

## BULANIK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE ÇAYKUR FABRİKALARINDA ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

**Süleyman ÇAKIR**

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, 53100, Rize  
[suleyman.cakir@erdogan.edu.tr](mailto:suleyman.cakir@erdogan.edu.tr)

(Geliş/Received: 08.06.2015; Kabul/Accepted: 03.09.2015)

### ÖZET

Türkiye dünyanın en büyük beşinci çay üreticisi olmasına karşın dünya çay ihracat hacmindeki payı ihmal edilebilir derecede düşüktür. Ayrıca, Türkiye’de kuru çay birim üretim maliyeti diğer üretici ülkelerin birim maliyetlerinden çok daha yüksektir. Türk çay endüstrisinin en önemli aktörü konumundaki ÇAYKUR’un özel sektör firmalarıyla ve diğer ülke üreticileriyle rekabetinde avantaj sağlaması kaynaklarını etkin kullanmasına bağlıdır. Bulanık Veri Zarflama Analizi (BVZA) modelleri karar birimlerinin etkinlik düzeylerini bulanık ortamda ölçmek amacıyla kullanılan son derece yararlı araçlardır. Bu çalışmada ÇAYKUR’a bağlı 20 yaş çay işleme fabrikasında 2013 yılı verilerine göre etkinlik ölçümü gerçekleştirilmiştir. Lertworasirikul vd. tarafından geliştirilen BVZA modelinin kullanıldığı uygulamada fabrikalar için beş farklı  $\alpha$ -kesim düzeyinde etkinlik skorları hesaplanmıştır. Sonraki aşamada, fabrikaları performanslarına göre sıralamak amacıyla Chen ve Klein tarafından literatüre kazandırılan bulanık sıralama yaklaşımından yararlanılarak her bir fabrika için bütünlük tek bir etkinlik skoru hesaplanmıştır. Çalışmanın yönetsel açıdan sektördeki karar vericilere yararlı bilgiler sunduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bu çalışma dünya çay sektöründe BVZA modeliyle etkinlik ölçümü yapılan ilk çalışmalardan biri niteliğindedir.

**Anahtar Kelimeler:** ÇAYKUR, etkinlik, bulanık veri zarflama analizi

## EFFICIENCY MEASUREMENT IN ÇAYKUR FACTORIES WITH FUZZY DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

### ABSTRACT

Even though Turkey is the world's fifth largest tea-producer country, its share in the world tea export volume is as low as negligible. In addition, unit tea-production costs in Turkey are much higher than those of other tea-producing countries. In order for ÇAYKUR, the most important player of Turkish tea industry, to gain competitive advantage against the competitors in the private sector and other countries' manufacturers depends on using its resources efficiently. Fuzzy Data Envelopment Analysis (FDEA) models are very fruitful tools for measuring efficiency levels of decision-making units in fuzzy environment. In this study, efficiency measurement was performed in 20 tea factories of ÇAYKUR for the year 2013. In the application, the FDEA model developed by Lertworasirikul et al. was conducted and the efficiency scores were computed for five  $\alpha$ -cut levels. Then, an integrated single efficiency score were calculated for each tea plant via Chen and Klein's fuzzy ranking approach so as to rank the plants with regards to the performance. It is hoped that this study presents useful information to the decision-makers of the tea industry. Furthermore, this paper is one of the first attempt to measure efficiency with FDEA models in the world tea industry.

**Keywords:** ÇAYKUR, efficiency, fuzzy data envelopment analysis

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaklaşık 200 bin ailenin ve bir milyona yakın insanın geçimini sağladığı Türk çay sektörünün istihdamı

artırma, göçü önleme ve ekonomik canlılık yaratma gibi sosyo-ekonomik faydaları bulunmaktadır [1]. 2013 yılı verilerine göre dünya genelinde yaklaşık 5 milyon ton çay üretimi gerçekleştirilirken Türkiye

kamu ve özel sektör çay fabrikalarının gerçekleştirilen yaklaşık 261 bin tonluk üretim bunun yaklaşık %5,2'sini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye Çin, Hindistan, Kenya ve Sri Lanka'nın ardından dünyanın en büyük beşinci çay üreticisidir. Çin yıllık yaklaşık 725 bin ton ile dünyanın en büyük çay tüketicisi ülkesi olmasına rağmen kişi başına yıllık tüketim miktarı esas alındığında Türkiye yaklaşık 3,15 kg çay tüketimiyle dünyada ilk sıradadır [2]. 2010 yılı verilerine göre dünya çay ticareti 9,9 milyar doların üzerinde gerçekleşmiş olup günümüzde dünya ihracatının yaklaşık %90'ından fazlası Sri Lanka, Kenya, Çin, Hindistan, Endonezya, Arjantin, Vietnam, Uganda ve Malavi gibi üretici ülkeler tarafından yapılmaktadır. Türkiye'nin çay ihracatının dünya çay ihracat hacmindeki payı ise çeşitli nedenlerden dolayı ihmal edilebilir derecede düşüktür ve bu ihracatın tamamına yakını kamu tarafından gerçekleştirilmektedir [3]. Türkiye'de çay üretimi bir iktisadi devlet teşekkülü olan ve 500 büyük sanayi firması içinde yer alan Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü (ÇAYKUR) ile özel sektör fabrikaları tarafından gerçekleştirilmektedir. ÇAYKUR'un 47, özel sektörün ise yaklaşık 150 adet yaş çay işleme fabrikası bulunmaktadır. Yıllara göre değişimle birlikte bölgede üretilen yaş çay ürününün yaklaşık %55-60'ı ÇAYKUR tarafından satın alınmaktadır. ÇAYKUR'un yurt içi kuru çay piyasasındaki pazar payı ise %60-65 aralığında değişmektedir [4]. Dünya'da çay üretimi az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yapılmasına rağmen bu ülkelerin büyük çoğunluğunda üretim maliyetleri oldukça düşüktür. Türkiye'de ise kuru çay maliyeti diğer üretici ülkelerin maliyetlerinden çok daha yüksektir. Diğer üretici ülkelere göre Türk üreticilere ödenen hammadde fiyatı 3 kat, personel gideri 5 kat, üretim maliyeti ise 4-5 kattır [5]. ÇAYKUR'un kendi fabrikaları arasında bile kuru çay birim üretim maliyetleri bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum, ÇAYKUR fabrikalarında bir verimsizlik ve etkinsizlik sorunu bulunduğu işaret etmektedir. Kamuya bağlı işletmeleri özelleştirmek için karar vericileri ikna etmek amacıyla "kamu işletmelerinin özel sektör işletmelerine kıyasla etkinsiz çalıştığı" görüşü uzun yıllardır birçok yönetici ve ekonomist tarafından savunulmaktadır [6]. Diğer yanda, özelleştirme karşıtları iyi organize edilmiş rekabetçi stratejilerle kamu işletmelerinin etkin çalışabileceğini öne sürmektedirler [7]. ÇAYKUR'un kurumsal olarak hem özel sektör fabrikalarıyla hem de dünyadaki diğer üretici ülkelerle olan rekabetinde avantaj sağlayabilmesinin araçlarından biri de etkin bir performans değerlendirme sisteminin varlığıdır. Günümüzde performans değerlendirme amacıyla en çok tercih edilen yöntemlerinden biri de etkinlik ölçümüdür. Amaca ulaşmada kullanılan kaynakların ne derece etkin kullanıldığına bir göstergesi olan etkinlik ölçümüyle ilgili literatür incelendiğinde en sık kullanılan yöntemin Veri Zarflama Analizi (VZA) [8] olduğu görülmektedir. Aynı endüstri içinde

faaliyet gösteren farklı ölçüm birimlerindeki çoklu girdi-çoklu çıktı değişkenlerine sahip karar verme birimleri (KVB)'nin etkinliğini ölçen klasik VZA modellerinde girdi ve çıktı değişkenlerinin belirli (kesin) değerler alması gerekmektedir. Ancak gerçek hayattaki bazı üretim ortamlarında gözlenen girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler belirsiz veya değişken olabilmektedir. Söz konusu belirsizlik, verilerin ölçülemeyen, tam olmayan ve elde edilemeyen veriler olmasından kaynaklanmaktadır [9]. Ayrıca, etkinlik ölçümü için elverişli veriler kalitatif ve dilsel değişkenlerle ifade edilen türden olabilir. Geleneksel VZA modelleri bu çeşit belirsiz, kesin olmayan ve dilsel değişkenlerle ifade edilen verilere sahip üretim birimlerinin etkinlik ölçümünde yetersiz kaldığından ilk kez Sengupta'nın [10, 11] çalışmaları olmak üzere literatürde araştırmacılar tarafından bazı bulanık VZA (BVZA) modelleri önerilmiştir. BVZA modelleri gerçek hayat problemlerini klasik VZA modellerine göre daha rasyonel biçimde modellemekte ve bulanık kavramlarla ifade edilen az, biraz az, çok, pek çok vb. dilsel değişkenlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır [12].

