-variance asset allocation. *The Review of Financial Studies*, 23(8), 2970–3016.
- Bell, R. & Cover, T. M. (1988). Game-theoretic optimal portfolios. *Management Science*, 34(6), 724-733.
- Berilo, A. A., Zaimović, A. & Šikalo, M. (2017). Efficiency of the minmax portfolio on the European capital market - Can we beat the market? *Journal of Business Economics and Finance*, 6(3), 78-87.
- Björk, T., Murgoci, A. & Zhou, X. Y. (2014). Mean-variance portfolio optimization with state-dependent risk aversion. *Mathematical Finance*, 24(1), 1-24.
- Cadrea, H., Papavasiliou, A. & Smeers, Y. (2015). Wind farm portfolio optimization under network capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, 247, 560–574.
- Ceylan, A. & Korkmaz, T. (1998). *Borsada uygulamalı portföy yönetimi*. 3. Baskı, Bursa: Ekin Kitabevi.

- Chen, Y. W. (2007). A group game of multiple attribute decision making. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 14 (5), 631-645.
- Cinemre, N. (2011). Yöneylem araştırması. 2. Baskı, İstanbul: Evrim Yay.
- Demirci, M., Şahinkul, V. & Eren, T. (2017). Oyun teorisi yaklaşımı ile portföy yönetimi optimizasyonu hisse yatırım uygulaması. *Bankacılık ve Finansal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 21-37.
- Deng, X. T., Li, Z. F. & Wang, S. Y. (2005). A minimax portfolio selection strategy with equilibrium. *E. J. of Operational Research*, 166, 278-292.
- Ding, Y. (2006). Portfolio selection under maximum minimum criterion. *Quality & Quantity*, 40, 457-468.
- Doğan, O. (2009). Oyun teoremi ve bir finansal portföy seçimi uygulaması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Duman, S. (2004). Finansal piyasalarda ekonomik sorunların çözümünde oyun kuramı ile bir uygulama (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Esmaceli, M., Aryanezhad M. B. & Zeepongsekul P. (2009). A game theory approach in seller-buyer supply chain. *European Journal of Operational Research*, 195, 442-448.
- Essid, H., Ganouati, J. & Vigeant, S. (2018) A mean-maverick game cross- efficiency approach to portfolio selection: An application to Paris stock Exchange. *Expert Systems With Applications*, 113, 161-185.
- Farias, C. A., Vieira, W. C. & Santos, M. L. (2006). Portfolio selection models: Comparative analysis and applications to the Brazilian stock market. *Revista de Economia e Agronegócio*, 4(3), 387-407.
- Ferreira, R. J. P., Almeida Filho, A. T. & Souza, F. M. C. (2009). A decision model for portfolio selection. *Pesquisa Operacional*, 29(2), 403-417.
- Fu, J. (2017). Information pooling game in multi-portfolio optimization. *Contributions to Game Theory and Management*, 10, 27-41.
- Garivaltis, A. (2019). Game-theoretic optimal portfolios in continuous time. *Economic Theory Bulletin*, 7, 235-243.
- Gedikoğlu, Z. A. (2012). İMKB’de sektörel yatırımın oyun teorisi ile analizi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Geçkil, I. K. & Anderson, P. L. (2010). *Applied game theory and strategic behavior*. USA: Chapman & Hall/CRC Taylor & Francis Group.
- Goswami, M., Pratap. S. & Kumar, S. K. (2016). An integrated Bayesian-game theoretic approach for product portfolio planning of a multi-attributed product in a duopolistic market. *International Journal of Production Research*, 54(23), 6997-7013.
- Guan, G. & Liang, Z. (2016). A stochastic Nash equilibrium portfolio game between two DC pension funds. *Insurance: Mathematics and Economics*, 70, 237-244.
- Güler Özçalık, S., Cengiz, S. & Baş, A. (2016). Bir finansal yatırım aracının oyun teoremi ile seçimi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(36), 331-345.
- Ibrahim, M. A. R., Hee, P. C., Islam, M. A. & Bahaludin, H. (2020). Cooperative game theory approach for portfolio sectoral selection before and after Malaysia general elections: GE13 versus GE14. *Saudi Journal of Economics and Finance*, 4(8), 390-398.
- İpek, A. (2019). Oyun teorisine dayalı Markowitz portföy optimizasyonu: BİST-30 üzerine bir uygulama (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kelly, A. (2003). *Decision making using game theory an introduction for managers*. United Kingdom: Cambridge University Press.

