

Yayın Geliş Tarihi: 25.06.2017

Yayın Onay Tarihi: 12.09.2017

Recep TARI \*

Faruk SEZER \*\*

## İstenen ve İstenmeyen Çıktılarla Etkinlik Analizi: Kocaeli Gıda Sanayii Firmaları Örneği<sup>1</sup>

*Efficiency Analysis With Desirable and Undesirable  
Outputs: Example of Food Industry Firms of Kocaeli  
Province*

### Özet

İnsanoğlunun yaşamını devam ettirebilmesi için karşılamak zorunda olduğu ihtiyaçların başında gıda gereksinimi gelmektedir. Bu ihtiyacın bir yandan süreklilik taşıyor olması, diğer yandan da bu ihtiyacı karşılayan ürünlere ulaşmada karşılaşılan zorluklar, gıda sanayiini imalat sanayi içerisinde en stratejik sektörlerden biri konumuna taşımaktadır. Dolayısıyla yüksek etkinlik düzeylerinde üretim yapan bir gıda sanayinin varlığı, ülkenin gıda arzını karşılamada büyük önem taşımaktadır. Ancak yalnızca iktisadi etkinliğe odaklanarak katı atıklar, atık sular ya da emisyonlar gibi istenmeyen çıktılar görmezden gelen üretim yapıları çevresel unsurları tahrip etmekte ve sistemin sürdürülebilirliğini tehlikeye sokabilmektedir. Bu çalışmada Kocaeli ilinde faaliyette bulunan gıda sanayi firmalarının etkinlik düzeyleri, veri zarflama analizi yardımıyla hem iktisadi hem de çevresel olarak test edilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre istenmeyen çıktıların analize dahil edilmemesi sapmalı ve yanıltıcı sonuçlar ortaya koymakta ve birimlerin etkinlik sıralamalarını bozmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Veri zarflama analizi, çevresel etkinlik, istenmeyen çıktılar, gıda ürünleri imalatı

**JEL Kodları:** C14, L6, Q5

---

\* Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölüm Başkanlığı, rtari@kocaeli.edu.tr

\*\* Dr., sezerfaruk26@hotmail.com

<sup>1</sup> Kocaeli İlinde Faaliyette Bulunan Seçilmiş İmalat Sanayii Firmalarının İktisadi Ve Çevresel Etkinlik Analizi başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.

### Abstract

At the beginning of the needs that humans need to meet in order to survive, comes the need for food. This need's having continuity, on the one hand, and the difficulties in reaching the products that meet this need on the other hand, make the food industry one of the most strategic sectors in the manufacturing industry. Therefore, the existence of a food industry producing at high efficiency levels is of great importance in meeting the food supply of the country. However, by focusing only on economic efficiency, production structures that ignore undesirable outputs such as solid wastes, wastewater or emissions can destroy environmental elements and endanger the sustainability of the system. In this study, efficiency levels of food industry firms operating in Kocaeli province were tested both economically and environmentally with the help of data envelopment analysis. According to the findings of the study, the fact that undesirable outputs are not included in the efficiency analysis reveals distorted and misleading results and disrupts the efficiency order of the units.

**Keywords:** Data envelopment analysis, environmental efficiency, undesirable outputs, manufacture of food products

**JEL Codes:** C14, L6, Q5

### Giriş

Gıda sanayi, tarım sektöründen elde edilen çıktıları hammadde olarak kullanıp bu ürünleri uygun yöntemlerle işleyerek başka ürünlere dönüştüren, hazırlayan ve çok çeşitli teknikler kullanarak bu ürünleri muhafaza eden ve ambalajlayan bir sanayi koludur. Gıda ürününün kendine has özelliklerinin bulunması, yüksek kalite standartlarının temin edilebilmesi, maliyet koşullarının iyileştirilmesi ve çevrenin korunabilmesi gibi etkenler göz önünde bulundurularak uygulanan tekniklerin ürünler, ülkeler ya da zamanlar arasında değişkenlik gösterdiği ifade edilmektedir (Ekşi, 1992: 3).

Gıda sanayi bir yandan tarımsal ürünleri hammadde olarak kullanırken diğer taraftan da ürettiği çıktılarla başka sanayi dallarına hammadde temin etmektedir. Tarımsal üretimin bir bölümü taze olarak tüketilmekteyken bir bölümü de gıda sanayiinde işlenerek farklı ürünlere dönüştürülmektedir. Genellikle emek yoğun bir üretim teknolojisine sahip olan sektörün, toplumun doğru bir biçimde beslenebilmesi ve istihdama katkısı noktasında gelişmişlik düzeyinden bağımsız olarak tüm ülkeler için stratejik öneminin olduğu belirtilmektedir (Bulu vd. , 2007: 313).

Gıda sanayinin yapısal özellikleri göz önüne alındığında iki temel işlevinden bahsedilmektedir. Tarımsal ürünlerin hasat, kesim veya sağımdan sonra kısa süre

içerisinde bozulabilme gibi dezavantajı bulunmaktadır. Gıda sanayinde kullanılmakta olan muhafaza ve ambalajlama teknikleri sayesinde bu tür bozulmaların önüne geçilebilmesi, bu sanayi dalının tarımsal üretimin güvencesi olma işlevi olarak ifade edilmektedir. Bu şekilde gıda sanayi sayesinde tarımsal üretim artışı daha sağlıklı bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca bu muhafaza ve ambalajlama teknikleri neticesinde ihtiyaç duyulan tarımsal üretimin mevsim, bölge gibi kısıtlar aşarak toplumun büyük bölümüne ulaştırılabilmesi dengeli beslenmeyi sağlama işlevi olarak bahsedilmektedir ( Ekşi, 1992: 3).

Dünya nüfusunun sürekli artan bir trende sahip olmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan büyük miktarlardaki gıda ihtiyacı en önemli küresel sorunlardan biri haline dönüşmektedir. Dolayısıyla kaçınılmaz bir biçimde bu ihtiyacın karşılanmasına yönelik olarak gıda ürünlerinin imalatı ve bu sektöre girdi temin eden tarım sektörü en stratejik sektörlerden biri olarak ifade edilmektedir. Ayrıca istihdam, tüketim harcamaları, diğer sektörlerle hammadde temini, milli gelir ve ihracattaki payı gibi veriler göz önünde tutulduğunda gıda ve tarım sektörünün sosyoekonomik açıdan sahip olduğu önem daha da belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Nüfuz alanının geniş olması nedeniyle tarım politikaları, ülkelerin; siyasal, ekonomik ve sosyal politikalarının en önemli unsurunu oluşturmaktadır (Bursa Ticaret ve Sanayi Odası (BTSO), 2015: 7) .

