



## İKİ SINIRLI VZA TABANLI MALMQUIST VERİMLİLİK ENDEKSİ YÖNTEMİYLE ISO500 FİRMALARINDA DİNAMİK VERİMLİLİK ÖLÇÜMÜ

**Süleyman ÇAKIR\***

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İİBF Fakültesi, İşletme Bölümü

suleyman.cakir@erdogan.edu.tr

ORCID: 0000-0003-0334-8777

### ÖZET

Literatürdeki Malmquist Verimlilik Endeksi (MVE) çalışmalarının çoğunda iyimser bakış açısına sahip olan klasik Veri zarflama analizi (VZA) modellerinin kullanıldığı görülmektedir. Geleneksel VZA modelleri kötümser bakış açısını içermediğinden karar vericiler bazı önemli yönetsel bilgilerden mahrum kalmaktadır. Bu çalışmada iyimser ve kötümser bakış açılarını birlikte ele alan iki sınırlı VZA tabanlı-MVE modeli kullanılarak verimlilik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Uygulamada, İstanbul Sanayi Odası (İSO) tarafından açıklanan ISO500 firmaları arasında yer alan 9 adet elektrikli teçhizat imalat firmasının 2018-2019 yılları arasındaki verimlilik değişimi ölçülmüştür. Sonuç olarak, dokuz firmanın ortalama verimliliklerinin %8,3 oranında azaldığı ve bu azalmanın büyük oranda teknoloji düzeyindeki gerilemeden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Önerilen model sayesinde birbiriyle çelişen iki bakış açısını eşzamanlı olarak dikkate alarak karar vericilere daha kapsamlı bir değerlendirme yapma olanağı sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Malmquist verimlilik endeksi, iki sınırlı veri zarflama analizi, performans ölçümü, verimlilik analizi, ISO500 firmaları

## DYNAMIC EFFICIENCY MEASUREMENT IN ISO500 COMPANIES WITH THE DOUBLE FRONTIERS DEA BASED MALMQUIST TFP INDEX

**\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)**

**Atıf (Citation):** ÇAKIR S., "İKİ SINIRLI VZA TABANLI MALMQUIST VERİMLİLİK ENDEKSİ YÖNTEMİYLE ISO500 FİRMALARINDA DİNAMİK VERİMLİLİK ÖLÇÜMÜ", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 3(2): 1-17, 2021.

**Geliş (Received):** 21/03/2021

**Kabul (Accepted):** 30/10/2021

**Yayın (Published):** 31/12/2021

## ABSTRACT

In the literature, it is observed that most of the Malmquist Productivity Index (MPI) studies use classical DEA models with an optimistic point of view. Since traditional DEA models do not include a pessimistic perspective, decision makers are deprived of some important managerial information. In this study, productivity analysis is performed using double frontier DEA-based MPI model, which addresses optimistic and pessimistic perspectives together. In the application, the productivity changes between the years 2018-2019 of 9 electrical equipment manufacturing firms listed in ISO500 firms announced by Istanbul Chamber of Industry (ISO) is conducted. As a result, it was revealed that the average productivity of nine companies decreased by 8.3% and this decrease was mostly due to the decline in technology level. Thanks to the proposed model, decision-makers were given the opportunity to make a more comprehensive assessment by taking into account two conflicting perspectives simultaneously.

**Keywords:** Malmquist Productivity Index, Double Frontiers Data Envelopment Analysis, Performance Measurement, Productivity Analysis, ISO500 Companies

## 1.GİRİŞ

Günümüzde imalat ve hizmet sektöründeki firmaların, endüstrilerin ve ülkelerin etkinlik ve verimliliklerinin ölçümü amacıyla kullanılan yöntemlerin başında Veri Zarflama Analizi (VZA) (Data Envelopment Analysis-DEA) gelmektedir. Charnes vd. [1] tarafından geliştirildiğinden beri geçen 43 yıllık süre zarfında VZA literatürüne teorik gelişmeler ve özgün ampirik bulgular kazandıran birçok çalışma yapılmıştır. Kapsamlı bir VZA literatür taraması için Emrouznejad ve Yang'ın [2] çalışmasına başvurulabilir.

VZA ile etkinlik ölçümü analizinde belirli girdi düzeyleriyle maksimum çıktı üreten veya belirli çıktı miktarlarına minimum girdi kullanarak ulaşan karar verme birimleri (KVB) etkin olarak değerlendirilmektedir. KVB'lerin etkinliğini tek bir dönem için hesaplayan VZA'nın diğer bir yaygın uygulama alanı verimlilik ölçümüdür. Malmquist Verimlilik Endeksi (MVE) karar birimlerinin farklı zaman periyotlarındaki verimlilik değişimlerini ölçen VZA tabanlı bir yöntemdir. MVE, uzaklık fonksiyonu oranlarıyla verimlilik endekslerinin oluşturulmasını ilk kez öneren Sten Malmquist'in [3] çalışmasından hareketle Caves vd. [4-5] tarafından geliştirilmiştir. Färe vd. [6] ise esas alınan bir t döneminin onu izleyen t+1 dönemi teknolojisine olan uzaklığını hesaplamak amacıyla VZA tabanlı bir MVE geliştirmişlerdir. Literatürdeki en iyi bilinen MVE olan bu model etkinlik değişimi ve teknolojik değişim

şeklinde iki bileşenden oluşmakta ve MVE her iki bileşenin geometrik ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. MVE yöntemiyle verimlilik değişimi ölçülen çok sayıda çalışmaya örnek olarak [7-14] gösterilebilir.

