

PORTFÖY OPTİMİZASYONU İÇİN BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ UYGULAMASI

Aslı SEBATLI-SAĞLAM * 
Fatih ÇAVDUR * 

Alınma: 27.02.2019; düzeltme: 11.10.2020; kabul: 19.10.2020

Öz: Bu çalışmada, Markowitz ortalama-varyans modeli kullanılarak portföy optimizasyonu için kişisel bilgisayarda çalışan bir karar destek sistemi sunulmaktadır. Uygulama, günlük hayatta sıklıkla kullanılan bir elektronik tablola yazılım ortamında geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile girilen parametrelere bağlı olarak Markowitz ortalama-varyans modeli çözdürülmektedir. Elde edilen optimal portföy, elektronik tablola ortamının grafiksel arayüzü kullanılarak sunulmaktadır. Sistemin uygulaması için 2009-2018 yılları arasındaki Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi'nde yer alan 30 firmanın günlük kapanış fiyatlarını içeren bir veri kümesi kullanılmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi kullanılarak farklı beklenen getiri oranları için optimal portföyler elde edilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Esnek ve kullanımı kolay şekilde bir elektronik tablola yazılım ortamında çalışabilen ve Markowitz ortalama-varyans modelinin matematiksel detaylarına hakim olmayı gerektirmeksizin yatırımcıların optimal portföyler oluşturmalarına olanak sağlayan bir portföy optimizasyonu aracının geliştirilmiş olması çalışmanın en önemli katkısını oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Portföy optimizasyonu, Markowitz ortalama-varyans modeli, Matematiksel programlama, Kuadratik programlama, Karar destek sistemleri

A Decision Support System Application for Portfolio Optimization

Abstract: In this study, a decision support system for portfolio optimization is developed. The application is developed on a spreadsheet environment frequently used in daily life. Using the developed system, the Markowitz mean-variance model is solved based on the problem parameters entered by the user. The resulted optimal portfolio is presented using the graphical user interface of the spreadsheet environment. A dataset including the daily closure prices of the 30 companies in the Dow Jones Industrial Average Index between the years of 2009 and 2018 is used for the implementation of the system. The optimal portfolios for different required-return rates are obtained and the results are analyzed using the developed decision support system. Development of a flexible and easy-to-use portfolio optimization tool running in a spreadsheet environment and allowing investors constructing optimal portfolios without dealing with the mathematical details of the Markowitz mean-variance model constitute the most important contribution of the study.

Keywords: Portfolio optimization, Markowitz mean-variance model, Mathematical programming, Quadratic programming, Decision support systems

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, 16059 Bursa, Türkiye

İletişim Yazarı: Aslı Sebatlı-Sağlam (aslisebatli@gmail.com)

1. GİRİŞ

Portföy, bir kişi ya da kuruluş tarafından sahip olunan kaynakların tamamını ifade etmektedir. Portföy optimizasyonu ise çeşitli yatırım alternatifleri arasından, beklenen hedef(ler) (minimum risk, maksimum beklenen getiri vb.) için en iyi portföyün seçimini amaçlamaktadır. Markowitz tarafından önerilen ve bütün dünyada portföy yönetimi alanında büyük etki yaratan Modern Portföy Teorisi'nde geleneksel portföy yönetimi stratejisinden farklı olarak yatırım alternatifi getirilerinin birbiri ile olan ilişkileri de dikkate alınmaktadır. Portföy optimizasyonunda karar vericilerin amacı, farklı risk ve getiri değerlerindeki etkin portföyleri birleştiren etkin sınır üzerinde bulunan noktaların (buna karşılık gelen portföylerin) belirlenmesidir. Burada bahsi geçen etkin sınır ilerleyen sayfalarda detayları verilen ve çözüm açısından genel olarak diğer doğrusal-olmayan programlama formülasyonlarında bulunmayan bazı avantajları içeren bir kuadratik programlama modeli ile elde edilebilmektedir.

Bununla birlikte, portföy optimizasyonu stokastik unsurlar içeren karmaşık bir problem olarak uygulamada çeşitli sınırlamalara yol açmaktadır. Bu nedenle, farklı koşullar altında problemin çözümü için bilişim teknolojilerinden faydalanılarak, yatırımcılara karar verme sürecinde destek olabilecek araçların geliştirilmesi önemli olmaktadır. Bu çalışmada, Markowitz ortalama-varyans modeli ele alınarak portföy optimizasyonu için bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Günlük hayatta sıklıkla kullanılan bir elektronik tablolama yazılımı ortamında geliştirilen bu uygulama aracılığıyla, kullanıcıdan alınan çeşitli parametreler doğrultusunda Markowitz ortalama-varyans modeli çözdürülmekte ve oluşturulan portföy raporlanmaktadır. Geliştirilen uygulamada, beklenen ortalama getiri miktarı kısıtı altında minimum risk ile yatırım yapmayı amaçlayan klasik Markowitz ortalama-varyans modelinin yanı sıra, yatırım miktarı için alt ve üst sınırlar ile bütçe kısıtı da dikkate alınabilmektedir. Buna ek olarak, kullanıcıya çeşitli yatırım alternatiflerine yatırım yapma/yapmama ve farklı kazanç oranı hesaplama yöntemleri (logaritmik, aritmetik) arasında seçim yapma imkanı da sunulmaktadır. Geliştirilen sistemin çalışmasını göstermek amacıyla, 2009-2018 yılları arasındaki Dow Jones Borsası Endeksi'nde yer alan 30 firmanın günlük kapanış fiyatlarını içeren veri seti kullanılmıştır. Farklı beklenen getiri oranı değerleri için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Makalenin ilerleyen bölümleri şu şekilde devam etmektedir. İkinci bölümde portföy optimizasyonu ile ilgili kısa bir literatür araştırması verilmiştir. Üçüncü bölümde Markowitz tarafından önerilen ortalama-varyans modeli anlatılmıştır. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında dikkate alınan matematiksel programlama modelinin ve geliştirilen masaüstü uygulamasının detayları verilerek, elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Beşinci ve son bölümde ise genel değerlendirme yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Finans uygulamalarında, çeşitliliğin faydasını dikkate alan ilk kişi Markowitz olmuştur (Rubinstein, 2002). Bernoulli (1754) ise risk içeren yatırım alternatiflerini bütün olarak ele almaktan ziyade, parçalara ayırmanın önemini vurgulamıştır. Ekonomik riskin ölçütü olarak varyansın ele alınması ise ilk olarak Fisher (1906) tarafından önerilmiştir. Marschak (1938) ise faydanın ölçülmesinde ortalamaların ve kovaryans matrisinin kullanımını önermiştir. Williams (1938) yeterli çeşitlilik göz önüne alındığında, elde edilen kazançlar ile kayıpların dengeleneceğini ve saf faiz oranından bir getiri elde edileceğini savunmuştur. Böylece net risk sıfır olacaktır.

