



Sürdürülebilir Portföy Seçimi İçin Bir Dayanıklı Teorik Yaklaşım: BIST Katılım Sürdürülebilirlik Hisse Senetleri Üzerine Bir Uygulama

A Robust Theoretical Approach for Sustainable Portfolio Selection: An Application on BIST Participation Sustainability Index Stocks

Furkan GÖKTAŞ¹

Öz

Bu çalışmanın amacı tutucu yatırımcılar için sürdürülebilir portföy seçimini incelemektir. Bu kapsamda iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada hisse senetlerinin sürdürülebilirlik skorları, R-FES olarak kısaltılan bir bulanık çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımıyla uzman bilgisinden yararlanılarak elde edilmiştir. İkinci aşamada sürdürülebilirlik skoru vektörünü, örneklem ortalama vektörünü ve örneklem kovaryans matrisini dikkate alan bir dayanıklı optimizasyon problemi oluşturulmuştur. Ayrıca bu problemin analitik çözümü belirli varsayımlar altında verilmiştir. Önerilen dayanıklı teorik yaklaşımı tanıtmak amacıyla BIST katılım sürdürülebilirlik endeksi hisseleri üzerine bir uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamada sürdürülebilir yatırımın performans kaybına neden olmayabileceği görülmüştür. Ayrıca kısa pozisyon almama kısıtının; performansı artırırken, riski ve getiriyi azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Küme, Çok Kriterli Karar Verme, Dayanıklı Optimizasyon, Portföy Seçimi, Sürdürülebilirlik.

Abstract

This study aims to examine sustainable portfolio selection for conservative investors. In this context, a two-stage approach is proposed. In the first stage, the sustainability scores of stocks are obtained by utilizing expert knowledge through a fuzzy multi-criteria decision-making (FMCDM) approach abbreviated as R-FES. In the second stage, a robust optimization problem that takes into account the sustainability score vector, the sample mean vector and the sample covariance matrix is formulated. Moreover, the analytical solution of this problem is given under certain assumptions. In order to introduce the proposed robust theoretical approach, an application on BIST participation sustainability index stocks is made. In the application, it is seen that sustainable investment may not cause performance loss. In addition, the constraint of not taking short positions is found to improve performance while reducing risk and return.

Keywords: Fuzzy Set, Multi-Criteria Decision-Making, Robust Optimization, Portfolio Selection, Sustainability.

1. Dr. Öğr. Üyesi, Karabük Üniversitesi,
furkangoktas@karabuk.edu.tr,
<https://orcid.org/0000-0001-9291-3912>

Makale Türü **Article Type**
Araştırma Makalesi Research Article

Başvuru Tarihi/Application Date
13.02.2024

Yayına Kabul Tarihi/Acceptance Date
22.04.2024

DOI
10.20875/makusobed.1436718

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Göktaş, F. (2024). Sürdürülebilir portföy seçimi için bir dayanıklı teorik yaklaşım: BIST katılım sürdürülebilirlik hisse senetleri üzerine bir uygulama. *MAKU SOBED*, (39), 60-72. <https://doi.org/10.20875/makusobed.1436718>

EXTENDED SUMMARY

Introduction

As global awareness of sustainability issues rises, investors are increasingly committed to incorporating environmental, social, and governance (ESG) criteria into their investment strategies to encourage a positive impact on society and the environment. Thus, this study aims to integrate sustainability (ESG criteria) into portfolio selection. In this context, we propose an approach is proposed that allows to construct a robust portfolio that balances performance (Sharpe ratio) with sustainability issues. That is, the proposed approach broadens the scope of Markowitz's mean-variance (MV) model to include ESG criteria. This study includes some of the BIST Participation Sustainability index stocks. These stocks (AKSGY, ALBRK, ASELS, LOGO, NETAS, POLHO, and TEKFN) are also in the BIST Financials or BIST Technology indices.

Methods

This study introduces a two-stage robust theoretical approach for sustainable portfolio selection. In the first stage, a fuzzy MCDM method (R-FES) is used to evaluate the stocks' sustainability scores based on expert knowledge. Here, the criteria are environmental, social and governance issues of the stocks. R-FES is worst-case-oriented and depends on the robust portfolio optimization framework. In the second stage, a robust optimization problem is formed considering the sustainability scores vector, the sample mean vector, and the sample covariance matrix. Moreover, analytical solution of this problem is given when the risk-free asset and stocks' short positions are allowed in the portfolios. The robust theoretical approach considers the first two moments and incorporates the sustainability scores as a key component of the decision-making process. The originality of this study on sustainable portfolio selection is that it is the first study to use only robust optimization, including finding sustainability scores.

Results and Discussion

In this study, the annual risk-free interest rate is taken as 8,75%, which is Bloomberg's benchmark interest rate on Friday, 30.12.2022. The training period is determined as 2022, whereas the testing period is the first three quarters of 2023. Using R-FES, the sustainability rankings of the seven stocks are found as ALBRK, ASELS, AKSGY, LOGO, NETAS, POLHO and TEKFN. Also, it is found that the sustainable portfolios constructed using robust optimization do not necessarily compromise on performance (Sharpe ratio). This information is compatible with the many studies in the literature. On the other hand, some studies find that sustainable investment may lead to increased risk or decreased return. It is also stated that the risk (standard deviation) and performance improve, unlike the return with the restriction of not taking short positions. This information is also compatible with the literature.

Conclusion

The proposed robust theoretical approach for sustainable portfolio selection is worst-case-oriented and may be a good alternative for conservative investors. On the other hand, it may lead to missing some opportunities in the market. Therefore, this approach may not be suitable for non-conservative investors. Additionally, past data may be insufficient to reflect the future in the stock market, and expert knowledge may be insufficient to find sustainability scores. With the increase in the number of stocks, using expert knowledge may also become impractical. In future research, fundamental analysis can be integrated into the proposed robust theoretical approach.

1. GİRİŞ

Sürdürülebilirlik anlayışının temelinde ekonomik, sosyal ve çevresel kaynakların tüketiminde bugünkü ve gelecekteki nesiller arasında adaletin gözetilmesi vardır. Bu nedenle sürdürülebilirlik, gelecek kuşakların gereksinimlerine zarar vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayabilme kapasitesi olarak tanımlanır (McKeown vd., 2002). Sürdürülebilir yatırım, Sürdürülebilir ve Sorumlu Yatırım Fonu tarafından, uzun vadeli rekabetçi finansal getiri elde etmek ve olumlu toplumsal etki oluşturma amacıyla çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) kriterlerini dikkate alan bir yatırım disiplini olarak tanımlanır (Qi ve Li, 2020).

