

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Mahmut Burak ERTURAN

NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ ve TÜRKİYE'DE DEMİRYOLLARI ÜZERİNE
BİR UYGULAMA

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Fahriye UYSAL

Ekonometri Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2012

Akdeniz Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürlüğüne,

Mahmut Burak ERTURAN'ın bu çalışması jürimiz tarafından Ekonometri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Can Deniz KÖKSAL

Üye (Danışmanı) : Yrd.Doç.Dr. Fahriye UYSAL

Üye : Prof.Dr. İbrahim GÜNGÖR

D. Kütüncü

Fahriye UYSAL

Tez Başlığı: Network Veri Zarfılama Analizi ve Türkiye'de
Demiryolları Üzerine Bir Uygulama

Onay : Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Tez Savunma Tarihi : 29/06/2012

Mezuniyet Tarihi : 29/07/2012

Prof.Dr. Mehmet ŞEN
Müdür

.....

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLER LİSTESİ	iii
TABLolar LİSTESİ	iv
GRAFİKLER LİSTESİ	v
KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

1.1 Performans Kavramı	4
1.2 Veri Zarflama Analizinin Tarihçesi	5
1.3 Veri Zarflama Analizinin Matematiksel Yapısı	7
1.4 Veri Zarflama Analizi Modelleri	8
1.4.1 Girdiye Yönelik CCR Modeli	9
1.4.2 Çıktıya Yönelik CCR Modeli	11
1.4.3 Girdiye Yönelik BCC Modeli	12
1.4.4 Çıktıya Yönelik BCC Modeli	13
1.4.5 Toplamsal Model	14
1.4.6 Çarpımsal Model	15

1.5 Veri Zarflama Analizinin Güçlü ve Zayıf Yönleri	16
---	----

İKİNCİ BÖLÜM

NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

2.1 Network Veri Zarflama Analizinin Tanımı	18
2.2 Network VZA Modelleri	19
2.2.1 Seri Network VZA Modeli	19
2.2.2 Paralel Network VZA Modeli	22
2.2.3 İlişkisel Network VZA Modeli	24
2.2.4 Aylak Tabanlı Model	28
2.2.5 Dinamik Network VZA Modeli	29

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE'DE DEMİRYOLLARININ YILLARA GÖRE ETKİNLİK ANALİZİ

3.1 Demiryolu Taşımacılığının Türkiye'de ve Dünyada Durumu	33
3.2 Demiryolu Taşımacılığında Etkinlik Ölçümü	35
3.3 Network VZA Modeli	36
3.3.1 Demiryolu Etkinlik Analizi İçin İlişkisel Network VZA Modeli	39
3.3.2 Veriler	45
3.3.3 Çözüm	56
3.3.4 Sonuçların Değerlendirilmesi	63
SONUÇ	66
KAYNAKÇA	70
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	Seri Sistem	17
Şekil 2.2	Paralel Sistem	19
Şekil 2.3	Üç Süreçli Sistem	22
Şekil 2.4	Eşdeğer Tandem Sistem	24
Şekil 2.5	Dinamik Model	27
Şekil 3.1	Demiryolu İçin Network Modeli	34
Şekil 3.2	k'ncı Sistem İçin Sistemin Kara Kutu Hali	37
Şekil 3.3	Üretim Süreci	38
Şekil 3.4	Tüketim Süreci	39

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1	TCDD 1981-2010 Arası Toplam Personel Sayısı	42
Tablo 3.2	Yıllara Göre Toplam Hat Uzunlukları	43
Tablo 3.3	Yıllara Göre Toplam Yolcu Vagonu Sayısı	44
Tablo 3.4	Yıllara Göre Yük Vagonu Sayısı	45
Tablo 3.5	Türkiye’de Kişi Başı GSMH	47
Tablo 3.6	Yıllara Göre Nüfus Yoğunluğu	48
Tablo 3.7	Yıllara Göre Yolcu Tren – km Değerleri	49
Tablo 3.8	Yıllara Göre Yük Tren – km Değerleri	50
Tablo 3.9	Yıllara Göre Yolcu – km Değerleri	51
Tablo 3.10	Yıllara Göre Ton – km Değerleri	52
Tablo 3.11	Veri Seti	54
Tablo 3.12	NVZA ile Bulunan Etkinlik Değerleri	55
Tablo 3.13	CCR Yöntemiyle Üretim Süreci Etkinlik Değerleri	56
Tablo 3.14	CCR Yöntemiyle Tüketim Süreci Etkinlik Değerleri	57
Tablo 3.15	CCR Yöntemiyle Tüm Sistemin Etkinlik Değerleri	57
Tablo 3.16	NVZA ve VZA ile Sistem, Üretim Süreci ve Tüketim Süreci Etkinlikleri	58

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 3.1	Yıllara Göre Toplam Personel Sayısı	43
Grafik 3.2	Yıllara Göre Toplam Hat Uzunlukları	44
Grafik 3.3	Yıllara Göre Yolcu Vagonu Sayısı	45
Grafik 3.4	Yıllara Göre Yük Vagonu Sayısı	46
Grafik 3.5	Yıllara Göre Kişi Başı GSMH	47
Grafik 3.6	Yıllara Yoğunluğunun Dönemlere Göre Değişimi	48
Grafik 3.7	Yıllara Göre Yolcu Tren – km	49
Grafik 3.8	Yıllara Göre Yük Tren – km Değerleri	50
Grafik 3.9	Yıllara Göre Yolcu – km Değerleri	51
Grafik 3.10	Yıllara Göre Ton – km Değerleri	52
Grafik 3.11	NVZA ve VZA ile Sistem Etkinliği	59
Grafik 3.12	NVZA ve VZA ile Üretim Süreci Etkinliği	59
Grafik 3.13	NVZA ve VZA ile Tüketim Süreci Etkinliği	60

KISALTMALAR LİSTESİ

KVB	Karar Verme Birimi
VZA	Veri Zarflama Analizi
CCR	Charnes Cooper Rhodes
BCC	Banker Charnes Cooper
NVZA	Network Veri Zarflama Analizi
CRS	Constant Return to Scale
VRS	Variable Return to Scale
SBM	Slacks Based Model
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TFV	Toplam Faktör Verimliliği
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
TÜLOMSAŞ	Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii A.Ş.
TÜDEMSAŞ	Türkiye Demiryolu Makinaları Sanayii A.Ş.
TÜVASAŞ	Türkiye Vagon Sanayii A.Ş.
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
der.	Derleme
St. Sapma	Standart Sapma

ÖZET

Veri Zarflama Analizi (VZA) çeşitli girdi ve çıktı faktörlerini kullanarak karar verme birimlerinin göreceli verimliliklerini ölçmek için kullanılan parametrik olmayan bir methoddur. DEA genellikle girdileri son çıktılara dönüştüren bir karar verme biriminin (KVB) verimliliğini hesaplamak için kullanılır. Böyle bir KVB kara – kutu olarak adlandırılır ve burada KVB içindeki süreç ve bağlantıların bilinmesine ihtiyaç yoktur. Bu tip bir kara – kutu VZA yaklaşımında KVB'nin iç süreçlerinin ayrıntıları ihmal edilir ve dolayısıyla etkinsizliğin kaynakları tanımlanamaz. VZA hakkındaki geleneksel çalışmalar sistemi bir bütün olarak görmekte ve sistem içerisindeki bireysel süreçleri ihmal etmektedir.

VZA araştırmacıları yakın zamanda, sadece kutuya katılan girdilerin ve kutudan ayrılan çıktılarının hesaba katıldığı kara – kutuyu inceleyerek bazı network yaklaşımları geliştirmişlerdir. Bu çabalar Network Veri Zarflama Analizi olarak adlandırılan yeni bir metodolojiye yol açmıştır. Network VZA belirli uygulamalar için VZA problemlerini modellemede esnek bir yol sağlamaktadır. Network VZA alt – KVB'ler arasında anlamlı bağlantılar sağlar, iç süreçlerin verimliliklerini ölçmeye yardımcı olur ve böylece çok düğümlü karmaşık bir KVB'nin içine bakabilmemizi sağlar.

Bu çalışma, bu yeni metodolojiyi açıklamayı ve bununla ilgili bazı farklı yaklaşımları tanıtmayı hedeflemektedir. Geleneksel VZA ve ana modelleri ile Network VZA kavramı ve çeşitli yaklaşımları sunulmaktadır. Uygulama olarak 1981 – 2010 yılları arası Türkiye demiryolları taşımacılığının verimlilik değerleri hem Network VZA hem de geleneksel VZA metodlarıyla araştırılmakta, ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

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

ABSTRACT

NETWORK DATA ENVELOPMENT ANALYSIS AND AN APPLICATION ON RAILWAYS IN TURKEY

Data envelopment analysis (DEA) is a non – parametric method that is used for measuring relative efficiencies of decision making units by using various input and output factors. DEA is usually utilized to evaluate the efficiency of a decision making unit (DMU) which converts inputs to final outputs. Such a DMU is called as a black – box where it is not necessary to know the processes or the linkages inside the DMU. In this type of a black – box DEA approach, details of an internal process of the DMU are ignored and therefore the sources of inefficiency can not be identified. Traditional studies about DEA view the system as a whole and ignore the individual processes within the system.

DEA researchers have recently developed some network approaches by analyzing the black – box where the inputs entering the box and outputs coming out of the box is only taking into account. These efforts led to a new methodology that is called as Network Data Envelopment Analysis. Network DEA provides a flexible way to model DEA problems for specific applications. Network DEA provides meaningful links between sub – DMU's, helps to measure the efficiencies of internal processes and therefore allows us to look inside a complex DMU with multiple nodes.

This study aims to explain this new methodology and introduce some different approaches of it. Traditional DEA and its main models with Network DEA and its various approaches are presented. As an application Turkish Railways' efficiency scores between 1981 – 2010 are investigated with both Network VZA and traditional VZA methods, and results are compared.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Network Data Envelopment Analysis

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında katkı ve yardımlarını benden esirgemeyerek beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Fahriye UYSAL'a, bana karşı gösterdikleri anlayışlı ve destekleyici tutumlarından ötürü değerli Şube Müdürüm Abdullah YÜREK ve Başmühendisim Kerim ILI'ya, beni bugünlere getiren sevgili babam ve annem Hasan ve Fatma ERTURAN'a, çalışmamın her anında manevi desteklerini eksik etmeyen kıymetli arkadaşlarım Emine TAÇYILDIZ ve Ramazan DÜLGER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Antalya, 2012

M. Burak ERTURAN

GİRİŞ

Performans değerlendirmesi ve performansın göstergelerinden olan etkinlik ve verimlilik analizleri konusunda çözüme ulaşabilmek amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak özellikle 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ortaya atılan Veri Zarflama Analizi yıllar içerisinde bu alanda en çok kullanılan metodlardan biri haline gelmiştir. Veri zarflama analizinin özellikle girdi ve çıktılar arasında fonksiyonel bir bağlantı aramayan parametrik olmama özelliği onu diğer istatistiki performans ölçüm yöntemlerinden ayırmaktadır. Farklı birimlerdeki girdi ve çıktılarla işlem yapılabilmesi, sayısal verilere dayanan nesnel bir yöntem olması gibi özellikleri veri zarflama analizinin birçok araştırmacı tarafından diğer yöntemlere tercih edilmesine ve dolayısıyla yöntemin kullanım alanının genişlemesine yol açmıştır.

Veri zarflama analizi etkinlik ya da verimlilik analizi yapılacak olan süreci bir karar verme birimi (decision making unit) olarak görmektedir. Buna göre bu karar verme birimi (KVB) bir takım girdileri bir takım çıktılara dönüştürmektedir. Girdi ve çıktılar KVB için kritik öneme sahiptir. Girdi ve çıktıların büyüklüklerinin yanısıra Veri Zarflama Analizi için esas önemli olan bu girdi ve çıktıların önem dereceleridir. Veri Zarflama Analizi göreceli etkinlik ölçümü yapmaktadır. Dolayısıyla başlangıçta girdi ve çıktıların önem değerleri (ağırlıkları) belli değildir. Zaten ağırlıkları önceden bilinen bir KVB için VZA uygulamaya ihtiyaç yoktur. VZA karşılaştırılan KVB'ler için simpleks metoduyla çözümlenebilen bir doğrusal programlama denklemi ortaya atar ve ağırlıklar için en uygun (optimal) değeri bulmaya çalışır.

Optimal ağırlıkları bulma çabası araştırmacılar tarafından farklı modellerin geliştirilmesine yol açmıştır. Buna göre, aynı zamanda ilk ortaya atılan model olan ve ölçeğe göre sabit getiri varsayımını kabul eden CCR modelinin yanında ölçeğe göre değişken getiri varsayımını kabul eden BCC modeli ve bu iki modeli de dikkate alan toplamsal ve çarpımsal modeller en temel VZA modelleri olmaktadır.

Veri Zarflama Analizi performans ölçümü yaparken performansı söz konusu olan birimi tek bir düğüm olarak ele almaktadır. Gerçek hayatta durum çoğu zaman bundan farklıdır. Performansı incelenen ya da incelenmesi düşünölen birimlerin çoğu alt – düğümlerden ve bu düğümler arasında girdi/çıktı ilişkilerinden oluşun daha karmaşık yapılarıdır. VZA'nın tek bir düğüm olarak ele aldığı ama aslında içerisinde alt – süreç ve bağlantılar bulunduran bu yapılara kara – kutu adı verilmektedir. VZA'nın yapıları bu tip bir kara kutu olarak ele alması,

herhangi bir verimsizlik durumunun kaynağını bulmayı zorlaştırmaktadır. Verimsizliğin kaynağı alt – süreçlerden biri ya da birkaçı olabilmektedir. Bununla birlikte kara – kutu yapısı verimli ya da etkin olduğu halde iç yapıda etkin ya da verimli olmayan alt – süreçler yer alabilir. İncelenen yapı için sorun teşkil etmiyor gibi görünen bu durum aynı organizasyon içerisinde hali hazırda incelenmiyor olan başka bir alt – süreci ya da başka bir kara – kutu yapısını etkiliyor olabilir. Dolayısıyla kara – kutu'nun iç yapısının bilinmesi son derece faydalı bir durumdur.

Araştırmacılar kara – kutuyu incelemeye başladıklarında iki düğümlü basit yapılardan, çok düğümlü paylaşılan girdi ya da çıktılara sahip çok daha karmaşık yapılara kadar çeşitli sistemlerle karşılaşmışlardır. Bu sistemleri ölçme ve değerlendirme çabası ortaya Network VZA kavramının çıkmasına yol açmıştır. Network VZA 1996 yılında Fare ve Grosskopf tarafından ortaya atıldığından bu yana kısa zaman içerisinde bir çok araştırmacının dikkatini çekmiş ve çeşitli modeller ortaya konulmuştur. Ancak Network VZA yönteminin en temel özelliği belli bir modele sahip olmamasıdır. Kullanılacak model tamamen karşılaşılan yapıya bağlıdır ve en basitinden en karmaşığına kadar birçok model kurulabilir. Bununla birlikte araştırmacılar en çok karşılaşılan ya da karşılaşılabilecek yapılara göre bazı temel modeller oluşturmuşlardır.

Fare ve Grosskopf tarafından 1996 yılında ortaya atılan ve çeşitlendirilen modeller radyal tabanlıdır. 2001 yılında Tone tarafından ortaya konulan aylak tabanlı model radyal olmayan bir yaklaşım öne sürer ve radyal modelin aksine girdi ve çıktılarda orantılı artma/azalma olmadığını varsayar. Kao'nun 2009 yılında öne sürdüğü ilişkisel model radyal tabanlı bir model olmakla birlikte ağırlık katsayılarına yaklaşımları açısından farklılık arzeder. İlişkisel modele göre ağırlık katsayıları aynı anda bir düğümün girdisi ve bir başkasının çıktısı ya da birden fazla düğüm için paylaşılan girdi ya da çıktının olabilir. Ancak hangi durumda olursa olsun ağırlık katsayısının değeri değişmez. Oysa Fare ve Grosskopf tarafından 1996'da ortaya atılan modellerde ağırlık katsayısı aynı anda hem girdi hem çıktı olan bir faktörün ağırlığı olması durumunda her iki durum için de farklı değerler alabilir. Benzer şekilde birden fazla düğüm için paylaşılan bir faktörün ağırlığı da her düğüm için farklı değerler alabilir. Tüm bunlardan farklı olarak Fare ve Grosskopf tarafından 1996 yılında ortaya atılan modellerden birine göre normalde network yapısı göstermeyen bir süreç t zamanında ürettiği çıktılardan en az birini ya da bunun bir kısmını t+1 zamanında girdi olarak kullanıyor olabilir. Böyle bir yapı zamana bağlı olarak bir network yapısı halini alır. Bu durum bir network modeli olarak ortaya konulur ve dinamik network modeli olarak adlandırılır. Dinamik model de yine radyal tabanlı bir modeldir. Bu temel modellerden aylak tabanlı model toplamsal modellerden ortaya

çıkmiştir. Diğer modeller ise ölçeğe göre sabit getiri varsayımı temeline dayanır ve eğer geleneksel VZA modelleriyle karşılaştırılmak istenirse yine ölçeğe göre sabit getiri temelli olan CCR modeli ile karşılaştırılmalıdır.

NVZA ile analiz edilen konular son yıllarda çeşitliliğini giderek artırmaktadır. Eczaneler, banka şubeleri, tedarik zinciri gibi konularla birlikte özellikle demiryolu taşımacılığı NVZA konuları arasına girmiştir. Yu tarafından 2008 yılında geliştirilen model bir ülkenin demiryolu taşımacılığının etkinliğinin NVZA ile çözümlenebileceğini ortaya koymaktadır. Yu (2008) çalışmasında modeli durağan NVZA modeli olarak çözümlene yoluna gitmiştir. Ancak aynı yapı gerek aylak tabanlı model, gerek ilişkisel ya da seri/paralel yöntemlerle çözümlenebilir. 2009 yılında ortaya çıkan ilişkisel model oldukça yeni olması açısından tercih edilebilir görünmektedir.

Bu çalışmada ikinci bölümde geleneksel VZA yöntemi üzerinde durulmakta ve bazı temel modeller açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde Network VZA'nin tanımı yapılmakta ve en çok kullanılan NVZA modelleri üzerinde durulmaktadır. Dördüncü bölümde NVZA modelinin daha iyi açıklanabilmesi ve özellikle geleneksel VZA yönteminden farkının ortaya konulabilmesi için bir uygulama yer almaktadır. Buna göre dördüncü bölümde Türkiye'deki demiryolu etkinliği önce ilişkisel NVZA modeliyle çözümlenmekte ardından aynı etkinlik için klasik çıktıya yönelik CCR modeli kullanılmaktadır. Beşinci bölümde sonuçlar değerlendirilmekte ve tartışmaya açılmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

1.1 Performans Kavramı

Günlük hayatta sıklıkla kullanılan performans kavramı ile ilgili literatürde pek çok tanım yapılmakta ancak genellikle bu tanımların birbirlerine yakın anlamlar taşıdığı görülmektedir. Bütün bu tanımları tek bir ifadede birleştirerek performans için, “amaçlı ve planlanmış bir etkinlik sonucunda elde edileni nicel ya da nitel olarak belirleme” ifadesini kullanmak en doğrusu olacaktır (Gülcü vd. 2004, s.90).

Performansın başarı ile ilişkilendirilmiş tanımı ile ilgili çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Gülcü vd. (2004) listelediği yaklaşımlardan bazıları aşağıdaki gibidir (Gülcü vd., 2004, s.24):

Performans, çeşitli tanımlara göre performans kavramının hem hedefe ulaşım düzeyini hem de hedefe ulaşım çalışmalarının etkinlik ve verimliliğini kapsamaktadır. Buna göre gerekli kaynakların verimli kullanımı, iş yapma şeklinin doğruluğu ve hedefe ulaşma derecesi gibi hususlar performans kavramından ayrı değildir. Buna göre performans kavramının yedi boyutu (bileşeni) vardır. Bunlar etkinlik, verim ve girdilerden yararlanma, verimlilik, kalite, yenilik, çalışma yaşamının kalitesi ve karlılık ve bütçeye uygunluk olarak sıralanabilir (Kecek, 2010, s.13-14).

Etkinlik, amaçlara yönelik bir kavram olup, amaçların gerçekleşme düzeyini işletmenin elde ettiği sonuçlarla ilişkilendirerek belirlemektedir (Akal, 2005, s.34). Verimlilik, belli bir dönemde gerçekleştirilen ürün ya da çıktılar ile, bu çıktıları elde edebilmek için aynı dönemde kullanılan girdiler arasındaki ilişkidir (Tanyaş, 2000, s.31).

Yukarıda sıralanan etkinlik ve verimlilik kavramları performans karşılaştırmasında sıkça kullanılan kavramlar haline gelmiştir.

Karşılaştırmalı performans ölçümü yapabilmek için değerlendirme biriminin tanımını yapmak gerekmektedir. Değerlendirme birimi kendi çeşidinden diğer birimler ile performans üzerinden karşılaştırma önerilebilen yapıdır. Banka şubeleri, okullar, hastaneler, perakende mağazaları buna örnek olarak verilebilir. Değerlendirme birimi girdi olarak adlandırılan bir grup kaynak kullanır ve bunları çıktı olarak tanımlanan bir grup sonuca dönüştürür (Kaya, 2006, s.6-7).

Verimlilik (productivity) ya da diğer adıyla üretkenlik en basit tanımıyla çıktının girdiye oranıdır. Bu tanıma göre verimlilik göreceli bir kavram değildir. Etkinlik kavramıyla ilgili birbirleriyle ilişkili çeşitli tanımlar geliştirilmiştir. Teknik etkinlik, halihazırdaki teknoloji ile belirli bir girdi bileşimi sonucunda maksimum çıktının elde edilmesi ya da tam tersi, belirli bir çıktı bileşiminin minimum girdi kullanılarak üretilmesi başarısıdır. Ölçek etkinliği en uygun ölçüde üretim yapma başarısıyken, fiyat etkinliği ya da diğer adıyla tahsis etkinliği minimum maliyetle üretim yapma başarısıdır (Baysal vd., 2005, s.68).

Değerlendirme birimi ve buna bağlı olarak girdi ve çıktı faktörleri performans değerlendirmesinde kritik öneme sahiptir. İşleyen bir birimin performans ölçümünde genellikle kullanılan metod performans göstergesidir. Performans göstergesi konu olan birimin bazı çıktıların bazı girdilerine oranı olarak tanımlanabilir (Kaya, 2006, s.6-7).

1.2 Veri Zarflama Analizinin Tarihçesi

Performansı ölçen belli başlı teknikler üç gruba ayrılabilir. Bunlardan birincisi temelde işletmelerin finansal yapılarını belli bir düzende oranlamayı amaçlayan oran analizidir. Diğerleri, 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 olan veri zarflama analizidir (Kutlar vd., 2004, s.140).

İlk veri zarflama analizi modeli Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından (1978) öne sürüldü. Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ortaya konulan bu çalışma aslında Edwardo Rhodes'un Carnegie Mellon Üniversitesi'nde hazırladığı tez çalışmalarının sonucu olarak ortaya çıkmıştır. W.W. Cooper'ın danışmanlığında yürütülen çalışma ile devlet okullarında Federal hükümet tarafından verilen destekle eğitim gören dezavantajlı öğrenciler için bir eğitim programı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Veri tabanının çok geniş olduğu, çok sayıda girdi ve çıktı değişkeni kullanılmasına rağmen serbestlik derecesi gibi konuların ciddi bir problem yaratmadığı çalışmada, yine de, kullanılan bütün istatistik ve ekonometrik yaklaşımlara rağmen yetersiz hatta absürd sonuçlar elde edildi. Bu duruma karşılık verebilme amacıyla M.J. Farrell'in 1957 yılında Journal of Royal Statistical Society dergisinde yayınlanan "The Measurement of Productive Efficiency" isimli makalesinden faydalanıldı (Cooper v.d., 2004, s.5-6).

Veri Zarflama Analizi terimi ilk defa 1978 yılında European Journal of Operations Research'te Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından duyuruldu. Burada, bir verimli üretim

sınırı kurularak ve homojen karar verme birimlerinin (KVB) göreceli verimlilikleri belirlenerek, çoklu girdiler ve çoklu çıktılar arasındaki ilişkilerin deneysel tahminlerini elde etmek için matematiksel programlama metodolojisi kullanılmaktadır (Shen v.d., 2012, s.3).

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, s.175).