Yukarıda da bahsedildiği gibi ilk kez Markowitz (1952) tarafından, çeşitliliğin portföyün beklenen getirisinde bir etkisi olmadan risk minimizasyonunun mümkün olduğu belirtilmiştir. Bahsi geçen çalışma yatırımları çeşitlendirme fikrinin ilk kez matematiksel olarak formüle edildiği çalışmadır (Rubinstein, 2002). Roy (1952) tarafından geliştirilen benzer bir formülasyonda ise Markowitz'in formülasyonundaki gibi etkin kümede nereye yatırım

yapacağını yatırımcıya bırakmak yerine, “felaket seviyesi” olarak tanımlanan değeri en üst düzeye çıkaran ortalama-varyans etkin kümede tek bir portföyün seçimi önerilmektedir. Tobin (1958) tarafından, Markowitz ortalama-varyans modeli çeşitli sayısal yöntemler kullanılarak genişletilmiştir. Markowitz ortalama-varyans modeli ile ilgili daha detaylı bilgi için yine araştırmacının sonraki yıllardaki diğer çalışmaları incelenebilir (Markowitz, 1991; Markowitz, 1999).

Modern Portföy Teorisi’nde maksimum faydayı sağlayacak optimal portföyün bulunması amaçlanmaktadır. Bu teori yatırımcıların davranışlarına ilişkin iki temel amacının olduğunu varsaymaktadır. Bunlar (i) getirinin yüksek olması ve (ii) getirinin belirsizlikten uzak olması şeklindedir. Portföy seçim süreci, iki aşamaya ayrılabilir. Bunlardan ilki gözlem ve deneyim ile başlamakta ve mevcut yatırım alternatiflerinin gelecekteki performansları hakkındaki çıkarım ve fikirlerle sona ermektedir. İkinci aşama ise gelecekteki performanslar hakkındaki çıkarım ve fikirlerle başlamakta ve portföy seçimiyle sona ermektedir. Modern Portföy Teorisi bu ikinci aşama ile ilgilenmektedir. Halihazırda portföy hakkında sahip olunan fikirler ve portföy seçimi arasındaki geometrik ilişki ise “ortalama-varyans kuralı” olarak da bilinen, “yatırım alternatiflerinin beklenen getirisi-varyansı kuralına” göre gösterilmektedir. Yatırımcının amacı, farklı beklenen getiri ve risk (varyans) değerlerindeki etkin portföyleri birleştiren etkin sınır üzerindeki noktaların belirlenmesidir. Bu etkin sınır, ilerleyen sayfalarda detayları verilen kuadratik programlama ile elde edilebilmektedir. Michaud (1989) tarafından yapılan çalışmada, ortalama-varyans kuralının sağladığı çeşitli avantajlar özetlenmiştir.

Literatürde yer alan portföy optimizasyonu çalışmaları incelendiğinde, Markowitz ortalama-varyans modeline alternatif olarak çeşitli yaklaşımların da olduğu görülmektedir. Bunlar arasında; parçalı-doğrusal risk modeli (Konno, 1990), ortalama mutlak sapma (Konno ve Yamazaki, 1991), riske maruz değer (Cornuejols ve Tütüncü, 2006) ve risk altındaki koşullu değere dayanan doğrusal programlama (Rockafellar ve Uryasev, 2000; Rockafellar ve Uryasev, 2002) gibi yaklaşımların olduğu söylenebilir. Bazı çalışmalarda ise Markowitz ortalama-varyans modeline yapılan çeşitli eklentilerle, teori ile gerçek hayat uygulamaları arasındaki boşluk giderilmeye çalışılmıştır. Pouya ve diğ. (2016) fiyat/kazanç oranı ve uzman görüşlerini mevcut modele entegre etmişlerdir. Lwin ve diğ. (2017) ise fiyat dalgalanmalarından kaynaklanan riski daha iyi değerlendirmek amacıyla varyans yerine riske maruz değeri ele almışlardır. Li ve Yi (2019) tarafından yapılan çalışmada, yatırımcıların beklentilerinin tutarlılığını sağlamak amacıyla bulanık sayılar kullanılmıştır. Pardalos ve diğ. (1994) tarafından yapılan çalışmada portföy seçim problemi için literatürde yer alan çeşitli optimizasyon modelleri sunulmuştur. Mansini ve diğ. (2014) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise portföy optimizasyonu için doğrusal programlama tabanlı modeller hakkında literatür taraması sunulmuştur. Zhang ve diğ. (2018) ise Markowitz ortalama-varyans modelinin dinamik optimizasyon, gürbüz optimizasyon, bulanık optimizasyon ve gerçek hayattaki faktörlerle optimizasyon da dahil olmak üzere çeşitli uzantılarını ele almışlardır. Son 20 yılda yapılan, deterministik ortalama-varyans modeli ve uygulamaları ile bu modelin gerçek hayat kısıtlarını içeren çeşitli varyasyonları hakkında bilgi almak isteyen araştırmacılar Kalayci ve diğ. (2019) tarafından yapılan literatür çalışmasını inceleyebilirler.

