



148047

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

**İŞLETMELER ARASI GÖRELİ ETKİNLİK ÖLÇÜM YAKLAŞIMI:
VERİ ZARFLAMA ANALİZİ
VE
UYGULAMASI**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

BURCU AVCI

BURSA - 2004

T. C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
SAYISAL YÖNTEMLER BİLİM DALI

**İŞLETMELER ARASI GÖRELİ ETKİNLİK ÖLÇÜM YAKLAŞIMI:
VERİ ZARFLAMA ANALİZİ
VE
UYGULAMASI**

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Zehra BAŞKAYA

Burcu AVCI
BURSA 2004

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
GİRİŞ.....	1

I. BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

1. İŞLETMELERDE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ.....	2
2. İŞLETMELER ARASI KARŞILAŞTIRMALAR.....	5
3. VERİMLİLİK.....	7
3.1. Verimliliği Etkileyen Etkenler.....	9
3.2. Verimlilik Ölçümü.....	10
3.3. Toplam Faktör Verimliliği.....	18
4. ÜRETİM FONKSİYONU (ÜRETİM SINIRI).....	20
5. ÜRETİM İMKANLARI KÜMESİ.....	24
6. ETKİNLİK.....	28
6.1. Teknik Etkinlik.....	32
6.2. Ölçek Etkinliği.....	35
6.3. Tahsis Etkinliği.....	37
7. FARRELL ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ.....	39
7.1. Girdileri Temel Alan Etkinlik Ölçütleri.....	39
7.2. Çıktıları Temel Alan Etkinlik Ölçütleri.....	42
8. SINIR ÜRETİM FONKSİYONU İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜNE DAYALI YÖNTEMLER.....	44
8.1. Parametrik Yöntemler.....	45
8.2. Parametrik Olmayan Yöntemler.....	46

II. BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

1. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ' NİN (VZA) TANIMI:.....	48
2. VZA'NIN GELİŞİMİ.....	52
3. VZA'NIN UYGULAMA ALANLARI.....	54
3.1 VZA'nın Kullanılabileceği Konular.....	55
3.2. VZA ve Kıyaslama (Benchmarking).....	56
3.3. VZA ve Oran (Rasyo) Analizleri.....	56
3.4. VZA ve Hedef Programlama.....	57

3.5. VZA ve Faaliyet Tabanlı Maliyetleme.....	58
3.6. VZA ve Ölçüm Kartı Tekniği (Balaced Scorecard).....	59
4. VZA’NIN UYGULANMASINDAKİ AMAÇLAR.....	60
5. VZA’NIN UYGULAMA AŞAMALARI.....	61
5.1. Gözlem Kümesinin Seçimi	61
5.2. Girdi ve Çıktı Kümelerinin Belirlenmesi	62
5.3. Verilerin Elde Edilebilirliği ve Güvenirliliği.....	63
5.4. VZA İle Görelî Etkinlik Ölçümü	64
5.5. Etkinlik Değerleri Ve Etkinlik Sınırı.....	64
5.6. Referans Grupları	65
5.7. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Hedef Belirlenmesi.....	66
5.8. Gözlem Kümesi İçin Genel Sonuçların Değerlendirilmesi	66
6. VZA’NIN GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ.....	68
6.1. VZA’nın Güçlü Yönleri.....	68
6.2. VZA’nın Zayıf Yönleri.....	69
7. VZA’NIN MATEMATİKSEL MODELİ.....	70
7.1. Tek Girdi ve Tek Çıktıdan Oluşan Sistemler.....	70
7.2. İki Girdi ve Tek Çıktıdan Oluşan Sistemler	74
7.3. Tek Girdi ve İki Çıktıdan Oluşan Sistemler	76
7.4. Kesirli Programlama Modeli.....	79
7.4.1. Girdiye yönelik kesirli programlama modeli.....	83
7.4.2. Çıktıya yönelik kesirli programlama modeli	85
7.5. Ağırlıklı (Primal) Doğrusal Programlama Modelleri.....	87
7.5.1. Girdiye yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modeli	87
7.5.2. Çıktıya yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modeli	89
7.6. Zarflamalı (Dual) Doğrusal Programlama Modelleri.....	90
7.6.1. Girdiye yönelik zarflamalı doğrusal programlama modeli.....	91
7.6.2. Çıktıya yönelik zarflamalı doğrusal programlama modeli	96

III. BÖLÜM

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN ŞİRKETLERDE VZA YÖNTEMİ İLE GÖRELİ ETKİNLİK ANALİZİ UYGULAMASI

1. UYGULAMANIN AMACI.....	101
2. UYGULAMA SÜRECİ.....	101
2.1. Gözlem Kümesinin Seçimi	101
2.2. Girdi ve Çıktı Kümelerinin Belirlenmesi	102
2.3. Verilerin Elde Edilebilirliği Ve Güvenirliliği	104
2.4. VZA İle Görelî Etkinlik Ölçümü	105
2.4.1. Adana Çimento Sanayii T.A.Ş. (AD).....	107
2.4.1.1. A.D. Girdiye yönelik VZA modeli.....	107
2.4.1.2. A.D. Çıktıya yönelik VZA modeli	110
2.4.2. Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş. (AF).....	113
2.4.2.1. A.F. Girdiye yönelik VZA modeli.....	113

2.4.2.2. A.F. Çıktıya yönelik VZA modeli	114
2.4.3. Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (AK)	116
2.4.3.1. A.K. Girdiye yönelik VZA modeli	116
2.4.3.2. A.K. Çıktıya yönelik VZA modeli	118
2.4.4. Lafarge Aslan Çimento A.Ş. (AS)	120
2.4.4.1. A.S. Girdiye yönelik VZA modeli	120
2.4.4.2. A.S. Çıktıya yönelik VZA modeli	122
2.4.5. Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT)	124
2.4.5.1. B.T. Girdiye yönelik VZA modeli	124
2.4.5.2. B.T. Çıktıya yönelik VZA modeli	125
2.4.6. Batisöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. (BS)	127
2.4.6.1. B.S. Girdiye yönelik VZA modeli	127
2.4.6.2. B.S. Çıktıya yönelik VZA modeli	130
2.4.7. Bolu Çimento Sanayii A.Ş. (BO)	133
2.4.7.1. B.O. Girdiye yönelik VZA modeli	133
2.4.7.2. B.O. Çıktıya yönelik VZA modeli	136
2.4.8. Bursa Çimento Fabrikası A.Ş. (BU)	139
2.4.8.1. B.U. Girdiye yönelik VZA modeli	139
2.4.8.2. B.U. Çıktıya yönelik VZA modeli	141
2.4.9. Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş.	143
2.4.9.1. Ç.S. Girdiye yönelik VZA modeli	143
2.4.9.2. Ç.S. Çıktıya yönelik VZA modeli	144
2.4.10. Çimbeton Hazır beton ve Pre.Yapı Elem. San.ve T.A.Ş. (ÇB)	146
2.4.10.1. Ç.B. Girdiye yönelik VZA modeli	146
2.4.10.2. Ç.B. Çıktıya yönelik VZA modeli	148
2.4.11. Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. (ÇT)	150
2.4.11.1. Ç.T. Girdiye yönelik VZA modeli	150
2.4.11.2. Ç.T. Çıktıya yönelik VZA modeli	153
2.4.12. Göltaş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş. (GT)	156
2.4.12.1. G.T. Girdiye yönelik VZA modeli	156
2.4.12.2. G.T. Çıktıya yönelik VZA modeli	159
2.4.13. Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO)	162
2.4.13.1. K.O. Girdiye yönelik VZA modeli	162
2.4.13.2. K.O. Çıktıya yönelik VZA modeli	164
2.4.14. Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD)	166
2.4.14.1. M.D. Girdiye yönelik VZA modeli	166
2.4.14.2. M.D. Çıktıya yönelik VZA modeli	167
2.4.15. Nuh Çimento Sanayi A.Ş. (NH)	169
2.4.15.1. N.H. Girdiye yönelik VZA modeli	169
2.4.15.2. N.H. Çıktıya yönelik VZA modeli	171
SONUÇ	174
KAYNAKLAR	178

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Performans Boyutları	5
Şekil 1.2 Verimliliği Etkileyen Etkenler	10
Şekil 1.3 Verimlilik Çemberi	12
Şekil 1.4 Verimlilik İçin Bir Yaklaşım.....	14
Şekil 1.5 Verimlilik Doğrusu	15
Şekil 1.6 Verimlilik Değerleri.....	17
Şekil 1.7 İşgücü ve Sermaye Kullanımı	22
Şekil 1.8 Üretim Sınırı	23
Şekil 1.9 Üretim İmkanları Kümesi.....	27
Şekil 1.10 Etkinlik Sınırı	28
Şekil 1.11 Teknik Etkinlik	33
Şekil 1.12 Etkinlik ve Verimlilik	34
Şekil 1.13 Ölçeğe Göre Sabit, Artan ve Azalan Getiri.....	36
Şekil 1.14 En Verimli Ölçek Büyüklüğü	37
Şekil 1.15 Tahsis Etkinliği	38
Şekil 1.16 Girdi Temelli Ölçütler.....	40
Şekil 1.17 Parçalı-Doğrusal Konveks Üretim Fonksiyonu.....	42
Şekil 1.18 Çıktı Temelli Ölçütler	43
Şekil 2.1 Etkin Karar Birimlerinin Oluşturduğu Zarf.....	51
Şekil 2.2 VZA'nın Gelişimini Sağlayan Önemli Araştırmacılar ve Yayın Sayıları ...	53
Şekil 2.3 VZA'nın Uygulama Aşamaları	67
Şekil 2.4 Mağazaların Karşılaştırılması.....	71
Şekil 2.5 Regresyon Çizgisi ve Etkinlik Sınırı	72
Şekil 2.6 A Mağazasının Etkinlik İyileştirmesi	73
Şekil 2.7 İki Girdi ve Tek Çıktıdan Oluşan Sistem.....	75
Şekil 2.8 A Mağazasının Etkinlik İyileştirmesi	76
Şekil 2.9 Tek Girdi ve İki Çıktılı Sistem	77
Şekil 2.10 Etkinlik İyileştirmesi.....	78
Şekil 3.1 Girdi ve Çıktı Bileşimleri.....	104

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Girdi ve Çıktı Miktarları	16
Tablo 1.2 Kısmi Faktör Verimlilikleri.....	16
Tablo 1.4 Sınır Üretim Fonksiyonu ile Etkinlik Ölçüm Yöntemleri.....	44
Tablo 2.1 BSC Yönteminin Boyutları	59
Tablo 2.2 Tek Girdi ve Tek Çıktılı Sistem	71
Tablo 2.3 İki Girdi ve Tek Çıktılı Sistem	74
Tablo 2.4 Tek Girdi ve İki Çıktılı Sistem	77
Tablo 2.5 İki Girdi ve İki Çıktıdan Oluşan Model	84
Tablo 2.6 Langley Bölgesi Liselerinin Girdi ve Çıktı Miktarları	88
Tablo 2.7 Girdiye Yönelik Primal Modelden Dual Modele Geçiş	92
Tablo 2.8 Banka Modeli	95
Tablo 2.9 A Bankasının Etkinlik İyileştirmesi.....	96
Tablo 2.10 Çıktıya Yönelik Primal Modelden Dual Modele Geçiş.....	97
Tablo 3.1 Çimento Şirketleri.....	102
Tablo 3.2 Girdi Miktarları	103
Tablo 3.3 Çıktı Miktarları.....	103
Tablo 3.4 Adana Çimento Sanayii A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri	109
Tablo 3.5 Adana Çimento Sanayii A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri.....	112
Tablo 3.6 Batisöke Çimento Sanayii T.A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri	130
Tablo 3.7 Batisöke Çimento Sanayii T.A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri.....	133
Tablo 3.8 Bolu Çimento Sanayii A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri.....	136
Tablo 3.9 Bolu Çimento Sanayii A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri	139
Tablo 3.10 Çimentaş İzmir Çimento Fabr. T.A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri.....	153
Tablo 3.11 Çimentaş İzmir Çimento Fabr. T.A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri	156
Tablo 3.12 Göлтаş Çimento. San. ve T.A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri	159
Tablo 3.13 Göлтаş Çimento. San. ve T.A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri.....	162

GİRİŞ

Günümüzde yaşanan yoğun rekabet, ekonomik sıkıntılar ve girdi fiyatlarındaki yükselmeler nedeni ile işletmeler, kaynaklarını en etkin şekilde kullanmak için büyük çaba göstermektedirler. İşletmelerin kaynaklarını etkin kullanıp kullanmadıklarının belirlenebilmesi için en önemli göstergelerden biri, aynı sektör içerisinde bulunan işletmelerin gösterdikleri performanslardır. İşletmeler arasında yapılan karşılaştırmalar, işletmeler için çok önemli sonuçlar doğurmaktadır. İşletmeler arasındaki görece etkinlik ölçümleri ile, işletmelerin kaynaklarının ne kadarının israf edildiği anlaşılmaktadır.

İşletmeler arası görece etkinlik ölçümünde kullanılan yöntemlerden en geniş uygulama alanına sahip olanı Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemidir. İlk kez 1978 yılında A. Charnes, W.W. Cooper ve E. Rhodes tarafından, eğitim sektöründe yapılan etkinlik analizleri ile ortaya çıkmıştır. VZA yöntemi, aynı sektör içerisinde bulunan işletmelerin girdiye ve çıktıya yönelik olarak görece etkinlik değerlerinin ölçülmesini sağlayan, doğrusal programlamaya dayanan bir yöntemdir.

VZA modelleri, belirli bir çıktı düzeyinin minimum girdi ile sağlanması mantığı ile girdiye yönelik olarak ve belirli olan girdi düzeyi ile maksimum çıktının elde edilebilmesi mantığı ile çıktıya yönelik olarak kurulmaktadır.

Bu çalışmada, VZA yönteminin dayandığı temeller ve yöntem teorik olarak incelenmeye çalışılmış ve daha sonra da çimento sektöründe bir uygulama denemesi yapılmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde, VZA ile ilgili temel kavramlar incelenmiş ve söz konusu kavramlar VZA yöntemi ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

İkinci bölümde, VZA'nın tanımı, kullanıldığı alanlar, işleyişi, girdiye ve çıktıya yönelik modellerin kuruluşu ve çözüm şekli açıklanmaya çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde ise, çimento sektöründe faaliyet gösteren ve hisse senetleri İ.M.K.B'de işlem gören 15 çimento şirketinin verileri kullanılarak, girdiye ve çıktıya yönelik VZA modelleri kurulmuş, Win QSB bilgisayar programında modeller çözümlenmiş ve sonuçları yorumlanmaya çalışılmıştır.

I. BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

1. İŞLETMELERDE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Günümüzde işletmeler, müşteri odaklı ve süreç yönelimli, yeni yönetim anlayışına göre yaşamlarını sürdürmektedirler. İşletmeleri bu şekilde yaşamaya iten neden; gün geçtikçe ağırlaşan rekabet şartlarıdır. En önemli amacı kar elde etmek olan işletmeler, bu amaçlarını uzun vadede gerçekleştirebilmek için kendilerine alt amaçlar edinmişlerdir. Bu amaçlar, yeni yönetim biçimleri ile yakından ilişkilidir. Genellikle işletmeler diğerlerine tercih edilebilmek için müşteriye en iyi, en kaliteli mamulü, en iyi servis koşulları ile sunmayı birincil amaçları haline getirmişlerdir. Aksi halde işletmelerin piyasada tutunabilmeleri mümkün değildir. İşletmelerin bu amaçları ne ölçüde gerçekleştirebildiklerini bilmeye ihtiyaçları vardır. Bunun için de her işletmede yerleşmiş bir ölçme ve değerlendirme sisteminin olması gerekmektedir. Bu sistem işletmede bulunan departmanların tümünü ve birbirleri ile olan ilişkilerini değerlendirebilecek güçte olmalıdır. Çünkü her departman için ölçüm kriterleri farklıdır. Üretim bölümünün amacı, en düşük maliyetle, en kaliteli ürünü üretmek ve en yüksek miktarda üretim yapmak iken, pazarlama bölümünün amacı ise ürünü en yüksek kar marjı ile satmaktır, insan kaynakları bölümü de diğer bölümler bu amaçlarını yerine getirirken çalışanlara en yüksek tatmini sağlamayı amaç edinmiştir. İşletme bünyesi içerisindeki tüm departmanların performans göstergeleri farklıdır.

Ekonomik koşullardaki değişimler, üretim yöntemlerindeki gelişmeler ve rekabetin artması işletmeleri üretim süreçlerinde iyileştirme yapmaya zorlamaktadır. Şöyle ki; Toplam Kalite Yönetimi ve Tam Zamanında Üretim gibi yöntemler, üretken süreçlerin rasyonelliğini araştırmaya ve sürekli iyileştirme için kalitenin genel parametreleri olan maliyeti ve zaman kullanımını, azaltmaya yöneliktir. İşletmede kullanılan bu yöntemlerle her departmanın performans göstergeleri daha da farklılaşmaktadır. Kurulacak olan performans ölçüm sisteminin işletmeyi başarıya götüreceği farklı göstergeleri de içermesi gerekmektedir. Uygun performans göstergelerinin belirlenmesi, davranışları yönlendirmek, çalışanları motive etmek, öğrenme süreçlerini iyileştirmek, teşvik sistemlerini düzenlemek, bir işletmenin finansal

sonuçlarını daha olumlu hale getirmek gibi nedenlerle oldukça gereklidir.¹ Aşağıdaki göstergeler bir işletmedeki performans göstergelerine örnek olarak gösterilebilir.²

- Çıktı Göstergeleri

- Üretim miktarı
- Direkt işçilik verimliliği
- Fiilen çalışılan süre
- Boş süre
- Makine etkinliği

- Maliyet Göstergeleri

- Gerçekleşen maliyetler
- Ürünün birim maliyeti
- Direkt işçilik maliyeti
- İşçi başına katma değer
- Hurda maliyeti

- Finansal Performans Göstergeleri

- İşletme sermayesi ölçütleri
- Satış hasılatı ölçütleri
- Fon kullanım getirisi
- Hisse başına gelir

¹ Azofra, Valentin, - Prieto, Begona, - Santidran, Alicia, "The Usefulness Of A Performance Measurement System In A Daily Life Of An Organization : A Note On A Case Study", *The British Accounting Review*, Volume 35, Issue 4, 2003, s. 368.

² Langfield, Kim, - Madden, Smith, *FMA - 1999 Article Awards*, "Productivity And Performance Indicators In Enterprise Agreements", Financial And Management Accounting Committees Publishing, 1999, s. 60.

- İnsan Kaynakları Göstergeleri

- Çalışanların tatmini
- Sigorta performansı
- İş gören devir hızı
- Devamsızlık
- Uzmanlık artışları
- Direkt İşçilik / Endirekt işçilik oranı

- Kalite Göstergeleri

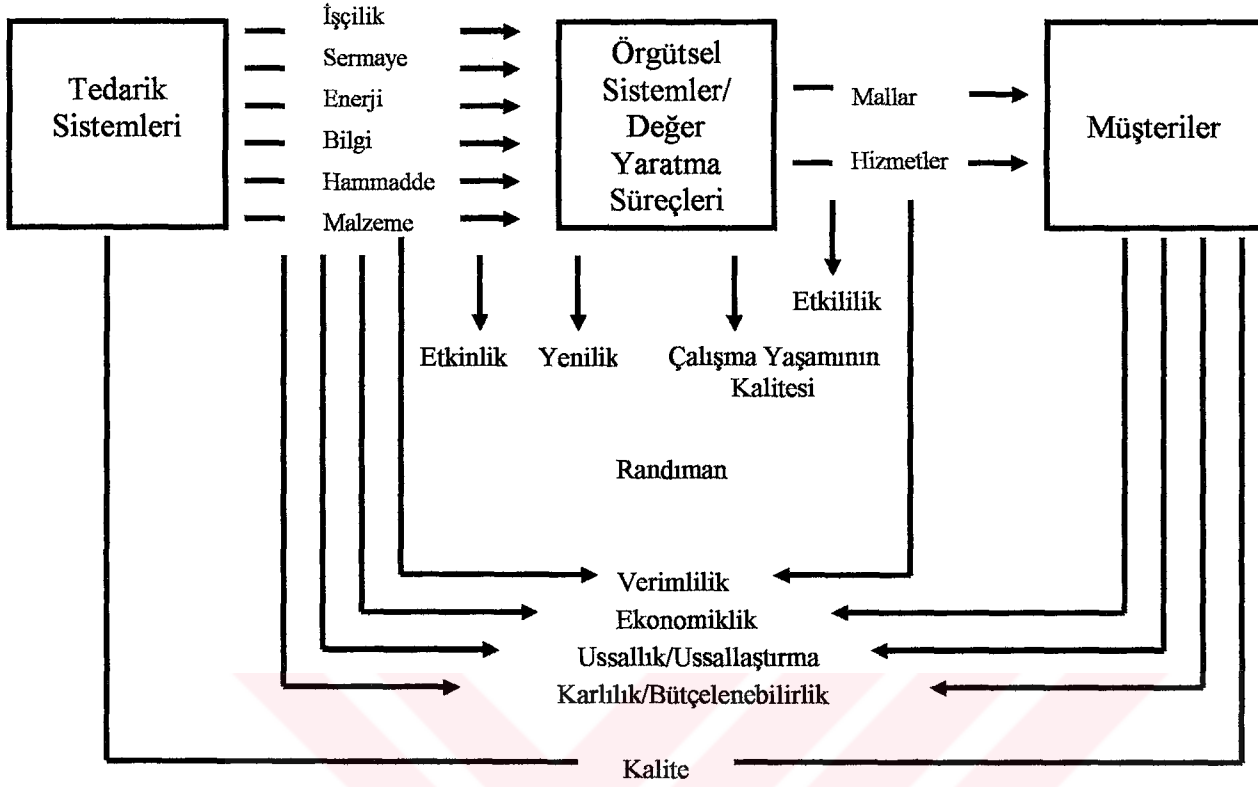
- Tüketici tatmini ve şikayetleri
- Teslimatların doğruluğu
- Hurda ve iade
- Faturaların doğruluğu
- Kalite standartlarına uygunluk

Bu tür göstergelerin istenilen düzeye gelmesi işletmenin vizyonunu oluşturmaktadır ve bu göstergelerin istenilen düzeye ulaşp ulaşmadığının ölçülmesi işletmeler için çok önemli bir olgudur. İşletmelerin kapasitelerini yeterli derecede kullanıp kullanmadıkları ancak bu şekilde anlaşılabilir.

“İşletme performansı, işletmeyi oluşturan sistemin tüm bileşenlerinin etkileşimi ve ortak çabaları ile oluşan toplam sonuç olarak algılanmaktadır”³ İşletme düzeyinde pek çok performans boyutu vardır. **Şekil 1.1**’ de performans boyutlarının işletme sistemi içerisindeki yerlerini görmek mümkündür:

İşletme performansını ölçmek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Klasik anlamda performans ölçümü verimlilik ölçümü ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Fakat yeni yönetim anlayışında performans kapsamında ölçülmesi gereken pek çok kriter olduğu açıktır.

³ Akal, Zühal, İşletmelerde Performans Ölçüm Ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri, MPM Yayınları, No: 473, Ankara, 2002, s. 10.



Şekil 1.1 Performans Boyutları

(Kaynak: Yavuz, İlknur, Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 667, Ankara, 2003, s. 9)

2. İŞLETMELER ARASI KARŞILAŞTIRMALAR

İşletmeler arası karşılaştırmalar, işletmelerin etkinliklerinin belirlenebilmesi için performans ölçümünde önemli bir yol göstericidir. İşletmeler arası karşılaştırmalar, aynı iş kolunda benzer ürünler üreten işletmelere, güçlü ve zayıf taraflarını birbirleriyle kıyaslama olanağı sağlamaktadır. Bu yönüyle işletmeler arası karşılaştırmalar, yöneticiler için karar vermede oldukça önemli bir araç olmaktadır. İşletmeler arası karşılaştırmalarda, karşılaştırma ölçütü benzer işletmelerin gösterdiği performanslardır. İşletmeler kendi sektörlerinde faaliyet gösteren, en iyi veya ortalama performansı olan işletmeleri kendilerine referans olarak alıp, hedeflerini belirlemede ölçüt olarak

kullanabilmektedirler. Bu nedenle işletmeler arası karşılaştırmaların performans ölçümünde önemli bir yeri vardır.⁴

İşletmeler arası karşılaştırmaların temel amaçlarını aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür:⁵

1. İşletmenin performansını, benzer işletmelerin performansı ile karşılaştırma olanağı sunarak, işletmenin durumunu yöneticilere göstermek.

2. Yönetimin dikkatini, işletmenin diğer işletmelerle karşılaştırıldığında ortaya çıkan güçlü ve zayıf yönlerine çekmek.

3. Yönetime, gelişmenin ve etkinliğin değerlendirilebilmesi için güçlü bir temel sağlamak.

İşte bu amaçlara yönelik olarak işletmeler, temelde, işletmenin kaynak kullanım düzeyi, işletme içindeki ve dışındaki potansiyel, rekabet ortamının değerlendirilmesi ve pazarın değerlendirilmesi gibi konularda bilgi sahibi olabilmek için işletmeler arası karşılaştırmalara başvururlar.

Bu tür bilgileri elde edebilmek ve işletmeler arası karşılaştırmalarda başarılı olabilmek için işletmelerin bazı ilkelere uygun davranması gerekmektedir. Bu ilkeleri aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür:⁶

1. Karşılaştırma yapılacak olan işletmelere ilişkin veriler yalnızca finansal tablolarını incelemek ile değil bizzat firmaya gidilerek toplanmalıdır.

2. Verilerin toplandığı dönemler, sektörün ve ekonomik durumun dönemsel incelenmesi gerekliliğinden dolayı aynı döneme ait olmalıdır.

3. Mali tablolardan doğruluğu kanıtlanmış olanlar işleme alınmalıdır.

4. Karşılaştırılacak olan işletmelerin sektör veya iş kolu özellikleri birbiriyle örtüşmelidir.

⁴ Akal, Zühal, İmalatçı Kamu Kuruluşlarında İşletmeler Arası Toplam Performans, Verimlilik, Karlılık Ve Maliyet Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 538, Ankara, 1994, s. 13-17.

⁵ Prokopenko, Joseph, Verimlilik Yönetimi: Uygulamalı El Kitabı, çev. Olcay, Baykal, - Nevda, Atalay, - Erdemir, Fidan, MPM Yayınları, No: 476, Ankara, 1995, s. 62.

⁶ Akal, (İşletmelerde Performans Ölçüm Ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri) a.g.e., s. 344 - 345.

5. Karşılaştırma yapılırken iyi, orta ve kötü performanslı olan örnek işletmeler dikkate alınmalıdır.

6. Ölçümün doğruluğunun sağlanması açısından sayısal göstergeler kullanılmalıdır.

7. Sektöre ait performans standartları belirlenmiş olmalıdır.

8. İşletme, yalnızca kendi sektörü ile değil, diğer sektörlerdeki işletmelerle de karşılaştırma yapılabilme olanağına sahip olmalıdır.

Bu ilkeler göz önünde bulundurularak yapılacak olan bir karşılaştırma gerçeği büyük ölçüde yansıtan objektif bir karşılaştırma olacaktır. Objektif bir karşılaştırma da işletmeye zayıf ve güçlü yanlarını doğru olarak saptama olanağı verecektir.

3. VERİMLİLİK

Verimlilik temel olarak, belirli bir çıktının üretilebilmesi için üretim sürecinde kullanılan girdilerin ne ölçüde rasyonel kullanıldığını ortaya koyan bir göstergedir. Kısaca üretim esnasında kullanılan, işçilik, hammadde, makine ve teçhizat, enerji, su ve bunlar gibi üretim faktörleri (girdiler) ile üretim süreci sonunda elde edilen ürünler (çıktılar) arasındaki oranı anlatır.⁷

Verimlilik ile ilgili pek çok tanımlama yapılmıştır. Farklı açılardan verimliliğe nasıl yaklaşıldığının görülebilmesi için bu tanımlamalardan bazılarına yer vermekte yarar vardır.

1997 yılında yapılan II. Verimlilik Kongresi'nde verimlilikten; olgu olarak, kavram olarak ve terim olarak, üç şekilde söz edilmiştir. Olgu olarak verimlilik, herhangi bir davranış şekli veya bir süreç olarak tanımlanırken, bu davranış biçiminin işletmenin kendine ait olmaktan çıkması ve toplumsallaşmaya başlaması ile bir kavram olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bir terim olarak verimlilik ise teknik bir olaydır ve verimliliğin sayısal olarak ifade edilmesidir.⁸

⁷ Odabaşı, Mesut, *Verimlilik Diye Diye Söyleşiler*, MPM Yayınları, No: 596, Ankara, 1997, s. 15.

⁸ Yavuz, (Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları) a.g.e., s. 9.

Verimlilik üretilen çıktılar ile bu çıktıları üretmek için kullanılan girdiler arasındaki ilişkidir. Verimlilikteki değişiklikler, çıktılardaki değişiklikler ve girdilerdeki değişiklikler arasındaki ilişkiyi de göstermektedir.⁹

Verimlilik ölçümünü ilk kez gerçekleştirenlerden biri olan Davis ise verimliliği “tüketilen kaynaklarla elde edilen ürünlerde değişim” olarak tanımlamıştır. Eğer herhangi bir işletme, kullandığı üretim faktörleri ile daha önceki döneme nazaran daha fazla ve daha kaliteli ürün üretmiş ise verimliliği artmıştır. Verimlilik üretimde uygulanan yöntemlerde, üretim faktörü miktarlarında, üretim hacminde ve çıktı karmasında oluşan tüm değişmelerin çıktı/girdi ilişkileri düzeyinde göstergesidir.¹⁰

Verimlilik literatüründe verimlilik artışı beş şekilde oluşabilmektedir:¹¹

1. Daha az kaynak (girdi) kullanarak aynı düzeyde çıktı üretildiğinde,
2. Kullanılan kaynakların miktarı değişmeden daha çok sayıda çıktı üretildiğinde,
3. Daha az girdi ile daha çok çıktı üretildiğinde,
4. Girdilerde herhangi bir artış olduğunda çıktı miktarında daha büyük bir artış gerçekleştiğinde ve
5. Kullanılan girdi miktarındaki bir azalma sonucunda, çıktı miktarının daha küçük miktarda azalma gösterdiği durumda, verimlilik değerinde artışlar gözlenmektedir.

Günümüzde artık “verimlilik” kavramına bazı boyutların eklenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Verimlilik güncel bir yaklaşım tarzı ile ele alındığında, müşteriler tarafından talep edilen, yani gereksinim duyulan mal veya hizmeti, doğru miktarlarda, müşterilerin talep ettiği zamanda, beklenen hızda, çevreye zarar vermeden, işletme

⁹ Silver, M.S., *Productivity Indices: Methods And Applications*, Gower Publishing Company, USA, 1996, s. 1.

¹⁰ Akal, (İşletmelerde Performans Ölçüm Ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri) a.g.e., s. 25.

¹¹ Golany, Boaz, - Yu, Gang, “Theory And Methodology Estimating Returns To Scale In DEA”, *European Journal Of Operations Research*, Volume 103, Issue 1, 1997, s. 28.

personelini koruyarak, istenilen kalitede ve en düşük maliyetle üretmek olarak tanımlanabilmektedir.¹²

Verimlilikle ilgili tanımlamalara bakıldığında, tüm durumları kapsayan tek bir verimlilik tanımının bulunmadığı görülmektedir. İşletmeye, incelenen olaya ve güdülen amaca bağlı olarak uygun bir tanımlama yapmak mümkündür.