Günümüze kadar tıpkı VZA gibi MVE yöntemi için de çeşitli teorik yenilikler önerilmiştir. Chen ve Ali [15] MVE'nin bileşenlerini ayrıntılı inceledikleri çalışmalarında özellikle teknolojik değişim bileşeninin geometrik ortalamasının alınmasının bazı önemli bilgi kayıplarına neden olduğunu ve karar birimlerinin zaman içindeki strateji değişimlerinin de ölçülerek önemli yönetsel çıkarımlar yapılabileceğini göstermişlerdir. Pastor ve Lovell [16] global MVE şeklinde adlandırdıkları modelde incelenen tüm dönemleri kapsayan bir üretim teknolojisine dayalı olarak verimlilik değişimi ölçülmektedir. Yu [17], MVE'yi kapasite verimlilik değişimi ve değişken girdi verimlilik değişimi şeklinde iki yeni bileşene ayırmıştır. İkinci bileşen de kendi içinde kısmi faktör teknik etkinlik değişimi ve kısmi faktör teknik değişimi şeklinde iki alt bileşene ayrılmaktadır. Araştırmada önerilen model ile Çin Hükümetinin 1966-1985 yılları arasındaki 5 yıllık kalkınma planlarının performansı ölçülmüştür. Kao [18] çalışmasında global MVE'nin ölçümü amacıyla ortak ağırlıklara dayalı bir VZA modeli önerdiği çalışmada Tayvan ormanlarının yapılan yeni düzenleme öncesi ve sonrası performans değişimini hesaplamıştır. Fuentes ve Banuls [19] MVE ile düzgünleştirilmiş bootstrap tekniğini bütünsel kullandıkları çalışmada MVE ve bileşenleri için güven aralıkları hesaplamışlardır. Bu sayede VZA ile hesaplanan etkinlik skorlarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıkları ortaya konulmaktadır. Zhang vd. [20] radyal olmayan MVE yardımıyla Çin'in bölgesel ulaştırma endüstrilerinin CO<sub>2</sub> emisyon performansının 2002-2010 yılları arasındaki değişimini ölçmüşlerdir.

Klasik VZA modelleri literatürde iyimser (optimistik) VZA modelleri olarak bilinmektedir. Önceki MVE çalışmaları incelendiğinde hemen tüm çalışmalarda iyimser VZA modellerinin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Geleneksel VZA modelleri kötümser (pesimistik) bakış açısını içermediğinden uygulama sonucunda karar vericiler bazı önemli yönetsel bilgilerden mahrum kalmaktadır. Bu nedenle iyimser ve kötümser bakış açılarını birlikte ele alan bir MVE modelinin kullanılması daha bütünsel ve kapsamlı bir değerlendirme olanağı sunacaktır. Wang ve Lan [21] klasik MVE modelinin yukarıda bahsedilen kısıtını dikkate alarak her iki bakış açısını da eşzamanlı içeren ve iki sınırlı VZA tabanlı-MVE (DFDEA-based MPI) adını verdikleri yeni bir MVE modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Wang ve Lan [21] MVE modeli kullanılarak İstanbul Sanayi Odası (İSO) tarafından açıklanan

ISO500 firmaları arasında yer alan dokuz adet elektrikli teçhizat imalat firmasının 2018-2019 yılları arasındaki verimlilik değişimi ölçülmüştür. Bu sayede, hem literatüre bahsedilen boşluğu doldurma yönünden katkı sunulmuş, hem de analiz kapsamında yer alan işletmelerdeki karar vericilere iki farklı bakış açısını birlikte dikkate alma imkânı sunulmuştur.

Makalenin geri kalan bölümü aşağıdaki şekilde organize edilmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde uygulamada kullanılan yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Uygulamanın yer aldığı üçüncü bölümü Sonuç ve öneriler kısmı takip etmektedir.

## 2. YÖNTEM

Çalışmanın bu kısmında uygulamada kullanılan iki sınırlı VZA tabanlı-MVE modeli açıklanmıştır. İlk olarak iyimser MVE tekniği hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. İyimser VZA-tabanlı Malmquist Verimlilik Endeksi

VZA-tabanlı MVE yöntemi aynı sektör veya endüstride faaliyet gösteren homojen organizasyonların yıllara göre verimlilik değişiminin ölçümünde en çok tercih edilen parametrik olmayan tekniklerden biridir. Benzer amaçla kullanılan Tornqvist ve Fisher Endekslerinde olduğu gibi fiyat verisinin derlenmesi MVE için zorunlu değildir. Ayrıca MVE, diğer endekslerden farklı olarak, yapısındaki etkinlik değişimi ve teknolojik değişim bileşenlerini açıklayabilmektedir.