Büyük-ölçekli gerçek hayat problemlerinin çözümünde ise birtakım sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ertenlice ve Kalayci (2018) tarafından yapılan literatür araştırmasında portföy optimizasyonunda kullanılan sürü zekası temelli algoritmalar ve uygulamaları sunulmuştur.

Markowitz tarafından sunulan Modern Portföy Teorisi yaklaşımının son yıllarda farklı sektörlerde de uygulandığı görülmektedir. Örneğin; Algarvio ve diğ. (2017) elektrik piyasasında, Santos-Alamillos ve diğ. (2017) rüzgar enerjisi sektöründe, Kellner ve Utz (2019) ise tedarikçi seçimi ve sipariş atamalarında bu yaklaşımı kullanmışlardır.

Portföy optimizasyonu, karmaşık bir problemdir ve problemin çözümü için bilişim teknolojilerinden faydalanılması önemli avantajlar sağlayabilir. Bu amaçla, yatırımcıların karar

verme sürecini bütünleşik bir sistem olarak ele alarak portföy optimizasyonu için bir karar destek sistemi geliştirilebilir. Genel olarak bir karar destek sisteminin; (i) kullanıcı arayüzü, (ii) veritabanı, (iii) düzenleyici modeller ve veri analiz araçları ve (iv) modeller ile verinin etkileşimini sağlayan karar destek yapısı ve ağ olmak üzere dört ana bileşeni vardır (Sprague Jr ve Carlson, 1982; Power ve Sharda, 2009). Literatürde portföy optimizasyonu için yer alan karar destek sistemleri çalışmalarına örnek olarak Zopounidis ve diğ. (1995), Derigs ve Nickel (2003), Doerner ve diğ. (2004), Xidonas ve diğ. (2011) ve Jalota ve diğ. (2017) tarafından yapılan çalışmalar verilebilir. Bu konudaki eleştirilerden birisinin bahsi geçen karar destek sistemlerinin portföy yöneticisini, portföyü uygun bir şekilde yeniden yapılandırma sorunuyla karşı karşıya bıraktığı belirtilmiştir. Bir diğer ifadeyle, portföy yöneticisinin, portföyün hedeflerine ulaşılması için uygun ve karlı bir portföy ile sonuçlanacak işlemlerin belirlenmesinde herhangi bir desteğinin bulunmadığı ifade edilmiştir (Derigs ve Nickel, 2003). Bahsi geçen çalışmalarda farklı çözüm yaklaşımlarının dikkate alındığı görülmektedir. Zopounidis ve diğ. (1995) tarafından yapılan çalışmada portföy seçimi ve yönetimi için çok kriterli bir karar destek sistemi sunulmuştur. Derigs ve Nickel (2003) tarafından yapılan çalışmada ise meta-sezgisel tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Doerner ve diğ. (2004) karınca kolonisi optimizasyonu temelli bir karar destek sistemi geliştirerek elde ettikleri sonuçları farklı sezgisel yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Xidonas ve diğ. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise çok kriterli karar verme ve çok amaçlı matematiksel programlama temelli bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Jalota ve diğ. (2017) tarafından geliştirilen karar destek sisteminde ise problem, belirsizlik altında çok-kriterli bir problem olarak ele alınmıştır. Buradaki belirsizlik unsurlarını, getiri oranları ve çeşitli varlıkların likidite azlığı oluşturmakta ve bunlar bulanık sayılar ile modellenmektedir.

Bu çalışmada, Markowitz ortalama-varyans modeli kullanılarak portföy optimizasyonu için kişisel bilgisayarda çalışan bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem, yatırımcıların günlük hayatta sıklıkla kullandıkları bir elektronik tablolama yazılımı ortamında sunulmuştur. Böylelikle kullanımı kolay, esnek ve bütünleşik bir yapı oluşturulmuştur. Geliştirilen sistem ile girilen parametrelere bağlı olarak Markowitz ortalama-varyans modeli çözdürülmekte ve ardından elde edilen çözüme ilişkin raporlar anlaşılır bir şekilde sunulmaktadır. Bu unsurlar, çalışmanın literatürde öne çıkan ve yenilikçi yönünü oluşturmaktadır.

3. KLASİK MARKOWITZ MODELİ

Markowitz tarafından geliştirilen Modern Portföy Teorisi, geleneksel portföy yönetimi stratejisinden farklı olarak, yatırım alternatiflerinin getirileri arasındaki ilişkileri de dikkate almaktadır. Markowitz bu teori ile geleneksel portföy yönetimine üç önemli katkıda bulunmuştur. Bunlar; (i) parçaların toplamının bütüne eşit olmadığına ispatlanması, (ii) bazı portföylerin diğer portföylere göre daha üstün olduğunun gösterimi ve (iii) portföy seçiminde etkin sınırların (efficient frontiers) var olmasıdır. Burada bahsi geçen etkin sınır kavramı, farklı beklenen getiri oranı ve risk (varyans) değerlerindeki etkin portföyleri birleştiren eğri olarak tanımlanabilir. Portföy yöneticisinin amacı ise bir kuadratik programlama modeliyle elde edilebilen etkin sınır üzerindeki noktaların belirlenmesidir.