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

VZA tekniğinin kullanıldığı çalışmalara aşağıdakiler örnek olarak verilebilir (Kecek, 2010, s. 57-58):

Veri Zarflama Analizi modelinin bankacılık ve sigortacılık alanlarında kullanımına Berger ve Humphrey (1997), Berger vd. (2000), Claessens ve Laeven (2004), Jan-Egbert Sturm ve Barry Williams (2004), Bhattacharyya vd. (1997), Weiss (1990), Delhousse vd. (1995), Yuengert (1993), Cummins vd. (1998), örnek olarak verilebilir. Bankacılık ve sigortacılık alanında Türkiye'de yapılan VZA çalışmalarına ise Zaim (1995), Yolalan (1996), Denizler vd. (2000), Cingi ve Tarım (2000), Yayla vd. (2005), ve Kayalı (2007) örnek olarak gösterilebilir. Veri Zarflama Analizi özellikle sağlık alanında da sıklıkla kullanılmıştır. Sherman (1984), Banker vd. (1986), Sexton vd. (1989) buna örnek olarak verilebilirken, yine Türkiye'de Özcan vd. (1992), Kavuncubaşı ve Ersoy (1995), Şahin (1998), Güçlü (1999) sağlık alanında Veri Zarflama Analizi tekniğini kullanmışlardır.

VZA özellikle eğitim alanında sıklıkla kullanılmıştır. VZA'nın çoklu girdi ve çıktılı yapısı ile eğitim birimlerinin göreceli etkinliğini ölçmek mümkündür. Ancak eğitim birimlerinin çoğu çıktısı net ölçülemediği için girdi ve çıktılarının tanımlanması oldukça zordur. Bir öğrencinin bilgisindeki artış giriş ve mezuniyet sınavları ile ölçülebilir görünse de bu ölçümün doğruluğu tartışmalıdır. Tomkins ve Green 1988'de VZA kullanarak muhasebe bölümlerini karşılaştırmışlardır (Tomkins ve Green, 1988). Kwimbere 1987 yılında, kimya mühendisliği, matematik ve fizik bölümleri için bir uygulama yapmıştır (Kwimbere, 1987). Ayrıca,

Sinuany-Stern vd. (1994), Breu ve Raab (1994) eğitim alanında VZA uygulaması yapılan diğer çalışmalardandır (Baysal vd., 2005, s.68-69).

Kecek (2010), kullanılan girdi ve çıktı değişkenlerini göstermek amacıyla eğitim alanında yapılan bazı çalışmaları tabloştürmüştür. Bu tabloda yer alan ve Türkiye’de eğitim alanında yapılmış olan bazı çalışmalar: Kutlar, vd. (2004), Gülcü vd. (2004), Baysal ve Toklu (2001), Baysal vd. (2005), Babacan vd. (2007), Özden (2008), Yeşilyurt (2009) sayılabilir.

Veri zarflama analizi bunlar dışında oteller ile ilgili Johns vd. (1997), Tarım (2001); tekstil sektörü ile ilgili Chandra vd. (1998); otomotiv sektöründe Yılmaz vd. (2002); yem sanayi ile ilgili olarak Çelik (2003); limanlar konusunda Baysal vd. (2004) gibi birçok alanda kullanılmıştır (Tepe, 2006, s.57).

1.3 Veri Zarflama Analizinin Matematiksel Yapısı

Veri Zarflama Analizinin matematiksel gösterimi aşağıdaki gibi açıklanmıştır (Kecek, 2010, s.58-59):

Eğer bir karar biriminin girdi (x) ve çıktıları (y) biliniyorsa fiili girdi, girdilerin ve fiili çıktı da çıktıların ağırlıklı toplamı olarak bulunur.

$$\text{Fiili Girdi} = \sum_{i=1}^l u_i x_i \quad (1.1)$$

$$\text{Fiili Çıktı} = \sum_{j=1}^n v_j y_j \quad (1.2)$$

Burada $u_i : x_i$ girdisine atanan bir ağırlık ve $v_j : y_j$ çıktısına atanan bir ağırlıktır.

I ve J ise sırasıyla girdi ve çıktıların toplam sayısını ifade eder ($I, J > 0$). Bu durumda sözkonusu karar biriminin etkinliğini şu şekilde ifade etmek mümkündür:

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Fiili Çıktı}}{\text{Fiili Girdi}} = \frac{\sum_{j=1}^n v_j y_j}{\sum_{i=1}^l u_i x_i} \quad (1.3)$$

Eğer bir VZA çalışmasında etkinlikleri karşılaştırılacak N adet karar birimi varsa ve m’inci karar biriminin etkinliği maksimum yapılmak istenirse model aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$MaxE_m = \frac{\sum_{j=1}^n v_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I u_{im} x_{im}} \quad (1.4)$$

Kısıtlar ise;

$$0 \leq \frac{\sum_{j=1}^J v_{jm} y_{jm}}{\sum_{i=1}^I u_{im} x_{im}} \leq 1 \quad n = 1, 2, K, N \quad (1.5)$$

$$v_{jm}, u_{im} \geq 0 \quad i = 1, 2, K, I \quad j = 1, 2, K, J \quad (1.6)$$

Burada:

E_m : m'inci karar biriminin etkinliği,

y_{jm} : m'inci karar biriminin j'inci çıktısı,

v_{jm} : ilgili çıktının ağırlığı,

x_{im} : m'inci karar biriminin i'inci girdisi,

u_{im} : ilgili girdinin ağırlığı,

x_{in} : n'inci karar biriminin i'inci girdisi,

y_{jm} : m'inci karar biriminin j'inci çıktısı,

y_{jn} : n'inci karar biriminin j'inci çıktısıdır.

1.4 Veri Zarflama Analizi Modelleri

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. Örneğin ölçeğe göre sabit getiri varsayımı yapılır ve birimlerin tüm etkinlikleri bilinmek istenirse CCR veya yönelsiz modeller, eğer ölçeğe değişken getiri varsayımı yapılır ve sadece birimlerin etkinlikleri araştırma konusu edilirse BCC veya toplamsal modellerin kullanılması yeterli olacaktır. 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, s.169-170).

Girdi yönelimli modeller mevcut çıktı için en az girdinin kullanılmasını ve çıktı yönelimli modeller mevcut girdi ile en çok çıktıyı amaçlar (Özden, 2008, s.170).

1.4.1 Girdiye Yönelik CCR Modeli

Girdiye yönelik CCR Modeli için hatırlanması gereken önemli nokta, bu modelin ölçeğe göre sabit getiri (CRS) varsayımı ile toplam etkinliği ölçtüğüdür (Tarım, 2001, s.61).

Girdiye Yönelik CCR Modeli aşağıdaki gibi gösterilebilir (Tepe, 2006, s.86):

$$Maxh_k = \frac{\sum_{r=1}^p u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}} \quad (1.7)$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{r=1}^p u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (1.8)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s \quad i = 1, \dots, m \quad (1.9)$$

Burada x_{ij}, y_{ij} ; j'inci karar biriminin girdi ve çıktılarını göstermektedir (Kecek, 2010, s.67).

CCR modelinin çözümlenirken tüm karar birimlerin etkinliklerin üst sınırının bulunması durumunda, ilgili karar biriminin ençoklanır. İlgilenilen karar birimi diğer birimlere göre etkin olduğunda etkinliği 1'e eşit olacak, etkin değilse 1'den küçük olacaktır (Boussofiane vd. 1991, s.2).

Verilmiş olan kesirli programlama modeli doğrusal programlama modeline dönüştürülerek Simplex algoritması yardımıyla çözülebilir (Tepe, 2006, s.86).

Dönüştürme sonucunda ortaya çıkan primal ve dual modeller Tepe (2006) tarafından tablolaştırılmıştır. Buna göre elde edilen primal ve dual modeller aşağıdaki gibidir (Tepe, 2006, s.87):

Primal Model:

$$Max\Phi = \sum_{r=1}^p \mu_r y_{rk} \quad (1.10)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad (1.11)$$

$$\sum_{r=1}^p \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (1.12)$$

$$\mu_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, p \quad (1.13)$$

$$v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (1.14)$$

Dual Model:

$$Min\theta_k = \sum_{r=1}^p \mu_r y_{rk} \quad (1.15)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_{jk} \geq y_{rk} \quad r = 1, \dots, p \quad (1.16)$$

$$\theta_k x_{ik} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_{jk} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (1.17)$$

$$\lambda_{jk} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (1.18)$$

Dual modelde bir θ değişkeni ve her karar birimine karşılık gelen bir λ değişkeni tanımlanmaktadır. θ 'nın yorumlanması kolaydır. İki model arasındaki dualiteden dolayı θ_k ve Φ_k eşit değerler almalıdır. Φ_k değişkeni primal model için karar birimi k 'nın etkinliğini vermekte, θ_k da benzer şekilde karar birimi k 'nın etkinliğini vermektedir. Dual değişken λ için yorum yapmak için "tümleyici aylaklık teoremi" (complementary slackness theorem)'e

başvurmak gerekmektedir. Bu teoreme göre ancak λ_{jk} karar birimi k 'nin primal CCR modelinde karşılık geldiği eşitsizlik, eşitlik olarak sağlanır ve λ_{jk} pozitif değer alabilir. Bu durumda, karar biriminin etkin olduğu ifade edilebilir (Tepe, 2006, s.86-87).

1.4.2 Çıktıya Yönelik CCR Modeli

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı hatırd tutularak bahsedilen CCR modeli çıktıya yönelik olarak düzenlenebilir. Bu durumda sırasıyla modelin kesirli programlama hali, ve simpleks kullanılarak hesaplanan primal ve dual formları aşağıdaki gibi olur (Tepe, 2006, s.88):

$$Minf_k = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}}{\sum_{r=1}^p u_r y_{rk}} \quad (1.19)$$

Kısıtlar:

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}{\sum_{r=1}^p u_r y_{rj}} \geq 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (1.20)$$

$$u_r \geq 0 \quad v_{ik} \geq 0 \quad (1.21)$$

$$r = 1, \dots, p \quad i = 1, \dots, m \quad (1.22)$$

Primal Model:

$$Ming_k = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \quad (1.23)$$

Kısıtlar:

$$-\sum_{r=1}^p \mu_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \geq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (1.24)$$

$$\sum_{i=1}^m \mu_r y_{rk} = 1 \quad (1.25)$$

$$\mu_r \geq 0 \quad v_i \geq 0 \quad (1.26)$$

$$r = 1, \dots, p \quad i = 1, \dots, m \quad (1.27)$$

Dual Model:

$$Max(z_k) = \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \quad (1.28)$$

Kısıtlar:

$$-\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_{jk} + y_{rk} z_k \leq 0 \quad (1.29)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_{jk} \leq x_{ik} \quad \lambda_{j0} \geq 0 \quad (1.30)$$

$$r = 1, \dots, p \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad (1.31)$$

1.4.3 Girdiye Yönelik BCC Modeli

BCC Modeli Banker, Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında geliştirilmiştir ve dolayısıyla bu kişilerin baş harfleri ile adlandırılmıştır. CCR modeli ile arasındaki en önemli fark ölçüğe göre değişken getiri modellerinde yoğunluk vektörü λ karar değişkenlerinin toplamalarının 1'e eşit olacak şekilde kısıtlanmalarıdır. Dolayısıyla, CCR modelindeki KVB'nin ölçek etkin olma zorunluluğunu ortadan kalkmakta ve buna bağlı olarak BCC modelleri ölçüğe göre değişken getiri varsayımıyla her bir KVB için sadece teknik etkinliği ölçmüş olmaktadır. Sonuç olarak Bir KVB'nin CCR modeline göre etkin olabilmesi için hem teknik etkin hem de ölçek etkin olması gerekmekte ancak BCC modeline göre etkin sayılması için sadece teknik etkin olması yeterlidir (Bowlin, 1998, s.3).

Girdiye yönelik BCC modelinin primal ve dual formları şu şekildedir (Tepe, 2006, s.90):

BCC için girdiye yönelik primal model aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$Max(h_0) = \sum_{r=1}^p u_r y_{rk} - u_k \quad (1.32)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^p u_r y_{rj} - u_k - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n \quad (1.33)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad (1.34)$$

$$u_r \geq 0 \quad r = 1, \dots, p \quad (1.35)$$

$$v_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (1.36)$$

Benzer şekilde girdiye yönelik BCC için dual model şu şekildedir:

$$\text{Min} w_k = q_k \quad (1.37)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_{kj} \geq y_{rk} \quad r = 1, \dots, p \quad (1.38)$$

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_{kj} x_{rj} + q_k x_{ik} \geq 0 \quad i = 1, \dots, m \quad (1.39)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_{kj} = 1 \quad \lambda_{jk} \geq 0 \quad (1.40)$$

$$j = 1, \dots, n \quad -\infty \leq q_k \leq \infty \quad (1.41)$$

1.4.4 Çıktıya Yönelik BCC Modeli

Çıktıya yönelik BCC modelinin primal ve dual formları aşağıdaki gibi gösterilebilir (Lee, v.d., 2009, s.848);

Primal Form:

$$\max \mu_\beta \quad (1.42)$$

Kısıtlayıcılar:

$$\begin{aligned} X\lambda &\leq x_0 \\ \mu_\beta y_0 - Y\lambda &\leq 0 \\ e\lambda &= 1 \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned} \quad (1.43)$$

Dual Form:

$$\min z = vx_0 - v_0 \quad (1.44)$$

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned} uy_0 &= 1 \\ vX - uY - v_0e &\geq 0 \\ v &\geq 0 \\ u &\geq 0 \end{aligned} \quad (1.45)$$

v_0 serbest.

1.4.5 Toplamsal Model

CCR ve BCC modellerini kullanmak için girdi ya da çıktı yönelimine karar verilmesi şarttır. Buna karşın toplamsal model her iki yönelimi de tek bir modelde toplar. Toplamsal model kullanıldığında aynı anda gerekli girdi azaltma miktarı ve gerekli çıktı artırma miktarı hesaplanabilir (Yürüşen, 2011, s.39).

Toplamsal model 1985 yılında Charnes vd. (1985) ile geliştirilmiştir. Model girdi veya çıktıya yönlendirilmeden sonuca ulaşabilmektedir. Toplamsal model, ölçeğe göre değişken getiri varsayımına göre geliştirilmiş bir modeldir (Bakırcı, 2006, s.142).

Toplamsal modelin primal ve dual formları aşağıdaki gibidir (Cooper, vd., 2007: s.94):

Toplamsal Primal Model:

$$\text{Max}_{\lambda, s^-, s^+} z = es^- + es^+ \quad (1.46)$$

Kısıtlayıcılar:

$$\begin{aligned} X\lambda + s^- &= x_0 \\ Y\lambda - s^+ &= y_0 \\ e\lambda &= 1 \\ \lambda, s^-, s^+ &\geq 0 \end{aligned} \quad (1.47)$$

Toplamsal Dual Model:

$$\text{Min}_{v, u, u_0} w = vx_0 - uy_0 + u_0 \quad (1.48)$$

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned} vX - uY + u_0e &\geq 0 \\ v, u &\geq e \\ u_0 &\text{serbest} \end{aligned}$$

(1.49)

Burada,

x_0 :incelenen karar biriminin girdi değerleri

y_0 :incelenen karar biriminin çıktı değerleri

s^+ :çıktılar için aylak değişken

s^- :girdiler için aylak değişken

λ :incelenen karar birimi etkin değilse, incelenen karar birimine baskın olan karar değişkeninin baskınlık oranıdır.

Burada dualitenin özelliğine dayanarak, primal ve dual modellerden herhangi biri çözüldüğünde amaç fonksiyonu için elde edilen optimal değer diğer modelin amaç fonksiyonunun optimal değerine eşittir. Karar birimi ancak birbirine eşit olan bu iki optimal değer aynı zamanda 0'a eşitse etkindir (Kecek, 2010, s.65).

1.4.6 Çarpımsal Model

Diğer VZA modellerinde bir KVB için girdi ve çıktıların toplam işlemiyle birbirine eklenirken, buna alternatif bir metod olarak çarpımla birbirine eklemek te mümkündür. Özellikle Cobb-Douglas fonksiyonunun ağırlıklı olarak kullanıldığı üretim firmaları için çarpımla ekleme metodu anlamlıdır (Ramanathan, 2003, s.94).

Charnes, Cooper, Seiford ve Stutz tarafından 1983 yılında geliştirilen çarpımsal model (Charnes vd., 1983), orjinal veri değerlerinin logaritmalarına toplamsal model uygulanmasının sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu modelin primal ve dual formları şu şekildedir (Charnes, vd., 1994, s.29):

Çarpımsal Primal

$$\text{Min}_{\lambda, s^+, s^-} z_0 = -1s^+ - 1s^-$$

(1.50)

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned}
\log(Y)\lambda - s^+ &= \log(Y_0) \\
\log(Y)\lambda + s^- &= \log(X_0) \\
\lambda, s^+, s^- &\geq 0
\end{aligned}
\tag{1.51}$$

Çarpımsal Dual

$$\underset{\mu, v}{Max} \quad w_0 = \mu^T \text{Log}(y_0) - v^T \text{Log}(x_0) + u_0
\tag{1.52}$$

Kısıtlayıcılar

$$\begin{aligned}
\mu^T \text{Log}(Y) - v^T \text{Log}(X) + u_0 &\leq 0 \\
-\mu^T &\leq -1 \\
-v^T &\leq -1 \\
\mu_0 &\text{serbest}
\end{aligned}
\tag{1.53}$$

1.5 Veri Zarflama Analizinin Güçlü ve Zayıf Yönleri

Veri zarflama analizi performans ölçümü için güçlü bir tekniktir. Bu, halen sayısı artan çok sayıda uygulamasından da anlaşılabilir. Bu uygulamalar aynı zamanda VZA'nın güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkarmada güçlü birer kanıt olmuşlardır. Bunların bazıları aşağıdadır:

- VZA'nın en güçlü yanı nesnelligidir. VZA insanların öznel fikirleri ile değil, sayısal verilerle etkinlik ölçümü yapar. Sınır analizi prensibini kabul eden biri için VZA sonuçları oldukça kullanışlıdır.
- VZA ile farklı birimlere sahip çok sayıda girdi ve çıktı kullanılabilir.
- Performans analizinde kullanılan istatistiki metodların aksine VZA girdi ve çıktılar arasında fonksiyonel bağlantı aranmayan, parametrik olmayan (non-parametric) bir methoddur.

Bunların dışında VZA için bazı zayıflıklardan bahsetmek te mümkündür:

- VZA'nın uygulanması her bir KVB için ayrı bir doğrusal programlama gerektirir. Yine de günümüz bilgisayar teknolojisi düşünüldüğünde bu çok ciddi bir problem yaratmayabilir.
- VZA bir uç nokta tekniği olduğundan dolayı ölçümlerdeki hatalar önemli problemlere yol açabilmektedir.
- VZA parametrik olmayan bir teknik olduğundan dolayı istatistiki hipotez testleri uygulamak oldukça zordur.
- VZA kullanılarak bulunan etkinlik değeri çok sayıda doğrusal programlama problemini çözdükten sonra elde edildiğinden iki girdi ya da çıktıdan fazla olan durumlarda sonuçları

teknik olmayan okuyucuya açıklamak oldukça zordur. Genellikle doğrusal programlama konusunda bir geçmişi olmayan genel kitle VZA'nın şeffaf olmadığını düşünebilir. Genelde kendileri için VZA çalışması yapılmış olan organizasyonların yönetim kadrosu sonuçları anlamada zorlanabilir. Bazı durumlarda daha basit uygulamalar isteyebilirler. Yine de, VZA'nın daha basit açıklamasının yapılması mümkündür ve desteklerini kazanma konusunda oldukça yardımcıdır (Ramanathan, 2003, s.177-179).

İKİNCİ BÖLÜM

NETWORK VERİ ZARFLAMA ANALİZİ

2.1 Network Veri Zarflama Analizinin Tanımı

Veri Zarflama Analizi (VZA) genellikle, iç yapısı mevcutsa da bunun üzerine çok ta düşünülmeden, girdileri çıktılara 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 çıktılarının 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, s.85-86).

Network VZA ile geleneksel VZA arasındaki temel fark, geleneksel VZA'da tüm girdileri toplayan ve tüm çıktıları üreten tek bir süreç olarak düşünülürken, Network VZA'da, tüketilen ve üretilen ara ürünlere ek olarak, kendi girdilerine sahip ve kendi çıktılarını üreten çok sayıda aşamanın düşünülmesidir. Bu ara ürünler bazı aşamalar için girdiyken, diğerleri için çıktı olarak tanımlanırlar (Lozano vd., 2012, s.4).

Network VZA modelleri ilk defa Färe and 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, s.244).

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. Bu çalışmada, sistemin ve süreçlerin verimliliğini ölçmek için sistem içerisindeki süreçlerin ara ilişkilerini de hesaba katarak, ilişkisel bir Network VZA modeli dikkate alındı (Rayeni ve Saljooghi, 2010, s.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 ilişkişel modelde ise sistem içerisinde aynı anda çok sayıda seri ve paralel yapı bulunur (Yang ve Liu, 2012, s.452-453).

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. Network VZA'nın uygulama alanı sayısı da artmış ve 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, s.4).

2.2 Network VZA Modelleri

Geleneksel VZA modelinden farklı olarak, Network VZA modelinin standart bir hali yoktur. Model, incelenen network'ün yapısına göre değişir (Kao, 2009, s.950).

Bu sebeple NVZA ile ilgili bilgi sahibi olabilmek için sıklıkla kullanılan bazı modelleri ayrı ayrı incelemek daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

2.2.1 Seri Network VZA Modeli

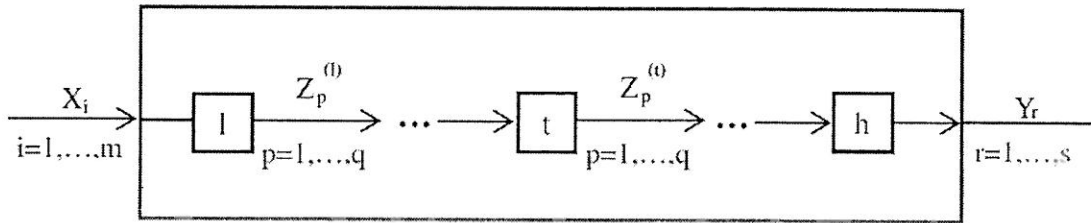
Karmaşık üretim sisteminin en basit hali, tüm üretim sürecinin seri bağlı iki alt-süreçten oluştuğu tandem sistemidir. Seiford ve Zhu (1999) ticari bir bankanın üretim sürecini karlılık ve pazarlanabilirlik olarak aşamalara böldü. Bankanın üretim süreci girdileri olan çalışanlar, malvarlıkları, hissedarların sermayeleri aynı zamanda birinci aşamanın girdileridir. Banka üretim sürecinin çıktıları olan pazar değeri, toplam yatırım getirisi ve hisse başına kazanç ise aynı zamanda ikinci aşamanın çıktılarıdır. Sistemin girdi ve çıktılarına ek olarak iki ara ürün, gelir ve kar, ilk aşamanın çıktıları ve aynı zamanda ikinci aşamanın girdileridir. 55 ABD ticari bankası için birinci aşamanın, ikinci aşamanın ve tüm üretim sürecinin verimlilikleri üç bağımsız VZA modeliyle hesaplandı. Üretim sürecinin ayrıştırılması verimsizliğin kaynağının tanımlanmasına yardımcı oldu. Zhu (2000) aynı fikri takip ederek Fortune tarafından listelenen en iyi 500 şirketin verimliliklerini analiz etti. Bu iki-aşamalı model ayrıca ruh sağlığı programlarının (Schinnar vd., 1990), Amerikan Büyük Ligi Beyzbol takımları (Sexton

ve Lewis, 2003), bilişim teknolojisi (Chen ve Zhu, 2004; Chen vd., 2006) vs. nin performans ölçümüne uygulandı (Kao ve Hwang, 2008, s.419).

İki aşamalı probleme yaygın bir yaklaşım standart VZA modelini her aşama için ayrı ayrı uygulamaktır. Kao ve Hwang (2008)'ın dikkat çektiği gibi, bu yaklaşımlar iki-aşamalı sürecin aşamalarına birbirinden bağımsız çalışan aşamalar olarak muamele eder. Söz konusu yazarlar böylece, standart VZA modelini tüm süreç içindeki iki aşamanın seri ilişkisini dikkate alarak değiştirmişlerdir. Bu çerçevede tüm sürecin verimliliği iki aşamanın verimliliklerinin ürünü olarak ayrıştırılabilir. Unutulmaması gereken böyle bir verimlilik ayrıştırması standart VZA yaklaşımında mevcut değildir (Chen vd., 2009, s.1170).

Seri olarak bağlı iki süreçten oluşan bir sistemin her bir sürecinin verimliliğini ölçmek için Seiford ve Zhu (1999) geleneksel VZA yöntemini uyguladılar. Kao ve Hwang (2008) iki süreç arasındaki seri ilişkiyi de dikkate alarak sistemin verimliliğini ölçmek için ilişkisel bir sistem geliştirdi. İlişkisel modelin enteresan bir sonucu sistem verimliliğinin iki sürecin verimliliğinin ürünü olmasıdır (Kao, 2009, s.951).