Verimlilik değişimi hesaplanacak  $n$  adet KVB ve bunların üretimde kullandığı  $m$  adet girdi değişkeni ve  $s$  adet çıktı değişkeni olduğu varsayılmaktadır. Söz konusu KVB <sub>$j$</sub> 'lerin ( $j=1, \dots, n$ )  $t$  dönemi için girdileri  $x_{ij}^t$  ( $i=1, \dots, m$ ), çıktıları  $y_{rj}^t$  ( $r=1, \dots, s$ ) ile;  $t+1$  dönemi için ise sırasıyla  $x_{ij}^{t+1}$  ve  $y_{rj}^{t+1}$  şeklinde gösterilsin. Herhangi bir karar birimi olan KVB <sub>$k$</sub>  için iyimser MVE skorunu hesaplamak için denklem (1) ve (2) ile gösterilen girdiye yönelik klasik CCR modellerinin ve denklem (3) ve (4) ile gösterilen doğrusal programlama modellerinin çözülmesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
 D_k^t(x_k^t, y_k^t) &= \text{Min } \theta \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t &\leq \theta x_{ik}^t, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t &\geq y_{rk}^t, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}) &= \text{Min } \theta \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} &\leq \theta x_{ik}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} &\geq y_{rk}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}) &= \text{Min } \theta \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t &\leq \theta x_{ik}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t &\geq y_{rk}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
 D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t) &= \text{Min } \theta \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} &\leq \theta x_{ik}^t, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} &\geq y_{rk}^t, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{4}$$

Burada  $D_k^t(x_k^t, y_k^t)$  ve  $D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})$  ile gösterilen uzaklık fonksiyonları gözlem kümesinde yer alan  $KVB_k$  için  $t$  ve  $t+1$  dönemlerindeki iyimser etkinlik skorlarını hesaplamaktadır.

$D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})$  notasyonu,  $t$  dönemindeki üretim teknolojisi kullanılarak  $t+1$  dönemi için iyimser etkinlik skorunu;  $D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)$  ise  $t+1$  dönemindeki üretim teknolojisi kullanılarak  $t$  dönemi için iyimser etkinlik skorunu ölçmektedir. Fare vd. [6] ölçeğe göre sabit

getiri varsayım altında t döneminden t+1 dönemine olan verimlilik değişimini ölçmek amacıyla eşitlik (5) ile gösterilen iyimser MVE modelini önermişlerdir.

$$MVE_k(\text{iyimser}) = \left[ \frac{D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}) * D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t) * D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

MVE değerinin 1'den büyük olması verimlilik artışı sağlandığını; 1'den küçük bir değer alması verimlilikte azalma olduğunu gösterir.  $MVE_k = 1$  durumunda ise verimliliğinin sabit kaldığı kabul edilmektedir.

Caves vd. [4-5] tarafından belirtilen  $D_k^t(x_k^t, y_k^t)$  ve  $D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})$  skorlarının 1'e eşit olması varsayımını ortadan kaldırmak için Färe vd. [6] eşitlik (5) ile gösterilen MVE'yi eşitlik (6) ile gösterilen iki ayrı bileşene ayırmayı önermiştir.

$$MVE_k(\text{iyimser}) = \left[ \frac{D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}) * D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t) * D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)} \right]^{1/2} \\ = \frac{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t)} * \left[ \frac{D_k^t(x_k^t, y_k^t) * D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t) * D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (6)$$

Modeldeki ilk bileşen Denklem (7) ile gösterilen iyimser etkinlik değişimi (İED) bileşenidir.

$$\dot{I}ED_k = \frac{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t)} \quad (7)$$

$\dot{I}ED > 1$  iyimser etkinliğin arttığını, eş deyişle, etkin üretim sınırını yakalama etkisi (çabası) (catch-up effect) şeklinde;  $\dot{I}ED < 1$  durumu ise etkinlikteki azalmayı işaret etmektedir.

Modeldeki ikinci bileşen ise eşitlik (8) ile ifade edilen ve t döneminden t+1 dönemine olan iyimser teknolojik (teknik) değişim (İTD) bileşenidir.

$$\left[ \frac{D_k^t(x_k^t, y_k^t) * D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t) * D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$\dot{I}TD > 1$ , etkin üretim sınırının yer değiştirdiğinin (frontier-shift) veya yeniliğin (inovasyonun) kanıtı şeklinde değerlendirilir.