Markowitz (1952) ortalama-varyans (OV) modelini tanıtarak portföy teorisini derinden etkilemiştir. Buna karşın başta ortalama vektörü olmak üzere model parametrelerinin tahmini oldukça zordur ve uygulamada iyi sonuç vermeyebilir (Goldfarb ve Iyengar, 2003; Breuer, 2006). Bu sorunun çözümü için birçok yaklaşım önerilmiştir. Örneğin, belirsizlik kümesinin elemanları sürekli olan dayanıklı OV modelleri kullanılabilir (Garlappi vd., 2006; Tütüncü ve Koenig, 2004). Belirsizlik kümesinin elemanları kesikli de olabilir (Rustem vd., 2000; Lutgens ve Schotman, 2010). Tahmin hatasının etkisini azaltma amacıyla Bayesci istatistiğe dayanan yaklaşımlar kullanılabilir (Jorion, 1986). Ortalama vektörü ihmal edildikten sonra portföy normu kısıtlanarak varyans minimizasyonu yapılabilir (De Miguel vd., 2009).

Yukarıda bahsedilen modeller, OV modelinin türevleri olup sürdürülebilirliği ihmal etmektedir. Öte yandan Utz vd. (2014), Utz vd. (2015), Gasser vd. (2017), Hilario-Caballero vd. (2020), Steuer ve Utz (2023) sürdürülebilir yatırım için üçüncü bir kriter ekleyerek OV modelini değiştirmiştir. ESG - Sharpe oranı sınırını Pedersen vd. (2021) analiz etmiştir. Ballestero vd. (2012) sürdürülebilir yatırımı portföy seçimine entegre etmek için belirsizlik altında fayda teorisini kullanmıştır. Qi ve Li (2020) ESG'ye karşı gelen üç farklı kısıt ekleyerek OV modelini değiştirmiştir. Bunların dışında sürdürülebilirliği dikkate alan başka çalışmalar da vardır. Calvo vd. (2016) bir bulanık çok kriterli model önermiştir. Bilbao-Terol vd. (2018) bir genişletilmiş hedef programlama modeli önermiştir. Yadav vd. (2023) sezgisel bulanık çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı önermiştir, Hanine vd. (2021) bir sezgisel bulanık çok amaçlı optimizasyon yaklaşımı önermiştir. Xidonas ve Essner (2022) çok amaçlı minimaks-tabanlı portföy optimizasyon modelini önermiştir. Göktaş (baskıda) oyun teorisine dayanan bütünleşik bir yaklaşım önermiştir.

Bu çalışmanın amacı tutucu yatırımcılar için sürdürülebilir portföy seçimini incelemektir. Bu çalışmanın ana motivasyonu bu amaca dayanıklı portföy optimizasyonu ile ulaşmaktır. Bu kapsamda iki aşamalı dayanıklı teorik bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada alternatiflerin sürdürülebilirlik skorları R-FES olarak kısaltılan bulanık ÇKKV yaklaşımıyla bulunmuştur. Bu yöntem, Lutgens ve Schotman (2010) tarafından önerilen dayanıklı portföy optimizasyonu çerçevesini kullanmaktadır (Göktaş ve Gökerik, 2024). İkinci aşamada ortalama vektörü ve kovaryans matrisine ek olarak sürdürülebilirlik skoru vektörünü dikkate alan bir dayanıklı optimizasyon problemi oluşturulmuştur. Ayrıca bu problemin analitik çözümü belirli varsayımlar altında verilmiştir. Bu çalışmanın özgünlüğü, sürdürülebilir portföy seçiminde sürdürülebilirlik skorlarının bulunması dahil olmak üzere sadece dayanıklı optimizasyonu kullanan ilk çalışma olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmanın devamı şu şekildedir. Bölüm 2.1'de R-FES'in aşamaları verilmiştir. Bölüm 2.2'de sürdürülebilir portföy seçimi teorik olarak incelenmiştir. Bölüm 3'te BIST katılım sürdürülebilirlik endeksine dahil olan yedi hisse senedinin verileri kullanılarak, önerilen dayanıklı teorik yaklaşım tanıtılmıştır. Söz konusu hisse senetleri ayrıca BIST Mali veya BIST Teknoloji endekslerine dahildir. Bölüm 4 ile çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. R-FES

Karar matrisi bulanık sayılardan oluşuyorsa bulanık ÇKKV yöntemleri kullanılır (Chu ve Lin, 2009). Üçgensel bulanık sayı (b, c, d) için üyelik fonksiyonu Eşitlik 1'deki gibidir.

$$A(t) = \begin{cases} \frac{t-b}{c-b}, & b \leq t < c \\ 1, & t = c \\ \frac{d-t}{d-c}, & c < t \leq d \\ 0, & \text{değilse} \end{cases} \quad (1)$$

Üçgensel bulanık sayıları kullanan R-FES'in adımları aşağıdaki gibidir (Göktaş ve Gökerik, 2024).

Adım 1: Her bir alternatif - kriter ikilisi için uzman görüşleri Tablo 1'deki dilbilimsel değişkenler yardımıyla alınır. (Bu çalışmada m adet alternatif, n adet kriter olduğu varsayılmıştır.)

Tablo 1. Dilbilimsel Değişkenler ve Karşılıkları

Dilbilimsel Değişkenler	Karşılıkları
Çok iyi	1
İyi	0,75
Vasat	0,5
Kötü	0,25
Çok kötü	0

Adım 2: i. alternatif - j. kriter ikilisi için bulanık fayda (b_{ij} , c_{ij} , d_{ij}) oluşturulur. Burada b_{ij} uzman görüşlerinin minimumuna, c_{ij} uzman görüşlerinin ortancasına, d_{ij} uzman görüşlerinin maksimumuna karşılık gelmektedir. Bunlar bir araya getirilerek bulanık karar matrisi (A) oluşturulur.