3.1. Verimliliği Etkileyen Etkenler:

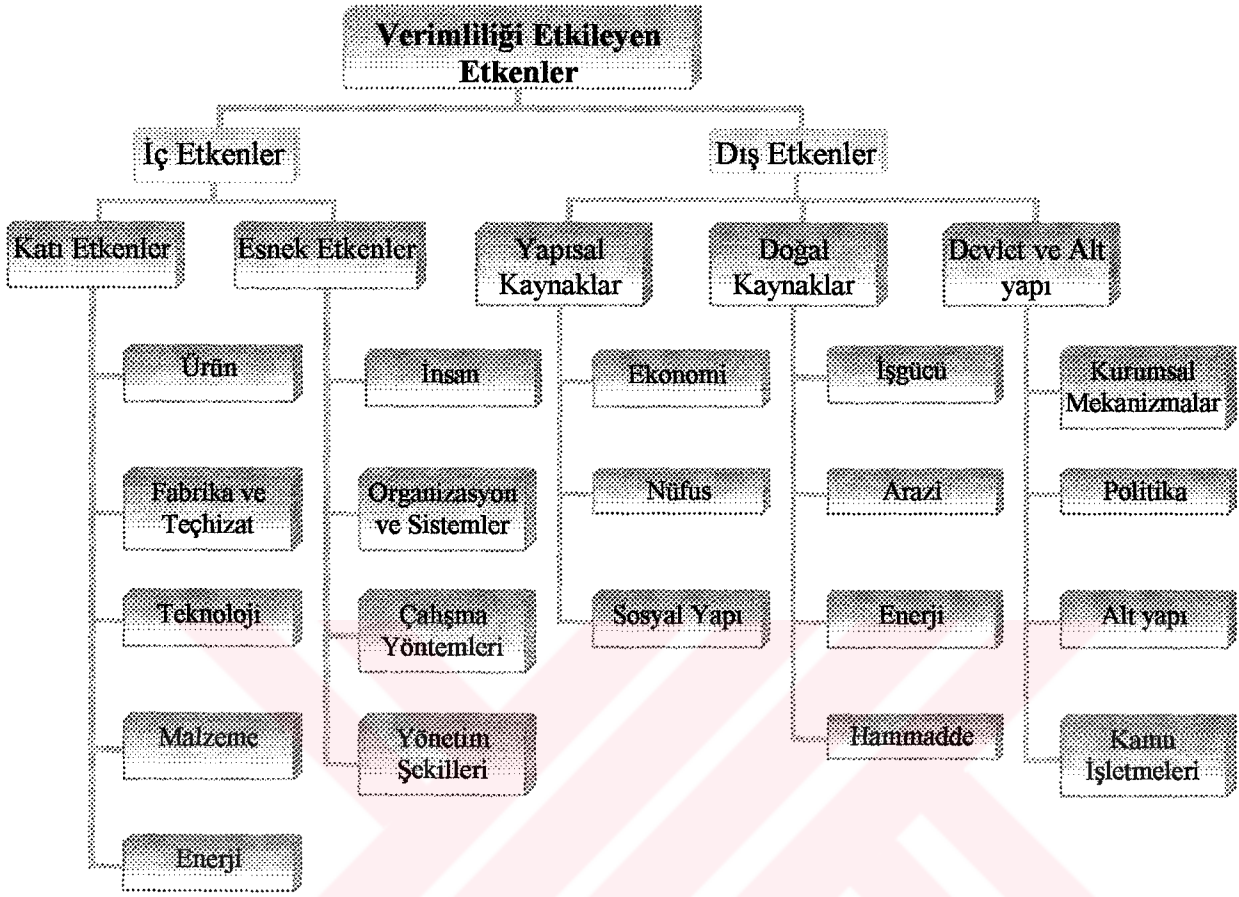
Verimliliği etkileyen pek çok etken bulunmaktadır. Bu etkenler öncelikle iç ve dış etkenler olmak üzere ikiye ayrılır. İç etkenler işletmenin bünyesinde, girdi ve çıktılar üzerinde etkili olan etkenlerdir. İç etkenler de katı etkenler (kolay değiştirilemeyen) ve esnek etkenler (kolay değiştirilebilen) olmak üzere ikiye ayrılır. Dış etkenler ise, hükümet politikalarını ve kurumsal mekanizmaları, siyasi, ekonomik ve sosyal koşulları, iş ortamı, finansman, enerji, su, taşıma, iletişim ve hammadde sağlama olanaklarını kapsamaktadır. Dış etkenler işletme tarafından denetlenemeyen etkenlerdir.¹³ Verimliliği etkileyen etkenler ayrıntılı olarak Şekil 1.2 üzerine incelenebilir.

İşletmelerde kaynakların etkin kullanılmasının sağlanmasında, işgören gereksiniminin belirlenmesinde ve üretim faktörlerinin kullanım kararlarının alınmasında verimlilik oranları önemli birer göstergedir. Verimlilik oranları, işletme yönetimi açısından denetim aracı olarak kullanılmaktadırlar. Bu amaçla üretim süreçleri denetlenip iyileştirilirken, verimlilik oranları işletmeler arası karşılaştırmalarda da önemli bir yer tutmaktadır.¹⁴ Bu nedenle işletmelerde her yönden, verimliliğin ölçümü oldukça yararlı bir performans göstergesidir.

¹² Büyükkılıç, Deniz, "Verimlilik Nedir ?" , <http://unalsavas.kolayweb.com/5455212892287.html> s. 7.

¹³ Propenko, a.g.e., s. 11-13.

¹⁴ Yücel, Erhan, - Korkmaz, Adil, İçki Sanayiinde Firmalararası Verimlilik Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 409, Ankara, 1990, s. 9.



Şekil 1.2 Verimliliği Etkileyen Etkenler

(Kaynak: Sabuncuoğlu, Zeyyat, - Tokol, Tuncer, *İşletme*, Furkan Ofset, Bursa, 2003, s. 30)

3.2. Verimlilik Ölçümü:

İşletmeler kendilerine uygun verimlilik ölçütlerini belirlemede özgürdürler. Fakat kullanılacak olan bu ölçütler olaylara ve durumlara göre farklılaşmaktadır, hatta durum sayısı kadar verimlilik ölçütü bulunabilmektedir. Bazı verimlilik ölçütleri diğerlerine kıyasla daha açıklayıcı olduğundan, işletmelerde verimlilik ölçümleri ayrıntılı olarak yapılmalıdır.¹⁵

¹⁵ Adam, Nabil R., - Doğramacı, Ali, *Productivity Analyses At The Organizational Level*, Martinus Nijhoff Publishing, London, 1981, s. 50.

İşletmelerde performans ve verimlilik ölçümleri, gelişme faaliyetleri için oldukça kritik bir yer tutmaktadır. Ölçüm sonuçları, verimlilik için neler gerektiğini tanımlamaya yardımcı olur ve en çok ihtiyacı olan departman ve uygulamalarda, iyileşme yapılabilmesi için, gerekli kaynaklara odaklanmak amacıyla kullanılabilir. Performansın ortaya konulmasını, geri beslemeyi ve performansın en üst düzeye çıkmasını sağlayacak olan faktörlerin belirlenmesi için verimlilik ölçümleri oldukça gereklidir. Verimlilik ölçümü büyümeyi sağlayabilmek için üretim sektöründe, hizmet sektöründe ve kar amacı gütmeyen sektörlerde kullanılabilir.¹⁶

Çıktının girdiye oranından oluştuğu düşünülen verimlilik ölçümünün, sanıldığından çok daha fazla boyutu vardır. **Şekil 1.3**'de yer alan verimlilik çemberi, verimlilik ölçümünün bir döngünün parçası olduğunu göstermektedir. Verimlilik ölçümü, dinamik bir süreçtir ve tekrarlanması gerekmektedir. Amaç, verimlilik artışı sağlayarak katma değer yaratmak ise, işletmenin verimlilik açısından nerede olduğunu bilmesine yani verimlilik ölçümü yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. İşletmenin durumunun değerlendirilmesinin ardından belirli bir plan çerçevesinde hareket edilerek amaç olarak belirlenmiş düzeye ulaşmaya çalışılır.¹⁷

Verimlilik ölçümünde dikkate alınabilecek bazı esaslar vardır. Verimlilik ölçme sistemi için gerekli olabilecek unsurlar şunlar olabilir:¹⁸

Hedefler : Ana hedeflere ne derecede ulaşılmaktadır?

Etkinlik : Mal ve hizmet üretimi için kullanılan üretim faktörleri ne ölçüde etkin kullanılmaktadır?

Etkililik : Girdi kullanımı ve çıktı üretiminde eldeki imkanlarla ne sağlanabilirdi, ne sağlandı ?

Karşılaştırılabilirlik : İşletme verimlilik açısından diğer işletmelerle, sanayideki ve diğer ülkelerdeki işletmelerle karşılaştırılabilir özellikte midir ?

¹⁶ Brinkerhoff, Robert, - Dressler, Dennis E., "A Guide For Manager And Evaluators", Applied Social Research Methods Series, Volume 19, 1990, London, s. 8-9.

¹⁷ Yavuz, (Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları) a.g.e., s. 14.

¹⁸ Bingöl, Şener, Meyve İşleme Sanayiinde Girdi Sorunları Ve Verimlilik, MPM Yayınları, No: 485, Ankara, 1993, s. 27.

Trendler : Zaman açısından verimlilik düzeyi, azalan, sabit veya artan hallerden hangisine sahiptir ?



Şekil 1.3 Verimlilik Çemberi

(Kaynak: Yavuz, İlknur, Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 667, Ankara, 2003, s. 14)

Tüm bu unsurlar belirlendikten sonra işletme eksik yönlerini görebilmekte ve yapılan verimlilik ölçümleri amacına ulaşabilmektedir. Hedeflerden sapmaların, israf edilmiş ya da atıl kalmış kaynakların, girdi ve çıktı miktarlarının, diğer işletmelerle karşılaştırılabilme olanaklarının ve işletmenin o zamana kadar verimlilik düzeyinde meydana gelmiş değişikliklerin belirlenmesi, hem verimlilik ölçümlerine ışık tutmakta hem de ileriki yıllarda verimlilikte olabilecek değişme ve gelişmelerin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

İşletmelerde verimlilik ölçümüne;

1. Verimlilik azalışlarını önceden tespit etmek “erken uyarı” ,
2. Yönetim kararları için; birey, birim, işletme ve sektör bazında verimlilik karşılaştırması yapmak,
3. Verimlilik artışlarını işletme sahipleri veya ortaklarına kanıtlamak,

4. Gerçek verimlilik verileri kullanarak ödül ve prim planlarını yürütmek gibi nedenlerle ihtiyaç duyulabilmektedir.¹⁹

Verimlilik ölçümünde izlenecek yol ve yöntemler işletmeden işletmeye farklılaşmaktadır. Öncelikle ölçüm yolu ve sonra da ölçüm yöntemi belirlenmektedir. Örneğin; Arthur Andersen & Co. Danışmanlık şirketinin verimlilik ölçümü için önerdiği yaklaşımdaki adımlar **Şekil 1.3** üzerinde özetlenmiştir:²⁰

1. Adım → Endüstri Ortalamaları İle İşletmenin Karşılaştırılması : Bu adım işletmelerde verimlilik analizleri için bir başlama noktasıdır. Ek olarak, sektörümüzde nasıl rekabet ediyoruz sorusunun cevabını bulmak, işletmenin sektörü içindeki diğer işletmelerle göreceli verimlilik trendlerini karşılaştırabilmeleri için hızlı ve basit bir yöntem sağlamaktadır.

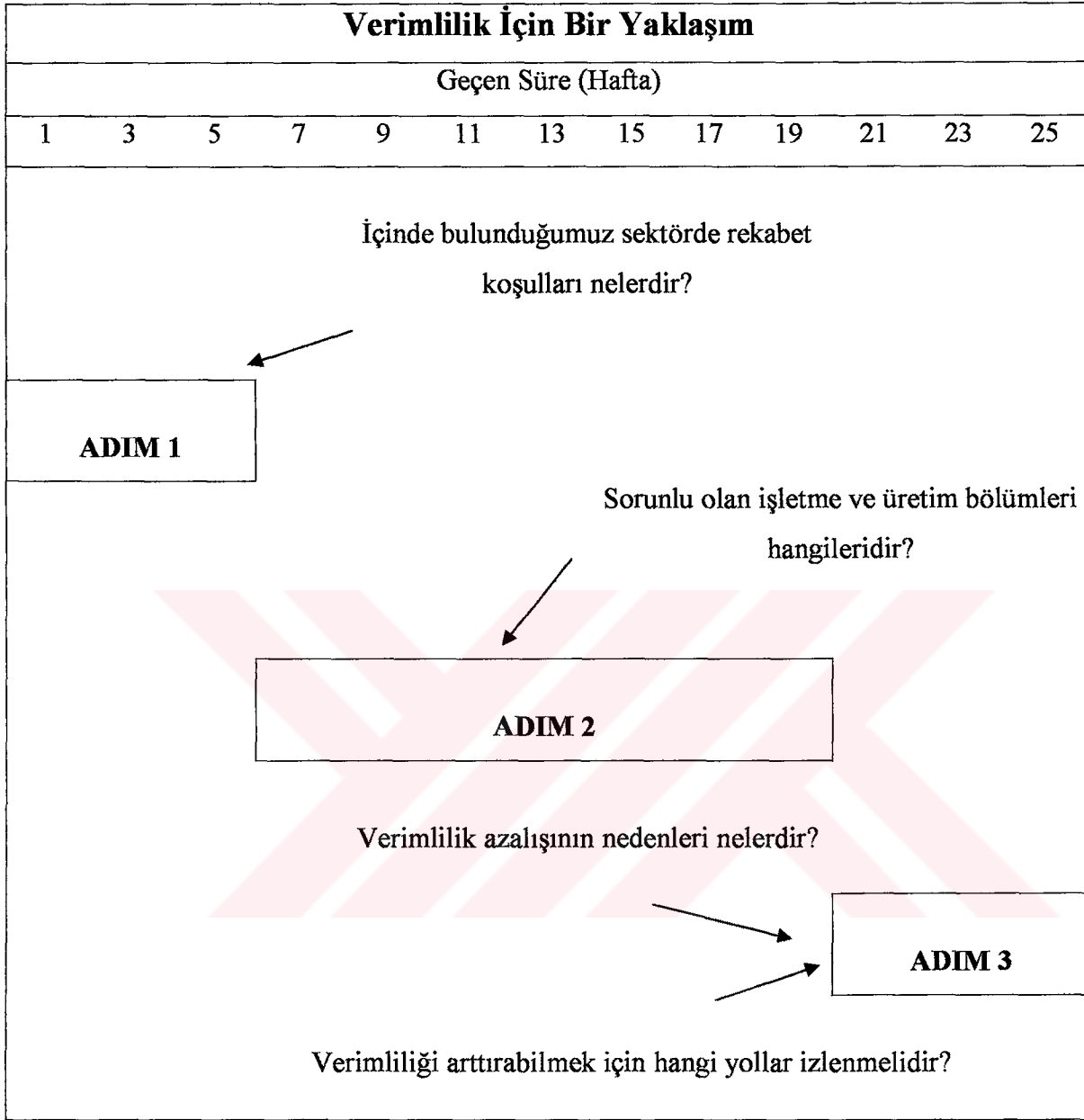
2. Adım → Fonksiyonel Gruplar Yardımıyla Verimlilik Ölçümü : Bu adımda sorunlu bölümler varsa belirlenip iyileştirilerek verimlilik artışı sağlanabilir. Problem olduğu düşünülen bölümlerden yararlanılarak, işletmedeki genel sorunlara pilot bölüm yardımıyla ulaşılabilir.

3. Adım → Verimlilik Azalışına Neden Olan Faktörlerin Tanımlanması ve Çözüm Yolları : Bu adımda ise verimliliğin azalmasında etkili olan faktörler belirlenir ve verimlilik geliştirme için izlenecek yollar tanımlanır. Genellikle verimlilik artırma, sermaye yatırımlarını arttırarak, yöntem değişikliklerine gidilerek, yeni teknolojiler kullanılarak veya ürün dizaynında değişiklikler yapılarak sağlanabilmektedir.

Verimlilik ölçümünün pek çok yöntem ile yapılabildiği bilinmektedir. Bu yöntemlerin tümünün dayandığı matematiksel bir temel bulunmaktadır. Verimlilik ölçümünün dayandığı matematiksel temel, basit tanımında olduğu gibi girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkilerle açıklanmaktadır.

¹⁹ Brinkerhoff, Dressler , a.g.e., s. 22.

²⁰ Carr, Joseph J., Measuring Productivity, Arthur Andersen & Co. Publishing, London, 1973, s. 13-14.



Şekil 1.4 Verimlilik İçin Bir Yaklaşım

(Kaynak: Carr, Joseph J., Measuring Productivity, Arthur Andersen & Co. Publishing, London, 1973, s. 13.)

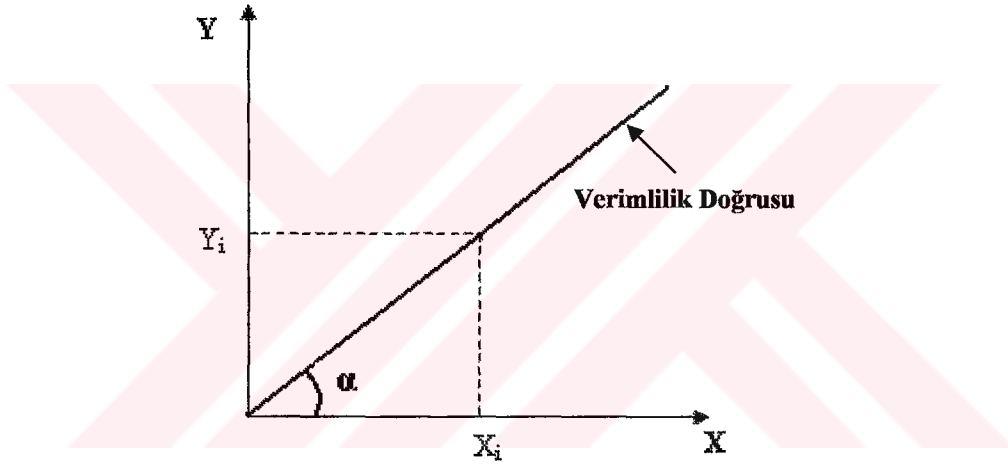
Verimlilik üretimdeki teknik değişikliklerin oranını ölçmek için kullanılmaktadır. Verimlilik iki temel unsur ile tanımlanabilmektedir. Bunlar;

- Kısmi Faktör Verimliliği ve
- Toplam Verimlilik' tir.

Ortalama ürün olarak da adlandırılan Kısmi Faktör Verimliliği, çıktının belirli bir girdiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Y_i , çıktıyı ve X_i tek bir girdi faktörünü göstermek üzere, Kısmi Verimlilik (V_i) aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$V_i = \frac{Y_i}{X_i} \quad (1.1)$$

Kısmi Verimlilik değeri, ayrıca girdi ve çıktı değerlerinin doğrusal kombinasyonlarından oluşan verimlilik doğrusunun eksenlerle yaptığı açının (α) tanjantına eşittir. Bu durum Şekil 1.5 üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 1.5 Verimlilik Doğrusu

Kısmi Faktör Verimliliği yalnızca teknik değişikliğe katkısı olan tek bir girdiyi ölçer ve diğer girdi faktörlerinin etkilerini göz ardı eder.²¹

Kısmi Faktör Verimliliği göreceli bir kavram değildir. Ölçümü yapılan birimlerin verimliliklerini birbirlerinden bağımsız olarak ölçme imkanı vardır. Kısmi Faktör Verimliliği ölçümü tek girdi ve tek çıktının olduğu durumlarda sağlıklı sonuçlar verebilmektedir. Girdi ve çıktıya bağlı olarak değişen verimlilik değeri, koordinat

²¹ Mao, Weining, - Koo, Won W., "Productivity Growth, Technology Progress And Efficiency Change In Chinese Agricultural Production Form 1984 To 1993", Agricultural Economics Report, No: 362, North Dakota, 1996, s. 4.

düzleminde, girdi x ekseninde ve çıktı y ekseninde gösterildiğinde, orijinden (0,0) başlayan ve incelenen karar birimini temsil eden noktadan geçen doğrunun eğimine eşittir. Bu doğrunun eğiminin artması verimliliğin yükseldiğini gösterir.²²

Bu durum, tek girdi ile tek çıktı üreten ve aynı sektörde faaliyet gösteren beş işletmenin ele alındığı aşağıdaki örnek üzerinde incelenebilir. Her bir işletmenin girdi ve çıktı miktarları **Tablo 1.1**' de gösterilmektedir.

Tablo 1.1 Girdi ve Çıktı Miktarları

	A İşletmesi	B İşletmesi	C İşletmesi	D İşletmesi	E İşletmesi
Girdi (X_i)	5000	6000	5500	4000	5000
Çıktı (Y)	200	150	250	200	250

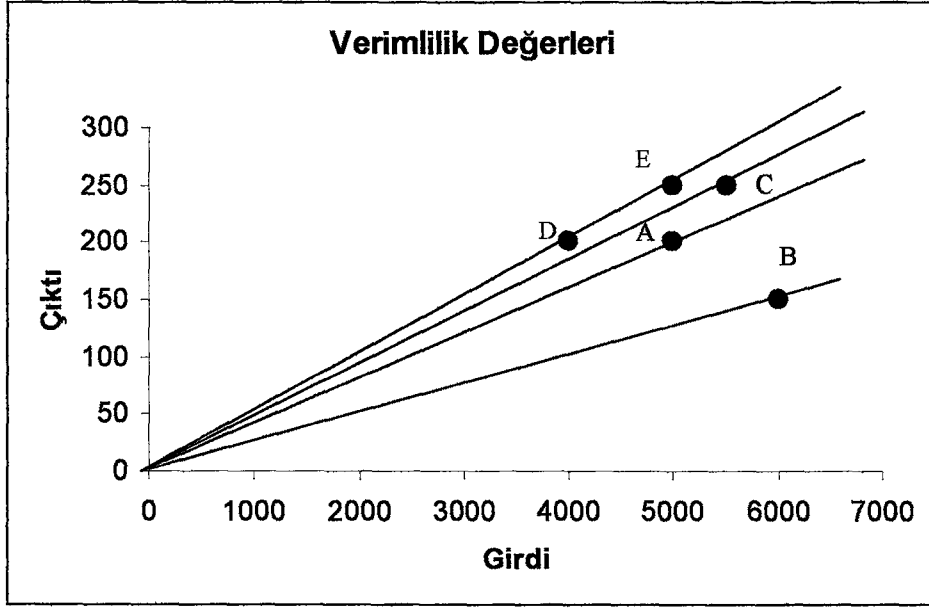
Tüm karar birimlerinin Kısmi Faktör Verimliliği değerleri çıktı miktarları girdi miktarlarına bölünerek bulunabilir.

Tablo 1.2 Kısmi Faktör Verimlilikleri

	A İşletmesi	B İşletmesi	C İşletmesi	D İşletmesi	E İşletmesi
$V_i (Y_i/X_i)$	0,04	0,025	0,045	0,05	0,05

$V_i = Y_i/X_i$ denklemi Y_i cinsinden yazıldığında $Y_i = V_i \cdot X_i$ doğrusu elde edilmektedir. Dolayısıyla verimlilik değeri Y doğrusunun eğimine eşit olmaktadır.

²² Tarım, Armağan, Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayınları, Ankara, 2001, s. 11.



Şekil 1.6 Verimlilik Değerleri

Şekil 1.6' da görülebileceği gibi farklı ölçeklerde olmalarına rağmen en yüksek verimliliğe sahip olan karar birimleri D ve E işletmeleridir. Aralarında en düşük verimliliğe sahip olanı da B işletmesidir. Diğer işletmeler sektörlerindeki D ve E işletmelerini kendilerine referans olarak seçebilirler. A işletmesi de D işletmesi ile aynı çıktı düzeyine sahip olmasına rağmen kullandığı girdi miktarı daha fazla olduğundan, verimliliği düşük bir değer almıştır. Kullandığı girdi miktarında tasarrufa giderek verimliliğini arttırabilir. Burada D ve E karar birimlerinin buldukları ölçek büyüklüğü En Verimli Ölçek Büyüklüğü (MPSS, Most Productive Scale Size) olarak adlandırılmaktadır. $Y = 0,05 X$ doğrusu üzerinde olabilecek tüm karar birimleri en verimli ölçek büyüklüğüne sahip olacaklardır.

Uygulamada, tek girdi ile tek çıktı üretimi rastlanan bir durum değildir. Bu nedenle Kısmi Faktör Verimliliği ölçümü yetersiz kalmaktadır. Çok sayıda girdi ve çıktının bulunduğu durumlarda oran analizi yetersiz kaldığından Toplam Faktör Verimliliği (TFP, Total Factor Productivity) yönteminden yararlanılmaktadır.

İncelenecek olan işletmelerde iki çeşit girdi ile iki tür çıktı üretiliyorsa durum daha farklı olacaktır. Bu durumda olan beş işletmenin girdi ve çıktı miktarları **Tablo 1.3'** de gösterilmiştir.

Tablo 1.3 Çoklu Girdi ve Çıktı Miktarları

	GİRDİLER(X_i)		ÇIKTILAR (Y_i)	
	X_1	X_2	Y_1	Y_2
A İşletmesi	5000	4000	200	400
B İşletmesi	6000	5000	150	250
C İşletmesi	5500	6000	250	300
D İşletmesi	4000	4000	200	200
E İşletmesi	5000	5250	250	250

Verimlilik oranlarının hangi girdilere ve hangi çıktılara göre hesaplanacağı açık olarak bilinmemektedir. Verilen örnekte verimlilik hesapları için dört durum oluşmaktadır. Birinci girdi ile birinci çıktı, ikinci girdi ile ikinci çıktı, birinci girdi ile ikinci çıktı ve ikinci girdi ile birinci çıktı karşılaştırılabilir. Fakat bu karşılaştırmalar anlamlı olmayacaktır. Çünkü her birinin verimlilik skorları farklı olacak ve her karşılaştırmada en verimli ölçek büyüklüğüne sahip olan işletme değişecektir. Bu nedenle oran analizi yetersiz kalmakta ve yeni bir yöntem arayışına girilmektedir.

3.3. Toplam Faktör Verimliliği:

Tüm girdi faktörlerinin ortalama katkısı olarak da adlandırılan, Toplam Faktör Verimliliği çıktı ve girdilerin bütününün dizininin oranı ile gösterilmektedir. X tüm girdilerin indeksini ve a_i , X_i girdisinin ağırlığını göstermek üzere, TFV aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$TFV = \frac{Y}{X} = \frac{Y}{\sum a_i \cdot X_i} \quad (1.2)$$

Toplam Faktör Verimliliğinde, toplam üretim fonksiyonları veya maliyet fonksiyonları, sınırlandırılmış fonksiyonel formlar ve bu sınırlamalardan etkilenen ekonomik parametreler tahmin edilerek hesaplanır. Ayrıca Toplam Faktör Verimliliği, Laspeyres, Paasche, Fisher, Tornquist-Theil veya Malmquist endeksleri gibi endeksler kullanılarak da hesaplanabilir. Endeks yaklaşımı, üretim fonksiyonundaki sınırlamaların, girdilere ve çıktıya ağırlıklar vererek etkilenebileceği varsayımından hareket etmektedir.²³

Toplam Faktör Verimliliği endeksi, toplam girdi endeksi (ağırlıklı toplam) tüm girdileri kapsayan bir endeks iken, toplam çıktının toplam girdi endeksine oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$TFV = \frac{Y}{f(L, K)} \quad (1.3)$$

Girdilerin toplam ifadesi, üretim fonksiyonu ile ifade edilebilir. Bu durumda f(.) fonksiyonu toplam girdiyi, L iş gücü, K sermaye girdisini göstermek üzere yukarıdaki denklem bir üretim fonksiyonu olarak gösterilebilir.²⁴

$$Y = TFV \cdot f(L, K) \quad (1.4)$$

Üretim fonksiyonundaki girdileri çoğaltmak mümkündür. Bu şekilde yapılacak olan bir analiz daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

Toplam Faktör Verimliliği çoğunlukla işletmeler arası karşılaştırmalar yapılırken kullanılmaktadır. Girdiler için hesaplanan üretim fonksiyonu ile karşılaştırması

²³ Mao, Koo, a.g.e., s. 4.

²⁴ Palia, Darius, - Linchtenberg, Frank, "Managerial Ownership And Firm Performance : A Re-Examination Using Productivity Measurement", *Journal Of Corporate Finance*, Volume 5, Issue 4, 1999, s. 327.

yapılacak olan işletmelerin üretim düzeyleri belirlenebilmektedir. İşletmelerin belirlenen üretim fonksiyonlarından sapmaları ise, işletmelerin verimlilik düzeylerini göstermektedir.²⁵

Endeks yaklaşımları dışındaki Toplam Faktör Verimliliği hesaplamalarında, tüm girdiler toplanarak tek bir girdi faktörüne ve çıktılar toplanarak tek bir çıktı faktörüne dönüştürülmektedir. Bundan sonra toplam çıktının toplam girdiye oranı hesaplanarak karşılaştırma yapılmaktadır. Toplam Faktör Verimliliği yaklaşımının en zayıf tarafı farklı özellikler gösteren girdi ve çıktılarının nasıl toplanacağıdır. Girdi ve çıktı faktörleri için uygulanacak katsayılar bilinmemektedir. Veri Zarflama Analizi Yöntemi bu sorunu ortadan kaldırmıştır ve birçok girdi ve çıktının bulunduğu değerlendirmelerde daha objektif sonuçlar vermektedir.²⁶

4. ÜRETİM FONKSİYONU (ÜRETİM SINIRI)

Üretim fonksiyonu, belirli bir dönemde, belirli bir mamulün üretimi için kullanılan üretim faktörleri ile (girdiler), üretim süreci sonunda elde edilen mamuller (çıktılar) arasındaki ilişkiyi ifade eder.²⁷ Üretim fonksiyonunun bu geleneksel tanımlamasında sadece üretim miktarı ile kullanılan üretim faktörleri arasında bulunan fonksiyonel ilişki üzerinde durulmaktadır.

Matematiksel olarak üretim fonksiyonu, belirli bir miktardaki çıktının (Y), bu çıktıları üretmek için kullanılan belirli miktardaki girdilerin (X_n) bir fonksiyonu olduğunu anlatmaktadır. Teknik etkinlik kavramında, bir üretim fonksiyonu için, her uygun girdi bileşimi ile maksimum çıktının üretilebileceği veya üretilen tüm çıktıların minimum uygun girdi bileşimini kullandığı varsayılmaktadır.²⁸ Genel bir üretim fonksiyonu matematiksel bir bağıntı olarak aşağıdaki şekilde gösterilebilir.²⁹

²⁵ Bingöl, a.g.e., s. 22.

²⁶ Tarım, a.g.e., s. 13.

²⁷ Dinler, Zeynel, *Mikro İktisat*, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 2002, s. 121.

²⁸ Sheth, Nimish, *Measuring And Evaluating Efficiency And Effectiveness Using Goal Programming And Data Envelopment Analysis In A Fuzzy Environment*, Faculty Of the Virginia Polytechnic Institute, Master's Thesis, Industrial And Systems Engineering, Falls Church Virginia, 1999, s. 8.

²⁹ Sevim, Cüneyt, "Eğitimin Üretim Fonksiyonu", K.H.O. Yayınları, *Bilim Dergisi*, 2/7, Ankara, 2001, s. 69.

$$Y_j = f_i (X_1, X_2, X_3, \dots, X_m)$$

Y_j : Üretim miktarı

X_i : Üretime katılan faktörler

j : 1,2,.....,s

i : 1,2,.....,m

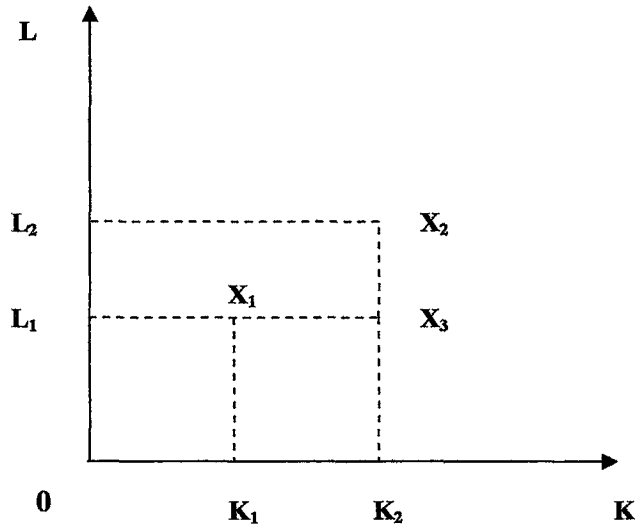
Burada f_i üretim miktarı ile üretim faktörlerinin miktarları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Modelde s sayıda çıktı, m sayıda üretim faktörü kullanılarak üretilmektedir. Y üretilen mal ve hizmet miktarlarını, X_1, X_2, \dots, X_m ise üretim sürecinde kullanılan sermaye, işgücü, alan, enerji, hammadde, gibi üretim faktörlerini göstermektedir. Yani üretim süreci sonucunda elde edilen mal ve hizmetlerin akışı, sermaye, işgücü, alan, enerji ve hammadde gibi girdilerin akışlarının matematiksel bir fonksiyonu olmaktadır. Bu ilişkiyi üretim fonksiyonu tanımlamaktadır. Fonksiyonun sağ tarafında bulunan değişkenlere bakılarak üretimde kullanılan üretim faktörlerinin üretilen mal ve hizmetler içerisindeki kısmi verimlilik ölçüleri belirlenebilir. X_1 üretim sürecinde kullanılan girdilerden yakıtı gösterdiğinde, yakıtın verimlilik değeri Y / X_1 olarak bulunur. Tabii ki yakıtın verimliliği işletme ve sektöre göre de değişiklik gösterebilir.³⁰ Belirli bir ürünü üretmek için kullanılacak üretim faktörleri bileşimleri miktar olarak değişken olabilir.