Çay ürününün ve ÇAYKUR'un bölge ve ülke ekonomisi için öneminden hareketle ve ÇAYKUR'un uluslararası rekabetteki dezavantajlı konumu göz önünde bulundurularak bu çalışmada BVZA yöntemiyle ÇAYKUR'a bağlı 20 yaş çay işleme fabrikasının bulanık etkinliği ölçülmüştür. Uygulamada Lertworasirikul vd. [12] tarafından geliştirilen ve literatürde *Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttall Modeli* olarak da adlandırılan BVZA modeli kullanılarak farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerinde hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. BVZA uygulamalarında farklı  $\alpha$ -kesim seviyelerinde farklı bulanık etkinlik skorları elde edilmektedir. Dolayısıyla hesaplanan bulanık skorlarını kesin sayılar şeklinde sıralamak gerekmektedir. Literatürde bu amaçla kullanılan birçok bulanık sıralama tekniği bulunmaktadır. Bu teknikler farklı varsayımlara sahip olduklarından farklı sıralamalar verebilmektedirler. Söz konusu tekniklerden biri de Chen ve Klein [13] tarafından literatüre kazandırılan bulanık sıralama yaklaşımıdır. Chen ve Klein modeli bulanık sayıları durulaştırmanın yanında karar birimleri için farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerinde elde edilen iki veya daha fazla etkinlik skorundan bütünleşik tek bir etkinlik skoru hesaplayabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Chen ve Klein modeli kullanılarak farklı  $\alpha$ -kesim düzeylerinde hesaplanan bulanık etkinlik skorları bütünleştirilerek her bir fabrika için tek bir kesin etkinlik skoru hesaplanmıştır. Bu sayede çay fabrikaları performanslarına göre sıralanmıştır. Çalışmanın diğer bölümleri aşağıdaki şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde dünya çay sektöründe performans ölçümüyle ilgili literatür incelemesi yer almaktadır. Üçüncü bölümü çalışmanın uygulama kısmı oluşturmaktadır. Son bölümde ise çalışmayla ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Dünya çay sektöründe etkinlik ölçümüyle ilgili literatür incelendiğinde sektörün önemine kıyasla az sayıda bilimsel çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Baten vd. [14] çalışmalarında Bangladeş'in çay üretimi yapılan yedi bölgesinin etkinliğini stokastik sınır analizi (SSA) tekniğiyle ölçmüşlerdir. 15 yıllık panel verinin yer aldığı uygulamada translog ve Cobb-Douglas fonksiyonları kullanılmıştır. Sonuç olarak ilgili bölgelerin çay üretiminde %49 oranında teknik etkinsizlik tespit edilmiştir. Basnayake ve Gunaratne [15], Sri Lanka'daki 63 çay çiftliğinin etkinliğini ölçmek amacıyla SSA yöntemini kullanmışlardır. Eylül-Ocak 2001 dönemi verilerinin kullanıldığı uygulama sonucunda çay çiftliklerinin ortalama teknik etkinlik düzeyinin %64,6 olduğu tespit edilmiştir. Tran [16], Vietnam'daki Thai Nguyen bölgesinde yer alan 180 organik çay üretim tesisinin 2007 yılı için teknik ve fiyat etkinliğini SSA yardımıyla incelemiştir. Çay üretimini etkileyen nedenleri ortaya çıkarmak için bir probit modelin kullanıldığı uygulama sonucunda ortalama teknik etkinlik skoru 0.998, ortalama fiyat etkinlik skoru ise 0.836 olarak hesaplanmıştır. Dey ve Gupta [17] çalışmalarında Hindistan'ın Assam eyaletindeki 40 çay fabrikasında toplam faktör verimliliği (TFV) ile işyeri güvenliği ve üretim maliyetleri arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla regresyon analizini kullanmıştır. Uygulama sonucunda söz konusu değişkenler arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiş ve bu ilişkinin fabrikaların TFV'sini artırmada yöneticilere yardımcı olacağı belirtilmiştir. Guan ve Yang [18] Çin'in Fujian bölgesindeki çay endüstrisinin etkinliğindeki değişimi ölçmek amacıyla Malmquist TFV endeksi yöntemini kullandıkları çalışma sonucunda ilgili endüstrinin %2,6'lık bir teknolojik ilerleme kaydettiğini tespit etmişlerdir. Hazarika ve Subramanian [19] Hindistan'ın Assam eyaletindeki çay endüstrisinin teknik etkinliğini belirleyen faktörleri ortaya çıkarmak amacıyla SSA yöntemini kullanmışlardır. Ping vd. [20], Çin'de yeşil çay üretimi yapılan 10 bölgedeki fabrikaların etkinliğini VZA yardımıyla ölçmüşlerdir. Hong ve Yancheng [21] Çin'in yedi farklı bölgesindeki 55 çay fabrikasının etkinliğini VZA ile ölçtükleri çalışma sonucunda büyük ölçekli fabrikaların küçük ölçekli fabrikalara göre daha etkin faaliyet gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Türkiye çay sektöründe performans ölçümü literatürü incelendiğinde az sayıda çalışmaya rastlanılmıştır. Sarımehtem [22], ÇAYKUR'a ait beş yaş çay fabrikası ile bölgede faaliyet gösteren beş özel sektör çay fabrikasının verimliliklerini karşılaştırmalı olarak ölçmüştür. Verimlilik analizi uygulaması, hammadde giderleri (yaş yaprak), personel giderleri (memur ve işçilik), enerji giderleri, nakliye ve malzeme giderleri, araştırma giderleri ve diğer giderler olmak üzere altı değişkene göre gerçekleştirilmiştir. Enginyurt [23] ise 2001-2005 yılları arasında ÇAYKUR'un finansal durumunu karlılık, özsermaye ağırlığı ve likidite değişkenleri

açısından incelemiştir. Çalışma sonucunda ÇAYKUR'un finansal durumunun ilgili dönemde iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir. Baki ve Ar [24] Malmquist TFV Endeksi yardımıyla ÇAYKUR'a bağlı 44 yaş çay işleme fabrikasının 2003-2008 dönemi için etkinlik değişimini incelemişlerdir. Girdi değişkenleri olarak hammadde (yaş çay miktarı), çalışan sayısı (memur ve işçi sayısı), makine kapasitesi, harcanan enerji ve yakıt miktarı kullanılırken çıktı değişkenleri olarak ilgili dönemde üretilen kuru çay miktarı alınmıştır. Uygulama sonucunda fabrikalarda TFV artışı tespit edilmiş ve bu artışın teknolojik ilerlemeden kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca, etkin olmayan fabrikalardaki etkinsizliğin büyük oranda teknik etkinsizliğe bağlı olduğu ortaya konulmuştur. Ağayev ve Saklı [25] ÇAYKUR'a bağlı 46 yaş çay işleme fabrikasının 2005-2010 yılları arasındaki etkinlik analizini VZA ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada üretime verilen yaş çay miktarı, yıllık toplam direkt işçilik ücretleri, yıllık genel imalat giderleri toplamı ve her bir fabrikanın günlük yaş çay işleme kapasitesi girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır. Çıktı değişkenleri olarak ise fabrikalar tarafından üretilen farklı kalitelere sahip 7 çeşit siyah çay miktarı alınmıştır. VZA uygulamasında girdi ve çıktı yönlü BCC modeli ile her bir yıl için ayrı ayrı etkinlik ölçümü yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, 2005 ve 2006 yıllarında incelenen 45 fabrikadan 2'ser fabrikanın etkinsiz çıktığı, 2007'de tüm fabrikaların etkin olduğu, 2008, 2009 ve 2010'da ise dörder fabrikanın etkinsiz çalıştığı ortaya çıkmıştır.

Literatür incelemesi sonucunda dünya çay sektöründe BVZA modeliyle etkinlik ölçümü gerçekleştirilen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bununla birlikte, diğer sektörlerde BVZA yardımıyla etkinlik ölçümü gerçekleştirilen birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalara örnek olarak bankaların [26, 27], akıllı güç sistemlerinin [28], hastanelerin [29], konteyner limanlarının [30], esnek üretim sistemlerinin [31], ileri teknoloji projelerinin [32], enerji üretim projelerinin [33], tedarikçi alternatiflerinin [34], otellerin [35], üniversite kütüphanelerinin [36] ve mamul tasarımı planlarının [37] etkinliklerinin ölçüldüğü çalışmalar verilebilir.

## 3. METODOLOJİ (METHODOLOGY)

Bu bölümde bulanık mantık ile uygulamada kullanılan *Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle* BVZA modeli ve Chen ve Klein bulanık sıralama modeli hakkında bilgi verilmiştir.

### 3.1 Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Klasik ve sembolik mantık iki değerli yapıları nedeniyle kesin olmayan (belirsiz, eksik) verilere sahip gerçek dünya problemlerini modellemede yetersiz kalmaktadır. Gerçek hayat sistemlerindeki bu belirsizlik uzun zaman boyunca olasılık teorisi

kullanılarak modellenmiştir. Burada, olayların stokastik karakterde olduğu ve iyi tanımlandığı varsayımı kabul edilmiştir. Oysa gerçek problemlerdeki belirsizliklerin tamamının rastsallıkla açıklanması mümkün değildir. Örneğin, bir insan “çok zeki”, “zeki” veya “az zeki” şeklinde tanımlanabilir. Bunun yanında, “kaliteli ürün”, “makul fiyat”, “iyi kişilik” vb. kavramların tanımlanması gerekebilir. Açık ki, olasılık teorisi bu çeşit kesin sınırlarla ifade edilemeyen olguların bütün mümkün problemlerini modelleyemez [38]. Bu noktadan hareketle Zadeh [39] bu tür problemleri tanımlamak ve çözmek için olabirlik teorisi (possibility theory)’ne dayalı olan bulanık mantık ilkelerini literatüre kazandırmıştır. Bulanık kümelerde kesin sınırlar bulunmamakta ve her bir nesneye  $[0, 1]$  aralığında değişen üyelik değerleri atanarak kısmi üyeliğe olanak tanınmaktadır.

