

## Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması ile Elde Edilen Portföylerin AP Yöntemi ile Etkinliklerinin Ölçülmesi

Azize Zehra ÇELENLİ BAŞARAN<sup>1</sup>, Burçin ÖNER<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çarşamba Ticaret Borsası MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, 55500, Samsun, Türkiye

<sup>2</sup>Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bozüyük MYO, Finans, Bankacılık ve Sigortacılık Bölümü, 11300, Bilecik, Türkiye

(Alınış / Received: 11.09.2020, Kabul / Accepted: 11.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 20.12.2020)

### Anahtar Kelimeler

PSO,  
VZA,  
Karar verme birimi,  
Sharpe performans oranı,  
İstatistik

**Özet:** Ülke planında bir bütünleşme için çok yönlü yapılanma tedbirleri ve bu tedbirlerin verimlilik-etkinlik üzerindeki etkilerini ölçmek için de çok yönlü ölçüm tekniklerinin kullanımı gerekmektedir. Bu etkinlik ölçüm tekniklerinden biri de Veri Zarflama Analizidir. Veri Zarflama Analizi (VZA), girdiyi çıktıya dönüştüren karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmek için planlanmış bir doğrusal programlama tekniğidir. Bu çalışmada, öncelikle yapay zeka yöntemlerinden biri olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması ile farklı portföy çeşitleri elde edilmiştir. Optimum portföye ulaşmak için literatürde en çok tercih edilen parametre değerleri kullanılarak, portföy çeşitliliği oluşturulmuştur ve amaç fonksiyonu olarak portföy performansı ölçüsü olan Sharpe performans oranı kullanılmıştır. Çalışmada BIST-30 endeksine ait hisse senetlerinin 02/01/2017-31/12/2017 tarihleri arasında günlük getiri oranlarından oluşan veri seti PSO algoritması ile portföy optimizasyonu için çözümlenmiştir. Çözümleme sonucu farklı getiri ve risk oranlarına sahip portföylerin etkinliklerini ölçmek amacıyla da Veri Zarflama Analizi kullanılmış ve en az risk ile en çok getiriye sahip portföy, etkin portföy olarak tanımlanmıştır. Kullanılan VZA modeli, girdi yönelimli CCR modelidir. Böylece, hangi portföylerin etkin olduğu belirlenmiştir. Daha sonra AP yaklaşımı ile KVB'lerin süper etkinlikleri incelenip etkin portföyler için de sıralama elde edilmiş ve etkin olmayan portföylerin nasıl etkin hâle getirileceği konusunda öneriler verilmiştir.

## Measuring the Effectiveness of Portfolios Obtained by Particle Swarm Optimization Algorithm with AP Method

### Keywords

PSO,  
DEA,  
Decision making  
unit,  
Sharpe performance  
ratio,  
Statistic

**Abstract:** In the country plan, versatile structuring measures are required for integration and multidimensional measurement techniques are required to measure the effects of these measures on effectiveness. One of these effectiveness measurement techniques is also Data Envelopment Analysis. Data Envelopment Analysis (DEA) is a linear programming technique planned to measuring effectiveness of decision making units that convert input into output. First of all, different portfolio types were obtained by Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm that is one of the artificial intelligence methods in this study. In order to access optimum portfolio, the most preferred parameter values were created in literature and Sharpe performance ratio which is the measure of portfolio performance was used as the goal function. In the study, the data set consisting of the daily return rates of the shares of BIST-30 index between 02/01/2017-31/12/2017 was analysed for portfolio optimization with PSO algorithm. Data Envelopment Analysis was conducted to measure effectiveness of portfolios with different proceeds and risk ratios as a result of analysis and the portfolio with the least risk and the most proceed was defined as an effective portfolio. Used DEA model was input oriented CCR model. Thus, which portfolios are effective were determined. Then super effectiveness of DMUs were investigated by AP approach and were obtained a rank for effective portfolios and suggestions have been given on how to make ineffective portfolios effective.

## 1. Giriş

Dünya ekonomi pazarını, tek pazar yapmayı hedef olarak yeniden yapılanma sürecine giren ekonomilerde politika belirlemelerinin genel olarak “verimlilik-etkinlik” kavramı üzerine dayandırılması bir zorunluluk haline gelmiştir. Ana sistemin ve onu oluşturan parçaların verimliliklerinin rekabetçi bir düzeye çekilmesi, kurum ve kuruluşların mülkiyet yapısı ile teknoloji ve ölçek açısından değişmelerini kaçınılmaz bir hâle getirmektedir. Bu nedenle tüm ülkeler, kamu ve özel sektörlerini iyileştirmeye, performanslarını arttırmaya, kalite düzeylerini yükseltmeye çalışmaktadır. Ülke planında bir bütünleşme için çok yönlü yapılanma tedbirleri ve bu tedbirlerin verimlilik-etkinlik üzerindeki etkilerini ölçmek için de çok yönlü ölçüm tekniklerinin kullanımı tercih edilmeye başlanmıştır. Veri Zarflama Analizi (VZA) de bahsedilen gerekleri yerine getirmek amacıyla yönelik kullanılan bir etkinlik ölçüm tekniğidir.

Veri Zarflama Analizi (VZA), literatürde “Karar Verme Birimleri (KVB)” olarak geçip, girdiyi çıktıya dönüştürmekle sorumlu işletme veya ekonomik kuruluşların görece etkinliğini ölçmek için planlanmış doğrusal bir programlama tekniğidir. Herhangi bir istatistiksel analiz tekniği, merkezî eğilim yaklaşımıyla üreticileri ortalama bir üreticiye göre değerlendirirken; VZA tekniği, her bir üreticiyi “en iyi” üreticilerle karşılaştırır. Bu karşılaştırmayı yaparken aynı girdileri kullanarak aynı çıktıları üreten, aynı tip üreticilerin verimliliğini değerlendirir [1].

Gelişen teknoloji ile piyasalarda işlem yapmak kolaylaştığı gibi yatırımcılara birçok işlem kolaylığı da sağlamaktadır. Tasarrufunu değerlendirmek isteyen her birey bir yatırımcıdır ve her yatırımcının elindeki finansal nitelikteki varlıkların tamamı, yatırımcının portföyünü oluşturmaktadır.

Literatürde Geleneksel Portföy Teorisi ve Modern Portföy Teorisi olmak üzere iki temel portföy teorisi bulunmaktadır. Geleneksel Portföy Teorisi, II. Dünya Savaşının bitimine kadar ekonomi ve finans alanında kullanılmıştır [2]. Bu teori portföyün çeşitlendirilmesi esasına dayanan ve portföyü oluşturan menkul kıymetlerin getirileri arasındaki istatistiksel ilişkileri göz ardı ederek, sadece menkul kıymet sayısını artırarak riski düşürebileceği savunmaktadır [3].

Modern portföy teorisi ise Geleneksel portföy teorisinden farklı olarak portföye dahil edilecek olan menkul kıymetler arasındaki ilişkinin de riskin azaltılması yönünde etkili olduğunu savunmuştur. Portföyün risk ve getiri gibi kavramlarının matematiksel açıdan tanımlanması, Ortalama-Varyans Modeli diye bilinen ve Markowitz tarafından geliştirilen modelle yapılmıştır [3, 4].

