

## TÜRKİYE’DE DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞININ ETKİNLİĞİ ÜZERİNE VERİ ZARFLAMA ANALİZİ VE NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

M. Burak ERTURAN\* ve Fahriye UYSAL\*\*

### Özet

Bu çalışma, performans ölçümünde parametrik olmayan bir yöntem olan Veri Zarflama Analizi (VZA) ile çoğu üretim sisteminin network yapıya sahip olması ile ortaya çıkan Network Veri Zarflama Analizini açıklamayı ve bunlarla ilgili bazı farklı yaklaşımları tanıtmayı hedeflemektedir. Geleneksel VZA ve ana modelleri ile Network VZA kavramı ve çeşitli yaklaşımları literatür taraması ile sunulmaktadır. Uygulama olarak 1981 – 2010 yılları arası Türkiye demiryolları taşımacılığının verimlilik değerleri hem Network VZA hem de geleneksel VZA ile araştırılarak sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Veri Zarflama Analizi, Network Veri Zarflama Analizi

### The Comparison of Data Envelopment Analysis and Network Data Envelopment Analysis on Railway Transportation Efficiency in Turkey

### Abstract

This study aims to explain Data Envelopment Analysis, which is a nonparametric method of performance measurement, and Network Data Envelopment Analysis that arises from most of the production systems having network structure, and to introduce several approaches of these methods. Traditional DEA and its main models with Network DEA concept and its various approaches are presented with literature survey. As an application Turkish railway transportation’s efficiency scores between 1981–2010 are investigated with both Network VZA and traditional VZA methods, and results are compared.

**Key Words:** Data Envelopment Analysis, Network Data Envelopment Analysis

### GİRİŞ

Günümüzde işletmeler açısından önemli bir kavram olan performans, “amaçlı ve planlanmış bir etkinlik sonucunda elde edileni nicel ya da nitel olarak belirleme” tanımı ile genel kabul görmüştür (Gülcü vd., 2004: 90). Burada üzerinde durulan etkinlik kavramı, amaçlara yönelik bir kavram olup, amaçların gerçekleşme düzeyini işletmenin elde ettiği sonuçlarla ilişkilendirerek belirlemektedir (Akal, 2005:34). Verimlilik kavramı ise, belli bir dönemde

---

\* Doktora öğrencisi, Akdeniz Üniversitesi, İ.İ.B.F., Ekonometri bölümü, burak.erturan@gmail.com

\*\* Yrd. Doç. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Ayşe Sak Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, fahriyeuysal@akdeniz.edu.tr

gerçekleştirilen ürün ya da çıktılar ile, bu çıktıları elde edebilmek için aynı dönemde kullanılan girdiler arasındaki ilişkidir (Tanyaş, 2000:31).

Performansı ölçen belli başlı teknikler üç guruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi temelde işletmelerin finansal yapılarını belli bir düzende oranlamayı amaçlayan oran analizidir. Diğer, geçmişteki verilerin kullanılarak gelecekteki verileri tahmin etme amacı güden ve parametrik yöntemlerden oluşan regresyon analizidir. Son olarak, özellikle son yıllarda kullanımı giderek artan ve parametrik olmayan (non-parametric) bir yöntem, veri zarflama analizidir (Kutlar vd., 2004:140).

Veri Zarflama Analizi (VZA) genellikle, içyapısı mevcutsa da bunun üzerine çok ta düşünülmeden, girdileri çıktıları dönüştüren bir firma ya da Karar Verme Birimi (KVB)'nin verimliliğini ölçmek için kullanılır. Bu şekilde bir VZA yaklaşımında KVB'nin iç üretim süreci, sadece gelen girdilerin ve çıkan çıktıların düşünüldüğü bir kara kutu olarak düşünülür. Oysa, çoğu üretim sistemi network yapısına sahiptir. KVB'nin bu üretim süreci alt süreçlerden oluşmaktadır ki, böylece, ara ürünler, bir alt sürecin çıktıları ve bir başka alt sürecin girdileri olmaktadır (Fukuyama ve Mirdehghan, 2012:85). Burada network kavramı ön plana çıkmaktadır. Network VZA'da, tüketilen ve üretilen ara ürünlere ek olarak, kendi girdilerine sahip ve kendi çıktıları üreten çok sayıda aşama söz konusudur. Bu ara ürünler bazı aşamalar için girdiyken, diğerleri için çıktı olarak tanımlanır (Lozano vd., 2012, s.4).

Veri Zarflama Analizi daha geniş bir şekilde tanındıkça model çeşitlenmesi ortaya çıkmıştır. Charnes, Cooper ve Rhodes'un ortaya koyduğu (Charnes vd., 1978) CCR modeli, Banker, Charnes ve Cooper tarafından geliştirilen (Banker v.d., 1984) BCC modeli, toplamsal model ve çarpımsal model gibi modeller geliştirilmiştir. (Baysal vd., 2005:68).

Network VZA modelleri ilk defa Färe ve Grosskopf (1996) tarafından yenilikçi bir kitap olan *The American Economic Review* kitabında tanıtıldı. İlk defa kara kutu olarak adlandırılan yapıyı incelediler. Ortaya koydukları modeller çok sayıda yazar tarafından genişletildi (Tone ve Tsutsui, 2009:244).

VZA'nın uygulamaları çok çeşitli alan ve konularda olmasına rağmen, Network VZA'nın uygulama alanı sayısı son yıllarda artarak, ulaşım (Yu 2010, Zhu 2011), bankacılık (Fukuyama ve Weber 2010, Fukuyama ve Matousek 2011), kamu hizmetleri (Tone ve Tsutsui 2009, 2010) ve spor (Lewis vd. 2009) gibi alanları kapsar hale gelmiştir (Lozano vd., 2012:4).

Bu çalışma genel anlamda, veri zarflama analizi ile network veri zarflama analizinin Türkiye'de demiryolu taşımacılığı etkinliği üzerine karşılaştırılmasıdır. Çalışmanın birinci bölümünde, literatürde performans değerlendirmesinde sıkça kullanılan VZA yöntemi ile nispeten yeni ve daha karmaşık yapıları ele alan network VZA'nın karşılaştırılması yapılmaktadır. İkinci bölümünde uygulamaya

yönelik olarak alınan yöntemler incelenmiştir. Üçüncü bölümde, Türkiye'deki demiryolu etkinliği önce ilişkisel NVZA modeliyle çözümlenmekte ardından aynı etkinlik için klasik çıktıya yönelik CCR modeli kullanılmaktadır. Dördüncü bölümde sonuçlar değerlendirilmekte ve tartışmaya açılmaktadır.

### **I. VZA İLE NETWORK VZA'NIN KARŞILAŞTIRILMASI**

Network VZA ile geleneksel VZA arasındaki temel fark, geleneksel VZA'da tüm girdileri toplayan ve tüm çıktıları üreten tek bir süreç düşünülürken, Network VZA'da, tüketilen ve üretilen ara ürünlere ek olarak, kendi girdilerine sahip ve kendi çıktıları üreten çok sayıda aşamanın düşünülmesidir (Lozano vd., 2012:4).