Modern Portföy Teorisi'nin başlıca varsayımları ise aşağıdaki gibidir:

- Yatırımcıların amacı, her dönemde beklenen faydayı maksimize etmektir.
- Yatırımcılar, yatırım kararlarını yalnızca beklenen getiri ve riske göre alırlar.
- Yatırımcılar, aynı risk düzeyine sahip daha fazla getiriye daha az getiriye tercih ederler.
- Yatırımcılar özdeş zaman ufkuna sahiptirler.
- Yatırımcılar, yatırım kararları için gerekli bilgilere eş-zamanlı olarak ulaşabilirler.

i yatırım alternatifi indisi ve N toplam yatırım alternatifi sayısı olmak üzere, $S_i(t)$ i yatırım alternatifi için t zamanındaki fiyatı olsun. Her bir yatırım alternatifi için getiri oranları $r_i(t)$ ise Denklem 1’de görüldüğü gibi logaritmik getiri oranı veya Denklem 2’de yer aldığı gibi aritmetik getiri oranı olarak hesaplanabilir. Bu çalışma kapsamında ise kullanıcının seçimine bağlı olarak getiri oranı hesaplama biçimi istenen şekilde belirlenebilmektedir.

$$r_i(t) = \ln \frac{S_i(t+1)}{S_i(t)} \quad (1)$$

$$r_i(t) = \frac{S_i(t+1) - S_i(t)}{S_i(t)} \quad (2)$$

x portföyüne ait beklenen getiri değeri $E(r_x)$, Denklem 3’te görüldüğü gibi her bir yatırım alternatifi için yapılan yatırım miktarı x_i ’nin ilgili yatırım alternatifi için ortalama getiri oranı (μ_i) ile ağırlıklandırılması sonucunda hesaplanmaktadır. Burada $\mu_i = \sum_t r_i(t) / T$ şeklinde elde edilebilir.

$$E(r_x) = \sum_i x_i \mu_i \quad (3)$$

Portföyün riski (varyans değeri) $Var(r_x)$ ise Denklem 4’te görüldüğü gibi her bir (i, j) yatırım alternatifi ikilisi için yapılan yatırım miktarlarının ilgili (i, j) ikilisi için kovaryans değeri $\sigma_{ij} = cov(r_i, r_j)$ cinsinden hesaplanmaktadır.

$$Var(r_x) = \sigma^2(x) = \sum_i \sum_j x_i x_j \sigma_{ij} \quad (4)$$

Klasik Markowitz modeli Denklem 5’te görüldüğü gibi minimum riski hedeflemekte ve Denklem 6 ile verilen ortalama getiri miktarı kısıtını dikkate almaktadır.

$$\min z = \sigma^2(x) \quad (5)$$

$$\mu(x) = \bar{r} \quad (6)$$

Buna ek olarak, Denklem 7’de görüldüğü gibi $\lambda \in [0,1]$ ölçek faktörü olmak üzere portföyün ortalama getirisi de amaç fonksiyonunda dikkate alınabilir. Bu şekilde, farklı yatırımcı profilleri (risk veya getiri öncelikli) de modellenebilir.

$$\min z = \lambda \sigma^2(x) - (1 - \lambda) \mu(x) \quad (7)$$

Yukarıda sunulan kısıtlara ek olarak, Denklem 8’de ve Denklem 9’da görüldüğü gibi bütçe (b) kısıtı ve her bir yatırım alternatifi için yatırım miktarı alt (L_i) ve üst (U_i) sınırları da dikkate alınabilir.

$$\sum_i x_i = b \quad (8)$$

$$L_i \leq x_i \leq U_i, \quad \forall i \quad (9)$$

4. UYGULAMA VE SONUÇLAR

Portföy optimizasyonu, yatırımcıların çeşitli yatırım alternatifleri arasından minimum riske ve maksimum getiriye sahip yatırım kombinasyonunu seçmelerini sağlayacak şekilde sermayelerini dağıtmalarını içeren süreçtir. Bu çalışmada, portföy optimizasyonu için kişisel bilgisayarda çalışabilen bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Böylelikle karar vericilere (yatırımcılara), günlük hayatta sıklıkla kullandıkları elektronik tablolar ortamında esnek ve kullanımı kolay bir yapı sunulmuştur.

Bu bölümde, öncelikle çalışma kapsamında ele alınan matematiksel programlama modeli ve geliştirilen masaüstü uygulamasının detayları sunulmuştur. Ardından örnek bir uygulama için elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen karar destek sistemine entegre edilmiş olan kuadratik programlama modeli aşağıda verilmektedir.