Genel anlamda seri bağlı bir sistem, sistemin özellikleri ve bu sistemin gösterimi aşağıdaki gibidir (Kao, 2009, s.951):



Şekil 2.1 Seri Sistem (Kao,2009, Fig. 1.)

h adet süreçli bir seri sistem ve X_{ij} ve Y_{rj} sırasıyla sistemin girdi ve çıktıları olarak tanımlanmış olsun. $Z_{pj}^{(t)}$, j 'inci KVB için, t sürecinin, $t=1, \dots, h-1$, p 'inci ara ürünü, $p=1, \dots, q$, olarak gösterilsin. t sürecinin ara ürünleri, t sürecinin çıktıları ve aynı zamanda $t+1$ sürecinin girdileri olmaktadır. Dikkat edilirse son süreç olan h 'nin ara ürünleri aynı zamanda sistemin çıktılarıdır. Ara ürün sayısı, q , her bir süreç için farklı olabilir. Burada gösterimde basitleştirmek için her süreç için aynı alınmıştır. Burada $w_p^{(t)}$, t sürecinin p 'inci ara ürünüyle ilişkili çarpan ya da önem olarak gösterilir. KVB k 'nın sistem etkinliği, Kao ve Hwang (2008)'ın tandem sisteminden genelleştirilen modeli takip ederek hesaplanabilir:

$$E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \quad (2.1)$$

$$s.t. \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1 \quad (2.2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{p=1}^q w_p^{(t)} Z_{pj}^{(t)} - \sum_{p=1}^q w_p^{(t-1)} Z_{pj}^{(t-1)} \leq 0, \quad t = 2, \dots, h-1, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{p=1}^q w_p^{(h-1)} Z_{pj}^{(h-1)} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

$$u_r, v_i, w_p^{(t)} \geq \varepsilon \\ p = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m, \quad p = 1, \dots, q, \quad t = 1, \dots, h-1, \quad (2.6)$$

Burada kısıt seti (2.2) sisteme karşılık gelirken, kısıt setleri (2.3), (2.4) ve (2.5) h adet sürece karşılıktır. Dikkat edilmesi gereken bir KVB'nin süreç kısıtları toplamı, örneğin kısıt setleri (2.3), (2.4) ve (2.5), aynı KVB'nin sistem kısıtına (2.2) eşittir. Dolayısıyla sistem kısıtı gereksizdir ve ihmal edilebilir. Temel olarak, bu modeldeki gerekli kısıt sayısı KVB sayısı ile sistemdeki süreç sayısının çarpımına eşittir.

u_r^* , v_i^* ve $w_p^{(t)*}$ modelin çözülmüş optimal sonuçları olsun. k KVB'i için her bir sürecin verimliliği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$E_k^{(1)} = \sum_{p=1}^q w_p^{(1)*} Z_{pk}^{(1)} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik} \quad (2.7)$$

$$E_k^{(t)} = \sum_{p=1}^q w_p^{(t)*} Z_{pk}^{(t)} / \sum_{p=1}^q w_p^{(t-1)*} Z_{pk}^{(t-1)} \quad t = 2, \dots, h-1 \quad (2.8)$$

$$E_k^{(h)} = \sum_{p=1}^q u_r^* Y_{rk} / \sum_{p=1}^q w_p^{(h-1)*} Z_{pk}^{(h-1)} \quad (2.9)$$

$E_k^{(t)}$ 'nin , $t=1, \dots, h-1$, için sonucu, yani, $E_k^{(t)} = \sum_{p=1}^q u_r^* Y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i^* X_{ik}$ ise, sistemin verimliliğidir (E_k). Bir KVB ancak tüm süreçleri verimliyse verimlidir.

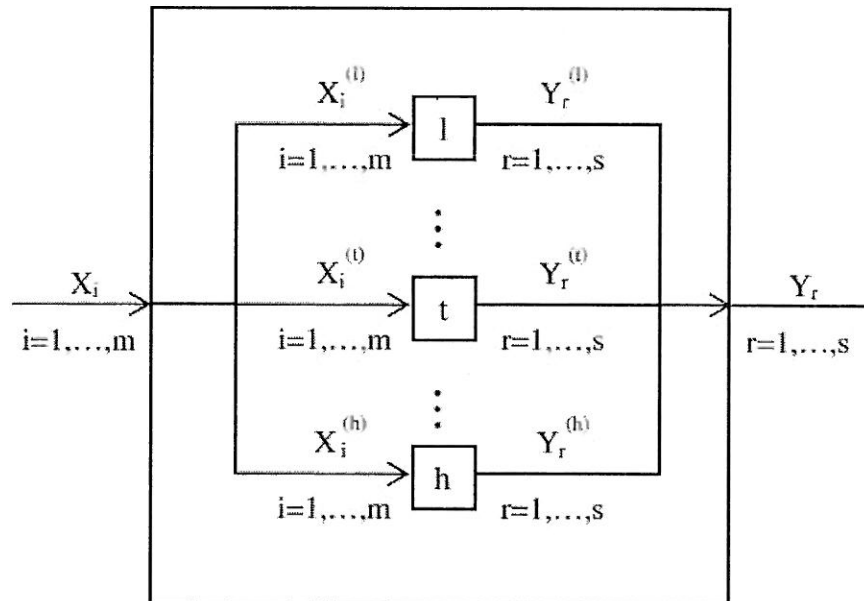
Matematiksel olarak, eğer çok verimsiz bir süreç varsa sistem verimliliği düşük, eğer tüm süreçler yüksek verimliliğe sahipse, yüksek olacaktır. Modelde süreç kısıtları (2.3), (2.4) ve (2.5) kaldırılırsa geleneksel CCR modeli elde edilir. Açıkça görüleceği üzere modelden hesaplanan E_k , CCR modelinden elde edilen E_k^{CCR} 'yi geçmeyecektir. Çünkü sonuncusu

süreçler ile ilgili daha çok kısıt içermektedir. E_k^{CCR} modelde E_k için mümkün olan en yüksek sayıdır.

2.2.2 Paralel Network VZA Modeli

Network sistemlerindeki bir başka temel yapı, içinde sistemlerin bir şekilde bağımsız işlem gördüğü ve paralel süreçlerden oluşan paralel yapıdır. Fare ve Primont (1984) 'un çok sayıda tesisten oluşan firmaların verimliliklerinin incelediği çalışmaları muhtemelen bu sistemlerle ilgili ilk çalışmadır. Metodolojileri Kao (1998) tarafından Tayvan'da çok sayıda çalışma halkasından oluşan orman bölgelerinin verimliliğini ölçmek için uygulanmıştır. Paralel sistemin tipik bir örneği bölümleri olan bir üniversitedir. Tüm üniversitenin verimliliği bölümler tarafından kullanılan toplam girdi ve üretilen toplam çıktı ile hesaplanabilir. Teorik olarak, bir üniversite ancak bütün bölümleri verimliyse verimli olabilir. Dolayısıyla muhtemelen hiçbir üniversite verimli değildir, çünkü bir üniversitenin bütün bölümlerinin en iyi performansa sahip olması kolay değildir. Ancak bu çok önemli değildir, çünkü verimlilik ölçümünün nihai hedefi verimsizliğin kaynaklarını bulmak ve girdilerin daha verimli kullanılması için uygun iyileştirmeler yapmaktır (Kao ve Hwang, 2010, s.441).

Genel paralel yapılı network sistemi için Kao (2009) aşağıdaki gösterimi benimsemiş ve modeli şu şekilde açıklamıştır (Kao, 2009, s.952-953):



Şekil 2.2 Paralel Sistem (Kao, 2009, Fig. 2.)

Paralel bağılı h süreçten oluşan bir sistem için, sistemin ve bileşenlerin aylak verimsizliğini aynı anda ölçmek için bir VZA modeli geliştirmiştir. $X_{ij}^{(t)}$ j'inci KVB'nin i'inci sürecinin i'inci inputu ve $Y_{rj}^{(t)}$ r'inci outputu olsun. Bütün süreçler için i'inci inputların toplamı bir KVB'nin i'inci inputuna eşittir. Örn. $\sum_{i=1}^h X_{ij}^{(t)} = X_{ij}$. Bu ayrıca outputlara da uygulanabilir.

Örn. $\sum_{i=1}^h Y_{rj}^{(t)} = Y_{rj}$. Tüm süreçlerin işleyişi düşünüldüğünde KVB k'nın sistem verimliliği aşağıdaki ilişkisel modelden hesaplanabilir:

$$E_k = \max \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} \quad (2.10)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} = 1 \quad (2.11)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + s_k = 0 \quad (2.12)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^{(t)} + s_k^{(t)} = 0 \quad t = 1, \dots, h \quad (2.13)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n, \quad j \neq k \quad (2.14)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ij}^{(t)} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n, \quad j \neq k \quad t = 1, \dots, h \quad (2.15)$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon, \quad r = 1, \dots, s, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.16)$$

Modelde, kısıt seti (2.14) sisteme ve kısıt seti (2.15) t sürecine aittir. (2.12) ve (2.13) kısıtları ise sırasıyla (2.14) ve (2.15) in k'inci kısıtlarıdır.

Tüm h sürecin (2.13) ve (2.15) kısıtları toplamı $\sum_{i=1}^h s_k^{(t)} = s_k$ gereği sırasıyla sistem kısıtı olan (2.12) ve (2.14)'e eşittir. Böylece, sistem kısıtları (2.12) ve (2.14) gereksizdir ve ihmal edilebilir. Dahası, sistemin verimsizlik aylağı, s_k , sistemin tüm süreçlerinin verimsizlik aylakları, $s_k^{(t)}$, toplamına eşittir.

Özellikle, sistemin verimsizlik aylağı, s_k , sistem verimliliği E_k 'nin tamalayıcısıdır, ancak, süreç verimli değilse bir sürecin verimsizlik aylağı $s_k^{(t)}$, süreç verimliliği $E_k^{(t)}$ 'nin tamamlayıcısı olmak zorunda değildir. Bunun sebebi olarak $\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^{(t)} - \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^{(t)} + s_k^{(t)} = 0$

kısıtı,

$$\left(\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^{(t)} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^{(t)} \right) - 1 + \left(s_k^{(t)} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^{(t)} \right) = 0 \text{ 'a eşittir. } T \text{ sürecinin verimliliği,}$$

$$\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}^{(t)} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^{(t)}, s_k^{(t)} \text{ 'nin değil, } s_k^{(t)} / \sum_{i=1}^m v_i X_{ik}^{(t)} \text{ 'in tamamlayıcısıdır. Seri yapı durumuna}$$

benzer şekilde, paralel bir sistem ancak bütün bileşen süreçleri verimliyse, verimlidir. Paralel VZA modeli için kısıt sayısı yine KVB sayısı ile sistemdeki süreç sayısı çarpımına eşittir.

Kavramsal olarak, eğer paralel sistemdeki bir süreç verimliyse, üretim için sadece bu süreci kullanmak tercih edilir. CCR modelinin altta yatan varsayımı ölçüğe göre sabit getiri olduğundan, bu verimli süreç üretim için tüm girdileri toplarsa sistem verimli olacaktır. Modele göre süreç kısıtları (2.13) ve (2.15) ihmal edildiğinde model CCR modeline indirgenir. Böylece E_k^{CCR} modeldeki E_k için mümkün en büyük sayıdır.

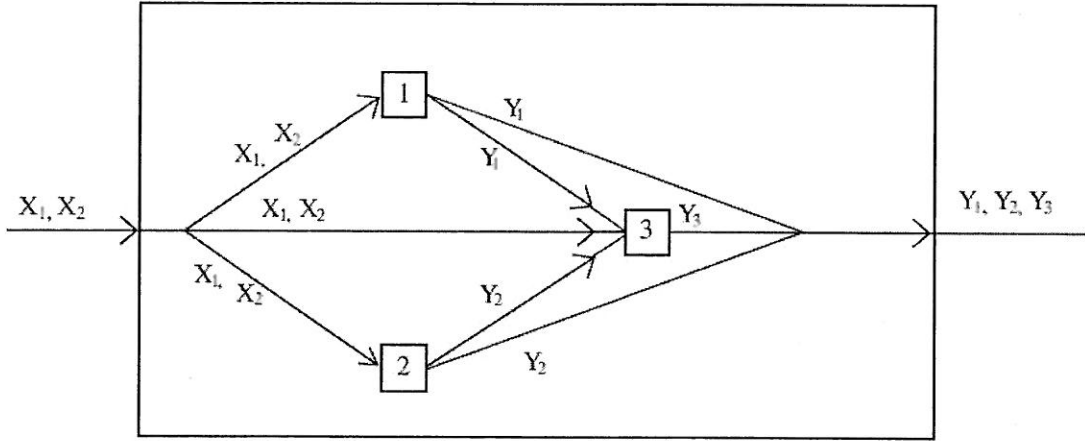
2.2.3 İlişkisel Network VZA Modeli

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 yönetimsel 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. 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, Kao'nun hayat-dışı sigorta endüstrisi üzerine çalışmasında (Kao 2009) gösterildiği gibi, hiyerarşinin aktivitelerini bir network üretim yapısı içerisine serbest bırakma kabiliyetidir (Hsieh ve Lin, 2010, s.16).

Kao'nun ilişkisel sistem ile ilgili verdiği model, bu modelin yapısı ve çözüm sistemleri aşağıdaki gibidir (Kao, 2009, s.953-954):

Bir network sistemi normalde basit seri ya da paralel yapıda değildir. Kao ve Hwang (2008)'in verimlilik ölçümü ve ilgili ayrıştırma tekniği direk olarak uygulanamaz. Ancak, sistem verimliliğini ölçmede, ilaveten bireysel süreçlerin işletilmesini düşünme fikri hala kabul edilebilir. Dahası, bir network sistemi kukla süreç kullanılarak her aşamanın bir dizi

süreçten oluşan paralel yapılardan oluşan bir seri yapı olarak gösterilebilir. Network sistemleri çok çeşitli yapılara sahip olduğundan, fikri örneklemek için Fare ve Grosskopf (1996, 2000) da tartışılan durumun aynısı kullanılmıştır.



Şekil 2.3 Üç Süreçli Sistem (Kao, 2009, Fig. 3.)

Sistemin girdileri X_1 ve X_2 , ve çıktıları ise Y_1 , Y_2 , ve Y_3 'tür. Birinci süreç X_1 ve X_2 'nin bir kısmını kullanarak Y_1 üretmektedir, Aynı zamanda Y_1 'in bir bölümü üçüncü süreç için tutlmaktadır. İkinci süreç Y_2 üretmek için bir kısım X_1 ve X_2 kullanmakta ve birinci süreçte olduğu gibi Y_2 'nin bir kısmı üçüncü süreçte üretim için alıkonmaktadır. Süreç üç, süreç bir ve süreç iki tarafından üretilen Y_1 ve Y_2 ile birlikte, Y_3 üretimi için X_1 ve X_2 'nin kalan kısmını kullanmaktadır. $X_{ij}^{(t)}$ j KVB için t sürecinin, $t = 1, 2, 3$, i'inci girdisini ifade etsin. Belli ki, üç sürecin girdileri toplamı, $X_{ij}^{(1)} + X_{ij}^{(2)} + X_{ij}^{(3)}$, sistemin girdisine, X_{ij} , $i = 1, 2$, $j = 1, \dots, n$ eşittir. Birinci sürecin çıktısı $Y_1^{(0)}$, $Y_1^{(1)}$ şeklinde ayrılabilir, ki $Y_1^{(0)}$ sistemin en son çıktısı ve $Y_1^{(1)}$ üçüncü süreç tarafından kullanılan girdi miktarıdır. Benzer şekilde, ikinci sürecin çıktısı $Y_2^{(0)}$ ve $Y_2^{(1)}$ şeklinde ayrılabilir, ki ilki sistemin en son çıktısı ve diğeri üçüncü süreç tarafından üretim için kullanılan miktardır.

u_r , çıktı r 'yle ilişkili çarpan, $r = 1, 2, 3$, ve v_i , girdi i ile ilişkili çarpan, $i = 1, 2$, olsun. KVB k 'nın sistem verimliliğini hesaplarken, sistemin geleneksel kısıtlarına ek olarak her süreç sınır şartını sağlamalı ve toplanmış çıktı toplanmış girdiyi geçmemelidir. Yani,

$$E_k = \max u_1 Y_{1k}^{(0)} + u_2 Y_{2k}^{(0)} + u_3 Y_{3k} \quad (2.17)$$

$$s.t. \quad v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} = 1 \quad (2.18)$$

$$(u_1 Y_{1j}^{(0)} + u_2 Y_{2j}^{(0)} + u_3 Y_{3j}^{(0)}) - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.19)$$

$$u_1 Y_{1j} - (v_1 X_{1j}^{(1)} + v_2 X_{2j}^{(1)}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.20)$$

$$u_2 Y_{2j} - (v_1 X_{1j}^{(2)} + v_2 X_{2j}^{(2)}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.21)$$

$$u_3 Y_{3j} - (v_1 X_{1j}^{(3)} + v_2 X_{2j}^{(3)} + u_1 Y_{1j}^{(1)} + u_2 Y_{2j}^{(1)}) \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.22)$$

$$u_1, u_2, u_3, v_1, v_2 \geq \varepsilon \quad (2.23)$$

Kısıt seti (2.19) sisteme tekabül eder ve kısıt setleri (2.20), (2.21) ve (2.22) sırasıyla sistemin üç sürecine aittir. Süreçlerdeki ek kısıtlara göre bu ilişkiyel network VZA modeli geleneksel VZA modelinden daha zorlayıcıdır. Böylece bu modelden hesaplanan verimlilik geleneksel modelden hesaplanana aşmayacaktır. Dahası, bu ek kısıtlar sistemden değil de süreçlerden oluşturulduğu için, hiç bir KVB'nin mükemmel sistem verimliliği olan 1.0'a sahip olmaması muhtemeldir. Bu olgu seri sistem modeli ve paralel sistem modeline de uygulanabilir.

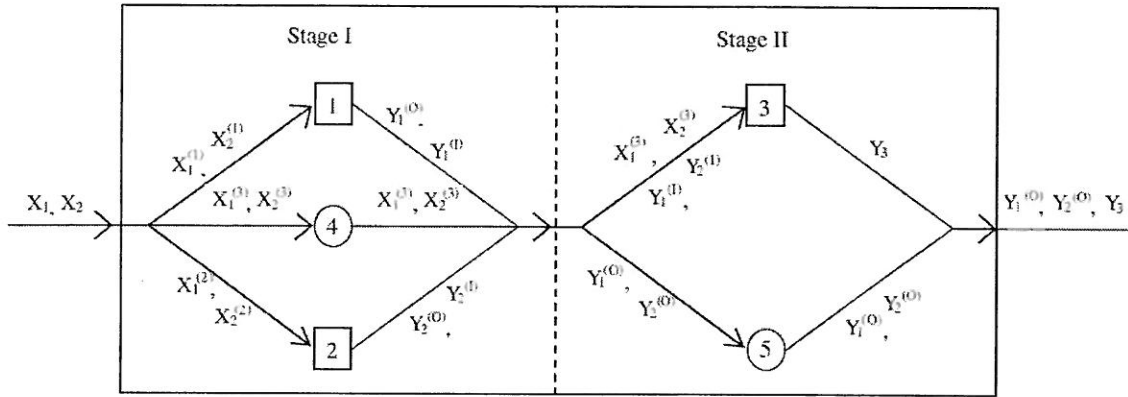
VZA modelinin iki formu vardır. oran formu (ya da çarpan formu) ve zarflama formu. Model oran formundadır ve Fare vd. (2007) tarafından geliştirilen form zarflama formundadır. Bu ilişkiyel modelin altında yatan prensip bir değişkenin çarpanının nerede ya da nasıl kullanıldığı farketmeksizin her zaman aynı olmasıdır. Örneğin, X_1 girdisi birinci süreç tarafından $X_{1j}^{(1)}$, ikinci tarafından $X_{1j}^{(2)}$, ya da üçüncü tarafından $X_{1j}^{(3)}$ kullanıldığına bakılmaksızın daima aynı çarpan v_1 'e sahiptir. Birinci sürecin çıktısının ağırlığı, sistemin en son çıktısı $Y_{1j}^{(0)}$, ya da üçüncü süreç için bir girdi $Y_{1j}^{(1)}$ olup olmadığına bakılmaksızın, u_1 'dir. Farklı çarpanların kullanıldığı Fare vd. (2007)'in network modelinde durum bu değildir. Modelde sistem kısıtı (2.19) üç süreç kısıtı (2.20), (2.21) ve (2.22)'in toplamına eşittir dolayısıyla ihmal edilir. Bu network VZA modelindeki kısıt sayısını sistemdeki süreç sayısı ve karşılaştırılan KVB sayısının çarpımına eşit yapar. optimal çarpanlar $u_1^*, u_2^*, u_3^*, v_1^*, v_2^*$ modelden hesaplandıktan sonra süreçlerin verimlilikleri şu şekilde bulunur:

$$E_k^{(1)} = u_1^* Y_{1k} / (v_1^* X_{1k}^{(1)} + v_2^* X_{2k}^{(1)}) \quad (2.24)$$

$$E_k^{(2)} = u_2^* Y_{2k} / (v_1^* X_{1k}^{(2)} + v_2^* X_{2k}^{(2)}) \quad (2.25)$$

$$E_k^{(3)} = u_3^* Y_{3k} / (v_1^* X_{1k}^{(3)} + v_2^* X_{2k}^{(3)} + u_1^* Y_{1k}^{(1)} + u_2^* Y_{2k}^{(1)}) \quad (2.26)$$

Kao (2009) aynı üretim sisteminin paralel ve seri süreçlerden oluşan tek bir eşdeğer sistem olarak ifade edilebileceğini göstermiş ve eşdeğer sistemi aşağıdaki gibi açıklamıştır:



Şekil 2.4 Eşdeğer Tandem Sistem (Kao, 2009, Fig. 4.)

Bu network sistemini verimlilik ayrışması için seri ve paralel yapılar formunda göstermek üzere, üçüncü sürecin önüne kukla süreç dört getirilmiş ve birinci ve ikinci süreçlerin arkasına kukla süreç beş getirilmiştir. Bir kukla sürecin çıktıları ile girdileri aynıdır. Bu iki yardımcı süreçle birlikte resimdeki sistem, birinci aşamanın süreç bir, dört ve ikiden oluşan bir paralel sistem ve ikinci aşamanın süreç üç ve beşten oluşan bir başka paralel sistem olduğu iki aşamalı bir seri sistem olarak gösterilebilir. Bu denk sistem resimde gösterilmiştir. Kare ve daireler sırasıyla gerçek ve kukla süreçleri ifade etmek için kullanılmıştır. Orijinal sistemle karşılaştırıldığında, bu sistem iki sürece daha, 4 ve 5, sahiptir. Bu sistemin verimliliğini hesaplamak için, süreç dört ve süreç beş tarafından getirilen iki kısıt daha eklenmelidir. Ancak, kukla süreçlerin girdi ve çıktıları aynı olduğundan ilişkili kısıtlar gereksizdir ve ihtiyaç yoktur. Bundan dolayı, bu sistemle ilişkili model orjinal sistemle aynıdır.

Değilmeye değer bir diğer nokta bir network sisteminin seri gösteriminin benzersiz olmadığıdır. Örneğin resmin birinci aşaması, biri süreç bir ve bir kukla süreçten oluşan paralel bağlı ve ikincisi süreç iki ve bir kukla süreçten oluşan yine paralel bağlı, iki aşamaya daha ayrılabilir. Ancak, orjinal network sisteminin seri yapı gösterimi benzersiz olmamasına rağmen, verimliliklerin hesaplanması için ilişkili matematiksel modeller aynıdır. Bunun sonucu olarak, süreç verimlilikleri değişmez, sadece ayrışma farklı olur (Kao, 2009, s.954-958).

2.2.4 Aylak Tabanlı Model

Son yıllarda birçok araştırmacı tarafından çok-süreçli network VZA modelleri geliştirildi; örneğin, Löthgren ve Tambour (1999), Seiford ve Zhu (1999), Sexton ve Lewis (2003), Lewis ve Sexton (2004), Castelli, Pesenti ve Ukovich (2010) ve Kao ve Hwang (2010). Bu çalışmalarda, verimlilikler dış kaynaklı girdilerde ya da en son çıktılarda orantılı değişimi varsayan radyal model kullanılarak ölçülmüştür. Yakın zamanda, Tone ve Tsutsui (2009) dış kaynaklı girdi ve en son çıktılarda potansiyel aylaklığının verimliliği temsil eden hedef fonksiyon için hesaplandığı ve dolayısıyla orantılı olmayan değişikliklerin direk olarak ilgilenildiği genel bir aylak tabanlı yaklaşım ortaya koyanmıştır (Fukuyama ve Mirdehghan, 2012, s.85).

VZA'da girdilerdeki fazlalıklar ve çıktılardaki eksiklikler aylaklık olarak isimlendirilir. Verimliliğin aylak tabanlı ölçümü (SBM, slacks-based measure) toplamsal modellerin sonucudur. Tone (2001) tarafından ortaya konulan temel SBM modelinin genişletilmesiyle, Tone ve Tsutsui (2009) bir aylak tabanlı network VZA modeli geliştirmişlerdir. Fare ve Grosskopf (2000) network VZA modellerinde radyal verimlilik ölçümünü kullanmışlardır. Tam tersine, SBM modeli radyal olmayan bir yaklaşım kullanır. Radyal yaklaşım girdi/çıkıtlarda orantılı azalma/artma varsayımında bulunur. SBM modeli orantılı değişim varsayımını gevşetir ve girdi/çıkıtlarda maximum oranda azalma/artmayı elde etmeyi amaçlar. Böylece, SBM modeli radyal olmayan aylaklıkları direk olarak ele geçirir (Zhao vd., 2011, s.1145).