Veri Zarflama Analizi, bir grup Karar Verme Birimi'nin (KVB) göreceli verimliliğini ölçmek için kullanılan bir doğrusal programlama tekniğidir. Ölçeğe göre sabit getiri varsayımını kullanan ve Charnes, Cooper ve Rhodes (Charnes v.d., 1978) tarafından modellenen orjinal Veri Zarflama Analizi, Banker, Charnes ve Cooper tarafından (Banker v.d.,1984) ölçeğe göre değişken getiri teknolojisi kullanılarak geliştirilmiştir (Thanassoulis v.d., 2012:175).

Network VZA (NVZA) modeli Fare ve Grosskopf (1996) tarafından tanıtılmasından sonra Lewis ve Sexton (2004) Network VZA için çok aşamalı bir model ortaya koydu. Tone ve Tsutsui (2009) ara ürünlerle biçimsel olarak uğraşabilen SBM (slacks-based measure) adıyla anılan bir aylak tabanlı Network VZA modeli ortaya attı. Ayrıca Kao (2009) network modeli incelemek için KVB'nin iç parçalarını paralel ve seri olmak üzere iki yapı halinde düşündü. Çalışmalarında, sistemin ve süreçlerin verimliliğini ölçmek için sistem içerisindeki süreçlerin ara ilişkilerini de hesaba katarak, ilişkisel bir Network VZA modeli dikkate aldılar (Rayeni ve Saljooghi, 2010:1252).

Dönüşüm işleminin yapısına göre Fare ve Grosskopf (2000) Network VZA'yı üç modelde sınıflandırdı: durağan model, dinamik model ve paralel model. Diğer taraftan Kao (2009) dönüşüm işlemini bir sistem olarak gördü ve modelleri başka üç yapıda sınıflandırdı: Bunlardan birincisi çok sayıda seri bağlı süreçten oluşan seri yapıdır. İkincisi, seri yapının tersine çok sayıda paralel sürece sahip bir sistem olan paralel yapıdır. Üçüncü yapı olan ilişkisel modelde ise sistem içerisinde aynı anda çok sayıda seri ve paralel yapı bulunur (Yang ve Liu, 2012:452).

Paralel (Kao 2009) ve genel (Kao 2009), Kao ve Hwang 2010) network süreçli sistemler de çalışılmış olmasına rağmen çoğu Network VZA yazıları seri süreç sistemleriyle ilgilenir (Kao ve Hwang 2008, Chen vd. 2009). Ayrıca çoğu yaklaşım radyal girdi ya da çıktı yönelimini (Kao ve Hwang 2008, Chen vd. 2009) kullanmış olmasına rağmen, Aylak-Tabanlı Ölçüm (Tone ve Tsutsui 2009, Avkiran 2009), Aylak-Tabanlı Verimsizlik (Fukuyama ve Weber 2010) ve Değer Verimliliği (Fukuyama ve Matousek 2011) modelleri de önerilmiştir.

Geleneksel VZA modelleri çoklu çıktı ve çoklu girdilerin dönüşüm verimliliği için tek süreç kullanır. Organizasyonun varolan şekli içerisinde yer alan (Fare ve Grosskopf 2000) süreç ve alt-süreçlerin (sıklıkla kara kutu olarak görülürler) eserlerini ölçmekte başarısız olurlar. Böylece, değerlendirme sonuçları önemli yönetsel bilgileri engelleyebilir. Bunun üstesinden gelmek için, Kao (2009) ilişkisel network VZA modelini önerdi. Bu, süreç ve alt-süreçler içeren organizasyonun performansı ile uğraşmak için ara ürün konseptine uygundur.

## II. UYGULAMAYA YÖNELİK OLARAK SEÇİLEN MODELLER

Geleneksel VZA modelinin avantajlarından faydalanmakla birlikte, ilişkisel network VZA modeli tüm organizasyonel verimliliği ve organizasyon içindeki süreçlerin verimliliklerini ölçer. Dahası, organizasyonel verimlilik ve süreç verimlilikleri arasında matematiksel ilişki kurarak verimlilik ayrışmasına izin verir. İlişkisel network VZA modelinin avantajı, hiyerarşinin aktivitelerini bir network üretim yapısı içerisine serbest bırakma kabiliyetidir (Hsieh ve Lin, 2010:16).

Her sistem için girdi ve çıktı ağırlıklarının kendi etkinlik derecesini en çoklayacak şekilde seçilebilecek birçok VZA modeli mevcuttur. Kullanılacak modelin çeşidi araştırmanın kapsamına ve varsayımlara göre değişir. VZA için CCR ve BCC modelleri girdi yönelimli ve çıktı yönelimli olmak üzere iki şekilde kurulabilir. Girdiler ve çıktılar üzerindeki kontrol seviyesine bağlı olarak, eğer girdi üzerinde kontrol daha azsa çıktı yönelimli model, ve benzer şekilde çıktılar üzerinde az kontrol olması durumunda girdi yönelimli model tercih edilmelidir (Özden, 2008:169).

## III. DEMİRYOLLARI TAŞIMACILIĞINDA ETKİNLİK ANALİZİ

Demiryolu taşımacılığı son yıllarda önemini artırmaktadır. Demiryolları, özellikle diğer ulaşım modellerine göre var olan teknik üstünlüğünden dolayı yeniden yapılandırılmaktadır. Yüksek teknolojiye sahip ülkeler özellikle teknolojik anlamda daha gelişmiş demiryolu sistemleri için yatırımlarda bulunmaktadır. Hızlı ve ekonomik olması bakımından özellikle gelecekte uzun mesafe yük ve yolcu taşımalarında demiryolu kullanımının oldukça artacağı öngörülmektedir (Erdoğan, 2010:14).

Demiryolları ile ilgili üretkenliği ve etkinliği analiz eden çok az çalışma bulunmaktadır. Oum ve Yu (1994) bunu denemiş ve tek çıktılı bir model kurmuşlardır. Ayrıca Oum vd. (1999) çalışmalarında demiryolu ulaşımında üretkenlik ve etkinlik için bir genel bakış ortaya koymuşlar ve sonuçlar çıktı seçiminin hassaslığını ortaya koymuştur. Cantos vd. (1999) parametrik olmayan yaklaşımlar kullanarak etkinlik göstergelerini elde etmeye çalışmış Cowie ve Riddington (1996) alternatif metotlar üstünde durmuştur. Cantos vd. (2003) Avrupa demiryolu şirketlerini Veri Zarflama Analizi ile incelemiştir. Çalışmada yolcu – km, ton – km, yolcu treni – km ve yük treni – km çıktı olarak

düşünülmüştür. Girdiler ise personel sayısı, yakıt tüketimi, lokomotif sayısı, yolcu treni sayısı, yük treni sayısı ve ana hat uzunluğudur (Movahedi vd., 2007:1570). Ayrıca Şaşmaz (2008) Türkiye için demiryolu değerlerini kullanarak VZA, indeksleme yöntemi ve TFV (Toplam Faktör Verimliliği) yöntemleriyle analizlerde bulunmuştur.