Adım 3: Eşitlik 2’de verilen olabilirlik ortalaması değerleri kullanılarak olabilirlik ortalama matrisi $M=(m_{ij})$ oluşturulur.

$$m_{ij} =: E_p \left((b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \right) = \frac{b_{ij} + 2c_{ij} + d_{ij}}{4}, \forall i, j \quad (2)$$

Adım 4: Eşitlik 3’te verilen olabilirlik varyansı değerleri kullanılarak olabilirlik varyans matrisi $V=(v_{ij})$ oluşturulur.

$$v_{ij} := Var_p \left((b_{ij}, c_{ij}, 1) \right) = \left(\frac{1-b_{ij}}{6} \right)^2, \forall i, j \quad (3)$$

Ağırlık vektörü $w=(w_i)$ iken portföyün (w) olabilirlik ortalaması ve varyansı sırasıyla Eşitlik 4’teki gibidir (Göktaş ve Duran, 2019; Göktaş ve Güçlü, 2024).

$$E_p \left(\sum_{i=1}^m w_i (b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \right) = \sum_{i=1}^m w_i m_{ij} \quad (4)$$

$$Var_p \left(\sum_{i=1}^m w_i (b_{ij}, c_{ij}, 1) \right) = \sum_{i=1}^m w_i^2 v_{ij}$$

Farklı kriterler için en kötü durumdaki faydayı maksimize eden portföy, Eşitlik 5 ile bulunur.

$$\text{maks}_w \min_j \left(\sum_{i=1}^m w_i m_{ij} - \sum_{i=1}^m w_i^2 v_{ij} \right) \quad (5)$$

Minimum fonksiyonunun tanımı gereği Eşitlik 5 ile Eşitlik 6 özdeştir. Burada y değişkeni en kötü durumdaki faydayı verir. Eşitlik 6 kesin konkav maksimizasyon problemi olduğundan, literatürdeki konveks optimizasyon algoritmalarıyla çözülebilir.

maks y

$$k.a. y - \left(\sum_{i=1}^m w_i m_{ij} - \sum_{i=1}^m w_i^2 v_{ij} \right) \leq 0, \forall j \quad (6)$$

Eşitlik 6’nın i. alternatif için tek çözümü (w_i^*) Eşitlik 7’deki yapıdadır. Burada λ_j , j. kısıtla ilişkili olan ve negatif olmayan dual optimaldir ve Lagrange çarpanı olarak adlandırılır. Lagrange çarpanlarının toplamı 1’dir (Lutgens ve Schotman, 2010). m_{ij} ve v_{ij} değerleri negatif olmadığı için w_i^* değerleri negatif değildir. (Lagrange çarpanları bilinmediği için Eşitlik 6’nın optimal sonucu nümerik olarak elde edilmelidir.)

$$w_i^* = \frac{1}{2} \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j m_{ij}}{\sum_{j=1}^n \lambda_j v_{ij}} \quad (7)$$

Adım 5: Eşitlik 6 çözümlenerek λ_j değerleri ve w_i^* değerleri bulunur. R-FES’te j. kriterin ağırlığı objektif bir şekilde λ_j olarak belirlenir. (Karush-Kuhn-Tucker koşullarından bilindiği üzere Eşitlik 6’nın j. kısıtı aktif olmayan kısıt ise $\lambda_j=0$ olarak bulunur. Aktif kısıt ise λ_j , 0’dan farklı değer alabilir.)

Adım 6: Bulunan w_i^* değerleri Eşitlik 8 ile standardize edilir ve i. alternatifin öncelik değeri (p_i) bulunur.

$$p_i = \frac{w_i^*}{\sum_{i=1}^m w_i^*} \quad (8)$$

Adım 7: Alternatiflerin öncelik vektörü $p=(p_i)$, kaynakların alternatiflere dağıtılmasında ve/veya alternatiflerin sıralamasında kullanılır. Bu çalışmada ise sürdürülebilirlik skor vektörü olarak atanmıştır.

2.2. Sürdürülebilir Portföy Seçimi

Bu bölümde portföyde kısa pozisyon bulunabildiği (varlık ağırlıklarının negatif olabildiği) ve portföyde risksiz varlığın bulunabildiği varsayılmıştır. Kovaryans matris Σ ile, kovaryans matrisin tersi Σ^{-1} ile, risksiz faiz oranının üzerindeki ortalamayı gösteren vektör μ ile, μ vektörünün standardize edilmiş yani elemanları toplamına bölünmüş hali q ile, tüm elemanları 1 olan sütun vektörü e ile, elemanları toplamı 1 olan sürdürülebilirlik skor vektörü p ile gösterilmiştir. e^T , e sütun vektörünün transpozudur. Bu çalışmada μ ve Σ yerine bunların yansız tahminçileri yani örneklem ortalama vektörü ve örneklem kovaryans matrisi kullanılmıştır. Ayrıca örneklem ortalama vektörünün elemanları toplamının pozitif olduğu varsayılmıştır.

Bu alt bölümde öncelikle OV modelindeki özel portföyler verilmiştir. Riskli varlıklar içinde varyansı minimum yapan portföy (MinV) Eşitlik 9'daki gibidir (Garlappi vd., 2006).

$$MV = \frac{\Sigma^{-1}e}{e^T \Sigma^{-1}e} \quad (9)$$

Risksiz faiz oranı üzerindeki ortalama bölü standart sapma olarak tanımlanan Sharpe oranını maksimum yapan portföy (Tanjant portföyü, TP) Eşitlik 10'daki gibidir (Garlappi vd., 2006).

$$TP = \frac{\Sigma^{-1}\mu}{e^T \Sigma^{-1}\mu} \quad (10)$$

Portföyün (w) fayda fonksiyonu Eşitlik 11 ile tanımlansın. Burada δ , pozitif olan riskten kaçınma katsayısıdır.

$$F(w) := w^T \mu - \frac{1}{2} \delta w^T \Sigma w \quad (11)$$

Eşitlik 11'i maksimize eden portföy (optimal portföy, OP) Eşitlik 12'deki gibidir. Buna göre OV etkin sınırı, risksiz varlık ve TP'nin lineer kombinasyonlarıyla elde edilir (Garlappi vd., 2006).

$$OP = \frac{\Sigma^{-1}\mu}{\delta} \quad (12)$$

Bu alt bölümün devamı sürdürülebilir portföy seçimi ile ilgilidir. Portföyün sürdürülebilirlik değeri Eşitlik 13 ile tanımlansın (Pedersen vd., 2021).

$$S(w) := \frac{w^T p}{w^T e} \quad (13)$$

Birim standart sapma başına sürdürülebilirlik değerini maksimize eden portföy (sürdürülebilir tanjant portföyü, STP) Eşitlik 14'teki gibidir (Pedersen vd., 2021).

$$STP = \frac{\Sigma^{-1}p}{e^T \Sigma^{-1}p} \quad (14)$$

δ katsayısı μ vektörünün elemanları toplamına bölünsün ve λ katsayısı elde edilsin. Bu çalışmada sürdürülebilir fayda fonksiyonu Eşitlik 15'teki gibi tanımlanmıştır.