İki üretim faktörü, işgücü ve sermaye kullanılarak üretilen bir üründe belirli bir üretim miktarını gerçekleştirebilmek için gereken iş gücü (L) ve sermaye (K) bileşimleri **Şekil 1.7** yardımı ile gösterilebilir.

Şekil 1.7'deki her nokta bir Y üretim miktarını gerçekleştirebilmek için kullanılan işgücü (L) ve sermaye (K) miktarlarını göstermektedir. X_1 girdi bileşimi en az girdi miktarları ile Y üretim miktarını gerçekleştiren üretim bileşimidir. Aralarında en etkin olanı X_1 dir.³¹

³⁰ Silver, a.g.e., s. 1-2.

³¹ Turunç, İdil, Çeşitli Üretim Fonksiyonu Yaklaşımlarıyla Teknolojik Değişmenin Ölçülmesi Ve Verimlilik, MPM Yayınları, No: 343, Ankara, 1986, s. 8-9.



Şekil 1.7 İşgücü ve Sermaye Kullanımı

(Kaynak: Turunç, İdil, Çeşitli Üretim Fonksiyonu Yaklaşımlarıyla Teknolojik Değişmenin Ölçülmesi Ve Verimlilik, MPM Yayınları, No: 343, Ankara, 1986, s. 8)

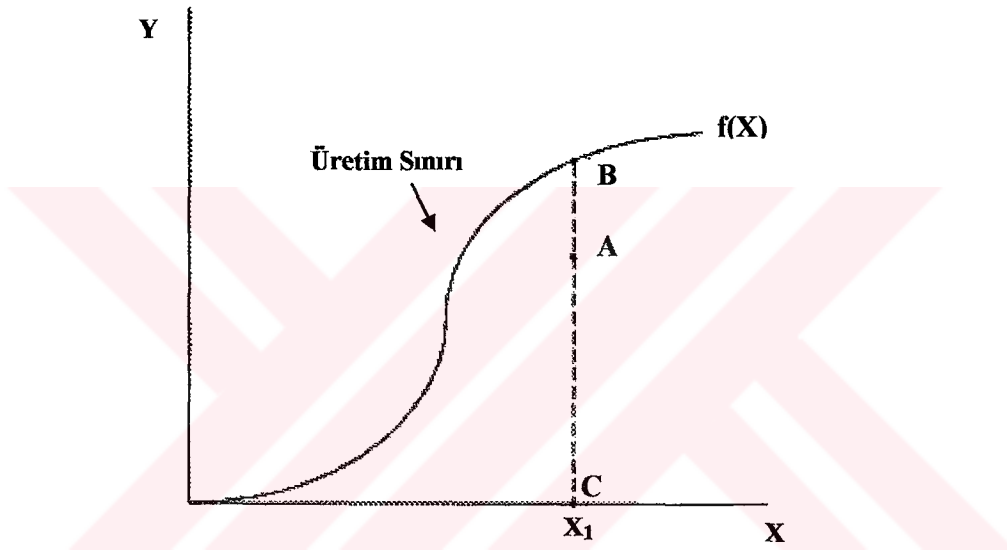
Üretim fonksiyonlarının tanımlanması ile en etkin faktör bileşimleri belirlenebilir. Üretim fonksiyonları yardımı ile belirli üretim faktörleri ile elde edilebilecek maksimum üretim miktarları da bulunabilir. Ayrıca üretime katılan üretim faktörlerinin elde edilen ürün içindeki oranları ve bu oranların nasıl değiştiğine ilişkin bilgiler de üretim fonksiyonlarından elde edilebilir. Üretim fonksiyonları üretim imkanlarının bulunmasına ek olarak kar maksimizasyonunun gerçekleştirilmesi için de yararlı olur.³²

Sınır performans ölçümüne dayalı performans karşılaştırmaları, üretim fonksiyonu veya üretim sınırı tanımından gelmektedir. Üretim fonksiyonu, mevcut teknikler çerçevesinde, verimli dönüşüm olasılıklarını tanımlayan teknik bir ilişkidir. Bu ilişki tanımlaması dahilinde, miktarı belirli olan üretim faktörleri ile üretilen tahmin edilen çıktı miktarı, aynı zamanda bir teknik maksimizasyon problemi olmaktadır.³³

³² Sevim, a.g.m., s. 70.

³³ Aydemir, Zeynep Canan, Bölgesel Rekabet Edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması, DPT Yayınları, No: 2667, Ankara, 2002, s. 36-37.

Girdi - çıktı dönüşümü, bir üretim sürecindeki girdiler ve çıktılar arasındaki teknik ilişkiyi anlatan bir üretim sınırı ile belirlenebilir. Etkin üretim sınırı, verilen girdi bileşiminden elde edilebilecek optimal (ideal) çıktı düzeyini göstermektedir. Maksimum ve gerçekleşen çıktı düzeyleri arasındaki fark teknik etkinsizlik olarak adlandırılmaktadır. İşletme, sınır üzerinde üretim yapmıyorsa teknik olarak etkin değildir.³⁴ **Şekil 1.8**, tek girdi (X) ile tek çıktı (Y) üreten bir işletmenin tipik üretim sınırını göstermektedir.



Şekil 1.8 Üretim Sınırı

(Kaynak: Shao, B.B.M., - Lin, W.T., "Measuring The Value Of Information Technology In Technical Efficiency With Stochastic Production Frontiers", Information And Software Technology, Volume 43, 2001, s. 448)

Şekil 1.8' de üretim sınırı verilen işletme A noktasında faaliyet göstermektedir. Üretim sınırına göre, firma yine X_1 girdi düzeyini kullanarak, çıktı düzeyini B noktasına yükseltebilmektedir, dolayısıyla, $|AB|$ uzaklığı sınır altında olan işletmenin teknik etkinsizliği olarak dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, farklı bir tanımlama yapmak gerekirse, teknik etkinsizliği göstermek için AB / BC oranı ve teknik etkinliği

³⁴ Shao, B.B.M., - Lin, W.T., "Measuring The Value Of Information Technology In Technical Efficiency With Stochastic Production Frontiers", Information And Software Technology, Volume 43, 2001, s. 448-449.

göstermek için de $AC / BC (= 1 - AB / BC)$ oranı kullanılmaktadır.³⁵ Herhangi bir karar verme biriminin ait olduğu üretim sınırı altında veya üstünde kalma miktarı görece etkinlik ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Üretim sınırı, etkinlik ölçümü için oldukça önemli bir kavramdır.

İşletmelerin etkinlikleri, kullanılan girdilerle mümkün olan en çok miktarda çıktı üretme başarısı olarak tanımlanmaktadır. Değerlendirmeler ve karşılaştırmalar yapılabilmesi açısından işletmelerin etkinliklerinin ölçülmesi oldukça önemli bir konudur. Geleneksel etkinlik ölçüm yaklaşımları, üretim sınırının bilindiği varsayımını benimsemişlerdir. İşletmelerin performansları ideal etkinlik standardı ile karşılaştırılmaktadır. Bu açıdan etkin üretim fonksiyonunun doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Etkin üretim fonksiyonunun belirlenebilmesi için iki temel yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi teorik fonksiyonlar türetmek, ikincisi ise gözlemlere dayanarak fonksiyonlar türetmektir. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan günümüz işletmeleri için teorik fonksiyon belirlemek yerine, gözlemlere dayanarak etkin üretim fonksiyonunu belirlemek daha anlamlı olacaktır. Gözlemlere dayanarak oluşturulacak olan etkin üretim fonksiyonunun elde edilebilmesi için, gözlem yapılan bir dizi üretim sürecinin kullandığı girdi ve ürettiği çıktı miktarlarının bilinmesi gerekmektedir.³⁶

5. ÜRETİM İMKANLARI KÜMESİ

Üretim sürecinde girdilerin çıktılara dönüşmesi olayının etkin bir şekilde sağlanabilmesi için belirli bir girdi bileşimi kullanılarak en çok çıktı miktarının elde edilmesi ya da belirli miktardaki çıktının en az miktarda girdi kullanılarak üretilmesi gerekmektedir. Üretim İmkanları Kümeleri ise belirli bir üretim fonksiyonu tarafından üretilmesi olası olan, etkin ya da etkin olmayan tüm girdi ve çıktı bileşimlerini içermektedir.³⁷ Yani, Üretim İmkanları Kümesi, tanımlanmış bir üretim fonksiyonu

³⁵ Shao, a.g.m., s. 449.

³⁶ Tarım, a.g.e., s. 5-6.

³⁷ Yolalan, Reha, İşletmelerarası Görelî Etkinlik Ölçümü, MPM Yayınları, No: 483, Ankara, 1993, s. 7.

altında üretilmesi mümkün olan tüm girdi çıktı bileşim noktalarını içeren kümedir. Üretim İmkanları Kümesinin oluşturulması aşamasında, üretim teorisinin dayandığı bazı varsayımlar bulunmaktadır. Bu varsayımların ortaya çıkarılmasındaki amaç, bir Üretim İmkanları Kümesi belirlemek ve gözlenen verilerle ‘etkin’ bir alt küme tanımlamaktır.³⁸ Etkin bir alt küme tanımlanırken kullanılacak olan notasyon aşağıdaki gibidir:

- $G = \{1,2,\dots,n\}$: Gözlem Kümesi
- $X \in R_+^{m \times n}$: Gözlemlenmiş Girdi Matrisi
- $Y \in R_+^{s \times n}$: Gözlemlenmiş Çıktı Matrisi
- (x,y) : Üretim İmkanları Kümesine ait herhangi bir girdi-çıktı vektörü
- $\Omega \subset R_+^m \times R_+^s$: Üretim İmkanları Kümesi
- $E(\Omega) \subset \Omega$: Üretim İmkanları Kümesinin Etkinlik Sınırı
- $E(x, y, X, Y)$: Etkinlik Ölçütü

Etkinlik analizine dahil edilecek olan karar birimi (DMU = Decision Making Unit) sayısı n ile gösterilmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi için söz konusu olan karar birimlerinin birbirlerine benzer olmaları yani aynı türden girdileri kullanarak, aynı türden çıktılar üretmeleri gerekmektedir. Bu notasyona göre incelenen sistemde, s tane çıktı faktörü m tane girdi faktörü kullanılarak üretilmektedir. İncelenecek n tane karar birimi arasından, karar birimi j 'nin, $j = 1,2,\dots,n$, kullandığı girdi i , $i = 1,2,\dots,m$, miktarı X_{ij} ve ürettiği çıktı r , $r = 1,2,\dots,s$, miktarı Y_{rj} olarak tanımlanmıştır. Var olan teknoloji ile gerçekleştirilmesi olası olan girdi-çıktı bileşimi (x,y) 'lerin kümesi olan Üretim İmkanları Kümesi, Ω , olarak tanımlanmaktadır.³⁹

Etkinlik ölçümü için sıkça başvurulan varsayımlar ve yorumları ise aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

³⁸ Banker, R. D., - Charnes, A., - Cooper, W. W., “Some Models For Estimating Technical And Scale Inefficiencies In Data Envelopment Analysis”, Management Science, Volume 30, No: 9, 1984, s. 1081.

³⁹ Tarım, a.g.e., s. 9.

1. Varsayım : $(x, y) \in \Omega, y \neq 0 \Rightarrow x \neq 0$ Üretim süreci sonunda çıktı elde edilebilmesi için mutlaka girdi kullanılması gerekmektedir.

2. Varsayım : $(x, y) \in \Omega, x < \infty \Rightarrow y < \infty$ Girdi miktarları sonlu ise, elde edilecek çıktı miktarları da sonlu olacaktır.⁴⁰

3. Varsayım : $(x, y) \in \Omega, x' \geq x \Rightarrow (x', y) \in \Omega$ Bir çıktı bileşimi herhangi bir girdi bileşimi ile üretilebiliyorsa, aynı çıktı miktarı daha fazla girdi kullanılarak da üretilebilir.

4. Varsayım : $(x, y) \in \Omega, y' \geq y \Rightarrow (x, y') \in \Omega$ Belirli bir girdi bileşimi ile belirli bir çıktı üretilebiliyorsa, aynı girdi miktarı ile daha az miktarda çıktı üretilebilir.

5. Varsayım : Dışbükeylik $\rightarrow (x_k, y_k) \in \Omega, \forall k \in \{1, \dots, p\}$ ve $\sum_{k=1}^p \lambda_k = 1, \lambda \geq 0$

$$\Rightarrow \Omega = \left\{ (x, y) \mid x = \sum_{k=1}^p \lambda_k x_k, y = \sum_{k=1}^p \lambda_k y_k \right\} \text{ Gözlenen karar}$$

birimlerinin çıktı ve girdi değerlerinin doğrusal bileşimleri de gözlenmiş olsalar dahi, mevcut olan şartlarda gerçekleştirilebilirler.⁴¹

6. Varsayım : $(x, y) \in \Omega, \Rightarrow (kx, ky) \in \Omega, k \in (0, 1]$ Girdi-çıktı oranı değişmeden ölçek azaltılabilir.

7. Varsayım : $(x, y) \in \Omega, \Rightarrow (kx, ky) \in \Omega, k \in [1, \infty)$ Girdi-çıktı oranı değişmeden ölçek artırılabilir.

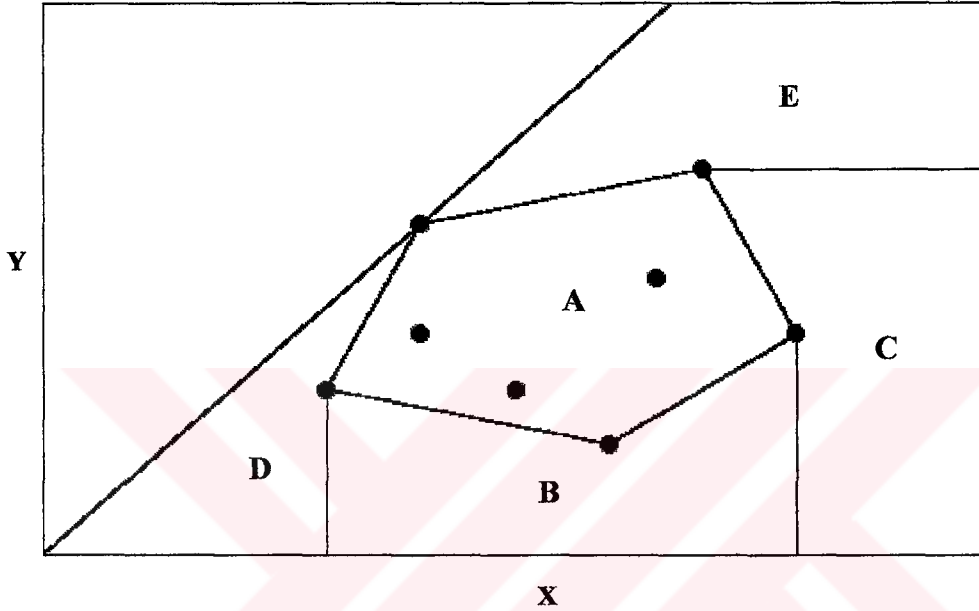
8. Varsayım : $\forall j = 1, \dots, n \quad (x_j, y_j) \in \Omega$ Gözlem kümesini oluşturan n sayıda karar birimi ait olduğu endüstri dalının üretim fonksiyonunu anlamlı bir şekilde temsil etmektedir.

9. Varsayım : Ω , yukarıda anlatılan varsayımların tümünü sağlayan en küçük kümedir. Etkinlik düzeyi gözlenen diğer karar birimlerinden daha iyi olan başka bir gözlemlenmemiş karar birimi bulunmamaktadır.

⁴⁰ Yolalan, a.g.e., s. 10.

⁴¹ Banker, Charnes, Cooper, a.g.m., s. 1081.

Üretim teorisinin temelini oluşturan bu varsayımların belirledikleri kümeler Şekil 1.9 yardımı ile gösterilebilir. Şekil 1.9'da tek girdi X ve tek çıktı Y faktörünün bulunduğu durum gösterilmiş ve A, B, C, D ve E bölgelerinde sekiz tane karar birimi noktaları belirtilmiştir.



Şekil 1.9 Üretim İmkanları Kümesi

(Kaynak: Tarım, Armağan, Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayınları, Ankara, 2001, s. 7)

1., 2., 5., 8. ve 9. varsayımların geçerli olduğu durumda tanımlanan üretim imkanları kümesi A' dır.

1., 2., 4., 5., 8. ve 9. varsayımların geçerli olduğu durumda tanımlanan üretim imkanları kümesi $A \cup B$ ' dir.

1., 2., 3., 4., 5., 8. ve 9. varsayımların geçerli olduğu durumda tanımlanan üretim imkanları kümesi $A \cup B \cup C$ ' dir.

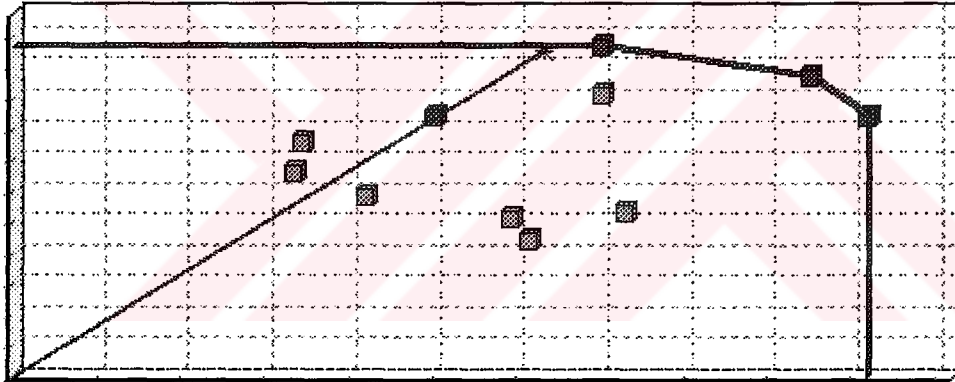
1., 2., 3., 4., 5., 6., 8. ve 9. varsayımların geçerli olduğu durumda tanımlanan üretim imkanları kümesi $A \cup B \cup C \cup D$ ' dir.

1., 2., 3., 4., 5., 7., 8. ve 9. varsayımların geçerli olduğu durumda tanımlanan üretim imkanları kümesi $A \cup B \cup C \cup E$ ' dir.

1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8. ve 9. varsayımların geçerli olduğu durumda tanımlanan üretim imkanları kümesi $A \cup B \cup C \cup D \cup E$ ' dir.

$A \cup B \cup C$ kümesi ise üretim sınırını göstermektedir. Üretim sınırı ise dışında herhangi bir karar birimi gözleyemeyeceğimiz bir sınırdır, çünkü sınırın dışında kalan kısım üretim imkanları kümesinin dışında kalmaktadır.⁴²

Şekil 1.10 onbir adet karar birimi ile yapılan bir etkinlik ölçümü sonucunda oluşan bir etkin üretim sınırını göstermektedir. **Şekil 1.10**'da kalın çizgilerle çizilmiş olan ve tüm karar birimlerini kapsayan alan, yapılan gözlemler sonucunda onbir karar birimi için bulunmuş bir üretim sınırıdır.



Şekil 1.10 Etkinlik Sınırı

(Kaynak: Banxia Frontier Analyst 3 Programı)

6. ETKİNLİK

Genel bir tanımlama ile etkinlik, işletmelerin belirlemiş oldukları amaçlar doğrultusunda harcadıkları çabalar sonucunda, bu amaçlara ne ölçüde ulaşabildiklerini belirleyen bir performans göstergesidir. Etkinlik, işletmelerin buldukları sektör

⁴² Tarım, a.g.e., s. 7-9.

içindeki durumlarına yönelik olarak belirledikleri amaçlarla ilgilidir. İşletme için elde edilen sonuçlar, tüm departmanların ve işletme bünyesindeki tüm unsurların ortak elde ettikleri sonuçlar olduğundan, etkinlik, toplam performansı yansıtan en önemli performans göstergesidir.

Etkinlik ölçümleri, performans geliştirme çalışmalarında yönetime iki büyük imkan sağlamaktadır:⁴³

1. Elde bulunan koşullar altında, tüm kaynakların tam kapasitede kullanılmasına ulaşmak.

2. İşletme içi ve dışı kısıtlamaları göz ardı ederek ideal bir potansiyel belirlemek.

Etkinlik kavramı, çoğu kaynakta verimlilik kavramı ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Fakat kavram olarak da matematiksel hesaplama yöntemi olarak da birbirlerinden ayrı anlaşılmaları gerekmektedir. Verimlilik, en basit tanımı ile, çıktının girdiye oranıdır. Fakat kavram olarak oldukça geniş bir tanımlama alanı vardır. Kavram olarak verimlilik, etkinliği de içerisinde barındırmaktadır. Verimliliğin, matematiksel olarak hesaplanması yapıldığında görece bir kavram olmadığı ortaya çıkmaktadır, çünkü incelenen karar birimlerinin verimliliklerini ayrı ayrı hesaplamak mümkündür. Fakat etkinlik kavramı, özellikle de çok sayıda üretim faktörü (girdi) ile çok sayıda ürün (çıkıtı) üreten işletmelerin etkinlikleri söz konusu olduğunda, görece bir kavram olmaktadır. İncelenen veya karşılaştırması yapılacak olan karar birimlerinin etkinliklerinin birbirlerinden bağımsız olarak belirlenmesi mümkün değildir.

Etkinliğin verimlilikten farklı nitelikleri bulunmaktadır fakat aynı zamanda yakından ilişkilidirler. Etkinlik ayrıca etkililik (effectiveness) gibi daha başka kavramlarla da ilişkilidir. Etkinliğin yalnızca verimlilik ile değil etkililik ile de benzer yönleri vardır. Etkililik, işletmenin belirlenen amaçlarını başarabilme derecesi olarak tanımlanmaktadır. Etkinliğin de işletme amaçları ile yakından ilişkisi vardır.⁴⁴

Verimlilik ve etkinlik özdeş kavramlar değildirler. Verimlilik bir referans noktasına ihtiyaç duyulmadan yalnız bir karar birimi için hesaplanabilecek bir

⁴³ Akal, (İşletmelerde Performans Ölçüm Ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri) a.g.e., s. 18.

⁴⁴ Bailey, David, - Hubert, Tony, Productivity Measurement : An International Review Of Concepts, Techniques, Programmes And Current Issues, Gower Publishing, England, 1990, s. 101.

performans göstergesidir. Diğer taraftan, etkinlik görelî bir konudur ve yalnızca referans noktaları yardımı ile hesaplanabilir. Doğru referans kümesine karar vermek, etkinlik analizlerinin en önemli boyutunu oluşturmaktadır.⁴⁵ İşletmeler arası karşılaştırmaların yapılabilmesi için etkinlik ölçümlerine dahil edilecek karar birimlerinin oluşturduğu referans kümesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Genel bir anlatım ile, etkin üretim, minimum girdi ile, istenen çıktıyı üretmeyi başarmak olarak tanımlanmaktadır. Bu durum başlangıçta maksimum verimlilik olarak anlaşılıyor olabilir. Fakat etkinlik ve verimlilik birbirleri ile çok yakından ilişkili olmalarına rağmen, etkin üretim en iyi verimliliği garanti edemez. Aralarındaki farkı göstermek amacı ile aşağıdaki şekilde bir örnek verilebilir:

Bir mont üreticisi işletme, günde 100 spor mont üretebilmektedir, fakat bir ay önce 100 birim üretmek için gerekli olan işçileri 5 kişi azaltmıştır. Eğer işgücü girdisindeki bu indirgeme spor montlardaki kusur oranının % 2' den % 7' ye yükselmesine neden oluyorsa, işletme hiçbir şey kazanamayacaktır. Gerçekte, yeniden çalışmanın ya da hurda oranının maliyeti, 5 işçinin azaltılmasından sağlanan maliyet indiriminden daha fazla olabilir. Kusurlu olan mamullerin oranı kabul edilebilir düzeyde olsa bile, montlarda stil veya beden olarak eksiklik yaşanabilir. Eğer azaltılan işgücü maliyetleri ikinci derece kaliteye yol açarsa, üretim belki daha etkin yapılmış gibi gözükebilir, fakat toplam verimlilik azalmış olur. İşletmeler, mükemmel etkinlik olmadan da yaşamlarını sürdürebilirler; bununla birlikte genellikle etkinsizlik durumu yaşıyorlarsa kapanma durumuna gelebilirler.⁴⁶

Bir karar biriminin etkinliği, girdi ve çıktıların gözlenen değerlerinin ve optimum değerlerinin karşılaştırılması sonucunda bulunabilir. Bu karşılaştırma, verilen girdilerle, oluşturulabilecek maksimum olası çıktının oranı şeklini alabilir ya da verilen çıktıların, gerek duyulan minimum girdilere oranı veya bu ikisinin bazı kombinasyonları

⁴⁵ Tarım, Armağan, - Karan, Mehmet Baha, "Data Envelopment Analysis In Performance Evaluation", *Journal Of Government Auditing*, 28/4, 2001, s. 12.

⁴⁶ Brinkerhoff, Dressler, a.g.e., s. 20.

şeklinde oluşabilir. Bu iki karşılaştırma da optimum olan üretim imkanları açısından tanımlanmaktadır ve etkinlik tekniğidir.⁴⁷

İşletme birimlerinin etkinliklerini belirlemek uzun süreden beridir önemli bir yönetim problemi olmuştur, fakat etkinlik ölçümünün en zor olan kısmı çeşitli girdilerle (kaynaklar), çeşitli çıktılar (hizmetler, ürünler) üreten işletmelerde bu sorunu çözmektir.

Etkinlik ölçümlerinde, etkinlik değerine grup (incelenen karar birimleri) içerisindeki optimum işletmeye veya işletmelere bakılarak karar verilmektedir. Bununla birlikte, etkinlik dizinindeki değerler, 1 veya daha düşük düzeyde olmak üzere sınırlandırılmışlardır.⁴⁸

Gözlem yapılan tüm işletmelerin iki tür girdi; işçilik (L), ve sermaye (K) kullanarak bir adet çıktı (Y) ürettiği düşünüldüğünde, üretim fonksiyonunu da $Y = f(L, K)$ olarak gösterilmektedir. İşletmelerin bireysel olarak, gerçekte kullandıkları girdilerle ürettikleri çıktılar üretim fonksiyonuna bir parametre ile bağlı olabilir (ω) $0 < \omega \leq 1$. Bu durumda üretim fonksiyonu:

$$y = f(\omega L, \omega K) \quad (1.5)$$

olacaktır. Açık olarak, üretim sınırı üzerinde bulunan etkin işletmeler için $\omega = 1$, daha az etkin işletmeler için $\omega < 1$ olacaktır. Bu durum etkin olmayan işletmelerin, etkin olanlardan daha çok girdi ile aynı çıktı miktarını elde ettiklerini göstermektedir. Yani ω parametresi aynı zamanda işletmelerin etkinlik ölçüsü olarak kullanılabilir.⁴⁹

Etkinlik ölçümü, işletmelerin bulunduğu sanayi kolunda hangi konumda olduklarının belirlenmesine imkan vermekte ve işletmelerin ellerinde bulunan girdilerle ne ölçüde ideal çıktı üretebileceklerini göstermektedir. Bir işletmenin elinde bulunan girdi bileşimini en optimum şekilde kullanarak mümkün olan en çok çıktıyı üretmedeki başarısı “teknik” etkinlik, girdi ve çıktı fiyatlarını göz önünde bulundurarak en uygun

⁴⁷ Fried, Harold D., - Lovell, C.A. Knox, - Schmidt, Shelton S., The Measurement Of Productive Efficiency: Techniques And Applications, Oxford University Press, New York, 1993, s. 4.

⁴⁸ Bessent, A., - Bessent, W., - Elam, J., - Clark, T., “Efficiency Frontier Determination By Constrained Facet Anaysis”, Operations Research, Volume 36, No: 5, 1998, s. 785.

⁴⁹ Zhang, Anming, - Zhang, Yimin, - Zhao, Ronald, “Profitability And Productivity Of Chinese Industrial Firms Measurement And Ownership Implications”, China Economic Review, Volume 13, 2002, s. 71-72.

girdi bileşimini seçmedeki başarısı “tahsis” etkinliği ve en uygun ölçekte üretim yapmadaki başarısı da “ölçek” etkinliği olarak tanımlanmaktadır. Bu bileşenlerin tümü, işletmenin genel ekonomik etkinliğini belirlemektedir.⁵⁰

6.1. Teknik Etkinlik:

Teknik etkinlik teorik olarak, ekonomik literatürde ilk kez Koopmans’ın 1951 yılında, teknik etkinliği, diğer bir çıktıyı eş zamanlı olarak azaltmadan (ve / veya diğer bir girdiyi arttırmadan), herhangi bir çıktıyı artırmanın (ve / veya herhangi bir girdiyi azaltmanın) teknolojik olarak imkansız olduğu, bir girdi-çıkıtı vektörü olarak tanımlaması ile ortaya çıkmıştır.

Daha sonra M. J. Farrell (1957) girdi tabanlı teknik etkinlik ölçümünü geliştirmiştir. Teknik etkinlik üzerindeki teorik çalışmalar 1970’lerin sonunda yenilenmiş ve Farrell tabanlı matematiksel programlama yaklaşımı ile sınır hesaplamasının öncüsü olan A. Charnes, W.W. Cooper ve E. Rhodes (1978) tarafından Veri Zarflama Analizi geliştirilmiştir. Veri Zarflama Analizi, teknik etkinliği parametrik olmayan bir yöntemle ölçen matematiksel programlamaya dayalı bir yaklaşımdır.⁵¹

Teknik etkinlik, girdilerin, çıktılara çevrilme sürecindeki fiziksel etkinliktir. Bu durum kapasite kullanımını ve teknolojik gelişmeyi de kapsamaktadır.⁵²

En uygun bir girdi bileşimi ile, üretim süreci sonunda, elde edilebilecek en yüksek üretim miktarlarından meydana gelen teorik sınıra üretim sınırı denilmektedir. Etkin üretim sınırı üzerinde bulunan karar birimleri tam teknik etkinliğe sahiptir. Teknik etkinliğin derecesi, girdi ve çıktıların fiyatları ve maliyetleri dikkate alınmaksızın, veri bir teknoloji düzeyinde, belirli bir çıktı miktarının elde edilmesinde girdilerin fazla kullanılıp kullanılmadığını belirler.⁵³

Üretim imkanları kümesi, Ω , tüm mümkün X^t girdileri ve Y^t çıktılarının kümesidir. Ω kümesinde bulunan bazı elemanlar ($\omega_t \in \Omega$) diğerlerine göre daha az

⁵⁰ Yolalan, a.g.e., s. 6.

⁵¹ Ruggiero, John, “Theory And Methodology: Measuring Technical Efficiency”, European Journal Of Operations Research, Volume 121, Issue 1, 2000, s. 138-139.