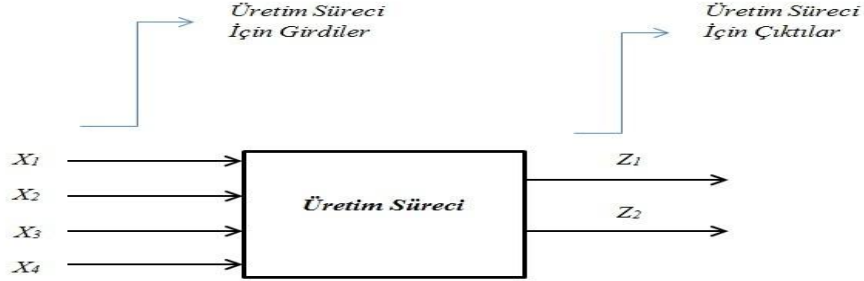
Jain vd. (2008) bir kentsel demiryolu şirketini tek aşamalı bir süreç olarak modellemiştir. Bu modelde şirketin kullandığı kaynaklar çalışan sayısı, vagon ve elektrikli çoklu ünite sayısı ve toplam hat uzunluğudur. Yu (2008) çalışmasında sistemi üretim ve tüketim süreci olarak iki aşamaya bölmüştür. Sermaye ve emeğin kullanıldığı üretim sürecinin girdileri personel sayısı, yolcu vagon sayısı, yük vagon sayısı ve hat uzunluğu olmaktadır. Üretim sürecinin çıktıları ise yolcu ve yük taşımacılığı için sağlanan yolcu treni – km ve yük treni – km değerleridir. Tüketim süreci ise üretilen yolcu treni – km ve yük treni – km değerlerini girdi olarak alır. Üretilen bu iki girdi dışında iki adet çevresel etken tüketim sürecinin tüketimi etkileyen girdisi olmaktadır. Bunlar nüfus yoğunluğu ve kişi başı Gayri Safi Milli Hasıla değerleridir. Son olarak tüketim sürecinin çıktıları yolcu – km ve ton – km değerleridir ki bu değerler aynı zamanda sistemin de çıktılarıdır.

#### IV. DEMİRYOLLARI ETKİNLİK ANALİZİ İÇİN İLİŞKİSEL NETWORK VZA VE CCR MODELİ

İncelenecek  $J$  adet sistem olmak üzere ( $j=1, \dots, J$ )  $k$ 'inci sistem için kurulacak model şu şekilde olacaktır:

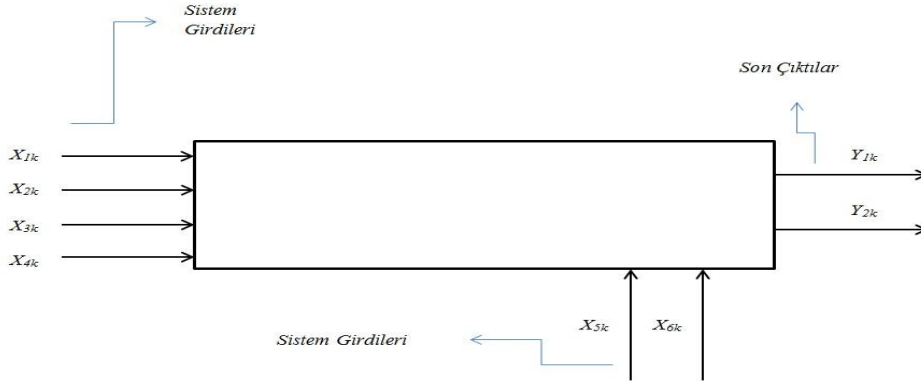
Amaç Fonksiyonu: Girdiye yönelik CCR modelinde olduğu gibi amaç, sistem çıktılarının ağırlıklı toplamını maksimize etmektir. Burada amaç fonksiyonu ara girdi ya da çıktılar değil sistemin son çıktılarıyla ilgilidir.  $K$ 'inci sistem için yazılacak amaç fonksiyonunda sadece  $k$ 'inci sistemin son çıktıları söz konusudur.

Kısıtlar:  $k$ 'inci sistemin (kara kutu) girdilerinin ağırlıklı toplamı 1'e eşit olacak şekilde, öncelikle, karşılaştırılan her bir sistem için ağırlıklı son çıktılarının sistem girdilerine eşit ya da daha küçük olması gerekmektedir. Burada sistem girdilerine ara girdi ya da çıktılar dahil değildir. Sistem kısıtlarından sonra benzer şekilde düğüm kısıtları yazılabilir. Aynı şekilde incelenen her bir sistemin her bir düğümü için çıktıların girdilerden küçük ya da eşit olması gerekmektedir. Son olarak, optimal sonucunu bulmaya çalıştığımız her bir ağırlık değerinin bir  $\epsilon$  değerinden büyük ya da eşit olması gerekir.



**Şekil 4.1.** k'inci Sistem İçin Sistemin Kara Kutu Hali

Burada  $\varepsilon$  değeri arşimet – olmayan (non-archimedean) çok küçük bir sayıyı temsil etmektedir. Sıfır rakamı yerine  $\varepsilon$  kullanılmasının sebebi, herhangi bir girdi ya da çıktının sıfır ağırlıklı, dolayısıyla tamamen önemsiz hale gelmemesidir. Arşimet – olmayan sayılar ile ilgili olarak Charnes vd. (1979) veya Charnes ve Cooper (1984) çalışmaları incelenebilir.



**Şekil 4.2.** Üretim Süreci

Demiryolları için şekilsel olarak belirlenen modelin matematiksel yapısı aşağıdaki şekilde belirlenebilir: k'inci sistem için, sistemin kara kutu (black box) hali Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Modelde, personel sayısı ( $X_1$ ), hat uzunluğu ( $X_2$ ), yolcu vagonu sayısı ( $X_3$ ) ve yük vagonu sayısı ( $X_4$ ) üretim sürecinin girdileridir. Yolcu treni – km ( $Z_1$ ) ve yük treni – km ( $Z_2$ ) üretim sürecinin çıktıları ve aynı zamanda tüketim sürecinin girdileridir. Çevresel faktörler olarak değerlendirilen kişi başı GSMH ( $X_5$ ) ve nüfus yoğunluğu ( $X_6$ ) daha önce bahsedilen ara girdilerle birlikte ( $Z_1, Z_2$ ) tüketim sürecinin girdileri olmaktadır. Son olarak, yolcu – km ( $Y_1$ ) ve ton – km ( $Y_2$ ) tüketim sürecinin çıktılarıdır. Eğer bütün sistem kara kutu olarak düşünülürse,

personel sayısı ( $X_1$ ), hat uzunluğu ( $X_2$ ), yolcu vagonu sayısı ( $X_3$ ), yük vagonu sayısı ( $X_4$ ), kişi başı GSMH ( $X_5$ ) ve nüfus yoğunluğu ( $X_6$ ) sistemin girdileri olup; yolcu – km ( $Y_1$ ) ve ton – km ( $Y_2$ ) sistemin çıktılarıdır.