$$SF(w) := \min \left(w^T q - \frac{1}{2} \lambda w^T \Sigma w, w^T p - \frac{1}{2} \lambda w^T \Sigma w \right) \quad (15)$$

Bu çalışmada sürdürülebilir optimal portföy (SOP), Eşitlik 16a'daki dayanıklı optimizasyon probleminin optimal sonucu olarak tanımlanmıştır.

$$\text{maks}_w \min \left(w^T q - \frac{1}{2} \lambda w^T \Sigma w, w^T p - \frac{1}{2} \lambda w^T \Sigma w \right) \quad (16a)$$

Minimum fonksiyonunun tanımı gereği Eşitlik 16a ve Eşitlik 16b özdeştir. Burada y değişkeni minimum fonksiyonu ile ilişkilidir.

$$\begin{aligned} \text{maks } y - \frac{1}{2} \lambda w^T \Sigma w \\ \text{k.a. } y \leq w^T q \\ y \leq w^T p \end{aligned} \quad (16b)$$

x vektörünün kareli Mahalanobis normu Eşitlik 17'deki gibi tanımlanır. Söz konusu norm, x vektörünün orijine olan Mahalanobis uzaklığının karesidir. Mahalanobis uzaklık, Öklid uzaklığının aksine değişkenler arasındaki lineer ilişkiyi dikkate alır (Breuer, 2006).

$$\|x\|_M^2 := x^T \Sigma^{-1} x \quad (17)$$

Eşitlik 16b'nin kısıt fonksiyonlarıyla ilişkili olan α katsayısı Eşitlik 18'deki gibi tanımlanmıştır. Burada β katsayısı, kareli Mahalanobis normları için karşılaştırma değeri olarak düşünülebilir.

$$\beta := p^T \Sigma^{-1} q \text{ iken } \alpha := \begin{cases} 0, \|p\|_M^2 \leq \beta \\ 1, \|q\|_M^2 \leq \beta \\ \frac{\|p\|_M^2 - \beta}{(\|p\|_M^2 - \beta) + (\|q\|_M^2 - \beta)}, \text{ de\u011filse} \end{cases} \quad (18)$$

KKT koşullarına göre $\alpha=1$ ise Eşitlik 16b'nin sadece ilk kısıtı aktiftir, $\alpha=0$ ise Eşitlik 16b'nin sadece ikinci kısıtı aktiftir. α katsayısı (0,1) açık aralığındaysa Eşitlik 16b'nin iki kısıtı da aktiftir. Buna göre SOP, Eşitlik 19'daki gibi bulunmuştur. Benzer ispat Lutgens ve Schotman'ın (2010) Önerme 2'sinde verilmiştir. Eşitlik 17, Eşitlik 18 ve Eşitlik 19 birlikte değerlendirildiğinde, q vektörünün kareli Mahalanobis normu arttıkça (azaldıkça) SOP'taki etkisinin azaldığı (arttığı) söylenebilir. Bu bilgi p vektörü için de geçerlidir. Bu durum Eşitlik 16a-16b'nin en kötü durum odaklı olmasının sonucudur.

$$SOP = \frac{\Sigma^{-1} [\alpha q + (1-\alpha) p]}{\lambda} \quad (19)$$

SOP, elemanları toplamına bölünerek sürdürülebilir referans portföyü (SRP) Eşitlik 20'deki gibi elde edilmiştir.

$$r := \alpha q + (1-\alpha) p \text{ iken } SRF = \frac{\Sigma^{-1} r}{e^T \Sigma^{-1} r} \quad (20)$$

Sürdürülebilir OV etkin sınır, SRF ve risksiz varlığın lineer kombinasyonlarıyla elde edilir. SRF elde edilirken q vektörü için sürdürülebilirlik düzeltmesi yapılarak r vektörü elde edilir ve sonrasında TP bulunur. Bu durum Jorion (1986) tarafından verilen Bayesci yaklaşımla benzerlik taşımaktadır. Bayesci yaklaşımda örneklem ortalama vektörü başlangıçta belirlenmiş bir vektöre yaklaştırılır ve sonrasında TP bulunur. Söz konusu vektör belirlenirken MV'nin örneklem ortalamasından yararlanılabilir (Garlappi vd., 2006).

Bu alt bölümde risksiz faiz oranı üzerindeki ortalama vektörünün (μ), örneklem ortalama vektörüne eşit olduğu varsayılmıştır. Bu vektör bir kutu tipi belirsizlik kümesine ait olsun. σ_i i. varlığın örneklem standart sapması, ζ_i i. varlığın ortalaması için belirsizlik katsayısı, $\text{sgn}()$ işaret fonksiyonu, $\Theta=(\Theta_i)$ belirsizlik vektörü, m örneklem ortalama vektörü ve k her bir varlık için getiri verisi sayısı olsun. Buna göre Eşitlik 11'de verilen fayda fonksiyonunun, ortalama vektörü için en kötü durumdaki değerini maksimum yapan portföy (dayaklı optimal portföy, DOP) Eşitlik 21'in tek optimal sonucudur. DOP standardize edildiğinde dayanıklı tanjant portföyü (DTP) elde edilir. Dayanıklı OV etkin sınır ise risksiz varlık ve DTP'nin lineer kombinasyonlarıyla elde edilir. Detaylı bilgi Garlappi vd.'nin (2006) Önerme 1'inde verilmiştir.

$$\theta_i := \text{sgn}(w_i) \frac{\sigma_i \zeta_i}{\sqrt{k}}, \forall i \text{ iken maks}_w w^T (m - \theta) - \frac{1}{2} \delta w^T \Sigma w \quad (21)$$

Literatürde kutu tipi belirsizlik kümesi genellikle güven aralıkları kullanılarak belirlenir. Buna göre ζ_i belirli bir güven düzeyi için bulunur. Bu çalışmada her i için $\zeta_i=1-p_i$ olarak alınmıştır. Burada sürdürülebilirlik skoru arttıkça belirsizliğin azalacağı varsayılmıştır. Buna göre Eşitlik 21, Eşitlik 19'a benzer şekilde örneklem ortalama vektöründe sürdürülebilirlik düzeltmesi yapar.

