

Multi-Teorik Portföy Optimizasyonu: Oyun Teorisi ile Bir Uygulama

Volkan ACAR¹

Seyfettin ÜNAL²

¹Yüksek lisans öğrencisi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme-Finans, volkan_acar@windowslive.com, ORCID: 0000-0002-5036-860X

²Prof. Dr., Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, seyfettin.unal@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6248-4317

Özet: Bir asırdır finansın en temel sorunlarından biri olan menkul kıymetlerin alım ve satım konusu pek çok çalışmada incelenmiştir. Finansal varlık yatırımlarında mümkün olan en düşük risk ile en yüksek getiriyi elde etme çabası güdülmüştür. Bunu sağlamanın en iyi yolu olarak çeşitlendirme yöntemine başvurulmuş ve optimum portföy kavramı geliştirilmiştir. Optimum portföye ulaşılabilir bağlamında, finansal enstrümanların ne zaman ve ne oranda portföye dâhil edilmesi gerektiğinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Oyun teorisi, oyuncuların kararları arasında etkileşim kurarak verilebilecek en iyi kararları belirlemek üzere geliştirilmiş matematiksel bir modeldir. Çalışmada yatırımcının diğer tüm yatırımcıları temsil eden borsaya karşı oynadığı bir oyun modellenmiştir. Borsa İstanbul'dan seçilen ve 2013-2021 yılları arasında her ay sürekli işlem görmüş, işlem hacmi en yüksek 100 hisse senedinden hangilerinin ne zaman ve ne oranda portföye dâhil etmesi gerektiği minimax yaklaşımıyla simpleks algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Ulaşılan aylık portföylerin Sharpe oranları hesaplanarak; BİST-100 endeksi, Altın, Dolar ve Euro'nun Sharpe oranları ile karşılaştırılmıştır. Ulaşılan bulgular, oyun teorisi ile oluşturulan portföylerin diğer alternatif yatırım araçlarından daha iyi performans gösterdiği sonucunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Oyun Teorisi, Portföy Optimizasyonu, Simpleks Algoritması

Multi-Theoretical Portfolio Optimization: A Game Theory Application

Abstract: Having been one of the most fundamental problems of finance for the last century, the issue of trading financial securities has been examined in numerous studies. In financial asset investments, it has been aimed to reach the highest possible return for a given degree (preferably with the lowest) of risk. In order to reach this goal, portfolio diversification is applied and the optimal portfolio concept was developed. The construction of the optimal portfolio necessitates the decision process of when and to what extent financial instruments should be included in the portfolio.

Game theory is a mathematical model developed to determine the best decisions that can be made by interacting between players' decisions. This study models a game in which the investor plays against the stock market, which represents all other investors. 100 stocks with the highest trading volume and continuous trading every month between 2013 and 2021 in Borsa İstanbul are included in the model. Running calculations by using the simplex algorithm with the minimax approach, the purpose of the model is to provide decisions on which stocks, when and in what portion should be included in the portfolio. Computing the Sharpe ratios of the monthly portfolios reached through the model are compared to those of BIST-100 Index, Gold, Dollar and Euro. The results reveal that the constructed portfolios perform better than other alternative instruments.

Key Words: Game Theory, Portfolio Optimization, Simplex Algorithm

1. GİRİŞ

Yatırımcılar optimum portföyü belirleyebilmek için önceleri çeşitlendirme yoluna gitmişler, ne kadar çok finansal enstrüman o kadar az risk anlayışıyla portföyler oluşturmuşlardır. Daha sonraları bu "rastgele" çeşitlendirme, yerini hisse senetlerinin getirileri ve riskleri ile olan etkileşimlerine bırakmış, çeşitlendirme yapabilmek için matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modeller genellikle geçmiş verileri baz almakta ve yatırımcı adına karar almayı amaçlamaktadır. Bir başka ifadeyle, yatırımcının karşısındaki piyasanın ya da başka yatırımcıların nasıl hareket edeceği ile ilgilenmemektedir. Oyun teorisi ise, yatırımcının ve piyasa ya da diğer yatırımcıların kararlarını

"etkileşimli" almasını sağlayarak, tüm tarafların olası kararları doğrultusunda optimum sonuca ulaşmayı hedeflemektedir. Bu durum, oyun teorisini portföy optimizasyonu için önemli hale getirmektedir.

Finansal piyasalar yapıları gereği belirsizlik ve risk içermektedir. Yatırımcıların çeşitlendirme yoluyla azaltamayacakları, makro boyuttaki sistematik riskler ve azaltılabilir mikro riskler olan sistematik olmayan risk, finansal piyasalardaki riskin ana iki parçasını oluşturmaktadır. Belirsizlikten kasıt ise, yeni bilginin menkul kıymetlerin fiyatlarına nasıl ve ne doğrulukta yansıtacağıdır. Bu bilgilerin menkul kıymet fiyatlarına yansımaları beraberinde alım ve satım işlemlerini doğurur. Bu durumda her yatırımcı

için menkul kıymetin ne oranda ve nasıl bir zamanlamayla alınıp satılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Çalışmada oyun teorisi ile portföy optimizasyonu yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yatırımcı ve diğer tüm yatırımcıları temsil eden, borsa olarak adlandırılacak olan doğa oyuncusu arasında iki kişili sınıfı toplamlı bir oyun modelleneyecektir. Yatırımcının strateji frekansları ve borsanın hareket olasılıkları ile portföylerin beklenen getirileri doğrusal programlama modelleri kurularak simpleks algoritması ile Microsoft Excel çözücü eklentisi yardımıyla hesaplanacaktır. Oluşturulan portföylerin performansları Sharpe oranı kullanılarak BİST-100 endeksi, Altın, Dolar ve Euro ile karşılaştırılacaktır. Takip eden başlıkta, ilgili literatür bilgileri sunulduktan sonra veri ve yöntemle yer verilecektir. Analiz bulgularının ardından sonuç bölümü ile çalışma tamamlanmaktadır.