Literatürde, portföy optimizasyon problemlerinin çözümünde klasik yöntemler ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Fakat son yıllarda yapay zeka yöntemlerinin optimizasyon problemlerinde ulaştığı sonuçların klasik yöntemlerden daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çok bilinmeyenli ve doğrusal olmayan kısıtlı portföy optimizasyonu probleminin, geleneksel yaklaşımlar kullanarak etkin bir şekilde çözülemediğini belirten Zhu, Wang, Wang, and Chen [5] portföy optimizasyonu problemini Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak çözümlenmiş ve optimum portföye ulaşmıştır [3].

Çalışma da PSO algoritmasının portföy optimizasyon problemi için çözümlenmesi sonucu, farklı getiri ve risk oranlarına sahip portföylerin etkinliklerini ölçmek amacıyla da Veri Zarflama Analizi kullanılmıştır. Kullanılan Veri Zarflama Analizi modeli, çıktı değişkenine herhangi bir müdahale yapılamadığı için girdi yönelimli Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) modelidir. Bu sayede, hangi portföylerin etkin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Andersen ve Petersen (AP) yöntemi ile etkin karar verme birimleri arasında da bir sıralama yapılarak yatırımcıya daha güvenilir sonuçlar sunulmuştur. Etkin olmayan portföylerin ise nasıl etkin hâle getirileceği konusunda öneriler verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Portföy ve portföy optimizasyonu

Her birey elinde bulunan birikimini en iyi şekilde değerlendirmek istemektedir. Yatırımcı birikimini, kendisine kâr ya da getiri sağlayacak şekilde finansal nitelikte yatırım araçları ile değerlendirir. Portföy, kişinin veya kurumun elinde bulunan, üzerinde her türlü işlem yapılabilen finansal nitelikteki yatırım araçlarının tamamıdır. Portföy, hisse senedi, tahvil, hazine bonusu, döviz gibi çeşitli yatırım araçlarından oluşturulabilir.

Portföy, içerisine dâhil edilecek menkul kıymet çeşitliliği, menkul kıymetlerin portföy içi ağırlık oranları, portföyün hedeflenen beklenen getirisi, portföyün riski gibi sorular içerdiğinden bir problem haline gelmiştir. Optimum portföye ulaşmak, karşımıza portföy optimizasyon problemini çıkarmıştır.

Markowitz, portföye ait beklenen getiri ve risk kavramlarının matematiksel modelini oluşturmuştur. Yatırım analizinde ortalama varyans modelinin kullanılmasında iki temel değişken, beklenen getiri ve varyanstır [6]. Portföye dâhil edilecek menkul kıymetlerin portföy içindeki ağırlıkları ile menkul kıymet getirilerinin çarpılıp ayrı ayrı toplanması ile elde edilir [3]. Portföye ait risk ise portföyün standart sapmasıdır. Modelin temel amacı, yatırımcıya minimum riske karşılık maksimum getiri sunmaktır. Markowitz Ortalama Varyans Modeli’nde beklenen

getiri ve riskin hesaplanması Eşitlik (1) ve Eşitlik (2)'deki gibidir:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}} \quad (1)$$

$\sigma_p$ : Portföyün (standart sapması) riski,  
 $\sigma_{ij}$ : i. ile j. Menkul kıymetler arasındaki ilişkiyi belirten kovaryans değeri,  
 $x_i$ : i. Menkul kıymetin portföy içindeki ağırlığı,  
 $x_j$ : j. Menkul kıymetin portföy içindeki ağırlığı,  
N: Portföye dahil edilen menkul kıymet sayısı.

$$E(R) = \mu = \sum_{i=1}^N x_i \mu_i \quad (2)$$

$\mu$ : Yatırım yapılan portföyün tahmin edilen beklenen getiri,  
 $\mu_i$ : i. Menkul kıymetin beklenen getirisi.

Markowitz Ortalama Varyans Modele ait amaç fonksiyonu ve kısıtlar;

Amaç fonksiyonu:

$$\text{Min.} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \mu &= \sum_{i=1}^N x_i \mu_i \\ \sum_{i=1}^N x_i &= 1, \\ 0 &\leq x_i \leq 1 \\ i &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (3)$$

Yatırım yapılan portföyün performansı sürekli değerlendirilmelidir. Çünkü yatırımcı, seçtiği portföyün hem mutlak performansını hem de diğer portföylerle karşılaştırılmalı performansını görmek ister [3, 7]. Elde edilen her portföyün performansını değerlendirmek için literatürde kullanılan çeşitli ölçüler mevcuttur. Bu çalışmada optimum portföyü belirlemek amacıyla Sharpe Performans Oranı kullanılmıştır.

Portföyün getirisi ve riski arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan bir oran formülü vardır. Bu oran; Sharpe Performans Oranıdır [8]. Sharpe performans oranı, risksiz faiz oranını aşan portföy getirisinin portföyün standart sapmasına bölünmesiyle hesaplanan bir orandır [3, 9]:

$$S_p = \frac{E(R_p) - R_f}{\sigma_p} \quad (4)$$

$S_p$ : Portföyün Sharpe performans oranı,  
 $E(R_p)$ : Portföyün beklenen getirisi,  
 $R_f$ : Risksiz faiz oranı,  
 $\sigma_p$ : Portföyün riski,

Bir portföyün tercih edilme olasılığının artması için o portföye ait Sharpe performans oranının da yüksek çıkması gerekmektedir.

## 2.2. Parçacık sürü optimizasyonu yoluyla portföy optimizasyonu

Parçacık Sürü optimizasyonu (PSO), kuş ya da balık sürülerinin doğada yiyecek arayışlarından ya da belli bir yere giderken sürü psikolojisindeki etkileşimlerinden esinlenerek Eberhart ve Kennedy tarafından literatüre kazandırılmış popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon yöntemidir [10]. Sürüdeki her kuş, optimizasyon problemi için bir çözümü temsil eder. PSO'nun amacı, sürü bulunan kuşlar arasındaki sosyal bilgi paylaşımını geliştirerek optimizasyon problemini optimum sonuca ulaştırmaktır. Sürüdeki her kuş bir parçacığı ve her parçacık bir çözümü temsil eder. Parçacığa ait koordinatlar bir fonksiyona gönderilir. Bu fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Böylece parçacığın uygunluk fonksiyonu ya da uygunluk değeri ölçülür. Uzayda yiyecek arayışı içinde geldiği en iyi (en yakın) uygunluk değeri ve bu değer elde edildiği pozisyonları PSO için optimum sonuca ulaştırmaktadır.