Zhao vd., Tone ve Tsutsui (2009) tarafından ortaya atılan üç ayrı aylak tabanlı modeli, girdi odaklı, çıktı odaklı ve odaksız modeli sırasıyla aşağıdaki gibi özetlemiştir:

$$\theta^{k_0} = \min_{\lambda^n, s^{n-}} \sum_{n=1}^N w^n \left[1 - \frac{1}{m^n} \left(\sum_{i=1}^{m^n} \frac{s_i^{k_0 n-}}{x_i^{n k_0}} \right) \right] \quad (2.27)$$

$$1/\tau^{k_0} = \max_{\lambda^n, s^{n+}} \sum_{n=1}^N w^n \left[1 + \frac{1}{r^n} \left(\sum_{r=1}^{r^n} \frac{s_r^{k_0 n+}}{y_r^{n k_0}} \right) \right] \quad (2.28)$$

$$\rho^{k_0} = \min_{\lambda^n, s^{n-}, s^{n+}} \frac{\sum_{n=1}^N w^n \left[1 - \frac{1}{m^n} \left(\sum_{i=1}^{m^n} \frac{s_i^{k_0 n-}}{x_i^{n k_0}} \right) \right]}{\sum_{n=1}^N w^n \left[1 + \frac{1}{r^n} \left(\sum_{r=1}^{r^n} \frac{s_r^{k_0 n+}}{y_r^{n k_0}} \right) \right]} \quad (2.29)$$

Her üç modelin de tabii oldu aynı kısıtlar ise:

$$x^{nk_0} = X^n \lambda^n + s^{n-} \quad (n=1, \dots, N) \quad (2.30)$$

$$y^{nk_0} = Y^n \lambda^n - s^{n+} \quad (n=1, \dots, N) \quad (2.31)$$

$$\lambda^n \geq 0, s^{n-} \geq 0, s^{n+} \geq 0, (\forall n) \quad (2.32)$$

Ara girdi/çıktılar bağlantı akışı olarak adlandırılır. Bağlantı akışı kısıtları ile ilgili olarak 2 durum ortaya konulmuştur:

- Düğümler arası akış kısıtlı olduğunda isteğe bağlı ara girdi/çıkıktı kısıtları:

$$Z_{k_0}^{(l,h)} \lambda^h = Z^{(l,h)} \lambda^l, (\forall (l, h)) \quad (2.33)$$

- Düğümler arası akış hesaplanan VZA'nın akışıyla sınırlı olduğunda isteğe bağlı olmayan ara girdi/çıkıktı kısıtları:

$$Z_{k_0}^{(l,h)} = Z^{(l,h)} \lambda^h, (\forall (l, h)) \quad (2.34)$$

$$Z_{k_0}^{(l,h)} = Z^{(l,h)} \lambda^l, (\forall (l, h)) \quad (2.35)$$

Burada θ girdi odaklı verimlilik; τ çıktı odaklı verimlilik; ρ odaksız verimlilik; w^n n düğümünün önemine göre göreceli ağırlığıdır. x^n düğüm n 'e dış girdi vektörü; y^n düğüm n 'den en son çıktı vektörü; s^{n+} düğüm n 'deki çıktı azlığı vektörü; λ^n düğüm n 'in yoğunluk değişkeni vektörü; m^n n düğümündeki girdi sayısı; r^n n düğümündeki çıktı sayısıdır. Benzer şekilde ölçeğe göre değişkenlik geçerliyse $\sum_{k=1}^K \lambda^{nk} = 1 (\forall n)$ 'dir (Zhao vd., 2011, s.1145-1146).

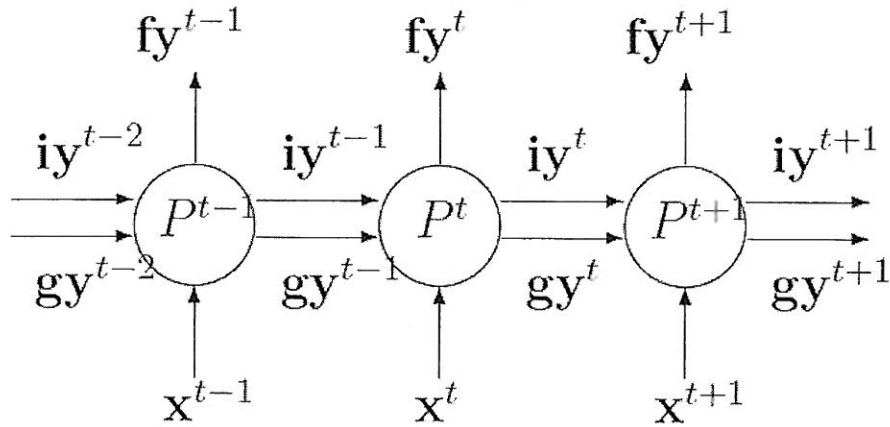
2.2.5 Dinamik Network VZA Modeli

Fare ve Grosskopf (1996, 2000) ve Fare vd. (2007) standart VZA modelinin çeşitliliğini tartışmak için kullanılan birçok network modeli geliştirdi. Biri üretim sürecinin kara kutusunu modellemeye çalışan statik modeldir. Bu model Fare ve Whittaker (1995), Fare ve Grosskopf (1996), Lewis ve Sexton (2004) ve Prieto ve Zofio (2007) tarafından belli süreçlerin bazı çıktılarının diğer süreçler tarafından girdi olarak tüketildiği ara ürünleri modellemek için kullanıldı. Statik modelin tam tersine, sürecin belli bir zaman periyodundaki bazı çıktılarının bir sonraki periyotta sürecin girdileri olarak kullanıldığı bir de dinamik model vardır (Kao, 2009, s.950).

Fare ve Grosskopf (2000) aynı üretim sürecini periyoda özel girdi ve çıktılarla iki ardışık periyotta değerlendirdi. Buna ek olarak ilk periyottaki çıktılar bazılarının ikincide girdi olarak kullanılmaktadır. Üretim sürecini düğümler ve alt-üniteler olarak gösterilen göreceli verimlilikleri belli bir model kullanılarak hesaplanabilen bu zaman arası ürünler bir dinamik networkün ara akışlarıdır. Bundan sonra Chen (2008) bir üretim networkündeki ara akışların geçici gelişimine odaklanmıştır (Castelli vd., 2010, s.220).

Dinamik VZA modeli network modeliyle, her ikisinin de çoklu alt-teknoloji ya da düğüme sahip olması ve her ikisinin de alt-teknolojileri birbirinden bağımsız yapan ara ürünlere sahip olması açısından alakalıdır. Fare ve Grosskopf (1996) eğer alt teknolojiler P^t ve P^{t+1} girdi ve çıktılarının serbest yerleşimi ve ölçüğe göre sabit getiri gibi özellikleri sağlıyorsa, bu durumda, dinamik modelin de bunları sağlayacağını göstermiştir. Örneğin, dinamik model mirası alt teknolojilerden alır (Fare ve Grosskopf, 2000, s.43).

Fare ve Grosskopf'un geliştirdiği Dinamik Network Veri Zarflama Analizi Modeli aşağıdaki gibidir (Bogetoft vd, 2009, s.148-150):



Şekil 2.5 Dinamik Model (Fare ve Grosskopf, 2008, Fig. 1.)

Modelde, üç zaman periyodu $t-1$, t , $t+1$ olduğu ve bir teknoloji P^τ , $\tau = t-1, t, t+1$ olduğu varsayalım. Ek olarak Her τ 'da bazı dış kaynaklı girdiler x^τ , ve en son çıktılar f_y^τ vardır. En son çıktı toplam üretim y^τ 'nin özel i_y^τ ya da kamu g_y^τ yatırımlarına alıkonmamış kısmıdır.

$$y^\tau = f_y^\tau + i_y^\tau + g_y^\tau$$

Altındaki dik oklar söz konusu teknoloji P^t 'a gelen dış kaynaklı girdileri göstermektedir. Yukarıdaki dik oklar her teknolojiden çıkan en son çıktıları simgelemektedir. Sonunda Ramsey modelinde olduğu gibi bu en son çıktılar üzerine hedef fonksiyonumuzu tanımlayabiliriz. Her teknolojiye giren iki yatay ok bir önceki periyottan özel ve kamu yatırımlarını simgelemektedir. Böylece tüketime ilişkin kararlar karşısında bir periyottaki yatırımın ardından gelen periyotta neticeleri vardır.

Şekilde gösterilen dinamik modelin bir çekici özelliği dinamik aktivite analizi ya da VZA modeli olarak uygulanabilmesidir. Sahip olduğumuz, her periyot t için $m = 1, \dots, M$ adet çıktı (y_1, \dots, y_M) ve $n = 1, \dots, N$ adet girdinin (y_1, \dots, y_M) $k = 1, \dots, K$ gözlemi (bizim durumumuzda hal) için, model üç periyot durumu için yazılabilir:

$$P(x^{t-1}, x^t, x^{t+1}, iy^{t-2}, gy^{t-2}) = \{((fy^{t-1}, fy^t, (fy^{t+1} + iy^{t+1} + gy^{t+1})))\} : \quad (2.36)$$

$$fy_m^{t-1} + iy_m^{t-1} + gy_m^{t-1} \leq \sum_{k=1}^K z_k^{t-1} (fy_{km}^{t-1} + iy_{km}^{t-1} + gy_{km}^{t-1}), \forall m, \quad (2.37)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^{t-1} x_{kn}^{t-1} \leq x_n^{t-1}, n = 1, \dots, N, \quad (2.38)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^{t-1} iy_{km}^{t-2} \leq iy_m^{t-1}, m = 1, \dots, M, \quad (2.39)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^{t-1} gy_{km}^{t-2} \leq gy_m^{t-1}, m = 1, \dots, M, \quad (2.40)$$

$$z_k^{t-1} \geq 0, k = 1, \dots, K, \quad (2.41)$$

$$fy^t + iy^t + gy^t \leq \sum_{k=1}^K z_k^t (fy_{km}^t + iy_{km}^t + gy_{km}^t), \forall m, \quad (2.42)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^t x_{km}^t \leq x_n^t, n = 1, \dots, N, \quad (3.43)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^t iy_{km}^{t-1} \leq iy_m^{t-1}, m = 1, \dots, M, \quad (2.44)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^t gy_{km}^{t-1} \leq gy_m^{t-1}, m = 1, \dots, M, \quad (2.45)$$

$$z_k^t \geq 0, k = 1, \dots, K, \quad (2.46)$$

$$fy_m^{t+1} + iy_m^{t+1} + gy_m^{t+1} \leq \sum_{k=1}^K z_k^{t+1} (fy_{km}^{t+1} + iy_{km}^{t+1} + gy_{km}^{t+1}), \forall m, \quad (2.47)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^{t+1} x_{km}^{t+1} \leq x_n^{t+1}, n = 1, \dots, N, \quad (2.48)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^{t+1} iy_{km}^t \leq iy_m^t, m = 1, \dots, M, \quad (2.49)$$

$$\sum_{k=1}^K z_k^{t+1} gy_{km}^t \leq gy_m^t, m = 1, \dots, M, \quad (2.50)$$

$$z_k^{t+1} \geq 0, k = 1, \dots, K, \} \quad (2.51)$$

Burada, z_k^τ , örnekteki $k = 1, \dots, K$ ve $\tau = t-1, t, t+1$ için yoğunluk değişkenidir. P teknolojisi t-1 periyodu için (2.37) çıktı kısıtı, (2.38) girdi kısıtı, (2.39) - (2.40) zamanlararası yatırım kısıtı ve (2.41) yoğunluk değişkeni üzerine kısıt olacak şekilde modellenmiştir. Benzer şekilde t periyodu için teknoloji, (2.42) - (2.46) arası ve t+1 için (2.47) - (2.51) arasında modellenmiştir. Dikkat edilirse her periyodun teknolojisi kendi yoğunluk değişkenine, $z_k^\tau, \tau = t-1, t, t+1, k = 1, \dots, K$, sahiptir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TÜRKİYE'DE DEMİRYOLLARININ YILLARA GÖRE ETKİNLİK ANALİZİ

3.1 Demiryolu Taşımacılığının Türkiye'de ve Dünyada Durumu

Demiryolu taşımacılığı İngiltere'de 1830 yılında, Fransa'da 1832 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1830 yılında ve Rusya'da 1855'te kullanılmaya başlamıştır. Benzer şekilde İngiltere'de demiryolu kullanımının başlamasıyla Osmanlı Devleti'nde de İngiliz şirketlerin teklifleriyle ilk raylı sistem yapımları 1830'larda başlamıştır. (Akçay, 2005, s.46-48)

Dünyada özellikle ikinci dünya savaşından hemen sonra otomotiv sanayi ve karayollarının gelişimi demiryolunun ulaştırmadaki yeri için dönüm noktası olmuştur. Bu noktadan itibaren demiryolu sektörü varlığını sürdürme mücadelesi içerisine girmiştir. Demiryolu taşımacılığı için ikinci bir dönüm noktası 1964 yılında Japonya'da saatte 210 km hız yapabilen hattın açılmasıdır. Bu tarihten itibaren birçok ülkede yüksek hızlı demiryolu hatları kullanılmaya başlamıştır. Yüksek hızlı demiryolu işletmeciliğinin gelişmesiyle birlikte karayolu ve havayoluna göre demiryolları önemli bir alternatif olmaya başlamıştır. Bu noktadan itibaren demiryolu taşımacılığı sadece yolcu değil ama aynı zamanda yük taşımacılığı konusunda da iyileşmeye başlamış, bu gelişmeleri olumlu bulan ülkeler uluslararası bazı ağ ve koridorlar oluşturmak ve aynı zamanda diğer ulaşım yolları ile bütünleşmeyi sağlamak için ortak adımlar atmışlardır.

Avrupa Birliği, Avrupa genelinde tek bir Pazar oluşturmak ve bütün Avrupa ülkelerini kapsayacak bir demiryolu ağı oluşturabilmek için bazı temel konularda mutabakata varmıştır. Bunlar:

- Altyapı yönetimleri ve demiryolu işletmelerini özerkleştirmek,
- Taşımacılık faaliyeti ile altyapı yönetimini birbirinden ayırmak,
- Demiryolu işletmeleri için altyapıya serbest erişim hakkı tanınması ve altyapı kullanım ücretlerinin herhangi bir ayırım yapılmadan uygulanmasını sağlanması,
- Demiryolu şebekesi ve araçlarının uyumunu ifade eden karşılıklı işletilebilirlik şartnamelerini geliştirmektir.

Avrupa Birliği tarafından demiryolu taşımacılığı ile ilgili tedbirlere rağmen halen karayolu taşımacılığı üstünlüğünü korumaktadır. 2010 yılı itibariyle AB Sınırları içerisinde yolcu taşımacılığının % 83,2'si, yük taşımacılığının ise % 45,9'u karayolu ile yapılmaktadır. Buna

karşın 2008 yılında demiryolu taşımacılığında yük taşımacılığı % 10.8, yolcu taşımacılığı % 6.3 oranındadır (TCDD Demiryolu Sektör Raporu, 2010, s.1-5).

AB'nin gayri safi milli hâsılasında 2020 yılına kadar beklenen artış % 52, yük taşımacılığında % 50 ve yolcu taşımacılığında ise % 35 oranındadır. Diğer taraftan karayolu ile yük taşımacılığında % 55, demiryolu ile yük taşımacılığında % 13, kısa mesafe deniz taşımacılığı ile yük taşımacılığında % 59, iç su yolu ile yük taşımacılığında ise % 28 oranında artış beklenmektedir. Yolcu taşımacılığında beklenen artış ise karayolunda (özel araç) % 36, demiryolunda % 19 ve havacılıkta ise % 108 oranındadır.

Avrupa ülkelerinin Asya ülkeleri ile ticaretini artırmak için Asya-Avrupa ulaştırma koridorları oluşturulmuştur. Bunlardan Pan-Avrupa 4. Koridoru, Berlin-Prag-Budapeşte karayolu üzerinden, bir kolu Köstence'ye diğer kolu ise Selanik ve İstanbul'a bağlanmaktadır. 4. Koridor, Türkiye'nin güzergah ülkesi olarak yer aldığı tek Pan-Avrupa Ulaştırma Koridorudur. Pan-Avrupa 10. Koridoru Eski Yugoslavya Cumhuriyetlerini Kuzey'de Avusturya, Güney'de ise Yunanistan'a bağlamakta ve Salzburg, Ljubljana, Zagreb, Belgrad, Niş, Üsküp, Veles, Selanik güzergahını kat etmektedir (TCDD Demiryolu Sektör Raporu, 2010, s.1-5).

Türkiye'de Osmanlı İmparatorluğundan devir alınan ve milli sınırlar içerisinde kalmış olan demiryolu uzunluğu 4136 km.'dir. 2010 yılı sonuna gelindiğinde ise anahat uzunluğu 9594 km olmuştur. Cumhuriyetin ilk yıllarında yılda ortalama 134 km. demiryolu yapılıyorken, 1950 yılından sonra ortalama yapılan demiryolu uzunluğu 16 km. civarında olmuştur. 2003-2010 yıllarında ise ortalama yapılan demiryolu yapımı tekrar artmış ve ortalama 135 km'ye ulaşmıştır.

Özellikle 1950 ile 2003 yılları arasında ulaştırma sektöründe yapılan yatırımların büyük oranda karayolu ağırlıklı olması sonucunda TCDD'de bazı yapısal sorunlar meydana gelmiştir. Bunlar arasında demiryolu ağının yetersizliği, rekabet ortamının bulunmaması, altyapı standartlarının düşüklüğü, demiryolu araçlarının nicelik ve nitelik olarak yetersizliği, çift hat, sinyalli ve elektrikli hatların azlığı, uzman personel eksikliği, diğer ulaştırma türleri ile bütünleşme ve rekabette yaşanan sıkıntılar sayılabilir.

2003-2010 yılları arasında TCDD'ye sağlanan yatırım ödeneğinin artmasıyla birlikte yüksek hızlı demiryolu inşası, mevcut hatların ve araç parkının iyileştirilerek trenlerin hızlandırılması, demiryollarının yeniden yapılandırılmasıyla daha etkin ve verimli bir kuruluş haline getirilmesi ve özel sektörün demiryolu işletmeciliği yapabilmesinin sağlanması gibi hedefler belirlenmiştir (TCDD Demiryolu Sektör Raporu, 2010, s.5-17).

Avrupa-Asya arasındaki alternatif koridorların devamlılığını sağlamak ve Türkiye'nin üstlendiği köprü görevinin işlerliğini artırabilmek için bazı projeler hedeflenmektedir. Bunlar arasında Basra'dan Avrupa'ya kesintisiz demiryolu erişimi sağlanması amacıyla güden İstanbul-Basra Demiryolu Koridoru, Gebze'den Halkalı'ya kesintisiz demiryolu ulaşımı sağlayacak olan Marmaray Projesi, Kars-Bakü-Kazakistan-Çin koridoruna alternatif olarak düşünülen Kuzey Demiryolu Koridoru, Türkiye'yi Afrika'ya, enerji merkezi olan Arap Yarımadasına ve Hint Okyanusuna bağlayacak olan Hicaz Demiryolu Koridoru, yine İran ve Pakistan üzerinden dünyanın üçüncü büyük ekonomisi olarak görülen Hindistan'a bağlayan Güneydoğu Asya Demiryolu Koridoru sayılabilir (TCDD Demiryolu Sektör Raporu, 2010, s.5-17).

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, s.14).

3.2 Demiryolu Taşımacılığında Etkinlik Ölçümü

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, s.1570-1571). Ayrıca Şaşmaz (2008) Türkiye için demiryolu değerlerini kullanarak VZA, indeksleme yöntemi ve TFV (Toplam Faktör Verimliliği) yöntemleriyle analizlerde bulunmuştur.

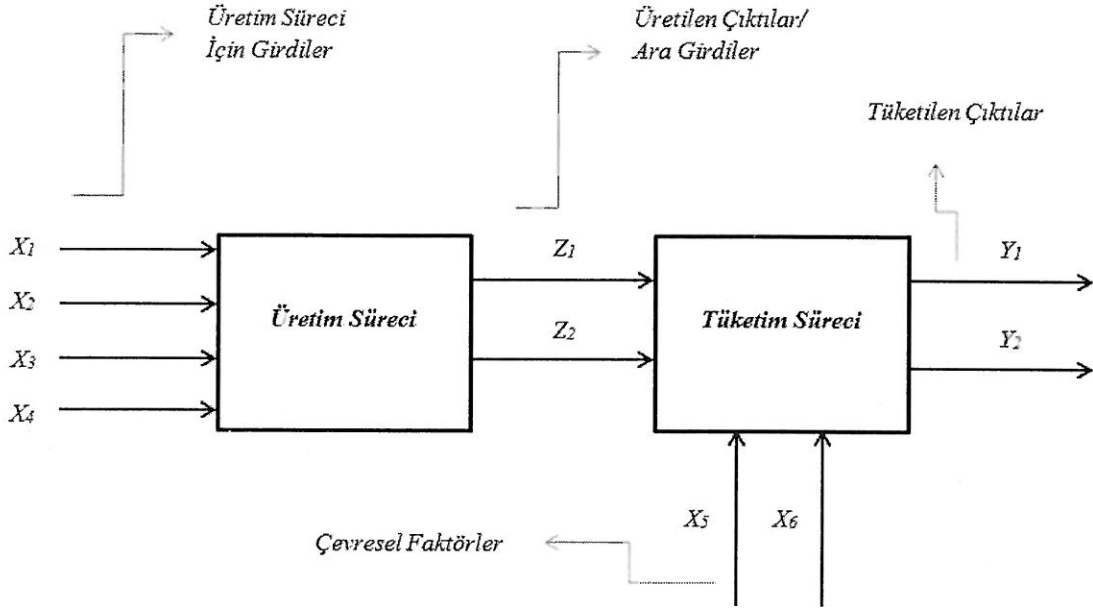
Jain vd. (2008) bir kentsel demiryolu şirketini tek aşamalı bir süreç olarak modellemişlerdir. Bu modelde şirketin kullandığı kaynaklar çalışan sayısı, vagon ve elektrikli çoklu ünite sayısı ve toplam hat uzunluğudur. Model yolcu için yolculuk mesfesi ve tren yolculuk mesafesi (tren – km) üretmektedir. Kentsel bir raylı sistemden farklı olarak bölgesel

bir demiryolu sistemi sadece yolcu değil aynı zamanda yük te taşımaktadır. Bir yolcu tren sistemi için en çok kullanılan çıktılar yolcu treni mesafesi (yolcu tren – km) ve yolcu mesafesi (yolcu – km)'dir. Demiryolu yükü bir çok demiryolu için bir başka önemli çıktıdır. Dolayısıyla yük treni mesafesi (yük tren – km) ve ton mesafesi (ton – km) demiryolu yük sektörü için çıktı olarak düşünülmektedir. Girdi tarafı düşünüldüğünde iki genel girdi kategorisi düşünülebilir. Bunlardan birincisi emektir ki bir demiryolunda direk olarak çalışan sayısı ile ölçülebilir. İkincisi ise sermayedir ve altyapı ve tesisleri içermektedir. Bazı geçmiş çalışmalar hat uzunluğu ve vagon sayısını sermayenin girdileri olarak almışlardır. Bu durumda yük taşımacılığı da düşünüldüğünde yolcu vagon sayısı, yük vagon sayısı ve hat uzunluğu sermayenin girdileri olarak alınabilir. Bu durumda Jain vd. (2008) tarafından oluşturulan model de dikkate alınırsa bir üretim ve tüketim süreçlerinden oluşan bir NVZA modeli ortaya konulabilir (Yu, 2008, s.1289-1290)

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 GSMH değerleridir. Son olarak tüketim sürecinin çıktıları yolcu – km ve ton – km değerleridir ki bu değerler aynı zamanda sistemin de çıktılarıdır.

3.3 Network VZA Modeli

2008 yılında Yu (2008), dünya çapında 40 ülkenin demiryolu verilerini kullanarak, bu ülkelerin demiryolu etkinliklerini karşılaştırmıştır. Çalışmasında Yu (2008), demiryollarının etkinliğini ölçebilmek için bir network modeli ortaya koymuştur. Bu çalışmada da Yu (2008) tarafından ortaya atılan model kullanılacaktır. Söz konusu modelde demiryolu için iki KVB öngörülmektedir. Bu KVB'lerin birincisi üretim düğümü, ve diğeri tüketim düğümüdür. Model şekil olarak Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Demiryolu İçin Network Modeli

Yu (2008) sistemin tamamı için 6 adet girdi (X_1, \dots, X_6), ve 2 adet çıktı (Y_1, Y_2) tanımlamıştır. Sistem üretim ve tüketim süreci olarak ayrıştırıldığında, üretim süreci için 4 adet girdi (X_1, \dots, X_4), ve 2 adet çıktı (Z_1, Z_2); ve tüketim süreci için 4 adet girdi (Z_1, Z_2, X_5, X_6), ve 2 adet çıktı (Y_1, Y_2), ortaya çıkmaktadır. Z_1 ve Z_2 üretim sürecinin çıktıları olup, aynı zamanda tüketim sürecinin de girdileridir, dolayısıyla ara girdi ya da ara çıktı olarak nitelendirilebilirler.