$$\min z = \sigma^2(x) \quad (10)$$

$$\sum_i x_i \mu_i \geq \bar{r} \quad (11)$$

$$\sum_i x_i = b \quad (12)$$

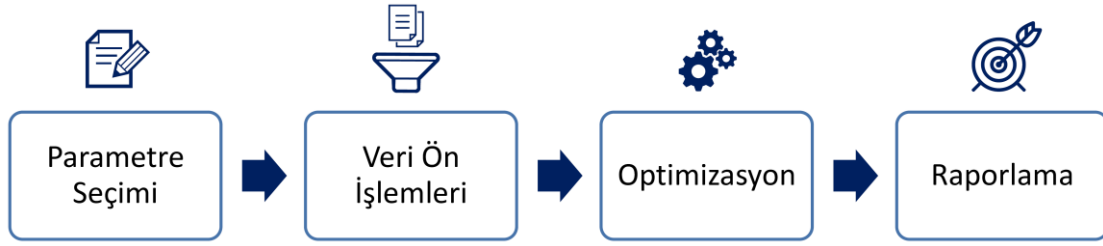
$$L_i \leq x_i \leq U_i, \quad \forall i \quad (13)$$

$$x_i = 0, \quad \exists i: A_i = 0 \quad (14)$$

$$x_i \in [0,1], \quad \forall i \quad (15)$$

Denklem 10'da görüldüğü gibi amaç fonksiyonu ile risk (varyans) minimizasyonu amaçlanmaktadır. Denklem 11 ile verilen kısıt ile hedeflenen belli bir getiri oranının elde edilmesi garantilenmektedir. Denklem 12 bütçe kısıtı iken, Denklem 13 ile verilen kısıt her bir yatırım alternatifi için yapılan yatırım miktarının alt ve üst sınırlar arasında olmasını sağlamaktadır. Denklem 14 ise kullanıcı tarafından belirtilen yatırım alternatiflerine yatırım yapmamayı sağlayan kısıt yapısıdır. Burada A_i ile gösterilen parametre kullanıcı tarafından arayüzde yapılan yatırım kararı seçimine bağlı olarak, 0-1 değerini almaktadır. Denklem 15 ile karar değişkenleri tanımlanmaktadır. Burada x_i karar değişkeni oransal miktar olup, bütçenin ne kadar oranının ilgili yatırım alternatifine yatırıldığını ifade etmektedir. Dolayısıyla bütçe miktarı (b değeri) 1 birim olarak ele alınmıştır ve yatırımcı tarafından kullanıcı arayüzünde belirtilen bütçe miktarı için arka planda gerekli dönüşümler yapılmaktadır (arayüzden girilen bütçe değeri $b = 1$ olacak şekilde normalize edilmektedir).

Uygulama aşamasında Microsoft Excel ortamında bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Burada, Şekil 1'de de görüldüğü gibi, öncelikle yatırımcılar tarafından çözülmek istenen probleme ait parametreler (yatırım alternatifleri, zaman periyodu, bütçe vb.) seçilmektedir. Bu seçimler dikkate alınarak oluşturulan verilere birtakım ön işlemler (seçilen yatırım alternatifleri getirileri için ilgili zaman periyoduna ait ortalama-varyans hesaplamaları vb.) yapılmaktadır. Ardından optimal portföy oluşturularak sonuca ilişkin raporlar karar vericilere (yatırımcılara) sunulmaktadır.



Şekil 1:
Karar destek sistemi uygulamasının akış şeması

Geliştirilen sistem (i) kullanıcı tarafından problem parametrelerinin belirlendiği ana ekran sayfası, (ii) model girdilerinin yer aldığı sayfa ve (iii) elde edilen sonuçlara ait raporların kullanıcıya sunulduğu sayfa olmak üzere üç sayfadan oluşmaktadır. Geliştirilen sistemin test edilmesi amacıyla 2009-2018 yılları arasındaki Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi firmalarının hisse senedi fiyatları kullanılmıştır (Yahoo Finance, 2018). Dosyanın diğer sayfalarında ise bu firmalara ait söz konusu yılların gün-sonu kapanış fiyatı verileri yer almaktadır. Matematiksel programla modelinin çözümü için Maximal Software Mathematical Programming Language ve Optimax Kütüphanesi aracılığıyla Gurobi çözücüsü kullanılmıştır. Şekil 2’de görüldüğü gibi kullanıcı tarafından her bir yatırım alternatifi için yatırım yapıp yapmama tercihi yapılmakta, tarih aralığı seçilmekte ve diğer problem parametreleri (bütçe, istenen kazanç oranı, yatırım miktarı alt ve üst limitleri ve kazanç oranı hesaplama tercihi) belirlenmektedir.

Yatırım Kararı		Tarih Seçimi		Problem Parametreleri		İşlem Seçimi
Yatırım alternatifleri	Başlangıç tarihi	Bitiş tarihi	Parametre	Değeri	İşlemler	
Apple Inc.	29.12.2014	21.12.2015	Bütçe kısıtlaması	1.000,00	Girdiler	
American Express Company	30.12.2014	22.12.2015	İstenen kazanç oranı	0,1	Optimizasyon	
The Boeing Company	31.12.2014	23.12.2015				
Caterpillar Inc.	2.01.2015	24.12.2015	Alt limit	0,001		
Cisco Systems, Inc.	5.01.2015	28.12.2015	Üst limit	1,0		
Chevron Corporation	6.01.2015	29.12.2015	Kazanç oranı	Logaritmik	Raporlar	
The Walt Disney Company	7.01.2015	30.12.2015				
DowDuPont Inc.	8.01.2015	31.12.2015				
General Electric Company	9.01.2015	4.01.2016				
The Goldman Sachs Group, Inc.	12.01.2015	5.01.2016				
The Home Depot, Inc.	13.01.2015	6.01.2016				