Avrupa topluluğunda ekonomik faaliyetlerin istatistiki sınıflaması (NACE) sistemine göre 10 bölüm numarasıyla kodlanmış olan gıda ürünlerinin imalatı;

10.1 Etin işlenmesi ve saklanması ile et ürünlerinin imalatı

10.2 Balık, kabuklu deniz hayvanları ve yumuşakçaların işlenmesi ve saklanması

10.3 Sebze ve meyvelerin işlenmesi ve saklanması

10.4 Bitkisel ve hayvansal sıvı ve katı yağların imalatı

10.5 Süt ürünleri imalatı

10.6 Öğütülmüş tahıl ürünleri, nişasta ve nişastalı ürünlerin imalatı

10.7 Fırın ve unlu mamuller imalatı

10.8 Diğer gıda maddelerinin imalatını kapsayacak biçimde 8 grup altında sınıflandırılmıştır (Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2015: 46-49).

Türkiye’de gıda sektöründe faaliyette bulunan firmaların genellikle ikili (düal) bir yapıda üretimde bulunduğu ifade edilmektedir. Buna göre firmaların bir kısmı yüksek

teknolojilerin kullanıldığı bir üretim biçimini benimseyebilmişken, diğer bir kısım firma ise nispeten daha düşük teknolojilerin kullanıldığı geleneksel üretim biçimlerini kullanmaya devam etmektedirler (Keskin ve Eşiyok, 2013: 2). Her iki üretim tarzında faaliyette bulunan firmalardan hangilerinin iktisadi, hangilerinin çevresel, hangilerinin de hem iktisadi hem de çevresel olarak etkin olduklarının belirlenmesi, gıda sektörüne yönelik oluşturulacak politikalar için yol gösterici olacaktır.

Bu çalışmanın amacı genel özellikleri tanımlan ve imalat sanayiinde stratejik sektörlerden biri konumunda olan gıda sanayi alanında faaliyette bulunan Kocaeli ili firmalarının ilk olarak geleneksel veri zarflama analizi yöntemiyle iktisadi etkinlik düzeylerini belirlemektir. Daha sonra elde edilen bu sonuçları da çevresel etkinlikleri ölçmek amacıyla geliştirilen üç farklı modelin sonuçlarıyla karşılaştırmaktır. Çalışmanın temel hipotezi; her hangi bir alanda faaliyette bulunan bir karar verme biriminin sadece istenen çıktıları ele alınarak etkinlik hesaplaması yapıldığında elde edilen sonucun yanıltıcı olacağı, istenmeyen çıktıların analize ilave edilmesiyle karar verme birimlerinin hem bireysel etkinlik düzeylerinin hem de göreceli olarak sıralamalarının değişebileceğidir. Dolayısıyla çalışmanın temel hipotezi istenmeyen çıktıların ele alınmadığı her bir analiz sapmalı sonuçlar verecektir şeklinde kurulmuştur.

### **1. Literatür İncelemesi**

Doğrusal programlama temeline dayanan veri zarflama analizi çok sayıda girdi ve çıktının dahil olduğu benzer üretim süreçlerine sahip olan karar verme birimlerinin göreceli etkinlik düzeylerini ölçmek amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Fonksiyonel bir form gerektirmemesi ve girdi-çıkıtı verilerinin farklı birimlerle ölçülüyor olsalar da aynı anda yöntemde kullanılabilir olması gibi nedenler, yöntemin birçok çalışmada kullanılması sonucunu ortaya çıkarmıştır. VZA ile yapılan çalışmaların sayısı çoğaldıkça, bu çalışmalar ile ilgili bibliyografya çalışmaları yapılmış ve 7000'den fazla çalışmaya rastlanmıştır (Emrouznejad et. al. , 2008: 151-157). Bu nedenle var olan akademik yayınların miktarı da göz önüne alınarak çalışmanın bu bölümünde yalnızca çevresel etkilerin dikkate alındığı VZA uygulamalarının yer aldığı çalışmaların bir kısmına yer verilecektir.

Fare, Grosskopf, Lovell ve Pasurka tarafından 1989 yılında yayımlanan "Multilateral Productivity Comparisons When Some Outputs Are Undesirable: A Nonparametric

Approach” isimli çalışmada Pittman’ın 1976 yılındaki çalışmasında kullandığı 30 adet kağıt fabrikasının verilerini kullanarak geliştirmiş oldukları hiperbolik çıktı etkinliği ölçümü yöntemini VZA modelinde istenmeyen çıktılar için zayıf atılabilir (weak disposability) ve güçlü atılabilir (strong disposability) şeklindeki iki ayrı teknolojiye göre test etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda istenmeyen çıktıların modele ilave edilmemesinin ciddi biçimde sonuçları etkilediği ve yanlış yönlendirdiğini ifade etmişlerdir.

Daniel Tyteca 1996 yılında yayınlanan “ On The Measurement Of The Enviromental Performance Of Firms A Literature Review And A Productive Efficiency Perspective” isimli çalışmasında parametrik yöntemlerle parametrik olmayan yöntemleri karşılaştırmış ve çevresel etkileri bu yöntemleri ele alarak tartışmıştır.