2. LİTERATÜR

Oyun teorisi rekabet eden tarafların, karşısındaki rakiplerinin olası hamlelerini göz önünde bulundurarak kendi en iyi hamlelerini belirlemeyi amaçlayan matematiksel bir karar alma mekanizmasıdır. Ekonomiden siyasete, savaştan paylaşımlara kadar birçok amaç için kullanılabilir. Oyuncular bir ülke olabileceği gibi futbol takımları, satranç oyuncusu, poker oyuncusu, yatırımcı, işletme vb. olabilmektedir. Oyuncuların başvuracakları stratejiler ise piyasaya girmek, menkul kıymetlere yatırım yapmak, ülke bütçesinden hangi sektöre ne oranda pay ayrılacağı, hangi satranç taşının oynanacağı gibi oyunun konusuna göre birçok türde olabilmektedir. Bu stratejilerin oynanmaları halinde oyunculara getireceği kazanç ve kayıplar da ödemeler olarak adlandırılmaktadır.

Bir oyunun modellenebilmesi için oyuncuların, stratejilerinin, oyun kurallarının ve ödemelerinin bulunması, ödemelerin aynı ölçü biriminden belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereklilikler sağlandıktan sonra, modellenen oyunda, oyuncular adına en iyi kararların verilmesi için stratejilerin tespit edilmesi söz konusudur. Belirlenecek olan stratejiler, tek birisinin seçildiği tam stratejiler olabileceği gibi birden fazla stratejiyi belirli oranlarda seçmeye olanak sağlayan karma stratejiler de olabilmektedir. Tam stratejiler, en küçük kazançlar arasından en büyüğünü seçmeyi amaçlayan maksimin ilkesiyle ya da en büyük kayıplar arasından en küçüğünü seçmeyi amaçlayan minimaks ilkesi uygulanarak seçilebilmektedir. Seçilen tam stratejilerin ödeme değerleri eşit olmadığı durumlarda ise, eyer noktası yoktur ve

oyun tam stratejiler ile sonlandırılmaz. Bu durumlarda oyuncular karma stratejilere başvururlar (Avşarlıgil, 2017). Tam strateji seçildiğinde oyuncular için seçilen stratejilerin ödemeleri oyunun değerini belirler. Karma stratejiler seçildiğinde ise, oyuncuların karma stratejilerinin oynanma olasılıkları ve sağladıkları ödemelerin kartezyen çarpımları oyunun değerini vermektedir. Karma stratejili bir oyunun oyun değeri de beklenen fayda kavramıyla ifade edilmektedir (Neumann ve Morgenstern, 1944). Karma stratejilerin matematiksel notasyonlarla gösterimi şöyledir:

$$\sum_i = \Delta(S_i), \sigma_i \in \Delta(S_i), \sigma_i(s_i)$$

Bir oyunda karma stratejilere başvuran her oyuncu için beklenen fayda değeri şu şekilde hesaplanmaktadır (Yılmaz, 2016: s. 91):

$$U(\sigma) = E u_i(\sigma) = \sum_{s \in S} \Pr(s) u_i(s) = \sum_{s \in S} \left(\prod_{j=1}^n \sigma_j(s_j) \right) u_i(s) \quad (1.1)$$

Oyun teorisinde oyunlar genel olarak klasik oyunlar, evrimsel oyunlar ve kuantum oyunlar olarak sınıflandırılabilir. Klasik oyunlar, oyuncuların kendi en iyi kararlarını vermeyi amaçladıkları ve bu doğrultuda hareket ettikleri oyunlardır. Evrimsel oyunlar ise, oyuncunun sadece kendi çıkarını değil, bulunduğu grubun çıkarlarını düşünerek hareket ettiği oyunlardır (Smith, 1976). Kuantum oyunlarda ise, denge durumunun zorunluluğu ortadan kalkar ve oyuncular dengeden saptıklarında da denge durumundaki kadar ya da daha fazla kazanç elde edebilirler (Meyer, 1999). Daha geniş anlamda oyunlar, aynı anda hamle yapılan statik oyunlar, ardışık hamle ile oynanan dinamik oyunlar, tam bilgili oyunlar, eksik bilgili oyunlar, şans oyunları, pazarlık oyunları ve ihale oyunları olarak sınıflandırılabilir (Yılmaz, 2016).

Oyun teorisi ile yapılan portföy optimizasyonu çalışmaları yatırımcıların, hangi menkul kıymeti ne zaman ve ne oranda portföye dahil etmeleri gerektiğini karma stratejiler yardımıyla belirlemeyi amaçlamaktadır. Ancak bu oyunlar genelde oyuncuların tamamının ikiden fazla stratejiye sahip olması nedeniyle, oyun teorik yöntemlerle çözülememektedir. Oyunların $m \times n$ matrisli olduğu durumlarda karma stratejilerin frekansları ve oyun değeri oyun doğrusal programlama modeline dönüştürülerek simpleks algoritması yardımıyla hesaplanmaktadır (Bayraktar, 2016). Simpleks algoritması iterasyon yöntemiyle "en iyi sonuçlar arasından en iyisini" seçmeye yaradığından portföy optimizasyonu çalışmalarında oldukça yararlı olmaktadır.

Šikalo, Arnaut-Berilo ve Zaimović (2021) ve Farias, Vieira ve Santos (2004) farklı dönemlerde birbirlerinden bağımsız olarak yaptıkları çalışmalarında, portföy optimizasyonunda minimaks yönteminin ortalama-varyans modelinden daha başarılı sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Acar (2019) çalışmasında minimaks yönteminin Markowitz optimal portföy yöntemine alternatif olarak kullanılabilirliğini belirlemiştir. Demirci, Şahinkul ve Eren (2017) seçtikleri 8 adet yatırım aracının hangilerine ne oranda yatırım yapılması gerektiğini araştırmışlar ve oyun teorisinin yatırım kararlarında oldukça kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Bayraktar (2016) oyun teorik yöntemlerle doğrusal programlama yöntemlerini karşılaştırmış ve sonuçların birbirleriyle çakıştığını belirlemiştir. Yavuz ve Eren (2016) ve Özçalık, Cengiz ve Baş (2016) çalışmalarında yatırım araçlarının oyun teorisi ile belirlenmesini araştırmışlar ve oyun teorisini oldukça kullanışlı bulduklarını belirtmişlerdir. Öner (2010), Yürüten (2010) ve Doğan (2009) çalışmalarında menkul kıymetleri ve portföyde olması gereken ağırlıklarını oyun teorisi ile araştırmışlar ve portföy optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Evyapan (2009), Duman (2004) ve Yıldırım (2006) çalışmalarında borsada bulunan sektör endekslerinden hangilerine ne oranda yatırım yapılması gerektiğini oyun teorisi aracılığıyla araştırmışlardır. Keskin (2009) oyun teorisi ile minimum risk düzeyinde maksimum getirili portföylerin oluşturulabildiğini ancak oluşturulan portföylerin analiz döneminde geçerli olduğunu; gelecek için bir tahminleme niteliği taşıyamayacağını belirlemiştir. Bell ve Cover (1988) çalışmalarında, optimum portföyü oluşturabilmek için gereken koşulları açıklamışlardır. Logaritmik optimal portföyün oyunun bir sefer oynanması veya tekrarlı olması durumlarında optimal kaldığını belirlemişlerdir.