Sistemin kara kutu hali kullanılarak amaç fonksiyonu ve sistem kısıtı aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$\text{Max}Z = u_1Y_{1k} + u_2Y_{2k} \quad (4.1)$$

$$\text{s.t.} \quad v_1X_{1k} + v_2X_{2k} + v_3X_{3k} + v_4X_{4k} + v_5X_{5k} + v_6X_{6k} = 1 \quad (4.2)$$

$$u_1Y_{1j} + u_2Y_{2j} - (v_1X_{1j} + v_2X_{2j} + v_3X_{3j} + v_4X_{4j} + v_5X_{5j} + v_6X_{6j}) \leq 0 \\ j = 1, \dots, J \quad (4.3)$$

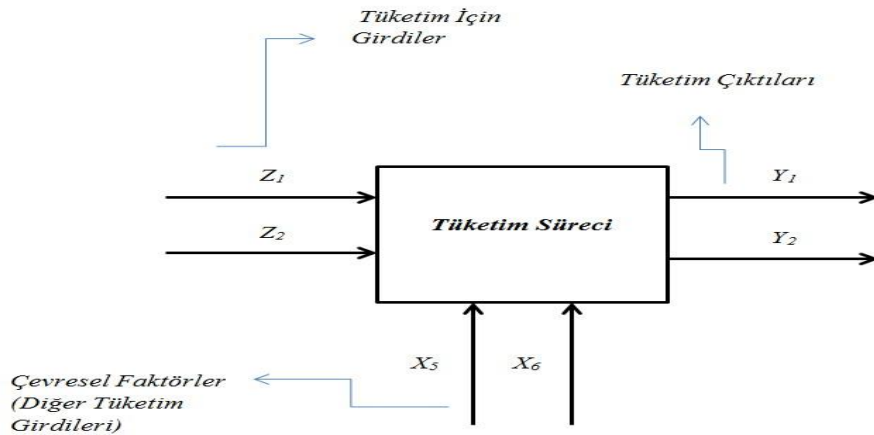
Burada  $J$  incelenen ya da karşılaştırılan sistem sayısıdır.  $u_1, u_2, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$  ise sırasıyla  $Y_1, Y_2, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$  için ağırlık katsayılarıdır. Sistem kısıtı ile birlikte her bir düğüm için kısıtlar olacaktır. Modeldeki ilk düğüm olan üretim düğümü aşağıdaki Şekil 4.2’te gösterilmiştir.

Üretim süreci için kısıt aşağıdaki gibi olur:

$$w_1Z_{1j} + w_2Z_{2j} - (v_1X_{1j} + v_2X_{2j} + v_3X_{3j} + v_4X_{4j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (4.4)$$

Burada  $w_1$  ve  $w_2$  sırasıyla  $Z_1$  ve  $Z_2$  için ağırlık katsayıları olmaktadır.

Benzer şekilde tüketim süreci olarak diğer düğüm incelenerek diğer kısıt bulunabilir. Tüketim düğümü girdi ve çıktılarıyla birlikte Şekil 4.3’te görülebilir.



Şekil 4.3. Tüketim Süreci

Sistemin girdilerinden olan  $X_5$  ve  $X_6$  burada tüketim düğümünün girdileridir. Benzer şekilde sistemin son çıktıları da aynı zamanda bu sürecin çıktısıdır. Süreç için kısıt fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:  $u_1Y_{1j} + u_2Y_{2j} - (w_1Z_{1j} + w_2Z_{2j} + v_5X_{5j} + v_6X_{6j}) \leq 0$

$$j = 1, \dots, J$$

$$(4.5)$$

Sistem ve düğümlerle ilgili kısıtlardan sonra son olarak ağırlıklarla ilgili kısıtlar yazılabilir:

$$u_1, u_2, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, w_1, w_2, \geq \varepsilon \quad (4.6)$$

Sonuç olarak, network VZA yöntemine göre matematiksel modeli şu şekildedir:

$$MaxZ = u_1Y_{1k} + u_2Y_{2k} \quad (4.7)$$

$$s.t. \quad v_1X_{1k} + v_2X_{2k} + v_3X_{3k} + v_4X_{4k} + v_5X_{5k} + v_6X_{6k} = 1 \quad (4.8)$$

$$u_1Y_{1j} + u_2Y_{2j} - (v_1X_{1j} + v_2X_{2j} + v_3X_{3j} + v_4X_{4j} + v_5X_{5j} + v_6X_{6j}) \leq 0$$

$$j = 1, \dots, J \quad (4.9)$$

$$w_1Z_{1j} + w_2Z_{2j} - (v_1X_{1j} + v_2X_{2j} + v_3X_{3j} + v_4X_{4j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J$$

$$(4.10)$$

$$u_1Y_{1j} + u_2Y_{2j} - (w_1Z_{1j} + w_2Z_{2j} + v_5X_{5j} + v_6X_{6j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J$$

$$(4.11)$$

$$u_1, u_2, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, w_1, w_2, \geq \varepsilon \quad (4.12)$$

Yukarıdaki modelin doğrusal programlama ile çözümlenmesi sonucunda ağırlık katsayılarının optimal değerleri elde edilmektedir. Her bir katsayı için bulunan optimal değerler  $u_1^*, u_2^*, v_1^*, v_2^*, v_3^*, v_4^*, v_5^*, v_6^*, w_1^*, w_2^*$  olmak üzere, k'nci sistem için etkinlik değerleri aşağıdaki gibi bulunabilir:

Tüm sistemin etkinliği:

$$E_k^{(sis)} = \frac{u_1^*Y_{1k} + u_2^*Y_{2k}}{v_1^*X_{1k} + v_2^*X_{2k} + v_3^*X_{3k} + v_4^*X_{4k} + v_5^*X_{5k} + v_6^*X_{6k}} \quad (4.13)$$

Üretim sürecinin etkinliği:



$$E_k^{(irt)} = \frac{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k}} \quad (4.14)$$

Tüketim sürecinin etkinliği:

$$E_k^{(tik)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (4.15)$$

Bu çalışmada network VZA yöntemi ile bulunan sonuçlarla klasik, çıktıya yönelik CCR yöntemiyle elde edilecek sonuçlar karşılaştırılacaktır. Her bir düğüm için çıktıya yönelik CCR modeli aşağıdaki gibi olur:

k'ncı sistem için tüm sistemin çıktıya yönelik CCR modeli:

$$MinZ = v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} \quad (4.16)$$

$$s.t. \quad u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} = 1 \quad (4.17)$$

$$v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j} - (u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j}) \geq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (4.18)$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, u_1, u_2 \geq \varepsilon \quad (4.19)$$

Optimal ağırlık değerleri bulunduğu tüm sistem için etkinlik değeri:

$$E_k^{(sis)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (4.20)$$

k'ncı sistem için üretim sürecinin çıktıya yönelik CCR modeli:

$$MinZ = v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} \quad (4.21)$$

$$s.t. \quad w_1 Z_{1k} + w_2 Z_{2k} = 1 \quad (4.22)$$

$$v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j} - (w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j}) \geq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (4.23)$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, w_1, w_2 \geq \varepsilon \quad (4.24)$$

Ağırlık değerleri için optimal sonuçlar bulunduğu k'ncı sistem için etkinlik değeri,

$$E_k^{(irt)} = \frac{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k}} \quad (4.25)$$

Şeklinde olur. Benzer şekilde tüketim düğümü için çıktıya yönelik CCR modeli amaç fonksiyonu,

$$MinZ = +w_1 Z_{1k} + w_2 Z_{2k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} \quad (4.26)$$

ve kısıtlar,

$$s.t. \quad u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} = 1 \quad (4.27)$$

$$w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j} - (u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j}) \geq 0 \quad j=1, \dots, J \quad (4.28)$$

$$w_1, w_2, v_5, v_6, u_1, u_2 \geq \varepsilon \quad (4.29)$$

tüketim düğümü için etkinlik değeri,

$$E_k^{(tik)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (4.30)$$

ile bulunur.