*Tanım 1.*  $X$  evrensel kümesinde tanımlı bir  $\tilde{A}$  bulanık kümesinde yer alan  $x$  elemanın üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  ile gösterilmektedir.  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ’in değeri 1’e yaklaştıkça  $x$  elemanın  $\tilde{A}$  kümesine aitliği artmakta, “0” değerine yaklaştıkça da azalmaktadır [39].  $\tilde{A}$  bulanık kümesine ait notasyon aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{A} = \left\{ x, \mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in X, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \right\} \quad (1)$$

Literatürde, ele alınan problemin türüne göre farklı üyelik fonksiyonları tanımlanmakla beraber hesaplama basitliği nedeniyle uygulamada en çok yamuk ve üçgensel üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.

### 3.2 BVZA Yaklaşımları (FDEA Approaches)

Literatürde etkinlik ölçümü amacıyla geliştirilen BVZA modelleri genellikle tolerans yaklaşımı (tolerance approach),  $\alpha$ -seviyelere dayalı yaklaşım ( $\alpha$ -level based approach), bulanık sıralama yaklaşımı (fuzzy ranking approach) ve olabirlik yaklaşımı (possibility approach) olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Bunun yanında, bahsedilen dört grup içinde sayılmadığından farklı bir kategoride değerlendirilen bazı önemli yaklaşımlar mevcuttur [9, 40]. Çalışmanın kapsamı bakımından burada sadece bulanık sıralama yaklaşımından bahsedilecektir. Olabirlik teorisi ilk kez Zadeh [41] tarafından bulanık kümelerle ifade edilmiş ve daha sonra birçok araştırmacı tarafından teoriye katkı yapılmıştır. Zadeh, rastsal bir değişkenin olasılık (probability) dağılımıyla olan ilişkisi gibi olabirlik dağılımıyla ilişkili olan bir “bulanık değişken” tanımlamıştır. Bulanık doğrusal programlama (DP) modellerindeki her bulanık katsayı bulanık değişken olarak, her kısıt ise bulanık olay olarak değerlendirilebilir. Böylece BVZA modeli olabirliksel VZA modeline dönüştürülerek bulanık olayların olabirlikleri

(bulanık kısıtlar) olabirlik teorisi yardımıyla hesaplanabilir. Olabirlik teorisine dayalı olan BVZA modellerinin olasılık teorisine dayalı olan stokastik VZA modellerinden temel bir farkı, olgulardaki belirsizliğin deterministik yapıda olduğu varsayılarak modelleme yapılmasıdır. BVZA modelleri non-parametrik yapıdadır. Bu modellerde parametrik tekniklerin aksine, analiz edilen değişkenlerin olasılık dağılımlarıyla ilgili bir herhangi bir varsayım yapılmamaktadır. BVZA literatüründe olabirlik yaklaşımına dayalı ilk model Guo vd. [42] tarafından önerilmiştir. Söz konusu çalışmada bulanık eşitsizlik ilişkisi, olabirlik ve gereklilik (necessity) ölçümleri kavramlarına dayalı üç aşamalı algoritmaya sahip bir BVZA modeli geliştirilmiştir. Lertworasirikul vd. [12] ise sınırlandırılmış ve kesin verilerle ifade edilen bulanık CCR modelinin çözümü için olabirlik yaklaşımına dayalı bir BVZA modeli önermişlerdir. Bulanık kısıtların bulanık olaylar olarak değerlendirildiği çalışmada, Charnes ve Cooper [43] tarafından literatüre kazandırılan Şans Kısıtlamalı Programlama (Chance-Constrained Programming-CCP) yaklaşımı ve bulanık olayların olabirlik ölçümleri kullanılarak BVZA modeli bir olabirlik VZA modeline dönüştürülmektedir. Bulanık verilerin bulanık sayılar olarak ifade edilmesi durumunda ise olabirlik VZA modeli bir DP modeline denk olmaktadır. Literatürde *Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli* olarak da adlandırılan modelin algoritması hakkında aşağıda bilgi verilmektedir.

#### 3.2.1 Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli (Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Model)

Kısıtların arzulanan güven düzeylerinin belirlenmesi sonucu oluşan belirsizliği modellemeye yarayan şans kısıtlamalı programlamanın kavramları ve bulanık olayların olabirliği kullanılarak KVB<sub>k</sub> için girdi yönlü bulanık CCR modeli aşağıdaki gibi kurulmaktadır [12].

$$\begin{aligned} (\tilde{E}_k) &= \max_{u,v,f} \tilde{f} \\ \pi \left( \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rk} \geq \tilde{f} \right) &\geq \beta \\ \pi \left( \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ik} = 1 \right) &\geq \alpha_k \\ \pi \left( \sum_{r=1}^s u_r \tilde{Y}_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \tilde{X}_{ij} \leq 0 \right) &\geq \alpha_j \quad j = 1, \dots, n \\ u_r, v_i &\geq 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (2)$$

Burada  $\beta$ ,  $\alpha_k \in [0, 1]$  ve  $\alpha_j \in [0, 1]$  sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü kısıtlar için kabul edilebilir olabirlik düzeylerini gösterirken  $\pi$  değeri olabirlik ölçümünü ifade etmektedir.  $\tilde{f}$  notasyonu ise  $\beta$  olabirliğinde KVB<sub>k</sub>’nin etkinlik skorunu göstermektedir.

*Önerme 3.1.*  $\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_n$  sayıları normal ve konveks üyelik fonksiyonuna sahip bulanık sayılar olsun.  $(\tilde{h}_{\alpha_1}^L)$  ve  $(\tilde{h}_{\alpha_1}^U)$  sırasıyla  $\tilde{h}_i, i=1, \dots, n$ 'nin  $\alpha$ -kesimlerinin alt ve üst sınırlarını gösterdiğinde  $\alpha \in [0, 1]$  aralığında herhangi bir olabilirlik düzeyi için;

(1)  $\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n \leq b) \geq \alpha_1$  eşitliği ancak ve ancak  $(\tilde{h}_1)_{\alpha_1}^L + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_1}^L \leq b$  koşulu

(2)  $\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n \geq b) \geq \alpha_2$  eşitliği ancak ve ancak  $(\tilde{h}_1)_{\alpha_2}^U + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_2}^U \geq b$  koşulu

(3)  $\pi(\tilde{h}_1 + \dots + \tilde{h}_n = b) \geq \alpha_3$  eşitliği ancak ve ancak  $(\tilde{h}_1)_{\alpha_3}^L + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_3}^L \leq b$   
 $(\tilde{h}_1)_{\alpha_3}^U + \dots + (\tilde{h}_n)_{\alpha_3}^U \geq b$

koşullarının sağlanması durumunda gerçekleşir. Buna göre, bulanık girdi ve çıktılar normal ve konveks olduğunda *Önerme 3.1*'e göre model (2), model (3) ile gösterilen olabirliksel VZA modeline ( $PCCR_p$ ) dönüşmektedir.

*PCCR<sub>p</sub> Modeli*

$$\begin{aligned}
 (\tilde{E}_k) &= \max_{u,v,f} \tilde{f} \\
 \sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_{\beta}^U &\geq \tilde{f} \\
 \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_{\alpha_k}^U &\geq 1 \\
 \sum_{i=1}^m (v_i \tilde{x}_{ik})_{\alpha_k}^L &\leq 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r (\tilde{Y}_{rj})_{\alpha}^L - \sum_{i=1}^m v_i (\tilde{X}_{ij})_{\alpha}^L &\leq 0 \quad j=1, \dots, n \\
 u_r, v_i &\geq 0 \quad r=1, \dots, s; i=1, \dots, m \\
 \beta, \alpha_k, \alpha &\in [0, 1]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Bu modele göre,  $\tilde{f}$  değeri maksimize edildiğinde sağlanan optimal çözüm noktasında diğer tüm kısıtlar önceden belirlenen olabirlik düzeylerinde karşılanırken,  $\sum_{r=1}^s (u_r \tilde{y}_{rk})_{\beta}^U$  kısıtı  $\beta$  olabirlik düzeyinde  $\tilde{f}$  değerine eşit veya daha büyük olmaktadır.

*Tanım 2.*  $PCCR$  modeline göre bir karar biriminin optimal  $\tilde{f}$  değeri  $\alpha$ -olabirlik düzeyinde 1'e eşit veya 1'den büyük olduğunda o karar birimi  $\alpha$ -olabirliksel etkin, diğer durumlarda ise  $\alpha$ -olabirliksel etkisiz olarak değerlendirilmektedir. Etkisiz karar birimlerinin etkin olabilmeleri için örnek alması gereken etkin karar birimlerinden oluşan referans kümelerini belirlemek amacıyla dual VZA modelleri kullanılmaktadır. Olabirlik yaklaşımına göre bulanık CCR modelinin girdi yönlü dual modeli ( $PCCR_d$ ) aşağıdaki gibi kurulmaktadır.