Bilge (2020) çalışmasında oyun teorisi ile portföy optimizasyonu yaparken yatırım araçlarının analizi için hangi veri döneminin kullanılması gerektiğini araştırmıştır. Dolar ve Euro için 12 aylık veri döneminin, Altın için son 5 ayın, faiz için 4 ayın, BİST-100 için 10 ayın, Bitcoin için 6 ayın ve Konut Fiyat Endeksi için 4 ayın veri döneminin en doğru sonucu verdiğini saptamıştır. Belkov vd. (2020) oyun teorik portföy optimizasyonunu davranışsal finans bağlamında ele almışlardır. Toprak (2019) çalışmasında parçacık sürü optimizasyonu ve oyun teorisini portföy optimizasyonunda karşılaştırmış, parçacık sürü optimizasyonunun daha yüksek getirili, oyun teorisinin daha düşük riskli portföyler oluşturmada başarılı olduğu sonucunu elde etmiştir.

İpek (2019) oyun teorisi ile optimize ettiği portföylerin getirilerini kullanarak Markowitz modern portföy teorisi ile portföy optimizasyonu yapmış ve başarısız sonuçlar elde etmiştir. Avşarlıgil (2017) oyun teorisi ile portföy optimizasyonu için kullanılan doğrusal programlama modellerini karşılaştırmış, en başarılı sonucu Vergeday bulanık doğrusal programlama modelinin verdiğini belirlemiştir. Fu (2017) çalışmasında yatırımcıların oyun teorik portföy optimizasyonunda bilgi paylaşımında bulunmalarının olumlu sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Gedikoğlu (2012) oyun teorisi ile Konno-Yamazaki doğrusal programlama modeli ile portföy optimizasyonu yapmış ve oyun teorisinin daha iyi sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

Hee vd. (2020), Tataei vd. (2018), Kocak (2014) ve Özkök (2009) yaptıkları çalışmalarında portföy optimizasyonu oyununu yatırımcı-piyasa şeklinde değil yatırımcı koalisyonları-piyasa şeklinde modellemişler ve optimizasyonu bu şekilde gerçekleştirmişlerdir. Shapley değeri ile hangi yatırımcı koalisyonunun (örneğin risk seven, riskten kaçan) ne oranda oyun değerini paylaşmaları gerektiğini belirlemişlerdir.

3. VERİ VE YÖNTEM

Çalışmada Borsa İstanbul'dan seçilen, 2013-2021 yılları arasında sürekli işlem görmüş ve işlem hacmi en yüksek 100 adet hisse senedinin, hangi ayda ne oranda portföye dâhil edilmesi gerektiği oyun teorisi ile araştırılacaktır. Çalışma, borsada bulunan hisse senetlerinin işlem hacmi yüksek olanlarını ve tüm hisselerin yaklaşık beşte birini içermektedir. Seçilen veri aralığı 9 yıllık bir süreyi kapsamaktadır.

Oyun teorisi ile yapılan portföy optimizasyonu çalışmaları, geleceği tahmin etmekten çok geçmişe dönük analiz amacını taşımaktadır (Keskin, 2009). Çalışmada yatırımcının hisse senetlerinden oluşan 100 adet, borsanın ise tarihlerden oluşan 9 adet stratejisi bulunmaktadır. Bir başka ifadeyle, oyun $m \times n$ boyuttadır ve küçültülmesi mümkün değildir. Böyle durumlarda oyun teorisi çözüm yöntemleri sonuç vermez ve karma stratejilerin oynanma olasılıkları ile oyunun değeri doğrusal programlama modeli yardımıyla hesaplanabilir (Doğan, 2009; Avşarlıgil, 2017; İpek, 2019; Acar, 2019). Yatırımcının stratejilerini temsil eden, Borsa İstanbul'dan seçilmiş hisse senedi şunlardır:

ADESE, AFYON, AGYO, AKBNK, AKGRT, AKSEN, AKYHO, ALARK, ALBRK, ANELE, ARCLK, AVOD, AYEN, BIMAS, BSOKE, BUCIM, CEMAS, CEMTS, CRDFA, DAGI, DESA, DOHOL, DZGYO, ECILC, EDIP, EREGL, ERSU, GARAN, GEREL, GOZDE, GSDDE, GSDHO, GUBRF, HALKB, HEKTS, HURGZ, IHEVA, IHGZT,

IHLAS, IHLGM, IHYAY, INDES, IPEKE, ISCTR, ISFIN, ISGYO, ITTFH, IZMDC, KARSN, KCHOL, KLYO, KOZAA, KOZAL, KRDM, KRDM, MARTI, MIPAZ, MNDRS, MRGYO, NTHOL, NUGYO, OSTIM, OYAKC, OZKGY, PEGYO, PENG, PRKME, PETKM, RYGYO, SAHOL, SAMAT, SASA, SISE, SKBNK, SKTAS, SNGYO, TAVHL, TCELL, TEKTU, THYAO, TKFEN, TKNSA, TOASO, TRCAS, TRGYO, TSGYO, TSKB, TTKOM, TUPRS, TURSG, USAK, VAKBN, VAKFN, VAKKO, VESBE, VESTL, VKGYO, YGYO, YKBNK, ZOREN.