## V. ÇÖZÜM

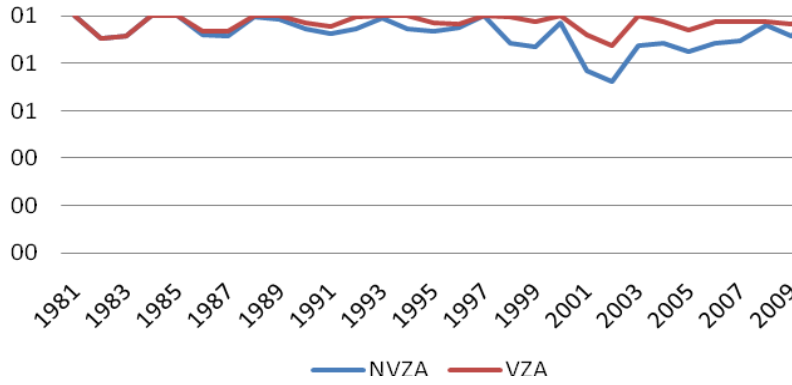
Veri Zarflama Analizi veya Network Veri Zarflama Analizi ile kurulan bir modeli çözmek için. DEA Solver Pro, Deap, MaxDea gibi yazılımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada doğrusal problem çözümünde Solver eklentisi yardımıyla Microsoft Office Excel kullanılmıştır. Kullanılan veri seti Ek 1'de yer almaktadır.

NVZA modelinde Türkiye'de demiryollarının etkinlik analizi için 30 yılın verileri karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmada her bir sistem için optimal ağırlık katsayıları bulunarak ve bu optimal değerler kullanılarak sistemin ve alt-düğümünün (üretim ve tüketim süreçleri) etkinlik değerlerine ulaşılabilmektedir. Dolayısıyla her bir sistem için tek bir doğrusal programlama işlemi yeterlidir. Her bir sistem için tek bir amaç fonksiyonu ve girdilerin ağırlıklı toplamını 1'e eşitleyen tek bir kısıt mevcuttur. Bunların dışında her bir sistem için  $j=1, \dots, J$ 'ye kadar, yani örnekte  $J=30$  farklı sistem için sistem ve alt-düğüm kısıtları olmaktadır. Bu durumda 30 adet sistem kısıtı ile birlikte  $30 \cdot 2 = 60$  adet alt düğüm kısıtı olmaktadır. Bunların dışında 10 adet değişken için her bir sistem için  $\varepsilon$  (Arşimet olmayan sayı)' dan büyük ya da eşit olma kısıtı mevcuttur. Bu durumda her bir

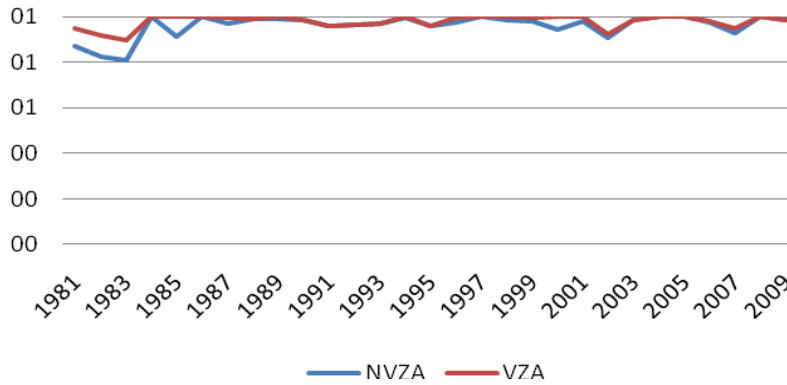
sistem için 1 amaç fonksiyonu ve  $30+60+1+10=101$  adet kısıt mevcuttur. NVZA ile optimal sonuçları bulabilmek için 1 amaç fonksiyonu ve 101 kısıtı olan 30 adet doğrusal programlama modeli çözülmelidir.

Bu çalışmada Arşimet olmayan sayı ( $\epsilon$ ) için 0'dan büyük ama oldukça küçük olabilmesi için  $10^{-10}$  değeri atanmıştır.

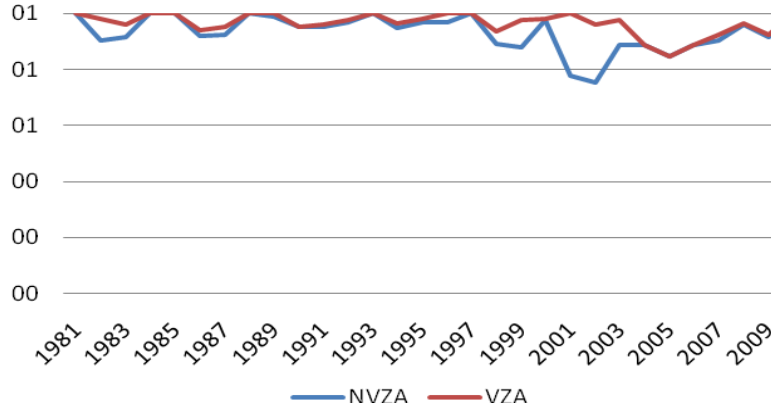
Tablo 6.1'de yıllar için NVZA ve klasik çıktıya yönelik CCR yöntemi ile uygulanan VZA yöntemiyle bulunan sonuçlar yer almaktadır. Ayrıca Grafik 5.1, Grafik 5.2 ve Grafik 5.3'te NVZA ve VZA ile bulunan etkinlik değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



**Grafik 5.1.** NVZA ve VZA ile Sistem Etkinliği



**Grafik 5.2.** NVZA ve VZA ile Üretim Süreci Etkinliği



**Grafik 5.3.** NVZA ve VZA ile Tüketim Süreci Etkinliği

## VI. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 6.1’de görüldüğü üzere sonuçlar, yıllar arasındaki etkinlik farklarını, sistem ve alt – süreçler arasındaki etkinlik değişimlerini ve aynı zamanda uygulanan iki ayrı yöntem ile bulunan etkinlik değerlerini göstermesi açısından önemlidir.