Chung, Fare ve Groskopf 1997 yılındaki “Productivity And Undesirable Outputs: A Directional Ditance Function Approach” isimli çalışmalarında yönelimli uzaklık fonksiyonu modelini kullanarak firmaları istenmeyen çıktılardaki azalmalara ve istenen çıktılardaki artışlara göre derecelendirmişlerdir. Kirleticilerin etkilerini değerlendirmek için geleneksel Malmquist endeksinin çalıştırılmayacağını ifade ederek Mamlmquist-Luenberg verimlilik endeksini önermişlerdir. İsveç’in 1986 ve 1990 yılları arasındaki kağıt endüstrisi verilerini kullanmışlardır. Bunlardan girdi verileri çalışan sayısı, odun lifi, enerji, ve sermaye iken, istenmeyen çıktılar biyolojik oksijen talebi, kimyasal oksijen talebi ve askı katı maddedir. Malmquist -Luenberg endeksinin geleneksel Malmquist endeksine göre birimlerin verimliliğini ve teknik değişimi daha iyi açıkladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Holger Scheel 2001 yılında yayınladığı “Undesirable Outputs In Efficiency Valuations” isimli çalışmasında istenmeyen çıktıların VZA modeline ilave edildiği yöntemleri karşılaştırmıştır. Daha sonra yeni radyal ölçüm yöntemini tanıtmıştır. Karşılaştırdığı modellerden istenmeyen çıktılarının tersinin alınarak negatif hale getirildiği toplamsal ters (additive inverse) modelinin, istenmeyen çıktılarının girdi olarak ilave edilmesi yöntemiyle aynı sonucu vereceğini ifade etmiştir. Bu iki model dışında, başka çalışmalarda doğrusal olmayan azalan dönüşüm (nonlinear demonotone decreasing transformation) şeklinde tanımlanan modeli, çarpımsal ters (multiplicative inverse) olarak isimlendirerek tanıtmıştır ve son olarak da Fare vd’nin 1989 da önerdiği yöntemi diğer iki yöntemle karşılaştırmıştır.

Seiford ve Zhu “Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluations” isimli çalışmalarını 2002 yılında yayınlamışlardır. Dönüşüm değişmezliği özelliğinden yararlanarak standart VZA modelinin istenen çıktıları arttırarak ve istenmeyen çıktıları azaltarak performans artışına olanak sağladığını göstermeyi amaçlamışlardır. Bunun için sadece geleneksel BCC modeli için kullanılabilen ve konveks özelliklerin korunduğu bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemi 1989 yılında Fare vd’nin makalesinde yer alan (onlar da bu verileri Pitman 1976’dan almışlardır) kağıt fabrikaları verileri üzerinde test etmişlerdir. Buna göre enerji, sermaye ve çalışan sayısını girdi verisi olarak kullanmışlardır. Biyokimyasal oksijen talebi, askı katı madde, partiküller ve sülfür oksit ise istenmeyen çıktı verisi olarak kullanmışlardır. İstenmeyen çıktıların ihmal edildiği geleneksel BCC modeli sonuçları ile istenmeyen çıktıların VZA modeline ilave edildiği çevresel etkinlik (eco-efficiency) modelini karşılaştırmışlardır. Bu modellerden biri çalışmada kendi önerdikleri yöntem iken diğeri istenmeyen çıktıların girdi verisi olarak kullanıldığı modeldir. Çalışmalarında istenmeyen çıktıların modele ilave edilmemesi durumunda etkinlik skorlarının ciddi biçimde bozulduğu ve firma sıralamalarının değiştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Fare ve Groskopf 2004 yılında “Modelling Undesirable Factors In Efficiency Evaluation: Comment” isimli çalışmada Seiford ve Zhu’nun 2002 yılında önerdikleri yöntemi yorumlayarak kendi önerdikleri yönelimli uzaklık fonksiyonu modeliyle karşılaştırmışlardır. İki modelin farklı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Seiford ve Zhu 2005 yılında yayınladıkları “ A Response To Comments On Modeling Undesirable Factors In Efficiency Evaluaiton” isimli makalelerinde Fare ve Groskopf’un 2004 yılındaki yorumlarına cevap vermişlerdir. Bu çalışmada Seiford ve Zhu, Fare ve Groskopf’un modelini geliştirerek toplamsal VZA modeliyle bağlantılı hale getirmişlerdir.

Amirteimoori vd.nin 2006’da yaptıkları “Modeling Undesirable Factors in Data Envelopment Analysis” isimli çalışmalarında standart CCR etkinliğini teorik formunu genişleterek aynı anda istenmeyen çıktıları azaltan ve istenmeyen girdileri arttıran bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modeli hem hayali 25 karar verme birimi üzerinde hem de 2002 yılının ilk altı aylık verilerini kullanarak 5 farklı şehirde bulunan 14 İran bankası için test etmişlerdir. Çalışan sayısı, bankaların metrekaresi cinsinden çalışma

alanları ve müşteri sayılarını girdi verisi olarak; mevduat tutarı, kredi miktarı, banka masrafları ve gecikmiş kredi miktarı verilerini de çıktı verisi olarak kullanmışlardır. Uyguladıkları model sonucunda 4 bankanın etkin çalıştığını göstermişlerdir.

Gomes ve Lins 2007 yılında yayınladıkları “Modelling Undesirable Output With Zero Sum Gains Data Envelopment Analysis Models” isimli çalışmalarında istenmeyen çıktıların varlığında, çıktılardaki artışın etkinliği azaltan bir model önermişlerdir. Sıfır toplamlı kazançlar VZA olarak adlandıkları modelin özellikle denge modellerine uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Yang ve Pollitt 2007 yılında yayınladıkları “Incorporating Both Undesirable Outputs and Uncontrollable Variables Into DEA: the Performance Of Chinese Coal-Fired Power Plants” isimli çalışmalarında Çin’de bulunan kömür santrallerinin verilerini kullanarak iki ayrı problemi 6 farklı model kullanarak aynı anda incelemişlerdir. Bu problemlerden birincisi istenmeyen çıktıların geleneksel VZA modellerine dahil edilememesi nedeniyle, istenen çıktılarla birlikte modelde nasıl kullanılabileceğidir. Aşmayı amaçladıkları ikinci problem ise, kontrol edilemeyen değişkenlere VZA modelinde nasıl müdahale edileceğidir.

Pan, Liu, Peng ve Wu 2010 yılında hazırladıkları “Another Method to Deal With Undesirable Outputs In Data Envelopment Analysis” isimli çalışmalarında risk primlerinden hareketle hesaplanan Sharpe oranı kavramını istenmeyen çıktılara müdahale edebilmek amacıyla kullanmışlardır. 23 adet Tayvan belediyesi verileri kullanılarak hazırladıkları çalışmada, bu model yardımıyla istenmeyen çıktıların aşırı üretilip üretilmediğini ve belediyelerin etkinlik düzeylerini araştırmışlardır.