Uyarı: Portföyde kısa pozisyon bulunamıyorsa bu bölümde bahsedilen tüm portföyler bir konveks optimizasyon probleminin sonucu olarak nümerik yöntemlerle elde edilebilir. MATLAB yazılımı olan CVX, bu çalışmada olduğu gibi nümerik hesaplamada kullanılabilir (Grant ve Boyd, 2008).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. R-FES

Bu alt bölümde yedi hisse senedinin sürdürülebilirlik skorlarını uzman bilgisinden yararlanarak hesaplamak için R-FES kullanılmıştır. Söz konusu hisse senetleri AKSGY, ALBRK, ASELS, LOGO, NETAS, POLHO ve TEKFN olarak sıralanabilir. Bunlar akademisyen veya sektör profesyoneli olan beş farklı uzman tarafından, test periyodunun başlangıç tarihi olan 01.01.2023 tarihi öncesindeki halka açık bilgilerle üç kriter bazında değerlendirilmiştir. Söz konusu kriterler; çevresel (K1), sosyal (K2) ve yönetim (K3) faktörleridir.

Adım 1: Tablo 1'deki dilbilimsel değişkenler kullanılarak her bir alternatif - kriter ikili için beş farklı uzmanın görüşleri alınmıştır. Birinci uzmanın görüşleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Birinci Uzmanın Görüşleri

	K1	K2	K3
AKSGY	İyi	İyi	Kötü
ALBRK	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
ASELS	Kötü	İyi	Çok iyi
LOGO	İyi	İyi	Vasat
NETAS	Vasat	Vasat	Kötü
POLHO	Çok kötü	Çok kötü	Vasat
TEKFN	Kötü	Kötü	Çok kötü

Adım 2: Her bir alternatif - kriter ikilisi için uzman görüşlerinin minimumu, ortancası ve maksimumu kullanılarak bulanık karar matrisi (A) Tablo 3'teki gibi oluşturulmuştur. Örneğin AKSGY - K1 ikilisi için uzman görüşlerinin minimumu Vasat dilbilimsel değişkeni, ortancası ve maksimumu ise İyi dilbilimsel değişkenidir.

Tablo 3. Bulanık Karar Matrisi (A)

	K1	K2	K3
AKSGY	(0,5, 0,75, 0,75)	(0,5, 0,75, 1)	(0,25, 0,5, 0,5)
ALBRK	(0,75, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,75, 1)
ASELS	(0,25, 0,5, 0,5)	(0,5, 0,75, 0,75)	(0,75, 1, 1)
LOGO	(0,5, 0,75, 1)	(0,5, 0,5, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,75)
NETAS	(0,5, 0,75, 0,75)	(0,25, 0,5, 0,5)	(0,25, 0,5, 0,5)
POLHO	(0, 0,25, 0,25)	(0, 0,25, 0,5)	(0,5, 0,5, 0,75)
TEKFN	(0, 0, 0,25)	(0, 0,25, 0,25)	(0, 0,25, 0,25)

Adım 3: Tablo 3'teki bilgiler doğrultusunda Eşitlik 2 kullanılarak olabilirlik ortalama matrisi (M) Tablo 4'teki gibi oluşturulmuştur. Örneğin, $(0,5+2 \times 0,75+0,75)/4$ işlemi ile m_{11} bulunmuştur.

Tablo 4. Olabilirlik Ortalama Matrisi (M)

	K1	K2	K3
AKSGY	0,6875	0,7500	0,4375
ALBRK	0,8125	0,7500	0,7500
ASELS	0,4375	0,6875	0,9375
LOGO	0,7500	0,5625	0,5000
NETAS	0,6875	0,4375	0,4375
POLHO	0,1875	0,2500	0,5625
TEKFN	0,0625	0,1875	0,1875

Adım 4: Tablo 3'teki bilgiler doğrultusunda Eşitlik 3 kullanılarak olabilirlik varyans matrisi (V) Tablo 5'teki gibi oluşturulmuştur. Örneğin, $(1-0,5)^2/36$ işlemi ile v_{11} bulunmuştur.

Tablo 5. Olabilirlik Varyans Matrisi (V)

	K1	K2	K3
AKSGY	0,0069	0,0069	0,0156
ALBRK	0,0017	0,0069	0,0069
ASELS	0,0156	0,0069	0,0017
LOGO	0,0069	0,0069	0,0156
NETAS	0,0069	0,0156	0,0156
POLHO	0,0278	0,0278	0,0069
TEKFN	0,0278	0,0278	0,0278

Adım 5: Eşitlik 6, MATLAB yazılımı olan CVX ile çözümlenerek $w_1^*=33,4109$, $w_2^*=64,2190$, $w_3^*=50,8898$, $w_4^*=30,1695$, $w_5^*=17,4326$, $w_6^*=7,8027$, $w_7^*=2,9383$ olarak bulunmuştur. Lagrange çarpanları CVX'te dual değişkenler olarak tanımlanmıştır ve $\lambda_1=0,1941$, $\lambda_2=0,4991$, $\lambda_3=0,3068$ olarak bulunmuştur. Buna göre R-FES ile objektif bir şekilde belirlenen kriter ağırlıkları K1 için %19,41, K2 için %49,91 ve K3 için %30,68'dir.

Adım 6: Eşitlik 8 kullanılarak w^* vektörü standardize edilmiş ve alternatiflerin öncelikleri sırasıyla $p_1=0,1615$, $p_2=0,3104$, $p_3=0,2460$, $p_4=0,1458$, $p_5=0,0843$, $p_6=0,0377$, $p_7=0,0142$ olarak bulunmuştur.

Adım 7: Adım 6'daki öncelik değerleri hisse senetlerinin sürdürülebilirlik skorları olarak atanmıştır ve sürdürülebilirlik skor vektörü $p=(p_i)$ olarak belirlenmiştir. Buna göre hisse senetlerinin sürdürülebilirlik sıralaması ALBRK, ASELS, AKSGY, LOGO, NETAS, POLHO ve TEKFN olarak bulunmuştur.

3.2. Sürdürülebilir Portföy Seçimi

Bu çalışmada yıllık risksiz faiz oranı Bloomberg'in 30.12.2022 Cuma günündeki gösterge faiz oranı olan %8,75 olarak alınmıştır. Tablo 6'da eğitim periyodunda (2022 yılında) yedi hisse senedinin haftalık risksiz faiz oranı üzerindeki basit getirileri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada test periyodu 2023 yılının ilk üç çeyreği olarak alınmıştır.