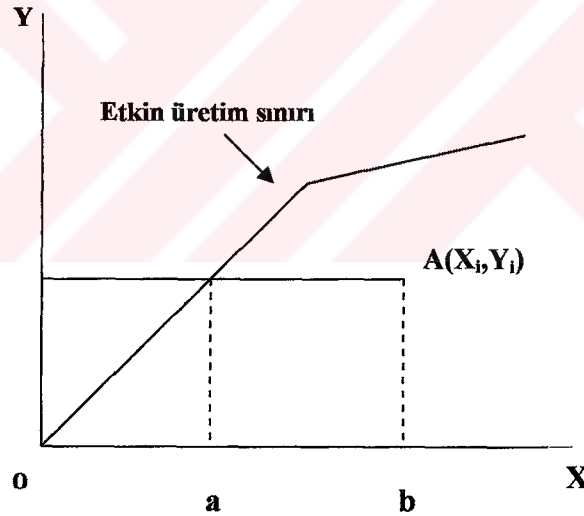
⁵² Silver, M.S., - Lowe, J.F., “An Appraisal Of The Performance Of Manufacturing Industry In Wales”, Journal Of Economic Studies, Volume 16, Issue 1, 2001, s. 31.

⁵³ Aktaş, Hüseyin, “İşletme Performansının Ölçümünde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı”, Celal Bayar Üniversitesi Yönetim Ve Ekonomi Dergisi, Sayı: 1, 2001, s. 164.

savurgan olmaktadır. ω_t elemanı için kullandığı girdileri sabit tutarak, ürettiği çıktıları arttırmak mümkün değilse, bu eleman israfa bulunmuyordur ve teknik olarak etkindir.

Eğer etkin üretim fonksiyonu $F(X^t, Y^t) = 0$ kapalı fonksiyonu ile gösterilirse, teknik etkin olmayan karar birimlerini $F(X^t, Y^t) < 0$ tanımlarken, Ω üretim imkanları kümesi kullanılarak üretilmesi mümkün olmayan ürün karışımları ise $F(X^t, Y^t) > 0$ ile ifade edilir.⁵⁴

Tek girdi ve tek çıktıya dayalı teknik etkinlik ve etkin üretim sınırı Şekil 1.11 yardımı ile gösterilebilir. Şekil 1.11’de, tam teknik etkinlik durumunda, belli bir çıktı düzeyini üretmek için gerekli minimum girdi miktarları gösterilmektedir. A noktasında üretim yapan bir işletme teknik olarak etkin değildir ve kullandığı girdileri $|a b|$ kadar azaltarak teknik etkinliğini artırabilir. Bu işletmenin teknik etkinliği, etkin üretim fonksiyonundan uzaklığının bir ifadesi olarak Oa / Ob oranı ile gösterilebilir.⁵⁵



Şekil 1.11 Teknik Etkinlik

(Kaynak: Aktaş, Hüseyin, “İşletme Performansının Ölçümünde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı”, Celal Bayar Üniversitesi Yönetim Ve Ekonomi Dergisi, Sayı: 1, 2001, s. 164)

Üretim teorisinde, teknik etkinlik ve verimlilik iki benzer konudur, fakat ikisi de farklı performans ölçütlerini göstermektedir. Verilen üretim sınırında, teknik etkinlik,

⁵⁴ Tarım, a.g.e., s. 14-15.

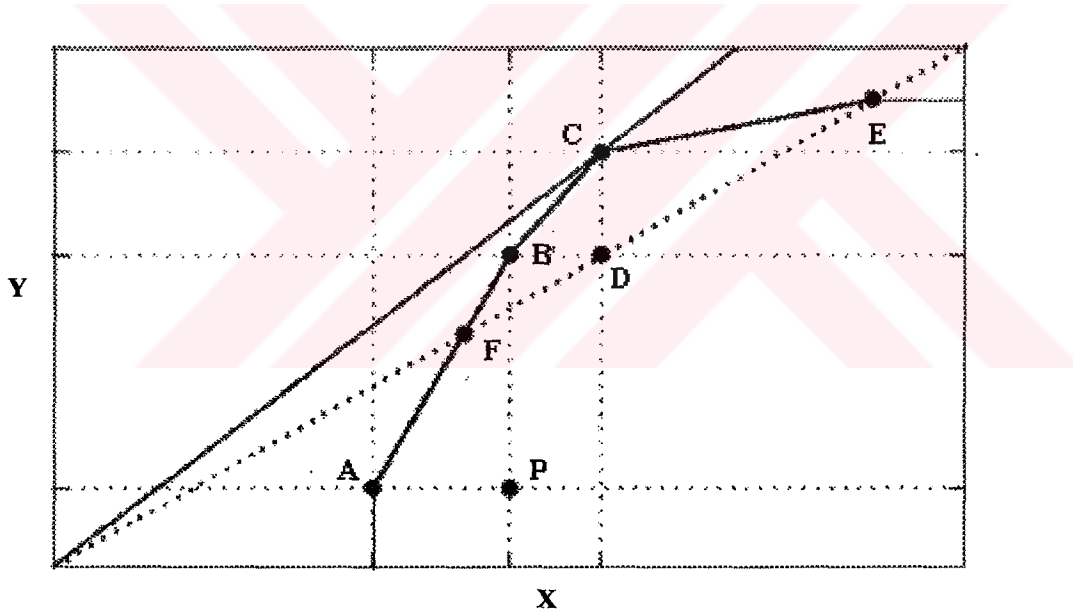
⁵⁵ Aktaş, a.g.m., s. 164-165.

girdi kaynakları kümesinden en iyi olanları seçmekle ilgilidir, diğer yandan verimlilik ise, tüm kaynakların etkin kullanımını, üretim sınırı için herhangi bir varsayım oluşturmadan işaret etmektedir. Bu nedenle de bu iki yapı arasında temel bir ilişki oluşmaktadır. Verimlilik artışı; teknik etkinlikteki değişikliklerin net bir sonucudur ve üretim sınırındaki bir kaymadır:

$$\text{Verimlilik artışı} = \text{Teknik etkinlikteki değişiklik} \times \text{Teknolojik değişiklik}$$

Diğer bir ifade ile teknik etkinlik, bir işletmenin verimliliğine karar verilebilmesi için, üretim sınırındaki değişimleri de göz önünde bulunduran önemli bir faktördür.⁵⁶

Teknik etkinlik ve verimlilik arasındaki temel fark ise **Şekil 1.12** yardımı ile açıklanabilir.



Şekil 1.12 Etkinlik ve Verimlilik

(Kaynak: Tarım, Armağan, Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayınları, Ankara, 2001, s. 16)

⁵⁶ Shao, Lin, a.g.m., s. 449.

A ve B karar birimleri üretim sınırı üzerinde bulunmaktadır ve teknik etkindirler. P karar birimi ise, A ile aynı miktarda çıktıyı üretmesine rağmen, daha fazla girdi kullandığı için teknik olarak etkin değildir. Bu üç karar biriminin verimlilikleri göz önüne alındığında B karar biriminin diğerlerinden daha verimli olduğu ve P karar biriminin ise en verimsiz karar birimi olduğu görülmektedir. A karar birimi teknik etkin olmasına rağmen B karar birimine nazaran verimliliği daha düşüktür.⁵⁷

6.2. Ölçek Etkinliği:

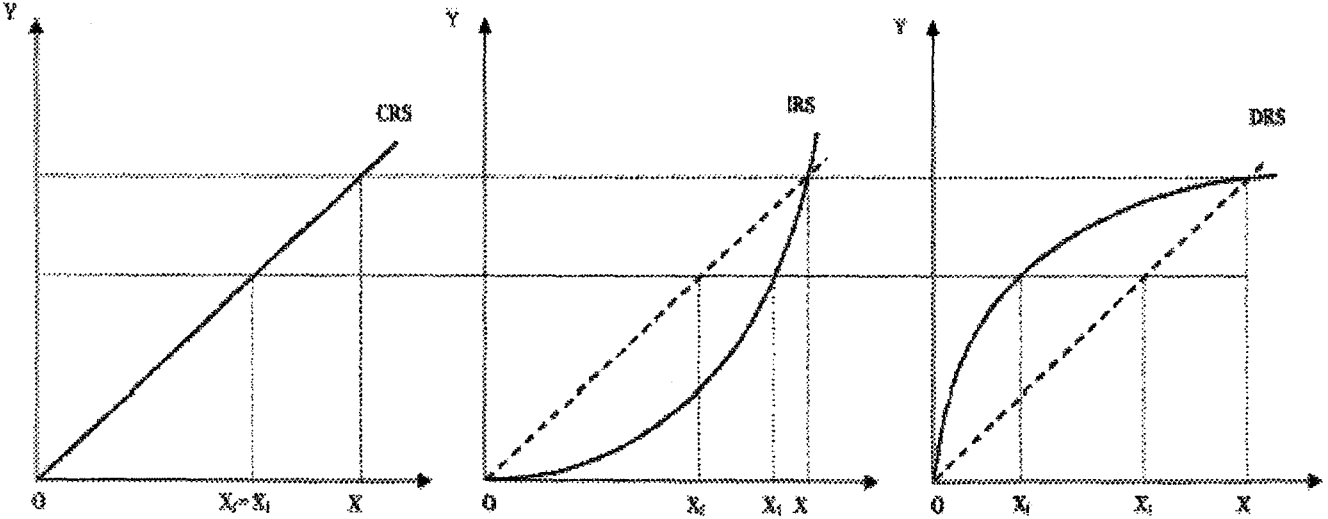
Bir işletme, uzun dönemde aynı sanayi kolunda bulunan işletmelerle rekabet edebilir bir denge durumunda olup, aynı zamanda başabaş noktasındaki girdi-çıkıtı bileşimini sağlıyorsa, ölçek etkinliğine sahip olduğu söylenebilir. Fakat bu durumdan sapma, yani ölçek etkinsizliğinin, üretici işletmeye yüklenebilecek bir etkinsizlikten başka, daha genel bir kapsamı bulunmaktadır.⁵⁸ Ölçek etkinliği, içinde bulunulan sanayideki koşullardan da yoğun olarak etkilenmektedir.

Üretim teorisinde, girdi düzeylerindeki değişikliklerden dolayı oluşan çıktı düzeylerindeki değişiklikler ölçeğe göre getiri olarak adlandırılmaktadır. Ölçeğe göre getiri, sabit veya değişken olabilmektedir. Ölçeğe göre sabit getiri (CRS = Constant Returns to Scale), girdi düzeyinde oransal bir artış olduğunda, çıktı düzeyindeki oransal artışların da aynı olduğu durumdur. Ölçeğe göre değişken getiri (VRS = Variable Returns to Scale) ise girdi düzeyindeki oransal bir artışın, çıktı düzeyine aynı oranda yansımadağı durumdur. Bu oransal artış, girdi düzeyindeki artıştan daha fazla olursa ölçeğe göre artan getiri (IRS = Increasing Returns to Scale), daha az olursa, ölçeğe göre azalan getiri (DRS = Decreasing Returns to Scale) söz konusudur. **Şekil 1.13'** te tek girdi ile tek çıktı üretildiğı durumlarda ölçeğe göre sabit, artan ve azalan getiri sırası ile gösterilmektedir.⁵⁹

⁵⁷ Tarım, a.g.e., s. 16.

⁵⁸ Yavuz, (Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları) a.g.e., s. 31.

⁵⁹ Bakhshoodeh, Mohammad, - Thomson, Kenneth J., "Input And Output Technical Efficiencies Of Wheat Production In Kerman, Iran", *Agricultural Economics*, 24, 2001, s. 310.



Şekil 1.13 Ölçeğe Göre Sabit, Artan ve Azalan Getiri

(Kaynak: Bakhshoodeh, Mohammad, - Thomson, Kenneth J., "Input And Output Technical Efficiencies Of Wheat Production In Kerman, Iran", *Agricultural Economics*, 24, 2001, s. 310)

Şekil 1.14 ölçeğe göre getiriler ve en verimli ölçek büyüklüğü arasındaki ilişkiyi göstermektedir.⁶⁰

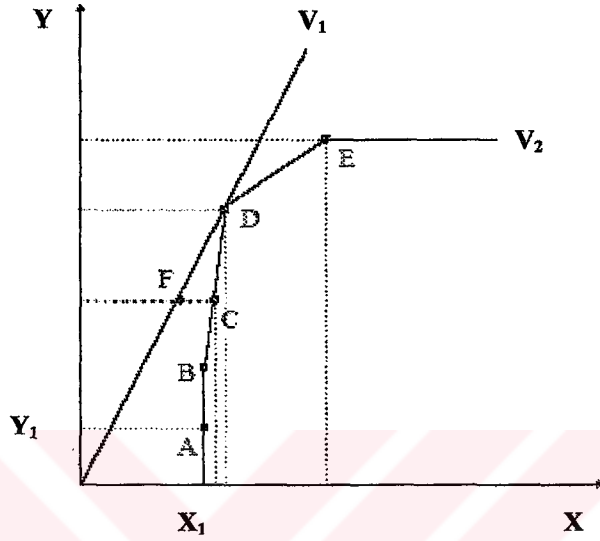
Şekil 1.14'te V_1 doğrusu, ölçeğe göre sabit getiri ve V_2 eğrisi de ölçeğe göre değişken getiri varsayımı altında bulunan iki üretim fonksiyonunu göstermektedir. V_1 doğrusu ile V_2 eğrisi arasında bulunan uzaklık ölçek etkinliğini belirlemektedir. Altı elemanlı varsayımsal bir karar birimi (A, B, C, D, E ve F) kümesi olduğu düşünüldüğünde, D noktasında faaliyet gösteren bir işletme iki etkin üretim fonksiyonu üzerinde de bulunduğu için optimum üretim ölçeği üzerinde olduğu söylenebilir.⁶¹ Üretim fonksiyonunda eğrinin eğiminin arttığı bölge, ölçeğe göre artan getiriyi (B noktasından D noktasına kadar), eğimin azaldığı bölge ise ölçeğe göre azalan getiriyi (D noktasından E noktasına kadar) göstermektedir.⁶² D noktasının bulunduğu ölçek büyüklüğü en verimli ölçek büyüklüğü (Most Productive Scale Size) olarak

⁶⁰ Sheth, a.g.e., s. 11-12.

⁶¹ Zhu, J., "Further Discussion On Linear Production Function And DEA", *European Journal Of Operations Research*, Volume 127, Issue 3, 2000, s. 614.

⁶² Sheth, a.g.e., s. 12.

adlandırılmaktadır ve diğer noktalarda bulunan işletmelerin D noktasına olan uzaklıkları o işletmeye ait ölçek etkinliği olmaktadır.



Şekil 1.14 En Verimli Ölçek Büyüklüğü

(Kaynak: Sheth, Nimish, Measuring And Evaluating Efficiency And Effectiveness Using Goal Programming And Data Envelopment Analysis In A Fuzzy Environment, Faculty Of The Virginia Polytechnic Institute, Master's Thesis, Industrial And Systems Engineering, Falls Church Virginia, 1999, s. 11.

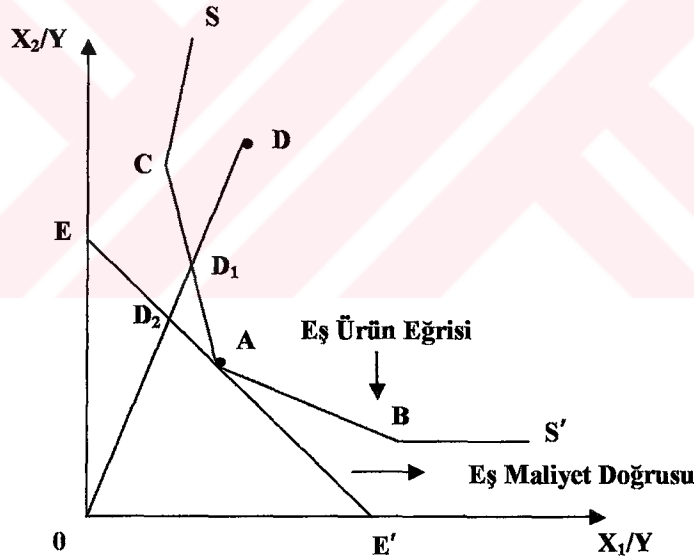
6.3. Tahsis Etkinliği:

Ekonomik teoride, tahsis etkinliği, bir işletmenin verilen girdi fiyatları kümesinden, optimum girdi bileşimini seçme başarısını ölçmektedir. Bu durum, üretim sınırı ile ilgili bir kavram olan teknik etkinlik ile tahsis etkinliğini birbirlerinden ayırmaktadır. Tahsis etkinliği, işletmenin toplam girdi maliyetlerini minimize eden koşullu bir maliyet minimizasyon modelidir. Bu model aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} \text{Min } C(X) &= \sum_{i=1}^m q_i \cdot X_i \\ Y &\leq f(X_1, X_2, \dots, X_m) \end{aligned} \quad (1.6)$$

Üretim fonksiyonu $f(X)$ ölçeğe göre sabit, artan veya azalan getiriye sahip olabilir. Modelde q_i girdi fiyatlarını ve Y elde edilen yalnız bir çıktıyı göstermektedir.⁶³ Yani modelde çok sayıda girdi ile yalnız bir çıktı üretilmektedir.

Tahsis etkinliği diğer adı ile fiyat etkinliği, yani optimum faktör bileşiminin seçimi, eş ürün eğrisi ve eş maliyet doğrusu yardımı ile açıklanabilir. Eş ürün eğrisi, belirli bir çıktı düzeyini üretebilmek için gerekli tüm olası girdi kombinasyonlarını gösteren noktaların geometrik yeridir. Eş maliyet doğrusu ise, girdi fiyatları ile ilgilidir. İşletmenin kısıtlı bütçesi ile girdilerden ne miktarda satın alabileceğini göstermektedir. Eş maliyet doğrusu üzerindeki her nokta, mevcut bütçe ile alınabilecek girdi karışımlarını temsil etmektedir. İki çeşit girdi kullanarak bir çeşit çıktı üreten bir işletmenin eş ürün eğrisi ve eş maliyet doğrusu Şekil 1.15' teki gibi gösterilebilir.



Şekil 1.15 Tahsis Etkinliği

Hem eş maliyet doğrusu hem de eş ürün eğrisi üzerinde bulunan A noktası optimum girdi bileşimini sağlamıştır. Yani tahsis etkinliğini sağlamıştır. A noktasında

⁶³ Sengupta, Jati K., *Dynamics Of Data Envelopment Analysis: Theory Of Systems Efficiency*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1995, s. 15.

bulunan bir işletmenin tahsis etkinliği 1'dir. Görüldüğü gibi D noktası hem eş ürün eğrisinin hem de eş maliyet doğrusunun dışında kalmaktadır. D noktasının tahsis etkinliği aşağıdaki şekilde ölçülebilir:⁶⁴

$$\text{Tahsis Etkinliği} = \frac{|OD_2|}{|OD_1|} \quad (1.7)$$

Bu etkinlik tanımlaması M.J. Farrell tarafından yapılmıştır. Veri Zarflama Analizi konusuna geçişte büyük önem taşıyan Farrell'in etkinlik ölçüm yaklaşımını incelemekte yarar vardır.

7. FARRELL ETKİNLİK ÖLÇÜMÜ

Verilen girdiler ile üretilebilecek çıktı düzeyleri teknik bir maksimizasyon problemidir. Etkinlik literatüründe; etkinliğin üretim fonksiyonu, diğer bir deyişle sınır yaklaşımı ile ölçülmesi M. J. Farrell'in çalışmaları ile başlamıştır. Sınır yaklaşımı, üretim fonksiyonunun, üretim imkanları kümesinin üst sınırı olarak belirlenmesi anlamını taşımaktadır.⁶⁵

Mikro ekonomik etkinlik ölçümünün temellerini atan Farrell (1957), işletmelerin etkinliklerinin ölçülebilmesi için, çeşitli girdiler içerisinde, teknik etkinliği, tahsis etkinliğini ve toplam etkinliği hesaplayabilen basit bir ölçüt tanımlamıştır. Bu yaklaşımda Farrell, işletme etkinliğinin iki bileşenden oluştuğunu vurgulamaktadır. Bunlardan birincisi, verilen girdi kümesinden maksimum çıktı elde etme becerisini gösteren teknik etkinlik, ikincisi ise verilen girdi fiyatları ile optimum oranda girdi kullanım becerisini gösteren tahsis (fiyat) etkinliğidir. Bu iki ölçütün birleşimi toplam etkinliğin (üretim etkinliği) ölçümünü sağlamaktadır. Etkinlik ölçümü girdi veya çıktı temelli olarak yapılmaktadır.

7.1. Girdileri Temel Alan Etkinlik Ölçütleri:

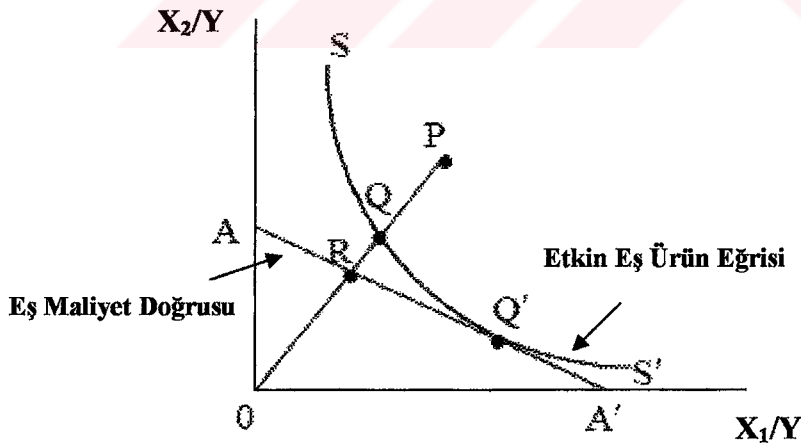
Farrell'in etkinlik ölçüm yaklaşımı, başlangıç olarak, iki girdi ve tek çıktılı bir üretim fonksiyonu kullanılarak, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında, girdi – girdi

⁶⁴ Tarım, a.g.e., s. 33.

⁶⁵ Yavuz, (Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları) a.g.e., s. 32-33.

uzayında ve buna bağlı olarak da girdi azaltmaya yönelik bir bakış açısı ile oluşturulmuştur. Bu nedenle girdi temelli ölçütler olarak adlandırılmaktadırlar.⁶⁶ Girdi temelli etkinlik ölçümü Şekil 1.16 yardımı ile açıklanabilir.

Y çıktısını üretebilmek için X_1 ve X_2 gibi iki girdi faktörü kullanıldığında, üretim sınırı $y = f(X_1, X_2)$ olacaktır. Ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında, $f(X_1/Y, X_2/Y) = 1$ olmaktadır. Tam olarak etkin olan bir işletmenin eş ürün eğrisi SS' teknik etkinliğin ölçümüne olanak vermektedir. Bir işletmenin (X_1^*, X_2^*) miktarlarında girdi kullanarak $P(X_1^*/Y, X_2^*/Y)$ noktasında Y^* miktarında çıktıyı ürettiği durumda, teknik etkinlik düzeyi, (OQ/OP) olacaktır. Bu oran, Y^* kadar çıktıyı üretebilmek için gerçekten gerekli (X_1, X_2) girdi bileşimini ölçmektedir. Bununla birlikte, $(1 - OQ/OP)$ bir işletmenin teknik etkinsizliğidir ve çıktı miktarını azaltmadan kullanılan girdi (X_1^*, X_2^*) miktarlarının ne kadar azaltılması gerektiğinin ölçüsüdür. Buna göre bu oran Y^* 'yi üretmek için gerekli maliyetlerde olası azalmaları ölçmektedir. Ayrıca ölçeğe göre sabit getiri durumunda, bu oran yardımı ile (X_1^*, X_2^*) sabit olduğunda çıktının arttırılabilme oranını da aşağı yukarı tahmin edilebilmektedir. Q noktası, etkin eş ürün eğrisi üzerinde bulunduğu sürece teknik olarak etkin olacaktır ($OQ/OQ = 1$).



Şekil 1.16 Girdi Temelli Ölçütler

(Kaynak: Coelli, Tim, A Guide To DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper, Australia, 1996, s. 4)

⁶⁶ İnce, Yücel, Verimlilik Ölçümünde Yeni Arayışlar, MPM Yayınları, Ankara, 2001, s. 13.

Eğer girdi bileşim fiyatlarını gösteren eş maliyet doğrusu AA' (verilen maliyetler ile satın alınabilecek farklı girdi bileşimlerini gösteren doğru) biliniyorsa, tahsis etkinliği hesaplanabilir. Bir işletmenin girdilerini optimum oranda kullanabilme becerisi, (OR/OQ) oranı ile ve bununla ilişkili olarak, tahsis etkinsizliği de (1 - OR/OQ) ile ölçülebilmektedir. |QR| uzaklığı üretim Q (teknik olarak etkin tahsis olarak etkin olmayan nokta) yerine Q' (teknik ve tahsis olarak etkin nokta) noktasında gerçekleştirildiğinde üretim maliyetlerinde meydana gelecek azalmayı göstermektedir. Bu nedenle, Farrell tarafından tüm etkinlik olarak tanımlanan toplam etkinlik ya da üretim etkinliği, (OR/OP) oranıdır ve toplam etkinsizlik de (1 - OR/OP) olmaktadır.⁶⁷

Toplam etkinlik, oranların ışığında, teknik etkinlik ve tahsis etkinliği kullamlarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.⁶⁸

$$\text{Toplam Etkinlik} = \text{Teknik Etkinlik} \times \text{Tahsis Etkinliği}$$

$$\text{Teknik Etkinlik} = \frac{OQ}{OP} \quad (1.8)$$

$$\text{Tahsis Etkinliği} = \frac{OR}{OQ} \quad (1.9)$$

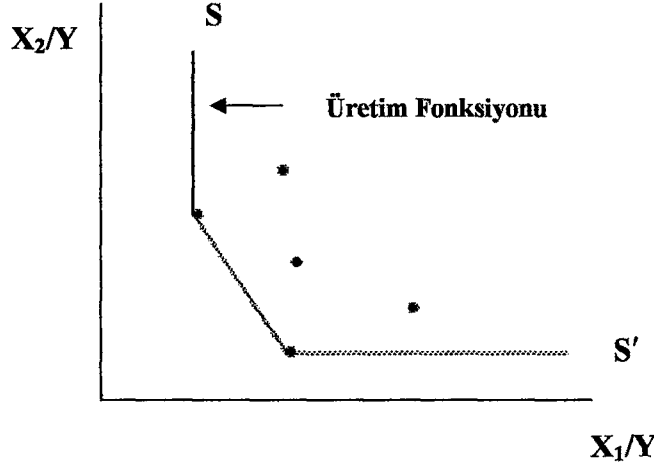
$$\text{Toplam Etkinlik} = \frac{OR}{OP} \quad (1.10)$$

$$TE = \frac{OQ}{OP} \times \frac{OR}{OQ} = \frac{OR}{OP} \quad (1.11)$$

Yapılabilecek olan maliyet azaltımı |RP| uzaklığı ile gösterilir. P (gözlenen nokta) noktasından Q (maliyetin minimum olduğu nokta) noktasına doğru hareket edilmesi işletmeyi tam etkinlik durumuna yaklaştıracaktır.

⁶⁷ Worthington, Andrew C., "An Empirical Survey Of Frontier Efficiency Measurement Techniques In Education", *Education Economics*, Volume 9, No:3, 2001, s. 247-248.

⁶⁸ Norman, Michael, - Stoker, Barry, *Data Envelopment Analysis: The Assessment Of Performance*, John Wiley & Sons Publishing, 1991, England, s. 12.



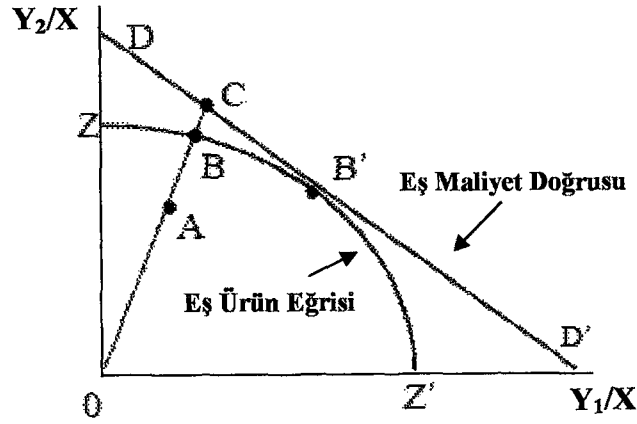
Şekil 1.17 Parçalı-Doğrusal Konveks Üretim Fonksiyonu

(Kaynak: Coelli, Tim, A Guide To DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper, Australia, 1996, s. 7)

Verilen üç ölçütün değerleri sıfır ile bir arasında sınırlandırılmıştır. Bu tür etkinlik ölçümleri yapılırken etkin olan bir işletmenin üretim fonksiyonunun bilindiği varsayılır. Farrell kullanılacak olan üretim fonksiyonlarına ilişkin iki tür yaklaşım önermiştir. Birincisi Şekil 1.17' de gösterilen ve parametrik olmayan parçalı doğrusal konveks üretim fonksiyonu, ikincisi ise, parametrik bir yapıya sahip olan Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonudur. Her iki fonksiyonda da gözlenen karar birimleri, üretim sınırının sol tarafında ve altında kalmamalıdır.

7.2. Çıktıları Temel Alan Etkinlik Ölçütleri:

Girdi temelli ölçütlerde üretilen çıktı miktarı sabitken girdi miktarının ne kadar azaltılabileceği araştırılırken, çıktı temelli ölçütlerde ise, kullanılan girdi miktarları sabitken çıktı miktarının ne kadar arttırılabileceği araştırılmaktadır. Çıktı temelli etkinlik ölçümü ile girdi temelli etkinlik ölçümü arasındaki fark Şekil 1.18 yardımı ile açıklanabilir.



Şekil 1.18 Çıktı Temelli Ölçütler

(Kaynak: Coelli, Tim, A Guide To DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper, Australia, 1996, s. 7)

Şekil 1.18' deki $|AB|$ uzaklığı teknik etkinsizliği ifade etmektedir. Çıktı temelli ölçekler, girdiler sabit iken çıktı miktarının ne kadar artırılabilceğini göstermektedir. Çıktı temelli etkinlik ölçümleri aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$\text{Toplam Etkinlik} = \text{Teknik Etkinlik} \times \text{Tahsis Etkinliği}$$

$$\text{Teknik Etkinlik} = \frac{OA}{OB} \quad (1.12)$$

$$\text{Tahsis Etkinliği} = \frac{OB}{OC} \quad (1.13)$$

$$\text{Toplam Etkinlik} = \frac{OA}{OC} \quad (1.14)$$

$$TE = \frac{OA}{OB} \times \frac{OB}{OC} = \frac{OA}{OC} \quad (1.15)$$

Girdi temelli tahsis etkinliği maliyetleri dūřürme açısından yorumlanırken, çıktı temelli tahsis etkinliği ise gelir arttırma açısından yorumlanmaktadır.⁶⁹

Girdi ve çıktı temelli etkinlik ölçütleri etkin firmaların üretim fonksiyonunun tam olarak bilindiğini varsaymaktadır. Fakat üretim fonksiyonunun örnek veriler, yani gözlemler kullanılarak tahmin edilmesi gerekmektedir.⁷⁰ Üretim sınırının belirlenebilmesi için farklı yöntemler geliştirilmiştir.

8. SINIR ÜRETİM FONKSİYONU İLE ETKİNLİK ÖLÇÜMÜNE DAYALI YÖNTEMLER

Sınır üretim fonksiyonu ile etkinlik ölçüm yöntemlerini Parametrik ve Parametrik olmayan yöntemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bu yöntemler de kendi içinde deterministik ve stokastik yöntemler olarak ikiye ayrılır. Parametrik ve Parametrik olmayan yöntemler özet olarak Tablo 1.4' de gösterilmiştir:

Tablo 1.4. Sınır Üretim Fonksiyonu ile Etkinlik Ölçüm Yöntemleri

	Deterministik Yöntemler	Stokastik Yöntemler
Parametrik Yöntemler	* Cobb-Douglas Türü Üretim Fonksiyonu	* Stokastik Üretim Sınırı * Malmquist TFV İndeksi (Uzaklık fonksiyonlarının stokastik olarak belirlenmesi durumunda)
Parametrik Olmayan Yöntemler	* Veri Zarflama Analizi * Malmquist TFV İndeksi	

(Kaynak: Yavuz, İlknur, Verimlilik Ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar Ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 667, Ankara, 2003, s. 41.)