**Tablo 6.1.** NVZA ve VZA ile Sistem, Üretim Süreci ve Tüketim Süreci Etkinlikleri

Yıllar	$E^{sis}$		$E^{üre}$		$E^{tüük}$	
	NVZA	VZA	NVZA	VZA	NVZA	VZA
2010	0,9991707	1	0,9838473	0,9849063	1	1
2009	0,9168367	0,9645667	0,9865966	0,9865999	0,9176134	0,9218869
2008	0,9611615	0,9744441	1	1	0,9611615	0,9624514
2007	0,8971067	0,9752142	0,9282971	0,9487485	0,9020762	0,9241261
2006	0,8850775	0,9776107	0,9744525	0,9808005	0,8868229	0,8880420
2005	0,8479983	0,9420833	1	1	0,8479983	0,8479983
2004	0,8867571	0,9746614	1	1	0,8867571	0,8867571
2003	0,8745555	1	0,9827853	0,9875144	0,8858997	0,9778237
2002	0,7255304	0,8756518	0,9053442	0,9233858	0,7521489	0,9613115
2001	0,7691540	0,9213349	0,9774796	1	0,7757663	1
2000	0,9724602	1	0,9421512	1	0,9773746	0,9800307

1999	0,8718617	0,9787918	0,9788663	0,9929196	0,8790596	0,9774137
1998	0,8861225	0,9951803	0,9871207	1	0,8905379	0,9377880
1997	1	1	1	1	1	1
1996	0,9514959	0,9684532	0,9765037	0,9944842	0,9671302	1
1995	0,9355245	0,9707433	0,9568654	0,9587217	0,9701837	0,9793804
1994	0,9453558	1	0,9955468	0,9996539	0,9488984	0,9653333
1993	0,9894307	1	0,9670249	0,9695835	1	1
1992	0,9476446	0,9948435	0,9624475	0,9654046	0,9694040	0,9774540
1991	0,9263075	0,9550375	0,9589192	0,9589195	0,9506281	0,9593198
1990	0,9452857	0,9714448	0,9841324	0,9841333	0,9517484	0,9522651
1989	0,9864854	1	0,9894610	1	0,9899681	1
1988	0,9967669	1	0,9920101	0,9920117	1	1
1987	0,9160170	0,9374764	0,9719526	0,9976719	0,9243531	0,9536225
1986	0,9206046	0,9352935	1	1	0,9206046	0,9408511
1985	0,9999976	1	0,9104768	0,9987594	1	1
1984	1	1	1	1	1	1
1983	0,9149632	0,9169858	0,8076864	0,8954336	0,9149678	0,9587745
1982	0,9031000	0,9031027	0,8225444	0,9199411	0,9031042	0,9826316
1981	0,9999967	1	0,8702532	0,9508045	1	1
<b>Ortalama</b>	<b>0,9257590</b>	<b>0,9710973</b>	<b>0,9604255</b>	<b>0,9796799</b>	<b>0,9324736</b>	<b>0,9645087</b>
<b>St. Sapma</b>	<b>0,0653823</b>	<b>0,0332539</b>	<b>0,0497082</b>	<b>0,0275207</b>	<b>0,0634316</b>	<b>0,0384837</b>

1984 ve 1997 yıllarında sistem etkinliği, yani demiryolları için genel etkinlik değeri gerek VZA ve gerekse NVZA modeline göre 1 olarak ortaya çıkmıştır. Yine aynı yıllar için VZA ve NVZA sonuçlarına üretim süreci de, tüketim süreci de etkindir. Burada önemli olan nokta NVZA için herhangi bir sürecin etkin bulunması durumunda aynı süreç VZA ile de etkin olarak bulunmak zorundadır. Aynı sistem için çıktıya yönelik CCR ile bulunan sonuç ilişkisel NVZA ile bulunan sonuçtan küçük olamaz. Sonuçlarda görülebileceği gibi NVZA ile etkin olarak hesaplanan her süreç VZA ile de etkin olarak hesaplanmıştır. Ancak bunun tersi doğru değildir. Yani VZA ile etkin olarak bulunan bir süreç ilişkisel NVZA ile etkisiz olarak bulunabilir.

İlişkisel NVZA ile bulunan sonuçlar her zaman CCR ile bulunan sonuçlardan düşük ya da bunlara eşittir. Daha önce Kao (2009) tarafından

gösterilen bu durum Türkiye’de demiryolları için etkinlik sonuçlarında da görülebilmektedir.

Benzer şekilde 1984 ve 1997 yıllarında klasik VZA ile sistemin tamamı ile birlikte alt – süreçler de etkin bulunmaktadır. Ancak VZA ile bulunan sonuçlarda NVZA yöntemi ile bulunan sonuçlara göre bir farklılık olarak 1989 yılı için de sistem ve alt süreçler aynı anda etkin bulunmaktadır. NVZA ise 1989 için aynı anda sistem ve alt süreçler için yüksek değerler ortaya çıkarsa da tüm süreçler için etkinsiz sonucuna varmaktadır. 2003 yılında ise tüm sistem VZA’ya göre etkin olduğu halde alt süreçler etkinsiz olarak bulunmaktadır.

Çalışmada VZA için girdi/çıkıtı toplamları sistemin tamamı için 6 girdi ve 2 çıktı olmak üzere 8, üretim süreci için 4 girdi ve 2 çıktıyla birlikte toplam 6 ve tüketim süreci için 4 girdi ve 4 çıktı olmak üzere 8’dir. Karşılaştırılan sistem sayısı ise 30’dur. Dolayısıyla uygulama, VZA uygulanması için uygundur.

## SONUÇ

Veri Zarflama Analizi etkinlik, verimlilik ve dolayısıyla performans ölçümü için kullanılan son derece etkin bir yöntemdir. Ancak VZA’nın sadece tek bir KVB’yi göreceli karşılaştırmaya tabi tutabilmesi bu etkin yöntemi özellikle karmaşık yapıların incelenmesi konusunda sınırlandırmaktadır.

Birden çok KVB’den oluşan karmaşık sistemler için VZA ‘nın yetersiz kalması Network Veri Zarflama Analizinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Network VZA başlangıçta kara – kutu ve tek bir düğüm olarak görünen sistem, ve bu sistemin alt – düğümleri olarak görünen alt – süreçlerin performans analizini eşzamanlı olarak yapmaktadır.

NVZA’nın VZA ile arasındaki en önemli farklardan biri VZA gibi standart bir modele sahip olmamasıdır. Aynı sisteme birden fazla model uygulanabileceği gibi birden fazla model bir arada kullanılarak yeni modeller oluşturulabilmektedir. Bu, araştırmacılar tarafından kullanılan modellerin her an gelişime ve yeniliğe açık olmasına yol açmakta ve NVZA metodunun araştırmaya açık bir yöntem olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, standart bir modelin olmaması konuya yeni başlayan araştırmacılar için hali hazırda bir dezavantaj olmaktadır. Araştırmacı daha önce incelenmiş sistemlerden farklı modelleri bulmak ve eldeki sisteme en uygun olanı tespit etmek durumunda kalabilir.