- Koçak, H. (2014). Canonical coalition game theory for optimal portfolio selection. *Asian Economic and Financial Review*, 4(9), 1254-1259.
- Korn, R. & Steffensen, M. (2007) On worst-case portfolio optimization. *SIAM J. Control Optim.*, 46(6), 2013-2030.
- Kuhn, H. W. (1953). Extensive games and the problem of information. In H.W. Kuhn & A. W. Tucker (Eds.), *Contributions to the theory of games, volume II (Annals of Mathematics Studies,28)* (pp193-216), Princeton: Princeton university press.
- Lampariello, L., Neumann, C., Ricci, J. M., Sagratella, S. & Stein, O. (2020). Equilibrium selection for multi-portfolio optimization. Erişim Tarihi: 18.02.2020, [http://www.optimization-online.org/DB\\_HTML/2020/01/7585.html](http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2020/01/7585.html).
- Liao, Q. & Li, Z. (2014). Portfolio optimization of computer and mobile botnets. *Int. J. Inf. Secur.*, 13, 1-14.
- Liu, X., Du, G. & Xia, Y. (2015). A stackelberg game theoretic approach to competitive product portfolio management. 12th Int. Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management, Luoyang, 1-7.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The J. of Finance*, 7(1), 77-91.
- Migdalas, A. (2002). Applications of game theory in finance and managerial accounting. *Operational Research*, 2(2), 209-241.
- Nash, F. J. (1950a). Bargaining problem. *Econometrica*, 18(2), 155-162.
- Nash, F. J. (1950b). Equilibrium points in N-person games. *Proceedings of the National Academy of the United States of America*, 36(1), 48-49.
- Nash, F. J. (1951a). Non-cooperative games. *Annals of Mathematics*, 54(2), 286-295.
- Nash, F. J. (1951b). Two Person Cooperative Games. *Econometrica*, 21(1), 128-140.
- Neumann, V. J. & Morgenstern O. (1944). *Theory of games and economic behavior*. New Jersey, ABD: Princeton University Press.
- Öner, U. T. (2010). Hisse senetlerinin minimum risk ile maksimum getirili portföyünün oyun kuramı ile oluşturulması (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Özkök, B. (2009). Doğaya karşı oynanan oyuncuların ortaklıklarla ödemelerini arttırmaları ve portföy seçimi problemine bir uygulama (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Pekkaya, M. (2011). ARFIMA ve FIGARCH yöntemlerinin Markowitz ortalama varyans portföy optimizasyonunda kullanılması: İMKB-30 endeks hisseleri üzerine bir uygulama (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Perea, A. (2012). *Epistemic game theory reasoning and choice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rehman, T. & Romero, C. (2006). Formulating generalised goal games against nature: An illustration from decision-making under uncertainty in agriculture. *Applied Mathematics and Computation*, 175, 486-496.
- Sadeghian, R., Esmaili, M. & Ebrahimi, M. (2020). Two-player continuous game theory for product portfolio management in a competitive manufacturing market. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 31(3), 387-396.
- Sadeghi, A. & Zandieh, M. (2011). A game theory-based model for product portfolio management in a competitive market. *Expert Systems with Applications*, 38, 7919-7923.
- Sengupta, J. K. (1989). Portfolio decisions as games. *Int.J. Systems Sci.*, 20(8), 1323-1334.



- Şahin, A. & Miran B. (2010). Risk koşullarında tarım işletmelerinin planlanması: Oyun teorisi yaklaşımı. *Hayvansal Üretim*, 51(1), 31-39.
- Tataei, P., Roudposhti, F. R., Nikoumaram, H. & Hafezolkotob, A. (2018). Outperforming the market portfolio using coalitional game theory approach. *Dama International Journal of Researchers*, 3(5), 145-155.
- Trenado, M. (2014). Selección de una cartera de acciones bajo criterios de sostenibilidad medioambiental empleando técnicas de decisión multicriterio (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Unv. Politécnica de Madrid.
- Trenado, M., Romero M., Cuadrado, M. L. & Romero C. (2014). Corporate social responsibility in portfolio selection: A “goal games” against nature approach. *Computers & Industrial Engineering*, 75, 260-265.
- Tüfekçi, Ö. K. & Avşarlıgil, N. (2016). Optimal portfolio theory and game theory approach: A study on BİST. *Journal of Strategic Research in Social Science*, 2(4), 41-64.
- Veysoğlu, A. N. (2002). Oyun teorisiyle modellenen borsalarda portföy optimizasyonu (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Villena, M. J. & Reus, L. (2016). On the strategic behavior of large investors: A mean-variance portfolio approach. *European Journal of Operational Research*, 254, 679-688.
- Walker, P. (2005). Chronology of gametheory. Erişim Tarihi: 18.06.2020 <http://competitionandappropriation.com/wp-content/uploads/2017/08/HistoryGameTheory.pdf>.
- Wu, H. & Chen, H. (2015). Nash equilibrium strategy for a multi-period mean-variance portfolio selection problem with regime switch. *Economic Modelling*, 46, 79-90.
- Yang, Y., Rubio, F., Scutari, G. & Palomar, D. P. (2013). Multi-portfolio optimization: A potential game approach. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61(22), 5590-5602.
- Yavuz, M. & Eren, T. (2016). Finansal araçların oyun teorisiyle analiz edilmesi. *Bartın Üniversitesi İ.İ.B.F. Dergisi*, 7(13), 122-139.
- Yurynets, R., Yurynets, Z., Myshchyshyn, I., Zhyhaylo, N. & Pekhnyk, A. (2020). Optimal strategy for the development of insurance business structures in a competitive environment. *MoMLeT+DS*, Erişim Tarihi: 18.06.2020, <http://ceur-ws.org/Vol-2631/paper7.pdf>.
- Yürüten, S. (2010). Sıfır toplamı iki kişili oyun modeli yaklaşımı ile finansal piyasaların incelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