*PCCR<sub>d</sub> Modeli*

$$\begin{aligned}
 (\tilde{E}_k) &= \min_{\lambda, \theta} \theta \\
 \left( \theta \tilde{x}_{rk} - \sum_{j=1}^n \lambda_j \tilde{X}_{ij} \right)_{\alpha_1}^U &\geq 0 \quad \forall i \\
 \left( \sum_{j=1}^n \lambda_j \tilde{Y}_{rj} - \tilde{y}_{rk} \right)_{\alpha_2}^U &\geq 0 \quad \forall r \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad \forall j
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

*Tanım 3.*  $PCCR_d$  modeline göre bir karar biriminin optimal  $\theta$  değeri  $\alpha$ -olabirlik düzeyinde 1'e eşit veya 1'den büyük olduğunda o karar birimi  $\alpha$ -olabirliksel etkin, diğer durumlarda ise  $\alpha$ -olabirliksel etkisiz olarak değerlendirilmektedir. Etkisiz fabrikaların etkin duruma gelebilmeleri için kullanmaları gereken girdi miktarları ve üretmeleri gereken çıktı miktarları dual modelin çözümünden elde edilen dual değişkenler ( $\lambda_j$ ) yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [44]:

$$x_{ij}^* = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \tag{5}$$

$$y_{rj}^* = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \tag{6}$$

Karar birimlerinin etkinlik ölçümlerini mantıklı bir şekilde yapabilmek için  $PCCR_p$  ve  $PCCR_d$  modellerindeki olabirlik düzeylerinin kısıtlarının ( $\beta, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_{m+r}$ ) aynı düzeyde ele alınması gerekmektedir. ( $\beta = \alpha_0 = \alpha_1 = \dots = \alpha_n = \alpha_{m+r} = \alpha$ ) olduğunda  $PCCR_p$  ve  $PCCR_d$  modellerinin amaç fonksiyonları değerlendirilen karar birimi için etkinlik skorunun sırasıyla maksimum ve minimum olabirliğini verecektir. Bir başka deyişle, primal CCR modeli karar birimlerinin etkinlik skorlarının üst sınırını hesaplamaktadır [44]. Lertworasirikul vd. [44] çalışmalarında yukarıda bahsedilen olabirlik ve güvenilirlik yaklaşımlarını bulanık BCC modelleri için geliştirmişlerdir. Garcia vd. [45], Lertworasirikul vd. [12] tarafından geliştirilen  $PCCR$  modelini kullandıkları çalışmalarında nükleer güvenlik sistemleri için Klasik Hata Türleri ve Etkileri Analizi parametrelerini bulanık kümeler şeklinde modellemişlerdir. Ramezanzadeh vd. [46], dağılımları bilinen rassal düz LR bulanık sayılarla ifade edilen girdi ve çıktı değişkenlerine sahip karar birimlerinin etkinliğinin ölçülmesi amacıyla CCP'ye dayalı bir CCR modeli önermişlerdir. Wu vd. [47] çalışmalarında,  $PCCR$  modelini kesin ve bulanık değişkenler için geliştirerek Kanada'da faaliyet gösteren bazı banka şubelerinin etkinliğini ölçmüşlerdir. Khodabakhshi vd. [48], VZA uygulamalarındaki ölçeğe göre getirileri hesaplamak amacıyla Charnes vd. [49] tarafından literatüre kazandırılan Toplamsal Modelin bulanık ve stokastik

versiyonlarını formüle etmişlerdir. Olabilirlik yaklaşımı ve CCP'ye dayalı olan söz konusu modeller uygulamada DP ile çözülen kesin değerli modellere dönüştürülmektedir. Olabilirlik yaklaşımı aşırı serbest yapısı nedeniyle incelenen karar birimlerini etkinlik skorlarına göre ayırma açısından zayıf bir yaklaşımdır. Uygulamada tüm olabilirlik düzeylerinde etkin çıkabilen çok sayıda karar birimine rastlanabilmektedir [50]. Bunun yanında, girdi ve çıktı değişkenleri doğrusal olmayan üyelik fonksiyonuna sahip olduğunda matematiksel hesaplamalar oldukça karmaşık hale gelmektedir [51].

### 3.3 Chen ve Klein Bulanık Sıralama Yaklaşımı (Chen and Klein's Fuzzy Ranking Approach)

Chen ve Klein'in bulanık sıralama yönteminde ilk olarak her bir bulanık sayı için referans dikdörtgeni (referential rectangle) oluşturmak amacıyla Choobineh ve Li [52] tarafından önerilen iki kesin değerli maksimizasyon ve minimizasyon noktası tanımlanmaktadır. Daha sonra ise referans dikdörtgeni ile ilgili bulanık sayı arasındaki matematiksel farkı gösteren sıralama endeksi hesaplanmaktadır [53].  $\tilde{X}$  ve  $\tilde{R}$  bulanık sayılarının  $\alpha$ -kesim noktasındaki fark aralığı aralık çıkarma işlemi kullanılarak  $[E_i^{\alpha,L}, E_i^{\alpha,U}] - [0, 1] = [E_i^{\alpha,L} - 1, E_i^{\alpha,U}]$  eşitliğiyle hesaplanmaktadır. Buna göre karar birimi  $k$  için sıralama endeksini veren formül aşağıda gösterildiği gibidir.

$$I_k = \frac{\sum_{i=0}^n ((E_k)_{ai}^U - c)}{\left[ \sum_{i=0}^n ((E_k)_{ai}^U - c) - \sum_{i=0}^n ((E_k)_{ai}^L - d) \right]}, \quad n \rightarrow \infty \quad (7)$$

Burada,

$I_k$  = Karar birimi  $k$ 'nın sıralama endeksini,  $n = [0, 1]$  aralığında sonsuz sayıda değer alabilen  $\alpha$ -kesimlerin sayısını,  $c = \min_{i,j} \{(E_{ji})_{ai}^L\}$ , tüm KVB'lerin tüm  $\alpha$ -kesimlerdeki etkinlik skorlarının alt sınırlarının minimumunu,  $d = \max_{i,j} \{(E_{ji})_{ai}^U\}$ , tüm KVB'lerin tüm  $\alpha$ -kesimlerdeki etkinlik skorlarının üst sınırlarının maksimumunu göstermektedir.  $I_k$  skoru  $[0, 1]$  arasında değer almakta ve daha yüksek  $I_k$  skoruna sahip karar birimi daha etkin olarak değerlendirilmektedir.

## 4. UYGULAMA (APPLICATION)

Çalışmanın bu bölümünde BVZA ile ÇAYKUR fabrikalarında gerçekleştirilen etkinlik ölçümüne yer verilmiştir.

### 4.1 Karar Birimlerinin Belirlenmesi (Determining the Decision-Making Units)

Çalışmada *Lertworasirikul – Fang – Joines - Nuttle Modeli* ile ÇAYKUR'a bağlı çay fabrikalarının 2013 yılı verilerine göre bulanık etkinliğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Ancak gerekli hesaplama sayısını

azaltmak ve kullanılan modelden daha sağlıklı sonuç elde etmek amacıyla mevcut 45 çay fabrikası arasında en yüksek kurulu kapasiteye sahip 20 fabrika analize dâhil edilmiş, diğer 25 fabrika kapsam dışı bırakılmıştır.

### 4.2 Girdi ve Çıktı Değişkenlerinin Belirlenmesi (Ascertaining the Input-Output Variables)

BVZA uygulamasında karar birimleri belirlendikten sonraki aşama etkinlik ölçümünde kullanılacak girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesidir. Çalışmada kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 1'de verilmektedir. Girdi değişkeni olarak personel sayısı yerine direkt işçilik giderleri seçilmesinin nedeni ÇAYKUR'a bağlı fabrikalarda çalışan geçici işçilerin yıl içindeki çalışma sürelerinin standart olmayıp farklılık göstermesidir. VZA uygulamalarında analiz edilen KVB sayısının girdi ve çıktı değişkenleri sayısı toplamının 2 ya da 3 katı olması önerilmektedir [54]. Buna göre, çalışmamızda 4 girdi ve 1 çıktı değişkenine karşılık 20 karar birimi bulunduğundan KVB sayısı ile ilgili varsayım karşılanmıştır. ÇAYKUR'un web sayfasında yayımlanan 2013 yılı faaliyet raporundan derlenen girdi-çıktı verileri Tablo 2'de gösterilmektedir. Söz konusu faaliyet raporu fabrikaların bilanço ve gelir tablolarına dayalı olarak hazırlanmaktadır. Geçmiş ekonomik krizler de göstermiştir ki Türkiye'deki bilanço ve gelir tablolarının verilerinin sağlıklı olup, olmadığı tartışmalı bir konudur. VZA veri hatalarına karşı oldukça duyarlı bir tekniktir ve verilerin derlenmesi sırasında yapılacak küçük hatalar bile farklı etkinlik skorlarının elde edilmesine sebep olabilir [55]. Bu hataların önüne geçilmesi amacıyla bu çalışmada BVZA yönteminin kullanılmasının daha sağlıklı sonuç vereceği düşünülmüştür. Çalışmanın uygulama bölümü dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada fabrikalara ait kesin değerli girdi-çıktı verileri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek bulanıklaştırılmıştır. İkinci aşamada ise sırasıyla PCCR modeli kullanılarak çay fabrikalarının etkinlik skorları beş farklı  $\alpha$ -kesim düzeyi için hesaplanmıştır.