Optimum çözüme ulaşmak isteyen her bir parçacıklar, sahip oldukları en iyi koordinatları değil, aynı zamanda sürüde bulunan diğer parçacıkların da sahip olduğu en iyi koordinatları optimum çözüme ulaşmak için kullanırlar. Parçacığın her iterasyonda hangi yönde ve ne kadar hızla hareket edeceğini, komşularının (diğer parçacıkların) en iyi koordinatları ve kendi en iyi koordinatlarının birleşimi belirleyecektir. Parçacık optimum sonuca yaklaşırken, bir sonraki adımını hem kendisinin hem de sürünün en iyi uygunluk değerine ve pozisyonuna göre ayarlamaktadır. Parçacıklar, ilk pozisyonlarını rastgele belirleyerek çözüme başlar. Sürüdeki her parçacık, optimum hedefe ulaşmak ister. Her iterasyonda ulaşılan optimum sonuç yerel en iyi değer ( $p\_best$ ) ve tüm iterasyonlar boyunca ulaşılan en iyi sonuç ise global en iyi değer ( $g\_best$ ) olarak adlandırılır. Her iterasyonda  $p\_best$  ve  $g\_best$  değerleri belirlendikten sonra bir sonraki iterasyon için hız ve pozisyon değerleri güncellenir.

$$\begin{aligned} v_{ij}^{k+1} &= w * v_{ij}^k + c_1 r_1^k [pbest_{ij}^k - x_{ij}^k] + \\ & c_2 r_2^k [gbest_j^k - x_{ij}^k] \\ x_{ij}^{k+1} &= v_{ij}^{k+1} + x_{ij}^k ; i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

Parçacıklara ait pozisyon değerleri  $x_i^k = [x_{i1}^k, x_{i2}^k, x_{i3}^k, \dots, x_{id}^k]$  şeklinde ifade edilir.  $x$  parçacığı;  $k$ , iterasyon sayısını göstermektedir. Parçacıklara ait

hız değerleri  $v_i^k = [v_{i1}^k, v_{i2}^k, v_{i3}^k, \dots, v_{id}^k]$  ile ifade edilir.  $c_1$  ve  $c_2$  bilişsel ve sosyal katsayılar olup parçacığın hafızaya alındığı en iyi bilgilerin sonraki iterasyonlara aktarılmasını etkiler; eylemsizlik ağırlığı denilen  $w$  değeri, hız vektörünün ani değişimlerini kontrol eden parametredir [11].

Optimum sonuca doğru yapılan her harekette, sürü içerisindeki en iyi uygunluk değerini veren parçacık dikkate alınır. Optimizasyon problemi için PSO algoritmasında sürü içerisindeki parçacıklardan en az birinin optimuma ulaşması beklenir [3, 12].

### 2.3. Veri zarflama analizi

Veri Zarflama Analizi birden çok ve farklı ölçeklerde ölçülmüş girdi ve çıktıların karşılaştırma yapmayı zorlaştırdığı durumlarda, karar verme birimlerinin görel performansını, bir diğer anlamda da etkinliğini ölçmeyi amaçlayan ve doğrusal programlamaya dayanan istatistiksel bir tekniktir [13, 14]. Böylece KVB'lerin mevcut kaynakları etkin bir biçimde nasıl kullanabileceği hususunda yol gösterici özellik taşır.

VZA, belli bir gözlem kümesi içinde en az sayıda girdi kullanarak en çok sayıda çıktı bileşimi üretebilecek KVB'yi belirlemeyi amaçlar. Bunu yaparken çoklu girdi ve çoklu çıktıları doğrusal programlama modelinde kullanır. Bu sayede her bir KVB için belli bir etkinlik skoru elde edilmesini sağlar.

Farrell [15] sınır üretim fonksiyonun temel alınmasıyla Charnes, Cooper ve Rhodes [16] tarafından literatüre kazandırılan ve günümüze kadar çeşitlendirilen VZA modelleri, eğitim, tıp, sigortacılık, bankacılık gibi pek çok alanda kullanılmaktadır.

$I$  girdisi ve  $J$  çıktısı ( $I, J > 0$ ) olan bir VZA çalışmasında etkinlikleri karşılaştırılacak  $N$  tane karar verme birimi için maksimize edilecek çıktı/girdi oranının matematiksel programlama modeli için amaç fonksiyonu Eşitlik (5)'te verildiği gibidir:

$$\text{Max } E_m = \frac{\sum_{j=1}^J u_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I v_{im} x_{im}} \quad (6)$$

eşitliği ile kısıtlar ise;

$$0 \leq \frac{\sum_{j=1}^J u_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I v_{im} x_{im}} \leq 1; \quad m = 1, 2, \dots, N$$

$$v_{im}, u_{jm} \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, I; \quad j = 1, 2, \dots, J$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

$E_m$ : m. KVB'nin etkinliği,  
 $y_{jm}$ : m. KVB'nin j. çıktısı,  
 $u_{jm}$ : m. KVB'nin j. çıktısının ağırlığı,  
 $x_{im}$ : m. KVB'nin i. girdisi,  
 $v_{im}$ : m. KVB'nin i. girdisinin ağırlığıdır.

Veri Zarflama Analizi birçok model ile iç içe geçmiş bir metodoloji ve kavramlar bütünüdür [17]. Charnes, Cooper ve Rhodes [16] çalışmalarında dört temel VZA modelinin varlığından söz etmişlerdir. Bunlar; Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR), Banker, Charnes ve Cooper (BCC), Toplamsal Model ve Çarpımsal Modeldir. Bunlardan CCR ve BCC modelleri; girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olmak üzere iki farklı şekilde kurulabilir. Eğer girdiler üzerinde kontrol azsa (ya da yoksa) çıktıya yönelik; eğer çıktılar üzerinde kontrol azsa (ya da yoksa) girdiye yönelik bir model kurulmalıdır.

Girdiye yönelik modeller de çıktıya yönelik modeller de KVB'lerde nasıl değişiklik yapılması gerektiğiyle ilgili bilgi verir. Girdiye yönelik modeller, belli bir çıktı düzeyini elde edebilmek için ilgili KVB'lerin girdilerinin ne kadar azaltılması gerektiğini; çıktıya yönelik modeller ise verilen bir girdi bileşimi ile ilgili KVB'lerde çıktıların ne kadar artırılması gerektiğini belirler [14].

Girdiye yönelik modellerde amaç, kullanılan girdi miktarının en küçüklenmesi; çıktıya yönelik modellerde, elde edilen çıktı miktarının en büyüklenmesidir [14, 16].

#### 2.3.1. CCR modeli

Charnes, Cooper ve Rhodes [16] tarafından geliştirilen ilk VZA modeli, CCR'dır. Bu model, ölçüğe göre sabit getiri varsayımına dayanır. Bu varsayım, bir birimlik girdideki artmanın ya da azalmanın, bir birimlik çıktıda artış ya da azalışa sebep olmasına dayalıdır [18]. Bu varsayım sayesinde KVB'lerin toplam etkinlikleri ile ilgilenir.

CCR'da  $n$  tane KVB'nin her birinin  $m$  tane girdi kullanarak  $s$  tane çıktı ürettiği düşünülür. Bunun için öncelikle her bir KVB'ye ait sanal girdi, sanal çıktı ve bunların ağırlık değerlerini belirlemek gereklidir.

$$\begin{aligned} \text{Sanal girdi} &= v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0} \\ \text{Sanal çıktı} &= u_1 y_{10} + \dots + u_r y_{r0} \end{aligned} \quad (7)$$

Burada;

$v_i$ : i. girdinin ağırlığını  
 $u_r$ : r. çıktının ağırlığını temsil etmektedir.

CCR modelinin kesirli formu, aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [16].

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (8)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1; \quad j = 1, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq 0; \quad r = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

Burada  $x_{ij}$  ve  $y_{ij}$ ; j. KVB'nin bilinen girdi ve çıktılarıdır.