## 2.2. Kötümser VZA-tabanlı Malmquist Verimlilik Endeksi

Parkan ve Wang [22], karar birimlerinin etkinlik skorlarını kötümser bakış açısıyla ölçebilmek amacıyla aşağıda gösterilen minimizasyon yönlü VZA modelini önermektedir.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } \varphi_k &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\geq 0 \quad j=1, \dots, n \\
 u_r, v_i &\geq 0 \quad r=1, \dots, s \quad i=1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{9}$$

Yukarıdaki modelin dual modeli eşitlik (10) ile gösterildiği gibidir.

$$\begin{aligned}
 \text{Mak } \varphi_k \\
 \sum_{i=1}^m x_{ij} \lambda_j &\geq \varphi_k x_{ik}, \quad i=1, \dots, m \\
 \sum_{i=1}^m y_{rj} \lambda_j &\leq y_{rk}, \quad r=1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad j=1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{10}$$

Kötümser veya en kötü görelilik etkinliği (the worst relative efficiency) olarak adlandırılan girdi yönelimli VZA modelinde çıktı miktarları aynı düzeyde tutularak etkinsiz üretim sınırı elde edilene kadar girdi düzeyleri mümkün olduğu kadar artırılmaktadır. Buna göre, iyimser VZA modelinde karar birimlerinin etkinlik skoru 0-1 aralığında değer almak şartıyla maksimize edilmeye çalışılırken, kötümser modelde etkinlik skorları 1'den küçük değer almayacak şekilde minimize edilmek istenmektedir.

$\varphi_k=1$  değerini aldığı KVB<sub>k</sub> kötümser-etkinsiz veya VZA-etkinsiz şeklinde; diğer durumlarda ise kötümser-etkinsiz olmayan veya VZA-etkinsiz olmayan şeklinde değerlendirilir. Bu modelde etkinsizlik sınırı tüm etkinsiz karar birimleri tarafından oluşturulmaktadır. Yukarıdaki kötümser CCR modellerine dayalı olarak kötümser MV endeksleri Denklem (11-14) ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned}
 D_k^t(x_k^t, y_k^t) &= \text{Mak } \varphi \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t &\geq \varphi x_{ik}^t, \quad i=1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t &\leq y_{rk}^t, \quad r=1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j=1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}) &= \text{Mak } \varphi \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} &\geq \varphi x_{ik}^{t+1}, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} &\leq y_{rk}^{t+1}, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 D_k^t(x_k^t, y_k^t) &= \text{Mak } \varphi \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^t &\geq \varphi x_{ik}^t, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^t &\leq y_{rk}^t, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t) &= \text{Mak } \varphi \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}^{t+1} &\geq \varphi x_{ik}^t, \quad i = 1, \dots, m \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^{t+1} &\leq y_{rk}^t, \quad r = 1, \dots, s \\
 \lambda_j &\geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{14}$$

Yukarıda, denklem (11)'deki  $D_k^t(x_k^t, y_k^t)$  ve (12)'deki  $D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})$  sırasıyla t ve t+1 dönemlerindeki kötümser etkinlik skorlarını; denklem (13)'teki  $D_k^t(x_k^t, y_k^t)$  KVB<sub>k</sub> için t dönemi teknolojisi baz alınarak t+1 dönemi için hesaplanan kötümser etkinlik skorunu ve (14)'teki  $D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)$  KVB<sub>k</sub> için t+1 teknolojisine göre t dönemi için hesaplanan kötümser etkinlik skorunu sembolize etmektedir.

Buna göre, KVB<sub>k</sub> için t döneminden t+1 dönemine olan verimlilik değişimi için kötümser VZA-tabanlı MVE aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\text{MVE}_k(\text{kötümser}) = \left[ \frac{D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t)} * \frac{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)} \right]^{1/2} \tag{15}$$

MVE>1 verimlilikteki iyileşmeyi, MVE = 1 değişim olmadığını (durgunluk); MVE<1 ise verimlilikteki azalmayı işaret eder.



İyimser modeldekine benzer şekilde, kötümser MVE modeli de kötümser etkinlik değişimi (KED) ve kötümser teknolojik değişim (KTD) şeklinde iki bileşene ayrılabilir.

$$\begin{aligned} MVE_k(\text{kötümser}) &= \left[ \frac{D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t)} * \frac{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)} \right]^{1/2} \\ &= \frac{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t)} * \left[ \frac{D_k^t(x_k^t, y_k^t)}{D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)} * \frac{D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (16)$$

Modeldeki ilk bileşen Denklem (17) ile gösterilen KED bileşenidir.

$$KED_k = \frac{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^t(x_k^t, y_k^t)} \quad (17)$$

Eğer  $KED > 1$  ise  $KVB_k$  için  $t$  döneminden  $t+1$ 'e geçerken kötümser etkinliğinde iyileşme sağladığı;  $KED < 1$  ise aynı dönemde etkinliğinin azaldığı şeklinde değerlendirme yapılır.