Hisse senetlerinin getiri oranlarının hesaplanabilmesi için geçmiş fiyat verileri ile alternatif yatırım araçlarının fiyat verileri <https://tr.investing.com> internet adresinden edinilmiştir. Getiri oranları eşitlik 4.1 yardımıyla hesaplandıktan sonra, anaparayı temsil eden 1 değeri eklenerek oyun doğrusal programlama modeline dönüştürülmüş ve eşitlik 4.3'teki 1/v dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yatırımcının karma strateji frekansları için 12 ayrı primal model ile borsanın hareket olasılıkları için 12 ayrı primal-dual model çözülmüştür. Yatırımcı için kurulan primal model şöyledir:

Amaç fonksiyonu: Min $1/v =$

$$x_1^1 + x_2^1 + x_3^1 + x_4^1 + x_5^1 + \dots + x_{100}^1$$

Örneğin Ocak 2013 Kısıtı:

$$\begin{aligned} &1,0715x_1^1 + 1,0102x_2^1 + 1,0511x_3^1 + 1,0125x_4^1 + 1,0139 \\ &x_5^1 + 1,0373x_6^1 + 1,6378x_7^1 + 1,0623x_8^1 + 1,1175x_9^1 + 1,00 \\ &00x_{10}^1 + 0,9833x_{11}^1 + 1,3467x_{12}^1 + 1,0441x_{13}^1 + 0,9770 \\ &x_{14}^1 + 1,0000x_{15}^1 + 1,0463x_{16}^1 + 1,0092x_{17}^1 + 1,0167x_{18}^1 + \\ &1,0628x_{19}^1 + 1,0155x_{20}^1 + 1,0599x_{21}^1 + 1,1735x_{22}^1 + 1,08 \\ &26x_{23}^1 + 1,0108x_{24}^1 + 0,8856x_{25}^1 + 1,0207x_{26}^1 + 1,0241 \\ &x_{27}^1 + 0,9534x_{28}^1 + 1,0067x_{29}^1 + 0,9184x_{30}^1 + 1,0126x_{31}^1 + \\ &1,0766x_{32}^1 + 1,1319x_{33}^1 + 0,9943x_{34}^1 + 0,9844x_{35}^1 + 1,02 \\ &17x_{36}^1 + 1,0138x_{37}^1 + 0,8931x_{38}^1 + 0,9514x_{39}^1 + 1,5449 \\ &x_{40}^1 + 0,9623x_{41}^1 + 1,0531x_{42}^1 + 0,8300x_{43}^1 + 1,0516x_{44}^1 + \\ &0,9902x_{45}^1 + 1,0666x_{46}^1 + 1,0190x_{47}^1 + 1,0000x_{48}^1 + 0,98 \\ &33x_{49}^1 + 0,9909x_{50}^1 + 1,0733x_{51}^1 + 0,8905x_{52}^1 + 1,0070 \\ &x_{53}^1 + 1,1341x_{54}^1 + 1,2537x_{55}^1 + 0,9342x_{56}^1 + 0,9642x_{57}^1 + \\ &1,0370x_{58}^1 + 0,9817x_{59}^1 + 1,3100x_{60}^1 + 0,9561x_{61}^1 + 0,80 \\ &89x_{62}^1 + 1,0335x_{63}^1 + 1,1542x_{64}^1 + 1,1039x_{65}^1 + 0,9854 \\ &x_{66}^1 + 0,9577x_{67}^1 + 1,1087x_{68}^1 + 0,9877x_{69}^1 + 1,0356x_{70}^1 + \\ &0,9962x_{71}^1 + 1,0962x_{72}^1 + 1,0406x_{73}^1 + 1,0493x_{74}^1 + 0,98 \\ &45x_{75}^1 + 0,9927x_{76}^1 + 1,2007x_{77}^1 + 0,9481x_{78}^1 + 1,0000 \\ &x_{79}^1 + 1,0448x_{80}^1 + 0,9945x_{81}^1 + 1,1379x_{82}^1 + 1,0126x_{83}^1 + \\ &1,1566x_{84}^1 + 0,9716x_{85}^1 + 1,0514x_{86}^1 + 0,9921x_{87}^1 + 1,06 \\ &69x_{88}^1 + 0,9418x_{89}^1 + 1,0179x_{90}^1 + 1,0076x_{91}^1 + 1,1151 \\ &x_{92}^1 + 1,0660x_{93}^1 + 0,9498x_{94}^1 + 0,9939x_{95}^1 + 0,9894x_{96}^1 + \\ &0,9658x_{97}^1 + 0,9851x_{98}^1 + 0,9922x_{99}^1 + 1,2075x_{100}^1 \geq 1 \end{aligned}$$

$$x_i^1 \geq 0, \quad x_1^1 + \dots + x_{100}^1 = 1$$

Borsa için kurulan primal-dual model şu şekildedir:

$$\text{Amaç fonksiyonu: Maks } 1/v = y_1^1 + y_2^1 + y_3^1 + y_4^1 + y_5^1 + y_6^1 + y_7^1 + y_8^1 + y_9^1$$

Örneğin ADESE kısıtı:

$$1,4117y_1^1 + 1,0192y_2^1 + 0,9445y_3^1 + 1,0782y_4^1 + 1,0875y_5^1 + 0,2599y_6^1 + 0,9747y_7^1 + 0,9428y_8^1 + 1,0000y_9^1 \leq 1$$

$$y_i^1 \geq 0, \quad y_1^1 + y_2^1 + y_3^1 + y_4^1 + y_5^1 + y_6^1 + y_7^1 + y_8^1 + y_9^1 = 1$$

Dual modelde 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 ve 2021 yılları borsanın stratejilerini temsil etmektedir. Borsanın hareketleri oyun değerine etki etmeyeceği gibi; yalnızca bu yıllardan hangilerindeki gibi hareket edeceğini belirleyecek, bu doğrultuda yatırımcı da stratejilerini seçecektir.

Kurulan doğrusal programlama modelleri simpleks algoritması yardımıyla çözülecektir. Ancak çalışmada simpleks algoritmasını el ile çözmek neredeyse olanaksızdır. Büyük boyutlu modeller için bilgisayar programları kullanılabilir. Bu programlardan birisi Microsoft Excel çözücü eklentisidir (Yeşilyurt ve Alan, 2012). Çalışmada primal ve primal-dual modeller Microsoft Excel çözücü eklentisi yardımıyla çözülecektir.