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.

Yu (2008) çalışmasında demiryolu etkinliklerini iki ayrı modelde karşılaştırmıştır. İlk olarak geleneksel VZA ile çıktıya yönelik CCR modelini kullanarak sistemin tamamı, üretim

süreci ve tüketim süreçlerini karşılaştırmış; sonrasında ise network VZA modelini kullanarak aynı sistem ve süreçler için karşılaştırmayı tekrarlamıştır. Böylece hem klasik VZA modeliyle Network VZA modelinin hem de ülkelerin demiryolu etkinliklerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Daha önce bahsedildiği üzere Network VZA için standart bir model bulunmamaktadır. Model genellikle üzerinde çalışılması planlanan sistemin yapısına göre geliştirilmektedir. Bununla birlikte aynı sisteme farklı yaklaşımlarla farklı modeller kurmak ta mümkündür. Bunun en önemli örneklerinden biri daha önce ilişkisel modelden bahsedilirken gösterilmiş olan, Kao (2009) tarafından geliştirilen ilişkisel modelin Fare ve Grosskopf'un (2000) direk uzaklık fonksiyonu kullanarak çözdüğü modeli çözümlenmek için kullanılmasıdır.

Yu (2008) tarafından ortaya konulan çalışmada Network VZA modeli olarak Fare ve Grosskopf (1996, 2000) ve Fare ve Whittaker (2003) tarafından kullanılan model kullanılarak etkinlik analizi yapılmıştır. Fare ve Grosskopf (2000) tarafından ortaya atılan ve yine Fare ve Grosskopf (2000) ve Fare ve Whittaker tarafından tekrarlanan model ile Kao (2009) tarafından geliştirilen ilişkisel model arasındaki önemli fark şu şekilde açıklanabilir: Kao (2009) tarafından geliştirilen modelde herhangi bir girdi ya da çıktının ağırlığının, bu girdi/çıktı'nın ara girdi/çıktı olarak bir düğümün girdisi ve aynı zamanda başka bir düğümün çıktısı ya da birden fazla düğüm tarafından paylaşılan bir girdi/çıktı olup olmadığına bakılmaksızın her durumda aynı olmasıdır. Oysa, Fare ve Grosskopf (1996, 2000) ve Fare ve Whittaker (2003) tarafından ortaya atılan modelde böyle bir kısıt söz konusu değildir. Kao (2009) bu şekilde bir girdi ya da çıktının etkinlik üzerindeki ağırlığını sabit tutarken, optimal ağırlıklar ve dolayısıyla etkinlik değerleri üzerindeki kısıtlamayı da artırmakta ve sonuç olarak elde edilen etkinlik değerleri gerek VZA yöntemi ve gerekse klasik Network VZA yöntemiyle elde edilen etkinlik değerlerinden daha düşük olabilmektedir. Aslında Kao'nun (2009) çalışmasında gösterdiği gibi klasik VZA modeliyle elde edilen etkinlik değerleri İlişkisel Network VZA modeliyle elde edilen değerlerin alabileceği maksimum değerlerdir. İlişkisel Network VZA modeliyle elde edilen değer klasik VZA modelinden elde edilecek değeri aşamaz.

Bu çalışmada Yu (2008) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak aynı network modeli için İlişkisel Network VZA yöntemi kullanılacak ve klasik VZA modeli ile elde edilecek sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

3.3.1 Demiryolu Etkinlik Analizi İçin İlişkisel Network VZA Modeli

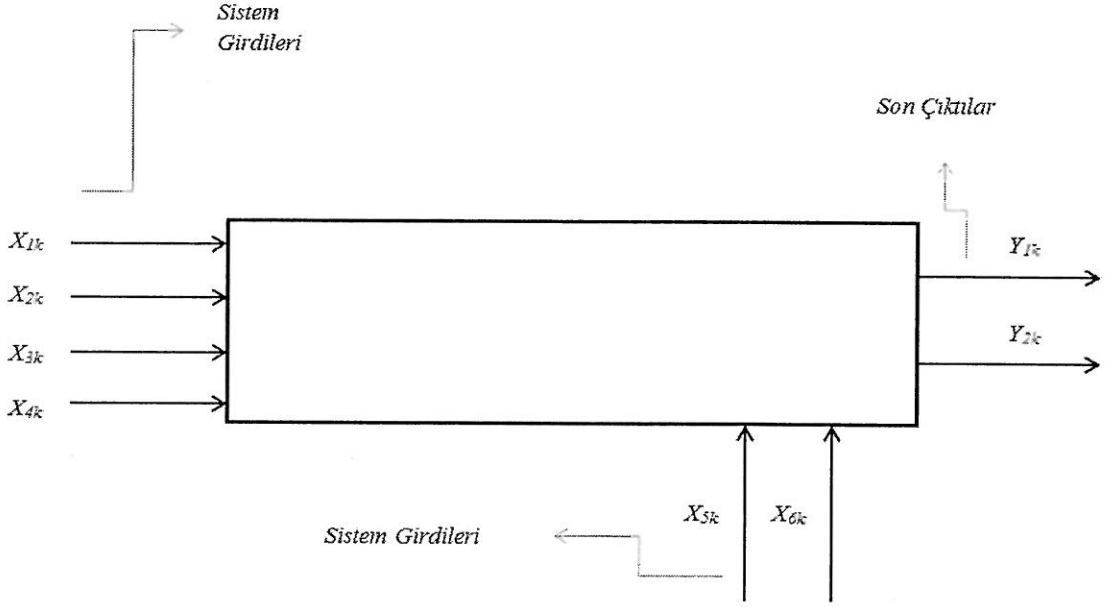
İncelenecek J adet sistem olmak üzere ($j=1, \dots, J$) k 'inci sistem için kurulacak model şu şekilde olacaktır:

Amaç Fonksiyonu: Aynen girdiye yönelik CCR modelinde olduğu gibi amaç, sistem çıktılarının ağırlıklı toplamlarını maksimize etmektir. Burada amaç fonksiyonu ara girdi ya da çıktılar değil sistemin son çıktılarıyla ilgilenir. 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 çıktıların 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 ε değerinden büyük ya da eşit olması gerekir.

Burada ε^* değeri arşimet – olmayan (non-archimedean) çok küçük bir sayıyı temsil etmektedir. Sıfır rakamı yerine ε 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) incelenebilir.

Demiryolları için şekilsel olarak belirlenen modelin matematiksel yapısı aşağıdaki şekilde belirlenebilir: k 'inci sistem için, sistemin kara kutu (black box) hali Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 k'inci Sistem İçin Sistemin Kara Kutu Hali

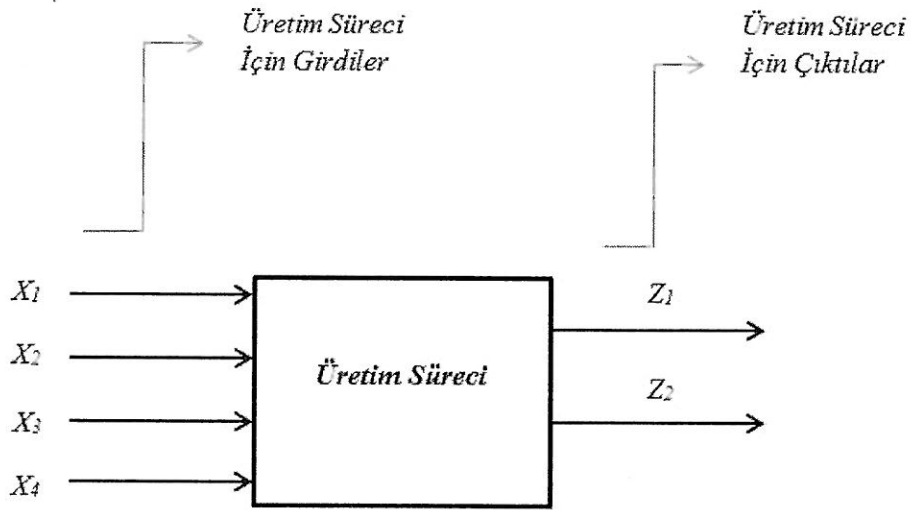
Sistemin kara kutu hali kullanılarak amaç fonksiyonu ve sistem kısıtı aşağıdaki şekilde olacaktır:

$$\text{Max}Z = u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} \quad (3.1)$$

$$\text{s.t. } v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} = 1 \quad (3.2)$$

$$u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.3)$$

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 3.3'te gösterilmiştir.

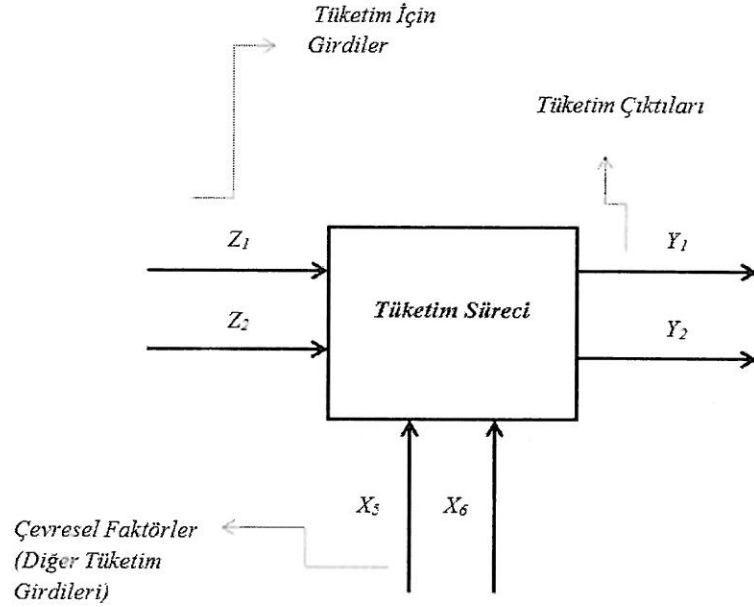


Şekil 3.3 Üretim Süreci

Üretim süreci için kısıt aşağıdaki gibi olur:

$$w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.4)$$

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 3.4'te görülebilir.



Şekil 3.4 Tüketim Süreci

Sistemin girdilerinden olan X_5 ve X_6 burada tüketim düğümünün girdilerindedir. Benzer şekilde sistemin son çıktıları da aynı zamanda bu sürecin çıktısıdır. Süreç için kısıt fonksiyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} - (w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.5)$$

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

$$u_1, u_2, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, w_1, w_2, \geq \varepsilon \quad (3.6)$$

Sonuç olarak, Şekil 3.1.'de şekilsel olarak verilen network yapısının ilişkisel network VZA yöntemine göre matematiksel modeli şu şekildedir:

$$MaxZ = u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} \quad (3.7)$$

$$s.t. \quad v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} = 1 \quad (3.8)$$

$$u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.9)$$

$$w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} - (v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.10)$$

$$u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} - (w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.11)$$

$$u_1, u_2, v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, w_1, w_2 \geq \varepsilon \quad (3.12)$$

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'ncı sistem için etkinlik değerleri aşağıdaki gibi bulunabilir:

Tüm sistemin etkinliği:

$$E_k^{(sis)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (3.13)$$

Üretim sürecinin etkinliği:

$$E_k^{(irt)} = \frac{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k}} \quad (3.14)$$

Tüketim sürecinin etkinliği:

$$E_k^{(tik)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (3.15)$$

Bu çalışmada network VZA yöntemi ile bulunan sonuçlarla klasik, çıktıya yönelik CCR yöntemiyle elde edilecek sonuçlar karşılaştırılacaktır. Bu sebeple Şekil 3.1'de gösterilen network yapısı için çıktıya yönelik CCR modelinin geliştirilmesi gerekmektedir. Çıktıya yönelik CCR modeli ile sistemin kara kutu hali (Şekil 3.2), üretim süreci (Şekil 3.3) ve tüketim süreci (Şekil 3.4) için etkinlik analizi yapılabilir. Her bir düğüm için çıktıya yönelik CCR modeli aşağıdaki gibi olur:

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

$$\text{Min} Z = v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} \quad (3.16)$$

$$\text{s.t.} \quad u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} = 1 \quad (3.17)$$

$$v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j} - (u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j}) \geq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.18)$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, u_1, u_2 \geq \varepsilon \quad (3.19)$$

Optimal ağırlık değerleri bulunduğunda tüm sistem için etkinlik değeri:

$$E_k^{(sis)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (3.20)$$

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

$$MinZ = v_1 X_{1k} + v_2 X_{2k} + v_3 X_{3k} + v_4 X_{4k} \quad (3.21)$$

$$s.t. \quad w_1 Z_{1k} + w_2 Z_{2k} = 1 \quad (3.22)$$

$$v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j} + v_3 X_{3j} + v_4 X_{4j} - (w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j}) \geq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.23)$$

$$v_1, v_2, v_3, v_4, w_1, w_2 \geq \varepsilon \quad (3.24)$$

Ağırlık değerleri için optimal sonuçlar bulunduğunda k'nci sistem için etkinlik değeri,

$$E_k^{(irt)} = \frac{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k}}{v_1^* X_{1k} + v_2^* X_{2k} + v_3^* X_{3k} + v_4^* X_{4k}} \quad (3.25)$$

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

$$MinZ = w_1 Z_{1k} + w_2 Z_{2k} + v_5 X_{5k} + v_6 X_{6k} \quad (3.26)$$

ve kısıtlar,

$$s.t. \quad u_1 Y_{1k} + u_2 Y_{2k} = 1 \quad (3.27)$$

$$w_1 Z_{1j} + w_2 Z_{2j} + v_5 X_{5j} + v_6 X_{6j} - (u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j}) \geq 0 \quad j = 1, \dots, J \quad (3.28)$$

$$w_1, w_2, v_5, v_6, u_1, u_2 \geq \varepsilon \quad (3.29)$$

şeklinde olurken, tüketim düğümü için etkinlik değeri,

$$E_k^{(tik)} = \frac{u_1^* Y_{1k} + u_2^* Y_{2k}}{w_1^* Z_{1k} + w_2^* Z_{2k} + v_5^* X_{5k} + v_6^* X_{6k}} \quad (3.30)$$

ile bulunur.

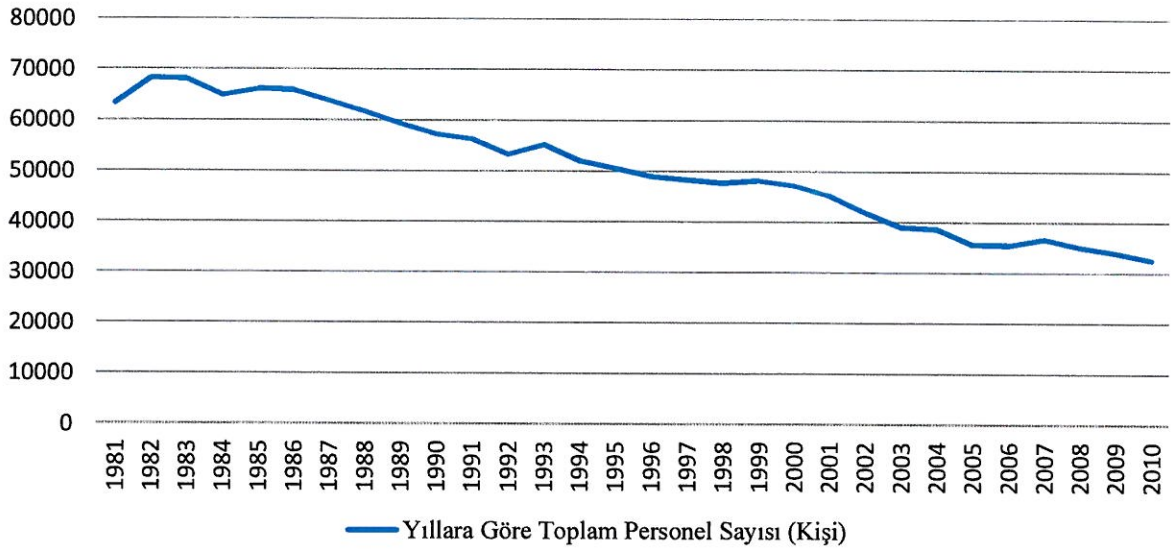
3.3.2 Veriler

Bu çalışmada, Türkiye’de demiryolları için 1981 – 2010 yılları arası, 30 yıllık dönem verileri alınmıştır. Etkinlik analizi için kullanılan veriler aşağıdaki gibidir:

- Personel (X_1): 1981 – 2005 yılları arası personel sayısı için TCDD 1923 – 2005 Yılları Arası İstatistiki Bilgileri ve 2006 – 2010 yılları arası için TCDD 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı kullanılmıştır. Veri, toplam personel sayısını ifade etmektedir. Toplam personel sayısı çalışma yerlerine göre TCDD Genel Müdürlüğü ve Bölge Müdürlükleri, ayrıca Limanlar Dairesi ve Birimleri, TÜLOMSAŞ (Eskişehir), TÜDEMSAŞ (Sivas), TÜVASAŞ (Adapazarı) ve Bağlı Ortaklıklardan oluşmaktadır. Benzer şekilde kadro gurubuna göre sözleşmeli, memur ve işçilerin toplam sayısını yansıtmaktadır. Buna göre 1981 – 2010 yılları arasında TCDD’nin yıllara göre toplam personel sayısı Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Ayrıca Grafik 3.1’de yıllara göre toplam personel sayısının grafiksel gösterimi yer almaktadır.

Tablo 3.1 TCDD 1981-2010 Arası Toplam Personel Sayısı

<i>Yıl</i>	<i>Personel</i> <i>(kişi)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Personel</i> <i>(kişi)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Personel</i> <i>(kişi)</i>
2010	32.642	2000	47.212	1990	57.252
2009	33.998	1999	48.166	1989	59.323
2008	35.141	1998	47.628	1988	61.788
2007	36.720	1997	48.296	1987	63.826
2006	35.456	1996	49.043	1986	65.927
2005	35.593	1995	50.569	1985	66.152
2004	38.710	1994	52.035	1984	64.964
2003	39.023	1993	55.223	1983	68.056
2002	41.978	1992	53.304	1982	68.282
2001	45.175	1991	56.311	1981	63.421



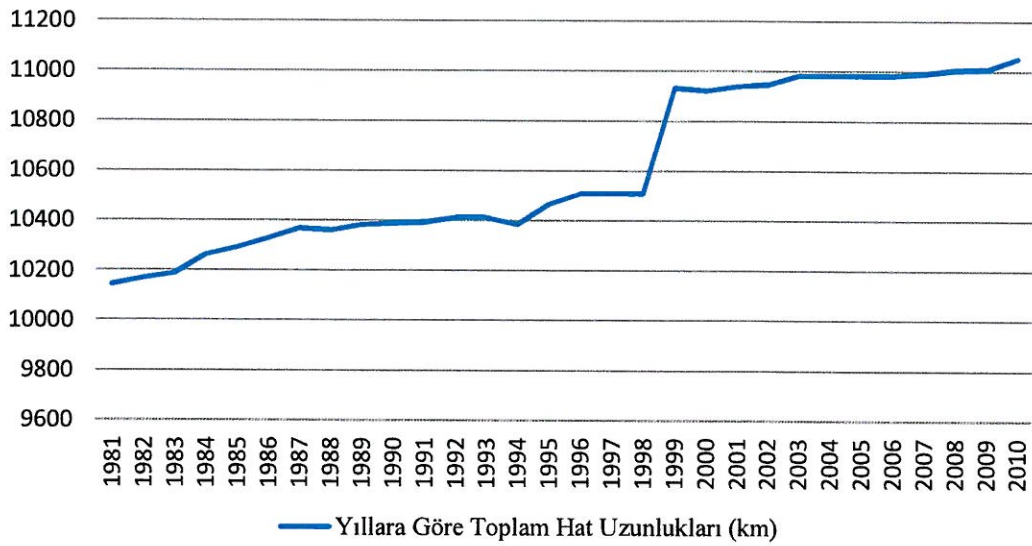
Grafik 3.1 Yıllara Göre Toplam Personel Sayısı

Toplam personel sayısının yıllara göre gittikçe azalmış olduğu Grafik 4.1'den de görülebilmektedir.

- Toplam Hat Uzunluğu (X_2): Toplam hat uzunluğu değerleri, TCDD 1923 – 2005 Yılları Arası İstatistik Bilgileri ve 2006 – 2010 yılları arası için, TCDD 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı yardımıyla bulunmuştur. Toplam hat uzunluğuna anahatlar, iltisak ve istasyon yolu uzunlukları dahildir. Buna göre 1981 yılından itibaren 2010 yılına kadar toplam hat uzunlukları aşağıdaki tablodadır.

Tablo 3.2 Yıllara Göre Toplam Hat Uzunlukları

<i>Yıl</i>	<i>Hat Uzunluğu (km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Hat Uzunluğu (km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Hat Uzunluğu (km)</i>
2010	11.052	2000	10.922	1990	10.389
2009	11.008	1999	10.933	1989	10.382
2008	11.005	1998	10.508	1988	10.361
2007	10.991	1997	10.508	1987	10.369
2006	10.984	1996	10.508	1986	10.328
2005	10.984	1995	10.466	1985	10.292
2004	10.984	1994	10.386	1984	10.263
2003	10.984	1993	10.413	1983	10.188
2002	10.948	1992	10.413	1982	10.168
2001	10.940	1991	10.393	1981	10.144

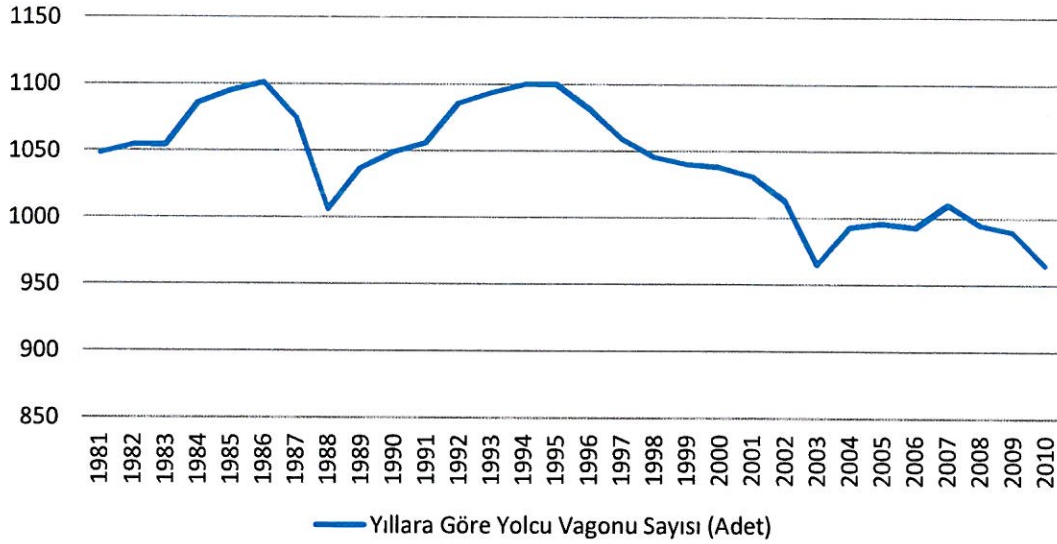


Grafik 3.2 Yıllara Göre Toplam Hat Uzunlukları

- Yolcu Vagonu Sayısı (X_3): Toplam yolcu vagonu sayısı banliyö tipi, pulman, kompart, kuşetli, yataklı ve yemekli yolcu vagonlarından oluşmaktadır. TCDD 1923 – 2005 Yılları Arası İstatistiki Bilgileri ve 2006 – 2010 yılları arası için, TCDD 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı kaynaklarından alınan verilere göre 1981 – 2010 yılları arası toplam yolcu vagonu sayısı aşağıdaki tablodadır:

Tablo 3.3 Yıllara Göre Toplam Yolcu Vagonu Sayısı

<i>Yıl</i>	<i>Yolcu Vagonu Sayısı (Adet)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yolcu Vagonu Sayısı (Adet)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yolcu Vagonu Sayısı (Adet)</i>
2010	965	2000	1038	1990	1049
2009	990	1999	1040	1989	1037
2008	995	1998	1046	1988	1006
2007	1010	1997	1059	1987	1075
2006	993	1996	1082	1986	1101
2005	996	1995	1100	1985	1095
2004	993	1994	1100	1984	1086
2003	965	1993	1094	1983	1054
2002	1013	1992	1086	1982	1054
2001	1031	1991	1056	1981	1048



Grafik 3.3 Yıllara Göre Yolcu Vagonu Sayısı

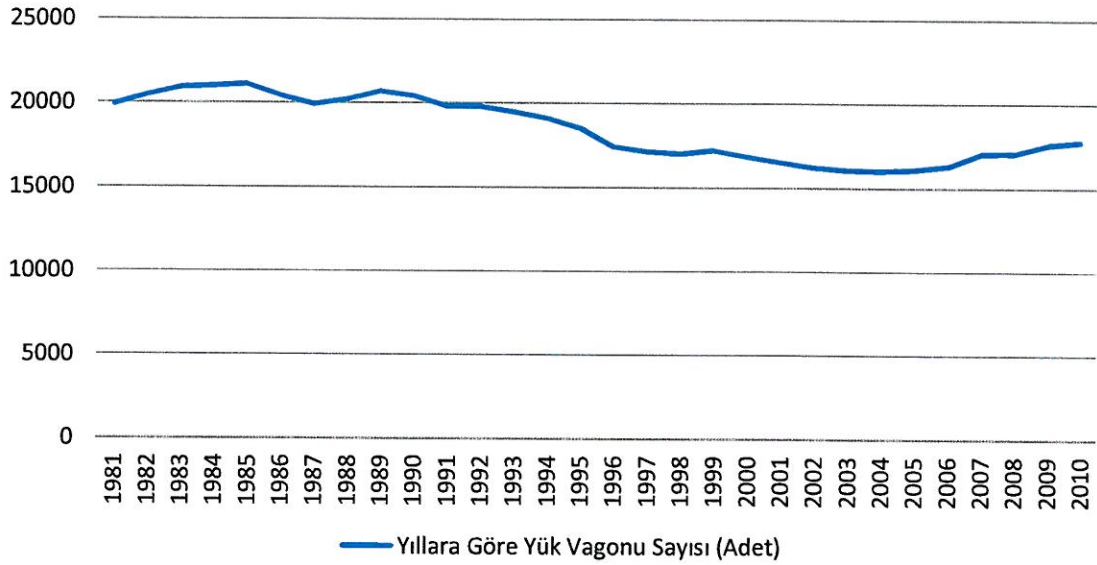
Toplam yolcu vagonu sayısının yıllara göre değişimi grafikte görülmektedir.