Eşitlik (18) ile gösterilen ikinci bileşen olan KTD bileşeni  $t$  döneminden  $t+1$  dönemine teknik değişimi ölçmektedir.

$$\left[ \frac{D_k^t(x_k^t, y_k^t)}{D_k^{t+1}(x_k^t, y_k^t)} * \frac{D_k^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})}{D_k^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1})} \right]^{1/2} \quad (18)$$

### 2.3. İyimser ve Kötümser Malmquist Endekslerinin Bütünleştirilmesi

Yukarıda bahsedilen iyimser ve kötümser MVE modelleri farklı açış açılara sahip oldukları için birbiriyle tutarsız ve anlamlı farklılık gösteren sonuçlar üretebilirler. Bütünsel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla (5) formülündeki gibi her iki endeksin geometrik ortalaması alınabilir. Bu sayede modelin iyimser ve kötümser bakış açılarını kapsaması sağlanmaktadır. İki sınırlı VZA-tabanlı MVE modeli olarak adlandırılan model (19) no'lu formülle hesaplanmaktadır.

$$MVE_k(\text{DFDEA}) = [MVE_k(\text{iyimser}) * MVE_k(\text{kötümser})]^{1/2} \quad (19)$$

Yukarıdaki MVE modeli ortalama değerleri gösterecek şekilde kendi içinde:

$$MVE_k(\text{DFDEA}) = [(\text{İED}_k * \text{İTD}_k) * (\text{KED}_k * \text{KTD}_k)]^{1/2}$$

$$\begin{aligned} &= [ \dot{I}ED_k * KED_k ]^{1/2} * [ \dot{I}TD_k * KTD_k ]^{1/2} \\ &= ED_k * TD_k \end{aligned} \quad (20)$$

Buradaki,  $ED_k = [ \dot{I}ED_k * KED_k ]^{1/2}$  ve  $TD_k = [ \dot{I}TD_k * KTD_k ]^{1/2}$  notasyonları sırasıyla, KVB k için t döneminden t+1 dönemine geçişte yaşanan ortalama etkinlik değişimini ve ortalama teknik değişimi ifade etmektedir.

### 3. UYGULAMA

İSO tarafından her yıl Türk sanayinin gelişimini görebilmek ve geleceğe yönelik yol haritasının belirlenmesine katkı sağlamak amacıyla Türkiye'nin 500 Büyük Sanayi Kuruluşu (İSO500) ve Türkiye'nin İkinci 500 Büyük Sanayi Kuruluşu araştırması gerçekleştirilmekte ve araştırmanın sonuçları kurumun internet sayfasında (<http://www.iso500.org.tr/>) yayımlanmaktadır. Burada, önerilen iki sınırlı MVE modeliyle birinci ve ikinci ISO500 sıralamalarında yer alan (eş deyişle, ilk 1000'de yer alan) 9 adet elektrikli teçhizat imalat firmasının 2018-2019 yılları arasındaki verimlilik değişimi ölçülmüştür. Söz konusu firmalar, HES Hacılar Elektrik San. ve Tic. A.Ş., Türk Prysmian Kablo ve Sistemleri A.Ş., Astor Trans. Ene.Tur. İnş. ve Pet. S. Tic. A.Ş., Femaş Metal San. ve Tic. A.Ş., Balıkesir Elektromekanik San. Tes. A.Ş., Ulusoy Elektrik İmalat Taah. ve Tic. A.Ş., Panasonic Life Solutions Ele. San. ve Tic. A.Ş., Bimed Teknik Aletler San. ve Tic. A.Ş. ve Gedik Kaynak San. ve Tic. A.Ş. şeklindedir. Bahsekonu firmaların seçilme nedeni veri elverişliliği ve bu sektörde yapılan uygulama sayısının sınırlı olmasıdır.

MVE uygulamasında kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri literatür ve veri elverişliliği dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre uygulamada kullanılan iki girdi ve iki çıktı değişkeni Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu değişkenler literatürdeki çalışmalarda sıklıkla kullanılan değişkenler arasındadır. Girdi-çıkıtı sayısının dört ile sınırlandırılmasının nedeni firma sayısının kısıtlı olmasıdır.

**Tablo 1.** MVE uygulamasında kullanılan değişkenler

Değişken	Türü	Açıklama	Referans
Çalışan sayısı	Girdi	2018 ve 2019 yılında firmada ücretle çalışan ortalama kişi sayısı	[11]
Aktif toplamı	Girdi	2018 ve 2019 yılında firmanın aktif toplamı (TL)	[23]
Net satışlar	Çıkıtı	2018 ve 2019 yılında firmanın net satışları (TL)	[13]

Brüt katma değer Çıktı 2018 ve 2019 yılında firma için (vergiden önceki [24]  
kar + faiz + ücretler + kira giderleri + dolaylı  
vergiler + amortismanlar) (TL)

Söz konusu değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Minimum		Maksimum		Ortalama	
	2018 yılı	2019 yılı	2018 yılı	2019 yılı	2018 yılı	2019 yılı
Çalışan s.	479	510	1154	1141	771	824
Aktif top.	164061733	207477147	1128749977	1202013340	668135120	798641575
Net satışlar	234383293	258218333	1685601659	1874331912	752684460	838916097
Br.kat.değ.	106511239	101237324	294401656	331042099	174068216	180183256

Buna göre, söz konusu firmalar için denklem (1-5) yardımıyla hesaplanan iyimser MVE skorları Tablo 3’te gösterildiği gibidir.