Elde edilecek portföylerin performans analizi için ortalama portföy getirisi, portföylerin riski ve Sharpe Oranları hesaplanarak alternatif yatırım araçları ile karşılaştırılacaktır. Portföyün ortalama getirisi ve riski şöyle hesaplanmaktadır (Markowitz, 1952):

$$R = \sum_{i=1}^n w_i R_i \quad (2.1)$$

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^m w_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m w_i w_k \text{COV}_{ik} \quad (2.2)$$

Sharpe Oranı ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır (Çelik ve Kaya, 2020: Bölüm 12):

$$\frac{R_a - R_f}{\sigma_p} \quad (2.3)$$

Sharpe oranının hesaplanabilmesi için kullanılan risksiz faiz oranı <https://hmb.gov.tr> adresinden edinilen sabit getirili varlıkların yıllık faiz oranıdır. Bu oran $(1+YG)^m - 1$ eşitliği yardımıyla aylığa dönüştürülerek kullanılmıştır.

Keskin (2009) bulgularında, oyun teorisinin ilgili dönemde portföy optimizasyonu yapabildiğini, geçmiş veriler ile yapılan analizin geleceğe dönük portföy optimizasyonunda kullanılmayacağını belirtmiştir. Yürüten (2010) ve Öner (2010) yine çalışmalarında geleceğe dönük değil geçmişe dönük portföy optimizasyonunu amaçlamıştır. Literatürde bulunan çalışmaların birçoğunda portföy optimizasyonu geçmişe dönük yapılmış, gelecek tahmininde kullanılmamıştır. Oyun teorisi ile geleceğe dönük portföy optimizasyonu yapabilmek için, menkul kıymetlerin gelecekteki fiyatlarının tahmin edilmesi gerekmektedir (Bilge, 2020). Ayrıca

yerli ve yabancı kaynaklarda, oyun teorisi ile portföy optimizasyonu oyunu, borsanın doğayı temsil ettiği ve oyunun sıfır toplamı olduğu bir oyun şeklinde modellenmiştir. Literatürden yola çıkarak, çalışmada sınanan hipotezler şu şekilde oluşturulmuştur:

H₁: Oyun teorisi geçmişe dönük portföy optimizasyonunda başarılıdır.

H₂: Oyun teorisi ile portföy optimizasyonu oyununda, yatırımcı ve diğer tüm yatırımcıları temsil eden, borsa olarak adlandırılacak doğa olmak üzere iki oyuncu vardır ve oyun sıfır toplamıdır.

4. BULGULAR

Çalışmada, oyun teorisini kullanarak yatırımcı ve borsa arasında iki kişili sıfır toplamı bir oyun

modellenmiştir. Yatırımcının amacı en düşük riskte gerçekleşebilecek en yüksek getirili portföyleri oluşturmaktır. Bu doğrultuda modellenen oyun doğrusal programlama modeline dönüştürülerek; simpleks algoritması ile Microsoft Excel çözücü eklentisinde çözülmüştür. Elde edilen bulgular literatüre dayandırılan araştırma hipotezlerini doğrulamıştır.

Oyun teorisi ile 2013-2020 yılları arasında aylık yatırım ufkuyla gerçekleştirilen portföy optimizasyonunda 100 adet hisse senedinin 54 tanesi portföylere seçilmiş, 44 adet hisse senedi hiç seçilmemiştir. Portföylerin hem beklenen hem de gerçekleşen getirileri 12 ayda da kazandırmıştır. Doğru oyuncusu olan borsanın hareket olasılıkları ise, 9 yılda oldukça dengeli dağılmıştır. Elde edilen portföyler Şekil 1'de görüldüğü gibidir.