Kaoru Tone ve Miki Tsutsui 2011 yılında yayınladıkları “Applying An Efficiency Measure Of Desirable And Undesirable Output In DEA To U.S. Electric Utilities” isimli çalışmalarında ilk olarak hibrid ölçüm yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemle göre VZA içerisinde radyal ve radyal olmayan etkinlik ölçüm modelleri birleştirilmektedir. Çalışmada hibrid modelin geliştirilerek istenen ve istenmeyen çıktıların ayrıştırılabilir ve ayrıştırılamaz olduğu durumlarda çevresel etkinliğin nasıl ölçülebileceğini tartışmışlardır.

You ve Yan 2011 yılında yaptıkları “A New Approach In Modelling Undesirable Output In DEA Model” isimli çalışmada daha önce geliştirilen çevresel etkinlik

modellerinin çevresel değişkenlerin etkilerini düzgün bir biçimde yansıtmadığını ifade etmişlerdir. Bu sorunu aşabilmek ve çevresel değişkenlerin olumsuz etkilerini görebilmek için bir oran analizi geliştirmişler ve bu modeli Çin'in tekstil endüstrisi verilerini kullanarak sunmuşlardır. Geliştirdikleri model sonucunda olumsuz etkilerin daha açık bir biçimde ortaya çıktığı kanısına varmışlardır.

Emrouznejad ve Yang 2016 yılında yaptıkları "A framework for measuring Global Malmquist-Luenberg Productivity Index With CO<sub>2</sub> Emissions On Chinese Manufacturing Industries" isimli çalışmalarında yönelimli uzaklık fonksiyonu ve Malmquist-Luenberg verimlilik endeksini kullanarak Çin'in imalat sanayinde çevresel etkinlik düzeyini test etmişlerdir. Çalışmaların sonucuna göre Çin'de imalat sanayi ölçek ekonomileri 2004-2012 yıllarında yavaş yavaş azaldığı böylece optimal ölçek düzeyinden uzaklaştığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca imalat sanayiinin aşırı kapasite sorunu nedeniyle karbondioksit emisyonunun tehlikeli boyutlara ulaştığını ifade etmişlerdir.

## 2. Yöntem

Veri zarflama analizi çeşitli firmalar ya da devlet daireleri gibi karar verici birimlerin iktisadi etkinliklerini ölçmek için kullanılan parametrik olmayan bir yöntemdir. Yöneylem araştırması literatürüne ilk kez 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes (CCR) tarafından tanıtılmıştır (Ray, 2004: 1). Etkinlik skorlarını hesaplamak için veri zarflama analizi yoluyla doğrusal programlama tekniklerinin uygulamalarda kullanılması artan bir biçimde popülerlik kazanmıştır. Bu anlamda ilk olarak tanıtılan CCR modelidir (Forsund and Sarafoglu, 2002: 23).

Orijinal CCR modeli üretim teknolojisinin sadece ölçeğe göre sabit getiri varsayımına sahip olduğu kısıdı ile uygulanabiliyordu. Devam eden süreçte Banker, Charnes ve Cooper (BCC) tarafından 1984 yılında yayınlanan çalışma ile CCR modeli ölçeğe göre değişken getirili üretim teknolojisine uyumlu hale getirilerek büyük bir buluş haline dönüşmüştür. Takip eden yıllarda çok sayıda araştırmacının metodolojik katkılarıyla CCR-BCC modelleri etrafında kayda değer hacimde bir literatür birikmiştir. Böylece veri zarflama analizi etkinlik ölçümüne yönelik kullanılan ve parametrik bir yöntem olan regresyon analizine karşı geçerli bir alternatif olarak gün yüzüne çıkmıştır. VZA'nın genel kabul gören bir etkinlik ölçüm metodu olarak hızlı bir tempoda yayılışı, uygulamaya ilişkin yapılan bibliyografya çalışmalarıyla kolayca gözlemlenebilmektedir.



Sözgelimi Seiford (1994) çalışmasında 472 yayımlanmış makale listelerken, yapılan başka bir çalışmada Tavares (2002) 3183 çalışmadan söz etmektedir. Günümüzde bu rakamın on binlere ulaştığı tahmin edilmektedir. VZA doğrusal programlama problemini çözmek için geliştirilen bilgisayar yazılımları da VZA uygulamasını oldukça kolay hale getirmiştir. Böylece etkinliği ölçmede geniş çaplı veri setleriyle bile VZA uygulaması oldukça sık kullanılan bir uygulama haline gelmiştir (Ray, 2004: 1).

Veri zarflama analizi uygulanırken ilk olarak her bir karar verme birimi için ağırlıklandırılmış sanal girdi ve sanal çıktı oluşturulmaktadır.

$$\text{Sanal girdi} = v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0}$$

$$\text{Sanal çıktı} = u_1 y_{10} + \dots + u_s y_{s0}$$

Ağırlıkların belirlenebilmesi için de doğrusal programlama kullanılmakta ve

sanal çıktı

sanal girdi

oranının maksimum hale getirilmesi amaçlanmaktadır (Boussofiane et. al. , 1991: 1). Optimal ağırlıklar genel olarak her bir karar verme birimi için değişmektedir. Sabit ağırlıklar kullanmak yerine veri zarflama analizi ile verilerden türetilmektedir. Girdi ve çıktıların ağırlıklarının belirlenmesinde kesirli programlama problemi kullanılmaktadır. Bu problem kurulurken konulan kısıtlar sonucunda sanal çıktı/sanal girdi oranı her bir karar verme birimi için en fazla 1 değerini alabilmektedir (Cooper et. al. , 2007: 21-23).

Veri zarflama analizinin temel modelleri girdi yönlü ve çıktı yönlü olarak incelenebilmektedir. Girdi yönlü modeller, girdi vektöründeki oransal azalmayı maksimum hale getirirken, çıktı yönlü modeller çıktı vektöründeki oransal artışı maksimum hale getirmektedir (Ali et. al. , 1995: 467).