### 4.3 Verilerin Bulanıklaştırılması (The Defuzzification of the Data)

BVZA modelinin uygulanabilmesi için Tablo 2'de yer alan girdi-çıktı değişkenleri üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Bulanıklaştırma işlemi, literatürdeki çalışmalar da [56] dikkate alınarak, standart sapma yardımıyla aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir.

$$\text{Alt sınır değeri } (l) = \text{Merkez değeri } (m) - \text{standart sapma} \quad (8)$$

$$\text{Üst sınır değeri } (u) = \text{Merkez değeri } (m) + \text{standart sapma} \quad (9)$$

**Tablo 1.** BVZA Uygulamasında Kullanılan Girdi ve Çıktı Değişkenleri (The Input-Output Variables used in the Study)

Değişken türü	Kod	Birim	Açıklama
<i>Girdi</i>			
İşlenen yaş çay miktarı	X <sub>1</sub>	Ton	2013 yılında her bir fabrikada üretime verilen yaş çay miktarı
Direkt işçilik giderleri	X <sub>2</sub>	TL	2013 yılında her bir fabrikada ödenen direkt işçilik ücretleri toplamı
Genel imalat giderleri	X <sub>3</sub>	TL	2013 yılında her bir fabrikada ödenen genel imalat giderleri toplamı
Üretim kapasitesi	X <sub>4</sub>	Ton/yıl	Her bir fabrikanın 2013 yılı toplam yaş çay işleme kapasitesi (günlük kapasite*çalışılan gün sayısı)
<i>Çıktı</i>			
Üretilen kuru çay miktarı	Y	Ton	2013 yılında her bir fabrikada üretilen kuru siyah çay miktarı

**Tablo 2.** Fabrikalara ait Girdi ve Çıktı Değişkenleri (The plants' input and output variables)

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y
Ambarlık	15296	1628030,8	5416902,5	17400	2960
Araklı	14493	2524877,4	6594385,7	16605	2970
Ardeşen	35627	4597616,8	11633363,6	40600	6966
Arhavi	22033	1962387,5	7587898,1	18560	4361
Aşıklar	16278	1607740,5	6784664,9	17400	3215
Bölümlü	15760	1528158,4	5183753,0	16800	2996
Camıdağı	19227	1500865,3	6662377,5	21400	3661
Çayeli	22384	2898738,5	7905650,4	26670	4392
Fındıklı	23204	2245639,2	7341512,9	25200	4319
Gündoğdu	19765	2487264,0	6295887,0	23000	3886
Hopa	15039	2641730,0	5951150,0	17600	2903
İyidere	14395	2211423,3	7082153,1	16800	2799
Kemalpaşa	17302	1612047,0	7043944,5	20300	3504
Kirazlık	13544	1795287,8	6859607,0	16675	2680
Melyat	20622	1669089,7	6132934,3	23520	3882
Muratlı	16765	1768174,9	6286844,2	19800	3274
Pazar	14954	2067537,0	5154282,5	17100	2912
Salarha	17952	1388892,2	5876082,3	19800	3561
Ulucami	26026	2106848,6	8966355,8	31590	4900
Veliköy	14004	1970238,6	5478882,7	18200	2699

#### 4.4 Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli ile Etkinlik Ölçümü (Efficiency Measurement via Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Model)

Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle modeliyle etkinlik ölçümü uygulamasında  $\beta = \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = \alpha$  kabul edilerek ( $\alpha=0, 0,3, 0,5, 0,7$  ve  $1$ ) şeklinde beş farklı olasılık seviyesinde çay fabrikalarının etkinliği primal ve dual PCCR modelleriyle ölçülmüştür. Modellerin çözümünde LINDO paket programı

kullanılmıştır. Örnek olarak, Ambarlık fabrikası için eşitlik (3) ile gösterilen PCCR<sub>p</sub> modeli  $\alpha=0$  düzeyinde model (10) ile gösterildiği gibi kurulmaktadır. Buna göre amaç fonksiyonu ve son kısıtı tüm fabrikalar için aynı kalmak üzere diğer kısıtlar değiştirilerek yukarıda gösterilen model beş farklı olasılık düzeyi için 20'şer kez kurularak çözümlenmiştir. Elde edilen etkinlik skorları Tablo 3'te sunulmaktadır. Tablo 3 incelendiğinde Araklı, Arhavi, Aşıklar, Camıdağı, Gündoğdu, İyidere,

Kemalpaşa, Kirazlık, Melyat, Salarha ve Ulucami fabrikalarının beş olabilirlik düzeyindeki etkinlik skorlarının 1 değerinden büyük olduğu görülmektedir. *Tanım 2'*ye göre söz konusu fabrikalar etkin olarak değerlendirilmektedirler.  $\alpha=1$  dışındaki diğer dört  $\alpha$ -kesim düzeyinde tüm fabrikaların etkinlik skorlarının 1 değerinden büyük olduğu, başka bir deyişle, söz konusu bulanıklık seviyelerinde tüm fabrikaların etkin faaliyet gösterdiği anlaşılmaktadır. Bulanıklığın ortadan kalktığı ve karar birimlerinin kesin etkinlik skorlarının elde edildiği  $\alpha=1$  düzeyinde ise Ambarlık, Ardeşen, Bölümlü, Çayeli, Fındıklı, Hopa, Muratlı, Pazar ile Veliköy fabrikalarının etkinlik değerlerinin 1'den küçük olması nedeniyle bu fabrikaların etkisiz faaliyet gösterdiği ortaya çıkmıştır.

$PCCR_p$  Modeli

$$\left(\tilde{E}_k\right) = \max_{u,v,f} \bar{f}$$

$$3974.8u \geq \bar{f}$$

$$20601.9v1 + 2348108.8v2 + 6902053.9v3 + 23463.3v4 \geq 1$$

$$9990.1v1 + 907952.8v2 + 3931751.5v3 + 11336.7v4 \leq 1$$

$$1945.3u - 9990.1v1 - 907952.8v2 - 3931751.5v3 - 11336.7v4 \leq 0$$

$$1955.7u - 9187v1 - 1804799.4v2 - 5109234.7v3 - 10541.7v4 \leq 0$$

$$5951.3u - 30321.1v1 - 3877538.8v2 - 10148212.6v3 - 34536.7v4 \leq 0$$

$$3346.1u - 16727.1v1 - 1242309.5v2 - 6102747.1v3 - 12496.7v4 \leq 0$$

$$2200.7u - 10972.1v1 - 887662.5v2 - 5299513.9v3 - 11336.7v4 \leq 0$$

$$1981.6u - 10454.1v1 - 808080.4v2 - 3698602v3 - 10736.7v4 \leq 0$$

$$2645.9u - 13921.1v1 - 780787.3v2 - 5177226.5v3 - 15336.7v4 \leq 0$$

$$3377.2u - 17078.1v1 - 2178660.5v2 - 6420499.4v3 - 20606.7v4 \leq 0$$

$$3303.8u - 17898.1v1 - 1525561.2v2 - 5856361.9v3 - 19136.7v4 \leq 0$$

$$2871.6u - 14459.1v1 - 1767186v2 - 4810736v3 - 16936.7v4 \leq 0$$

$$1888.2u - 9733.1v1 - 1921652v2 - 4465999.0v3 - 11536.7v4 \leq 0$$

$$1784.5u - 9089.1v1 - 1491345.3v2 - 5597002.1v3 - 10736.7v4 \leq 0$$

$$2489.7u - 11996.1v1 - 891969v2 - 5558793.5v3 - 14236.7v4 \leq 0$$

$$1664.8u - 8238.1v1 - 1075209.8v2 - 5374456.0v3 - 10611.7v4 \leq 0$$

$$2866.8u - 15316.1v1 - 949011.7v2 - 4647783.3v3 - 17456.7v4 \leq 0$$

$$2259.6u - 11459.1v1 - 1048096.9v2 - 4801693.2v3 - 13736.7v4 \leq 0$$

$$1897.2u - 9648.1v1 - 1347459.0v2 - 3669131.5v3 - 11036.7v4 \leq 0$$

$$2546.5u - 12646.1v1 - 668814.2v2 - 4390931.3v3 - 13736.7v4 \leq 0$$

$$3884.9u - 20720.1v1 - 1386770.6v2 - 7481204.8v3 - 25526.7v4 \leq 0$$

$$1684.2u - 8698.1v1 - 1250160.6v2 - 3993731.7v3 - 12136.7v4 \leq 0$$

$$u, v1, v2, v3, v4 \geq 0$$

(10)

#### 4.5 Chen ve Klein Modeli Uygulaması (The Application of the Chen and Klein's Model)

Tablo 3'te görüldüğü üzere farklı  $\alpha$ -kesim seviyelerinde farklı etkinlik skorları elde edilmektedir. Ayrıca, beklenildiği gibi, tüm olabilirlik düzeylerinde etkin çıkan çok sayıda karar birimi bulunmaktadır. Fabrikalar için bütünsel tek bir etkinlik skoru hesaplamak ve böylece modelin ayırım gücünü artırarak bir performans sıralaması elde etmek amacıyla eşitlik (7) ile gösterilen Chen ve Klein'in geliştirdiği bulanık sıralama formülünden yararlanılmıştır. Tablo 3 verileri kullanılarak hesaplanan indeks değerleri ve fabrikaların etkinlik sıralamaları Tablo 4'te gösterilmektedir. Tablo 4 verileri incelendiğinde, Chen ve Klein modeline göre en yüksek sıralama endeksine sahip Kirazlık (0,3989), İyidere (0,3697) ve Hopa (0,3611) fabrikaları sırasıyla en etkin faaliyet gösteren fabrikalar olarak, Ardeşen (0,1361), Ulucami (0,1706) ve Fındıklı (0,1917) fabrikaları ise sırasıyla en kötü performans gösteren fabrikalar şeklinde değerlendirilmektedir.