Tablo 6. Hisse Senetleri İle İlgili Bilgiler

	Minimum	Ortanca	Maksimum	Ortalama	Standart s.	Sharpe o.	q vektörü
AKSGY	-0,0948	0,0115	0,3022	0,0316	0,0821	0,3848	0,2128
ALBRK	-0,1899	0,0057	0,3895	0,0195	0,0929	0,2096	0,1311
ASELS	-0,1111	0,0196	0,2119	0,0218	0,0685	0,3179	0,1466
LOGO	-0,0648	-0,0012	0,1327	0,0093	0,0446	0,2090	0,0627
NETAS	-0,0753	0,0080	0,1746	0,0175	0,0547	0,3195	0,1176
POLHO	-0,0937	0,0272	0,1884	0,0309	0,0669	0,4625	0,2081
TEKFN	-0,1597	0,0188	0,1497	0,0180	0,0689	0,2607	0,1210

Değişkenler arasındaki lineer ilişkiyi gösteren örneklem lineer korelasyon matrisi Tablo 7'deki gibi bulunmuştur. Bu matris ve örneklem standart sapma vektörü kullanılarak örneklem kovaryans matrisi elde edilebilir.

Tablo 7. Örneklem Lineer Korelasyon Matrisi

	AKSGY	ALBRK	ASELS	LOGO	NETAS	POLHO	TEKFN
AKSGY	1,0000	0,2388	0,1708	0,3068	0,4626	-0,1094	0,3891
ALBRK	0,2388	1,0000	0,2584	0,3221	0,2914	0,0737	0,2201
ASELS	0,1708	0,2584	1,0000	0,1998	0,3746	0,2998	0,4563
LOGO	0,3068	0,3221	0,1998	1,0000	0,4246	-0,0852	0,1971
NETAS	0,4626	0,2914	0,3746	0,4246	1,0000	0,1790	0,4061
POLHO	-0,1094	0,0737	0,2998	-0,0852	0,1790	1,0000	0,2653
TEKFN	0,3891	0,2201	0,4563	0,1971	0,4061	0,2653	1,0000

p vektörünün kareli Mahalanobis normu 30,1896 olarak, q vektörünün kareli Mahalanobis normu 19,8469 olarak bulunmuştur. Eşitlik 18 kullanılarak karşılaştırma değeri (β) 13,6334 olarak, α katsayısı 0,7272 olarak bulunmuştur. Buna göre r vektörü $0,7272q+0,2728p$ olarak belirlenmiştir ve Eşitlik 20 kullanılarak SRF Tablo 8'deki gibi bulunmuştur. Burada EAP eşit ağırlıklı portföydür, MV minimum varyans portföydür, TP tanjant portföydür, STP sürdürülebilir tanjant portföydür, DTP dayanıklı tanjant portföydür.

Tablo 8. Kısa Pozisyon Almama Kısıtı Yokken Özel Portföyler

	MV	TP	STP	SRF	DTP	EAP
AKSGY	0,0729	0,3420	0,2280	0,3120	0,3311	0,1429
ALBRK	-0,0012	0,0221	0,2238	0,0753	0,0000	0,1429
ASELS	0,0552	0,1144	0,5611	0,2321	0,0783	0,1429
LOGO	0,5197	0,1762	0,5516	0,2751	0,1646	0,1429
NETAS	0,0567	-0,0407	-0,2538	-0,0969	0,0000	0,1429
POLHO	0,2642	0,4983	0,1005	0,3935	0,5121	0,1429
TEKFN	0,0326	-0,1123	-0,4111	-0,1910	-0,0861	0,1429

x vektörünün 1-normu, x vektörünün elemanlarının mutlak değerleri toplanarak bulunur. De Miguel vd. (2009) portföyün (w) 1-normunu kısıtlayarak yani portföydeki kısa pozisyonlara kısıt getirerek portföy performansının artırılabilceğini göstermiştir. MV'deki tek kısa pozisyon ALBRK hisse senedindedir ve MV'nin 1-normu 1,0025 olarak bulunur. TP'deki, STP'deki ve SRF'deki kısa pozisyonlar NETAS ve TEKFN hisse senetlerindedir ve TP'nin, STP'nin ve SRF'nin 1-normları sırasıyla 1,3061, 2,3299 ve 1,5758 olarak bulunmuştur. DTP'deki tek kısa pozisyon TEKFN hisse senedindedir ve DTP'nin 1-normu 1,1723 olarak bulunmuştur. Tanımı gereği EAP'ta kısa pozisyon yoktur ve dolayısıyla EAP'ın 1-normu 1'e eşittir.

Tablo 8'deki özel portföylerin, test periyodu için bilgileri Tablo 9'da verilmiştir. Burada yine haftalık risksiz faiz oranı üzerindeki basit getiriler kullanılmıştır. STP, SRF ve TP getiri açısından ilk üç sıradadır. Risk açısından MV, EAP ve DTP ilk üç sıradadır. Başka bir deyişle söz konusu altı portföyden hem risk hem de getiri açısından ilk üç sırada olan bir portföy yoktur. Performans açısından ise DTP, TP ve SRF ilk üç sıradadır. Hem DTP hem de SRF, örneklem ortalama vektöründe sürdürülebilirlik düzeltilmesi yapılarak elde edilmiştir.

Tablo 9. Kısa Pozisyon Almama Kısıtı Yokken Test Periyodu İçin Bilgiler

	Getiri (Ortalama)		Risk (Standart sapma)		Performans (Sharpe o.)	
	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
MV	0,0072	6	0,0881	1	0,0821	6
TP	0,0128	3	0,1279	4	0,1003	2
STP	0,0175	1	0,1933	6	0,0905	5
SRF	0,0141	2	0,1451	5	0,0969	3
DTP	0,0117	4	0,1166	3	0,1007	1
EAP	0,0085	5	0,0889	2	0,0953	4

STP, SRF ve TP'nin risk açısından son üç sırada olmasının temel nedeni 1-normlarının diğer üç portföye göre daha yüksek olması olabilir. 1-normun, alınan kısa pozisyonlarla arttığı 1-normun tanımından bilinmektedir. Bu bilgiye ek olarak ülkemizde zaman zaman olduğu gibi kısa pozisyon almaya geçici sınırlamalar getirilebilir. Bu iki unsuru dikkate almak için portföyde kısa pozisyonun bulunmadığı durum da analiz edilmiştir. Bu durum portföyün 1-normunun 1 değeriyle kısıtlanması demektir. Kısa pozisyon almama kısıtı varken Tablo 10'daki özel portföyler elde edilmiştir. SRF, TP'ye eşit bulunmuştur. Yani Eşitlik 16b'nin sadece ilk kısıtı aktiftir.