Girdiye yönelik CCR modelinin kesirli gösterimi ise;

$$Max\theta = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (9)$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1; j = 1, \dots, n \\ \frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\geq \varepsilon; j = \overline{1, n} \\ \frac{v_i}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\geq \varepsilon; i = 1, \dots, m \\ u_r, v_i &\geq 0; \\ r &= 1, \dots, s; \\ i &= 1, \dots, m \end{aligned}$$

Şeklinde ve burada;

j: karar birimlerini

r: çıktıları

i: girdileri

$y_{rj}$ : j. karar biriminin kullandığı r çıktısı miktarını

$x_{ij}$ : j. karar biriminin kullandığı i girdisinin miktarını göstermektedir.

Optimal ağırlıklar kümesinin oluşturulmasıyla etkinlik değerlerine ulaşılır. Bu kümenin elde edilmesinde, kesirli programlama modeli n defa (KVB sayısı kadar) ayrı ayrı çözümlenmektedir. Elde edilen ağırlıklar, karar birimleri için en iyi ağırlıklardır. Etkinliğin 1 tam değerini alması, gözlemlenen performansın potansiyel performansa ulaştığı anlamını taşır [18].

Bu şekilde hesaplamaya alınan KVB'nin etkinlik skoru aşağıdaki formülden elde edilir:

$$\theta^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}} \quad (10)$$

Burada;

$\theta^*$ : maksimum etkinlik skoru,

$u_r^*$ : j. karar biriminin maksimum çıktı üretmesini sağlayan sanal çıktı ağırlıkları kümesi,

$v_i^*$ : j. karar biriminin en az sayıda girdi kullanmasını sağlayan sanal girdi ağırlıkları kümesidir.

Buna göre, her bir KVB için elde edilen optimal ağırlıklar kümesi kullanılarak hesaplanan etkinlik skorları;  $u^* > 0$  ve  $v^* > 0$  için daima [0,1] aralığında kalır, yani  $0 \leq \theta^* \leq 1$ 'dir [18, 19].

Sonsuz sayıda optimal çözümün üretilmesi için bu Kesirli programlama modeli kullanılır. Buradaki optimal çözüm kümesi ( $u^*$ ,  $v^*$ ) olduğunda, herhangi

bir ağırlık çarpanı eklendiğinde elde edilecek küme de optimal bir çözümdür. Dolayısıyla girdi ve çıktı ağırlıkları üzerinde keyfi bir durum söz konusu olur. Bunun önüne geçmek amacıyla doğrusal programlama modeli ortaya atılmıştır. Bu doğrusal programlama formuna göre;  $\theta^*$  etkinlik skoru 1'i aşmayacak biçimde maksimize edilir [5,18].

Burada kesirli programlama şeklinde verilen girdiye yönelik CCR modelin, doğrusal programlamaya dönüştürülmüş formu aşağıdaki gibidir:

$$Max_{v, u} u y_0$$

Kısıtlar;

(11)

$$\begin{aligned} v x_0 &= 1 \\ -vX + uY &\leq 0 \\ v \geq 0; u &\geq 0 \end{aligned}$$

u: Çıktı çarpanı vektörlerini

v: Girdi çarpanları vektörünü temsil etmektedir.

VZA çoklu girdi ve çıktı içeren KVB'lerin göreceli etkinliğini ölçmesinin yanında bu KVB'lerdeki etkinsizlik miktarını ve nereden kaynaklandığını belirten doğrusal programlama tabanlı ve parametrik olmayan bir tekniktir [13, 17]. Bu da özellikle rekabet içerikli alanlarda yapılan üretimlerin kazançlı olabilmesi için VZA'yı popüler bir yöntem hâline getirir. Ancak VZA'nın doğru sonuçlar verebilmesi için belli başlı koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu koşullar, girdi ve çıktı değişkenlerinin doğru seçilmesi ki bu sayede üretim süreci de doğru olarak tanımlanabilir; KVB sayısının uygun miktarda olması ve en uygun VZA modelinin seçilmesi kriterleri şeklinde sıralanabilir.

Girdi çıktıların belirlenmesindeki temel yol, girdi ve çıktı değişkenlerinin ilgilenilen konuda ne anlam ifade ettiğinin bilinmesi ile mümkündür.

Genel olarak girdiler için KVB'lerin sonuç performanslarını etkileyecek koşullar ya da belli bir sonuç elde etmede kullanılan kaynaklar şeklinde bir tanımlama yapılabilir. Çıktılar için ise kullanılan kaynaklar sayesinde yapılan işlemler sonucunda edinilen kazançlar denilebilir.

Girdi-çıktı seçiminde belirli bir yöntem olmamasıyla birlikte bu aşama VZA'nın ayırıcı gücünü belirlediğinden dolayı doğru girdi ve çıktıların seçilmesi önemlidir. Çeşitli girdi ve çıktı senaryoları uygulanarak en doğru sonucu veren anlamdaki değişkenler belirlenebilir. Buradaki bağlayıcı sayılabilecek bir seçim kriteri, girdi ve çıktılar arasında çoklu bağlantı sorununun olmaması gerektirir. Böyle bir soruna sahip girdi ve/veya çıktı değişkenlerinin ya analizden çıkarılması ya da değiştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, bir

VZA çalışmasında kullanılacak girdi ve çıktıların sayısı olabildiğince küçük fakat çalışmada incelenen KVB'lerin gerçekleştirdiği üretimi de doğru bir şekilde yansıtabilmelidir.

Bir diğer kriter ise uygun KVB'lerin seçimidir. Uygun KVB'lerin belirlenmesi, çalışmanın amacıyla bağlantılıdır. Çünkü analize giren KVB'ler sonucunda elde edilen çözümlerin etkinlik karşılaştırması yapılacaktır. Dolayısıyla bu birimlerin birbirleriyle karşılaştırılabilir, benzer amaçlara sahip yani, homojen birimler olmaları gerekir [15, 20].

Literatürde uygun KVB sayısını belirlemek için çeşitli öneriler mevcuttur. Örneğin, Vassiloglou ve Giokas [21] yaptıkları çalışmalarında VZA ile etkinliklerin doğru olarak ölçülebilmesi için gerekli karar birimi sayısının girdi ve çıktı toplamının en az üç katı olması gerektiğini, Bowlin [22] çalışmasında her bir girdi ya da çıktı başına en az üç karar biriminin seçilmesi gerektiğini, Boussofiene, Dyson ve Thanassoulis [23]'deki çalışmasında I girdi ve J çıktı bir araştırmanın karar birimi sayısının en az  $I + J + 1$  olması gerektiğini savunmuştur. Bu çalışmada karar birimi sayısı  $4 * (I + J)$  olarak belirlenmiştir [17].

VZA'nın sonuncu adımını, hangi modelin türünün kullanılacağını belirlemek oluşturur. Bu karar, modelin yöneliminin dikkate alınmasıyla verilir. Amacın ne olduğuna iyi karar verilmelidir. Araştırmacı belli bir girdi ile maksimum çıktı üretmek isteyebileceği gibi belirli bir çıktıyı en az girdi ile üretmeyi de hedefleyebilir. Bu amaç doğrultusunda model seçimi yapılmalıdır. Daha sonra, karar biriminin üretim ölçeğine göre hangi modelin kullanılacağına karar verilir. CCR modelinde, ölçeğe göre sabit getiri söz konusudur.