Şekil 1: Portföyler

OCAK				ŞUBAT				MART			
YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI
Ocak 13	14,91%	AKYHO	7,24%	Şubat 13	37,28%	GUBRF	42,14%	Mart 13	18,72%	ANELE	2,78%
Ocak 14	2,76%	AYEN	1,17%	Şubat 14	20,23%	HEKTS	23,79%	Mart 14	0,00%	EDIP	19,83%
Ocak 15	16,64%	ECILC	6,46%	Şubat 15	3,29%	MIPAZ	3,54%	Mart 15	28,10%	IHGZT	55,81%
Ocak 16	17,50%	IHYAY	1,94%	Şubat 16	12,79%	RYGYO	24,92%	Mart 16	6,01%	PRKME	2,04%
Ocak 17	17,36%	KARSN	22,83%	Şubat 17	0,00%	VAKFN	2,53%	Mart 17	11,01%	TRGYO	8,19%
Ocak 18	6,36%	KLGYO	19,11%	Şubat 18	8,82%	VE SBE	1,36%	Mart 18	0,00%	VAKFN	7,09%
Ocak 19	21,42%	OZKGY	29,45%	Şubat 19	6,53%	VESTL	1,71%	Mart 19	19,43%	VAKKO	4,26%
Ocak 20	0,00%	VAKBN	11,80%	Şubat 20	0,00%			Mart 20	3,60%		
Ocak 21	3,04%			Şubat 21	11,05%			Mart 21	13,13%		
Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%
PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI			
GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ			
NİSAN				MAYIS				HAZİRAN			
YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI
Nisan 13	16,77%	EREGL	28,96%	Mayıs 13	13,01%	CEMAS	0,71%	Haziran 13	11,92%	AFYON	4,46%
Nisan 14	0,00%	IHGZT	6,46%	Mayıs 14	6,82%	GSDDE	0,77%	Haziran 14	17,74%	CEMAS	11,19%
Nisan 15	15,56%	IPEKE	11,71%	Mayıs 15	23,34%	HEKTS	8,30%	Haziran 15	3,42%	CRDFA	37,40%
Nisan 16	32,04%	ISFIN	8,78%	Mayıs 16	14,44%	MARTI	6,92%	Haziran 16	15,39%	IHLGM	14,90%
Nisan 17	0,00%	KRDMA	12,49%	Mayıs 17	0,00%	PENG	6,91%	Haziran 17	9,25%	MIPAZ	2,79%
Nisan 18	2,18%	TRGYO	31,60%	Mayıs 18	5,99%	SASA	29,71%	Haziran 18	27,36%	OSTIM	17,37%
Nisan 19	11,45%			Mayıs 19	25,84%	TUPRS	46,67%	Haziran 19	0,47%	TKNSA	2,04%
Nisan 20	0,00%			Mayıs 20	0,00%			Haziran 20	0,00%	VE SBE	9,85%
Nisan 21	22,01%			Mayıs 21	10,55%			Haziran 21	14,44%		
Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%
PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI			
GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ			
TEMMUZ				AĞUSTOS				EYLÜL			
YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI
Temmuz 13	19,20%	CEMTS	4,08%	Ağustos 13	19,79%	DAGI	21,77%	Eylül 13	0,00%	ADESE	15,06%
Temmuz 14	6,11%	HEKTS	12,90%	Ağustos 14	0,00%	EREGL	16,48%	Eylül 14	19,94%	HURGZ	7,74%
Temmuz 15	17,11%	HURGZ	27,85%	Ağustos 15	39,11%	ERSU	17,71%	Eylül 15	16,67%	IPEKE	16,94%
Temmuz 16	19,76%	IHLGM	21,84%	Ağustos 16	0,00%	KOZAL	40,60%	Eylül 16	15,64%	PENG	9,87%
Temmuz 17	0,00%	MIPAZ	10,62%	Ağustos 17	4,21%	TSGYO	3,44%	Eylül 17	11,58%	SKTAS	33,90%
Temmuz 18	27,29%	SISE	2,78%	Ağustos 18	21,19%			Eylül 18	13,54%	VESTL	16,48%
Temmuz 19	1,26%	THYAO	5,52%	Ağustos 19	0,00%			Eylül 19	0,00%		
Temmuz 20	1,71%	USAK	14,40%	Ağustos 20	15,70%			Eylül 20	0,00%		
Temmuz 21	7,57%			Ağustos 21	0,00%			Eylül 21	22,63%		
Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%
PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI			
GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ			
EKİM				KASIM				ARALIK			
YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI	YILLAR	OLASILIKLARI	HİSSELER	ORANLARI
Ekim 13	0,00%	ADESE	8,89%	Kasım 13	5,55%	AGYO	14,78%	Aralık 13	55,84%	ADESE	6,09%
Ekim 14	0,99%	AFYON	38,39%	Kasım 14	5,03%	INDES	17,97%	Aralık 14	8,95%	AFYON	2,40%
Ekim 15	21,62%	AYEN	0,64%	Kasım 15	25,22%	SASA	56,99%	Aralık 15	4,30%	INDES	15,78%
Ekim 16	23,25%	MRGYO	2,19%	Kasım 16	24,33%	THYAO	8,09%	Aralık 16	0,00%	SISE	53,03%
Ekim 17	9,71%	NUGYO	12,59%	Kasım 17	39,88%	VAKFN	2,18%	Aralık 17	0,00%	TKFEN	22,71%
Ekim 18	6,60%	TSKB	5,47%	Kasım 18	0,00%			Aralık 18	25,81%		
Ekim 19	10,63%	VE SBE	13,15%	Kasım 19	0,00%			Aralık 19	0,00%		
Ekim 20	7,04%	YGYO	18,68%	Kasım 20	0,00%			Aralık 20	0,00%		
Ekim 21	20,16%			Kasım 21	0,00%			Aralık 21	5,11%		
Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%	Toplam	100,00%
PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI				PORTFÖYÜN KAZANCI/KAYBI			
GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ				GERÇEKLEŞEN GETİRİ			

Şikalo, Arnaut-Berilo ve Zaimović (2021) ve Toprak (2019) çalışmalarında oyun teorisinin riskten kaçan ve daha düşük riskli portföyleri tercih eden yatırımcılar için kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir. Nitekim çalışmada oluşturulan 12 portföyün de kazanç sağladığı, 7 ayda Sharpe oranlarının alternatif yatırımların oranlarından daha yüksek olduğu saptanmıştır. Üstelik diğer 5 ayın Sharpe oranları Dolar ve Euro'dan daha düşük olsa da BİST-100 endeksinin ve Altın'ın oranlarından daha yüksektir. Böylelikle çalışmalarında oyun teorisinin pazar portföyünden daha başarılı portföyler

oluşturduğu sonucunu elde eden Tataei vd. (2018) ile örtüşen bir sonuç elde edilmiştir.

Portföylerin 5 ayda döviz kurlarından daha başarısız olmaları, kurlardaki aşırı dalgalanmalara dayandırılabilir. Bu durumda hisse senetlerinin değerleri kur farklılıklarına uyum sağlayamamış, kayıp yaşamıştır. Portföylerde dikkat çekici bir diğer sonuç ise, ilk 6 ayın portföylerinin standart sapmalarının son 6 ayın portföylerinininkinden daha yüksek çıkmasıdır. Borsanın hareket olasılıkları Tablo 1'deki gibi gerçekleşmiştir.

Tablo1: Borsanın Hareket Olasılıkları

2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
11,56%	11,50%	11,51%	11,35%	11,17%	11,26%	11,19%	10,98%	11,03%

Borsanın hareket olasılıkları ise 9 yılda ortalama olarak oldukça dengeli gerçekleşmiştir. Bu durumda menkul kıymetlerin getirileri gelecekte geçmişe göre dengeli olarak hareket ettiği takdirde elde

edilen beklenen faydalar gerçekleşecektir. Aylık ortalama getirisi en yüksek 10 hisse senedi ve seçilme sayıları Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2: Aylık Ortalama Getirisi En Yüksek Hisseler ve Seçilme Sayıları

AFYON	AVOD	EREGL	GUBRF	HEKTS	ISFIN	SASA	VAKFN	VESBE	VESTL
%3,72	%4,65	%3,66	%4,12	%5,12	%3,56	%6,25	%3,73	%4,49	%3,75
3	0	2	1	3	1	2	3	3	2

Tablo 2 oyun teorisinin portföy optimizasyonunda başarılı olduğunu gösteren en güçlü ispatlardandır. Çünkü oyun teorisi en yüksek getirili hisse

senetlerini birçok kere portföylere dahil etmiştir. Bu ispatı güçlendiren bir diğer neden Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3: Aylık Ortalama Getirisi En Düşük Hisseler ve Seçilme Sayıları

AKBNK	ALBRK	HALKB	IHLAS	IHLGM	ISCTR	SAHOL	SKBNK	VAKBN	YKBNK
%0,54	%0,79	%-0,62	%0,38	%0,42	%0,81	%0,83	%0,53	%0,39	%0,60
0	0	0	0	2	0	0	0	1	0

Aylık ortalama getirileri en düşük hisse senetlerinin portföylere çok az seçilmiş olması, yine oyun teorik portföy optimizasyonunun ne denli başarılı olabileceğini gösteren kanıtlardandır. Hisse

senetlerinin risklerine göre portföye tercih edilme sayıları arasındaki ilişki Tablo 4 ve 5 ile açıklanmaktadır.