Tablo 10. Kısa Pozisyon Almama Kısıtı Varken Özel Portföyler

	MV	TP	STP	SRF	DTP	EAP
AKSGY	0,0727	0,2961	0,0502	0,2961	0,3037	0,1429
ALBRK	0,0001	0,0181	0,1888	0,0181	0,0000	0,1429
ASELS	0,0549	0,0708	0,3505	0,0708	0,0496	0,1429
LOGO	0,5191	0,1536	0,4105	0,1536	0,1573	0,1429
NETAS	0,0566	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1429
POLHO	0,2641	0,4614	0,0000	0,4614	0,4893	0,1429
TEKFN	0,0325	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1429

Tablo 10'daki özel portföylerin, test periyodu için bilgileri Tablo 11'de verilmiştir. Getiri açısından ilk üç sırada DTP, SRF ve TP vardır. Risk açısından ilk üç sırada STP, MV ve EAP vardır. Başka bir deyişle söz konusu altı portföyden hem risk hem de getiri açısından ilk üç sırada olan bir portföy yoktur. Performans açısından ilk üç sırada SRP, TP ve DTP vardır. Bu portföylerde NETAS ve TEKFN hisse senetlerinin ağırlığı sıfırdır. Ayrıca söz konusu portföylerde ağırlığı en yüksek olan üç hisse senedi sırasıyla POLHO, AKSGY ve LOGO olarak bulunmuştur.

Tablo 11. Kısa Pozisyon Almama Kısıtı Varken Test Periyodu İçin Bilgiler

	Getiri (Ortalama)		Risk (Standart s.)		Performans (Sharpe o.)	
	Değer	Sıra	Değer	Sıra	Değer	Sıra
MV	0,0072	5	0,0879	2	0,0821	6
TP	0,0103	2,5	0,0997	4,5	0,1038	1,5
STP	0,0066	6	0,0720	1	0,0915	5
SRF	0,0103	2,5	0,0997	4,5	0,1038	1,5
DTP	0,0105	1	0,1012	6	0,1035	3
EAP	0,0085	4	0,0889	3	0,0953	4

Tablo 11'deki matrizen, Tablo 9'daki matris çıkarılınca Tablo 12'deki değişim matrisi elde edilmiştir. Görüldüğü üzere kısa pozisyon almama kısıtıyla birlikte getiride kötüleşme ama risk ve performansta iyileşme vardır. Performanstaki artış De Miguel vd.'nde (2009) verilen sonuçlarla uyumludur. Özel portföyler tek tek incelendiğinde en büyük değişimin STP'de olduğu görülmüştür. STP'nin getiri

açısından sırası 5 birim kötüleşirken, risk açısından sırası 5 birim iyileşmiştir. Bu derecede büyük değişimin temel nedeni, kısa pozisyon almama kısıtı yokken STP'nin 1-normunun 2,3299 gibi diğerlerine göre çok yüksek bir değere eşit olmasıdır.

Tablo 12. Değişim Matrisi

	Getiri (Ortalama)		Risk (Standart s.)		Performans (Sharpe o.)	
	Değer Değ.	Sıra Değ.	Değer Değ.	Sıra Değ.	Değer Değ.	Sıra Değ.
MV	0,0000	-1	-0,0002	1	0,0000	0
TP	-0,0025	-1	-0,0282	0,5	0,0035	-0,5
STP	-0,0109	5	-0,1213	-5	0,0010	1
SRF	-0,0038	1	-0,0454	-0,5	0,0069	-1,5
DTP	-0,0012	-3	-0,0154	1	0,0028	2
EAP	0,0000	-1	0,0000	1	0,0000	-1

Optimizasyonun tanımı gereği sürdürülebilir yatırımın, eğitim periyotunda performansı azaltması doğaldır. Buna karşın kısa pozisyon almama kısıtından bağımsız olarak, bu çalışmada test periyotunda sürdürülebilir yatırımın performans kaybına neden olacağına dair bir bulguya rastlanmamıştır. Bu bilgi Hilario-Caballero vd. (2020), Utz vd. (2014), Utz vd. (2015), Qi ve Li (2020), Göktaş (baskıda) tarafından verilen sonuçlarla uyumludur. Bununla birlikte Pedersen vd. (2021), Xidonas ve Essner (2022) sürdürülebilir yatırımın daha iyi sonuçlar getirdiğini bulmuştur. Öte yandan Ballesterro vd. (2012) sürdürülebilir yatırımın riski artırdığını, Gasser vd. (2017) getiriye azalttığını bulmuştur.

4. SONUÇ

Bu çalışmada tutucu yatırımcıların sürdürülebilir portföy seçimi için önerilen iki aşamalı dayanıklı teorik yaklaşım BIST katılım sürdürülebilirlik endeksine dahil olan mali sektör ve teknoloji sektörü hisse senetleri kullanılarak açıklanmıştır. Yapılan uygulamanın ilk aşamasında hisse senetlerinin sürdürülebilirlik skorları, bulanık ÇKKV yaklaşımı olan R-FES kullanılarak elde edilmiştir. Bu skorlara göre elde edilen sıralama ALBRK, ASEL, AKSGY, LOGO, NETAS, POLHO, TEKNF şeklinde. Yapılan uygulamanın ikinci aşamasında, sürdürülebilirlik skorlarını dikkate alan dayanıklı portföylerin (SRF ve DTP), geleneksel yaklaşımdaki portföylere (MV, TP, EAP) göre düşük performansla sahip olmadığı görülmüştür. Ayrıca De Miguel vd.'ne (2009) benzer olarak performans artışı için portföyün 1-normunun kısıtlanabileceği görülmüştür. Önerilen dayanıklı teorik yaklaşım en kötü durum odaklıdır ve tutucu yatırımcılar için iyi bir tercih olabilir. Buna karşın en kötü durum odaklılık, piyasadaki bazı fırsatların kaçırılmasına neden olabilir. Bu nedenle söz konusu yaklaşım tutucu olmayan yatırımcılar için uygun olmayabilir. Ayrıca hisse senedi piyasasında geçmiş veri geleceği yansıtmada ve uzman bilgisi sürdürülebilirlik skorlarını bulmada yetersiz kalabilir. Hisse senedi sayısındaki artışla birlikte uzman bilgisinin kullanılması pratik olmayabilir. Bununla birlikte örneklem ortalama vektörünün elemanlarının toplamı pozitif değilse sadece DTP bulunabilir, SRF bulunamaz. İlerideki çalışmalarda temel analiz, önerilen dayanıklı teorik yaklaşıma entegre edilebilir.



Bu çalışma etik kurul izni gerektirmemektedir.