#### 4.6 $PCCR_d$ Modeliyle Etkinlik Ölçümü (Efficiency Measurement via $PCCR_d$ Model)

Yukarıda da belirtildiği üzere, *Lertwasirikul-Fang-Joines-Nuttle* BVZA yaklaşımının primal CCR modeli sonucunda karar birimlerinin etkinlik skorlarının üst sınırları elde edilmektedir. Çay fabrikalarının etkinlik skorlarının alt sınırlarını hesaplamak amacıyla eşitlik (4) ile ifade edilen dual CCR ( $PCCR_d$ ) modelinden yararlanılmıştır. Örnek olarak, Ambarlık fabrikası için *Lertwasirikul-Fang-Joines-Nuttle* BVZA modelinin  $\alpha=0$  olabilirlik düzeyinde  $PCCR_d$  modeli eşitlik (11) ile gösterildiği gibi kurulmaktadır. ÇAYKUR fabrikaları için beş farklı  $\alpha$ -kesim düzeyinde hesaplanan etkinlik skorları Tablo 5'te gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde *Tanım 3'e* göre, Araklı, Arhavi, Aşıklar, Gündoğdu, İyidere, Kemalpaşa, Kirazlık, Melyat ve Salarha çay fabrikaları tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkin çıkarak en iyi performans gösteren fabrikalar olmuşlardır. Ambarlık, Bölümlü, Çayeli, Fındıklı, Muratlı, Salarha ve Veliköy çay fabrikaları ise tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerinde etkisiz çıktığından en kötü performans gösteren fabrikalar olarak değerlendirilmişlerdir. Pazar fabrikası  $\alpha=0$  haricindeki, Ulucami fabrikası ise  $\alpha=0$  haricindeki tüm olabilirlik düzeylerinde etkisiz çıkmıştır. Yukarıda da belirtildiği üzere primal ve dual CCR modelleriyle elde edilen etkinlik skorları ilgili karar biriminin etkinlik skorlarının sırasıyla üst ve alt sınırlarını vermektedir. Bulanıklığın en yüksek olduğu ve karar birimlerinin tüm mümkün etkinlik skorlarının elde edildiği  $\alpha=0$  düzeyine göre Ambarlık fabrikasının etkinlik skorlarının  $PCCR_p$  için 1,953 ve  $PCCR_d$  için 0,977 olduğu görülmektedir. Buna göre, Ambarlık fabrikasının tüm  $\alpha$ -kesim düzeylerindeki etkinlik skorları 0,977 ile 1,953 arasında değerler alacaktır.



**Tablo 3.** Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli Sonuçları (The results of the Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Model)

No	KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.3$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.7$	$\alpha = 1$
1	Ambarlık	1,953	1,568	1,362	1,192	0,970
2	Araklı	2,038	1,629	1,412	1,228	1
3	Ardeşen	1,327	1,211	1,142	1,079	0,993
4	Arhavi	2,372	1,389	1,263	1,150	1
5	Aşıklar	1,922	1,567	1,361	1,185	1
6	Bölümlü	1,955	1,542	1,344	1,174	0,962
7	Camıdağı	1,767	1,482	1,322	1,181	1
8	Çayeli	1,571	1,363	1,241	1,144	0,987
9	Fındıklı	1,541	1,330	1,211	1,103	0,960
10	Gündoğdu	1,707	1,447	1,300	1,170	1
11	Hopa	2,075	1,648	1,424	1,234	0,962
12	İyidere	2,137	1,680	1,370	1,217	1
13	Kemalpaşa	1,815	1,508	1,339	1,190	1
14	Kirazlık	2,219	1,721	1,435	1,235	1
15	Melyat	1,708	1,448	1,300	1,170	1
16	Muratlı	1,830	1,505	1,327	1,172	0,972
17	Pazar	2,038	1,603	1,406	1,227	0,983
18	Salarha	1,797	1,498	1,332	1,187	1
19	Ulucami	1,522	1,251	1,157	1,066	1
20	Veliköy	2,061	1,618	1,386	1,250	0,958

**Tablo 4.** Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle Modeli için Bütünleşik Etkinlik Sıralaması (The combined efficiency ranking for Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttle model)

KVB	I	Etkinlik Sıralaması
Ambarlık	0,3190	8
Araklı	0,3560	4
Ardeşen	0,1361	20
Arhavi	0,3372	7
Aşıklar	0,3175	9
Bölümlü	0,3093	10
Camıdağı	0,2775	14
Çayeli	0,2144	17
Fındıklı	0,1917	18
Gündoğdu	0,2594	16
Hopa	0,3611	3
İyidere	0,3697	2
Kemalpaşa	0,2917	11
Kirazlık	0,3989	1
Melyat	0,2597	15
Muratlı	0,2851	13
Pazar	0,3489	6
Salarha	0,2863	12
Ulucami	0,1706	19
Veliköy	0,3512	5

$PCCR_d$  modelinin çözümü sonucunda elde edilen dual değişkenler etkinsiz fabrikaların etkin duruma gelebilmeleri için örnek alması gereken etkin fabrikaları göstermekte ve etkinsiz fabrikaların optimal girdi-çıkıtı düzeylerini hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır. Örnek olarak,  $\alpha=1$  düzeyinde etkinsiz çıkan fabrikalar için elde edilen dual değişkenler Tablo 6' da gösterilmektedir. Tablo 6'da görüldüğü üzere etkinsiz bir fabrika olan Ambarlık fabrikası etkin duruma gelebilmek için 2 (Araklı), 4 (Arhavi), 10 (Gündoğdu) ve 18 (Salarha) numaralı fabrikaları referans almalıdır. Ambarlık fabrikasının

üretimde kullandığı girdi değişkenlerinden biri olan işlenen yaş çay miktarının ( $X_i$ ) optimal değeri referans kümesindeki  $\lambda$  değerlerinden yararlanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X_{1(\text{Ambarlık})} = \lambda_2 * X_{1(\text{Araklı})} + \lambda_4 * X_{1(\text{Arhavi})} + \lambda_{10} * X_{1(\text{Gündoğdu})} + \lambda_{18} * X_{1(\text{Salarha})}$$

$$X_{1(\text{Ambarlık})} = (0,1801 * 14493) + (0,2316 * 22033) + (0,1249 * 19765) + (0,261 * 17952)$$

$$X_{1(\text{Ambarlık})} = 14867,153$$

PCCRD modeli

$$(\tilde{E}_k) = \min_{\lambda, \theta}$$

$$\begin{aligned}
& 20601,9\theta - 20601,9\lambda_1 - 19798,9\lambda_2 - 40932,9\lambda_3 - 27338,9\lambda_4 - 21583,9\lambda_5 - 21065,9\lambda_6 - 24532,9\lambda_7 - 27689,9\lambda_8 - 28509,9\lambda_9 - \\
& 25070,9\lambda_{10} - 20344,9\lambda_{11} - 19700,9\lambda_{12} - 22607,9\lambda_{13} - 18849,9\lambda_{14} - 25927,9\lambda_{15} - 22070,9\lambda_{16} - 20259,9\lambda_{17} - 23257,9\lambda_{18} - \\
& 31331,9\lambda_{19} - 19309,9\lambda_{20} \geq 0 \\
& 2348108,8\theta - 2348108,8\lambda_1 - 3244955,4\lambda_2 - 5317694,8\lambda_3 - 2682465,5\lambda_4 - 2327818,5\lambda_5 - 2248236,4\lambda_6 - 2220943,3\lambda_7 - \\
& 3618816,5\lambda_8 - 2965717,2\lambda_9 - 3207342\lambda_{10} - 3361808,0\lambda_{11} - 2931501,3\lambda_{12} - 2332125\lambda_{13} - 2515365,8\lambda_{14} - 2389167,7\lambda_{15} - \\
& 2488252,9\lambda_{16} - 2787615\lambda_{17} - 2108970,2\lambda_{18} - 2826926,6\lambda_{19} - 2690316,6\lambda_{20} \geq 0 \\
& 6902053,9\theta - 6902053,9\lambda_1 - 8079537,1\lambda_2 - 13118515\lambda_3 - 9073049,5\lambda_4 - 8269816,3\lambda_5 - 6668904,3\lambda_6 - 8147528,9\lambda_7 - \\
& 9390801,8\lambda_8 - 8826664,3\lambda_9 - 7781038,4\lambda_{10} - 7436301,4\lambda_{11} - 8567304,5\lambda_{12} - 8529095,9\lambda_{13} - 8344758,4\lambda_{14} - \\
& 7618085,7\lambda_{15} - 7771995,5\lambda_{16} - 6639433,9\lambda_{17} - 7361233,7\lambda_{18} - 10451507,2\lambda_{19} - 6964034,1\lambda_{20} \geq 0 \\
& 23463,3\theta - 23463,3\lambda_1 - 22668,3\lambda_2 - 46663,3\lambda_3 - 24623,3\lambda_4 - 23463,3\lambda_5 - 22863,3\lambda_6 - 27463,3\lambda_7 - 32733,3\lambda_8 - 31263,3\lambda_9 - \\
& 29063,3\lambda_{10} - 23663,3\lambda_{11} - 22863,3\lambda_{12} - 26363,3\lambda_{13} - 22738,3\lambda_{14} - 29583,3\lambda_{15} - 25863,3\lambda_{16} - 23163,3\lambda_{17} - 25863,3\lambda_{18} - \\
& 37653,3\lambda_{19} - 24263,3\lambda_{20} \geq 0 \\
& 3974,8\lambda_1 + 3985,2\lambda_2 + 7980,9\lambda_3 + 5375,6\lambda_4 + 4230,3\lambda_5 + 4011,2\lambda_6 + 4675,4\lambda_7 + 5406,8\lambda_8 + 5333,3\lambda_9 + 4901,1\lambda_{10} + \\
& 3917,8\lambda_{11} + 3814,1\lambda_{12} + 4519,2\lambda_{13} + 3694,3\lambda_{14} + 4896,4\lambda_{15} + 4289,2\lambda_{16} + 3926,8\lambda_{17} + 4576\lambda_{18} + 5914,4\lambda_{19} + \\
& 3713,7\lambda_{20} \geq 3974,8 \\
& \lambda_j \geq 0 \quad \forall j
\end{aligned}
\tag{11}$$