- **Yük Vagonu Sayısı (X₄):** Yıllar içinde toplam yük vagonu sayısına yine daha önce belirtilmiş olan TCDD'nin istatistiki kaynaklarından ulaşılmıştır. Toplam yük vagonu sayısı kapalı vagonlar, açık vagonlar, platform vagonlar ve sarnıçlı vagonların sayıları toplanarak ulaşılabılır. Yıllara göre yük vagonu sayıları aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3.4 Yıllara Göre Yük Vagonu Sayısı

<i>Yıl</i>	<i>Yük Vagonu Sayısı (Adet)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yük Vagonu Sayısı (Adet)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yük Vagonu Sayısı (Adet)</i>
2010	17773	2000	16858	1990	20453
2009	17607	1999	17213	1989	20719
2008	17079	1998	16989	1988	20255
2007	17041	1997	17138	1987	19940
2006	16320	1996	17442	1986	20468
2005	16102	1995	18532	1985	21134
2004	16004	1994	19132	1984	20994
2003	16070	1993	19513	1983	20931
2002	16241	1992	19847	1982	20492
2001	16513	1991	19832	1981	19955

Yük vagonu sayılarının özellikle ilk yıllarda yüksek olduğu Tablo 4.4 ve Grafik 4.4'te görülmektedir.

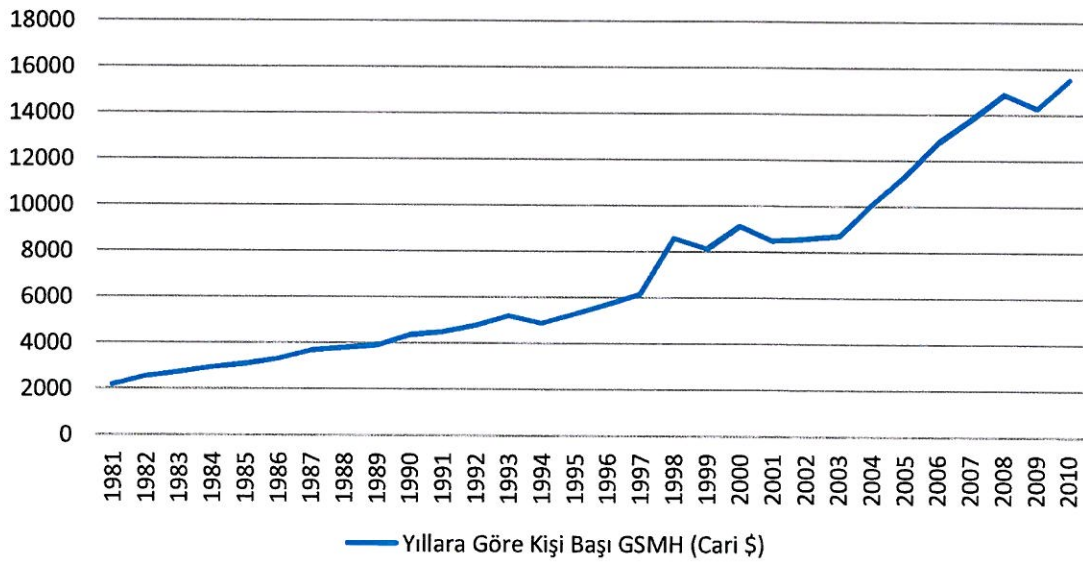


Grafik 3.4 Yıllara Göre Yük Vagonu Sayısı

- Kişi Başı GSMH (X_5): Türkiye için kişi başı GSMH değerleri www.worldbank.com adresinden alınmıştır. Değerler PPP (satınalma gücü paritesi) üzerinden ve mevcut uluslararası dolar birimindedir. GSMH tanım olarak bir ülke vatandaşlarının belli bir zaman diliminde ürettikleri mal ve hizmetlerin belli bir para birimi karşılığındaki toplam değeridir. Burada vatandaşlık kavramı GSMH ile GSYİH arasındaki farkı ortaya koyar. GSYİH yabancı ülke vatandaşlarının o ülkedeki faaliyetleri sonucu ürettikleri mal ve hizmetleri de kapsar. GSMH hesaplanırken yabancı ülkelerdeki vatandaşların ülkeye gönderdikleri faktör gelirlerinin GSYİH'ye eklenmesi ve ülkede yabancıların kendi ülkelerine gönderdikleri faktör gelirlerinin çıkarılmasıyla bulunur. Kişi başı GSMH değerinin bulunması için ülkenin GSMH değerinin ülkenin nüfus değerine bölünmesi gereklidir. Türkiye için 1981 – 2010 yılları arası kişi başı GSMH değerleri aşağıda yer almaktadır.

Tablo 3.5 Türkiye’de Kişi Başı GSMH

<i>Yıl</i>	<i>Kişi Başı GSMH (Cari Dolar)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Kişi Başı GSMH (Cari Dolar)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Kişi Başı GSMH (Cari Dolar)</i>
2010	15.530	2000	9.120	1990	4.360
2009	14.260	1999	8.140	1989	3.890
2008	14.890	1998	8.580	1988	3.780
2007	13.790	1997	6.160	1987	3.650
2006	12.800	1996	5.700	1986	3.300
2005	11.330	1995	5.280	1985	3.080
2004	10.090	1994	4.880	1984	2.930
2003	8.700	1993	5.190	1983	2.710
2002	8.570	1992	4.770	1982	2.540
2001	8.470	1991	4.470	1981	2.170



Grafik 3.5 Yıllara Göre Kişi Başı GSMH

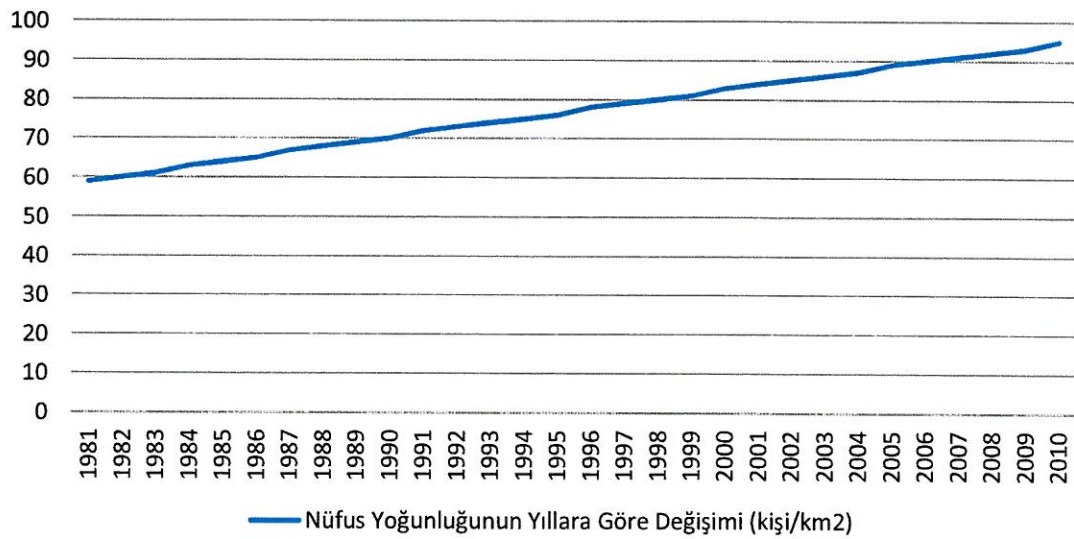
Türkiye’de kişi başı GSMH’nin son yıllarda artmakta olduğu grafikten görülebilmektedir.

- Nüfus Yoğunluğu (X_6): Türkiye için nüfus yoğunluğu değerleri Dünya Bankası’nın resmi internet sitesi olan www.worldbank.com adresinden edinilmiştir. Nüfus yoğunluğu

kilometre kareye düşen kişi sayısı olarak tarif edilebilir. Türkiye'nin 1981 – 2010 arası nüfus yoğunluğu değerleri yıllara göre Tablo 3.6 'da yer almaktadır.

Tablo 3.6 Yıllara Göre Nüfus Yoğunluğu

<i>Yıl</i>	<i>Nüfus Yoğunluğu (kişi/km²)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Nüfus Yoğunluğu (kişi/km²)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Nüfus Yoğunluğu (kişi/km²)</i>
2010	95	2000	83	1990	70
2009	93	1999	81	1989	69
2008	92	1998	80	1988	68
2007	91	1997	79	1987	67
2006	90	1996	78	1986	65
2005	89	1995	76	1985	64
2004	87	1994	75	1984	63
2003	86	1993	74	1983	61
2002	85	1992	73	1982	60
2001	84	1991	72	1981	59

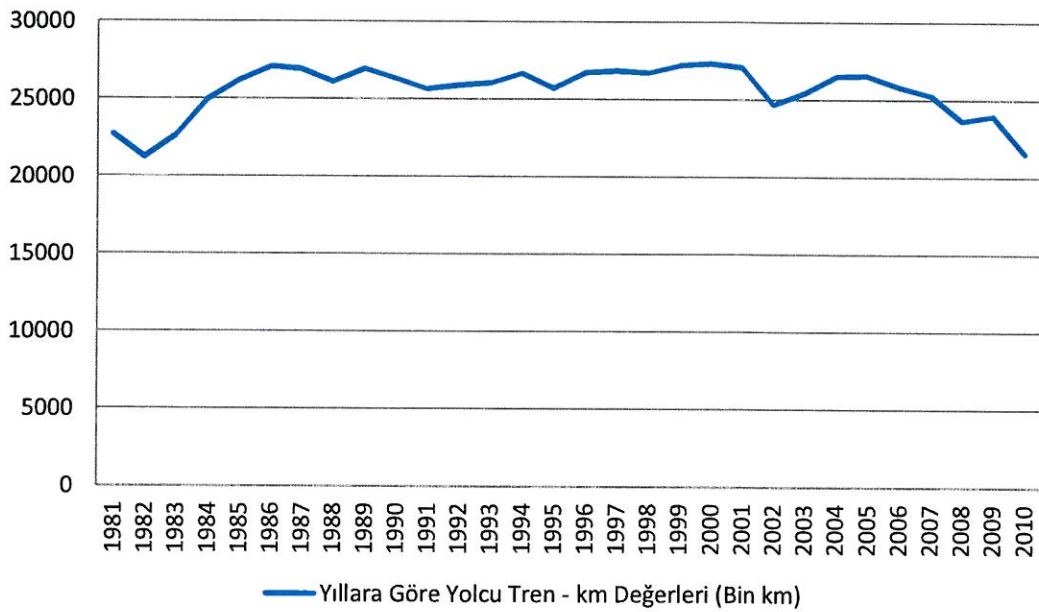


Grafik 3.6 Nüfus Yoğunluğunun Yıllara Göre Değişimi

- Yolcu Tren – km (Z_1): Yolcu Tren – km bir yıl içerisinde yolcu trenleri ile yapılan yolu ifade etmektedir. Yolcu tren – km değerleri TCDD 1923 – 2005 Yılları Arası İstatistik Bilgileri ve 2006 – 2010 yılları arası için TCDD 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı'ndan alınmıştır. Yolcu tren – km değerleri banliyö, mavi tren, ekspres ve normal yolcu treni değerleri ile birlikte karma tren değerinin yarısı toplanarak bulunmaktadır. Değerler aynı zamanda dizelli loko, dizelli dizi, elektrikli loko ve elektrikli dizi değerlerinin toplamıdır. 1981 – 2010 yılları arası yolcu tren – km değerleri tabloda verilmiştir.

Tablo 3.7 Yıllara Göre Yolcu Tren – km Değerleri

<i>Yıl</i>	<i>Yolcu Tren - km (Bin km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yolcu Tren - km (Bin km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yolcu Tren - km (Bin km)</i>
2010	21566	2000	27324	1990	26306
2009	23990	1999	27178	1989	26959
2008	23678	1998	26722	1988	26104
2007	25306	1997	26828	1987	26911
2006	25826	1996	26709	1986	27057
2005	26545	1995	25710	1985	26194
2004	26506	1994	26675	1984	24980
2003	25437	1993	26046	1983	22649
2002	24702	1992	25870	1982	21255
2001	27058	1991	25647	1981	22728

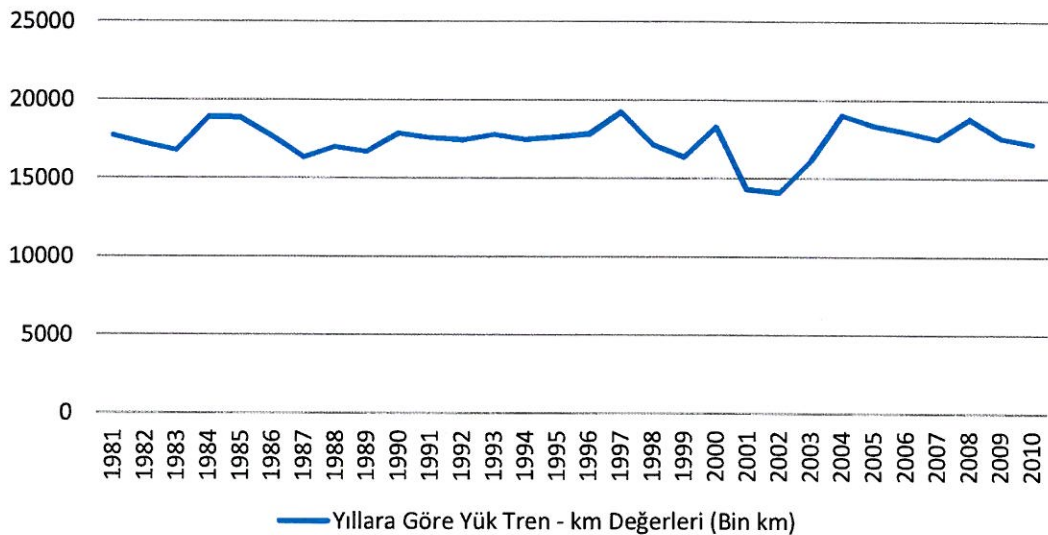


Grafik 3.7 Yıllara Göre Yolcu Tren – km

- **Yük Tren – km (Z_2):** Yük treninin bir yılda aldığı mesafenin km cinsinden değeri Yük tren – km olarak tanımlanır. Yük tren – km değerleri TCDD 1923 – 2005 Yılları Arası İstatistiki Bilgileri ve 2006 – 2010 yılları arası için TCDD 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı'ndan alınmıştır. Yük tren – km değerleri, yük treni mesafeleri ve karma tren mesafesinin yarısı toplanarak bulunmaktadır. TCDD için 1981 – 2010 yılları arası yük tren – km değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir. Değerlerin grafiksel gösterimi Grafik 3.8'de yer almaktadır.

Tablo 3.8 Yıllara Göre Yük Tren – km Değerleri

<i>Yıl</i>	<i>Yük Tren - km (Bin km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yük Tren - km (Bin km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yük Tren - km (Bin km)</i>
2010	17.194	2000	18.300	1990	17.883
2009	17.589	1999	16.396	1989	16.690
2008	18.794	1998	17.178	1988	17.025
2007	17.507	1997	19.260	1987	16.329
2006	17.995	1996	17.815	1986	17.680
2005	18.390	1995	17.645	1985	18.844
2004	19.050	1994	17.465	1984	18.896
2003	16.140	1993	17.803	1983	16.761
2002	14.090	1992	17.425	1982	17.189
2001	14.315	1991	17.605	1981	17.718

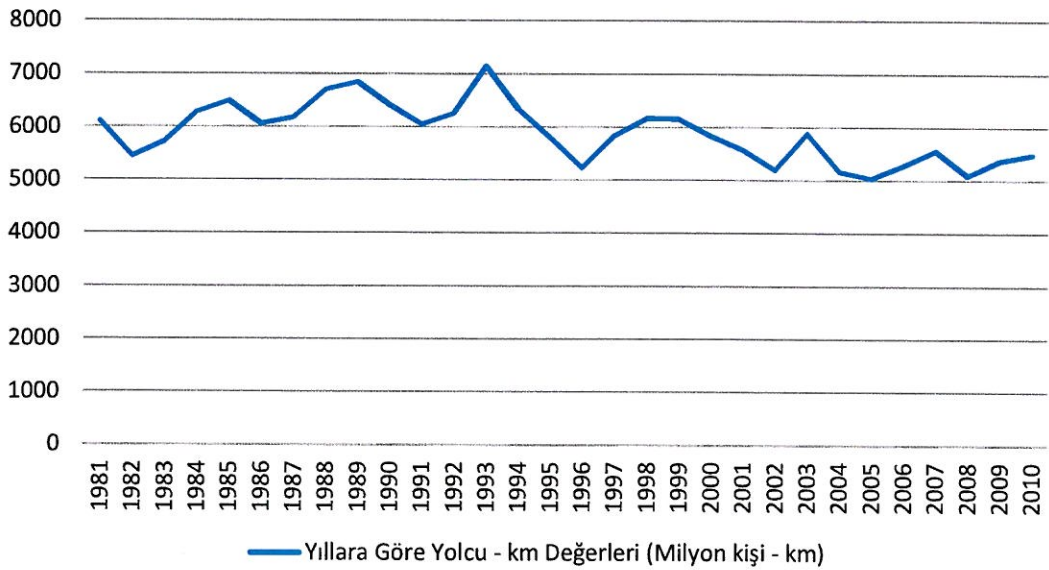


Grafik 3.8 Yıllara Göre Yük Tren – km Değerleri

- Yolcu – km (Y_1): Yolcu – km değeri bir yıl içerisinde yapılan toplam yolcu taşımalarını ifade eder. 1 Yolcu – km, bir yolcunun bir km taşınmasıdır. Yolcu – km değerleri TCDD'nin istatistiki bilgilerinden faydalanılarak edinilmiştir. Değerler banliyö ve anahat taşımalarını içermektedir. Türkiye'de 1981 – 2010 yılları arası yolcu – km değerleri aşağıdaki tablodadır.

Tablo 3.9 Yıllara Göre Yolcu – km Değerleri

<i>Yıl</i>	<i>Yolcu -Km (Milyon kişi - km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yolcu -Km (Milyon kişi - km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yolcu -Km (Milyon kişi - km)</i>
2010	5491	2000	5832	1990	6410
2009	5374	1999	6146	1989	6844
2008	5097	1998	6160	1988	6708
2007	5553	1997	5840	1987	6174
2006	5277	1996	5229	1986	6052
2005	5036	1995	5797	1985	6489
2004	5163	1994	6335	1984	6277
2003	5878	1993	7147	1983	5722
2002	5204	1992	6259	1982	5440
2001	5568	1991	6048	1981	6105

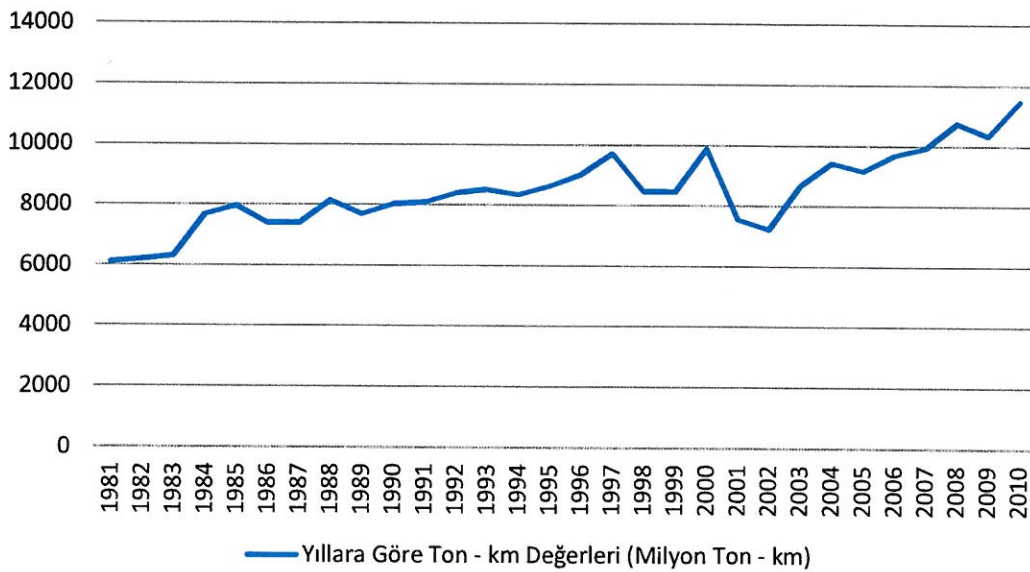


Grafik 3.9 Yıllara Göre Yolcu – km Değerleri

- Ton – km (Y_2): Ton – km ya da Netton – km bir yıl boyunca taşınan yük ölçütüdür. Birim olarak ton – km bir ton yükün (ambalaj, palet, konteyner vb.’nin ağırlıkları da dahil) bir km taşınmasını ifade eder. Ton – km değerleri TCDD 1923 – 2005 Yılları Arası İstatistik Bilgileri ve 2006 – 2010 yılları arası için TCDD 2006 – 2010 İstatistik Yıllığı’ndan alınmıştır. Ton – km değerleri yurtiçi, uluslararası, büyük hız, bagaj ve idari yük taşımaları içermektedir. TCDD için 1981 – 2010 arası ton – km değerleri Tablo 3.10’da gösterilmiştir. Bununla birlikte Grafik 3.10’da değerler grafiksel olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.10 Yıllara Göre Ton – km Değerleri

<i>Yıl</i>	<i>Ton - km</i> <i>(Milyon ton - km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Ton - km</i> <i>(Milyon ton - km)</i>	<i>Yıl</i>	<i>Ton - km</i> <i>(Milyon ton - km)</i>
2010	11.462	2000	9.895	1990	8.030
2009	10.326	1999	8.446	1989	7.706
2008	10.739	1998	8.466	1988	8.149
2007	9.921	1997	9.716	1987	7.404
2006	9.676	1996	9.018	1986	7.396
2005	9.152	1995	8.632	1985	7.958
2004	9.417	1994	8.338	1984	7.679
2003	8.669	1993	8.517	1983	6.301
2002	7.224	1992	8.383	1982	6.171
2001	7.561	1991	8.093	1981	6.091



Grafik 3.10 Yıllara Göre Ton – km Değerleri

3.3.3 Çözüm

Veri Zarflama Analizi veya Network Veri Zarflama Analizi ile kurulan bir model için piyasada çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. DEA Solver Pro, Deap, MaxDea gibi yazılımlar bunlardan sadece birkaçıdır.

Veri Zarflama Analizi ve Network Veri Zarflama Analizi doğrusal programlama ile çözümü gerçekleştirilen modellerdir. Bir VZA veya NVZA modeli için doğrusal programlama problemini çözen herhangi bir yazılım yeterli olmaktadır. Doğrusal programlama çözümü için son derece yaygın kullanılan yazılımlardan birisi Microsoft Office Excel yazılımıdır. Excel'de bulunan Solver (Çözücü) Eklentisi kullanılarak çok değişkenli ya da çok kısıtlı problemleri çözmek mümkündür. Bu çalışmada doğrusal problem çözümünde Solver eklentisi yardımıyla Microsoft Office Excel kullanılmıştır.