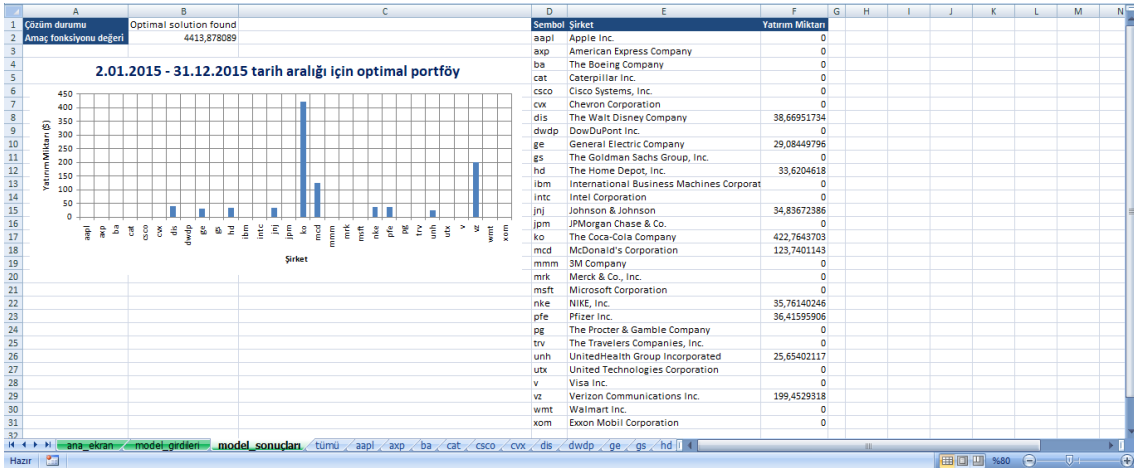
Şekil 2:
Kullanıcı arayüzü

Problem parametrelerinin belirlenmesinin ardından matematiksel programlama modelinin girdileri oluşturulmakta ve “model_girdileri” isimli sayfaya kaydedilmektedir. Bu sayfada, seçilen tarih aralığı için hisse senedi fiyatları ve bu fiyatlar kullanılarak hesaplanan; her yatırım alternatifi için kazanç oranları, kovaryans matrisi, korelasyon matrisi, ortalama getiri miktarları vektörü, yatırım alternatiflerine yatırım yapıp yapılamayacağını ifade eden vektör ve diğer problem parametrelerinin yer aldığı alanlar mevcuttur. Bunlar arasında, Şekil 3’te yatırım alternatiflerinin kapanış fiyatlarının birbirlerine göre ilişkilerini gösteren örnek bir korelasyon matrisinin ekran görüntüsü verilmiştir.

Şekil 3:

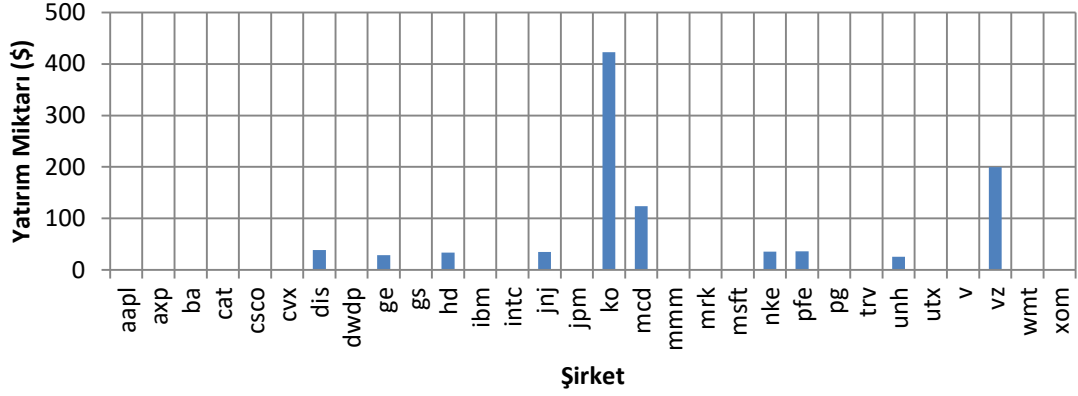
Model girdilerinin oluşturulması: Korelasyon matrisi

Örnek uygulama olarak, 2015 yılı Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi firmalarının hisse senedi fiyatları kullanılarak Şekil 2’de görülen kullanıcı seçimlerine bağlı olarak ortalamavaryans modeli çözdürülmüştür. Elde edilen çözüm için Şekil 4’te de görüldüğü gibi model sonuçların raporlandığı ekranda amaç fonksiyonu değeri ve ayrıntılı bir şekilde yatırım kararları verilmektedir. Yatırım kararlarının yer aldığı grafiğin daha yüksek çözünürlükteki versiyonu ise Şekil 5’te sunulmuştur. Burada yatay eksende Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi’nde yer alan 30 firmanın sembolleri yer alırken dikey ekseninde ilgili firmaya yapılan yatırım miktarı bilgisi yer almaktadır. Dikkate alınan firmaların sembolleri ve isimleri Ek A’da verilmiştir.



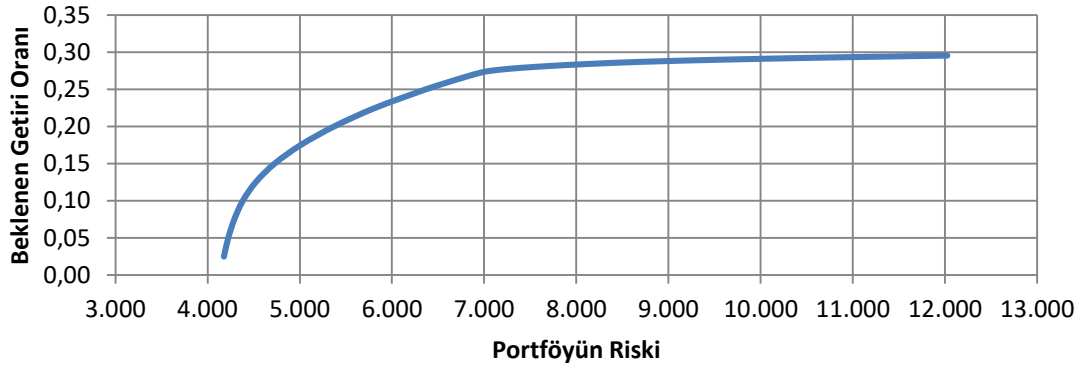
Şekil 4:

Model sonuçlarının sunulması



Şekil 5:
Yatırım kararları

2015 yılı Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi firmaları hisse senedi fiyatları dikkate alınarak farklı beklenen getiri oranı değerleri için matematiksel programlama modeli çözdürülmüş ve söz konusu beklenen getiri oranı değerlerine ilişkin elde edilen amaç fonksiyonu değerleri (portföy riski) ile Şekil 6'da görülen etkin sınır elde edilmiştir.