**Tablo 3.** İyimser VZA- tabanlı MVE skorları

KVB	D <sup>18</sup> (18,18)	D <sup>19</sup> (19,19)	D <sup>18</sup> (19,19)	D <sup>19</sup> (18,18)	İED	İTD	MVE
HES	1	1	1,047	1,132	1,000	0,962	0,962
Türk Pry.	1	1	1,016	1,019	1,000	0,999	0,999
Astor	1	1	1,026	0,828	1,000	1,113	1,113
Femaş	0,525	0,666	0,505	0,608	1,269	0,809	1,026
Balıkesir	0,538	0,533	0,519	0,663	0,991	0,889	0,881
Ulusoy	1	0,832	0,620	1,546	0,832	0,694	0,578
Panasonic	0,724	0,880	0,741	0,807	1,215	0,869	1,056
Bimed	1	1	0,836	1,201	1,000	0,834	0,834
Gedik	1	1	0,744	1,080	1,000	0,830	0,830
Ortalama	0,865	0,879	0,784	0,987	1,034	0,889	0,920

Buna göre, D<sup>18</sup>(18,18) ile ifade edilen 2018 yılı için iyimser (klasik) CCR-VZA modeline göre HES Hacılar, Türk Prysmian, Astor, Ulusoy Elektrik, Bimed ve Gedik firmaları etkin çıkmıştır. D<sup>19</sup>(19,19) ile sembolize edilen 2019 yılı için ise HES Hacılar, Türk Prysmian, Astor, Bimed ve Gedik firmaları etkin çıkmıştır. Buna göre HES Hacılar, Türk Prysmian, Astor, Bimed ve Gedik firmalarının her iki yılda da etkin faaliyet gösterdiği anlaşılmaktadır. Buna karşın, Tablo 3’ün en son sütunundaki MVE skorlarına göre sadece

Astor, Femaş ve Panasonic firmaları 2018 yılından 2019 yılına geçişte verimlilik artışı (MVE>1) sağlamışlardır. Femaş firması her iki yılda da etkinsiz faaliyet göstermesine rağmen az da olsa (%2,6) verimlilik artışı sağlamıştır. Astor işletmesi %11,3 ile en fazla verimlilik artışı kaydeden birim olmuştur. Bu karar biriminin MVE bileşenleri incelendiğinde firmanın söz konusu dönemde etkinlik düzeyi sabit kalırken (İED=1), %11,3 oranında bir teknolojik ilerleme (yenilik) elde ettiği görülmektedir. Buna göre Astor işletmesinin verimlilik artışı teknik ilerlemeden kaynaklanmıştır.

Verimliliği azalan 6 birim arasında Ulusoy firması %42,2 ile en yüksek verimlilik kaybı yaşayan firmadır. Ulusoy firmasının verimlilik azalışına hem etkinlik kaybı (%16,8) hem de teknolojik gerileme (%30,6) neden olmuştur. Genel resme bakıldığında ise 9 işletmenin verimliliklerinin ortalama %8 oranında azaldığı ve bu azalışın tamamen teknolojik gerileme kaynaklı olduğu görülmektedir. Karar birimlerinin kötümser MVE skorları (11-15) numaralı modeller kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 4'te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Kötümser VZA- tabanlı MVE skorları

KVB	D <sup>18</sup> (18,18)	D <sup>19</sup> (19,19)	D <sup>18</sup> (19,19)	D <sup>19</sup> (18,18)	KED	KTD	MVE
HES	1,517	1,168	0,851	1,655	0,770	0,817	0,629
Türk Pry.	1	1	0,865	1,104	1,000	0,885	0,885
Astor	1,059	1,139	1,083	1,475	1,076	0,826	0,889
Femaş	1	1,002	0,945	0,702	1,002	1,159	1,161
Balıkesir	1	1	0,681	0,981	1,000	0,833	0,833
Ulusoy	1,479	1,178	1,171	1,389	0,796	1,029	0,819
Panasonic	1	1,003	1,287	0,820	1,003	1,251	1,255
Bimed	1	1	0,959	0,962	1,000	0,998	0,998
Gedik	1	1	0,940	1,312	1,000	0,846	0,846
Ortalama	1,117	1,054	0,976	1,156	0,961	0,961	0,924

Buna göre 2018 yılı için kötümser CCR-VZA modeline göre etkinlik skorları “1” çıkan Türk Prysmian, Femaş, Balıkesir Elektromekanik, Panasonic, Bimed ve Gedik birimleri kötümser-etkinsiz olarak değerlendirilir. Etkinsizlik sınırını oluşturan bu en kötü görelilik etkinlik skorlarına sahip firmaların, “kötümser-etkinsiz olmayan” şeklinde değerlendirilen diğer 3 firmadan daha zayıf performans gösterdikleri kabul edilmektedir. 2019 yılında ise Türk Prysmian, Balıkesir Elektromekanik, Bimed ve Gedik firmalarının kötümser-etkinsiz

çıktığı görülmektedir. Buna göre, Türk Prysmian, Balıkesir Elektromekanik, Bimed ve Gedik firmaları her iki yılda da VZA-etkinsiz çıkararak kötümser modele göre en zayıf performansı göstermişlerdir.