Türkiye’deki demiryolu taşımacılığının yıllar içerisindeki etkinlik değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretim ve tüketim süreci olarak sistemin incelenen otuz yılın sadece ikisinde etkin olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada daha önce Yu (2008) tarafından geliştirilen sistem örnek alınmış, ancak sistemin çözümü konusunda Yu (2008)’dan farklı olarak Kao (2009) tarafından ortaya konulan ilişkisel NVZA modeli uygulanmıştır. Aynı

sisteme Yu (2008)'nin yaptığı gibi daha önce Fare ve Grosskopf (2000) tarafından ortaya konulan model uygulanabileceği gibi, aylak tabanlı model de uygulanabilir. Benzer şekilde sistem kukla süreçler eklenerek paralel sistemlerden oluşan bir seri sistem haline getirilip paralel ve seri modellerle de çözüme gidilebilir. Ayrıca, sistem yıllar içerisinde kendi çıktılarından bazılarını yine bir sonraki zaman aralığı için girdi olarak kullandığı bir sistem haline getirilirse dinamik model de uygulanabilir.

NVZA görelî etkinliği ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Dolayısıyla bu çalışmada ortaya konulan Türkiye'de demiryollarının yıllar içerisindeki etkinlik değerleri, Türkiye'de demiryollarının diğer ülke demiryolları açısından etkin olup olmadığını ya da mutlak anlamda bir etkinlik değerini ortaya koymaz. Örneđin, Yu (2008) çalışmasında 2002 yılı için ülkeler arasında bir kıyaslama yaparak Estonya, Slovakya, Güney Kore gibi ülkelerin demiryolu taşımacılığı için etkinlik değerini 1 olarak ölçmüş, Türkiye için bu değer 0,629 olarak bulunmuştur.

Bulunan sonuçların doğru bir karşılaştırmasının yapılabilmesi için görelî etkinlik ölçümü yapılan nesnelerin aynı olması, kullanılan modelin ve bu modelde kullanılan girdi ve çıktıların aynı olması gerekmektedir. Yu (2008) çalışmasında, bu çalışmadan farklı bir NVZA modeli kullanmış ve ülkeleri görelî olarak değerlendirmiştir. Örneđin, Perçin ve Çakır (2012), TCDD'nin 1975-2010 yılları arasındaki performansını, bu çalışmadan farklı olarak, süper etkinlik VZA modeli kullanarak karşılaştırmıştır. Ayrıca etkinliği ölçülen sistem, bu çalışmada üretim süreci olarak adlandırılan sistem olup, farklı olarak hat uzunluğu bir girdi olarak değerlendirilmemiştir. Bu çalışmada etkin olarak bulunan 1997 ve 1984 yıllarından sadece 1997 yılı etkin olarak değerlendirilmiştir. Literatürde, hem ilişkisel NVZA ya da diğer NVZA modellerinden biri kullanılarak Türkiye'de demiryollarının yıllara göre, görelî etkinlik değerlerini tespit eden bir çalışma hem de herhangi bir ülke demiryolunun yıllara göre NVZA ile değerlendirildiği bir çalışma bulunmamaktadır.

Geliştirilen NVZA modellerinin çoğu ölçeğe göre sabit getiri varsayımını temel almaktadır. Bu modeller klasik CCR modelleri esas alınarak oluşturulmuştur. Kao (2009)'nin çalışmasında bahsettiği üzere, ölçeğe göre değişken getiri varsayımını temel alan BCC modelinden esinlenerek kurulacak bir NVZA modeli gelecekteki araştırmalar için önemli bir alan olacaktır.

**KAYNAKÇA**

- AKAL, Z. (2005), İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi Çok Yönlü Performans Göstergeleri, MPM Yayınları, Ankara.
- AVKİRAN, N. K. (2009), "Opening The Black Box Of Efficiency Analysis: An Illustration With UAE Banks", Omega, Vol.:37 : 930-941.
- BANKER R. D.; Charnes A. ve Cooper W. W.(1984), "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", Management Science, Vol:30:1078-1092.
- BAYSAL M. E., Toklu B.(2001), "Veri Zarflama Analizi İle Bazı Orta Öğretim Kurumlarının Performanslarının Değerlendirilmesi" Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt.6: 203-220.
- CANTOS P., Pastor J. M. ve Serrano L.(1999), "Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-Parametric Approach", Transportation, Vol:26: 337-357.
- CHARNES A.; Cooper W. W. ve Rhodes E. (1978), "Measuring The Efficiency Of Decision Making Units", European Journal of Operational Research, Vol.2:429-444.
- CHEN Y.; Cook W. D.; Li N. ve Zhu J.(2009), "Additive Efficiency Decomposition in Two-Stage DEA", European Journal of Operational Research, Vol:196:1170-1176.
- COWIE J. ve Riddington G.(1996), "Measuring the Efficiency of European Railways". Applied Economics, Vol.28:1027-1035.
- ERDOĞAN, E., (2010), "Demiryolu Taşımacılığı Seçimini Etkileyen Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemiyle Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Gebze.
- FARE, R. ve GROSSKOPF, S., (2000) "Network DEA", Socio-Economic Planning Sciences, Volume.34, Issue.1, 35-49
- FUKUYAMA, H. ve Mirdehghan, S. M.,(2012), "Identifying the Efficiency Status in Network DEA", European Journal of Operational Research, Vol:220: 85-92.
- FUKUYAMA, H. ve Matousek, R.,(2011), "Efficiency Of Turkish Banking: Two-Stage Network System", Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, Volume.21, Issue.1, 75-91.
- FUKUYAMA, H. ve WEBER, W. L.,(2010) "A Slacks-Based Inefficiency Measure For A Two-Stage System With Bad Outputs", Omega, Volume.38, Issue.5, 398-409.
- GÜLCÜ, A., COŞKUN, A., YEŞİLYURT, C., COŞKUN, S. ve ESENER, T.,(2004), "Cumhuriyet Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi'nin Veri Zarflama Analizi