## EXTENDED SUMMARY

### Research Questions & Purpose

For centuries, the principle of not putting eggs in the same basket has been mentioned, and portfolio optimization has been a topic of interest in business and scientific studies. Many model proposals and theories have been developed on modern portfolio optimization, especially Markowitz, but the fact that a complete/definitive solution has not been reached keeps the interest in studies on this problem up-to-date. In our study, the selection of stocks in which there is a competitive environment has been seen as one of the popular fields in which the game theory model is used. For example, 107 million reaches can be reached in which the words -portfolio optimization- are used together in the search engine Google, while international scientific studies in Google scholar, 3.26 million with the word -portfolio- and 3.73 million with the words -game theory-. In this case, it has been accepted as an indication that portfolio optimization and game theory topics are quite popular and preferred scientifically. Markowitz's contribution to portfolio selection in 1990, and Harsanyi-Nash-Selton in 1994 for his contributions to game theory, Aumann-Thomas in 2005, Hurwics-Maskin-Myeron in 2007, won Nobel prizes. It is an indication of the importance given to researches on both current and related subjects. These indicators have been the motivation and starting point of the study.

The study aims to evaluate national/international literature studies at stock portfolio optimization in which the game theory approach is used, especially in terms of purpose/method, and to present the results to researchers/decision-makers.

### Literature Review

Articles published on game theory and portfolio optimization based on stocks are mainly observed in 1980s (Bell & Cover, 1988; Sengupta, 1989), their numbers are increased after the 2000s. While most of these studies use basic game models (especially minimax/maximin), it is observed that approaches such as MCDM, cooperative games, etc. in portfolio optimization are also included in the models, and the Markowitz approach was hybridized in portfolio creation. It is observed that related game problems are solved through operations techniques such as linear programming, goal programming.

### Methodology

Among the tens of thousands of studies reached, those with close to the subject were eliminated first from the search page and then from the summary contents, and it was decided to consider 300 of them for the study. In this decision-making process, studies that address portfolio and game theory together are selected. Then, major studies that deal with stock optimization and game theory, which are especially compatible with the subject framework, are evaluated. What is meant by major studies is desired to be published in journals relatively high impact factor. In general, there are a very limited number of articles, such as 26 published in the last twenty years, which has been accepted as a promising indicator of the field. And, 15 postgraduate thesis studies, have been evaluated in this field. All of these studies in the relevant literature are analyzed in terms of data, method, and findings/results.

## **Results and Conclusions**

While the articles published on game theory and portfolio optimization on stocks reach ten-thousands when the subjects are considered separately, the number of articles that take into account both issues together are especially in recent years. This situation has been interpreted as an increasing importance. It is noteworthy that there are national theses written in this field especially in the last ten years.

While most of the studies in the relevant literature focus only on stocks, some of them are based on exchange rate, gold, cryptocurrency, etc. While most of the studies use game models in portfolio optimization, approaches such as Hamilton-Jacobi-Bellman equations, MCDM, or collaborative games are also included in the models. And, portfolio creation criteria are widely used in modeling within the framework of Markowitz approach. The number of studies using operations techniques such as linear programming and goal programming in solving related game models/problems is also quite high.

Also, portfolio optimization studies have been encountered in areas such as pension funds, insurance, products, computer/mobile devices, wind farms, etc., where game models and portfolio creation activities are used together, albeit in a limited number. Portfolio optimization problem is a subject that has not lost its importance for years and still has no definite solution, and when the relevant literature is examined, it can be accepted as an indication that the studies to be made with game models or using a game model as a hybrid can contribute to the solution and that open to research into the future.