Kullanılan veri seti Tablo 3.11'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 ulaşılabilecektir. 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 bulunmaktadır. Bu durumda 30 adet sistem kısıtı ile birlikte $30 \times 2 = 60$ adet alt düğüm kısıtı bulunmaktadır. Bunların dışında elimizdeki 10 adet değişken için her bir sistem için ϵ (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 (ϵ) için 0'dan büyük ama oldukça küçük olabilmesi için 10^{-10} değeri atanmıştır.

Ağırlık katsayıları için bulunan optimal değerleri kullanarak her bir sistem (yıl) için etkinlik değerleri bulunabilir. Buna göre her bir yıl için sistem etkinliği ($E^{(sis)}$), üretim etkinliği ($E^{(üre)}$), ve tüketim etkinliği ($E^{(tik)}$) Tablo 3.12'te verilmektedir.

Tablo 3.11 Veri Seti

	Personel (kişi)	Hat Uzn. (km)	Yolcu Vagonu Sayısı (Adet)	Yük Vagonu Sayısı (Adet)	Kişi Başı GSMH (Cari Dolar)	Nüfus Yoğn. (kişi/km ²)	Yolcu Tren - km (Bin km)	Yük Tren - km (Bin km)	Yolcu - Km (Milyon kişi - km)	Ton - Km (Milyon 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	

Tablo 3.12 NVZA ile Bulunan Etkinlik Değerleri

Yıllar	$E^{(sis)}$	$E^{(üre)}$	$E^{(tükk)}$
2010	0,9991707	0,9838473	1
2009	0,9168367	0,9865966	0,9176134
2008	0,9611615	1	0,9611615
2007	0,8971067	0,9282971	0,9020762
2006	0,8850775	0,9744525	0,8868229
2005	0,8479983	1	0,8479983
2004	0,8867571	1	0,8867571
2003	0,8745555	0,9827853	0,8858997
2002	0,7255304	0,9053442	0,7521489
2001	0,7691540	0,9774796	0,7757663
2000	0,9724602	0,9421512	0,9773746
1999	0,8718617	0,9788663	0,8790596
1998	0,8861225	0,9871207	0,8905379
1997	1	1	1
1996	0,9514959	0,9765037	0,9671302
1995	0,9355245	0,9568654	0,9701837
1994	0,9453558	0,9955468	0,9488984
1993	0,9894307	0,9670249	1
1992	0,9476446	0,9624475	0,9694040
1991	0,9263075	0,9589192	0,9506281
1990	0,9452857	0,9841324	0,9517484
1989	0,9864854	0,9894610	0,9899681
1988	0,9967669	0,9920101	1
1987	0,9160170	0,9719526	0,9243531
1986	0,9206046	1	0,9206046
1985	0,9999976	0,9104768	1
1984	1	1	1
1983	0,9149632	0,8076864	0,9149678
1982	0,9031000	0,8225444	0,9031042
1981	0,9999967	0,8702532	1

Yukarıdaki tablo incelenirse, sistemin sadece 1984 ve 1997 yıllarında etkin olduğu görülebilir. Bununla birlikte, üretim süreci 1984, 1986, 1997, 2004, 2005 ve 2008 yıllarında etkindir. Tüketim süreci ise 1981, 1984, 1985, 1988, 1993, 1997 ve 2010 yıllarında etkindir. En düşük etkinlik değeri 2002 yılında sistemin tamamına aittir. 1984 ve 1997 yıllarında sistemin ve alt süreçlerin tamamının etkin olduğu görülmektedir.

Yukarıda NVZA ile çözülen model, her bir alt – süreç ve sistem ayrı ayrı olmak üzere klasik çıktıya yönelik CCR yöntemi ile de çözülebilir. Buna göre sistemin tamamı, üretim süreci ve tüketim süreci her bir yıl için ayrı ayrı çözümlenmektedir. Örneğin sistemin

tamamının çözümü için $J=30$ adet her bir yıl için, bir adet amaç fonksiyonu ve çıktıların ağırlıklı toplamını 1'e eşitleyen bir kısıt bulunmaktadır. Bununla beraber $J=30$ adet sistem kısıtı ve yine ağırlık katsayılarının ε sayısından büyük ya da eşit olmasını sağlayan kısıtlar bulunmaktadır.

Doğrusal programlama sonucu bulunan optimal ağırlıklar kullanılarak her bir yıl için üretim sürecinin etkinliği bulunabilir. Etkinlik değerleri Tablo 3.13'te yer almaktadır.

Tablo 3.13 CCR Yöntemiyle Üretim Süreci Etkinlik Değerleri

<i>Yıllar</i>	$E_{CCR}^{(üre)}$	<i>Yıllar</i>	$E_{CCR}^{(üre)}$
2010	0,9849063	1995	0,9587217
2009	0,9865999	1994	0,9996539
2008	1	1993	0,9695835
2007	0,9487485	1992	0,9654046
2006	0,9470388	1991	0,9589195
2005	1	1990	0,9841333
2004	1	1989	1
2003	0,9875144	1988	0,9920117
2002	0,9233858	1987	0,9976719
2001	1	1986	1
2000	1	1985	0,9987594
1999	0,9929196	1984	1
1998	1	1983	0,8954336
1997	1	1982	0,9199411
1996	0,9944842	1981	0,9508045

Tablodan görüldüğü üzere Çıktıya Yönelik CCR Yöntemiyle 1984, 1986, 1989, 1997, 1998, 2000, 2001, 2004, 2005 ve 2008 yıllarında etkin görünmektedir. Benzer şekilde tüketim süreci için optimal ağırlıklar ve etkinlik değerleri bulunabilir.

Tablo 3.14 CCR Yöntemiyle Tüketim Süreci Etkinlik Değerleri

<i>Yıllar</i>	$E_{CCR}^{(ük)}$	<i>Yıllar</i>	$E_{CCR}^{(ük)}$
2010	1	1995	0,9793804
2009	0,9218869	1994	0,9653333
2008	0,9624514	1993	1
2007	0,9241261	1992	0,9774540
2006	0,8880420	1991	0,9593198
2005	0,8479983	1990	0,9522651
2004	0,8867570	1989	1
2003	0,9778237	1988	1
2002	0,9613115	1987	0,9536225
2001	1	1986	0,9408511
2000	0,9800307	1985	1
1999	0,9774137	1984	1
1998	0,9377880	1983	0,9587745
1997	1	1982	0,9826316
1996	1	1981	1

Tüketim süreci için 1981, 1984, 1985, 1988, 1989, 1993, 1996, 1997, 2001 ve 2010 yılları etkin görünmektedir. Son olarak Çıktıya Yönelik CCR metoduyla tüm sistemin etkinlik değerleri bulunabilir. Tablo 3.15'te optimal ağırlıklar kullanılarak hesaplanan etkinlik değerleri yer almaktadır.

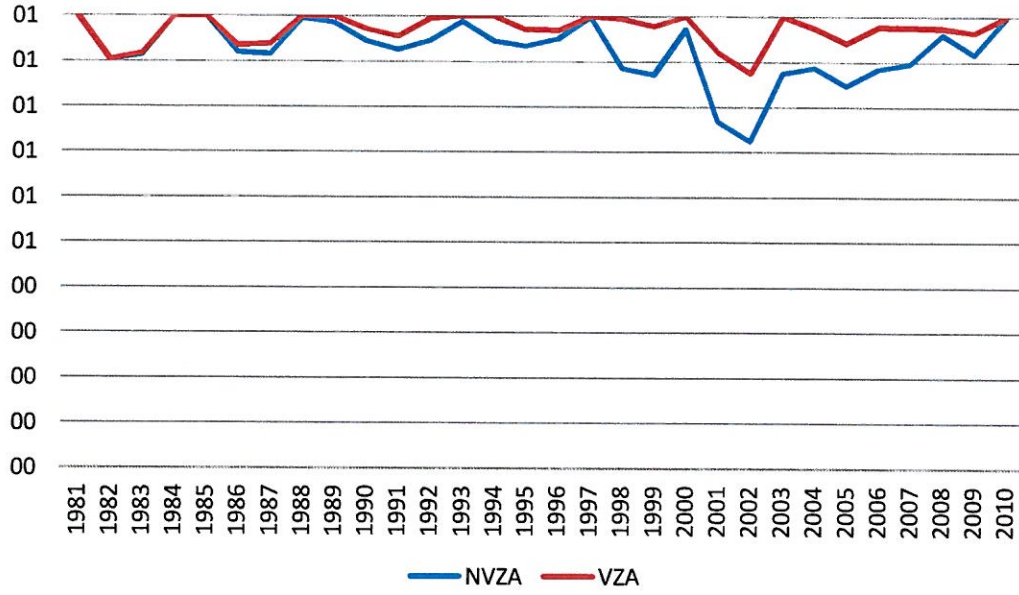
Tablo 3.15 CCR Yöntemiyle Tüm Sistemin Etkinlik Değerleri

<i>Yıllar</i>	$E_{CCR}^{(sis)}$	<i>Yıllar</i>	$E_{CCR}^{(sis)}$
2010	1	1995	0,9707433
2009	0,9645667	1994	1
2008	0,9744441	1993	1
2007	0,9752142	1992	0,9948435
2006	0,9776107	1991	0,9550375
2005	0,9420833	1990	0,9714448
2004	0,9746614	1989	1
2003	1	1988	1
2002	0,8756518	1987	0,9374764
2001	0,9213349	1986	0,9352935
2000	1	1985	1
1999	0,9787918	1984	1
1998	0,9951803	1983	0,9169858
1997	1	1982	0,9031027
1996	0,9684532	1981	1

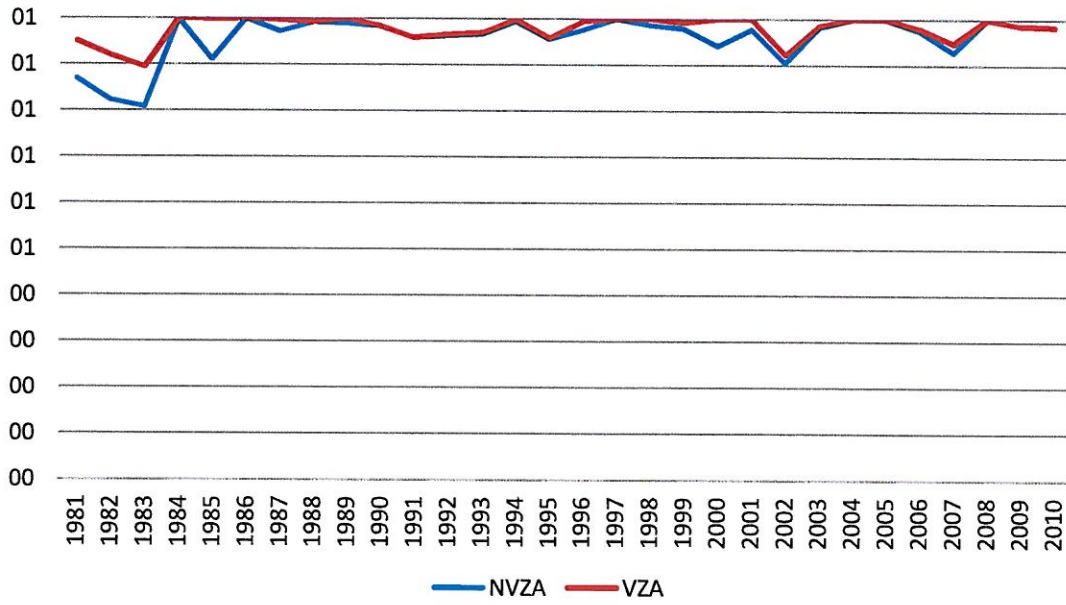
Tabloya göre tüm sistem için 1981, 1984, 1985, 1988, 1989, 1993, 1994, 1997, 2000, 2003 ve 2010 yılları etkindir. Tablo 3.16'da yıllar için NVZA ve klasik çıktıya yönelik CCR yöntemi ile uygulanan VZA yöntemiyle bulunan sonuçlar yer almaktadır. Ayrıca Grafik 3.11, Grafik 3.12 ve Grafik 3.13'te NVZA ve VZA ile bulunan etkinlik değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir.

Tablo 3.16 NVZA ve VZA ile Sistem, Üretim Süreci ve Tüketim Süreci Etkinlikleri

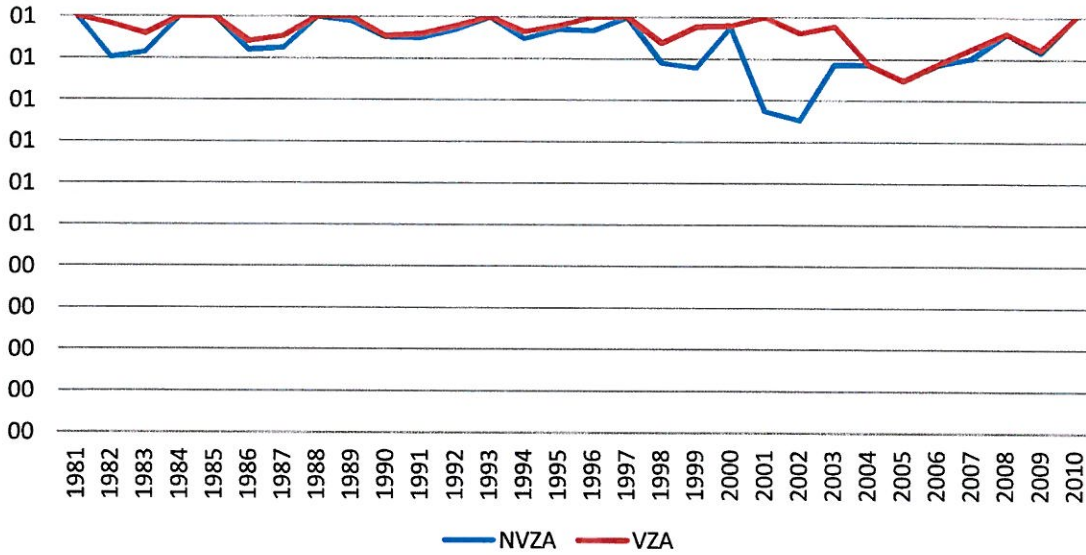
Yıllar	E^{sis}		$E^{üre}$		$E^{tük}$	
	NVZA	VZA	NVZA	VZA	NVZA	VZA
2010	0,9991707	1	0,9838473	0,9849063	1	1
2009	0,9168367	0,9645667	0,9865966	0,9865999	0,9176134	0,9218869
2008	0,9611615	0,9744441	1	1	0,9611615	0,9624514
2007	0,8971067	0,9752142	0,9282971	0,9487485	0,9020762	0,9241261
2006	0,8850775	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
<i>Ortalama</i>	<i>0,9257590</i>	<i>0,9710973</i>	<i>0,9604255</i>	<i>0,9796799</i>	<i>0,9324736</i>	<i>0,9645087</i>
<i>St. Sapma</i>	<i>0,0653823</i>	<i>0,0332539</i>	<i>0,0497082</i>	<i>0,0275207</i>	<i>0,0634316</i>	<i>0,0384837</i>



Grafik 3.11 NVZA ve VZA ile Sistem Etkinliği



Grafik 3.12 NVZA ve VZA ile Üretim Süreci Etkinliği



Grafik 3.13 NVZA ve VZA ile Tüketim Süreci Etkinliği

3.3.4 Sonuçların Değerlendirilmesi

Tablo 3.16’da 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.

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.

Sonuçlarda bazı yıllar için sistem etkisiz olduğu halde bazı süreçlerin etkin olabildiği görülmektedir. Eğer modellenen sistem daha önce bahsedilmiş olan basit seri ya da paralel sistem olsaydı alt süreçlerdeki etkinlik ya da etkisizliğin sisteme olan direk etkisi hesaplanabilirdi. Ancak sistem basit seri ya da paralel sistem değildir. Daha önce Kao (2009)

tarafından gösterildiği üzere sistem bazı kukla süreçler eklenerek paralel sistemlerden oluşan basit seri sisteme dönüştürülebilir. Bu durumda sistem süreçler yerine süreçlerden oluşan bölümlere (stage) bölünebilir. Böyle bir durumda sistemin genel etkinliği bölüm etkinliklerinin çarpımına eşit olacaktır.

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.

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında özellikle NVZA yöntemi ile alınan sonuçlarda sistemin tamamı etkinsiz çıktığı halde alt – süreçlerden biri ya da ikisinin birden etkin çıktığı durumların meydana geldiği görülmektedir. Bu tip durumlar akla sistem etkinsiz olduğu halde alt – süreçlerin etkin olmasının bir fayda ya da zarar sağlayıp sağlamayacağı ya da bu durumda sistemin etkinsizliğinin nasıl düzeltileceği sorularını getirebilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, özellikle yukarıda yer alan modelde her ne kadar NVZA ile ilişki bir çözüm yapılmış ve sistem ile alt süreçlerin birbirine bağlı oldukları varsayılmış olsa da, alt süreçlerin bir derece bağımsız oldukları gerçeğidir. Örneğin modelde yer alan ilk dört sistem girdisi (personel, hat uzunluğu, yolcu vagon sayısı ve yük vagon sayısı) üretim sürecini direk ve tüketim sürecini ara girdiler sayesinde dolaylı olarak etkilediği halde, çevresel faktörler olarak adlandırılan sistem girdileri (kişi başı GSMH ve nüfus yoğunluğu) üretim sürecini hiçbir şekilde etkilememektedir. Yani alt süreçler ve sistem belli bir etkileşimle birbirlerine bağımlı oldukları gibi eldeki modele göre belli bir derece de bağımsız olabilirler. Dolayısıyla alt – süreçlerin etkin olup olmamaları sadece sistemin etkinliği göz önünde bulundurularak değil alt – sürecin birebir kendisi düşünülerek te değerlendirilmelidir. Bununla beraber eğer sistemin etkinsizliğinin sebebi olan bölüm tespit edilmek istenirse sistem kukla süreçlerle basit seri modele dönüştürülerek bölümler halinde incelenebilir.

VZA'nın uygulanabilmesi ile ilgili olarak bazı sınırlamalardan söz eden Bakırcı (2006), analize dahil edilmesi gereken asgari KVB sayısı ile ilgili farklı görüşler olduğunu belirtmekte, ve en çok kabul gören iki görüşten bahsetmektedir. Bunlardan biri, seçilen KVB sayısının girdi ve çıktılarının toplamının iki katı olması gerektiği görüşüdür. Diğer görüşe göre ise, VZA uygulanırken karşılaştırılan KVB sayısı, en az, girdi ve çıktılarının toplam sayısından 1 fazla olmalıdır.

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 sistemin, 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 birarada kullanılarak yeni modeller oluşturulabilmektedir. Bu, araştırmacılar tarafından kullanılan modellerin her an gelişime ve yeniliğe açık olmasına yol açmakta ve NVZA metodunun araştırmaya açık bir metod 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.

Bu çalışmada Türkiye'deki demiryolu taşımacılığı incelenmiştir. Bu aşamada daha önce Yu (2008) tarafından geliştirilen sistem örnek alınmış, ancak sistemin çözümü konusunda Yu (2008)'dan farklı olarak Kao (2009) tarafından ortaya konulan ilişkiyel NVZA modeli uygulanmıştır. Aynı sisteme Yu (2008)'nun 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 çıktılarında bazılarını yine bir sonraki zaman aralığı için girdi olarak kullandığı bir sistem haline getirilirse dinamik model de uygulanabilir.

İncelenen örnekte Türkiye'deki demiryolu taşımacılığının yıllar içerisindeki etkinlik değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde üretim ve tüketim süreci olarak iki sürece bölünmüş olan sistemin tamamının incelenen otuz yılın sadece ikisinde etkin olduğu görülmektedir.

VZA ve NVZA göreceli etkinlik ölçen metodlardır. Bu modeller sadece karşılaştırılan durumlar arasındaki etkinlik değişimlerini gösterebilir. Sonuç olarak bu çalışmada sistem yıllar içerisinde karşılaştırıldığı için Türkiye'deki demiryolu taşımacılığının etkinliği konusunda sadece yıllar arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Daha kapsamlı sonuçlar elde etmek için diğer ülke demiryollarıyla karşılaştırma yapılan bir analize ihtiyaç vardır. Örneğin, 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.

NVZA ve VZA ile bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında, sonuçların ortalamalarının oldukça yakın olduğu görülebilir. Bununla birlikte NVZA ile bulunan sonuçlar için standart sapma daha büyüktür. Buradan NVZA ile bulunan sonuçların daha geniş bir alanda hareket ettiği ve dolayısıyla NVZA'ya göre etkinlik değerlerinin verilerdeki artış ve azalmalara daha hassas cevap verdiği sonucu çıkarılabilir.

NVZA ile bulunan sonuçlara göre Türkiye'de demiryolu taşımacılığı için sistem etkinlik değeri 1984 ve 1997 yıllarında 1'dir. Buna göre sadece 1984 ve 1997 yıllarında Türkiye'de demiryolu taşımacılığı etkindir. Sistem içinde yer alan tüketim süreci sadece 1981, 1984, 1985, 1988, 1993, 1997, 2010 yıllarında etkindir. Bununla birlikte üretim süreci olarak adlandırılmış olan ve büyük oranda sermayenin büyüklüğüne bağlı olan süreç 1984, 1986, 1989, 1997, 1998, 2000, 2001, 2004, 2005, 2010 yıllarında etkin görünmektedir. Bu sonuçlar, klasik çıktıya yönelik CCR metoduyla karşılaştırılmış ve iki metod arasındaki fark ortaya konmuştur.

Sonuçlarda Türkiye demiryolu taşımacılığı için özellikle 1984, 1997 ve 2001 yılları önemli görünmektedir. Verilere bakıldığında 1984 yılında özellikle yük taşımacılığını ifade eden yük – km değerlerinde beklenenden yüksek bir artış görülmektedir. 1983 yılında %2,1 artış gösteren yük – km değeri, 1984 yılında %21,9 artış göstermiş, 1985 yılında ise artış miktarı %3,6'ya gerilemiştir. Benzer şekilde sunulan yük taşımacılığı hizmeti için bir değer olan yük tren – km değeri de 1984 yılı için diğer yıllardan yüksek bir artış göstermektedir. 1983 yılında %2,5 azalma gösteren değer 1984 yılında %12,7 artmış ve 1985 yılında %0,3 oranında azalmıştır. Bu durumda, 1984 yılında özellikle yük taşımacılığı için meydana gelen olumlu gelişmelerin etkinlik değerini yükselttiği düşünülebilir. Benzer bir değişiklik te yolcu taşımacılığı için geçerlidir. 1984 yılında yolcu taşımacılığı için sunulan hizmet olan yolcu tren – km değerleri %10,3 artmış, yolcu – km değerleri ise %9,7 artış göstermiştir. Özellikle 1984 yılındaki bu artış 1981 – 2010 dönemi içerisinde yolcu tren – km değerlerindeki en yüksek artıştır. 1984 yılında meydana gelen bu gelişmenin kaynağının tüketim süreci olarak

görünmesi ülkede ekonomi, ticaret ve sanayide meydana gelen gelişmelerin olumlu sonuçları olarak görünmektedir. Ancak buna hangi siyasi veya ekonomik gelişmelerin yol açtığı ayrı bir araştırma konusudur.

1997 yılı sonuçları da 1984 yılı gibi tüm süreçlerin etkin olarak ortaya çıktığı diğer bir yıldır. Bu yılda da hem yolcu – km hem de yük – km değerlerinde ortaya çıkan yüksek bir artış söz konusudur. Özellikle yolcu – km değeri 1997 yılında %11,7 ile 30 yıllık dönem içindeki en yüksek ikinci artışını gerçekleştirmiştir. 1997 yılı düşünüldüğünde aslında 1997 yılına doğru etkinlik değerlerinin belli bir artış içerisinde olduğu görülmektedir. 1998 yılından itibaren etkinlik değerlerinde düşüş meydana gelmekte ve özellikle 2001 yılında değerler oldukça düşük hale gelmektedir. Ancak 2002 yılından itibaren etkinlik değerlerinde tekrar artış başlamaktadır.

2001 yılı tüm dünyada etkisini gösteren ekonomik krizin en ağır geçtiği yıl olduğu gibi özellikle Türkiye için 2002 yılı ekonomik anlamda toparlanma yılı olarak gösterilmektedir. 2001 yılında özellikle yük taşımacılığı rakamları önemli bir düşüş göstermektedir. Yük – km değeri 30 yılın en büyük düşüşüyle %23,6 gerilemiştir. Bu anlamda demiryolu etkinlik değerleriyle ekonomik ve siyasi gelişmelerin yakından ilgili olduğu düşünülebilir.