### 2.3.2. Veri zarflama analizinde süper etkinlik (AP) yaklaşımı

Veri Zarflama Analizi yöntemlerinin özelliklerinden biri de etkin birimlerin 1 değerini, etkin olmayan birimlerin ise girdi yönelimli modellerde 1'den küçük; çıktı yönelimli modellerde 1'den büyük değerler almasıdır. Bu anlamda karar verme birimleri üzerinde yapılacak bir sıralamada, bu durum araştırmacı için bir zorluk oluşturmakta ve etkin karar birimlerinin tamamını birinci sırada gibi düşünmektedir. Bu zorluğun ortadan kalkması için literatürde bazı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri de Andersen ve Petersen yöntemi (AP) olarak bilinen, süper etkinlik yöntemidir.

Süper etkinlik yöntemi, etkin karar verme birimlerinin diğer tüm birimlerle birlikte karşılaştırılması ve sıralanması üzerine kurulmuş olan ilk sıralama yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yaklaşım, parametrik yöntemlere dayanan sıralamalarda karşılaştırmayı kolaylaştırır ve etkin birimleri sıralamak için bir temel oluşturur [24].

Süper etkinlik modeli Eşitlik (12)'deki gibi formüle edilir:

$$a_p^* = \text{Min } a_p$$

Kısıtlar;

$$\begin{aligned} \sum_{j=1; j \neq p} \lambda_j X_j &\leq a_p X_p \\ \sum_{j=1; j \neq p} \lambda_j Y_j &\geq Y_p \\ \lambda_j &\geq 0 ; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

(12)

Burada;

$X_j$ : m boyutlu girdi vektörünü

$Y_j$ : s boyutlu çıktı vektörünü

$\lambda_j$ : KVB ağırlıklarını

p: incelenen KVB'yi

$a_p^*$ : p.nci KVB için amaç fonksiyonunun optimal değerini göstermektedir.

AP (süper etkinlik) modeli, genellikle CCR ve BCC modelleriyle benzerlik taşımaktadır. Modelin, diğer iki modelden tek farkı, değerlendirme altındaki birimin süper etkinlik modelinde referans kümede yer almasıdır [17].

### 3. Bulgular

Çalışmanın amacı, Sharpe Performans Oranı'nın amaç fonksiyonu olarak kullanıldığı Parçacık Sürü Optimizasyonu algoritmasıyla elde edilen portföy çeşitlerinin etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile belirlenip, ilgili portföylerin etkinlik sıralamasının yapılmasıdır.

Kullanılan VZA yöntemiyle yeni bir portföy oluşturmak hedeflenmemiştir; sadece PSO yöntemiyle kâr sağlayan portföylerin, belirlenen girdi ve çıktılarla etkinlikleri ölçülmüş, etkin olmayan portföylerin nasıl etkin hâle getirilebileceğiyle ilgili öneriler sunulmuştur. Her yatırımcının kendisine getiri sağlayan bir portföy istediği düşünüldüğünde, portföy etkinliğinin ölçülmesinde VZA uygun bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatürde portföy üzerinde VZA ölçümüne ait bazı çalışmalar bulunsa da bir yapay zekâ yöntemi olan PSO ile sıfırdan üretilmiş portföy çeşitleri üzerinde VZA uygulamasına ait bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada BİST-30 endeksine ait hisse senetlerinin bir yıllık gün sonu kapanış fiyatlarından oluşturulan veri seti PSO algoritması ile çözümlenmiştir. Çözümleme sonucunda farklı portföy çeşitlerine ait her bir portföyün beklenen getirisi, portföyün riski içerdiği hisse senet sayıları ve hisse senetlerinin portföy içi ağırlık oranları elde edilmiştir. PSO algoritması ile elde edilen portföylerin VZA-AP yöntemi ile etkinlik sıralaması yapılmıştır.

Bir portföyün etkin olduğuna karar verirken, yılsonunda gerçekleşen getirisi ile PSO'dan hesaplanan beklenen getirisine bakılarak karar verilir. Gerçekleşen getirinin beklenen getiriye eşit ya da ondan büyük olması ve içinde bulunduğu gruptaki diğer portföylerden az risk ile getiri sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışmada kullanılan tüm veriler, BIST-30 endeksine ait hisse senetlerinin 02/01/2017 - 31/12/2017 tarihleri arasında günlük getiri oranlarından veri seti oluşturulmuştur. Kullanılan hisse senetleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Analize dâhil edilen BİST-30 endeksi hisse senetleri

HİSSE SENEDİ KODU					
AKBNK	ECILC	HALKB	KRDMD	SISE	TOASO
ARCLK	EKGYO	ISCTR	OTKAR	TAVHL	TTKOM
ASELS	ENKAI	KCHOL	PETKM	TCELL	TUPRS
BIMAS	EREGL	KOZAA	PGSUS	THYAO	VAKBN
DOHOL	GARAN	KOZAL	SAHOL	TKFEN	YKBNK

### 3.1. Portföylerin PSO yöntemiyle belirlenmesi

Parçacık Sürü Optimizasyonu ile portföy optimizasyonu için PSO algoritması adımları aşağıdaki gibidir [3]:

**Adım 1:** Parçacıklara ait rastgele pozisyon ve hız değerleri üret. Parçacıklar portföyü temsil etmektedir. Ayrıca her bir parçacığın pozisyon değerleri portföyün içerdiği hisse senetlerinin ağırlık

oranları olarak belirlenmiştir. Pozisyon değerleri  $[0,1]$  aralığında rastgele sayılardan üretilir.

**Adım 2:** Her bir parçacığın (portföyün) uygunluk fonksiyon (Sharpe performans oranı) değerini hesapla.

**Adım 3:**  $p_{best}$  ve  $g_{best}$  değerlerini hesapla.

**Adım 4:** Pozisyon ve hız değerlerini güncelle (yeni parçacık değerleri üret) ve parçacıkların uygunluk fonksiyon değerlerini hesapla.

**Adım 5:**  $p_{best}$  ve  $g_{best}$  değerlerini güncelle.

**Adım 6:** Durdurma koşulu sağlanıyorsa programı durdur. Aksi halde Adım 2'den çözümleme işlemine devam et. (Burada, durdurma kriteri olarak iterasyon sayısı kullanılmıştır.)

PSO'da, algoritmanın bilinmeyen parametreleri sırasıyla şunlardır: Parçacık sayısı, eylemsizlik katsayısı ( $w$ ), bilişsel ve sosyal katsayılar ( $c_1$  ve  $c_2$ ).

Bu çalışmadaki optimizasyon probleminin çözümünde, literatürdeki en yaygın kullanılan parametre değerleri tercih edilmiştir. Farklı değerler için PSO set grupları oluşturulmuş ve bunlarla program çalıştırılmıştır.