Tablo 4: Standart Sapmaları En Yüksek Hisseler ve Seçilme Sayıları

ADESE	AFYON	AVOD	CEMAS	GEREL	IHGZT	IHLGM	ISFIN	MRGYO	VAKFN
26,76%	29,69%	37,37%	20,27%	19,71%	25,52%	19,78%	23,30%	22,02%	20,13%
3	3	0	2	0	2	2	1	1	3

Tablo 5: Standart Sapmaları En Düşük Hisseler ve Seçilme Sayıları

AKGRT	BIMAS	ECILC	KCHOL	OYAKC	PETKM	SAHOL	TCELL	TTKOM	TUPRS
8,99%	6,68%	8,97%	8,48%	9,41%	9,26%	8,38%	7,25%	8,87%	8,72%
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Standart sapmaları yüksek olan hisse senetlerinin düşük olanlara göre daha fazla seçilmiş olmaları oyun teorisi ile elde edilecek portföylerin risklerinin alternatif yatırımlardan daha fazla olacağını göstermektedir. Portföylerin başarısı göz önünde bulundurulacak olursa bu fazla risk, elde edilen kazançların katlanılan fazla riske karşı elde edilen ödül olduğu şeklinde açıklanabilir.

Oyun teorisi 100 hisse senedinin 54 tanesini 12 ayrı portföye dâhil etmiş, her portföye ortalama olarak farklı 4,5 hisse senedini seçmiştir. Bu durum oyun teorisinin çeşitlendirmede başarısını ispatlar niteliktedir. Portföylerin başarısı Tablo 6 ve 7'de gözlemlenebilir.

Tablo 6: Portföylerin ve Alternatif Yatırımların Standart Sapmaları

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	BİST-100	Dolar
10,16%	10,68%	16,08%	8,70%	7,49%	8,81%	6,63%	6,12%
Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Altın	Euro
10,11%	9,74%	10,42%	14,66%	10,63%	8,04%	4,32%	5,89%

Tablo 7: Portföylerin ve Alternatif Yatırımların Sharpe Oranları

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	BİST-100	Dolar
0,1816	0,2886	0,0954	0,1991	0,3432	0,1320	0,0041	0,1715
Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Altın	Euro
0,1063	0,1724	0,1419	0,1268	0,3418	0,1808	-0,1897	0,1530

En yüksek Sharpe oranına sahip iki portföy Mayıs ve Kasım aylarıdır. Bu durumda yaza girerken ve yılın son döneminde borsanın daha fazla kazandırdığı söylenebilir. En düşük Sharpe oranı ise, Mart ve Temmuz aylarındaki portföylerde görülmektedir. Temmuz ayının en başarısız iki portföyden biri olması tasarrufların tatillere aktarılması olarak düşünülebilir. Mart ayının en başarısız portföylerden bir diğeri olması içinse, yılın ilk çeyreğinin son dönemi olduğundan, açıklanan finansal verilerin etkili olduğu şeklinde değerlendirilebilir.

5. SONUÇ

Oyun teorisinin portföy optimizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılmasına yönelik çalışmada elde edilen bulgular hem kullanılabilirliği ortaya koymakta hem de literatürdeki çalışma sonuçlarını doğrular niteliktedir. Elde edilen sonuçlar ayrıca, oyun teorisinin çeşitlendirmede başarılı olduğunu, standart sapmaları ve ortalama getirileri yüksek olan hisse senetlerinin düşük olanlara göre daha fazla seçildiğini ve oyun teorisinin pazar portföyü

dahil alternatif yatırımlardan daha başarılı portföyler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle "güvenli liman" olarak görülen Altın dikkate alındığında, Sharpe oranı -0,1897 olup; çalışmada ulaşılan portföylerin en düşük Sharpe oranı ise Mart ayında 0,0954 olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu bu sonuç ciddi bir başarı performansını gösterir niteliktedir. Ayrıca BİST-100 endeksinin Sharpe oranının 0,0041 olduğu göz önünde bulundurulduğunda, en başarısız portföyün dahi pazar portföyüne kıyasla ne kadar önemli bir performans ortaya koyduğu görülmektedir. En başarılı portföy ise, 0,3432 Sharpe oranı ile Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Bu oran, kendisine en yakın orana sahip olan Dolar'ın performansının (0,1715) iki katı düzeyindedir. Bir başka deyişle, en başarılı portföy, kendisine en yakın alternatifine göre dahi, 2 kat daha üstün bir performans başarısı göstermiştir.

Çalışmada seçilen örneklem, ana kütlelin yaklaşık beşte birini temsil etmektedir. Bu çalışmadaki ilk sınırlılıktır. Ayrıca veri setinin süresi 9 yıla sınırlanmış ve yatırım aylık olarak planlanmıştır.

Ancak geçmiş çalışmalardaki sınırlılıklar dikkate alındığında, bu çalışmada, söz konusu sınırlılıkların genişletilerek geliştirildiğini ifade etmek mümkündür.

Bu sınırlılıklar doğrultusunda, gelecek çalışmalara yönelik olarak sunulabilecek önerilerden birisi, yatırım ufkunun günlük olarak gerçekleştirilmesi olacaktır. Böyle bir çalışmayla elde edilecek portföylerin daha da başarılı olacağı öngörülmektedir. Ayrıca yatırım aracı çeşitliliğinin artırılması da bir başka öneri olarak getirilebilecektir.

Bunların yanında, oyunun farklı modellenmesi de değerlendirilebilecek bir başka seçenektir. Bu çalışmada oyun, klasik oyun teorisine göre modellenmiştir. Gelecek çalışmalarda oyunların evrimsel oyunlar ya da kuantum oyunlar olarak modellenmesi düşünülebilir. Yanı sıra, örneğin, Hee vd. (2020), Tataei vd. (2018), Kocak (2014) ve Özkök'ün (2009) çalışmalarında yaptıkları gibi, oyunun koalisyonlarla modellenmesi de önerilebilir.