**Tablo 5.** PCCRD modeli etkinlik skorları (The efficiency scores of the model PCCRD)

No	KVB	$\alpha = 0$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 1$
1	Ambarlık	0,977	0,976	0,974	0,974	0,972
2	Araklı	1	1	1	1	1
3	Ardeşen	0,996	0,997	0,998	1	1
4	Arhavi	1	1	1	1	1
5	Aşıklar	1	1	1	1	1
6	Bölümlü	0,972	0,969	0,967	0,970	0,967
7	Camıdağı	1	0,987	1	1	1
8	Çayeli	0,990	0,989	0,988	0,987	0,987
9	Fındıklı	0,966	0,965	0,963	0,964	0,962
10	Gündoğdu	1	1	1	1	1
11	Hopa	0,967	0,964	0,962	1	1
12	İyidere	1	1	1	1	1
13	Kemalpaşa	1	1	1	1	1
14	Kirazlık	1	1	1	1	1
15	Melyat	1	1	1	1	1
16	Muratlı	0,979	0,977	0,976	0,976	0,974
17	Pazar	0,999	0,984	0,980	0,990	1
18	Salarha	1	1	1	1	1
19	Ulucami	1	0,987	0,978	0,967	0,945
20	Veliköy	0,968	0,966	0,964	0,961	0,957

**Tablo 6.** PCCRD Modeli ile  $\alpha=1$  düzeyinde elde Edilen Dual Değişkenler (The dual variables obtained at the level  $\alpha=1$  with the model PCCRD)

No	Fabrika	Ref.Küm.	Dual Değişkenler					
			$\lambda_2$	$\lambda_4$	$\lambda_{10}$	$\lambda_{13}$	$\lambda_{15}$	$\lambda_{18}$
1	Ambarlık	2,4,10,18	0,1801	0,2316	0,1249			0,261
6	Bölümlü	4,10,15,18		0,3019	0,2243		0,0814	0,1381
8	Çayeli	2,10,13	0,2538		0,7812	0,1718		
9	Fındıklı	4,10,15,18		0,245	0,3519		0,4455	0,043
16	Muratlı	2,4,13,18	0,2621	0,1792		0,1638		0,3203
19	Ulucami	10,13,18			0,0044	0,3068		1,0691
20	Veliköy	2,10,18	0,4802		0,1826			0,1581

Ambarlık fabrikasının diğer üç girdi değişkeni ve çıktı değişkeninin alması gereken değerler aynı yolla hesaplanmaktadır. Diğer etkinsiz fabrikaların etkin duruma gelebilmesi için referans kümelerindeki fabrikaların dual değişkenleri yardımıyla girdilerini hangi miktarda azaltmaları ve çıktılarını hangi miktarda artırmaları gerektiği benzer şekilde hesaplanabilir.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

BVZA modelleri aynı endüstri içinde faaliyet gösteren karar birimlerini bulanık ortamda kıyaslamak amacıyla kullanılan son derece yararlı araçlardır. BVZA literatürü sürekli gelişmekte olan bir alandır. Literatür incelemesi sonucunda dünya ve Türkiye özelinde çay sektöründe BVZA modelleriyle performans ölçümü yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Literatürdeki bu boşluğu doldurmaya katkı sunmak amacıyla bu çalışmada Türk çay sektörünün en önemli aktörü konumundaki ÇAYKUR'a bağlı 20 yaş çay işleme fabrikasının 2013 yılı için etkinlik düzeyleri *Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttie* BVZA modeliyle ölçülmüştür. Primal ve dual CCR modellerinin kullanıldığı çalışma sonucunda fabrikaların farklı olabilirlik düzeylerindeki etkinlik skorlarının alt ve üst sınırları hesaplanmıştır. Ayrıca, etkinsiz çıkan fabrikaların etkin duruma gelebilmek için girdi ve çıktı değişkenlerinin alması gereken optimal değerler hesaplanmıştır. *Lertworasirikul-Fang-Joines-Nuttie* BVZA modeli  $\alpha$ -kesimlere dayalı olduğundan diğer BVZA modellerine göre hesaplama basitliği avantajına sahiptir. Uygulamada kullanılan girdi-çıkıtı değişkenlerinin ve örneklem sayısının sınırlılığı dikkate alındığında elde edilen sonuçlar Türk çay sektörünün genel durumunu yansıtmamaktadır. Bununla birlikte, çalışmanın yönetsel açıdan sektördeki karar vericilere yol gösterici bilgiler sunduğu düşünülmektedir. İleriki çalışmalar bağlamında farklı BVZA yaklaşımları kullanılarak çay fabrikalarının etkinliği ölçülebilir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak performans açısından daha sağlıklı çıkarımlar yapılabilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Saklı, A.R., **Türk Çayının Dünü ve Bugünü**, Kaknüs Yayınları, İstanbul, 2008.
2. Quartz, "Where the world's biggest tea drinkers are", Erişim tarihi: 15 Mart 2015, <http://qz.com/168690/where-the-worlds-biggest-tea-drinkers-are/>.
3. **Doğu Karadeniz İhracatçılar Birliği Genel Sekreterliği**, "Dünya'da ve Türkiye'de Çay Sektörü & Dünya'da Çay Sektöründeki Son Gelişmeler", Trabzon, 2013.
4. **Rize Ticaret Borsası**, "Türk Çay Sektörü Güncel Durum Raporu", Rize, 2014.
5. İnternet: Ulusal Çay Konseyi, Çay Tarımı <http://ulusalcaykonseyi.org.tr/index.php/2013-02-09-12-04-55/45-cay-tar-m>, 2015.
6. Sueyoshi, T. ve Shingo, A., "A Use of a Nonparametric Statistic for DEA Frontier Shift: The Kruskal and Wallis Rank Test", **Omega**, Cilt 29, 1-18, 2001.
7. Mizutani, F. ve Uranishi, S., "The post office vs parcel delivery companies: competition effects on costs and productivity", **Journal of Regulatory Economics**, Cilt 23, No 3, 299-319, 2003.
8. Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E., "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", **European Journal of Operational Research**, Cilt 2, 429-444, 1978.
9. Hatami-Marbini, A., Emrouznejad, A. ve Tavana, M., "A Taxonomy and Review of the Fuzzy Data Envelopment Analysis Literature: Two decades in the Making", **European Journal of Operational Research**, Cilt 214, 457-472, 2011.
10. Sengupta, J.K. "A Fuzzy Systems Approach in Data Envelopment Analysis", **Computers and Mathematics with Applications**, Cilt 24, No 8-9, 259-266, 1992.
11. Sengupta, J.K. "Measuring Efficiency by a Fuzzy Statistical Approach", **Fuzzy Sets and Systems**, Cilt 46, No 1, 73-80, 1993.
12. Lertworasirikul, S., Fang, S.C., Joines, J.A., Nuttle, H.L.W., "Fuzzy Data Envelopment Analysis (DEA): A Possibility Approach", **Fuzzy Sets and Systems**, Cilt 139, No 2, 379-394, 2003.
13. Chen, C. ve Klein, C.M., "A Simple Approach to Ranking a Group of Aggregated Fuzzy Utilities", **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B: Cybernetics**, Cilt 27, 26-35, 1997.
14. Baten, A., Kamil, A.A. ve Haque, A., "Productive Efficiency of Tea Industry: A Stochastic Frontier Approach", **African journal of Biotechnology**, Cilt 9, No 25, 3808-3816, 2010.
15. Basnayake, B.M.J.K. ve Gunaratne, L.H.P., "Estimation of Technical Efficiency and Its Determinants in the Tea Small Holding Sector in the Mid Country Wet Zone of Sri Lanka", **Sri Lankan Journal of Agricultural Economics**, Cilt 4, No 1, 137-150, 2002.
16. Tran, N.D., **Transition to Organic Tea Production in Thai Nguyen Province, Vietnam: Economic and Environmental Impacts**, Research report (Economy and Environment Program for Southeast Asia); ISSN 1608-5434; 2008-RR8 Co-published by the International Development Research Centre.
17. Dey, S.K. ve Gupta, R., "Development of Safety and Productivity Correlation Model for Tea Industries of Barak Valley, Assam", **IOSR Journal of Engineering**, Cilt 2, No 12, 21-28, 2012.