Her veri seti için optimum portföyün belirlenmesinde Sharpe Performans Oranı dikkate alınmıştır. 30 farklı setin oluşturulmasında, farklı parçacık sayısı,  $w$ ,  $c_1$

**Tablo 2.** Parçacık Sürü Optimizasyonu ile portföy optimizasyonu için oluşturulan set gruplarına ait parametre değerleri

P.S.	$c_1 = c_2 = 1,484$ ; $w$ (Eylemsizlik Ağırlığı)					
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
20	1. Set	2. Set	3. Set	4. Set	5. Set	6. Set
30	7. Set	8. Set	9. Set	10. Set	11. Set	12. Set
40	13. Set	14. Set	15. Set	16. Set	17. Set	18. Set
50	19. Set	20. Set	21. Set	22. Set	23. Set	24. Set
60	25. Set	26. Set	27. Set	28. Set	29. Set	30. Set

**Tablo 3.** PSO algoritmasında kullanılan parametre değerleri ve analiz sonucu elde edilen portföy bilgileri

Set	PS	W	Sp	Rp	σp	Menkul kıymet sayısı
1.	20	0,4	0,2678	0,2644	0,9872	23
2.	20	0,5	0,2834	0,3076	1,0852	23
3.	20	0,6	0,3350	0,3228	0,9636	12
4.	20	0,7	0,3352	0,3219	0,9602	11
7.	30	0,4	0,2826	0,3107	1,0995	23
8.	30	0,5	0,3050	0,3485	1,1427	18
11.	30	0,8	0,3352	0,3213	0,9585	10
12.	30	0,9	0,3351	0,3216	0,9597	9
13.	40	0,4	0,2794	0,3124	1,1183	22
14.	40	0,5	0,3224	0,3105	0,9626	16
16.	40	0,7	0,3351	0,3223	0,9616	10
19.	50	0,4	0,3147	0,3147	0,9998	19
20.	50	0,5	0,3204	0,3532	1,1024	11
25.	60	0,4	0,2987	0,2930	0,9809	19
26.	60	0,5	0,3352	0,3216	0,9592	12
30.	60	0,9	0,3332	0,318	0,9546	10

ve  $c_2$  değerleri göz önüne alınmıştır.

Her setin programda, 1000 iterasyonla çalıştırılmasıyla çözümlenmiş ve bunun sonucunda optimum portföye ulaşılmıştır. Elde edilen farklı veri setlerine ait parçacık sayısı,  $w$ ,  $c_1$  ve  $c_2$  değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

30 farklı set grubunun çözümlenmesi sonucunda ulaşılan portföy çeşitlerinden 16 tanesi farklı bilgiler içermektedir. VZA için 16 portföye ait Parçacık sayısı, eylemsizlik ağırlığı ayrıca elde edilen portföye ait

Sharpe Oranı, portföyün beklenen getirisi ve portföyün riski Tablo 3’te verilmiştir.

### 3.2. Portföylerin etkinliklerinin veri zarflama analizi ile belirlenmesi

Çalışmada 3 tane girdi ve 1 tane çıktı değişkeni Veri Zarflama Analizine girmiş ve önce girdiye yönelik CCR modeli ile çözüm elde edilmiş, sonra da AP yöntemi ile etkinlik sıralaması yapılmıştır. CCR modeli için kullan girdi ve çıktı değişkenleri aşağıda verilmiştir.

*Girdi değişkenleri:*

**I1:**  $E_1(R_p)$

“Portföyün  $t = 0$ ’da beklenen getirisi”

**I2:** portföyün standart sapması

“Mikro risk, portföyün kendisinden (varlık tahsisinden) kaynaklanan risk”

**I3:** Portföydeki hisse senedi sayısı

*Çıktı değişkeni:*

**O1:**  $G_1(R_p)$

“Portföyün  $t = 1$ ’de gerçekleşen getirisi”

Bu çalışmada, yapılan portföy analizi sonucunda toplam 16 portföy elde edilmiş ve bu portföylerin etkinlikleri, girdiye yönelik CCR modeli ve AP yöntemi için DEA Solver LV(V8) programı ile ölçülmüştür.

Bunun için öncelikle, belirlenen girdi ve çıktı değişkenleri üzerinde herhangi bir değişikliğe gidilip gidilmemesini belirlemek amacıyla bu değişkenlere ilişkin korelasyon incelenmesi yapılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, değişkenler arasındaki ilişkiye ait değerler Tablo 4’te verilmiştir.

Çizelgedeki korelasyon değerleri incelendiğinde değişkenler arasında kuvvetli bir ilişkinin bulunmadığı görülmüş ve kullanılan girdi ve çıktılarda herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir.

Girdi ve çıktı değişikliğine gidilmeden değişkenler belirlendikten sonra, Eşitlik 11’deki formül kullanılarak girdiye yönelik CCR modeli ile etkinlik skorları hesaplanmış ve Tablo 5’te verilmiştir.

Ekonomi teorisinde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı, dolayısıyla da CCR modelleri kullanışlı olmasa da portföylerin yatırımcıya getiri sağlayan birer üretim birimi olarak kabul edildiğinde, bu modelin kullanılması imkânı ortaya çıkabilmektedir. Tablo 5’e göre; 1, 8, 10 ve 16 Portföylerin etkin; diğerlerinin ise

**Tablo 4.** Girdi ve çıktı değişkenlerine ait korelasyon değerleri

	Beklenen Getiri	Risk	Hisse Senedi	Gerçekleşen Getiri
Beklenen Getiri	1	0,310	-0,5514	-0,3636
Risk	0,31052	1	0,5546	-0,2765
Hisse Senedi	-0,5514	0,555	1	0,06677
Gerçekleşen Getiri	-0,364	-0,276	0,0668	1

**Tablo 5.** PSO ile belirlenen portföylerin girdiye yönelik CCR etkinlik skorları

KVB	Etkinlik Skoru	Etkinlik durumu	Sıralama	Referans Seti	Lamda Yoğunluğu
1	1	Etkin	1	1	1
2	0,8792	Etkin değil	11	1	0,698
3	0,9397	Etkin değil	8	10	0,303
4	0,9439	Etkin değil	6	10	0,15
5	0,9113	Etkin değil	10	1	0,765
6	0,726	Etkin değil	16	1	0,348
7	0,9582	Etkin değil	5	8	0,037
8	1	Etkin	1	8	1
9	0,8514	Etkin değil	12	1	0,706
10	1	Etkin	1	10	1
11	0,9337	Etkin değil	9	8	0,065
12	0,8319	Etkin değil	13	1	0,12
13	0,8023	Etkin değil	14	8	0,798
14	0,7981	Etkin değil	15	1	0,351
15	0,943	Etkin değil	7	10	0,311
16	1	Etkin	1	16	1



**Tablo 6.** Analiz sonuçlarını tanımlayıcı istatistikler

Model	İstatistikler	
Portföyler CCR(1)	Etkin Portföy Sayısı	4
	Etkinlik Ortalaması	0,9074
	Etkin Olmayan Portföy Sayısı	12
	Etkin Olmayan Portföylerin Etkinlik Ortalaması	0,87656
	Etkin Olmayan Portföylerde Minimum Etkinlik	0,726
	Etkin Olmayan Portföylerde Maksimum Etkinlik	0,9582

**Tablo 7.** Etkinlik skor değerlerinin AP yöntemi ile sıralanması

KVB	AP Skoru	Sıralama	KVB	AP Skoru	Sıralama
1	1,132069	1	9	0,85141	12
2	0,879167	11	10	1,024571	4
3	0,939653	8	11	0,93375	9
4	0,943911	6	12	0,83187	13
5	0,911327	10	13	0,802251	14
6	0,725972	16	14	0,79807	15
7	0,95824	5	15	0,942983	7
8	1,050242	3	16	1,050803	2

etkin olmadıkları görülmektedir. Ayrıca çizelgede, etkin olmayan KVB'ler için referans KVB'leri ve lamda yoğunlukları da gözlenmektedir. Buna göre; 2, 5, 6, 9, 12 ve 14 KVB'ler için referans 1 KVB, 7, 11 ve 13 KVB'ler için referans 8 KVB ve 3, 4 ve 15 KVB'ler için referans 10 KVB'dir.