Türkiye’de demiryolu taşımacılığı devlet bünyesinde TCDD tarafından yapılmaktadır. Bu sebeple etkinlik değerlerinin siyasi istikrar ya da istikrarsızlıktan etkilenmekte olduğu aklı gelmektedir. Ayrıca demiryolu taşımacılığı için üretim ve tüketim süreçleri tüm dünyayı ya da sadece Türkiye’yi ilgilendiren ekonomik istikrar ya da istikrarsızlıklardan da etkileniyor olabilir. Sanayi ve ticaretle ilgili gelişmeler yük taşımacılığını, genel ekonomik gelişmeler ise yolcu taşımacılığını etkileyebilir. Ancak bunun tam olarak tespitini yapabilmek için veriler ile bunları etkileyebilecek siyasi ve ekonomik verilerin ilgisini ortaya koyacak daha kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bundan başka, daha büyük çaplı bir network veri zarflama analizi ile siyasi ve ekonomik değerleri de göz önünde bulundurmak mümkün olabilir.

Bu çalışmada kullanılan demiryolu network sistemi daha önce Yu (2008) tarafından ortaya atılan sistemdir. Ancak sistem üzerinde yapılacak çalışmalarla yeni bir network sistemi kurulması da mümkündür. Örneğin tüketim süreci söz konusu olduğunda çevresel faktörler arasında diğer ulaşım sistemlerinin etkisi de göz ardı edilmemelidir. Son yıllarda özellikle karayolu ve havayolu ulaşımı alanlarındaki gelişmeler demiryolları için talebin azalmasına yol açmış olabilir. Böyle bir durum ise incelenen sistemde tüketim sürecini ve yine tüm sistemi olumsuz etkiler.

Modelde üretim sisteminin girdileri sermayenin çıktı ya da sonuçları olarak düşünülmektedir. Ancak gerekli verilere sahip olunursa üretim sürecinden önce sermayeyi çıktılarına dönüştüren bir süreç modele eklenebilir ve bu süreçte sermayenin kullanımını etkinlik ölçümü olarak değerlere dönüştürülebilir.

Seri ve paralel modellerde alt – süreçlerin sistem etkinliğine olan etkisi tam olarak hesaplanabilmektedir. Ancak eğer sistem standart seri ya da paralel bir sistem değilse alt – süreçlerdeki etkinlik ya da etkinsizliğin tüm sisteme olan etkisi tam olarak hesaplanamayabilir. Örnek olarak verilen sistemde olduğu gibi sistem etkinsiz olduğu halde alt süreçlerin biri ya da hepsi etkin olabilir. Ya da tam tersine sistem etkinsiz olduğu halde alt süreçlerin etkin olduğu bir modelle karşılaşmak mümkündür. Standart seri ya da paralel olmayan bir yapı için alt süreçlerin sistemin tamamına olan etkisi NVZA başlığı altında önemli bir araştırma konusu olarak yerini korumaktadır.

Geliştirilen NVZA modellerinin çoğu ölçeğe göre sabit getiri varsayımını temel almaktadır. Yani bu modeller klasik CCR modellerinden baz alınarak oluşturulmuşlardır. Ölçeğe göre değişken getiri varsayımını temel alan BCC modelinden esinlenerek kurulan bir NVZA modeli gelecekteki araştırmalar için önemli bir alandır (Kao, 2009, s.962).

KAYNAKÇA

Akal Z., İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi Çok Yönlü Performans Göstergeleri, MPM Yayınları, Ankara, 2005.

Akçay V. H., “Lojistikte Demiryolu Taşımacılığının Önemi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İşletme Ana Bilim Dalı, İstanbul, 2005.

Avkiran N. K., “Opening The Black Box Of Efficiency Analysis: An Illustration With UAE Banks”, Omega, Volume.37, Issue.4, (2009), 930-941.

Babacan A.; Kartal M. ve Bircan H., “Cumhuriyet Üniversitesi'nin Etkinliğinin Kamu Üniversiteleri ile Karşılaştırılması: Bir VZA Tekniği Uygulaması”, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt.8, Sayı.2, (2007), 97-114.

Bakırcı F., Üretimde Etkinlik Ve Verimlilik Ölçümü Veri Zarflama Analizi Teori Ve Uygulama, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2006.

Banker R. D.; Charnes A. ve Cooper W. W., “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”, Management Science, Volume.30, Issue.9, (1984), 1078-1092.

Banker R. D.; Conrad R. F. ve Strauss R. P., “A Comparative Application of Data Envelopment Analysis and Translog Methods: An Illustrative Study of Hospital Production”, Management Science, Volume.32, (1986), 30-44.

Baysal M. E., Toklu B., “Veri Zarflama Analizi İle Bazı Orta Öğretim Kurumlarının Performanslarının Değerlendirilmesi” Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt.6, Sayı.2, (2001), 203-220.

Baysal M. E.; Alçılar B.; Çerçioğlu H. Ve Toklu B., “Türkiye'deki Devlet Üniversitelerinin 2004 Yılı Performanslarının, Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Belirlenip Buna Göre 2005 Yılı Bütçe Tahsislerinin Yapılması”, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt.9, Sayı.1, (2005), 67-73.

Baysal M. E.; Uygur M. ve Toklu B., “Veri Zarflama Analizi İle TCDD Limanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Çalışması”, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt.19, No.4, (2004), 437-442.

Berger A. N. ve Humphrey D. B., "Efficiency Of Financial Institutions: International Survey And Directions For Future Research", *European Journal of Operational Research*, Volume.98, Issue.2, (1997), 175-212

Berger A. N.; Bonime S. D.; Covitz D. M. ve Hancock D., "Why Are Bank Profits So Persistent? The Roles Of Product Market Competition, Informational Opacity, And Regional/Macroeconomic Shocks", *Journal of Banking and Finance*, Vol.24, Issue.7, (2000), 1203-1235.

Bhattacharyya A.; Lovell C. A. K. ve Sahay P., "The Impact Of Liberalization On The Productive Efficiency Of Indian Commercial Banks", *European Journal of Operational Research*, Vol.98, Issue.2, (1997), 332-345.

Bogetoft P.; Fare R.; Grosskopf S.; Hayes K. Ve Taylor L., "Dynamic Network Dea: An Illustration", *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 52, No. 2, (2009), 147-162.

Boussofiane A., Dyson R. G. ve Thanassoulis E. "Applied data envelopment analysis", *European Journal of Operational Research*, Vol.52, No.1, (1991), 1-15.

Bowlin W. F., "Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA)", *Journal of Cost Analysis*, 3-27.

Breu T. M. ve Raab R. L., "Efficiency And Perceived Quality Of The Nation's Top 25 National Universities And National Liberal Arts Colleges: An Application Of Data Envelopment Analysis To Higher Education", *Socio-Economic Planning Sciences*; Vol.28, Issue.1, (1994), 33-145.

Cantos P., Pastor J. M. ve Serrano L., "Productivity, Efficiency and Technical Change in the European Railways: A Non-Parametric Approach", *Transportation*, Volume.26, Issue.4, (1999), 337-357.

Castelli L.; Pesenti R. ve Ukovich W., "DEA-Like Models For The Efficiency Evaluation Of Hierarchically Structured Units", *European Journal of Operational Research*, Volume 154, Issue 2, 16 April 2004, Pages 465-476

Castelli L.; Pesenti R. ve Ukovich W., "A Classification Of DEA Models When The Internal Structure Of The Decision Making Units is Considered", *Annals of Operations Research*, Volume.173, Issue.1, (2010), 207-235.

Chandra P.; Cooper W. W.; Li S. ve Rahman A. "Using DEA to Evaluate 29 Canadian Textile Companies-Considering Return to Scale", *International Journal of Production Economics*, Vol.54, (1998), 129-141.

Charnes A.; Cooper W. W.; Lewin A. Y. ve Seiford L. M., *Data Envelopment Analysis Theory Methodology And Applications*, Kluwer Academic Publishers, USA, 1994.

Charnes A.; Cooper W. W. ve Rhodes E., "Measuring The Efficiency Of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, Volume.2, Issue.6, (1978), 429-444.

Charnes A.; Cooper W. W.; Golany B., Seiford L. ve Stutz J, "Foundations Of Data Envelopment Analysis For Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions", *Journal of Econometrics*, Volume.30, Issues.1-2, (1985), 91-107.

Charnes A.; Cooper W. W.; Seiford L. ve Stutz J., "Original Research Article Operations Research Letters", Volume.2, Issue.3, (1983), 101-103.

Chen Y.; Cook W. D.; Li N. ve Zhu J., "Additive Efficiency Decomposition in Two-Stage DEA", *European Journal of Operational Research*, Volume.196, Issue.3, (2009), 1170-1176.

Chen Y.; Liang L.; Yang F. ve Zhu J., "Evaluation Of Information Technology Investment: A Data Envelopment Analysis Approach", *Computers and Operations Research*, Vol.33, (2006), 1368-1379.

Chen Y. ve Zhu J., "Measuring Information Technology's Indirect Impact On Firm Performance". *Information Technology and Management Journal*, Volume.5, (2004), 9-22.

Cingi S. ve Tarım A., *Türk Banka Sisteminde Performans Ölçümü Dea- Malmquist TFV Endeksi Uygulaması*, TBB Yayını, İstanbul, 2000.

Claessens S. ve Laeven L., 2004. "What drives bank competition? Some international evidence," *Proceedings, Federal Reserve Bank of Cleveland*, pages 563-592.

Cooper W. W.; Seiford L. M. ve Zhu J., *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2004.

Cooper W. W.; Seiford L. M. ve Tone K., *Data Envelopment Analysis*, Springer Science Business Media, LLC, 2007.

Cowie J. ve Riddington G. "Measuring the Efficiency of European Railways". *Applied Economics*, Vol.28, (1996), 1027-1035.

Cummins J. D.; Sharon T. ve Weiss M. A., “Consolidation and Efficiency in the U. S. Life Insurance Industry”, Financial Institutions Center, The Wharton School Working Paper, University of Pennsylvania, 1998.

Çelik S., Yem Fabrikalarında Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.

Delhausse B.; Fecher F.; Perelman S. ve Pestieau P., “Measuring Productive Performance in the Non-Life Insurance Industry: The Case of French and Belgian Markets”, *Tijdschrift voor Economie en Management*, Vol No.40, (1995), 47–69.

Denizer C. A.; Dinç M. ve Tarımcılar M., “Measuring Banking Efficiency in the Pre-and Post-Liberalization Environment: Evidenc From the Turkish Banking System”, The World Bank, Washington, 2000.

Erdoğan E., “Demiryolu Taşımacılığı Seçimini Etkileyen Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemiyle Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, Gebze, 2010.

Fare R. ve Grosskopf S., “Network DEA”, *Socio-Economic Planning Sciences*, Volume.34, Issue.1, (2000), 35-49

Fare R. ve Grosskopf S., “Productivity And Intermediate Products: A Frontier Approach”, *Economics Letters*, Volume.50, Issue.1, (1996), 65-70.

Fare R. ve Primont D., “Efficiency Measures For Multiplant Firms”, *Operations Research Letters*, Vol.3, (1984), 257–260.

Fare R. ve Whittaker G., “An İntermediate Input Model Of Diary Production Using Complex Survey Data”. *Journal of Agricultural Economics*, Vol.46, Issue.2, (1995), 201-223.

Fare R. ; Grosskopf S. ve Whittaker G., “ Network DEA”. Zhu J. ve Cook W. D. (der.) içinde, 2007.

Fukuyama H. ve Mirdehghan S. M., “Identifying the Efficiency Status in Network DEA”, *European Journal of Operational Research*, Volume.220, Issue.1, (2012), 85-92.

Fukuyama H. ve Matousek R., “Efficiency Of Turkish Banking: Two-Stage Network System”, *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, Volume.21, Issue.1, (2011), 75-91.

Fukuyama H. ve Weber W. L., “A Slacks-Based Inefficiency Measure For A Two-Stage System With Bad Outputs”, *Omega*, Volume.38, Issue.5, (2010), 398-409.

Gülcü A.; Coşkun A.; Yeşilyurt C.; Coşkun S. ve Esener T., “Cumhuriyet Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi'nin Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Göreceli Etkinlik Analizi”, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt.5, Sayı. 2, (2004), 87-104.

Gülcü A.; Tutar H. ve Yeşilyurt C., *Sağlık Sektöründe Veri Zarflama Analizi Yöntemi İle Göreceli Verimlilik Analizi*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2004.

Güçlü A., *Türk Silahlı Kuvvetleri Hastanelerinde Teknik Verimlilik Ölçümü: Veri Zarflama Analizi Uygulaması*. Genel Kurmay Başkanlığı Gülhane Askeri Tıp Akademisi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Bilimleri Yönetimi Bölümü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1999.

Hsieh L. F. ve Lin L. H., “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, (2010), 14-24.

Jain P.; Cullinane S. ve Cullinane K., “The Impact Of Governance Development Models On Urban Rail Efficiency”, *Transportation Research Part A*, Vol.42, Issue.9, (2008), 1238–1250.

Johns N.; Howcroft B. ve Drake L., “The Use of Data Envelopment Analysis to Monitor Hotel Productivity”, *Progress in Tourism and Hospitality Research*, Vol.3, Issue.2, 119-128.

Kaya M. F., “Performance Assessment Of A Spare Part Dealer Network Using Data Envelopment Analysis”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2001.

Kayalı C. A., “2000-2006 Döneminde Türkiye’de Faaliyet Gösteren Sigorta Şirketlerinin Etkinlik Değerlendirmesi”, *C.B.Ü İİBF, Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, Cilt No:14, Sayı:2, (2007), 103-115.

Kao C. ve Hwang S. N., “Efficiency Measurement For Network Systems: IT Impact On Firm Performance”, *Decision Support Systems*, Volume.48, Issue.3, (2010), 437-446.

Kao C., “Efficiency Decomposition in Network Data Envelopment Analysis: A Relational Model”, *Volume.192, Issue.3*, (2009), 949-962.

Kao C., “Measuring The Efficiency Of Forest Districts With Multiple Working Circles”, *Journal of Operational Research Society*, Vol.49, (1998), 583–590.

Kao C. ve Hwang S. N., “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, (2008), 418-429.

Kavuncubaşı Ş. ve Ersoy K., “Hastanelerde Verimlilik Ölçümü”, *Amme İdaresi Dergisi*, Cilt:28, Sayı:3, (1995), 77-92.

Kecek G., *Veri Zarflama Analizi / Teori ve Uygulama Örneği*, Siyasal Kitabevi, Ankara, 2010.

Kutlar A.; Gülcü A. ve Karagöz Y., “Cumhuriyet Üniversitesi Fakültelerinin Performans Değerlendirmesi”, *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt.5, Sayı.2, (2004), 137-157.

Kwimbere F. J.. *Measuring Efficiency in Not-For-Profit Organizations: An Attempt To Evaluate Efficiency İn Selected UK University Departments Using Data Envelopment Analysis (DEA)*, MSc thesis, University of Bath School of Management, Claverton Down, Bath, 1987.

Lee H.; Yongtae P. ve Hoogon C., “Comparative Evaluation Of Performance Of National R&D Programs With Heterogeneous Objectives: A DEA Approach”, *European Journal Of Operational Research*, Vol.196, Issue.3, (2009), 847-855.

Lewis H. F. ve Sexton T. R., “Network DEA: Efficiency Analysis of Organizations With Complex Internal Structure”, *Computers & Operations Research*, Volume.31, Issue.9, (2004), 1365-1410

Lewis H. F.; Lock, K. A. ve Sexton T. R., “Organizational Capability, Efficiency, And Effectiveness in Major League Baseball: 1901-2002”, *European Journal of Operational Research*, Vol.197, Issue.2, (2009), 731-740.

Lozano S.; Gutierrez E. ve Moreno P., “Network DEA Approach To Airports Performance Assessment Considering Undesirable Outputs”, *Applied Mathematical Modelling*, In Press, Corrected Proof, (2012), 1-30.

Löthgren M. ve Tambour M., “Productivity And Customer Satisfaction in Swedish Pharmacies: A DEA Network Model”, *European Journal of Operational Research*, Volume.115, Issue.3, (1999), 449-458.

Movahedi M. M.; Saati S. ve Vahidi A. R., “Iranian Railway Efficiency (1971-2004): An Application of DEA”, *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, Vol. 2, no. 32, 2007, 1569 – 1579.

Oum T. H. ve Yu C., “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, (1994), 121–138.

Oum T. H., Waters II W. G. ve Yu C., “A Survey of Productivity and Efficiency Measurement in Rail Transport”, *Journal of Transport Economics and Policy* , Vol.33, Issue.1, (1999). 9-42.

Özcan A.Y.; Luke, R. D. ve Cengiz, H., “Ownership and Organizational Performance: A Comparison of Technical Efficiency Across Hospital Types”. *Medical Care*, Vol.30, Issue.9, (1992), 781-794.

Özden Ü. H., “Veri Zarflama Analizi (VZA) İle Türkiye’deki Vakıf Üniversitelerinin Etkinliğinin Ölçülmesi”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, Cilt.37, Sayı.2, (2008), 167-185.

Prieto A. M. ve Zofio J. L., “Network DEA Efficiency in Input–Output Models: With An Application To OECD Countries”, *European Journal of Operational Research*, Volume.178, Issue.1, (2007), 292-304.

Ramanathan R., *Data Envelopment Analysis*, Sage Publications Ltd., New Delhi, 2003.

Rayeni M. M. ve Saljooghi F. H., “Network Data Envelopment Analysis Model for Estimating Efficiency and Productivity in Universities”, *Journal of Computer Science*, Vol.6, Issue.11, (2010), 1252-1257.

Schinnar A. P.; Kamis-Gould E.; Delucia N. ve Rothbard A. B., “Organizational Determinants Of Efficiency And Effectiveness in Mental Health Partial Care Programs”. *Health Services Research*, Volume.25, (1990), 387–420.

Seiford L. M. ve Zhu J., “Profitability And Marketability of The Top 55 US Commercial Banks”, *Management Science*, Volume.45, (1999), 1270–1288.

Sexton T. R.; Leiken, A. M.; Nolan A. H.; Liss S.; Hogan A. J. ve Silkman R. H., “Evaluating managerial efficiency of veterans administration medical centers using data envelopment analysis”, *Medical Care* , Vol.27, Issue.12, (1989), 1175-88.

Sexton T. R. ve Lewis H. F., "Two-Stage DEA: An Application To Major League Baseball", *Journal of Productivity Analysis*, Vol.19, (2003), 227-249.

Shen Y.; Hermans E.; Brijs T.; Wets G. Ve Vanhoof K., "Road Safety Risk Evaluation And Target Setting Using Data Envelopment Analysis And Its Extensions", *Accident Analysis and Prevention*, Volume.48, (2012), 430-441.

Sherman D., "Data Envelopment Analysis As A New Managerial Audit Methodology – Test And Evaluation", *Auditing: a Journal of Practice and Theory*, Volume.4, (1984), 35-53.

Sinuany-Stern Z.; Mehrez A. ve Barboy, A. "Academic Departments' Efficiency Via Data Envelopment Analysis", *Computers and Operations Research*, Vol. 21, No. 5, (1994), 543-556.

Sturm J. E. ve Williams B., "Foreign Bank Entry, Deregulation And Bank Efficiency: Lessons From The Australian Experience", *Journal of Banking & Finance*, Volume.28, Issue.7, (2004), 1775-1799.

Şahin İ., Sağlık Bakanlığı Hastanelerinin İllere Göre Karşılaştırmalı Verimlilik Analizi: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama", *Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.

Şaşmaz Ç., Karayolları ve Demiryollarında Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2008.

Tanyaş M., Endüstri Mühendisliğine Giriş, Cilt I, İrfan Yayıncılık ve Tanıtım Ltd. Şti., İstanbul, 2000.

Tarım A., Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü Araştırma / İnceleme / Çeviri Dizisi, Ankara, 2001.

Tepe M., Kıyaslama Çalışmasında Veri Zarflama Analizi Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2006.

Thanassoulis E.; Kortelainen M. Ve Allen R., "Improving Envelopment In Data Envelopment Analysis Under Variable Returns To Scale", *European Journal Of Operational Research*, Volume.218, (2012), 175-185.

Tomkins C. ve Green R., “An Experiment in the Use of Data Envelopment Analysis for Evaluating the Efficiency of UK University Departments of Accounting”, *Financial Accountability & Management*, Vol.4, Issue.2, (1988), 147-164.

Tone K. ve Tsutsui M., “Network DEA: A Slacks-Based Measure Approach”, *European Journal Of Operational Research*, Volume.197, Issue.1, (2009), 243-252.

Tone K. ve Tsutsui M., “Dynamic DEA: A Slacks-Based Measure Approach”, *Omega*, Vol.38, (2010), 145-156.

Tone K., “A Slacks-Based Measure Of Efficiency in Data Envelopment Analysis”, *European Journal of Operational Research*, Volume.130, Issue.3, (2001), 498-509

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> adresinden 17.05.2012 tarihinde erişildi.

Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü,
T.C. Devlet Demiryolları, 1923-2005 Yılları Arası İstatistiki Bilgileri,
<http://www.tcdd.gov.tr/home/detail/?id=305> adresinden 17.05.2012 tarihinde erişildi.

Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma Bakanlığı T.C. Devlet Demiryolları Genel Müdürlüğü,
TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğünün 2010 Yılı Sektör Raporu,
<http://www.tcdd.gov.tr/Upload/Files/ContentFiles/2010/faaliyetraporu/2010rapor.pdf>
adresinden 17.05.2012 tarihinde erişildi.

Weiss M. A., “Productivity Growth And Regulation Of P/L Insurance: 1980-84”, *Journal of Productivity Analysis*, Vol.2, (1990), 15-38.

Yang C. ve Liu H. M., “Managerial Efficiency in Taiwan Bank Branches: A Network DEA”, *Economic Modelling*, Volume.29, Issue.2, (2012), 450-461.

Yavuz İ., Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama, MPM Yayınları, Ankara, 2001.

Yayla M.; Kaya Y. T. ve Ekmen İ., “Bankacılık Sektörüne Yabancı Girişi: Küresel Gelişmeler ve Türkiye”, BDDK Araştırma Dairesi, 2005.

Yeşilyurt C., “Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümlerinin Göreceli Performanslarının Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Ölçülmesi: KPSS 2008 Verilerine Dayalı Bir Uygulama”, Atatürk Üniversitesi 10. Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu 27-29 Mayıs 2009, Erzurum, 1-19.

Yılmaz C.; Özdil T. ve Akdoğan G., “Seçilmiş İşletmelerin Toplam Etkinliklerinin Veri Zarflama Yöntemi İle Ölçülmesi”, Sosyal Bilimler Dergisi, Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi Yayınları 20, Süreli Yayınlar Dizisi.6, Sayı.4, (2002), 174-183.

Yolalan R., Türk Bankacılık Sektörü İçin Görelî Mali Performans Ölçümü, TBB Bankalar Derneği, Sayı:19, 1996.

Yürüşen S., “Veri Zarflama Analizi İle Bayi Performansının Hesaplanması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Mühendisliği Bölümü, 2011.

Yu M. M., “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, (2008), 1283-1294.

Yu M. M., “Assessment of Airport Performance Using The SBM-NDEA Model”, Omega, Vol.38, (2010), 440-452.

Yuengert A. M., “The Measurement Of Efficiency in Life Insurance: Estimates Of A Mixed Normal-Gamma Error Model”, Journal of Banking & Finance, Volume.17, Issues 2–3, (1993), 483-496.

Zaim O., “The Effect of Financial Liberalization on the Efficiency of Turkish Commercial Banks”, Applied Financial Economics, Vol.5, 1995, 257-264.

Zhao Y.; Triantis K.; Murray-Tuite P. ve Edara P., “Performance Measurement Of A Transportation Network With A Downtown Space Reservation System: A Network-DEA Approach”, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volume.47, Issue.6, (2011), 1140-1159.

Zhu J., “Multi-Factor Performance Measure Model With An Application To Fortune 500 Companies”, European Journal of Operational Research, Vol.123, (2000), 105–124.

Zhu J., 2011. “Airlines Performance via Two-Stage Network DEA Approach”, Journal of Centrum Cathedra, Vol.4, Issue.2, 260-269 .

Zhu J. ve Cook W. D., Modeling Data Irregularities And Structural Complexities in Data Envelopment Analysis, Springer, New York, 2007.

Ö Z G E Ç M İ Ő

Adı ve SOYADI : Mahmut Burak ERTURAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 09.05.1983 - NEVŐEHİR

Medeni Durumu : Bekar

Eğitim Durumu

Mezun Olduğu Lise : Aldemir – Attila Konuk Anadolu Lisesi / ANTALYA

Lisans Diploması : Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği
Bölümü / ANKARA

Yüksek Lisans Diploması : Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri
Ana Bilim Dalı / ANTALYA

Tez Konusu : Network Veri Zarflama Analizi ve Türkiye’de
Demiryolları Üzerine Bir Uygulama

Yabancı Dil / Diller : İngilizce

İŞ Deneyimi

ÇalıŐtıęı Kurumlar : DSİ 13. Bölge Müdürlüğü Antalya – İkmal Mühendisi
(2010 – Halen)