Şekil 6:
Etkin sınırın gösterimi

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, Markowitz tarafından önerilen modern portföy teorisini dikkate alan ve kişisel bilgisayarda çalışan bir masaüstü uygulaması geliştirilmiştir. Kullanıcıların günlük hayatında sıklıkla kullandığı bir elektronik tablola yazılım ortamında geliştirilen bu uygulama aracılığıyla, kullanıcıdan alınan çeşitli parametrelere bağlı olarak Markowitz ortalama-varyans modeli çözdürülmekte ve optimal portföy kullanıcıya raporlanmaktadır. Beklenen ortalama getiri miktarı kısıtı altında minimum risk ile yatırım yapmayı amaçlayan klasik Markowitz modelinin yanı sıra, yatırım miktarı alt ve üst sınırları ile bütçe kısıtı dikkate alınmaktadır. Buna ek olarak, kullanıcıya çeşitli yatırım alternatiflerine yatırım yapıp yapmama ve farklı kazanç oranı hesaplama yöntemleri (aritmetik, logaritmik) arasında seçim yapma imkanı sunulmaktadır. 2009-2018 yılları Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi verisi kullanılarak, geliştirilen sistemin

çalışması test edilmiştir. Farklı beklenen yatırım oranı değerleri için elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, sunulan karar destek sisteminin daha kapsamlı versiyonlarının geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu kapsamda, kullanıcıya daha fazla sayıda seçeneğin sunulması (örneğin, yatırım alternatiflerinin sektörel olarak ayrıştırılması, farklı finansal piyasaların dikkate alınması vb.) planlanmaktadır. Buna ek olarak, daha kapsamlı raporlama özelliklerinin geliştirilen uygulamaya dahil edilmesi de gelecek çalışmalar kapsamında dikkate alınabilir.

TEŞEKKÜR

Finans market verileri Yahoo Finance tarafından sağlanmıştır. Matematiksel programlama modelinin çözümü için Gurobi Optimization ve Maximal Software tarafından akademik lisanslar sağlanmıştır. Sağlanan katkılar için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Algarvio, H., Lopes, F., Sousa, J. and Lagarto, J. (2017) Multi-agent electricity markets: Retailer portfolio optimization using Markowitz theory, *Electric Power Systems Research*, 148, 282-294. doi: 10.1016/j.epr.2017.02.031
2. Bernoulli, D. (1954) Exposition of a new theory on the measurement of risk, *Econometrica*, 22(1), 23-36. doi: 10.2307/1909829
3. Cornuejols, G. and Tütüncü, R. (2006) *Optimization methods in finance* (Vol. 5), Cambridge University Press.
4. Derigs, U. and Nickel, N.H. (2003) Meta-heuristic based decision support for portfolio optimization with a case study on tracking error minimization in passive portfolio management, *OR Spectrum*, 25(3), 345-378. doi: 10.1007/s00291-003-0127-5
5. Doerner, K., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F., Strauss, C. and Stummer, C. (2004) Pareto ant colony optimization: A metaheuristic approach to multiobjective portfolio selection, *Annals of operations research*, 131(1-4), 79-99. doi: 10.1023/B:ANOR.0000039513.99038.c6
6. Ertenlice, O. and Kalayci, C.B. (2018) A survey of swarm intelligence for portfolio optimization: Algorithms and applications, *Swarm and evolutionary computation*, 39, 36-52. doi: 10.1016/j.swevo.2018.01.009
7. Fisher, I. (1906) *The nature of capital and income*, The Macmillan Company.
8. Yahoo Finance, (2018). Dow Jones Industrial Average. Erişim Adresi: <https://finance.yahoo.com/> (Erişim tarihi: 01.03.2018)
9. Jalota, H., Thakur, M. and Mittal, G. (2017) A credibilistic decision support system for portfolio optimization, *Applied Soft Computing*, 59, 512-528. doi: 10.1016/j.asoc.2017.05.054
10. Kalayci, C.B., Ertenlice, O. and Akbay, M.A. (2019) A comprehensive review of deterministic models and applications for mean-variance portfolio optimization, *Expert Systems with Applications*, 125, 345-368. doi: 10.1016/j.eswa.2019.02.011
11. Kellner, F. and Utz, S. (2019) Sustainability in supplier selection and order allocation: Combining integer variables with Markowitz portfolio theory, *Journal of Cleaner Production*, 214, 462-474. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.315
12. Konno, H. (1990) Piecewise linear risk function and portfolio optimization, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 33(2), 139-156. doi: 10.15807/jorsj.33.139