- Yöntemiyle Göreceli Etkinlik Analizi”, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt.5, Sayı. 2, 87-104.
- HSİEH, L. F. ve LİN L. H.,(2010), “A Performance Evaluation Model For International Tourist Hotels in Taiwan—An Application Of The Relational Network DEA”, *International Journal of Hospitality Management*, Volume.29, Issue.1, 14-24.
- JAIN, P.; CULLINANE, S. ve CULLINANE, K.,(2008), “The Impact Of Governance Development Models On Urban Rail Efficiency”, *Transportation Research Part A*, Vol.42, Issue.9, 1238–1250.
- KAO, C.,(2009), “Efficiency Decomposition in Network Data Envelopment Analysis: A Relational Model”, *Volume.192, Issue.3*, 949-962.
- KAO, C. ve HWANG, S. N., (2008), “Efficiency Decomposition in Two-Stage Data Envelopment Analysis: An Application To Non-Life Insurance Companies in Taiwan”, *European Journal of Operational Research*, Volume.185, Issue.1, 418-429.
- KUTLAR, A.; GÜLCÜ, A. ve KARAGÖZ, Y., (2004), “Cumhuriyet Üniversitesi Fakültelerinin Performans Değerlendirmesi”, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt.5, Sayı.2,137-157.
- LEWIS, H. F. ve SEXTON, T. R.,(2004), “Network DEA: Efficiency Analysis of Organizations With Complex Internal Structure”, *Computers & Operations Research*, Volume.31, Issue.9, 1365-1410
- LEWIS, H. F.; LOCK, K. A. ve SEXTON, T. R., (2009), “Organizational Capability, Efficiency, And Effectiveness in Major League Baseball: 1901-2002”, *European Journal of Operational Research*, Vol.197, Issue.2, 731-740.
- LOZANO, S.; Gutierrez, E. ve MORENO, P., (2012), “Network DEA Approach To Airports Performance Assessment Considering Undesirable Outputs”, *Applied Mathematical Modelling*, In Press, Corrected Proof, 1-30.
- MOVAHEDİ, M. M.; SAATİ, S. ve VAHİDİ, A. R., (2007), “Iranian Railway Efficiency (1971-2004): An Application of DEA”, *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, Vol. 2, no. 32, 1569 – 1579.
- OUM, T. H. ve YU C., (1994), “Economic Efficiency Of Railways And Implications For Public Policy: A Comparative Study Of The OECD Countries’ Railways”. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.28, 121–138.
- OUM, T. H., WATERS II W. G. ve YU C., (1999), “A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport”, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.33, Issue.1, (1999). 9-42.
- ÖZDEN, Ü. H., (2008),“Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Türkiye’deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, Cilt.37, Sayı.2, 167-185.

- PERÇİN, S. ve ÇAKIR, S.,(2012), “Demiryollarında Süper Etkinlik Ölçümü: Türkiye Örneği”, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt.27, Sayı.1, 29-45.
- RAYENİ, M. M. ve Saljooghi, F. H., (2010),“Network Data Envelopment Analysis Model for Estimating Efficiency and Productivity in Universities”, Journal of Computer Science, Vol.6, Issue.11, 1252-1257.
- ŞAŞMAZ, Ç.,(2008), Karayolları ve Demiryollarında Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- TANYAŞ, M., (2000), Endüstri Mühendisliğine Giriş, Cilt I, İrfan Yayıncılık ve Tanıtım Ltd. Şti., İstanbul.
- THANASSOULİS, E.; Kortelainen, M. ve ALLEN, R., (2012), “Improving Envelopment In Data Envelopment Analysis Under Variable Returns To Scale”, European Journal Of Operational Research, Volume.218, 175-185.
- TONE, K. ve TSUTSUİ, M.,(2009), “Network DEA: A Slacks-Based Measure Approach”, European Journal Of Operational Research, Volume.197, Issue.1, 243-252.
- Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, T.C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2006-2010, <http://www.tcdd.gov.tr/home/detail/?id=305>, Erişim Tarihi: 17.05.2012.
- Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, T.C. Devlet Demiryolları, 1923-2005 Yılları Arası İstatistik Bilgileri, <http://www.tcdd.gov.tr/home/detail/?id=305> erişim tarihi:17.05.2012.
- Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü, TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğünün 2010 Yılı Sektör Raporu,
- YANG, C. ve LIU, H. M., (2012), “Managerial Efficiency in Taiwan Bank Branches: A Network DEA”, Economic Modelling, Volume.29, Issue.2, 450-461.
- YU, M. M., (2008), “Assessing The Technical Efficiency, Service Effectiveness, And Technical Effectiveness Of The World’s Railways Through NDEA Analysis”, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume.42, Issue.10, 1283-1294.
- YU, M. M., (2010), “Assessment of Airport Performance Using The SBM-NDEA Model”, Omega, Vol.38, 440-452.
- ZHU, J., (2011), “Airlines Performance via Two-Stage Network DEA Approach”, Journal of Centrum Cathedra, Vol.4, Issue.2, 260-269 .

## EK 1. Veri Seti

	Perso nel (kişi)	Hat Uzn. (km)	Yolcu Vagon u Sayısı (Adet)	Yük Vago nu Sayısı (Adet)	Kişi Başı GSMH (Cari Dolar)	Nüfus Yoğn. (kişi/k m2)	Yolcu Tren - km (Bin km)	Yük Tren - km (Bin km)	Yolcu - Km (Milyo n kişi - km)	Ton - Km (Milyo n ton - km)	
Değişken	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Z1	Z2	Y1	Y2	
Ağırlık Katsayısı	v1	v2	v3	v4	v5	v6	w1	w2	u1	u2	
Yıl	2010	32642	11052	965	17773	15530	95	21566	17194	5491	11462
	2009	33998	11008	990	17607	14260	93	23990	17589	5374	10326
	2008	35141	11005	995	17079	14890	92	23678	18794	5097	10739
	2007	36720	10991	1010	17041	13790	91	25306	17507	5553	9921
	2006	35456	10984	993	16320	12800	90	25826	17995	5277	9676
	2005	35593	10984	996	16102	11330	89	26545	18390	5036	9152
	2004	38710	10984	993	16004	10090	87	26506	19050	5163	9417
	2003	39023	10984	965	16070	8700	86	25437	16140	5878	8669
	2002	41978	10948	1013	16241	8570	85	24702	14090	5204	7224
	2001	45175	10940	1031	16513	8470	84	27058	14315	5568	7561
	2000	47212	10922	1038	16858	9120	83	27324	18300	5832	9895
	1999	48166	10933	1040	17213	8140	81	27178	16396	6146	8446
	1998	47628	10508	1046	16989	8580	80	26722	17178	6160	8466
	1997	48296	10508	1059	17138	6160	79	26828	19260	5840	9716
	1996	49043	10508	1082	17442	5700	78	26709	17815	5229	9018
	1995	50569	10466	1100	18532	5280	76	25710	17645	5797	8632
	1994	52035	10386	1100	19132	4880	75	26675	17465	6335	8338
	1993	55223	10413	1094	19513	5190	74	26046	17803	7147	8517
	1992	53304	10413	1086	19847	4770	73	25870	17425	6259	8383
	1991	56311	10393	1056	19832	4470	72	25647	17605	6048	8093
1990	57252	10389	1049	20453	4360	70	26306	17883	6410	8030	
1989	59323	10382	1037	20719	3890	69	26959	16690	6844	7706	
1988	61788	10361	1006	20255	3780	68	26104	17025	6708	8149	
1987	63826	10369	1075	19940	3650	67	26911	16329	6174	7404	
1986	65927	10328	1101	20468	3300	65	27057	17680	6052	7396	
1985	66152	10292	1095	21134	3080	64	26194	18844	6489	7958	
1984	64964	10263	1086	20994	2930	63	24980	18896	6277	7679	
1983	68056	10188	1054	20931	2710	61	22649	16761	5722	6301	
1982	68282	10168	1054	20492	2540	60	21255	17189	5440	6171	
1981	63421	10144	1048	19955	2170	59	22728	17718	6105	6091	