Son olarak; oyunun, yatırımcı-borsa bakış açısına alternatif olarak, yatırımcı-yatırımcı şeklinde modellenmesi düşünülebilir. Bunun için kuantum oyunların kullanışlı olabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, E. (2019). Oyun teorisi ile bireysel yatırım kararı: minimax yaklaşımıyla portföy optimizasyonu. *International Social Sciences Studies Journal*, 5(34), 2286-2297. <http://dx.doi.org/10.26449/sss.1466>.
- Aşarlıgil, N. (2017). Portföy seçiminde oyun teorisi ve alternatif çözüm yaklaşımları üzerine bir model önerisi. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Bayraktar, P. (2016). Oyun teorisi ve matematiksel modelleme ile küçük yatırımcı için yatırım araçlarının karşılaştırılması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Belkov, S., Evstigneev, I. V., Hens, T., and Xu, L. (2020). Nash equilibrium strategies and survival portfolio rules in evolutionary models of asset markets. *Mathematics and Financial Economics*, 14(2), 249-262. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11579-019-00254-w>.
- Bell, R., and Cover, T. M. (1988). Game-theoretic optimal portfolios. *Management Science*, 34(6), 724-733. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2632126>.
- Bilge, S. (2020). Bireysel yatırımcıların yatırım stratejilerini belirlemede gri tahmin ve oyun teorisi yöntemlerinin uygulanması üzerine bir çalışma. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla.
- Çelik, S. ve Kaya, F. (2020). Portföy performansının ölçülmesi. İçinde E. Özen (Ed.), *Modern portföy yönetimi* (s. 307-332). Bursa: Ekin Yayınevi.
- Demirci, M., Şahinkul, V. ve Eren, T. (2017). Oyun teorisi yaklaşımı ile portföy yönetimi optimizasyonu hisse

yatırım uygulaması. *Bankacılık ve Finansal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 21-37. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/275060>.

- Doğan, O. (2009). Oyun teoremi ve bir finansal portföy seçimi uygulaması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Duman, S. (2004). Finansal piyasalarda ekonomik sorunların çözümünde oyun kuramı ile bir uygulama. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Evyapan, B. (2009). Oyun teorisi ve İMKB'de sektörel bir uygulama. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Farias, C. A., Vieira, V. da C. and Santos, M. L. dos. (2004). Teoria dos jogos e seleção de portfólio: Uma proposta de adaptação ao modelo minimax e aplicação ao mercado acionário Brasileiro. *Revista De Economia E Agronegócio*. 2(1), 65-92. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/6689888.pdf>.
- Fu, J. (2017). Information pooling game in multi-portfolio optimization. *Contributions to Game Theory and Management*, 10(0), 27-41. Retrieved from <https://ideas.repec.org/p/sps/cpaper/10450.html>.
- Gedikoğlu, Z.A. (2012). İMKB'de sektörel yatırımın oyun teorisi ile analizi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hee, P. C., vd. (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), 390-399. <https://doi.org/10.36348/sjef.2020.v04i08.003>.
- Keskin, H.İ. (2009). Oyun kuramının ekonomide uygulanması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana.
- Kocak, H. (2014). Canonical coalition game theory for optimal portfolio selection. *Asian Economic and Financial Review*, 4(9), 1254-1259. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/265178312_Canonical_Coalition_Game_Theory_For_Optimal_Porfolio_Selection.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.2307/2975974>.
- Meyer, D. A. (1999). Quantum strategies. *Physical Review Letters*, 82(5), 1052. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/9804010.pdf>.
- Öner, U.T. (2010). Hisse senetlerinin minimum risk ile maksimum getirili portföyünün oyun kuramı ile oluşturulması. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Özçalık, S. G., Cengiz, S. ve Baş, A. (2016). Bir finansal yatırım aracının oyun teoremi ile seçimi. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, İİBF 10. Yıl Özel Sayı, 331-345. <https://doi.org/10.31795/baunsobed.662285>.
- Özkök, B. (2009). Doğaya karşı oynayan oyuncuların ortaklıklarla ödemelerini arttırmaları ve portföy seçimi probleminde bir uygulama. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

- Smith, J. M. (1976). Evolution and the Theory of Games: In situations characterized by conflict of interest, the best strategy to adopt depends on what others are doing. *American Scientist*, 64(1), 41–45. <http://www.jstor.org/stable/27847040>.
- Šikalo, M., Arnaut-Berilo, A., and Zaimović, A. (2021). Portfolio selection: A game theory based model for superior performance. In *Proceedings of FEB Zagreb International Odyssey Conference on Economics and Business*, 3(1), 752-768. <https://doi.org/10.3390/ijfs10010020>.
- Tataei, P., Roudposhti, F. R., Nikoumaram, H. and Hafezolkotob, A. (2018). Outperforming the market portfolio using coalitional game theory approach. *Dama International Journal of Researchers*. 3(05), 145-155. Retrieved from <https://damaacademia.com/dasjr/wp-content/uploads/2019/03/DIJR-5-010.pdf>.
- Toprak, S. (2019). Oyun teorisi ve parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak yatırım fonu getirilerinin analizi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Von Neumann, J. ve Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior*, (6th ed.). Princeton: Princeton University Press. Retrieved from <https://jmvidal.cs.e.sc.edu/library/neumann44a.pdf>.
- Yavuz, M. ve Eren, T. (2016). Finansal araçların oyun teorisi ile analiz edilmesi. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(13), 122-139. Erişim adresi <https://docplayer.biz.tr/23266695-Finansal-araclarin-oyun-teorisi-ile-analiz-edilmesi.html>.
- Yeşilyurt, C. ve Alan, M. A. (2012). Doğrusal programlamada kullanılan simpleks yöntemin excel ile çözümü. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 5(8), 1333-1344. https://doi.org/10.9761/jasss_409.
- Yıldırım, S. (2006). Oyun teorisi ile İMKB'de sektör analizi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, E. (2016). *Oyun teorisi*, (3. Baskı). İstanbul: Literatür Yayıncılık.
- Yürüten, S. (2010). Sıfır toplamlı iki kişili oyun modeli yaklaşımı ile finansal piyasaların incelenmesi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.