13. Konno, H. and Yamazaki, H. (1991) Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market, *Management science*, 37(5), 519-531. doi: 10.1287/mnsc.37.5.519
14. Li, H.Q. and Yi, Z.H. (2019) Portfolio selection with coherent Investor's expectations under uncertainty, *Expert Systems with Applications*, 133, 49-58. doi: 10.1016/j.eswa.2019.05.008
15. Lwin, K.T., Qu, R. and MacCarthy, B.L. (2017) Mean-VaR portfolio optimization: A nonparametric approach, *European Journal of Operational Research*, 260(2), 751-766. doi: 10.1016/j.ejor.2017.01.005
16. Mansini, R., Ogryczak, W. and Speranza, M.G. (2014) Twenty years of linear programming based portfolio optimization, *European Journal of Operational Research*, 234(2), 518-535. doi: 10.1016/j.ejor.2013.08.035
17. Markowitz, H. (1952) Portfolio selection, *The journal of finance*, 7(1), 77-91. doi: 10.2307/2975974
18. Markowitz, H.M. (1991) Foundations of portfolio theory, *The journal of finance*, 46(2), 469-477. doi: 10.1111/j.1540-6261.1991.tb02669.x
19. Markowitz, H.M. (1999) The early history of portfolio theory: 1600-1960, *Financial analysts journal*, 55(4), 5-16. doi: 10.2469/faj.v55.n4.2281
20. Marschak, J. (1938) Money and the Theory of Assets, *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 6, 311-325. doi: 10.2307/1905409
21. Michaud, R.O. (1989) The Markowitz optimization enigma: Is 'optimized' optimal?, *Financial Analysts Journal*, 45(1), 31-42. doi: 10.2469/faj.v45.n1.31
22. Pardalos, P. M., Sandström, M. and Zopounidis, C. (1994) On the use of optimization models for portfolio selection: A review and some computational results, *Computational Economics*, 7(4), 227-244. doi: 10.1007/BF01299454
23. Pouya, A.R., Solimanpur, M. and Rezaee, M.J. (2016) Solving multi-objective portfolio optimization problem using invasive weed optimization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 28, 42-57. doi: 10.1016/j.swevo.2016.01.001
24. Power D.J. and Sharda R. (2009) Decision Support Systems, *Springer Handbook of Automation*, Nof, S.Y. (Ed.) Springer Science & Business Media, Berlin, Heidelberg, 1539-1548. doi: 10.1007/978-3-540-78831-7
25. Rockafellar, R.T. and Uryasev, S. (2000) Optimization of conditional value-at-risk, *Journal of risk*, 2, 21-42. doi: 10.21314/JOR.2000.038
26. Rockafellar, R.T. and Uryasev, S. (2002) Conditional value-at-risk for general loss distributions, *Journal of banking & finance*, 26(7), 1443-1471. doi: 10.1016/S0378-4266(02)00271-6
27. Roy, A.D. (1952) Safety first and the holding of assets, *Econometrica: Journal of the econometric society*, 431-449. doi: 10.2307/1907413
28. Rubinstein, M. (2002) Markowitz's "Portfolio Selection": A Fifty Year Retrospective, *The journal of finance*, 57(3), 1041-1045. doi: 10.1111/1540-6261.00453
29. Santos-Alamillos, F.J., Thomaidis, N.S., Usaola-García, J., Ruiz-Arias, J.A. and Pozo-Vázquez, D. (2017) Exploring the mean-variance portfolio optimization approach for planning wind repowering actions in Spain, *Renewable Energy*, 106, 335-342. doi: 10.1016/j.renene.2017.01.041

30. Sprague Jr, R.H. and Carlson, E.D. (1982) *Building effective decision support systems*, Prentice Hall Professional Technical Reference. doi: 10.1016/0167-8051(82)90033-X
31. Tobin, J. (1958) Liquidity preference as behavior towards risk, *The review of economic studies*, 25(2), 65-86. doi: 10.2307/2296205
32. Williams, J.B. (1938) *The Theory of Investment Value*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
33. Xidonas, P., Mavrotas, G., Zopounidis, C. and Psarras, J. (2011) IPSSIS: An integrated multicriteria decision support system for equity portfolio construction and selection, *European Journal of Operational Research*, 210(2), 398-409. doi: 10.1016/j.ejor.2010.08.028
34. Zhang, Y., Li, X. and Guo, S. (2018) Portfolio selection problems with Markowitz's mean-variance framework: a review of literature, *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 17(2), 125-158. doi: 10.1007/s10700-017-9266-z
35. Zopounidis, C., Godefroid, M. and Hurson, C. (1995) Designing a multicriteria decision support system for portfolio selection and management, *Advances in stochastic modelling and data analysis*, Janssen, J., Skiadas, C.H. and Zopounidis, C. (Ed.) Springer, Dordrecht, 261-292. doi: 10.1007/978-94-017-0663-6_17

EKLER

Ek A. Dow Jones Borsası Endüstri Endeksi'nde Yer Alan Şirketler ve Sembolleri

Sembol	Şirket İsmi
aapl	Apple Inc.
axp	American Express Company
ba	The Boeing Company
cat	Caterpillar Inc.
csc	Cisco Systems, Inc.
cvx	Chevron Corporation
dis	The Walt Disney Company
dwdp	DowDuPont Inc.
ge	General Electric Company
gs	The Goldman Sachs Group, Inc.
hd	The Home Depot, Inc.
ibm	International Business Machines Corporation
intc	Intel Corporation
jnj	Johnson & Johnson
jpm	JPMorgan Chase & Co.
ko	The Coca-Cola Company
mcd	McDonald's Corporation
mmm	3M Company
mrk	Merck & Co., Inc.
msft	Microsoft Corporation
nke	NIKE, Inc.
pfe	Pfizer Inc.
pg	The Procter & Gamble Company
trv	The Travelers Companies, Inc.
unh	UnitedHealth Group Incorporated
utx	United Technologies Corporation
v	Visa Inc.
vz	Verizon Communications Inc.
wmt	Walmart Inc.
xom	Exxon Mobil Corporation