⁶⁹ İnce, a.g.e., s. 16-17.

⁷⁰ Worthington, a.g.m., s. 248.

8.1. Parametrik Yöntemler:

Parametrik yöntemlerde, karşılaştırılması yapılacak olan işletmelerin bağlı bulunduğu sanayi koluna ait üretim fonksiyonunun analitik bir yapısı olduğu varsayılır ve ilgili fonksiyonun parametreleri belirlenmeye çalışılır. Bu tür yöntemlerde, genellikle regresyon teknikleri kullanılmaktadır ve üretim fonksiyonu, tek çıktı ile bir çok girdiyi ilişkilendirerek tanımlanmaktadır.⁷¹

Parametrik yöntemlerde, bir gözlem kümesi vardır ve bu kümenin elemanları içerisinde en etkin olan karar biriminin regresyon çizgisi (ekinlik sınırı) üzerinde bulunduğu varsayılarak, karşılaştırılan birimlerin etkin olup olmadıklarına bu çizgi kullanılarak karar verilmektedir. Bu tür yöntemlerde, bir rassal hatanın her zaman oluşabileceği varsayılır. Bir karar biriminin etkinliği ancak, ölçüm hataları ayıklandıktan sonra doğru olarak ölçülebilmektedir.⁷²

Parametrik, diğer bir deyişle ekonometrik olan bu yaklaşımlar, bir üretim fonksiyonu belirtmektedirler ve hata terimleri ile ölçülen bu fonksiyondan sapmaların iki tür olduğunu kabul etmektedirler. Birincisi rassal (ya da istatistiksel) hatalar, ikincisi de etkinsizlik durumunda olan karar birimlerinin oluşturduğu sapmalardır. Bu hata yapısındaki iki bileşen ile ilgili bilinen varsayım, etkinsiz olan birimlerin asimetrik yarı-normal bir dağılım izledikleri ve rassal olarak oluşan hataların normal olarak dağıldığıdır.⁷³ Parametrik yaklaşımlarda etkinlik ölçümü, etkin olmayan birimlerin oluşturdukları sapmalar, rassal hata terimlerinden ayıklanarak yapılmaktadır.⁷⁴

Parametrik yöntemlerin temel avantajı, stokastik durumla ilgilenmeleri ve istatistiksel testler ve hipotezlerle, rassal hatayı da göz önünde bulundurarak etkinsizlik derecesini tahmin edebilmeleridir. Fakat bu yöntemlere pek çok eleştiri getirilmiş ve alternatif olarak parametrik olmayan yaklaşımlar geliştirilmiştir. Parametrik yöntemlere getirilen başlıca eleştiri, üretim sınırı altında kesin bir parametrik formun empoze edilmesi ihtiyacının ortaya çıkması ve etkinsizlik terimi için kesin bir dağılımsal

⁷¹ Yolalan, a.g.e., s. 5.

⁷² İnan, E. Alper, "Banka Etkinliğinin Ölçülmesi Ve Düşük Enflasyon Sürecinde Bankacılıkta Etkinlik", Bankacılar Dergisi, Sayı: 34, 2000, s. 83.

⁷³ Worthington, a.g.m., s. 248-249.

⁷⁴ İnce, a.g.e., s. 12.

varsayıma gerek duyulması açısından yapılmıştır.⁷⁵ Yapılan bir diğer eleştiri de kullandığı açıklayıcı değişken (girdi) sayısı birden fazla olabilmesine rağmen, açıklanan değişken (çıktı) sayısının kısıtlı olmasının etkinlik ölçümünde yarattığı sınırlandırmalara karşılık ortaya çıkmıştır. Bu sınırlamaların ortadan kaldırılabilmesini sağlamak amacıyla parametrik olmayan ve matematiksel programlamaya dayanan deterministik yöntemler geliştirilmiştir.

8.2. Parametrik Olmayan Yöntemler:

Parametrelili yaklaşımların alternatifi olan parametresiz yöntemler, matematiksel programlama tabanlı yöntemler içermektedir. Üretim fonksiyonu altında herhangi bir analitik formun varlığını öngörmezler. Bu özellikleri nedeniyle daha esnek bir yapıya sahip oldukları söylenebilir. Çok sayıda girdi ve çıktıyı değerlendirebildiklerinden, işletmeler ve bölümler arası karşılaştırmalar için oldukça uygundur.⁷⁶ Bu yöntemler, parametrik yöntemlerde olduğu gibi üretim ile ilgili davranışsal varsayımlara gerek duymazlar, bu nedenle göreceli olarak avantajlıdır. Parametrik olmayan yaklaşımların bir çok avantajlarının dışında, tek olumsuz yanları, bir rassal hata terimi içermedikleri için, veri ve ölçüm hatalarından kaynaklanan sınırdan sapmalarla, etkin üretim fonksiyonunun yanlış tespit edilebilmesi olasılığının ortaya çıkmasıdır.⁷⁷

Parametrik olmayan yöntemler, parametrik yöntemlerle karşılaştırıldıklarında, parametrik olmayan yöntemlerin etkinlik ölçümü için arzu edilen pek çok özelliğe sahip oldukları söylenebilir. Parametrik olmayan yöntemlerin avantajlı yönleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:⁷⁸

1. Üretim sınırı altında istenen işlevsel özellikler için minimum varsayım içermektedirler.

2. Farklı birimlerin ölçümünde kolaylıkla çeşitli girdi ve çıktı değişkenlerini bünyelerinde barındırabilmektedirler.

⁷⁵ Sharma, Khem R., - Leung, Pingsun, - Zaleski, Halina M., "Technical, Allocative And Economic Efficiencies In Swine Production In Hawaii: A Comparison Of Parametric And Nonparametric Approaches", *Agricultural Economics*, 20, 1999, s. 24.

⁷⁶ Yolalan, a.g.e., s. 5.

⁷⁷ İnan, a.g.m., s. 84.

⁷⁸ Linna, Miiika, - Nordblad, Anne, - Koivu, Matti, "Technical And Cost Efficiency Of Oral Health Care Provision In Finnish Health Centres", *Social Science & Medicine*, 56, 2003, s. 344.

3. Girdi ve çıktılar için önceden seçilmiş ağırlıklara ihtiyaç duymamaktadırlar. Bu avantajları özellikle devlet sektöründeki üretim modelenmesi için bu yöntemleri uygun hale getirmektedir. Çünkü devlet sektöründe fiyat veya maliyet verileri nadiren gerçek fırsat maliyetlerini yansıtır ve maliyet verileri tüm birimleri karşılaştıırılabilmesi için gerekli niteliklere sahip değildir. Bu verilerin uyumlaştıırılabilmesi için en uygun yöntemler parametrik olmayan yöntemlerdir.

Parametrik olmayan yöntemler arasında en sık olarak kullanılan yöntem Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis) yöntemidir.



II. BÖLÜM

VERİ ZARFLAMA ANALİZİ (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS)

1. VERİ ZARFLAMA ANALİZİ' NİN (VZA) TANIMI:

İşletmeler, amaçlarını gerçekleştirebilmek için, dış çevreden sağladıkları girdileri, belirli bir üretim teknolojisinden yararlanarak mal ve hizmet biçiminde çıktılara dönüştürmektedirler. Günümüzün yoğun rekabet koşulları altında, işletmeler, üretim süreci içerisinde, kıt kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak durumundadırlar. Kaynaklarını etkin şekilde kullanıp kullanmadıklarının ölçümü, aynı sektörde faaliyet gösteren ve benzer üretim faktörleri kullanarak, benzer ürünler üreten işletmelerle karşılaştırılmaları yolu ile gerçekleştirilebilir. İşletmeler rekabet ettikleri ve yaşamlarını sürdürdükleri sektör içinde, diğer işletmelerle aralarındaki teknik etkinlik farklarını bilmelidirler. Negatif yönde ortaya çıkacak olan bir teknik etkinlik farkı kaynaklarını israf ettiklerinin göstergesi olmaktadır. İşletmeler, sektör içinde teknik etkinliği en yüksek olan işletmeyi kendilerine referans olarak seçip, kaynak kullanım ya da üretim düzeylerinden herhangi birini, referans olan işletmeye yaklaştırmalıdır. İşletmelerin istenilen çıktı düzeylerini elde etme sürecinde, girdilerini ne ölçüde kullandıklarının belirlenmesinde görece etkinlik ölçümleri çok önemli bir yere sahiptir.

İşletmeler veya bölümler arasında yapılan, görece etkinlik ölçümü için, en yaygın olarak kullanılan yöntem, Veri Zarflama Analizi (VZA) yöntemidir. Veri Zarflama Analizi, ya da literatürdeki adıyla Data Envelopment Analysis (DEA), spesifik olarak karar birimlerinin (Girdiyi çıktıya dönüştürmekten sorumlu işletme ya da ekonomik kuruluşlardır ve literatürde Decision Making Unit = DMU olarak adlandırılmaktadır.) etkinliklerini ölçmek için tasarlanmıştır.¹

VZA, farklı ölçeklerle ölçülmüş ya da farklı ölçü birimlerine sahip çok sayıda girdi ve çıktının, karar birimleri arasında karşılaştırma yapılmasını zorlaştırdığı

¹ Yavuz, İlknur, Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama, MPM Yayınları, No: 654, Ankara, 2001, s. 7.

durumlarda, karar birimlerinin görelî etkinliklerini ölçmeyi amaçlayan, doğrusal programlama tabanlı parametrik olmayan bir yöntemdir.²

VZA, her karar biriminin görelî etkinliğini, gözlemlenen girdi ve çıktıları kullanarak, ağırlıklı çıktıların ağırlıklı girdilere oranını hesaplayarak belirlemektedir. VZA, geleneksel yöntemlerin çoklu girdi ve çoklu çıktıların değerlendirilmesi için sağlayamadıkları bütünselliği, Toplam Faktör Verimliliği yaklaşımının mantığını kullanarak sağlayabilmektedir.³ Bu yönüyle yöntemin getirdiği en büyük kolaylık, bir çok girdi ile bir çok çıktının üretildiği üretim ortamlarında, parametrik yöntemlerde olduğu gibi önceden belirlenmiş herhangi bir üretim fonksiyonunun varlığına ihtiyaç duyulmadan ampirik gözlemler yardımıyla ölçüm yapılabilmesidir. Ayrıca girdi ve çıktılar, ölçüm birimlerinden bağımsızdırlar. Bu nedenle işletmenin değişik boyutları aynı zaman dilimi içerisinde ölçülebilmektedir.⁴

VZA’ da sağlanan başarının en önemli nedeni amaç yönelimli bir teknik olması ve çok önemli bir amaca odaklanmış olmasıdır. Bu amaç karar birimlerinin performanslarını değerlendirmektir. VZA karşılaştırılabilir karar birimlerinin görelî etkinliklerinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. VZA, gözlem yapılan karar birimleri ile ilgili verilerle, ampirik (gözlemsel) bir etkin sınır belirlemektedir. Eğer herhangi bir karar birimi, bu sınır üzerinde ise etkin, üzerinde değilse etkin olmayan veya etkinsiz bir karar birimi olarak adlandırılır. VZA ayrıca etkin olmayan karar birimleri için referans olacak karar birimlerinin belirlenmesini sağlar. Referans karar birimleri, etkin sınır üzerindeki varsayımsal (hipotetik) birimlerdir. Referans birimleri, etkin olmayan karar birimleri için hedef olarak tanımlanırlar. VZA’da, bir referans birimi, etkin olmayan bir karar birimi radyal olarak etkinlik sınırına doğru yaklaştırılarak bulunabilir.⁵

VZA yönteminin adı, etkinlik sınırının üretim imkanları kümesindeki en az bir noktadan geçmesi ve diğer tüm noktaların bu sınırın üzerinde olması ya da altında kalması özelliğinden yola çıkılarak verilmiştir. Çünkü matematik dilinde, bu türde bir

² Esenbel, Mine, - Erkin, Mustafa Onur, - Erdoğan, Fatih Korhan, “Veri Zarflama Analizi İle Dokuma, Giyim Eşyası Ve Deri Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların Etkinliğinin Karşılaştırılması” , <http://www.analiz.com/egitim/gazi001.html> , s. 2.

³ Aydemir, a.g.e., s. 45.

⁴ Esenbel, Erkin, Erdoğan, a.g.m., s. 3.

⁵ Korhonen, Pekka, Searching The Efficient Frontier In Data Envelopment Analysis , Interim Report, International Institute For Applied Systems Analysis Publishing, Austria, 1997, s. 1.

sınırın bu noktaları “zarfladığı” söylenmektedir.⁶ Örneğin tek çıktı ve iki girdinin bulunduğu bir durum incelendiğinde, girdi-çıkıtı düzleminde bulunan noktalar ile bulunacak olan etkin sınırın çizilmesinde aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

1. Yatay eksene paralel olarak alınan bir doğru, ilk gözlem noktasına temas edene kadar yukarı kaydırılır,
2. Gözlem noktasına temas edildiğinde, gözlem pivot noktası olacak şekilde, doğrunun sol tarafı saat yönünde çevrilir,
3. Çevirme işlemi yeni bir gözlem noktasına temas edilene veya doğrunun sol tarafı düşey eksene paralel olana kadar sürer,
4. Doğrunun sol tarafı düşey eksene paralel olduğunda işlem sona erer, aksi halde ikinci adıma dönülür.

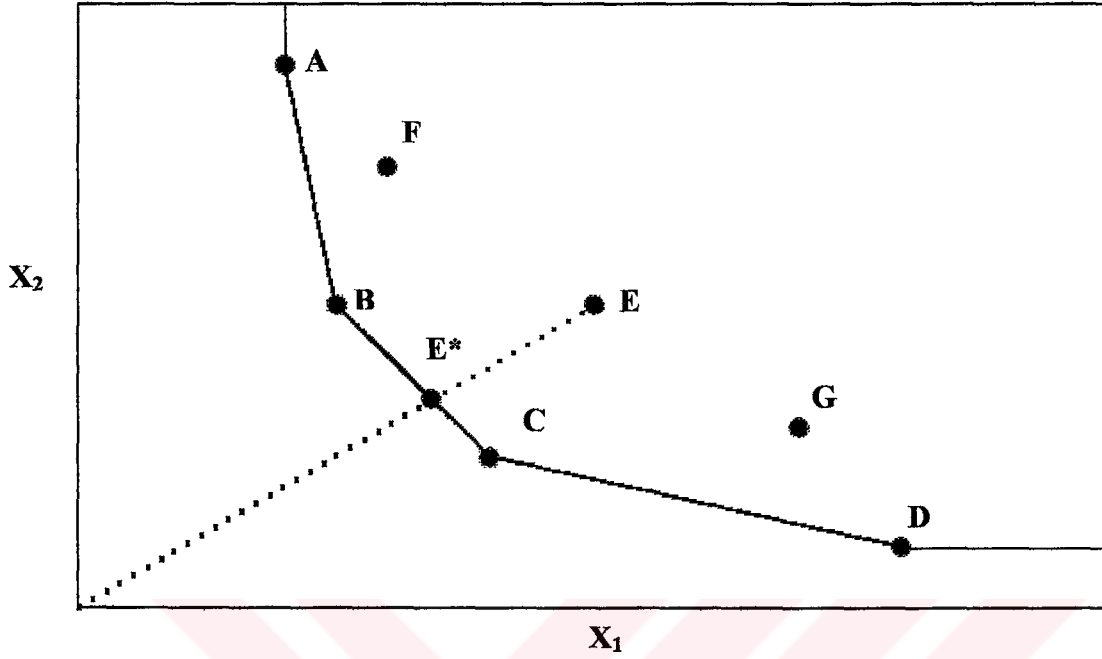
Bu adımlar sayesinde, tüm gözlemlerin etkin sınır tarafından zarflanması sağlanmış olmaktadır ve bu sınırın dışında hiçbir karar birimi kalmamaktadır. Etkin karar birimleri tarafından oluşturulan zarf **Şekil 2.1**'de açıkça görülmektedir. Etkin sınır olarak tanımlanan zarf, görelî olarak etkin olan karar birimlerinin geometrik yeridir. Zarfın içerisinde bulunan karar birimleri, zarf üzerinde bulunan karar birimlerinden daha düşük performans göstermiş olmaktadır.⁷

VZA yönteminde bahsedilen etkinlik sınırı varsayılan bir durum değildir, gerçekleşen bir gözlemdir. Etkinlik sınırı, yapılan ampirik gözlemler sonucunda elde edildiği için de, bu yöntemde, rassal hata kullanılmaz. Ancak, gözlemler arasında çok uç değerleri temsil ettiği düşünülen gözlemleri ayıklamak mümkündür.⁸ VZA'ya getirilen en önemli eleştiri rassal hata terimi içermediği için ortaya çıkabilecek ölçüm hatalarını engelleyememesidir.

⁶ Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 3.

⁷ Tarım, a.g.e., s. 23-24.

⁸ İnan, a.g.m., s. 85.



Şekil 2.1 Etkin Karar Birimlerinin Oluşturduğu Zarf

(Kaynak: Tarım, Armağan, Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayınları, Ankara, 2001, s. 24)

VZA'nın görelî etkinliği ölçme biçimi iki aşamalı olarak kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir.⁹

1. İlk olarak, herhangi bir gözlem kümesi içinde en az girdi bileşimini kullanarak, en fazla çıktı bileşimini üreten en iyi gözlemler (ya da etkinlik sınırını oluşturan karar birimlerini) belirlenir.

2. Daha sonra, etkin karar birimlerinin oluşturduğu etkinlik sınırı referans olarak kabul edilip, etkin olmayan karar birimlerinin, etkinlik sınırına olan uzaklıkları (ya da etkinlik düzeyleri) radyal olarak ölçülür.

VZA, doğrusal programlamanın özel bir uygulama şeklidir ve aynı amaç ve hedeflere sahip işletmelerin görelî etkinliklerini ölçmede kullanılmaktadır. Örneğin VZA, bir fast food zinciri içinde yer alan, aynı işletmeye ait fast-food restaurantlarının

⁹ Yolalan, a.g.e., s. 27-28.

görelî etkinliklerini ölçmede kullanılabilir. Etkin olmayan restaurantlar belirlenerek düzeltici önlemler alınabilir.¹⁰ VZA gerek kamu gerekse özel sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir.

2. VZA’NIN GELİŞİMİ

Bir işletmenin veya karar biriminin, sektörü veya var olduğu grup içerisindeki etkinliğini ölçmek amacı ile bazı yöntemler geliştirilmiştir. İlk geliştirilen yöntemler, bir üretim fonksiyonunun varlığını kabul ederek, çeşitli parametreler kullanarak, etkinlik ölçümü yapılmasını ön gören parametrik yöntemlerdir. Parametrik yöntemlerde, etkin üretim sınırının oluşturulmasında, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkinin, Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonundaki gibi bir ilişki olduğu kabul edilmiş ve etkin üretim sınırı, en küçük kareler yöntemi gibi regresyon teknikleri kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonu ile etkinlik ölçümleri ve kullanılan parametreler, birçok girdi ve birçok çıktının bulunduğu üretim ortamlarında etkinlik ölçümü için yetersiz kalmıştır. Bunun üzerine araştırmacılar yeni bir yöntem arayışı içine girmişlerdir.

Üretim sınırı yaklaşımı ile etkinlik ölçüm çalışmaları, M. J. Farrell’in etkinlik tanımlamalarından yola çıkılarak yapılmıştır. Farrell’in 1957’deki çalışmalarının uzantısı olarak, J. N. Bones (1966) ve S.N. Afriat’ın (1972) üretim fonksiyonunun belirlenmesi için matematiksel programlamaya dayalı bazı önerileri olmuş; ancak bu çalışmalar fazla dikkat çekmemiştir. A. Charnes, W.W. Cooper ve E. Rhodes tarafından, 1978 yılında Farrell’in görelî etkinlik ölçümü tanımlamalarından yola çıkılarak yayınlanan ve yaklaşıma VZA adını veren çalışmayla birlikte bu alan yoğun ilgi görmeye başlamıştır.¹¹

Charnes, Cooper ve Rhodes öncelikle, VZA’da kesirli programlama modelini geliştirmişlerdir. Daha sonra kesirli programlama modelinin çözümündeki zorluklar göz önüne alınarak, model girdiye ve çıktıya yönelik olarak doğrusal programlama modeline

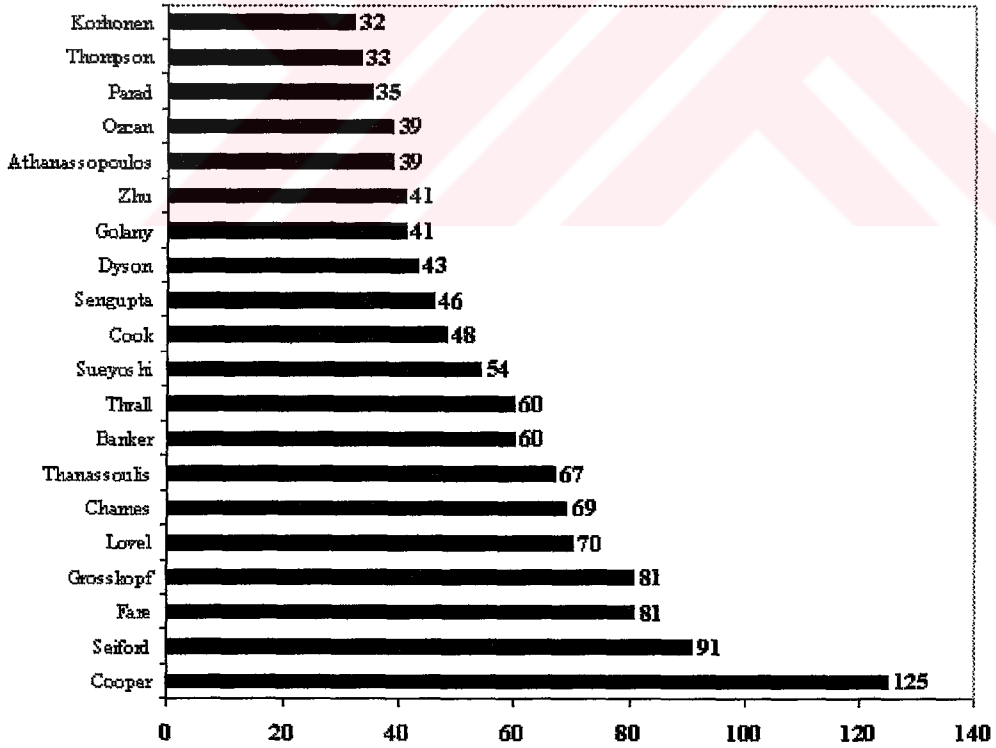
¹⁰ Timör, Mehpare, “Hastane Performansını Belirlemede Veri Zarflama Analizi”, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 30, Sayı: 1, 2001, s. 69.

¹¹ Cingi, Selçuk, - Tarım, Armağan, “Türk Banka Sisteminde Performans Ölçümü DEA-Malmquist TFP Endeksi Uygulaması”, Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliğleri Serisi, Sayı: 2000-01, 2000, s. 2.

dönüştürülmüştür. Referans kümelerini oluşturulmasını kolaylaştırmak amacıyla, doğrusal programlama primal modeli oluşturulan, girdiye ve çıktıya yönelik modellerin dualleri alınmış ve referans kümelerinin daha kolay hesaplanabilmesi sağlanmıştır.

VZA, ilk olarak deterministik bir yapıda kullanıma sunulmuştur. VZA yazınında, girdi ve çıktı değerlerinin stokastik olarak değişebileceği durumları inceleyen J. T. Sengupta'nın çalışmaları olmuştur. Pencere Analizleri denilen VZA çalışmaları ile karar birimlerinin teknik etkinlik değerlerinin bir dönemden diğerine nasıl değiştiğini sürekli olarak inceleyebilme imkanı bulunmuştur. Bazı çalışmalarda ise, VZA ile parametrik olan yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu çalışmalar hangi yöntemin uygulayanlar açısından daha güvenilir olabileceğini göstermesi açısından oldukça yararlı olmuştur.

VZA'nın gelişmesinde çok önemli katkıları olmuş araştırmacılar ve yaptıkları çalışma sayıları Şekil 2.2'de özetlenmektedir.



Şekil 2.2 VZA'nın Gelişimini Sağlayan Önemli Araştırmacılar ve Yayın Sayıları

(Kaynak: Tavares, Gabriel, *A Bibliography Of Data Envelopment Analysis*, RUTCOR Research Report, USA, 2002, s. 5.)

VZA, ilk olarak yalnızca, kamu sektöründe uygulanabilecek bir model olarak tasarlanmıştır. İlk uygulaması da eğitim sektöründe yapılmıştır. VZA’da yapılan geliştirmeler sonucunda, yöntemin, özel sektörde de kolaylıkla uygulanabileceği ortaya çıkmış ve VZA tüm dünyada oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

3. VZA’NIN UYGULAMA ALANLARI

VZA devlet sektöründe ve özel sektörde işletmelerin ait oldukları alan içerisindeki görelî etkinlik ölçümleri için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Devlet sektörü, belirli bazı hizmetleri sağlamakla yükümlüdür. Bu hizmetler, özellikle sağlık, sosyal hizmetler, eğitim ve savunma gibi çok önemli kalemleri içermektedir. Devlet, bu tür hizmetleri sağlayabilmek için pek çok birim oluşturmaktadır ve oluşturulan birimlerin takibi de oldukça güçtür.¹² VZA, devlet sektöründeki etkinlik değerlendirmelerinde ortaya çıkan ve takip edilemeyen problemlerin çözümünde oldukça etkili bir yöntemdir.¹³

Zamanla yöntemin özel sektörde de uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Devlet sektörünün sağladığı hizmetlerden bazılarını özelleştirmeye başlamasıyla VZA özel sektörde de uygulanmaya başlanmıştır. VZA, hizmet sektörünü takiben üretim sektöründe de uygulama alanı bulmuştur fakat üretim sektöründeki uygulama alanı, hizmet sektörüne oranla oldukça dardır. Çünkü üretim sektöründe girdi ve çıktıları uyumlu hale getirebilmek güçtür.

VZA’nın en çok uygulandığı sektörler, eğitim, sağlık, savunma ve bankacılık sektörleridir. Eğitim sektöründe, ilk, orta ve yüksek öğretim kurumlarının kendi aralarında değerlendirilmelerinde, yüksek öğretim kurumlarında fakülte veya bölüm bazında karşılaştırmalar yapılmasında, sağlık sektöründe, hastanelerin karşılaştırılmasında ve hastanelerde bulunan polikliniklerin değerlendirilmesinde, silahlı kuvvetlerde, kara, hava, deniz kuvvetlerinin karşılaştırılmasında, bankacılık sektöründe,

¹² Norman, Stoker, a.g.e., s. 5.

¹³ Tomkins, Cyril, - Green, Rodney, “An Experiment In The Use Of Data Envelopment Analysis For Evaluating The Efficiency Of UK University Departments Of Accounting”, Financial Accountability And Management, 4 (2), 1988, s. 148.

bankalar arasında ve aynı bankaya ait şubeler arasında karşılaştırma yapılmasında, yaygın olarak, VZA yönteminden yararlanılmaktadır.¹⁴

3.1 VZA'nın Kullanılabileceği Konular:

VZA modelleri, yönetim ve yöneylem araştırması uygulamaları içerisinde de sıklıkla kullanılmaktadır. VZA'nın kullanılabileceği bazı konular şunlardır.¹⁵

Eş Grupların Kullanımı: VZA ile etkin olmayan her karar birimi için ona karşılık gelen etkin bir küme tanımlanır ve etkin olan karar birimleriyle etkin olmayan karar birimleri eş bir grup oluştururlar. Eş gruplardaki her karar birimi etkin karar biriminin girdi-çıkıtı yönlendirmesini alır ve etkin olan karar birimiyle aynı ağırlıkları kullanarak etkin hale gelir.

Etkin Çalışma Uygulamalarının Belirlenmesi: Etkin çalışma uygulamalarının belirlenmesi sadece etkin olmayan karar birimleri için değil, aynı zamanda göreceli etkin olan karar birimleri için de etkinliğin artırılmasına olanak sağlayabilmektedir. Ayrıca, etkin olan karar birimleri arasında bazıları diğerlerinden daha iyi örnek olabilmektedir.

Hedef Belirleme: Uygulamalarda, sıklıkla göreceli etkin olmayan birimlerin performanslarının iyileştirilebilmesi için hedefler belirlenmektedir. Bu hedefler belirlendikten sonra, hedef programlama yöntemi ile model çözümü yapılabilmektedir.

Etkin Stratejilerin Belirlenmesi: VZA, karar birimlerinin içinde çalıştıkları politikalar ve programları karşılaştırmada kullanılabilir. Yapılan karşılaştırmaya göre işletmeler stratejilerini belirleyebilir veya değiştirebilirler.

Belirli Periyotlarla Etkinlik Değişimlerinin Gözlenmesi: VZA yöntemi ile etkinliği ölçülmüş bir işletme zamanla etkinliğini yitirip, referans olma özelliğini kaybedebilir. Belirli periyotlarla analiz yapılarak, zaman içindeki etkinlik değişiklikleri gözlemlenebilir.

Kaynak Ataması: VZA, göreceli olarak etkin ve etkin olmayan karar birimlerinin belirlenmesini sağladığı gibi, etkin olmayan karar birimleri için girdi azaltma veya çıktı

¹⁴ Emrouznejad, A., "An Extensive Bibliography Of Data Envelopment Analysis (DEA), Volume I - V ", <http://www.warwick.ac.uk/~bsrlu>, 2001.

¹⁵ Eşenbel, Erkin, Erdoğan, a.g.m., s. 3.

artırma potansiyellerinin tahmin edilmesine olanak vermektedir. Bu nedenle VZA, kaynakların birimlere atanması için uygun şartları yaratmaktadır. Göreli etkin veya etkin olmayan birimlerin belirlenmesi, kaynakların hangi yöne transfer edilmesi gerektiği hakkında ilk işareti vermektedir.

VZA yöntemi ayrıca işletmelerde uygulanan bazı yöntemlerle de birlikte kullanılabilir. Bu yöntemlerin en önemlileri, kıyaslama (benchmarking), oran analizleri, hedef programlama yaklaşımı, faaliyet tabanlı maliyetleme ve balanced scorecard yöntemleridir.

3.2. VZA ve Kıyaslama (Benchmarking):

Kıyaslama, bir öğrenme ve öğretme, uyarılma, paylaşma ve gelişme sürecidir. Kıyaslama, kalıcı rekabet avantajı sağlamak için oldukça gerekli bir sistemdir. Kıyaslama süreci iki yönlü bir süreçtir. Bu sürece katılan işletmelerin, deneyim ve bilgilerin paylaşımı ve transferi sayesinde daha iyiyi daha çabuk yapabilmeleri mümkün olmaktadır. “Kıyaslama, dünyada mevcut en iyi veya daha iyi uygulamaların araştırılması, bulunması ve sürekli iyileştirilmesi amacıyla, bu uygulamaların işletmelerin kendi süreçlerine uyarlanması faaliyetlerinin tümünü ifade etmektedir.”¹⁶

Kıyaslamamın unsurları arasında VZA ile en çok örtüşen unsur, sınıfında en iyinin araştırılmasıdır. VZA yöntemi de aynı sektörde bulunan işletmeler arasında, en etkin işletmenin tespit edilmesini sağladığından kıyaslama sürecinde önemli bir yere sahiptir. VZA'nın etkin işletmeyi belirleme ve kıyaslama faaliyetlerindeki gücü kanıtlanmıştır.¹⁷ İşletmeler, VZA yardımı ile buldukları sektör içerisinde en etkin işletmeyi belirleyip, kıyaslama ortağı olarak seçebilmektedirler. Böylece kıyaslama yöntemini uygulayacak olan işletmeler açısından, en önemli unsurlardan biri yerine getirilmiş olmaktadır.

3.3. VZA ve Oran (Rasyo) Analizleri:

Bir işletmenin finansal durumu, faaliyet sonuçları değerlendirilirken, bilanço ve gelir tablosunda bulunan kalemler arasındaki ilişkiler çok önemlidir. Bu nedenle,

¹⁶ Kıyaslama Komitesi, *Kıyaslama (Benchmarking)*, KalDer Yayınları, No: 15, İstanbul, 2000, s. 14-15.