Ekonomi teorisinde ölçüğe göre sabit getiri varsayımı, dolayısıyla da CCR modelleri kullanışlı olmasa da portföylerin yatırımcıya getiri sağlayan birer üretim birimi olarak kabul edildiğinde, bu modelin kullanılması imkânı ortaya çıkabilmektedir. Tablo 5'e göre; 1, 8, 10 ve 16. Portföylerin etkin; diğerlerinin ise etkin olmadıkları görülmektedir. Ayrıca çizelgede, etkin olmayan KVB'ler için referans KVB'leri ve lamda yoğunlukları da gözlenmektedir. Buna göre; 2, 5, 6, 9, 12 ve 14. KVB'ler için referans 1. KVB, 7, 11 ve 13 KVB'ler için referans 8 KVB ve 3, 4 ve 15. KVB'ler için referans 10 KVB'dir

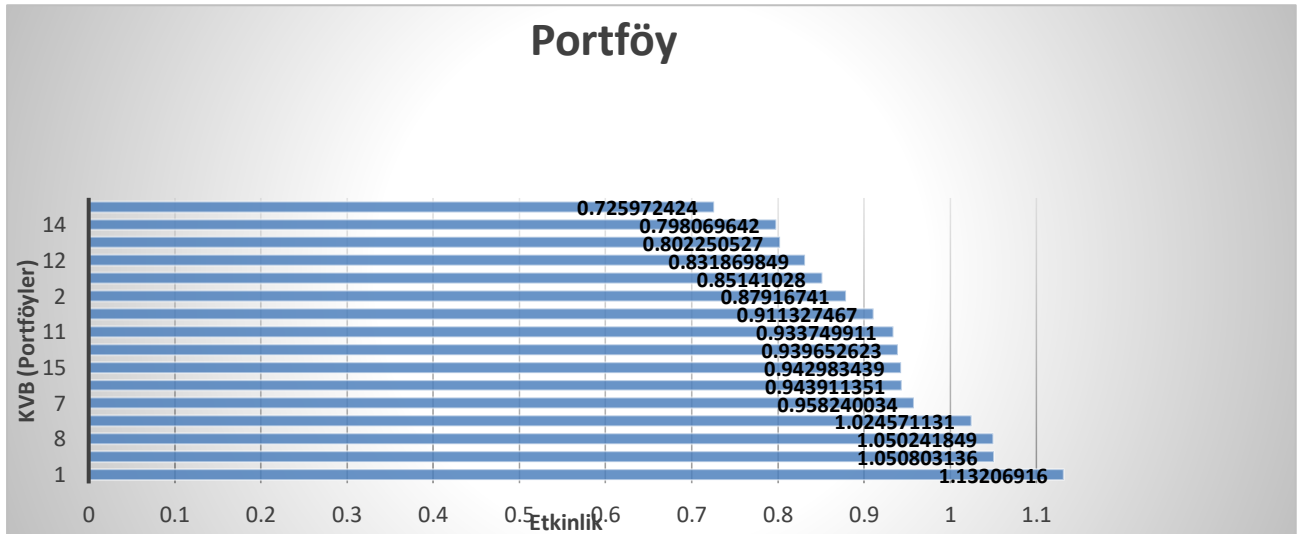
Analiz sonuçlarını tamamlayıcı istatistiklerin yer aldığı Tablo 6. incelendiğinde; BİST 30 endeksinde

yer alan hisse senetlerinin portföy incelemesinde elde edilen portföyler için girdiye yönelik CCR modeline göre etkin birim sayısı 4, etkinlik ortalaması 0,9074 olup, girdileri %9,26 düzeyinde azaltmak gerekmektedir. Tablo 7'de süper etkinlik (AP) yöntemi ile bulunan etkinlik skor değerleri ve bu skor değerlere göre portföylerin sıralamaları verilmiştir.

AP yöntemine göre portföylerin etkinlik skorları ve etkinlik sıralamalarının görüldüğü Tablo 7'ye göre; en yüksek etkinlik skoruna sahip portföy, 1 Portföyken; en düşük etkinliğe sahip portföy ise 6 Portföydür.

Şekil 1'de, karar verme birimlerinin AP yöntemine göre etkinlik değerlerinin grafiği görülmektedir. Bu grafikte etkinlik değerleri artan sıralama ile verilmektedir.

Buna göre portföylerin etkinlik sıralaması küçükten büyüğe; 6, 14, 13, 12, 9, 2, 5, 11, 3, 15, 4, 7, 10, 8, 16, 1

**Şekil 1.** PSO ile belirlenen portföylerin AP yöntemine göre etkinlik skorları için grafik

**Tablo 8.** Portföylerin etkinlik iyileştirmeleri

KVB	Skor	Beklenen Getiri		Risk		Hisse Sayısı	
		Proj.	Değişim (%)	Proj.	Değişim (%)	Proj.	Değişim (%)
1	1,132	0,299	13,21	0,928	-6,00	15,424	-32,94
2	0,879	0,270	-12,08	0,954	-12,08	20,221	-12,08
3	0,940	0,298	-7,51	0,905	-6,03	11,276	-6,03
4	0,944	0,300	-6,68	0,906	-5,61	10,383	-5,61
5	0,911	0,283	-8,87	1,002	-8,87	20,960	-8,87
6	0,726	0,253	-27,40	0,827	-27,64	13,067	-27,40
7	0,958	0,306	-4,75	0,918	-4,18	9,582	-4,18
8	1,050	0,301	-6,54	0,902	-5,98	9,452	5,02
9	0,851	0,266	-14,86	0,935	-16,39	18,731	-14,86
10	1,025	0,318	2,46	0,986	2,46	12,377	-22,64
11	0,934	0,299	-7,16	0,898	-6,63	9,337	-6,63
12	0,832	0,262	-16,81	0,832	-16,81	14,616	-23,08
13	0,802	0,283	-19,77	0,846	-23,25	8,022	-19,77
14	0,798	0,234	-20,19	0,783	-20,19	15,163	-20,19
15	0,943	0,298	-7,29	0,904	-5,70	11,316	-5,70
16	1,051	0,334	5,08	0,997	4,49	10,508	5,08

portföyler şeklindedir. 1, 8, 10 ve 16 portföyler etkin portföylerdir ve kendi aralarında da sıralanabilmektedirler.