Veri zarflama analizinin temel modeli şu şekilde kurgulanmaktadır (Cooper et. al. , 2011: 7-13) ;

$$Q_k = \text{Max} \left[ \frac{\left( \sum_{r=1}^p u_r Z_{rk} \right)}{\left( \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \right)} \right]$$

Aşağıdaki kısıtlar altında;

$$\frac{\left( \sum_{r=1}^p u_r Y_{rj} \right)}{\left( \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \right)} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, p$$

$$v_i \geq \varepsilon \quad i = 1, \dots, m$$

Burada;

ur: k karar birimi tarafından r'nci çıktıya verilen ağırlık,

vi: k karar birimi tarafından i'nci girdiye verilen ağırlık,

Zrk: k karar birimi tarafından üretilen r'nci çıktı,

Xik: k karar birimi tarafından kullanılan i'nci girdi,

Yrj: j'nci karar birimi tarafından üretilen r'nci çıktı,

Xij: j'nci karar birimi tarafından kullanılan i'nci girdi,

$\varepsilon$  : Yeterince küçük pozitif bir sayı olarak tanımlanmaktadır.

Matematiksel formu yukarıdaki gibi ifade edilen modelin sonucunda karar verme birimlerinin göreceli etkinlik değerleri elde edilebilmektedir. Buna göre birimlerin etkinlik sonuçları konulmuş olan kısıtların bir sonucu olarak sıfır ve bir arasında değer almaktadır. Etkinlik sonucu bir olan birimlerin diğer birimlere görece etkin olduğu ifade edilirken, birden küçük etkinlik skoruna sahip olan birimlerin etkin olmadıkları belirlenmektedir.

İktisadi etkinliklerin hesaplanmasında girdi verisi olarak çalışan sayısı ve çalışanlara yapılan ödemeler dışında kalan tüm ödememeleri ifade eden ve 13 ödeme kaleminin toplandığı toplam gider verisi kullanılmıştır. Çıktı verisi olarak da üretimin toplam değeri verisi kullanılmıştır. Bu sayede toplulaştırılmış girdi ve çıktı verileri kullanılarak üretim sürecinin tamamının kapsanması ve dışarıda hiçbir verinin bırakılmaması hedeflenmiştir.

Bu çalışmada öncelikle veri zarflama analizinin geleneksel BCC modeli, sabit bir çıktı düzeyi için girdilerinden en fazla tasarruf edebilen firmaların etkin olduğuna işaret edecek şekilde girdi yönlü olarak tercih edilmiştir. Geleneksel iktisadi etkinlikleri yukarıda ifade edildiği biçimde ölçeğe göre değişken getiri varsayımları altında elde edilen karar verici birimler için çevresel çıktıların analize ilave edilmemesi sonucunda elde edilmiş olan etkinlik skorlarının yanıltıcı olabileceği hipotezinden yola çıkılarak literatürde önerilen 3 ayrı yöntemle imalat sanayi firmaları için çevresel etkinlik (eco-efficiency)

değerleri elde edilmiştir. Çevresel etkileri temsilen de yukarıda ifade edilen verilere firmaların ürettikleri atık miktarları istenmeyen çıktılarını temsilen kullanılmıştır.

Çevresel etkinlik değerlerinin hesaplamasında kullanılan ilk yöntem atık verilerinin analize girdi verisi olarak ilave edilmesidir (Rheinhard et. al., 1999: 44-60). VZA girdiler için azalmayı öngördüğünden, atık verilerinin de hangi birim tarafından en iyi biçimde azaltılabildiğinin bu yolla elde edilebileceği birçok çalışmada öngörülüp uygulanmıştır. Ancak ilerleyen yıllarda atık verilerinin üretim sürecinin bir çıktısı olması nedeniyle modelde girdi verisi olarak kullanılması eleştirilerek bu modelin tek başına çevresel etkinlikleri belirlemede yetersiz olabileceği ifade edilmiştir.

Çevresel etkinliklerin hesaplanmasında kullanılan ikinci yöntem bazı kaynaklarda çarpımsal ters ve bazı kaynaklarda doğrusal olmayan monoton azalan dönüşüm olarak ifade edilen dönüşüm yöntemi kullanılmıştır (Lovell et. al. , 1995: 507-518). Bu dönüşüm yöntemi oldukça basit bir biçimde istenmeyen çıktılarının tersinin alınarak dönüştürülmesi ve VZA modeline istenen bir çıktı olarak dahil edilmesi şeklinde çalışmaktadır. Ancak bu yöntem BCC modelinde konveks ilişkilerin kaybına yol açtığı nedeniyle eleştirilmiştir.

Çevresel etkinliklerin elde edilmesinde sıklıkla kullanılan bir diğer yöntem de doğrusal monoton azalan dönüşüm olarak ifade edilen dönüşüm yöntemidir (Seiford and Zhu, 2002: 16-20). Bu yöntemin çalışma prensibi; ilk olarak istenmeyen çıktılarının -1 ile çarpılarak negatif hale getirilmesidir. Daha sonra tüm karar verme birimlerinin pozitif olacağı şekilde bir dönüşüm vektörü ilave edilmektedir.

$b_j$ ; istenmeyen çıktılarını ve “v” dönüşüm vektörünü ifade etsin.

$\bar{b}_j = -b_j + v \geq 0$  şeklinde olacaktır.

Ancak bu model, dönüşüm değişmezliği özelliğini yalnızca BCC modeli sağladığından sadece BCC modeli için kullanılabilir. Dolayısıyla uygulanan tüm çevresel modelleri bu modelle karşılaştırabilmek için BCC modeli tercih edilmiş, çevresel etkinlikler için CCR modeli tercih edilmemiştir.