¹⁷ Ross, Anthony, - Droge, Cornelia, “An Integrated Benchmarking Approach To Distribution Center Performance Using DEA Modeling”, *Journal Of Operations Management*, 20, 2002, s. 19.

finansal analizde, oranlardan geniş ölçüde yararlanılmaktadır. Oran, mali tablolarda yer alan herhangi iki kalem arasındaki ilişkinin basit matematiksel ifadesi olarak tanımlanmaktadır.¹⁸

Oran analizleri tek başına yalnızca bir girdi ve bir çıktı ile ilişkilidirler. Finansal olarak oranların, sadece teker teker karşılaştırması yapılabilmektedir. VZA ise performans değerlendirmede eş zamanlı olarak tüm girdi ve çıktıları değerlendirebilmektedir. İki yöntem bir arada uygulandığında birbirlerini büyük ölçüde destekleyebilmektedirler.¹⁹ Oranlardan bazıları girdi ve bazıları çıktı olarak kabul edilerek, işletmeler arasında karşılaştırma yapılabilmektedir. Örneğin; likidite oranları (cari oran, likidite oranı, nakit oranı v.b.) girdi ve karlılık oranları (net kar marjı, satış karlılığı, öz sermaye karlılığı, aktiflerin karlılığı v.b.) da çıktı olarak kabul edilerek işletmelerin finansal durumları karşılaştırılabilir.

3.4. VZA ve Hedef Programlama:

Doğrusal hedef programlama modeli, hedef kısıtlaması şeklinde ifade edilen birden çok hedefin, bu hedeften sapmaları minimize etmeye çalışan tek bir amaç fonksiyonu çerçevesinde tatmin edilmeye çalışılması için oluşturulmuş bir doğrusal programlama modelidir. Hedef programlama, işletmelerin birbiriyle çelişki içerisinde olan ya da birbirlerini tamamlayan çok sayıda hedefe, mümkün olan en iyi düzeyde ulaşmalarına imkan sağlayacak kararlar almalarına yardımcı olmaktadır.²⁰

VZA ile elde edilen bilgilerden yola çıkılarak işletme yeni hedefler belirleyebilmektedir. Referans karar birimi bulunduktan sonra işleme için olması gereken girdi ve çıktı miktarları tespit edilebilmektedir. Belirlenen girdi ve çıktı miktarları da işletmeye hedef olarak konulabilirler. Bu hedefin ve bununla beraber işletmenin diğer hedeflerinin kısıtlar olarak ifade edilmesiyle kurulan bir model, hedef programlama yöntemi ile kolaylıkla çözülebilmektedir. VZA'nın hedef programlama

¹⁸ Akgüç, Öztin, Finansal Yönetim, Muhasebe Enstitüsü Yayınları, No: 65, İstanbul, 1998, s. 20.

¹⁹ Thanassoulis, E., - Boussofiane, A., - Dyson, R.G. , "A Comparison Of Data Envelopment Analysis And Ratio Analysis As Tools For Performance Assessment", Omega, Volume 24, Issue 3, 1996, s. 229.

²⁰ Başkaya, Zehra, - Akar, Cüneyt, "Çok Amaçlı Karar Verme Tekniği Olan Doğrusal Hedef Programlama Yardımıyla Bir Gıda İşletmesinde Üretim Planlaması", D.E.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 4, Sayı: 2, 2003.

yöntemi uygulanırken kurulacak modele, belirlenen hedefler açısından katkısı olmaktadır.

3.5. VZA ve Faaliyet Tabanlı Maliyetleme:

Faaliyet tabanlı maliyetleme (FTM), toplam mamul maliyetini oluşturan endirekt unsurların, yani genel üretim giderlerinin (GÜG) mamullere yüklenmesiyle ilgili bir yöntemdir. FTM, işletmelerde değer yaratmak amacıyla gerekli kaynakları kullanan iş ya da faaliyetlerle ilgilidir. Maliyetlerin hesaplanmasında, faaliyetler baz alınmaktadır. FTM'de endirekt maliyetlerin düzeyini belirleyen temel etken, üretim süreçlerinin yapısıdır. Bu nedenle sağlıklı bir maliyet hesaplaması yapılabilmesi için maliyet yerlerinden mamullere yükleme aşamasında maliyetlerin oluşumunu belirleyen maliyet anahtarlarını en iyi şekilde temsil edecek ölçütlerin kullanılması zorunlu hale gelmektedir.²¹

FTM, genel üretim giderlerinin tahsis edilmesi için maliyet anahtarlarının geleneksel maliyet yöntemlerinden daha doğru olarak tespit edilmesini sağlamaktadır. Faaliyet tabanlı yönetim (FTY), yalnızca genel üretim giderlerinin tahsisi ile ilgili bir kavram değildir, ayrıca, etkin olmayan faaliyetlerin belirlenmesi ve geliştirilmesini de kapsamaktadır. Bu yönüyle FTY çok amaçlı bir kavram olmaktadır. Etkin olmayan faaliyetler belirlenirken karşılaştırma yapılabilmesi için, referans olacak faaliyetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Referans olacak faaliyetlerin belirlenmesi için VZA yöntemi kullanılabilir. VZA, verilen tüm faaliyetlerin, faaliyet kümesi içerisindeki görece etkinlik değerlerinin ölçülmesini sağlamaktadır. Bir karar biriminin faaliyet performansını, bir girdi-çıkı vektörü yardımı ile hesaplayabilmek mümkündür. Girdi ve çıktı olarak sırasıyla, yapılan genel üretim giderlerinin kaynakları ve gerçekleştirilen faaliyetler kullanılmaktadır. Her faaliyet, faaliyetin miktarını ölçen bir maliyet anahtarına sahiptir. Kullanılan kaynaklar girdi ve maliyet anahtarları çıktı olarak tanımlanarak, etkin faaliyetler belirlenebilmektedir. VZA'nın FTM'de kullanılması ile

²¹ Hacıüstemoğlu, Rüstem, - Şakrak, Münir, Maliyet Muhasebesinde Güncel Yaklaşımlar, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 2002, s. 25-30.

sağlanan en önemli avantaj, toplam faaliyet performansının, detaylı faaliyet bilgisi kullanılmadan ölçebilmesidir.²²

3.6. VZA ve Ölçüm Kartı Tekniği (ÖKT, Balanced Scorecard):

İşletmelerin maddi veya fiziksel varlıklarının yanında, maddi varlığı bulunmayan değerlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. ÖKT, kısa ve uzun dönemde, finansal olan ya da olmayan, şirket içi ve dışı, performans ve sonuç göstergeleri arasındaki ilişkiyi, neden-sonuç hiyerarşisi içerisinde dengeli bir şekilde şirket stratejisine yansıtmayı amaçlayan bir yöntemdir. ÖKT yönteminin dört önemli boyutu vardır.

ÖKT, **Tablo 2.1**'de açıklanan boyutların dengede olması gerektiğini savunmaktadır. ÖKT, bilinen performans ölçütlerindeki bireysel üstünlüklerin çarpıklık ve dengesizliğini gidermeye çalışan yeni bir anlayış getirmektedir. Yöntemin ana fikri, bir işletmenin performans değerlendirmesinde, farklı perspektiflerin dikkate alınması gerektiğine dayanmaktadır.²³

Tablo 2.1 ÖKT'nin Boyutları

ÖKT'nin Boyutları	Kritik Sorular	Göstergeler (Kriterler)
Finansal Perspektif	Hissedarlarımıza nasıl görünmeliyiz?	Rantabilite, Finansal Güç, İyileştirme Sonuçları.
Müşteri Perspektifi	Müşterilerimiz bizi nasıl görüyorlar?	Pazar Payı, Müşteri Sadakati ve Memnuniyeti.
İçsel Perspektif	Hangi alanda üstün olmalıyız?	Fire, Iskarta Oranı, Müşteri İstek ve Şikayetleri Oranı.
Yenilik ve Öğrenme Perspektifi	Sürekli olarak değer yaratıp geliştirme yapabiliyor muyuz?	Çalışanların Memnuniyeti, Sadakati ve Verimliliği, Bilgi Katkı Derecesi.

(Kaynak: Can, Ahmet Vecdi, Hedef Maliyetleme Kuram ve Uygulama, Sakarya Kitabevi, Adapazarı, 2004, s. 178.)

²² Homburg, Carsten, "Using Data Envelopment Analysis To Benchmark Activities", Int. J. Production Economics, Volume 73, Issue 1, 2001, s. 51-55.

²³ Can, Ahmet Vecdi, Hedef Maliyetleme Kuram Ve Uygulama, Sakarya Kitabevi, Adapazarı, 2004, s. 175-181.

VZA yönteminden yararlanılarak alternatif performans ölçütlerinin değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Özellikle ölçüm kartı tekniğindeki çoklu performans ölçütlerinin karmaşıklığını gidermek amacıyla VZA yöntemi kullanılmaktadır. Finansal ve finansal olmayan göstergelerin değerlendirilmesi ve bu göstergeler arasında denge kurulması açısından VZA'nın yönetime çok önemli katkıları bulunmaktadır.²⁴

4. VZA'NIN UYGULANMASINDAKİ AMAÇLAR

VZA'nın uygulanmasındaki amaçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir:

1. Karşılaştırılması yapılan karar birimlerinin her biri için girdi-çıktı boyutlarından herhangi birisinde görece etkinsizliğin ve kaynaklarının tanımlanması,
2. Karar birimlerinin etkinlik değerlerine göre sınıflandırılması,
3. Karşılaştırılması yapılan karar birimlerinin yönetimlerinin değerlendirilmesi,
4. Karar birimlerinin kontrolleri dışındaki program ve politikaların etkinliklerinin değerlendirilmesi ve program etkinsizliği ile yönetsel etkinsizliğin ayırt edilmesi,
5. Değerlendirilmesi yapılan karar birimleri için kaynakların kullanımı ile ilgili niceliksel bir temel oluşturulması ve sınırlı kaynakların, istenilen çıktı düzeyini elde etmekte daha etkin kullanabilecek birimler arasında değiştirilmesi,
6. Spesifik girdi çıktı ilişkileri için belirtilen standartların, gerçekleşen performansla karşılaştırılması ve incelenmesi²⁵,
7. Karar birimlerinin buldukları eş gruplar içerisindeki performanslarının değerlendirilmesi,
8. Karşılaştırılması yapılan karar birimlerinin içinde bulunduğu sektör için yeterli standartların belirlenmesi,

²⁴ Banker, Rajiv D., - Chang, Hsihui, - Janakirman, Surya N., - Konstans, Constantine, "A Balanced Scorecard Analysis Of Performance Metrics", European Journal Of Operational Research, 154, 2004, s. 424.

²⁵ Golany, B., - Roll, Y., "An Application Procedure For DEA", Omega, Volume 17, No: 3, 1989, s. 238.

9. Belirlenen standarda göre etkin olan karar birimleri kullanılarak, etkin olmayan karar birimleri için referans girdi ve çıktı miktarlarının tespit edilmesi,

10. Referans karar birimlerinden hareketle, etkin olmayan karar birimlerine, etkin hale gelebilmeleri için, girdi miktarlarını ne kadar azaltmaları veya çıktı miktarlarını ne kadar arttırmaları gerektiğinin gösterilmesi amaçları ile VZA yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır.

5. VZA’NIN UYGULAMA AŞAMALARI

VZA yönteminin uygulanmasında izlenen ana adımlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

1. Gözlem kümesinin seçimi
2. Girdi ve çıktı kümelerinin belirlenmesi
3. Verilerin elde edilebilirliği ve güvenilirliği
4. VZA ile görelî etkinlik ölçümü
5. Etkinlik değerleri ve etkinlik sınırı
6. Referans grupları
7. Etkin olmayan karar birimleri için hedef belirlenmesi
8. Gözlem kümesi için genel sonuçların değerlendirilmesi

5.1. Gözlem Kümesinin Seçimi:

VZA yönteminde ilk aşama, aralarında karşılaştırma yapılacak olan karar birimlerinin seçilmesidir. Karar birimlerinin birbirlerine benzer olmaları, diğer bir ifade ile gözlem kümesinin homojen bir yapıya sahip olması, elde edilecek sonuçların anlamlı olması açısından çok önemlidir. Gözlem kümesinin homojen olması, karar birimlerinin aynı girdi-çıkıtı kombinasyonlarına sahip olmaları gerektiği anlamına gelmektedir. Gözlem kümesinin içerdiği karar birimlerinin sayısının belirli bir değerin üzerinde olması gerekmektedir. Aksi halde, herhangi bir çıktı/girdi oranında avantajlı olan karar birimi tüm ağırlıkları kendi açısından maksimum duruma getirir ve etkinlik sınırına

erişir. Bu nedenle, etkinlik ölçümünün anlamlı olabilmesi için gözlem kümesinin seçiminde çok dikkatli davranılması gerekmektedir.²⁶

VZA yönteminin yapısı gereği, girdi sayısı “m” ve çıktı sayısı “s” ile gösterildiğinde, gözlem kümesine dahil edilecek olan karar birimi sayısı en az “m + s + 1” olmalıdır.²⁷

Karşılaştırılması yapılacak olan karar birimlerinin oluşturacağı homojen grup aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

1. Tüm karar birimleri benzer görevleri yürüten benzer hedeflere sahip olmalıdırlar.

2. Karar birimleri aynı piyasa şartlarında faaliyet göstermeleri gerekmektedir. (Bu durum, okullar, askeri birimler, devlet hastaneleri gibi kar amacı gütmeyen kuruluşların değerlendirilmesinde oldukça önemlidir.)

3. Grup içerisindeki karar birimlerinin performansını karakterize eden tüm faktörler (girdi ve çıktılar) yoğunlukları veya büyüklükleri dışında aynı olmalıdır.²⁸

5.2. Girdi ve Çıktı Kümelerinin Belirlenmesi:

VZA yönteminde kullanılacak olan girdi ve çıktılar, yapılacak olan etkinlik ölçümünde karar birimleri arasındaki karşılaştırmanın temelini oluşturdukları için, büyük bir dikkatle seçilmelidir. Yöntemde her ne kadar fonksiyonel bir varsayım bulunmasa da üretim sürecine nedensel olarak bağlı olan girdi ve çıktılarının belirlenmesi gerekmektedir. Aynı karar birimi için farklı girdi ve çıktı kümeleri, farklı etkinlik değerleri alabilmektedir. Eğer modelde önemli bir değişken göz ardı edilirse, hesaba katılmayan bu değişkeni etkin olarak kullanmakta olan karar birimlerinin etkinlik değerleri düşük çıkacaktır. VZA ile ilgili yapılan uygulamalarda modele yeni girdi ve çıktılar eklenmesiyle, eklenmeden önce etkin olmayan karar birimlerinin etkin sınır üzerinde yer alabildiği görülmüştür.²⁹

²⁶ Yolalan, a.g.e., s. 65.

²⁷ Esenbel, Erkin, Erdoğan, a.g.m., s. 4.

²⁸ Golany, Roll, a.g.m., s. 239.

²⁹ Çekin, İlknur, Veri Zarflama Yönteminin Uygulamaya Hazırlanması, MPM Verimlilik Ölçme Ve İzleme Bölümü, Ankara, 1999, s. 29.

Bu aşamada amaç, üretim fonksiyonunu en iyi şekilde ifade edebilecek girdi ve çıktıların seçilmesidir. Bu nedenle, üretimde kullanılan tüm aday girdilerin ve üretim süreci sonunda üretilen çıktıların listesi yapılmalı ve etkinlik ölçümünü yapacak olan uzmanın yardımı ile üretime direkt etkisi olmayan değişkenler elenmelidir. Girdi ve çıktı sayılarının azaltılmasıyla VZA yönteminin ayrıştırma yeteneği artmaktadır. Girdi ve çıktı sayısının çok fazla olması karar birimi sayısının da artmasını gerektirir. Bu durum gözlem kümesinin homojenliğini bozmaktadır.

Girdi ve çıktıların seçimi, VZA yönteminin uygulanması sürecinde çok büyük öneme sahiptir. Üretim sürecini iyi bir şekilde temsil edemeyen bir girdi-çıkıtı modeli sonucu elde edilecek olan etkinlik ölçümleri, son derece sağlıklı olacaktır.³⁰

5.3. Verilerin Elde Edilebilirliği ve Güvenirliliği:

VZA yöntemi için girdi ve çıktılar belirlendikten sonra, tüm karar birimleri için kullanılacak olan girdi ve çıktı verilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Herhangi bir karar birimi için gerekli verilerin elde edilememesi durumunda ilgili karar birimi yapılan çalışmadan çıkarılmaktadır. VZA'nın görelî etkinliği ölçmesi nedeniyle, bir karar biriminin analizden çıkarılması, kalan karar birimlerinin görelî etkinliklerinin olduğundan yüksek görünmesine neden olabilmektedir.³¹

Uygulamada verilere ulaşıp ulaşılamaması girdi ve çıktı seçimini etkileyebilmektedir. Eğer bir girdi veya çıktı için verilere ulaşılamıyorsa, üretim ilişkisini açıklayabilecek ve kolay veri elde edilebilecek farklı girdi ve çıktıların araştırılması gerekmektedir.

Verilerin elde edilebilirlikleri kadar güvenilirlikleri de önemlidir. Doğru olmayan veriler, ait oldukları karar biriminin etkinlik değerini etkilemelerinin yanında, görelî etkinlikleri nedeniyle tüm karar birimlerinin etkinlik değerlerini tartışmalı hale getirmektedir.³²

³⁰ Yolalan, a.g.e., s. 66.

³¹ Yavuz, (Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama) a.g.e., s. 50.

³² Çekin, a.g.e., s. 30.

5.4. VZA İle Göreli Etkinlik Ölçümü:

Karşılaştırmalı olarak analizi yapılacak olan karar birimlerinden oluşan gözlem kümesi, ilgili girdi-çıkıtı kümeleri seçildikten ve verilerin güvenilirlikleri kontrol edildikten sonra, etkinlik ölçümünü yapacak olan analist, mevcut üretim ortamı için en uygun VZA modelini kurar ve her bir karar birimi için ilgili doğrusal programlama modellerini çözerek çözüm kümelerine ulaşır.³³

Temel VZA modelinin formüle edilmesinde iki ayrı yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar, girdilerin azaltılması ve çıktıların artırılması yönündedir. İki formülasyon da özdeş sonuçlar vermektedir. Formülasyonlardan hangisinin kullanılacağı kararı verilirken içinde bulunulan şartlar göz önüne alınmalıdır. Uygulamada, girdiler çıktılarına göre daha az esnekse, (yönetim kademesi tarafından belirlendiğinden esnekliği daha az olabilir) çıktı formülasyonu, diğer taraftan, çıktılar, yönetim kademesi ve çevresel faktörler ile belirlenmiş hedeflerle bağlantılıysa, girdi formülasyonu daha uygun olmaktadır.³⁴

Doğrusal programlama modellerinin çözümünde bilgisayar programlarından yoğun bir şekilde yararlanılmaktadır. Kurulan VZA modelini çözebilmek için doğrusal programlama modülü içeren herhangi bir paket program kullanılabilir. Son yıllarda VZA modellerini çözebilen özel paket programlar da geliştirilmiştir. Windows altında çalışabilen bu özel programlar (Frontier Analyst, Warwick DEA Software, DEAP v.b.) da VZA modellerini çözmek için kullanılabilir.

5.5. Etkinlik Değerleri Ve Etkinlik Sınırı:

Charnes, Cooper ve Rhodes'un etkinlik tanımlamalarında, herhangi bir karar birimi için;

1. Çıktı Yönelimi: Bir ya da birden fazla girdinin artırılması veya diğer çıktılarından bazılarının azaltılması durumlarının dışında hiçbir çıktı artırılmıyorsa ve,

2. Girdi Yönelimi: Çıktılardan bazılarının azaltılması veya diğer bazı girdilerinin artırılması durumlarının dışında hiçbir girdisi azaltılmıyorsa,

³³ Yolalan, a.g.e., s. 66.

³⁴ Golany, Roll, a.g.m., s. 242-243.

% 100 etkinlik durumu söz konusu olmaktadır.³⁵ VZA ile yapılan analiz sonucunda her karar birimi için 0 ile 1 arasında bir etkinlik değeri hesaplanmaktadır. Etkinlik değeri 1'e (% 100) eşit olan karar birimleri etkinlik sınırını oluşturmaktadırlar. Etkinlik değeri 1'den küçük olan karar birimleri ise görel olarak etkin değildirlir. Görel olarak etkin olmayan karar birimlerinin 1'den sapma oranları görel etkinsizlik ölçüsü olarak adlandırılmaktadır.

5.6. Referans Grupları:

VZA yöntemi etkin olmayan karar birimlerinin de, görel olarak etkin karar birimlerinin uyguladığı organizasyonel yöntemleri uygulayarak aynı etkinlik seviyesine ulaşabilecekleri varsayımı üzerine kurulmuştur. Bu varsayıma göre, etkin olmayan bir karar birimi için aynı girdi-çıkı kombinasyonları yardımıyla daha iyi bir üretim performansı yakalanabileceğinin kanıtı etkin karar birimlerinin var olması ile açıklanmaktadır.³⁶

Gözlem grubundaki etkin olmayan karar birimleri için VZA, etkinlik sınırı üzerinde bulunan bir grup etkin karar birimini referans olarak belirlemekte ve yapılan karşılaştırmanın gözlem grubuna oranla daha küçük bir grup ile yapılmasını, dolayısıyla daha detaylı olmasını sağlamaktadır.

Bir referans grubunda yer alan karar birimlerinin referans olarak güçlü olması, bu karar birimlerinin toplam gözlem grubu içindeki etkin olmayan karar birimlerine hangi yoğunlukta referans olarak gösterildiğine bağlıdır. Bu nedenle, analizin bu aşamasında, en iyi gözlemleri oluşturan karar birimlerinin, etkin olmayan karar biriminin referans grubunda yer alma sayılarının bir dökümü yapılarak yoğunluk araştırılabilmektedir.

Etkin olmayan bir karar biriminin referans grubunda yer alan karar birimleriyle, yalnızca girdi-çıkı miktarları açısından değil, pratik yönetsel uygulamalar açısından da derinlemesine incelemeler yapılarak karşılaştırılması gerekmektedir.³⁷ İşletmeler

³⁵ Charnes, A., - Cooper, W.W., - Rhodes, E., "Evaluating Program And Managerial Efficiency: An Application Of Data Envelopment Analysis To Program Follow Through", Management Science, Volume 27, No: 6, 1981, s. 669.

³⁶ Aydemir, a.g.e., s. 90.

³⁷ Çekin, a.g.e., s. 32-33.

arasında yapılacak olan derinlemesine bir karşılaştırma referans gruplarının işletmeye katkılarının çok daha büyük boyutlara ulaşmasını sağlayacaktır.

5.7. Etkin Olmayan Karar Birimleri İçin Hedef Belirlenmesi:

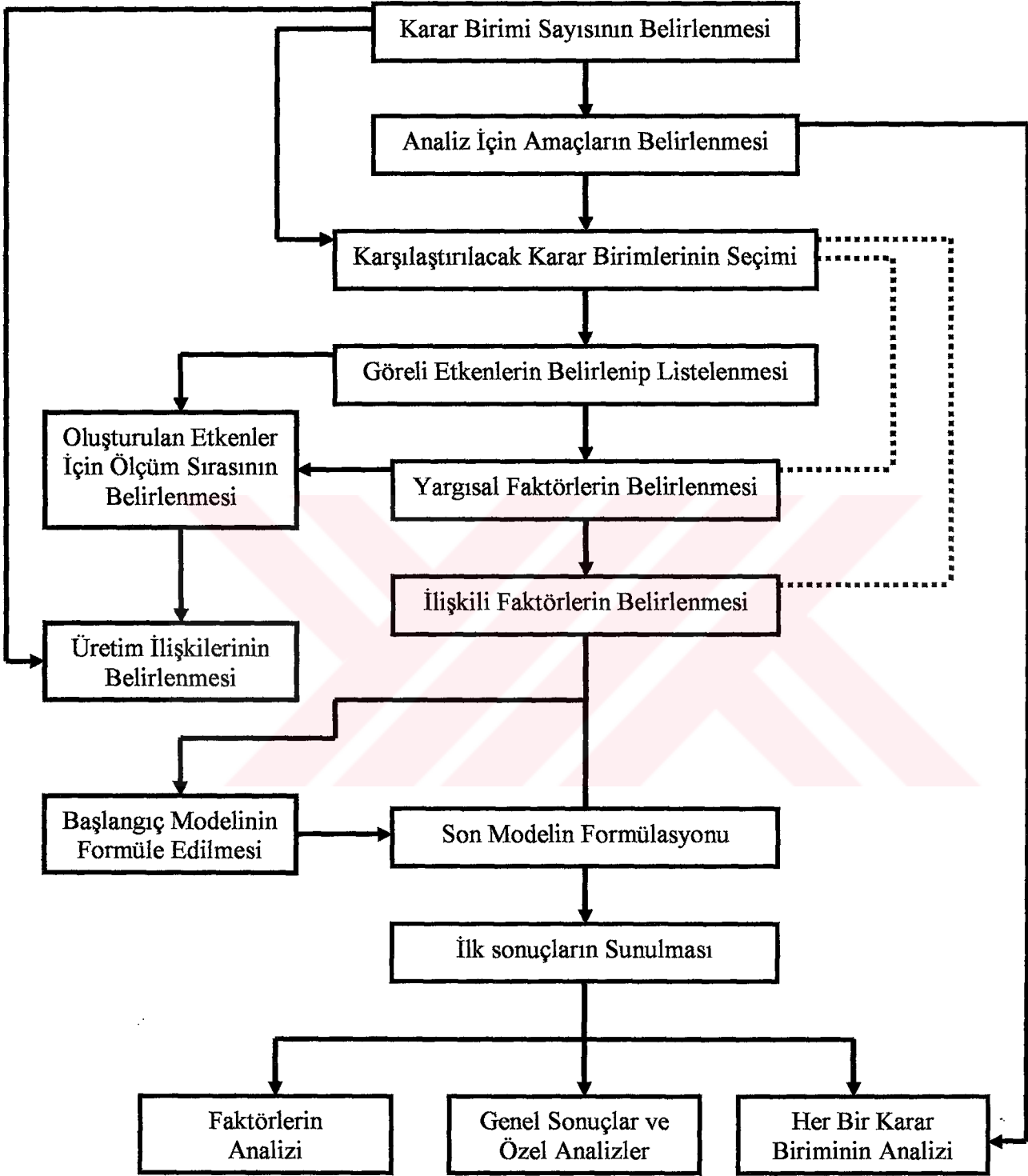
VZA ile yapılan karşılaştırma, gözlem kümesinde yer alan karar birimlerinin birbirleri ile olan benzerliklerinden hareket etmektedir. VZA'nın sağladığı en büyük fayda, etkin olmayan karar birimlerine performanslarını iyileştirebilmeleri için hedef belirlemesidir. Söz konusu olan hedefler, referans kümesinde yer alan etkin karar birimlerinin elde edilebilir bir teknoloji kullandıkları varsayılarak belirlendiğinden, etkin olmayan karar birimleri için de ulaşılabilir olarak kabul edilmektedir. Ancak bu durum uygulamada her zaman mümkün olmamaktadır. Etkin olmayan karar birimlerinde fiziksel kısıtlamalar olduğunda, hedeflere doğru girişilen geliştirme çabaları sonuçsuz kalmaktadır.³⁸

5.8. Gözlem Kümesi İçin Genel Sonuçların Değerlendirilmesi:

VZA yönteminin son aşamasında, karar birimleri detaylı olarak incelendikten sonra, her bir karar birimi için tüm girdi ve çıktıların dikkate alındığı genel bir değerlendirme yapılarak, etkin olan ve olmayan karar birimleri için ortak bulgular araştırılmaktadır. Ayrıca, gözlem kümesini oluşturan karar birimlerinin ait olduğu sektörün genel durumu hakkında değerlendirmeler yapılmaktadır.

VZA'nın uygulanmasındaki aşamalar **Şekil 2.3** yardımı ile özetlenebilir.

³⁸ Yavuz, (Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama) a.g.e., s. 53.



Şekil 2.3. VZA'nın Uygulama Aşamaları

(Kaynak: Golany, B. - Roll, Y., "An Application Procedure For DEA", *Omega*, Volume 17, No: 13, 1989, s. 240)

VZA uygulandıktan sonra, işletme yönetimi performans ölçümünde özet olarak ;

1. Etkin karar birimleri,
2. Etkin olmayan karar birimleri,
3. Etkin olmayan karar birimleri tarafından kullanılan fazla kaynak miktarları,
4. Etkin olmayan karar birimlerinin mevcut girdi düzeyleri ile üretmeleri gereken çıktı düzeyi (çıktılarını arttırmaları gereken düzey),
5. Etkin olmayan karar birimlerinin, etkin referans kümesini oluşturan karar birimleri gibi sonuçlar elde etmektedir.³⁹

6. VZA’NIN GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ

VZA’nın güçlü ve zayıf yönleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

6.1. VZA’nın Güçlü Yönleri:

1. VZA, birçok girdi ve birçok çıktının bulunduğu üretim ortamlarında, işletmenin değişik boyutlarını tek bir etkinlik ölçütüne indirgemeye imkan sağlamaktadır. Bu durumu da seçilen üretim imkanları kümesinin ardında bulunan varsayımlar yardımıyla gerçekleştirmektedir.

2. VZA’da etkinlik ölçütleri girdi ve çıktı ölçüm birimlerinden bağımsızdırlar. Bu özellikleri ile de işletmelerin değişik boyutlarının eş zamanlı olarak ölçülebilmesini sağlamaktadır.

3. VZA, üretim fonksiyonunun analitik yapısı hakkında herhangi bir varsayım gerektirmemektedir. Bu açıdan parametrelili yöntemlere göre daha esnek bir yapıya sahiptir.

4. VZA, her bir karar birimi için göreceli etkinliği hesaplarken amaç fonksiyonlarını ayrı ayrı maksimum yapmaktadır ve her bir karar birimi için optimum

³⁹ Ulucan, Aydın, “Şirket Performanslarının Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Genel Ve Sektörel Bazda Değerlendirmeler”, H.Ü. İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt.18, Sayı: 1, s. 408.

çözümü belirlemektedir. Parametrelî yöntemlerde ise sektörün tümü göz önüne alınarak, ortalama etkinliğe göre ölçüm yapılmaktadır.⁴⁰

5. VZA etkin olmayan bir karar biriminin performansını belirlemek ve gözlem kümesi içerisindeki görelî olarak etkin karar birimlerinin seviyesine ulaştırabilmek için alternatif yollar belirlemektedir. Karar birimine uygun olan iyileştirme yolunun seçimi, etkinlik analizini yapan araştırmacının tecrübesine ve işletme yönetiminin kararına bağlıdır.⁴¹

6. VZA uygulaması, özellikle yöneticilerin, ilgili tüm girdi ve çıktıları tanımlayarak üretim sürecini iyi tanımlarını sağlamaktadır.

7. VZA çalışmasında ihtiyaç duyulan verileri ve analiz sonuçlarını içeren detaylı bir veri tabanı yaratılabilmektedir ve böylelikle konu ile ilgili belgelendirme güçlenmektedir.⁴²

8. VZA ile karşılaştırılması yapılan karar birimlerinin, hangilerinin etkin ve hangilerinin etkin olmadığı belirlenmektedir. Yöntem, etkin olmayan karar birimlerinin etkin olabilmesi için alınacak tedbirler hakkında önemli bilgiler vermekte ve işletme yönetimine büyük destek olmaktadır.

6.2. VZA'nın Zayıf Yönleri:

1. VZA, veri hatalarına karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle, etkinlik ölçümünde kullanılan parametrik yöntemlerde olduğu gibi girdi ve çıktı verilerinin olabilecek hatalardan arındırılması için özen gösterilmelidir.

2. VZA yöntemi, bazı durumlarda yetersiz kalmaktadır. Özellikle, doğal olarak zarflama olanağının bulunmadığı durumlarda kuramsal karar birimi yeterince anlamlı olmamaktadır.