Etkin olmayan portföylerin iyileştirmeleri ise Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8 ile her bir portföyün girdisinin (girdi odaklı model olduğu için çıktılarının hedef değerleri ile gerçekleşen değerleri aynıdır) gerçekleşen değerleri ile hedef değerlerini ve bunlar arasındaki farklar görülmektedir. Buna göre; 2. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3076 yerine 0,270432 olsaydı %12,08'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 23 yerine 20 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı ve yine risk girdisi de 1,0852 yerine 0,95407 olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. 6. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3485 yerine 0,253 olsaydı %27,40'lık bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 18 yerine 13 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. Risk girdisi ise 1,1427 yerine 0,8268 olsaydı, %27,64'lük bir iyileşme sağlanabilirdi. 9. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3124 yerine 0,26598 olsaydı %14,86'lık bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 22 yerine 19 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. Risk girdisi ise 1,1183 yerine 0,93504 olsaydı, %16,39'luk bir iyileşme sağlanabilirdi. 12. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3147 yerine 0,26179 olsaydı %16,81'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey risk için de geçerlidir; 0,9998 yerine 0,8317 olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı. Hisse senesi sayısı girdisi ise 19 yerine 15 olsaydı, %23,08'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. 13. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,3532 yerine 0,2834 olsaydı %19,77'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 10 yerine 8 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı aynı oranda iyileşme

sağlanırdı. Risk girdisi ise 1,1024 yerine 0,84605 olsaydı, %23,25'lik bir iyileşme sağlanabilirdi. 14. Portföyün girdilerinden beklenen getiri, 0,293 yerine 0,234 olsaydı %20,19'luk bir iyileşme sağlanabilirdi. Benzer şey hisse senedi sayısı için de geçerlidir; 19 yerine 15 tane hisse senedi portföye dâhil olsaydı ve yine risk girdisi de 0,9809 yerine 0,783 olsaydı aynı oranda iyileşme sağlanırdı.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Çalışmada Türkiye'de en çok tercih edilen yatırım araçlarından hisse senetlerinden oluşturulan portföyün verimliliği araştırılmak istenmiştir. 2017 Ocak - 2017 Aralık dönemi boyunca BİST-30 bünyesinde işlem gören 30 adet hisse senedinin gün sonu kapanış fiyatlarından oluşturulan veri seti, PSO algoritmasında farklı parametre değerleri ile çözümlenerek yatırımcıya sunulacak portföy çeşitleri elde edilmiştir. Her bir portföy performansı Sharpe Performans Oranı ile değerlendirilmiştir. PSO algoritması ile portföy optimizasyonu sonucunda 30 farklı portföye ulaşılmıştır.

Ulaşılan portföy çeşitlerinden 16 tanesi farklı bilgiler içermektedir. VZA için 16 portföye ait PSO algoritmasında portföy optimizasyon problemini çözümlenmede kullanılan parametre değerleri, çözümlenme sonucunda ulaşılan portföye ait Sharpe Performans Oranı, portföy riski, portföyün beklenen getirisi, portföyün içerdiği hisse senet sayısı ve her bir hisse senedinin portföy içi ağırlık oranları bilinmektedir. VZA için 16 portföy çeşidinin etkinliği araştırılmıştır. Bunun için birçok deneme sonucunda en uygun girdi ve çıktı değerlerine karar verilmiştir.

VZA'da portföyün beklenen getirisi, portföyün riski (portföyün standart sapması) ve portföyün içerdiği hisse senet sayısı girdi, her bir portföye yatırım yapıldığı takdirde 1 işlem günü sonrası yatırımcıya

sağlayacağı hesaplanan getiri ((t+1) gerçekleşen getiri) değeri ise çıktı olarak alınmıştır. Bu girdi ve çıktı değişkenleri üzerinde önce girdi yönelimli CCR modeli uygulanmış ve sonra etkin portföy çeşitleri arasında da bir sıralama yaparak yatırımcıya daha güçlü bir yatırım önerisi sunabilmek için Andersen ve Petersen yöntemiyle süper etkinlikler hesaplanmıştır. Ayrıca etkin olmayan portföy çeşitlerinin iyileştirilebilmesi için de öneriler sunulmuştur.

Uygulanan yapay zekâ yöntemi ile iyileştirilmiş portföy çeşitleri elde edilmiştir. Bu portföylere uygulanan VZA yöntemiyle en iyi portföy sıralaması yapılabilmüş ve bu sayede her zaman kendisine en yüksek faydayı sağlayan portföyü tercih etmesi beklenen yatırımcıya iyi ve güvenilir sonuçlar sunulmuştur.

### Etik Beyanı

*Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.*

### Kaynakça

- [1] Aydemir, Z. C. 2002. Bölgesel rekabet edebilirlik kapsamında illerin kaynak kullanım görece verimlilikleri: veri zarflama analizi uygulaması. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Proje, Yatırımları Değerlendirme ve Analiz Dairesi Başkanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [2] Shenoy, C., McCarthy K. 2008. Applied portfolio management: How university of Kansas students generate alpha to beat the street. John Wiley & Sons. USA, 368s.
- [3] Çelenli, A. Z. 2013. Parçacık sürü optimizasyonuna dayalı portföy optimizasyonu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- [4] Markowitz, H. 1952. Portfolio selection. The Journal of Finance, 7(1), 77-91.
- [5] Zhu, H., Wang, Y., Wang, K., Chen, Y. 2011. Particle swarm optimization (PSO) for the constrained portfolio optimization problem. Expert Systems with Applications, 38(8), 10161-10169.
- [6] Ceylan, A., Korkmaz T. 1998. Borsa'da uygulamalı portföy yönetimi (3 Baskı). Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa.
- [7] Karaşin, A. G. 1987. Sermaye piyasası analizleri. Sermaye Piyasası Kurulu.
- [8] Sharpe, W. F. 1966. Mutual fund performance. The Journal of Business, 39(1), 119-138.
- [9] Aksoy, E. E. 2014. Uluslararası portföy yönetimi (1. Baskı). Detay Yayıncılık, Ankara.

- [10] Eberhart, R., Kennedy, J. A. 1995. New optimizer using particle swarm theory, in MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, IEEE.
- [11] Karaboğa, D. 2014. Yapay zeka optimizasyon Algoritmaları. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- [12] Çelenli, A. Z., Eğrioğlu E., Çorba B. Ş. 2015. İMKB 30 indeksini oluşturan hisse senetleri için parçacık sürü optimizasyonu yöntemlerine dayalı portföy optimizasyonu. Doğuş Üniversitesi Dergisi, 16(1), 25-33.
- [13] Aslankaraoğlu, N. 2006. Veri zarflama analizi ve temel bileşenler analizi ile Avrupa birliği ülkelerinin sıralanması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [14] Kecek, G. 2010. Veri zarflama analizi teori ve uygulama örneği. Siyasal Basım Yayım, Ankara.
- [15] Farrell, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253-281.
- [16] Charnes, A., Cooper W. W., Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.
- [17] Öner, B. 2013. Türkiye'de illerin ekonomik performanslarının veri zarflama analizi ve temel bileşenler analizi yöntemleri ile değerlendirilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- [18] Yücel, L. İ. 2015. Excel-solver eklentisiyle oluşturulan portföylerin CCR model ile etkinlik ölçümüne yönelik bir uygulama. Ekonometri ve İstatistik Dergisi, 23, 112-146.
- [19] Donnelly, M. 2000. A radical scoring system for the european foundation for quality management business excellence model. Managerial Auditing Journal, 15, 8-11.
- [20] Oruç, K. O., Güngör İ., Demiral M. F. 2009. Üniversitelerin etkinlik ölçümünde bulanık veri zarflama analizi uygulaması. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22, 279-294.
- [21] Vassiloglou, M., Giokas D. 1990. A study of the relative efficiency of bank branches: an application of data envelopment analysis. Journal of the Operational Research Society, 41(7), 591-597.
- [22] Bowlin, W. F. 1999. An analysis of the financial performance of defense business segments using data envelopment analysis. Journal of Accounting and Public Policy, 18(4-5), 287-310.

- [23] Boussofiane, A., Dyson R. G., Thanassoulis E. 1991. Applied data envelopment analysis. European journal of operational research, 52(1), 1-15.
- [24] Andersen, P. ve Petersen N.C. 1993. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. Management Science, 39(10), 1261-1264.