### 3. Uygulama

Çalışmada Tük'in Nace Rev. 2 sistemine göre tutmuş olduğu mikro veriler kullanılmıştır. Bu istatistik derleme sistemine göre imalat ana faaliyet kısmının gıda

ürünleri imalatı alt bölümünde 2012 yılında Kocaeli ilinde 26 girişim faaliyet göstermektedir. Bu firmaların çalışma şartlarını istatistiki anlamda ele aldığımızda şu sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Veri zarflama analizinde girdi verisi olarak kullanılmak üzere incelenen toplam gider verisi en çok 839 milyon lira ve en az 2 milyon lira kadardır. Bu yıl için toplam gider verisinin ortalaması yaklaşık 182 milyon lira kadarken, standart sapması ise 237 milyon lira kadardır. Üretim sürecinin bir diğer girdisi olarak kabul edilen çalışan sayılarına baktığımızda en çok istihdam yapan firmanın verisinin 1554 kişi olduğu, buna karşılık en düşük istihdamın 46 kişi olduğu görülmüştür. Bu faaliyet kolunda çalışan sayısı ortalama 446 kişidir. Verinin standart sapması ise 406 kişidir. Çıktı verisi olarak da her bir firma için üretim değeri verisi kullanılmıştır. İstenilen çıktı verisi olarak modelde yer alan üretim değeri verisi en yüksek olan firmanın 819 milyon lira, en düşük olan firmanın da 2 buçuk milyon lira olduğu görülmektedir. 26 firmanın üretim değeri ortalaması 208 milyon lira iken, verinin standart sapması 258 milyon lira kadardır. Modelde istenmeyen çıktı olarak benimsenen katı atık verilerine baktığımızda, 2012 yılında en fazla 6500 ton kadar üretildiği en az da 2 buçuk ton üretildiği tespit edilmiştir. Atık üretiminin ortalaması yaklaşık 724 ton ve standart sapması da 1460 tondur. Kocaeli ilinin gıda sektörü itibarıyla genel istatistiki görünümü tablo 1'deki gibi gerçekleşmiştir.

**Tablo 1: Gıda Ürünleri İmalatı 2012 Yılı Temel İstatistiksel Verileri**

	Toplam Gider	Çalışan Sayısı	Üretim Değeri	Atık Miktarı
En büyük	839.042.874	1.554	819.813.831	6.501.878
En küçük	2.094.820	46	2.523.758	2.500
Ortalama	182.816.549,8	446,34	208.908.283,8	724.796,23
Standart sapma	237.823.818,3	406,64	258.017.268,6	1.460.068,77

**Kaynak:** TÜİK verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

Çalışmada ilk olarak 2012 yılında gıda ürünleri imalatı alanında faaliyette bulunan firmaların geleneksel BCC modeli ile etkinlik düzeyleri test edilmiştir. İkinci adımda ise firmaların ürettikleri atık verileri modele birden farklı biçimde dahil edilerek çevresel etkinlik düzeylerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Veri zarflama analizinin çalışma prensibi girdilerin sabit tutulması veya azaltılması, çıktıların ise sabit tutulması veya artırılması üzerine kurulmuştur. Halbuki çevresel etkin karar verici birimlerin tespit edilebilmesi için, üretim sürecinin bir çıktısı olmalarına rağmen katı atık verileri gibi kirletici unsurları

da en çok azaltan birimlerin belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla istenmeyen unsurlar olan üretilen atık miktarlarını veri zarflama analizi modeline doğrudan dahil etmek mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada literatürde istenmeyen çıktıların VZA modeline dahil edilebildiği belli başlı üç yöntemden (Hua and Bian, 2007: 117) yararlanılarak firmaların çevresel etkinlik (eco-efficiency) düzeyleri araştırılmıştır.

Tablo 2'nin ikinci sütunu istenmeyen çıktı verilerinin ihmal edildiği geleneksel BCC modelinin sonuçlarını göstermektedir. Bu model literatürdeki bazı çalışmalarda, istenmeyen çıktıların görmezden gelinmesiyle bu tip kirletici unsurlara müdahale yöntemlerinin basit bir biçimi olarak da ifade edilmektedir (Lu and Lo, 2007a: 841-849; Lu and Lo, 2007b: 882-894). Geleneksel BCC modeli sonuçlarını gösteren ve istenmeyen çıktılarını görmezden gelen model 1'in sonucuna göre bu dönemde firma 5, 12, 14, 17 ve 22 olmak üzere 5 firma etkin bir biçimde faaliyette bulunmuştur. Firma 15 ve 25 ise etkin çalışan birimlerin yarısı kadar bile etkin çalışmamaktadırlar. Bu dönemde faaliyette bulunan firmaların etkinlik ortalamaları ise 0,789369 olarak hesap edilmiştir.

Tablo 2'nin üçüncü sütundan gösterilen model 2, üretimin istenmeyen faktörü konumunda olan katı atık verilerinin modele girdi verisi olarak eklenmesi sonucunda elde edilen etkinlik düzeylerini ifade etmektedir (Rheinhard et. al., 1999: 44-60). Girdi yönelimli modelde belirli bir çıktı düzeyi için girdilerini en iyi azaltan firmalar etkin olarak tespit edildiğinden, atık verilerini en iyi azaltabilen firmaların da bu yolla belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak ilgili yazında bu model sonucunda elde edilen etkinlik skorlarının üretim sürecini doğru yansıtmadığı belirtildiğinden (Seiford and Zhu, 2002: 19), yalnızca bu modelin sonuçlarına göre çevresel etkinlik skorlarını yorumlamak doğru olmayabilir. Bu modele göre 2012 yılında firma 5, 9, 12, 14, 15, 17, 18, 19 ve 22 olmak üzere 9 firma etkin olarak faaliyet göstermiştir ve dolayısıyla atık verilerinin ihmal edildiği modele göre firmaların etkinlik sıralamaları farklılaşmıştır. Firma 9, 15, 18 ve 19 geleneksel modelin sonuçlarına göre etkin olmadıkları halde, atık verilerinin de dikkate alındığı bu modelde etkin çalışan firmalar olarak belirlenmiştir. Özellikle istenmeyen unsurlar görmezden gelindiğinde en düşük etkinlik skorlarından birine sahip olan firma 15, atık veriler modele

ilave edildiğinde etkin çalışan bir firma olarak tespit edilmiştir. Model 2'nin etkinlik ortalaması ise 0,858346 olarak tespit edilmiştir.