Kötümser-MVE skorlarına göre ise sadece Femaş ve Panasonic firmaları verimlilik artışı gerçekleştirmiştir. Bunlardan Panasonic firması %25,5 ile en yüksek verimlilik artışını elde etmiştir. Panasonic işletmesinin MVE bileşenleri incelendiğinde söz konusu dönemde verimlilik iyileşmesinin çok büyük oranda teknolojik ilerlemeden (%25,1) kaynaklandığı görülmektedir. Eş deyişle, Panasonic firması teknolojik ilerleme (yenilik) sağlayarak etkinsizlik sınırını değiştirmiştir. MVE skorları 1'den küçük olan 7 firma arasında HES Hacılar firmasının verimliliği en çok azalan (%37,1) firma olması dikkat çekmektedir. Genel olarak ise 9 işletmenin ortalama verimliliklerinin %7,6 oranında azaldığı ve bu azalışın hem ortalama etkinlik düzeyindeki hem de ortalama teknik düzeydeki gerilemeden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

İyimser ve kötümser bakış açılarını birlikte dikkate alarak daha kapsamlı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla Denklem (19) formülüyle hesaplanan iki sınırlı MVE skorları Tablo 5'te gösterildiği gibidir.

**Tablo 5.** İki sınırlı VZA-tabanlı MVE skorları

KVB	İyimser MVE			Kötümser MVE			İki sınırlı MVE		
	İED	İTD	MVE	KED	KTD	MVE	ED	TD	MVE
HES	1,000	0,962	0,962	0,770	0,817	0,629	0,877	0,887	0,778
Türk Pry.	1,000	0,999	0,999	1,000	0,885	0,885	1,000	0,940	0,940
Astor	1,000	1,113	1,113	1,076	0,826	0,889	1,037	0,959	0,995
Femaş	1,269	0,809	1,026	1,002	1,159	1,161	1,127	0,968	1,092
Balıkesir	0,991	0,889	0,881	1,000	0,833	0,833	0,995	0,861	0,857
Ulusoy	0,832	0,694	0,578	0,796	1,029	0,819	0,814	0,845	0,688
Panasonic	1,215	0,869	1,056	1,003	1,251	1,255	1,104	1,043	1,151
Bimed	1,000	0,834	0,834	1,000	0,998	0,998	1,000	0,913	0,913
Gedik	1,000	0,830	0,830	1,000	0,846	0,846	1,000	0,838	0,838
Ortalama	1,034	0,889	0,920	0,961	0,961	0,924	0,995	0,917	0,917

Tablo 5 incelendiğinde iki sınırlı bütünleşik modele göre Femaş ve Panasonic işletmelerinin verimlilik iyileşmesi sağladığı, diğer işletmelerin verimliliklerinin azaldığı anlaşılmaktadır. Verimlilik iyileşmelerine bakıldığında, Femaş firmasının verimlilik artışının sadece pozitif etkinlik değişiminden (%12,7), Panasonic firması için ise hem etkinlik hem de teknik değişimdeki iyileşmeden kaynaklandığı görülmektedir. Ulusoy işletmesi %31,2 ile verimliliği en çok azalan işletmedir. Genel duruma bakıldığında ise dokuz firmanın ortalama verimliliklerinin %8,3 oranında azaldığı ve bu azalmanın çok büyük oranda teknoloji düzeyindeki gerilemeden (%8,3) kaynaklandığı tespit edilmiştir.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Wang ve Lan [21] tarafından önerilen iki sınırlı VZA tabanlı MVE modeli iyimser ve kötümser bakış açılarını eş zamanlı dikkate alan bir tekniktir. Yöntemin bir diğer avantajı, sadece etkin üretim sınırındaki değişimi değil, aynı zamanda etkinsizlik sınırındaki değişimi de ölçebilmesidir. Bu noktadan hareketle bu çalışmada, anılan iki sınırlı VZA-tabanlı MVE modeliyle bir gerçek hayat uygulaması yapılmıştır. Uygulamada ISO500 kapsamında elektrikli teçhizat imalatı sektöründe faaliyet gösteren ve verileri eksiksiz elde edilebilen dokuz firmanın 2018-2019 yılları arasındaki verimlilik değişimi ölçülmüştür. Analiz sonucunda söz konusu firmalarda yaklaşık %8 civarında bir verimlilik kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. MVE bileşenleri incelendiğinde verimlilikteki bu azalmanın özellikle teknoloji düzeyindeki gerilemeden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Buna göre, 2018-19 yılları arasında üretim sınırı aşağıya doğru kaymış, bu durum firmaların girdilerini israf etmelerine yol açmıştır. Diğer bir deyişle, firmaların üretim teknolojisindeki kötüleşme firmaların olması gerekenden daha fazla girdi kullanmasına neden olmuştur. Bahsekonu imalat firmalarında verimliliği artırmak ve kaynak israfını minimize etmek için ürün ve süreç yeniliklerine ağırlık verilmelidir. Bunun yanında, standartların korunması ve daha ileriye götürülmesi amacıyla Kaizen yaklaşımının benimsenerek sürekli iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Çalışmanın kapsamı verileri eksiksiz olan dokuz firmayla sınırlı olduğundan VZA'nın ayırım gücü dikkate alınarak girdi-çıktı değişkeni sayısı dört olarak belirlenmiştir. MVE uygulamalarında KVB sayısının değiştirilmesi veya farklı girdi-çıktı değişkenlerinin kullanılması durumlarında verimlilik skorlarının da değişebildiği bilinmektedir. İleriki çalışmalar bağlamında, farklı değişkenler kullanılarak önerilen yöntemle verimlilik analizi