3. VZA'da gözlem kümesinde bulunan aşırı derecede büyük ya da küçük girdi ve çıktı değerlerine sahip olan bazı karar birimleri, etkinlik sınırının belirlenmesinde problem yaratabilmektedirler.

⁴⁰ Yolalan, a.g.e., s. 86.

⁴¹ Yavuz, (Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama) a.g.e., s. 54.

⁴² Aydemir, a.g.e., s. 91.

4. VZA, her ne kadar etkin olan ve etkin olmayan karar birimlerini ayrı ayrı belirleyebiliyorsa da, etkinlik sınırını oluşturan karar birimlerinin birbirleriyle karşılaştırılmasında yetersiz kalmaktadır.⁴³

5. VZA, statik bir analizdir ve tek bir zaman kesitinde değerlendirme yapabilmektedir.⁴⁴ Fakat bazı karar birimlerinin girdilerini çıktılara dönüştürmesi bir dönemden daha uzun sürebileceğinden, üretim süreci dinamik bir özellik göstermektedir. Bu nedenle, farklı dönemlerdeki veriler için uygun bir indirgeme oranı kullanılması gerekmektedir.

6. Karar birimlerinin, girdi ve çıktılarının üretim sürecini doğru olarak yansıtılması, yöntemin sağlıklı sonuçlar vermesi açısından oldukça önemlidir. Kritik olan bir girdi veya çıktı, karşılaştırma dışında bırakıldığında, analizin vereceği sonuçlar yanıltıcı ve yanlı olabilmektedir.⁴⁵

7. VZA'NIN MATEMATİKSEL MODELİ

VZA'nın çözümünde, çok sayıda değişken ve kısıtlayıcıları işleyebilen matematiksel programlama teknikleri kullanılmaktadır. VZA, bazı yöntemlerin girdi ve çıktı sayılarını sınırladığı durumda ortaya çıkan ihtiyaçları karşılayacak kapasiteye sahip bir yöntemdir. VZA'nın matematiksel temelleri, Çıktı/Girdi oranına yani verimlilik ölçümüne dayanmaktadır.⁴⁶

7.1. Tek Girdi ve Tek Çıktıdan Oluşan Sistemler:

Tek girdi ve tek çıktıdan oluşan sistemler **Tablo 2.2**'de girdi ve çıktı miktarları verilen 8 karar biriminden (mağaza) oluşan bir örnek üzerinde incelenebilir. Mağazalar için verilen girdi, işgücü sayısı ve çıktı da satışlardır. Satış miktarları 100.000 \$ cinsinden ifade edilmektedir. Karar birimleri A'dan H'ye kadar harflendirilmiştir. Tablonun en alt satırındaki değerler ise işgücü başına satış miktarlarını göstermektedir.

⁴³ Yolalan, a.g.e., s. 86-87.

⁴⁴ Esenbel, Erkin, Erdoğan, a.g.e., s. 6.

⁴⁵ Aydemir, a.g.e., s. 92.

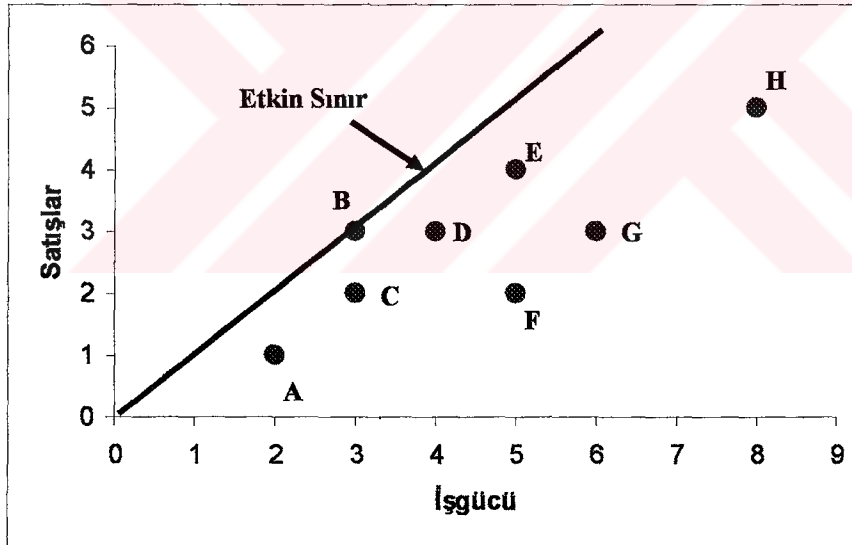
⁴⁶ Cooper, Seidford, Lawrance, Tone, a.g.e., s. 1.

Tablo 2.2. Tek Girdi Ve Tek Çıktılı Sistem

Mağazalar	A	B	C	D	E	F	G	H
İşgücü Sayısı	2	3	3	4	5	5	6	8
Satışlar	1	3	2	3	4	2	3	5
Satışlar/İşgücü Sayısı	0,5	1	0,667	0,75	0,8	0,4	0,5	0,625

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 3.)

Yukarıda verilen modelde karar birimlerinin oluşturduğu zarf Şekil 2.4 'de gösterilmektedir. B karar birimi en etkin karar birimi ve F karar birimi de en az etkin karar birimidir.



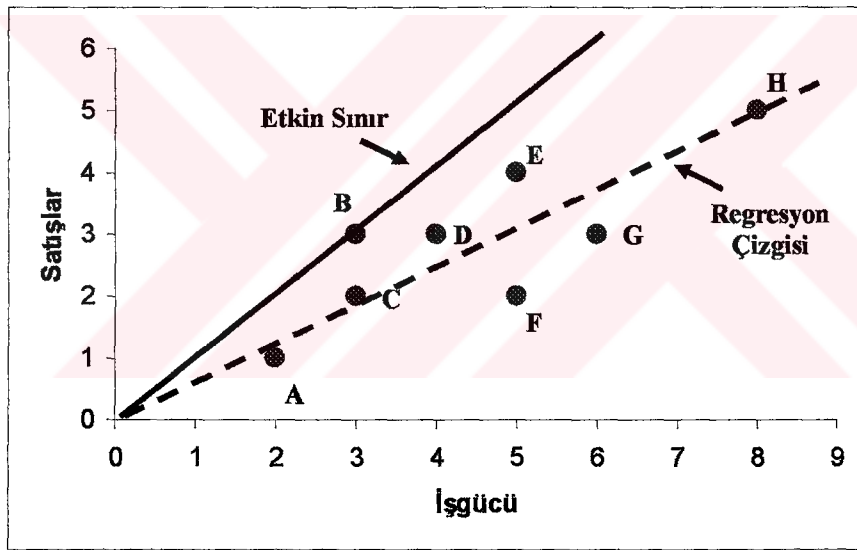
Şekil 2.4. Mağazaların Karşılaştırılması

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 3.)

Şekil 2.4'de karar birimlerini temsil eden her noktayı orijinle birleştiren doğrunun eğimi, ilgili nokta için kişi başına düşen satış miktarını göstermektedir ve en

yüksek eğime sahip olan doğrunun geçtiği nokta da B noktası olmaktadır. Bu doğru etkin sınır olarak adlandırılmaktadır. Etkin sınır tüm karar birimlerini zarflamaktadır.

Tablo 2.2'de verilen veriler ile istatistiksel bir regresyon çizgisi çizmek mümkün olmaktadır. **Şekil 2.5'**de kesik çizgilerle gösterilmiş, orijinden geçen doğru regresyon çizgisidir ve $Y = 0,622 X$ doğrusu ile ifade edilmektedir. Regresyon çizgisi, istatistiksel olarak tanımlandığı üzere, veri noktalarının ortasından geçmektedir. Regresyon çizgisinin üzerinde bulunan noktaların mükemmel, altında kalanların da zayıf olarak nitelendirilmesi hatalı olmaktadır. Etkinlik sınırı, en etkin performansı ortaya koyarken, regresyon analizi ise ortalama veya merkezi eğilim ile ilgilenmektedir. Bu nedenle iki yöntem de farklı sonuçlara yol açmaktadır.



Şekil 2.5. Regresyon Çizgisi ve Etkinlik Sınırı

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 4.)

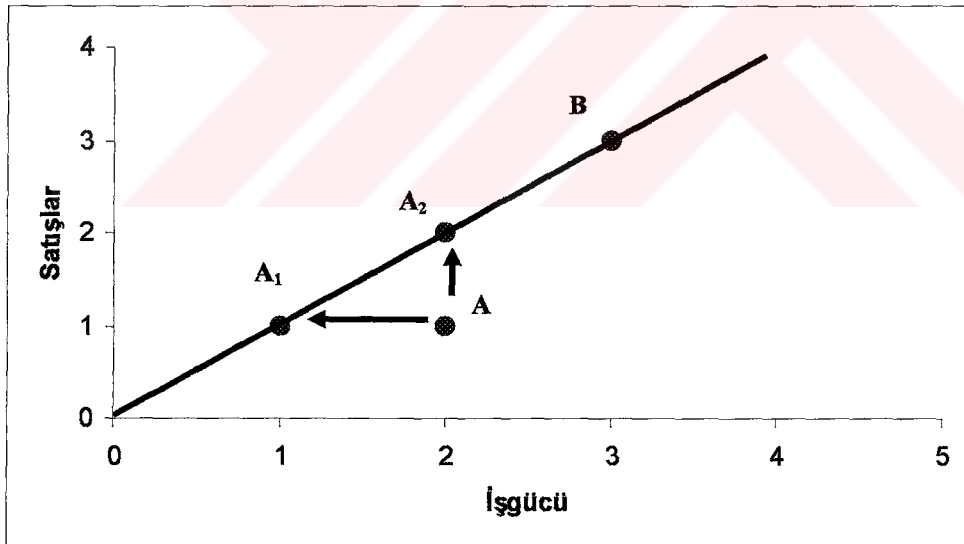
VZA, karar birimlerinde etkinlik artışı sağlamak üzere, karşılaştırma yapılabilmesi için, en etkin karar birimi olarak B mağazasını belirlerken, istatistiksel yöntem, B ve F mağazalarını ve diğer tüm mağazaları da, dahil oldukları gözlem kümesi

içerisinde değerlendirerek bir ortalama belirlemektedir ve gelişme önerilerini belirlenen ortalama göz önüne alarak yapmaktadır.⁴⁷

En etkin karar birimi B ile karşılaştırıldıklarında diğer karar birimlerinin etkin olmadıkları görülmektedir. B karar birimine göre diğer karar birimlerinin göreceli etkinlikleri **Denklem 2.1** yardımı ile belirlenebilmektedir.

$$0 \leq \frac{\text{Diğer Mağazalarda İşgücü Başına Düşen Satış}}{\text{B Mağazasında İşgücü Başına Düşen Satış}} \leq 1 \quad (2.1)$$

Mağazalar etkinliklerine göre $1 = B > E > D > C > H > A = G > F = 0.4$ şeklinde sıralanmaktadır. En kötü etkinlik değerine sahip F mağazası B mağazasının etkinlik değeri ile karşılaştırıldığında, $0,4 \times \% 100 = \% 40$ etkinliğe sahip olmaktadır.



Şekil 2.6. A Mağazasının Etkinlik İyileştirmesi

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 5.)

⁴⁷ Cooper, Seidford, Lawrence, Tone, a.g.e., s. 3-4.

Tek girdi ve tek çıktılı sistemde etkin olmayan mağazaları, etkin hale getirebilmek için, etkin olmayan noktaların etkinlik sınırına doğru hareket ettirilmesi gerekmektedir. Örneğin, **Şekil 2.6**'da gösterilen A mağazasının etkinliği birkaç şekilde arttırılabilir. Birinci yöntem, girdiyi (işgücü sayısı) A_1 noktasına (1.1) kadar azaltmak, ikinci yöntem ise çıktıyı (satış miktarı) A_2 noktasına (2.2) kadar arttırmaktır. A_1A_2 doğru parçası, çıktı düzeyini azaltmayacak ve girdi düzeyini arttırmayacak biçimde A mağazasının etkinlik iyileştirme önerilerinin incelenmesini sağlamaktadır.⁴⁸

7.2. İki Girdi ve Tek Çıktıdan Oluşan Sistemler:

Çoklu girdi ve çıktıların bulunduğu üretim ortamlarının açıklanabilmesi için **Tablo 2.3**'te girdi ve çıktı miktarları verilen 9 süpermarketin karşılaştırılmasının yapıldığı bir örnek verilebilir. İki girdinin ve bir çıktının bulunduğu modelde, birinci girdi (X_1) işgücü sayısı (birim:10), ikinci girdi (X_2) alan genişliği (birim: 1000 m²) ve çıktı da (Y) satışlardır (birim: 100.000 \$).

Tablo 2.3. İki Girdili ve Bir Çıktılı Sistem

Süpermarketler	A	B	C	D	E	F	G	H	I
İşgücü Sayısı	4	7	8	4	2	5	6	5,5	6
Alan Genişliği	3	3	1	2	4	2	4	2,5	2,5
Satışlar	1	1	1	1	1	1	1	1	1

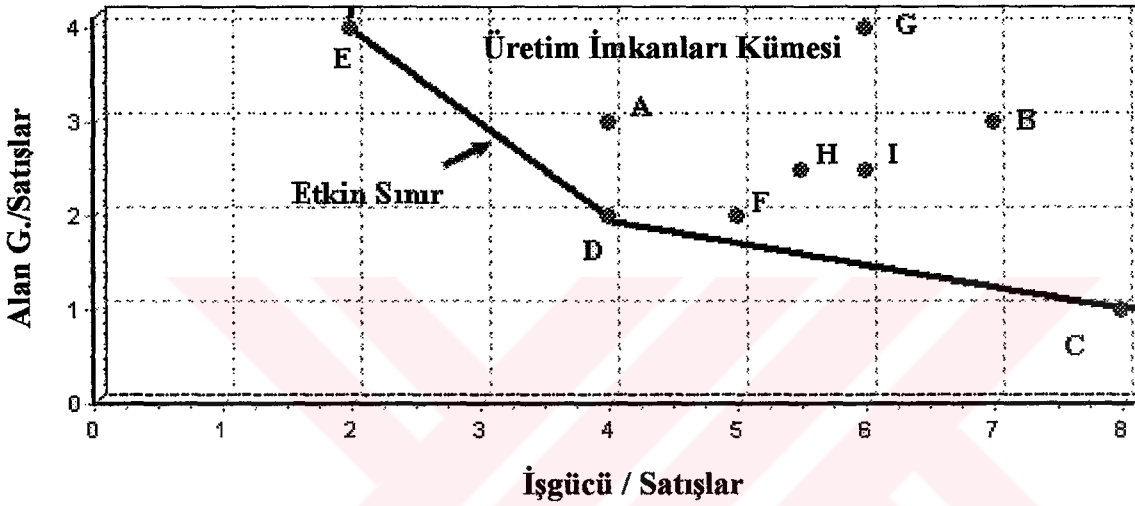
(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 6.)

Modelde ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında, çıktı sayıları 1'e indirilmiş ve girdi değerleri de 1 birim çıktı üretebilecek şekilde normalize edilmiştir. **Şekil 2.7**'de X ekseninde X_1 / Y ve Y ekseninde X_2 / Y değerleri gösterilmektedir.

Bir birim çıktı elde etmek için en az girdi kullanan karar biriminin daha etkin olduğu söylenebilir. C, D ve E karar birimlerinin oluşturduğu parçalı doğru etkinlik sınırı olarak tanımlanmaktadır. Etkinlik sınırı üzerindeki tüm noktalarda girdi

⁴⁸ Cooper, Seidford, Lawrence, Tone, a.g.e., s. 5.

azaltılması, diğer girdi için olumlu sonuçlar doğurmayacağından, bu noktalarda iyileştirme yapmak mümkün olmamaktadır. Etkinlik üst sınır çizgisi ile zarflanmış olan noktaların tamamı üretim imkanları kümesini (Ω) oluşturmaktadır. Üretim imkanları kümesinde, içerisindeki herhangi bir noktanın koordinatlarının belirttiği miktarlarla üretimin mümkün olduğu ve bu çıkarıma gözlemlenen noktaların ampirik kanıt oluşturduğu varsayılmaktadır.⁴⁹



Şekil 2.7. İki Girdi ve Tek çıktıdan Oluşan Sistem

Etkinlik sınırında yer almayan süpermarketlerin, etkinlikleri, sınır çizgisi üzerinde bulunan süpermarketlere dayanılarak hesaplanabilmektedir. Örneğin A karar birimi etkin değildir. A'nın etkinsizliğini ölçebilmek için A noktasına orijinden geçen bir doğru oluşturulduğunda, bu doğru etkinlik sınırını Şekil 2.8'den de görülebileceği gibi P noktasında kesiyorsa, A karar biriminin etkinliği aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

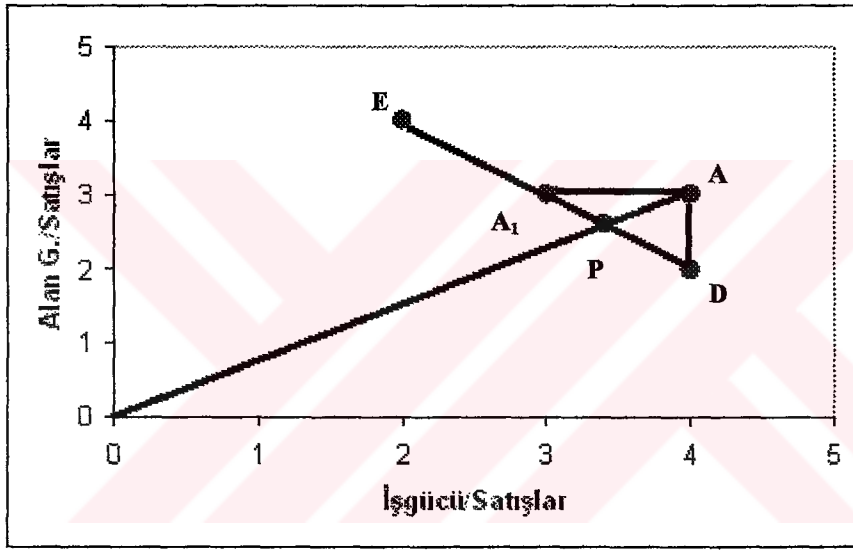
$$\frac{OP}{OA} = 0,8571$$

Bu durumun anlamı, A'nın etkinsizlik değerinin D ve E'nin kombinasyonu kullanılarak değerlendirilebileceğidir. Çünkü P noktası, D ve E'nin arasında yer almaktadır. D ve E karar birimleri, A'nın referans kümesi olarak adlandırılmaktadır.

⁴⁹ Aydemir, a.g.e., s. 51-52.

Herhangi bir etkin olmayan karar birimi için referans kümesi farklılık gösterebilmektedir. Örneğin Şekil 2.7’de gösterildiği gibi, B süpermarketinin referans kümesini C ve D süpermarketleri oluşturmaktadır.

A karar birimi etkin değildir. A’nın X_1 girdisini 3,4’e ve X_2 girdisini 2,6’ya yani P noktasına indirebilmesi durumunda etkinliğini arttırabileceği söylenebilir. Etkin sınır üzerinde, OA doğrusu ile belirlenen P noktası Şekil 2.8 üzerinde gösterilmektedir. Bununla birlikte, DA₁ doğru parçası üzerindeki herhangi bir başka nokta da, etkinlik iyileştirmesi için aday olabilmektedir.⁵⁰



Şekil 2.8 A Mağazasının Etkinlik İyileştirmesi

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 8.)

7.3. Tek Girdi ve İki Çıktıdan Oluşan Sistemler:

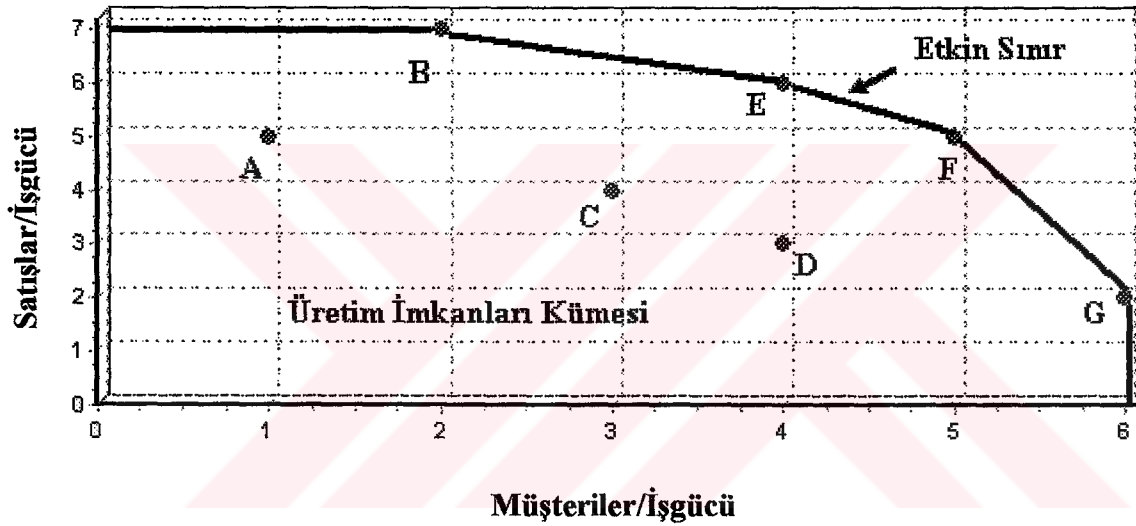
Tablo 2.4 bir işletmenin 7 şubesi için işgücü başına müşteri sayısını (birim:10) ve satışları (birim: 100.000 \$) göstermektedir. Bir sınır elde edebilmek için, ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında, işgücü sayıları 1’e indirgenmiştir. Bu durumda etkinlik sınırı Şekil 2.9’da görülebileceği gibi, B, E, F ve G şubelerinden oluşmaktadır.

⁵⁰ Cooper, Seidford, Lawrence, Tone, a.g.e., s. 7-8.

Tablo 2.4. Tek Girdi ve İki Çıktılı Sistem

Şubeler	A	B	C	D	E	F	G
İşgücü Sayısı	1	1	1	1	1	1	1
Müşteriler	1	2	3	4	4	5	6
Satışlar	5	7	4	3	6	5	2

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 8.)

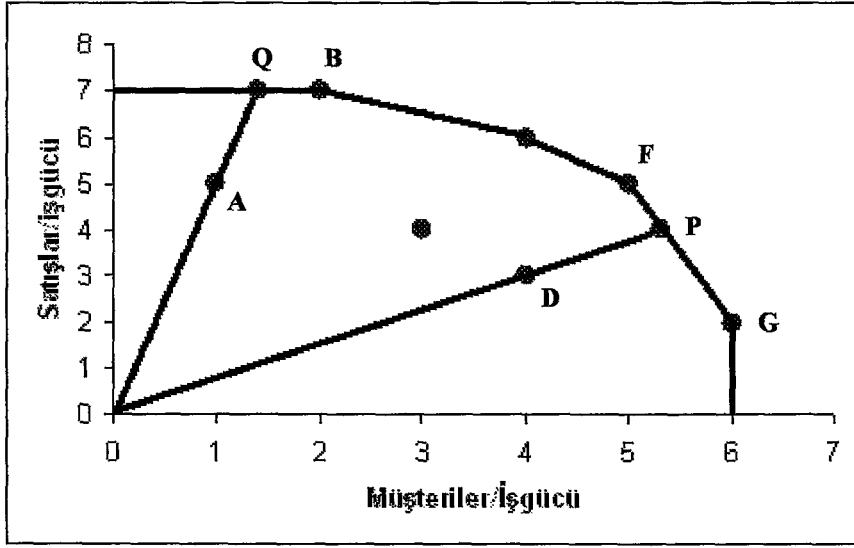


Şekil 2.9 Tek Girdi ve İki Çıktılı Sistem

Üretim İmkanları Kümesi, etkinlik sınırı ve eksenlerle sınırlandırılmış bölge ile gösterilmektedir. A, C ve D şubeleri etkin değildir ve etkinlik değerleri sınır çizgisi kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Örneğin Şekil 2.10'da gösterildiği gibi D'nin etkinlik değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$\frac{d(O,D)}{d(O,P)} = 0,75$$

d(O,D) ve d(O,P) sırası ile D ile orijin arasındaki uzaklığı ve orijin ile P arasındaki uzaklığı göstermektedir.



Şekil 2.10 Etkinlik İyileştirmesi

(Kaynak: Cooper, William W., - Seidford, Lawrence M., - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000, s. 9.)

$d(O,D) / d(O,P)$ oranı, radyal (dairesel) ölçüt olarak adlandırılmaktadır. Bu iki uzaklık öklid bağlantısından;

$$d(O,D) = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5$$

$$d(O,P) = \sqrt{\left(\frac{16}{3}\right)^2 + 4^2} = \frac{20}{3}$$

olarak hesaplanabilmektedir. Bu hesaplamalardan hareketle D karar biriminin etkinlik değeri de 0,75 olarak bulunmaktadır.

$$\frac{d(O,D)}{d(O,P)} = \frac{5}{\frac{20}{3}} = 0,75$$

Yukarıda gösterilen oran, öklid uzaklığına göre, orijin ve üretim imkanları kümesi arasında, görelî olarak biçimlenmektedir ve her zaman sıfır ile bir arasında değerler almaktadır. Hesaplamanın tersi yapıldığında;

$$\frac{d(O,P)}{d(O,D)} = \frac{20}{3} = 1,33$$

D karar biriminin etkin hale gelebilmesi için çıktılarını 4/3 oranında arttırması gerektiği sonucuna varılmaktadır. D karar biriminin koordinatlarına 4/3 oranı uygulandığında D'nin etkin olabilmesi için gelmesi gereken noktanın, yani P noktasının koordinatlarına ulaşılmaktadır.

$$\frac{4}{3} (4,3) = \left(\frac{16}{3}, 4\right)$$

Ayrıca, A karar birimi için de referans olarak Q noktası kullanılabilir. A karar biriminin teknik etkinlik değeri;

$$\frac{d(O,A)}{d(O,Q)} = 0,714$$

olarak hesaplanabilmektedir. A'nın koordinatlarına yukarıda yapılan ölçümün tersi uygulandığında ise Q noktasının koordinatlarına ulaşılmaktadır.⁵¹

$$\frac{1}{0,714} (1, 5) = (1,4 ; 7)$$

7.4. Kesirli Programlama Modeli:

Kesirli programlama modeli Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından ilk geliştirilen modeldir. Model, her karar birimi için ağırlıklandırılmış çıktılarla, ağırlıklandırılmış girdilerin oranından yola çıkılarak oluşturulmuştur.⁵²

⁵¹ Cooper, Seidford, Lawrance, Tone, a.g.e., s. 10-11.

⁵² Charnes, A., - Cooper, W.W., - Rhodes, E., "Measuring The Efficiency Of Decision Making Units", European Journal Of Operational Research, Volume 2, Issue 6, 1978, s. 430.

n karar birimi, m girdi sayısı ve s çıktı sayısı olmak üzere k karar birimi için girdi verileri ($X_{1k}, X_{2k}, \dots, X_{mk}$) ve çıktı verileri ($Y_{1k}, Y_{2k}, \dots, Y_{sk}$) ile gösterilmektedir. Girdi verileri matrisi X ve çıktı verileri matrisi Y olmak üzere; girdi ($m \times n$) ve çıktı ($s \times n$) matrisleri aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:⁵³

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

$$Y = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{s1} & Y_{s2} & \dots & Y_{sn} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Öncelikle her karar birimi için ağırlıklar (v_{ik}) ve (u_{rk}) kullanılarak sanal girdi ve sanal çıktı oluşturulmaktadır.

$$\text{Sanal Girdi} = v_{1k} X_{1k} + v_{2k} X_{2k} + \dots + v_{mk} X_{mk} \quad (2.4)$$

$$\text{Sanal Çıktı} = u_{1k} Y_{1k} + u_{2k} Y_{2k} + \dots + u_{sk} Y_{sk} \quad (2.5)$$

VZA modellerinde; Sanal Çıktı / Sanal Girdi oranı maksimize edilecek şekilde ağırlıklar belirlenmektedir.

Kesirli programlama modeli için doğrusal programlama modellerinin çözümünde kullanılan Simpleks Algoritmasına benzer standart bir yöntem bulunmamaktadır. Ancak, etkinlik analizlerinde kullanılan matematiksel programlama modelinin özel yapısı kullanılarak, kesirli programlama modeli, doğrusal programlama modeline dönüştürülebilmektedir.⁵⁴

⁵³ Cooper, Seidford, Lawrance, Tone, a.g.e., s. 22.

⁵⁴ Tarım, a.g.e., s. 48-49.

Kesirli programlama modelinin amaç fonksiyonu, toplam faktör verimliliği ölçümü ile yakından ilişkilidir.⁵⁵

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}} \quad (2.6)$$

Burada;

s : Üretilen çıktı sayısını,

m : Kullanılan girdi sayısını,

u_{rk} : k karar birimi tarafından r'inci çıktıya verilen ağırlığı,

Y_{rk} : k karar birimi tarafından üretilen r'inci çıktı miktarını,

v_{ik} : k karar birimi tarafından i'inci girdiye verilen ağırlığı,

X_{ik} : k karar birimi tarafından kullanılan i'inci girdi miktarını, göstermektedir.

VZA yönteminde tüm karar birimleri, girdilere ve çıktılara verecekleri ağırlıkları serbestçe belirleyebilmektedirler. Her karar birimi ağırlıklarını, kendi toplam faktör verimliliği değerini maksimize edecek şekilde seçebilmelidir. Fakat, tüm karar birimlerinin kendilerini etkin yapacak ağırlıkları seçerek taraflı davranmalarının önlenmesi için modele iki kısıt eklenmiştir.⁵⁶ Bu kısıtlayıcılardan birincisi ile, yapılacak olan değerlendirmenin mantıklı olabilmesi için, tahsis edilen ağırlıkların 1'i geçmesi yani, ağırlıklı çıktılarının toplamının, ağırlıklı girdilerin toplamından büyük olması engellenmektedir. İkinci kısıtlayıcıya göre de, tüm ağırlıklar pozitif değer taşımalıdır.⁵⁷

⁵⁵ Simith, Peter, "The Use Of Performanse Indicators In The Public Sector", Journal Of The Royal Statistical Society: Series A, Volume 153, No: 1, 1990, s. 65.

⁵⁶ Ulucan, a.g.e., s. 408.

⁵⁷ Haas, David, - Murphy, Frederic, - Lancioni, Richard, "Managing Reverse Logistics Channels With Data Envelopment Analysis", Transportation Journal, 42/3, 2003, s. 62.

Toplam faktör verimliliği formülüne iki kısıtlayıcı eklendikten sonra, kesirli programlama modeli oluşmaktadır:⁵⁸

$$E_k = \text{Maksimum} \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq 0 \quad r = 1, \dots, s ; i = 1, \dots, m \quad (2.7)$$

Burada;

n : Kara birimi sayısını,

E_k : k karar biriminin etkinlik değerini,

Y_{rj} : j 'inci karar birimi tarafından üretilen r 'inci çıktı miktarını,

X_{ij} : j 'inci karar birimi tarafından kullanılan i 'inci girdi miktarını, göstermektedir.

Daha sonra, yine Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından tespit edilen modeldeki bir eksiklik düzeltilmiştir. Matematiksel programlama modelinde kullanılan u_{rk} ve v_{ik} ağırlıkları ile ilgili olan $u_{rk} \geq 0$ ve $v_{ik} \geq 0$ kısıtlayıcılarının $u_{rk} > 0$ ve $v_{ik} > 0$ şeklinde değiştirilmesi gerekmiştir. Kesirli programlama modelinde, ağırlıkların sıfıra eşit olamayacağı belirlenmiştir ve modeldeki bu kısıtlayıcılar $u_{rk} \geq \varepsilon$ ve $v_{ik} \geq \varepsilon$ haline dönüştürülmüştür. ε , 10^{-6} gibi çok küçük pozitif bir değer olarak alınmaktadır.⁵⁹

VZA modelleri, ağırlıklara ulaşabilmek amacıyla her bir karar birimi için bir optimizasyon prosedürü uygulamaktadır. Bunu yaparken aynı zamanda da söz konusu

⁵⁸ Charnes, Cooper, Rhodes, (Measuring The Efficiency Of Decision Making Units) a.g.m., s. 430.