İstenmeyen çıktıları alışılmış veri zarflama analizi modelinde kullanabilmek için literatürde kullanılan yöntemlerden birisi de doğrusal olmayan azalan dönüşüm yaklaşımıdır (Lovell et. al. , 1995: 507-518). Bu dönüşümün uygulanması sonucu firmaların atık verileri alışılmış BCC modelinde normal bir çıktı olarak kullanılmıştır. Tablo 2'nin dördüncü sütununda model 3 etiketiyle gösterilen bu uygulamanın sonuçlarına göre 2012 yılında firma 5, 12, 14, 15, 17 ve 22 olmak üzere 6 firmanın çevresel etkin bir biçimde çalıştığı tespit edilmiştir. Bu modele göre tüm firmaların ortalaması 0,814003'dür. İstenmeyen çıktıların ihmal edildiği model 1'den farklı olarak bu modelde de firma 15'in etkinlik düzeyi çok büyük bir oranda yükselmiş ve bu firmanın çevresel etkin çalıştığı belirlenmiştir. Atık verilerinin dahil edilmesi sonrasında firma 15 ve 19'ün etkinlik sıralaması değişmiştir.

İstenmeyen çıktıların VZA modelinde kullanılabilmesi için uygulanan doğrusal olmayan azalan dönüşümün sonucunda konveksite ilişkilerinin bozulduğu belirtildiğinden (Lewis and Sexton, 1999), bu modelin yerine doğrusal azalan veri dönüşümünün kullanılması önerilmiştir (Seiford and Zhu, 2002: 16-20). Tablo 2'nin son sütununda model 4 olarak belirtilen bu modelde, dönüştürülen atık verileri analize normal bir çıktı olarak ilave edilmiştir. Dönüşüm değişmezliği (transformation invariance) özelliği gereği yalnızca BCC modeli için uygulanan bu modelin sonuçlarına göre model 2'ye benzer şekilde 9 firmanın etkin çalıştığı belirlenmiştir. Firmaların bu model için ortalaması ise 0,848639 olarak hesaplanmıştır. Firma 7, 8, 10, 11, 15, 21, 24 ve 26 olmak üzere birçok firmanın etkinlik düzeyi ve dolayısıyla sıralamalar istenmeyen çıktıların modelde yer alması sonucunda model 1'e göre değişmiştir.

**Tablo 2: Gıda Ürünleri İmalatı Alanındaki Firmalar İçin 2012 Yılı Çevresel Etkinlik Sonuçları**

KVB	M1	M2	M3	M4
1	0,811263	0,811263	0,811263	0,811263
2	0,667845	0,669786	0,667845	0,667845
3	0,868511	0,896696	0,868511	0,868935
4	0,886381	0,907083	0,886381	0,886381
5	1	1	1	1
6	0,78122	0,804232	0,78122	0,788383
7	0,639025	0,720298	0,640185	0,684175
8	0,850456	0,977176	0,850456	0,9752
9	0,983416	1	0,983416	1
10	0,682971	0,81637	0,682971	0,767534
11	0,909532	0,958542	0,909532	0,955629
12	1	1	1	1
13	0,735321	0,764825	0,735321	0,759652
14	1	1	1	1
15	0,396262	1	1	1
16	0,691853	0,691853	0,691853	0,691853
17	1	1	1	1
18	0,87717	1	0,878859	1
19	0,863751	1	0,89027	1
20	0,854867	0,854867	0,854867	0,854867
21	0,726067	0,850692	0,726067	0,841597
22	1	1	1	1
23	0,531636	0,57801	0,53206	0,542095
24	0,692506	0,804621	0,692506	0,777915
25	0,463151	0,469604	0,463151	0,463151
26	0,61039	0,74108	0,617336	0,728152
<b>ORTALAMA</b>	0,789369	0,858346	0,814003	0,848639
<b>ETK FRM</b>	5	9	6	9

**Kaynak:** TÜİK verilerinden yararlanılarak oluşturulmuştur.

### Sonuç

Gıda ürünlerinin imalatı, imalat sanayi içerisinde karşılamakta olduğu ihtiyacın niteliği dikkate alındığında hayati öneme sahip üretim kollarından birisi konumunda

bulunmaktadır. Bu noktadan hareketle bu alanda faaliyette bulunan firmaların rekabetçi bir üretim yapısına sahip olması tarımsal üretimin sağlıklı koşullarda muhafaza edilebilmesi ve dolayısıyla gıda arz güvenliğinin sağlanabilmesi anlamına gelmektedir. Ancak üretimdeki bu rekabetçi yapı sürekli olarak daha az girdi kullanarak daha fazla çıktı üretme hedefine odaklandığında, hemen hemen tüm üretim sistemlerinin bir diğer sonucu olan ve istenmeyen çıktılar olarak ifade edilen kirletici unsurların da giderek artarak ekolojik yapının bozulmasını sonucunu doğurmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir bir ekonomik yapının kurgulanmasında çevresel unsurların dikkate alınması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada gıda ürünleri imalatı alanında faaliyette bulunan Kocaeli ili firmaları için hem iktisadi hem de çevresel etkinlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Yalnızca iktisadi girdi ve çıktı unsurları dikkate alındığında bu alanda faaliyette bulunan 26 firmadan 5 tanesinin etkin çalıştığı belirlenmiştir. İkinci aşamada modele katık atık verileri birbirinden farklı üç yöntemle entegre edilerek çevresel etkinlik skorları elde edilmiş ve geleneksel iktisadi etkinlik skorları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre çevresel etkilerin modele dahil edildiği model 2 ve 4’de 9 firma çevresel olarak etkin iken model 3’de ise 6 firma etkin bir çalışma gerçekleştirmiştir. Dolayısıyla çevresel unsurların modele ilave edilmesi firmaların bireysel skorlarını ve faaliyet alanındaki sıralamalarını dikkate değer biçimde etkilemektedir.

### **Kaynakça**

- Ali, A.I., Lerne Catherine S., L.M. Seiford (1995). “Components of Efficiency Evaluation in Data Envelopment Analysis”. *European Journal Of Operational Research*, 80 (2): 462-473.
- Amirtemoori, Alireza, Sohrab Kordrostami, Maryam Sarparast (2006). “Modeling Undesirable Factors In Data Envelopment Analysis”. *Applied Mathematics And Computation*, 180.
- Banker, R. D., A. Charnes, W.W. Cooper (1984). “Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiency In Data Envelopment Analysis”. *Institute For Operations Research And The Management Science*, 30 (9).
- Boussofiane, A., R.G. Dyson, E. Thanassoulis (1991). “Applied Data Envelopment Analysis”. *European Journal Of Operational Research*, 52.