gerçekleştirilebilir. Bunun yanında, literatürdeki diğer Malmquist endeksleri için de iki sınırlı modeller geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Charnes A., Cooper W.W., and Rhodes E. “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444, 1978.
- [2] Emrouznejad A., and Yang G.L. “A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8, 2018.
- [3] Malmquist, S. “Index numbers and indifference surfaces”. *Trabajos de Estadística* 4,209–242, 1953.
- [4] Caves D.W. Christensen L.R. and Diewert W.E. “The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity”, *Econometrica* 50 (6) 1393–1414, 1982a.
- [5] Caves D.W. Christensen L.R. and Diewert W.E. “Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers”. *The Economic Journal*, 92, 73–86, 1982b.
- [6] Färe R, Grosskopf S, Norris M., and Zhang, Z. “Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries”, *American Economic Review*, 84:66–83, 1994.
- [7] Wang, D.D. “Performance assessment of major global cities by DEA and Malmquist index analysis”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, 2019.
- [8] Amani, N., Valami, H.B., and Ebrahimnejad, A., “Application of Malmquist productivity index with carry-overs in power industry”, *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3151-3165, 2018.
- [9] Aparicio J., Crespo-Cebada E., Pedraja-Chaparro F., and Santin D. “Comparing school ownership performance using a pseudo-panel database: A Malmquist-type index approach”, *European Journal of Operational Research*, 256(2), 533-542, 2017.
- [10] Sheng Y., Shi X., and Zhang, D. “Energy trade efficiency and its determinants: A Malmquist index approach”, *Energy Economics*, 50, 306-314, 2015.
- [11] Gedik, A., “Çimento sektöründe etkinlik analizi: ISO500 içerisinde yer alan firmalar üzerine bir uygulama”, *Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi*, 1, 41-52, 2020.

- [12] Kara, O., Tarakcıoğlu ,A.A., Birol, E., “Etkinlik, rantabilite ve ihracat rekabet gücü arasındaki ilişki: Türk otomotiv sektörü üzerine bir uygulama”, Gaziantep University Journal of Social Sciences, 19(3) 1194-1214, 2020.
- [13] Göral, R., Çağlıyan, V., Gelmez, E.. İşletmelerin Malmquist TFV endeksiyle verimliliklerinin analizi: tekstil sanayi örneği”. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 21(1),18-29, 2018.
- [14] Kasap, Y., Şensöğüt, C., Ören, Ö. Efficiency change of coal used for energy production in Turkey”, Resource Policy, 65, 2020.
- [15] Chen Y., and Ali A.I. DEA “Malmquist productivity measure: New insights with an application to computer industry”, European Journal of Operational Research, 159, 239–249, 2004.
- [16] Pastor J.T, and Lovell C.A.K., “A global Malmquist productivity index”, Economics Letters, 88, 266-271, 2000.
- [17] Yu M.M. “The capacity productivity change and the variable input productivity change: a new decomposition of the Malmquist productivity index”, Applied Mathematics and Computation, 185, 375–381, 2005.
- [18] Kao, C. “Malmquist productivity index based on common-weights DEA:The case of Taiwan forests after reorganization”, Omega 38, 484–491, 2011.
- [19] Fuentes R., and Lillo-Bañuls A. “Smoothed bootstrap Malmquist index based on DEA model to compute productivity of tax offices”, Expert Systems with Applications, 42(5), 2442-2450, 2015.
- [20] Zhang N., Zhou P., and Kung C.C. “Total-factor carbon emission performance of the Chinese transportation industry: A bootstrapped non-radial Malmquist index analysis”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 584-593, 2015.
- [21] Wang Y.M., and Lan Y.X. “Measuring Malmquist productivity index: A new approach based on double frontiers data envelopment analysis”, Mathematical and Computer Modelling 54, 2760–277, 2011.
- [22] Parkan C., and Wang M.L. “The worst possible relative efficiency analysis based on inefficient production frontier”. Working Paper, Department of Management Sciences, City University Of Hong Kong, 2000.



- [23] Aytekin, A., “Türkiye’de önde gelen şirketlerin etkinlik, farklılık ve performans ölçümü”, Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21 (4) , 19-35, 2020.
- [24] Yılmaz, Y., “Türkiye’nin en büyük sanayi kuruluşlarının etkinliklerinin değerlendirilmesi: kimya sanayi”, Ünye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 3(2), 22-29, 2020.