Makale ile ilgili notlar

Makale araştırma ve yayın etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın tamamı, beyan edilen tek yazarı tarafından gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Ballestero, E., Bravo, M., Pérez-Gladish, B., Arenas-Parra, M. ve Pla-Santamaria, D. (2012). Socially responsible investment: A multicriteria approach to portfolio selection combining ethical and financial objectives. *European Journal of Operational Research*, 216(2), 487-494. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.011>
- Bilbao-Terol, A., Arenas-Parra, M., Cañal-Fernández, V. ve Obam-Eyang, P. N. (2018). Multi-criteria analysis of the GRI sustainability reports: an application to Socially Responsible Investment. *Journal of the Operational Research Society*, 69(10), 1576-1598. <https://doi.org/10.1057/s41274-017-0229-0>
- Breuer, T. (2006). Providing against the worst: Risk capital for worst case scenarios. *Managerial Finance*, 32(9), 716-730. <https://doi.org/10.1108/03074350610681934>
- Calvo, C., Ivorra, C. ve Liern, V. (2016). Fuzzy portfolio selection with non-financial goals: exploring the efficient frontier. *Annals of Operations Research*, 245(1-2), 31-46. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1561-2>
- Chu, T. C. ve Lin, Y. (2009). An extension to fuzzy MCDM. *Computers & Mathematics with Applications*, 57(3), 445-454. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2008.10.076>
- DeMiguel, V., Garlappi, L., Nogales, F. J. ve Uppal, R. (2009). A generalized approach to portfolio optimization: Improving performance by constraining portfolio norms. *Management Science*, 55(5), 798-812. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1080.0986>
- Garlappi, L., Uppal, R. ve Wang, T. (2007). Portfolio selection with parameter and model uncertainty: a multi-prior approach. *The Review of Financial Studies*, 20(1), 41-81. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhl003>
- Gasser, S. M., Rammerstorfer, M. ve Weinmayer, K. (2017). Markowitz revisited: social portfolio engineering. *European Journal of Operational Research*, 258(3), 1181-1190. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.10.043>
- Goldfarb, D. ve Iyengar, G. (2003). Robust portfolio selection problems. *Mathematics of Operations Research*, 28(1), 1-38. <https://doi.org/10.1287/moor.28.1.1.14260>
- Göktaş, F. (baskıda). A game-theoretical integrated approach for sustainable portfolio selection: An application on BIST participation sustainability index stocks. *Black Sea Journal of Engineering and Science*. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1403554>
- Göktaş, F. ve Duran, A. (2019). A new possibilistic mean-variance model based on the principal components analysis: an application on the Turkish holding stocks. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 32(5-6), 455-476.
- Göktaş, F. ve Gökerik, M. (2024). A novel robust theoretical approach on social media advertisement platform selection. *International Journal of Engineering Research and Development*, 16(1), 373-382. <https://doi.org/10.29137/umagd.1398580>
- Göktaş, F. ve Güçlü, F. (2024). Yeni bir çok kriterli karar verme yaklaşımı “olabilirlik değerlendirme sistemi”: Katılım fonları üzerine bir uygulama. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, 7(1), 1-8. <https://doi.org/10.34248/bsengineering.1341340>
- Grant, M. C. ve Boyd, S. P. (2008). Graph implementations for nonsmooth convex programs. V. D. Blondel, S. P. Boyd ve H. Kimura (Eds.) içinde, *Recent advances in learning and control* (ss. 95-110). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-155-8_7
- Hilario-Caballero, A., Garcia-Bernabeu, A., Salcedo, J. V. ve Vercher, M. (2020). Tri-criterion model for constructing low-carbon mutual fund portfolios: A preference-based multi-objective genetic algorithm approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6324. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176324>
- Jorion, P. (1986). Bayes-Stein estimation for portfolio analysis. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 21(3), 279-292. <https://doi.org/10.2307/2331042>

- Hanine, Y., Lamrani Alaoui, Y., Tkiouat, M. ve Lahrichi, Y. (2021). Socially responsible portfolio selection: an interactive intuitionistic fuzzy approach. *Mathematics*, 9(23), 3023. <https://doi.org/10.3390/math9233023>
- Lutgens, F. ve Schotman, P. C. (2010). Robust portfolio optimisation with multiple experts. *Review of Finance*, 14(2), 343-383. <https://doi.org/10.1093/rof/rfn028>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. <https://doi.org/10.2307/2975974>
- McKeown, R., Hopkins, C. A., Rizi, R. ve Chrystalbridge, M. (2002). *Education for sustainable development toolkit*. Energy, Environment and Resources Center, University of Tennessee.
- Pedersen, L. H., Fitzgibbons, S. ve Pomorski, L. (2021). Responsible investing: The ESG-efficient frontier. *Journal of Financial Economics*, 142(2), 572-597. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2020.11.001>
- Qi, Y. ve Li, X. (2020). On imposing ESG constraints of portfolio selection for sustainable investment and comparing the efficient frontiers in the weight space. *Sage Open*, 10(4), 2158244020975070. <https://doi.org/10.1177/2158244020975070>
- Rustem, B., Becker, R. G. ve Marty, W. (2000). Robust min–max portfolio strategies for rival forecast and risk scenarios. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 24(11-12), 1591-1621. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(99\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(99)00088-3)
- Steuer, R. E. ve Utz, S. (2023). Non-contour efficient fronts for identifying most preferred portfolios in sustainability investing. *European Journal of Operational Research*, 306(2), 742-753. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.08.007>
- Tütüncü, R. H. ve Koenig, M. (2004). Robust asset allocation. *Annals of Operations Research*, 132, 157-187. <https://doi.org/10.1023/B:ANOR.0000045281.41041.ed>
- Utz, S., Wimmer, M., Hirschberger, M. ve Steuer, R. E. (2014). Tri-criterion inverse portfolio optimization with application to socially responsible mutual funds. *European Journal of Operational Research*, 234(2), 491-498. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.07.024>
- Utz, S., Wimmer, M. ve Steuer, R. E. (2015). Tri-criterion modeling for constructing more-sustainable mutual funds. *European Journal of Operational Research*, 246(1), 331-338. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.035>
- Xidonas, P. ve Essner, E. (2022). On ESG portfolio construction: a multi-objective optimization approach. *Computational Economics*, (63), 1-25. <https://doi.org/10.1007/s10614-022-10327-6>
- Yadav, S., Kumar, A., Mehlawat, M. K., Gupta, P. ve Charles, V. (2023). A multi-objective sustainable financial portfolio selection approach under an intuitionistic fuzzy framework. *Information Sciences*, 646, 119379. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2023.119379>