- Bulu, Melih, İ. Hakkı Eraslan, Mehmet Barca (2007). "Türk Gıda Sektörünün Uluslararası Rekabetçilik Düzeyinin Analizi". Afyon Kocatepe Dergisi, IX (1): 311-335.
- Bursa Ticaret ve Sanayi Odası (2015). Gıda, Tarım ve Hayvancılık Sektör Raporu ve Yerel Gıda, Tarım ve Hayvancılık Stratejisi. Bursa: BTO.
- Charnes, A., W.W. Cooper, E. Rhodes (1978). "Measuring The Efficiency of Decision-Making Units". European Journal of Operational Research, 2(6).
- Chung, Y. H., R. Fare, S. Grosskopf (1997). "Productivity And Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach". Journal Of Environmental Management, 51.
- Cooper, W., L.M. Seiford, K. Tone (2007). Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text With Models, References and Dea-Solver Software. New York: Springer Science + Business Media.
- Cooper, W., L.M. Seiford, Joe Zhu (2011). "Data Envelopment Analysis History, Models, and Interpretations" in: Ed. Cooper, W., L.M. Seiford, Joe Zhu. Handbook on Data Envelopment Analysis. New York: Springer Science + Business Media, 7-13.
- Ekşi, Aziz (1992). "Türkiye'de Gıda Sanayinin Durumu ve Geleceği". Gıda, 17 (1): 3-6.
- Emrouznejad, Ali, Barnet R. Parker, Gabriel Tavares (2008). "Evaluation of Research In Efficiency And Productivity: A Survey And Analysis Of The First 30 Years Of Scholarly Literature In DEA". Socio-Economic Planning Sciences, 42.
- Emrouznejad, Ali, Guo-liang Yang (2016). "A Framework For Measuring Global Malmquist-Luenberg Productivity Index With CO2 Emissions On Chinese Manufacturing Industries". Energy, 155.
- Färe R, Grosskopf S, Lovell CAK and Pasurka C (1989). "Multilateral Productivity Comparisons When Some Outputs Are Undesirable: A Nonparametric Approach". Rev Econ Statist 71: 90-98.
- Fare R., S. Grosskopf (2004). "Modeling Undesirable Factors In Efficiency Evaluation: Comment" European Journal Of Operational Research, 157.
- Forsund, Finn R., Nikias Sarafoglou (2002). "On The Origins Of Data Envelopment Analysis". Journal Of Productivity Analysis, 17: 23-40.
- Gomes, E.G. , Lins M.P.E. (2007). "Modelling Undesirable Outputs With Zero Sum Gains Data Envelopment Analysis Models". Journal Of The Operational Research Society 59: 616-623.
- Holger Scheel (2001). "Undesirable Outputs In Efficiency Valuations". European Journal Of Operational Research, 132.
- Hua, Z., Bian Y. (2007). DEA with undesirable factors. In: Ed. Zhu J and Cook WD. Modeling Data Irregularities and Structural This Complexities in Data Envelopment Analysis. Boston, MA: Springer Science, 103-121.
- Keskin, Filiz. Bayram Ali Eşiyok (2013). TR72 Bölgesi( Kayseri, Sivas, Yozgat) Gıda Sektörüne Yönelik İmalat Sanayi Raporu. Ankara: Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Müdürlüğü.
- Lewis H. F., Sexton T. R. (1999). "Data Envelopment Analysis With Reverse Inputs". North America Productivity Workshop, Union College, Schenectady, NY

- Lovell, C.A.K, Pastor, J.T., Toner, J.A. (1995). "Measuring Macroeconomic Performance In The OECD: A Comparison Of European And Non-European Countries". *European Journal Of Operational Research*, 87.
- Lu, W.M., Lo S.F. (2007a). "A Benchmark-learning Roadmap For Regional Sustainable Development In China". *Journal Of Operational Research Society* 58: 841-849.
- Lu, W.M., Lo S.F. (2007b). "A Closer Look at the Economic Environmental Disparities For Regional Development in China". *European Journal Operational Research* 183: 882-894.
- Pan, Sheng-Chieh, Shiao-Yen Liu, Chia-Jui Peng, Po-Chin Wu (2010). "Another Method To Deal With Undesirable Outputs In Data Envelopment Analysis". *The Empirical Economics Letters*, 9 (10).
- Ray, Subhash C. (2004). *Data Envelopment Analysis Theory And Techniques For Economics And Operations Research*. New York: Cambridge University Press.
- Reinhard, S., C.A.K. Lovell, G. Thijssen (1999). "Econometric Estimation Of Technical And Environmental Efficiency: An Application To Dutch Dairy Farms". *American Journal Of Agricultural Economics*, 81.
- Seiford, L.M. (1994). "A DEA Bibliography 1978-1992". in: Ed. A. Charnes, W.W. Cooper, A. Lewin, and L. Seiford. *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 437-70.
- Seiford, L.M., Zhu J. (2002). "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation". *European Journal Operational Research* 142: 16-20.
- Seiford, L.M., Joe Zhu (2005). "A Response To Comments On Modeling Undesirable Factors In Efficiency Evaluation". *European Journal Of Operational Research*, 161.
- Tavares, G., (2002). *A Bibliography of Data Envelopment Analysis (1978-2001)*, Rutgers Research Report, Rutgers University.
- Tone, Kaoru, Miki Tsutsi (2011). "Applying An Efficiency Measure Of Desirable And Undesirable Outputs In DEA To U.S. Electric Utilities". *Journal Of Centrum Cathedra*, 4 (2).
- Türkiye İstatistik Kurumu (2015) NACE Rev.2- Altılı Ekonomik Faaliyet Sınıflaması, Ankara: TÜİK. 4366.
- Tyteca, D. (1996). "On The Measurement Of The Environmental Performance Of Firms – A Literature Review And A Productivity Efficiency Perspective". *J Environ Mngt* 46: 281-308.
- Yang, Hongliang, Michael Pollitt (2007). "Incorporating Both Undesirable Outputs And Uncontrollable Variables Into DEA: The Performance Of Chinese Coal-Fired Power Plants".
- You, S., H. Yan (2011). "A New Approach In Modelling Undesirable Output In DEA Model". *Journal Of Operationa Researc Society*, 62.