18. Guan, X. ve Yang, J. "Empirical Study On The Rate Of Technology Progress Of Fujian Tea Industry", **Journal of Fujian Agriculture and Forestry University**, Cilt 2, 2011.
19. Hazarika C. ve Subramanian, S. "Estimation of Technical Efficiency in the Stochastic Frontier Production Function: An Application to the Tea industry in Asam", **Indian Journal of Agriculture Economics**, Cilt 54, 201-211, 1999.
20. Ping,L., Ai Qin, J. ve Xuexi, H., "An Empirical Research on Production Efficiency of Green Tea Based on DEA Analysis in China", **Chinese Agricultural Science Bulletin**, Cilt 4, 2011.
21. Hong, W. ve Yancheng, L. "The Measurement and Optimal Strategies of Chinese Tea Processing Enterprises Based on DEA Analysis", **Issues in Agricultural Economy**, Cilt 1, 2012.
22. Sarımeşmet, M. "Çay Üretim Endüstrisinin Verimlilik Sorunları", **Doğu Karadeniz Bölgesinde Tarımsal Üretim Verimlilik Sorunları Sempozyumu**, Rize, 28-30 Eylül 1988.
23. Enginyurt, H., **Türkiye Çay Sanayisinde Finansal Analiz Tekniklerinin Uygulanması: ÇAYKUR A.Ş.'de Bir Uygulama**, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi SBE, 2006.
24. Baki, B. ve Ar, İ.M. "ÇAYKUR'a bağlı fabrikaların etkinlik analizi: Malmquist-TFV endeksi uygulaması", **İktisat İşletme ve Finans**, Cilt 24, No 284, 77-108, 2009.
25. Ağayev, S. ve Saklı, A.R., "ÇAYKUR Fabrikalarının Etkinliklerinin Veri Zarflama Analizi ile Değerlendirilmesi", **Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi**, Cilt 14, No 3, 11-37, 2012.
26. Jolly, P. ve Yadav, S.P., "A Fuzzy DEA Model with Undesirable Fuzzy Outputs and Its Application to the Banking Sector in India", **Expert Systems with Applications**, Cilt 41, No 14, 6419-6432, 2014.
27. Chen, Y.C., Chiu, Y.H., ve Huang, C.H., "The Analysis of Bank Business Performance and Market Risk-Applying Fuzzy DEA", **Economic Modelling**, Cilt 32, 225-232, 2013.
28. Zamani, M.A., Fereidunian, A., Jamalabadi,H.R., Boroomand, F., Sepehri, P., Lesani, H. ve Lucas, C., "Smart Grid IT Infrastructure Selection: A T3SD Fuzzy DEA Approach", **Proceedings of Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe**, Gothenburg, Sweden, (1-7), 11 Ekim 2010.
29. Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M. ve Sciancalepore, F., "A cross-efficiency Fuzzy Data Envelopment Analysis Technique for Performance Evaluation of Decision Making Units Under Uncertainty", **Computers & Industrial Engineering**, Cilt 79, 103-114, 2015.
30. Braya, S., Caggiana, L. ve Ottomanelli, M., "Measuring Transport Systems Efficiency Under Uncertainty By Fuzzy Sets Theory Based Data Envelopment Analysis: Theoretical and Practical Comparison with Traditional DEA Model", **Transportation Research Procedia**, Cilt 5, 186-200.
31. Jahed, R., Amirteimoori, A. ve Azizi, H., "Performance Measurement of Decision-Making Units Under Uncertainty Conditions: An Approach Based On Double Frontier Analysis", **Measurement**, Cilt 69, 264-279, 2015.
32. Tavana, M., Khalili-Damghani, K. ve Sadi-Nezhad, S., "A Fuzzy Group Data Envelopment Analysis Model for High-Technology Project Selection: A Case Study at NASA", **Computers&Industrial Engineering**, Cilt 66, No 1, 10-23, 2013.
33. Azadeh, A., Rahimi-Golkhandan, A. ve Moghadda, M., "Location Optimization of Wind Power Generation-Transmission Systems Under Uncertainty Using Hierarchical Fuzzy DEA: A Case Study", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Cilt 30, 877-885, 2014.
34. Azadi, M., Jafarian, M., Farzipoor Saen, M. ve Mirhedayatian, S.M., "A New Fuzzy DEA Model for Evaluation of Efficiency and Effectiveness of Suppliers in Sustainable Supply Chain Management Context", **Computers&Operations Research**, Cilt 54, 274-285, 2015.
35. Corne, A., "Benchmarking and Tourism Efficiency in France", **Tourism Management**, Cilt 51, 91-95, 2015.
36. Liu, S.T., Chuang, M., "Fuzzy Efficiency Measures in Fuzzy DEA/AR with Application to University Libraries", **Expert Systems with Applications**, Cilt 36, No 2, 1105-1113, 2009.
37. Liu, Y.P., Gao, X.L., Shen, Z.Y., "Product Design Schemes Evaluation Based on Fuzzy DEA", **Computer Integrated Manufacturing Systems**, Cilt 13, No 11, 2099-2104, 2007.
38. Lai, Y. J. ve Hwang, C.L. **Fuzzy Mathematical Programming: Methods and Applications**. Springer-Verlag, Berlin, 1992.
39. Zadeh, A. L., "Fuzzy Sets", **Information and Control**, Cilt 8, 338-353, 1965.
40. Emrouznejad, A., Parker, B.R. ve Tavares, G. "Evolution of Research in Efficiency and Productivity: A Survey and Analysis of the First 30 Years of Scholarly Literature in DEA", **Socio-Economic Planning Sciences**, Cilt 42, 151-157, 2008.
41. Zadeh, L.A., "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility," **Fuzzy Sets and Systems**, Cilt 1, No 3-28, 1978.
42. Guo, P., Tanaka, H. ve Inuiguchi, M., "Self-Organizing Fuzzy Aggregation Models to Rank the Objects with Multiple Attributes", **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A - Systems and Humans**, Cilt 30, No 5, 573-580, 2000.

43. Charnes, A. ve Cooper, W.W., “Chance-Constrained Programming”, **Management Science**, Cilt 6, 73-79, 1959.
44. Özden, Ü.H. “Veri Zarflama Analizi (VZA) ile Türkiye’deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi”, **İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi**, Cilt 37, No 2, 167-185, 2008.
45. Garcia, P.A.A., Schirru, R. ve Melo, P.F.F.E. “A Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for FMEA”, **Progress in Nuclear Energy**, Cilt 46, No 3-4, 359-373, 2005.
46. Ramezanzadeh, S., Memarriani, M. ve Saati, S., “Data Envelopment Analysis with Fuzzy Random Inputs and Outputs: A Chance-Constrained Programming Approach”, **Iranian Journal of Fuzzy Systems**, Cilt 2, No 2, 21-29, 2005.
47. Wu, D.D., Yang, Z. ve Liang, L. “Efficiency Analysis of Cross-Region Bank Branches Using Fuzzy Data Envelopment Analysis”, **Applied Mathematics and Computation**, 181, 271-28, 2006.
48. Khodabakhshi, M., Gholami, Y., Kheirollahi, H., “An additive model approach for estimating returns to scale in imprecise data envelopment analysis”, **Applied Mathematical Modelling**, Cilt 34, No 5, 1247-1257, 2010.
49. Charnes, A., Cooper, W.W., Golany, A. ve Seiford, L., “Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions”, **Journal of Econometrics**, Cilt 30, No 12, 91-127, 1985.
50. Karsak, E.E. “Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Flexible Manufacturing Systems in the Presence of Imprecise Data”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Cilt 35, 867-874, 2008.
51. Tlig, H. ve Rebai, A. “A Mathematical Approach to Solve Data Envelopment Analysis Models when Data are LR Fuzzy Numbers”, **Applied Mathematical Sciences**, Cilt 3, No 48, 2383-2396, 2009.
52. Choobineh, F. ve Li, H. 1993, “An Index for Ordering Fuzzy Numbers”, **Fuzzy Sets and Systems**, Cilt 54, No 3, 287-294, 1993.
53. Chen, L.H. ve Lu, H.W., “An Approximate Approach for Ranking Fuzzy Numbers Based on Left and Right Dominance”, **Computers and Mathematics with Applications**, Cilt 41, 1589-1602, 2001.
54. Ramanathan, R., **An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement**, New Delhi: Sage Publications, 2003.
55. İlhan, E., “Firmaların Etkinliğinin Bulanık Veri Zarflama Analizi ile Belirlenmesi: İMKB 30 Endeksi Üzerine Bir Uygulama”, **Econ Anadolu 2009: Anadolu Uluslararası İktisat Kongresi**, Eskişehir, 17-19 Haziran 2009.
56. Azadeh, A. Alem, S.M., “A Flexible Deterministic, Stochastic and Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for Supply Chain Risk and Vendor Selection Problem: Simulation Analysis”, **Expert Systems with Applications**, Cilt 37, No 12, 7348-7358.