⁵⁹ Tarım, a.g.e., s. 52.

karar birimi için bir etkinlik değeri hesaplamaktadır. Her bir karar birimi için gerçekleştirilen optimizasyon sonucunda ayrıca, etkinsizliğin kaynakları ve miktarı konusunda da bilgi sağlamaktadır.⁶⁰

Kesirli programlama modeli ve tüm VZA modelleri girdiye ve çıktıya yönelik olarak iki şekilde tanımlanmıştır. Girdiye yönelik olan modellerde, belirli bir çıktı bileşimini etkin bir biçimde üretebilmek için kullanılacak en uygun girdi bileşimi araştırılırken, çıktıya yönelik modellerde, belirli bir girdi bileşimi ile üretilebilecek maksimum çıktı miktarı araştırılmaktadır.

7.4.1. Girdiye yönelik kesirli programlama modeli:

Girdiye yönelik olarak kurulan VZA modelleri, amaç fonksiyonunun, yani karar biriminin etkinlik değerinin maksimum olması sağlayacak ağırlıkları tespit etmektedir. Girdiye yönelik kesirli programlama modeli aşağıdaki şekilde kurulmaktadır.⁶¹

$$E_k = \text{Maksimum} \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}}$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij}} \leq 1 \quad j=1, \dots, n$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad r=1, \dots, s ; i=1, \dots, m \quad (2.8)$$

Burada;

ε : Yeterince küçük pozitif bir sayıyı (0,0000001) göstermektedir.

⁶⁰ Çekin, a.g.e., s. 6-7.

⁶¹ Zhu, Joe, "Continuous Optimization Efficiency Evaluation With Strong Ordinal Input And Output Measures", *European Journal Of Operational Research*, Volume 146, Issue 3, 2003, s. 477.

Girdiye yönelik kesirli programlama modelinin kuruluşu **Tablo 2.5'**de girdi ve çıktı miktarları verilen 6 karar biriminden oluşan bir örnek üzerinde incelenebilir.⁶²

Tablo 2.5. İki Girdi Ve İki Çıktıdan Oluşan Model

Karar Birimi		A	B	C	D	E	F
Girdiler	X ₁	3	5	1	3	3	2
	X ₂	3	1	5	3	3	1
Çıktılar	Y ₁	2	5	1	5	1	3
	Y ₂	2	1	5	1	5	2

(Kaynak: Banker, R.D., - Charnes, A., - Cooper, W.W., - Schinnar, A.P., "A Bi-Extremal Principle Of Frontier Estimation And Efficiency Evaluations", *Management Science*, Volume 27, No: 12, 1981, s. 1378.

VZA modellerinin çözümünde, tüm karar birimleri için modeller ayrı ayrı kurulup, çözülmektedir. Yukarıdaki örnekte A karar birimi için oluşturulacak olan girdiye yönelik kesirli programlama modeli aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

$$E_A = \text{Maksimum} \frac{2u_{1A} + 2u_{2A}}{3v_{1A} + 3v_{2A}}$$

$$\frac{2u_{1A} + 2u_{2A}}{3v_{1A} + 3v_{2A}} \leq 1$$

$$\frac{5u_{1A} + 1u_{2A}}{5v_{1A} + 1v_{2A}} \leq 1$$

$$\frac{1u_{1A} + 5u_{2A}}{1v_{1A} + 5v_{2A}} \leq 1$$

$$\frac{5u_{1A} + 1u_{2A}}{3v_{1A} + 3v_{2A}} \leq 1$$

⁶² Banker, R.D., - Charnes, A., - Cooper, W.W., - Schinnar, A.P., "A Bi-Extremal Principle Of Frontier Estimation And Efficiency Evaluations", *Management Science*, Volume 27, No: 12, 1981, s. 1378.

$$\frac{1u_{1A} + 5u_{2A}}{3v_{1A} + 3v_{2A}} \leq 1$$

$$\frac{3u_{1A} + 2u_{2A}}{2v_{1A} + 1v_{2A}} \leq 1$$

$$u_{(1,2)A}, v_{(1,2)A} \geq \varepsilon$$

Modelin çözümü yapıldıktan sonra, A karar biriminin etkinlik değeri, yani modelde amaç fonksiyonunun maksimum değeri, $E_A = 0,4615$ olarak bulunmaktadır. Bu sonuçtan hareketle A karar biriminin, karşılaştırması yapılan gözlem kümesi içerisindeki karar birimleri arasında, görece olarak etkin olmadığı söylenebilmektedir.

7.4.2. Çıktıya yönelik kesirli programlama modeli:

Çıktıya yönelik kesirli programlama modeli de girdiye yönelik kesirli programlama modeline benzemektedir. Aralarındaki fark, çıktıya göre kesirli programlama modelinin, ağırlıklandırılmış girdilerin, ağırlıklandırılmış çıktılara oranından meydana gelen amaç fonksiyonunu minimum yapan bir model olmasından kaynaklanmaktadır. Çıktıya yönelik kesirli programlama modeli aşağıdaki gibi kurulmaktadır:⁶³

$$F_k = \text{Minimum} \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}}{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj}} \geq 1 \quad j=1, \dots, n$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad r=1, \dots, s; i=1, \dots, m \quad (2.9)$$

⁶³ Yolalan, a.g.e., s. 43-44.

Modelin amaç fonksiyonunda F_k 'nin alabileceği en küçük değer 1'dir ve amaç fonksiyonu değerinin 1'e eşit olması k karar biriminin etkin olduğu anlamına gelmektedir. F_k 'nin 1'den büyük olması ise k karar biriminin etkin olmadığını göstermektedir.

Çıktıya yönelik kesirli programlama modeli **Tablo 2.5**'de verilen örnekte, B karar birimi için model kurularak incelenebilir:

$$F_B = \text{Minimum} \quad \frac{5v_{1B} + v_{2B}}{5u_{1B} + u_{2B}}$$

$$\frac{5v_{1B} + v_{2B}}{5u_{1B} + u_{2B}} \geq 1$$

$$\frac{3v_{1B} + 3v_{2B}}{2u_{1B} + 2u_{2B}} \geq 1$$

$$\frac{v_{1B} + 5v_{2B}}{1u_{1B} + 5u_{2B}} \geq 1$$

$$\frac{3v_{1B} + 3v_{2B}}{5u_{1B} + u_{2B}} \geq 1$$

$$\frac{3v_{1B} + 3v_{2B}}{u_{1B} + 5u_{2B}} \geq 1$$

$$\frac{2v_{1B} + v_{2B}}{3u_{1B} + 2u_{2B}} \geq 1$$

$$u_{(1,2)B}, v_{(1,2)B} \geq \epsilon$$

Modelin çözümü yapıldığında, amaç fonksiyonun minimum değeri $F_B = 1$ olarak bulunmaktadır. Bu sonuç B karar biriminin gözlem kümesi içerisinde görece etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir.

7.5. Ağırlıklı (Primal) Doğrusal Programlama Modelleri:

Etkinlik değerlerinin hesaplanmasında kesirli programlama modeli kullanılmamaktadır. Bunun nedeni girdi ve çıktı sayılarının fazla olduğu durumlarda modelin çözümünün oldukça güç olmasıdır. Kesirli programlama modelinin çözümündeki güçlükleri ortadan kaldırmak amacıyla Charnes, Cooper ve Rhodes kesirli programlama modelini, doğrusal programlama modeline dönüştürebilmek için bir transformasyon kullanmışlardır.⁶⁴

7.5.1. Girdiye yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modeli:

Girdiye yönelik kesirli programlama modelinde, amaç fonksiyonunda verilen ifadeyi, maksimize eden uygun çözüm (u^* , v^*) ise, bu nedenle tüm (βu^* , βv^*) mümkün çözümleri $\beta > 0$ olmak üzere amaç fonksiyonunu maksimize etmektedirler.

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1 \quad (2.10)$$

dönüşümü kullanılarak, sonsuz elemanlı çözüm kümesini temsil eden bir çözüm bulunmaktadır.⁶⁵ Dönüşüm sonucu bulunan ve simpleks yöntemi ile çözülebilen girdiye yönelik model, aşağıdaki şekilde kurulmaktadır.⁶⁶

$$E_k = \text{Maksimum} \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk}$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} \leq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

$$u_{rk}, v_{ik} \geq \varepsilon \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m \quad (2.11)$$

⁶⁴ Çekin, a.g.e., s. 9.

⁶⁵ Tarım, a.g.e., s. 54.

⁶⁶ Joro, Tarja, - Korhonen, Pekka, - Wallenius, Jyrki, Structural Comparison Of Data Envelopment Analysis And Multiple Objective Linear Programming, MCDS Publishing, Finland, 1996, s. 3.

Girdiye yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modelinin kurulması Langley Bölgesi'ndeki liselerin karşılaştırılmasının yapıldığı bir örnek üzerinde incelenebilir. Bu bölgeye dahil olan üç lisenin son sınıflarının değerlendirilmesi yapılacaktır. Değerlendirmede kullanılacak olan girdi ve çıktı miktarları **Tablo 2.6'** da gösterilmektedir.⁶⁷

Tablo 2.6 Langley Bölgesi Liselerinin Girdi ve Çıktı Miktarları

Girdiler	Roosevelt	Linclon	Washington
Son sınıflara ders veren öğretmen sayısı	37	25	23
Bütçe (100.000 \$)	6,4	5	4,7
Kayıtlı son sınıf öğrencisi sayısı	850	700	600
Çıktılar	Roosevelt	Linclon	Washington
Ortalama SAT değeri	800	830	900
Mezun olan öğrenci sayısı	450	500	400
Üniversiteye kabul edilen öğrenci sayısı	140	250	370

(Kaynak: Anderson, David R., - Sweeney, Dennis J., - Williams, Thomas A., Study Guide To Accompany An Introduction To Management Science, Quantitative Approaches To Decision Making, West Publishing Company, USA, 1994, s. 77.)

Roosevelt lisesinin değerlendirilmesinin yapılabilmesi için kurulacak olan girdiye yönelik doğrusal programlama modeli aşağıdaki gibidir:

$$E_R = \text{Maksimum } 800 u_{1R} + 450 u_{2R} + 140 u_{3R}$$

$$37 v_{1R} + 6,4 v_{2R} + 850 v_{3R} = 1$$

$$800 u_{1R} + 450 u_{2R} + 140 u_{3R} - (37 v_{1R} + 6,4 v_{2R} + 850 v_{3R}) \leq 0$$

$$830 u_{1R} + 500 u_{2R} + 250 u_{3R} - (25 v_{1R} + 5 v_{2R} + 700 v_{3R}) \leq 0$$

⁶⁷ Anderson, David R., - Sweeney, Dennis J., - Williams, Thomas A., Study Guide To Accompany An Introduction To Management Science, Quantitative Approaches To Decision Making, West Publishing Company, USA, 1994, s. 77.

$$900 u_{1R} + 400 u_{2R} + 370 u_{3R} - (23 v_{1R} + 4,7 v_{2R} + 600 v_{3R}) \leq 0$$

$$u_{(1,2,3)R} , v_{(1,2,3)R} \geq \varepsilon$$

Modelin çözümünde Roosevelt Lisesi'ndeki son sınıfların gözlem kümesi içerisindeki göreceli etkinlik değeri, $E_R = 0,7517$ olarak hesaplanmıştır. Bu durum Roosevelt Lisesi'nin göreceli olarak etkin bir karar birimi olmadığını göstermektedir.

7.5.2. Çıktıya yönelik ağırlıklı doğrusal programlama modeli:

Çıktıya yönelik kesirli programlama modelinde, amaç fonksiyonunu minimum yapan ağırlıkların doğrusal kombinasyonları da amaç fonksiyonunun minimum olmasını sağlamaktadır. Kesirli programlama modelinde;

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} = 1 \quad (2.12)$$

dönüşümü kullanılarak çıktıya yönelik primal doğrusal programlama modeli elde edilmektedir:⁶⁸

$$F_k = \text{Minimum} \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik}$$

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} = 1$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} \geq 0 \quad j=1, \dots, n$$

$$u_{rk} , v_{ik} \geq \varepsilon \quad r=1, \dots, s ; i=1, \dots, m \quad (2.13)$$

⁶⁸ Colbert, Amy, - Levary, Reuven R., - Shaner, Michael C., "Theory And Methodology Determining The Relative Efficiency Of MBA Programs Using DEA", European Journal Of Operational Research, Volume 125, Issue 3, 2000, s. 658.

Girdiye yönelik doğrusal programlama modeli ile çıktıya yönelik doğrusal programlama modeli arasındaki bağlantının açıklanabilmesi için **Tablo 2.6'**da girdi ve çıktı sayıları verilen Roosevelt Lisesi'nin çıktıya yönelik doğrusal programlama modeli kurulabilir.

$$F_R = \text{Minimum } 37 v_{1R} + 6,4 v_{2R} + 850 v_{3R}$$

$$800 u_{1R} + 450 u_{2R} + 140 u_{3R} = 1$$

$$37 v_{1R} + 6,4 v_{2R} + 850 v_{3R} - (800 u_{1R} + 450 u_{2R} + 140 u_{3R}) \geq 0$$

$$25 v_{1R} + 5 v_{2R} + 700 v_{3R} - (830 u_{1R} + 500 u_{2R} + 250 u_{3R}) \geq 0$$

$$23 v_{1R} + 4,7 v_{2R} + 600 v_{3R} - (900 u_{1R} + 400 u_{2R} + 370 u_{3R}) \geq 0$$

$$u_{(1,2,3)R}, v_{(1,2,3)R} \geq \varepsilon$$

Roosevelt Lisesi için çıktıya yönelik doğrusal programlama modeli çözüldüğünde, amaç fonksiyonunun minimum değeri $F_R = 1,3302$ olarak hesaplanmaktadır. Bu sonuç $F_R > 1$ olduğundan Roosevelt Lisesi son sınıflarının gözlem kümesi içerisinde görece etkin olmadıkları söylenebilmektedir. Girdiye yönelik olarak çözülen modelde amaç fonksiyonunun maksimum değeri $E_R = 0,7517$ olarak hesaplanmıştı. Bu sonuçlara bakılarak girdiye ve çıktıya yönelik doğrusal programlama modellerinin arasındaki bağlantının $E_R = (F_R)^{-1}$ olduğu açıkça görülmektedir. $1/1,3302 = 0,7517$.

7.6. Zarflımalı (Dual) Doğrusal Programlama Modelleri:

Bir doğrusal programlama modeli için, aynı veriler kullanılarak farklı bir doğrusal programlama modeli formüle etmek mümkündür. Orjinal primal (birincil) model ya da dual (ikincil) modelin çözümü modellenen problem hakkında aynı bilgiyi vermektedir.⁶⁹

⁶⁹ Yavuz, (Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama) a.g.e., s. 29.

Kesirli programlama ve primal doğrusal programlama modellerinde, referans olacak karar birimlerinin hesaplanması güçtür. Bulunan ağırlık değerlerinin tüm kısıtlarda yerine konması ve sonucu “0” olan kısıtlayıcılara ait karar birimlerinin referans kümesine dahil edilmesi gerekmektedir. Zarflamalı (Dual) VZA modeli bu güçlüğü ortadan kaldırmaktadır ve dual değişkenler yardımı ile referans olacak karar birimleri ek bir hesaplama gerektirmeden bulunabilmektedir.

Zarflamalı VZA modeli ile, radyal olarak ölçülemeyen fakat azaltılması veya artırılması mümkün olan girdi veya çıktı miktarları hesaplanabilmektedir.⁷⁰ Zarflamalı VZA modellerinde girdiye ve çıktıya yönelik doğrusal programlama modellerinin dualleri alındığından amaç fonksiyonlarının yönü de değişmektedir.

7.6.1. Girdiye yönelik zarflamalı doğrusal programlama modeli:

Dual doğrusal programlama modeli ile parçalı doğrusal bir üretim yüzeyi, yani etkinlik sınırı belirlenmektedir. Girdiye yönelik doğrusal programlama modelinin duali, gerçek etkinlik sınırının parçalı doğrusal bir benzerini, m tane girdinin miktarlarını, s tane çıktının üretim seviyesini karşılamak için minimum yaparak kurmaktadır. Diğer bir deyişle; girdiye yönelik model, belirli bir çıktıyı üretmek için gerekli minimum girdi miktarının hesaplanmasını sağlamaktadır.⁷¹

Girdiye yönelik ağırlıklı primal modelden zarflamalı dual modele geçiş aşamasında dual problemin değişkenleri, negatif olmayan bir gerçek değişken α ve negatif olmayan bir vektör $\lambda (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$ ile ifade edilmektedir. Primal ve dual kısıtlayıcılar arasındaki ilişki **Tablo 2.7'**de gösterilmektedir.

⁷⁰ Yolalan, a.g.e., s. 32.

⁷¹ Basso, Antonella,- Funari, Stefania, “A Data Envelopment Analysis Approach To Measure The Mutual Fund Performance”, European Journal Of Operational Research, Volume 135, Issue 3, 2001, s. 480.

Tablo 2.7 Girdiye Yönelik Primal Modelden Dual Modele Geçiş

Primal Değişken	Primal Kısıtlayıcı	Dual Değişken	Dual Kısıtlayıcı
$v_{ik} \geq \varepsilon$	$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1$	α	$\alpha X_{ik} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j \geq 0$
$u_{rk} \geq \varepsilon$	$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} \leq 0$	λ_j	$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j \geq Y_{rk}$

Girdiye yönelik ağırlıklı VZA modelinin duali olan zarflamalılı model aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

$$F_k = \text{Minimum } \alpha$$

$$\alpha X_{ik} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j \geq Y_{rk}$$

$$\lambda_j \geq 0$$

(2.14)

Zarflamalılı VZA modelinde aylak değişkenlerin değeri oldukça önemlidir. Çünkü bir karar biriminin etkin olabilmesi için $\alpha = 1$, $\lambda_k = 1$, $\lambda_j = 0$ ve aylak değişkenlerin değeri de sifıra eşit olmalıdır. Bu nedenle aylak değişkenlerin de sifıra eşit olup olmadıklarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Modeldeki kısıtlayıcıların \geq işaretlerinin $=$ haline dönüşümünü sağlayacak olan aylak değişkenler (s_i^- , s_r^+) kısıtlayıcılardan çıkarılmalıdır.

Ayrıca amaç fonksiyonunda $-\varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$ teriminin yer alması

gerekmektedir. Eğer aylak değişkenlerin değeri sıfırdan farklı ise α değeri 1'e eşit olsa

dahi aylak değişken değerleri $-\varepsilon$ ile çarpıldığı için etkinlik değeri 1'in altına inmektedir. Amaç fonksiyonu değerinin 1'in altına inmesi de söz konusu karar biriminin etkin olmamasına neden olmaktadır. Böylece, göreli etkinliğin gerçekleşmesi için gerekli olan, etkinlik değerinin 1 ve aylak değişken değerlerinin sıfır olması koşulu amaç fonksiyonuna dahil edilmiş olmaktadır.⁷²

Aylak değişkenler modele girdiğinde girdiye yönelik zarflamalı VZA modeli aşığıdaki şekilde oluşmaktadır:⁷³

$$E_k = \text{Minimum } \alpha - \left(\varepsilon \sum_{i=1}^m s_i^- \right) - \left(\varepsilon \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

$$\sum_{j=1}^n (X_{ij} \lambda_j) + s_i^- - (\alpha X_{ik}) = 0 \quad ; \quad i=1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n (Y_{rj} \lambda_j) - s_r^+ - Y_{rk} = 0 \quad ; \quad r=1, \dots, s$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad (2.15)$$

Burada;

α : Girdiye ait büzülme katsayısını (girdilerin ortalama azaltılma miktarı),

s_i^- : k karar biriminin i'inci girdisine ait atıl değerini (radyal olarak lulemeyen fakat azaltılması mümkün olan atıl girdi miktarı),

s_r^+ : k karar biriminin r'inci çıktısına ait serbestlik (gevşeklik) değerini (radyal olarak lulemeyen fakat arttırılması mümkün olan çıktı miktarı),

λ_j : Gözlem kümesindeki karar birimlerinin aldıkları yoğunluk değerlerini göstermektedir.

⁷² Tarım, a.g.e., s. 79-80.

⁷³ Ahn, T., - Charnes, A., - Cooper, W.W., "Using Data Envelopment Analysis To Measure The Efficiency Of Non-For-Profit Organizations: A Critical Evaluation-Comment", Managerial And Decision Economics, Volume 9, No: 3, 1988, s. 251.

Amaç fonksiyonu, α 'yı (büzülme katsayısı) k karar birimi için minimum yapmaktadır. k karar biriminin etkin olarak nitelendirilebilmesi için aşağıdaki koşulların gerçekleşmesi gerekmektedir:

$$\alpha = 1, s_i^- = 0, s_r^+ = 0, \lambda_k = 1, E_k = 1$$

Eğer, α 1'den küçük ise, bu durum ilgili karar biriminin etkin olabilmesi için girdilerini hala azaltabileceği anlamına gelmektedir. VZA'da etkinlik, yalnızca görelî bir ölçüttür. Yani, etkin olan karar birimleri, etkin olmayan karar birimlerinden daha iyi performans göstermektedirler. Eğer bir karar birimi etkin değilse, girdiye yönelik zarflamalı VZA modeli, atıl girdi ve serbest çıktı miktarlarını aşağıdaki şekilde tanımlamaktadır:

$$\text{Atıl Girdi} : s_i^- = \alpha X_{rk} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j \quad (2.16)$$

$$\text{Serbest Çıktı} : s_r^+ = \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j - Y_{rk} \quad (2.17)$$

Optimal girdiler ve çıktılar (sanal girdiler ve çıktılar), yani her karar birimi için referans olarak belirlenen girdi ve çıktı değerleri, etkin olan karar birimlerinin doğrusal kombinasyonlarından oluşmaktadır. Her karar birimi için kurulan modelde, λ değeri sıfırdan farklı olan etkin karar birimleri, ilgili karar biriminin referans kümesini oluşturmaktadır. Referans karar birimleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.⁷⁴

$$\text{Sanal Girdi} : \sum_{j=1}^n X_{ij} \lambda_j \quad (2.18)$$

$$\text{Sanal Çıktı} : \sum_{j=1}^n Y_{rj} \lambda_j \quad (2.19)$$

Burada, j'inci karar birimleri, etkin olmayan karar biriminin referans kümesinde yer alan karar birimleridir. Girdiye yönelik zarflamalı VZA modeli, bankaların

⁷⁴ Chandra, Pankaj, - Cooper, W. W., - Li, Shanling, - Rahman, Atiqur, "Using DEA To Evaluate 29 Canadian Textile Companies, *International Journal Of Production Economics*, 54, 1998, s. 131.

etkinliğinin ölçüldüğü aşağıdaki örnek üzerinde incelenebilir. A, B, C ve D bankalarının girdi ve çıktı miktarları **Tablo 2.8**'de gösterilmektedir.

Tablo 2.8 Banka Modeli

Banka	Girdiler			Çıktılar	
	İşgücü	Sermaye(trl)	Mevduat(trl)	Toplam Krediler(trl)	Net Kar(trl)
A	200	20	40	15	12
B	150	22	42	18	15
C	165	40	35	25	18
D	215	35	50	18	13

A bankasına ait girdiye yönelik zarflamalı VZA modeli aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

$$E_A = \text{Minimum } \alpha - \epsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+)$$

$$200 \lambda_A + 150 \lambda_B + 165 \lambda_C + 215 \lambda_D + s_1^- - 200 \alpha = 0$$

$$20 \lambda_A + 22 \lambda_B + 40 \lambda_C + 35 \lambda_D + s_2^- - 20 \alpha = 0$$

$$40 \lambda_A + 42 \lambda_B + 35 \lambda_C + 50 \lambda_D + s_3^- - 40 \alpha = 0$$

$$15 \lambda_A + 18 \lambda_B + 25 \lambda_C + 18 \lambda_D - s_1^+ - 15 = 0$$

$$12 \lambda_A + 15 \lambda_B + 18 \lambda_C + 13 \lambda_D - s_2^+ - 12 = 0$$

$$\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C, \lambda_D, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+ \geq 0$$

Modelin çözümü yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

$$E_A = 0,9167, \alpha = 0,9167, \lambda_A = 0, \lambda_B = 0,833, \lambda_C = 0, \lambda_D = 0$$

$$s_1^- = 58,3333, s_2^- = 0, s_3^- = 1,6667, s_1^+ = 0, s_2^+ = 0,5$$

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, A bankasının görelî teknik etkinliğe sahip olmadığı söylenebilmektedir. Görelî etkinlik değeri % 91,67 dir. A bankasının referans kümesine dahil olacak karar birimi ise B bankasıdır. Çünkü, λ değeri sıfırdan farklı olan karar birimi görelî etkin olmayan karar biriminin referans kümesine dahil olmaktadır. A bankası için olması gereken yani sanal girdi ve çıktı miktarları ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{Sanal Girdiler} = (150, 22, 42) * (0,833) = (125, 18, 35)$$

$$\text{Sanal Çıktılar} = (18, 15) * (0,833) = (15, 12,5)$$

A bankasının diğer bankalar arasında görelî olarak etkin hale gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarının aşağıdaki şekilde olması gerekmektedir:

Tablo 2.9 A Bankasının Etkinlik İyileştirmesi

Banka	Girdiler			Çıktılar	
	İşgücü	Sermaye(trl)	Mevduat(trl)	Toplam Krediler(trl)	Net Kar(trl)
A	125	18	35	15	12,5

A bankası girdi ve çıktı miktarlarını, B bankasının girdi ve çıktı miktarlarının doğrusal bir kombinasyonu olan **Tablo 2.9'** daki miktarlarda ayarlaması halinde A bankasının etkinlik değeri % 100'e ulaşacaktır.

7.6.2. Çıktıya yönelik zarflamalı doğrusal programlama modeli:

Çıktıya yönelik doğrusal programlama modelinin duali, yani çıktıya yönelik zarflamalı VZA modeli, belirli bir girdi miktarı ile üretilebilecek çıktı miktarını maksimum yapacak şekilde kurulmaktadır. Çıktıya yönelik modelde, her bir çıktının miktarı, başka herhangi bir girdi miktarı artırılmadan veya herhangi bir diğer çıktı miktarı azaltılmadan artırılamıyorsa, söz konusu karar biriminin görelî etkin olduğu söylenebilmektedir.⁷⁵

Çıktıya yönelik ağırlıklı primal modelden zarflamalı dual modele geçiş aşamasında dual problemin değişkenleri, negatif olmayan bir gerçek değişken μ ve

⁷⁵ Gülcü, Aslan, "Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Hastanesi Üzerinde Veri Zarflama Analizi (VZA) Yöntemi İle Görece Verimlilik Analizi", *Verimlilik Dergisi*, Sayı: 2001/4, 2001, s. 122.

negatif olmayan bir vektör $\theta (\theta_1, \dots, \theta_n)^T$ ile ifade edilmektedir. Primal ve dual kısıtlayıcılar arasındaki ilişki **Tablo 2.10**'da gösterilmektedir.

Tablo 2.10 Çıktıya Yönelik Primal Modelden Dual Modele Geçiş

Primal Değişken	Primal Kısıtlayıcı	Dual Değişken	Dual Kısıtlayıcı
$u_{rk} \geq \varepsilon$	$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} = 1$	μ	$\mu Y_{rk} - \sum_{j=1}^n Y_{rj} \theta_j \leq 0$
$v_{ik} \geq \varepsilon$	$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rj} \geq 0$	θ_j	$\sum_{j=1}^n X_{ij} \theta_j \leq X_{ik}$

Çıktıya yönelik ağırlıklı VZA modelinin duali olan zarflamalı model aşağıdaki şekilde kurulmaktadır:

$$F_k = \text{Maksimum } \mu$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \theta_j \leq X_{ik}$$

$$\mu Y_{rk} - \sum_{j=1}^n Y_{rj} \theta_j \leq 0$$

$$\theta_j \geq 0 \quad (2.20)$$

Çıktıya yönelik zarflamalı VZA modelinde de ilgili karar birimlerinin etkin durumda olabilmesi için aylak değişkenlerin değerleri sıfır olmalıdır. Modeldeki kısıtlayıcılar için \leq işaretlerinin $=$ haline dönüşümünü sağlayacak olan aylak değişkenler (σ_i^- , σ_r^+) kısıtlayıcılara eklenmelidir.

Ayrıca amaç fonksiyonunda $+ \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m \sigma_i^- + \sum_{r=1}^s \sigma_r^+ \right)$ teriminin yer alması

gerekmektedir. Eğer aylak değişkenlerin değeri sıfırdan farklı ise μ değeri 1'e eşit olsa dahi aylak değişken değerleri ε ile çarpıldığı için etkinlik değeri 1'in üzerine çıkmaktadır. Amaç fonksiyonu değerinin 1'in üzerine çıkması da ilgili karar biriminin etkin olmamasına neden olmaktadır. Böylece, görelî etkinliğin gerçekleşmesi için gerekli olan, etkinlik değerinin 1 ve aylak değişken değerlerinin sıfır olması koşulu amaç fonksiyonuna dahil edilmiş olmaktadır.

Aylak değişkenler modele girdiğinde girdiye yönelik zarflamalı VZA modeli aşağıdaki şekilde oluşmaktadır:⁷⁶

$$F_k = \text{Maksimum } \mu + \left(\varepsilon \sum_{i=1}^m \sigma_i^- \right) + \left(\varepsilon \sum_{r=1}^s \sigma_r^+ \right)$$

$$\sum_{j=1}^n (X_{ij} \theta_j) + \sigma_i^- - X_{ik} = 0 ; \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n (Y_{rj} \theta_j) - \sigma_r^+ - (\mu Y_{rk}) = 0 ; \quad r = 1, \dots, s$$

$$\theta_j, \sigma_i^-, \sigma_r^+ \geq 0 \quad (2.21)$$

Burada;

μ : Çıktıya ait genişleme katsayısını,

σ_i^- : k karar biriminin i'inci girdisine ait atıl değerini,

σ_r^+ : k karar biriminin r'inci çıktısına ait serbestlik (gevşeklik) değerini,

⁷⁶ Ulucan, Aydın, "İSO500 Şirketlerinin Etkinliklerinin Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Farklı Girdi Çıktı Bileşenleri Ve Ölçeğe Göre Getiri Yaklaşımları İle Değerlendirmeler", <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~aulucan/pdf/deamarketcompare.pdf>, s. 6.

θ_j : Gözlem kümesindeki karar birimlerinin aldıkları yoğunluk değerlerini göstermektedir.

Amaç fonksiyonu, μ 'yü (genişleme katsayısı) k karar birimi için maksimum yapmaktadır. k karar biriminin etkin olarak nitelendirilebilmesi için aşağıdaki koşulların gerçekleşmesi gerekmektedir:

$$\mu = 1, \sigma_i^- = 0, \sigma_r^+ = 0, \theta_k = 1, F_k = 1$$

Eğer μ 1'den büyük ise, bu durum ilgili karar biriminin görece etkin hale gelebilmesi için çıktılarının hala artırılabilirliğini göstermektedir. Çıktıya yönelik zarflamalı VZA modelinde sanal girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{Sanal Girdi} : \sum_{j=1}^n X_{ij} \theta_j \quad (2.22)$$

$$\text{Sanal Çıktı} : \sum_{j=1}^n Y_{rj} \theta_j \quad (2.23)$$

Eğer bir karar birimi etkin değilse, çıktıya yönelik zarflamalı VZA modeli, atıl girdi ve serbest çıktı miktarlarını aşağıdaki şekilde tanımlamaktadır:

$$\text{Atıl Girdi} : \sigma_i^- = X_{ik} - \sum_{j=1}^n X_{ij} \theta_j \quad (2.24)$$

$$\text{Serbest Çıktı} : \sigma_r^+ = \sum_{j=1}^n Y_{rj} \theta_j - \mu Y_{rk} \quad (2.25)$$

Çıktıya yönelik zarflamalı VZA modeli, **Tablo 2.8**'de gösterilen banka modelinde B bankasının görece etkinlik modeli kurularak incelenebilir:

$$F_B = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+)$$

$$200 \theta_A + 150 \theta_B + 165 \theta_C + 215 \theta_D + \sigma_1^- - 150 = 0$$

$$20 \theta_A + 22 \theta_B + 40 \theta_C + 35 \theta_D + \sigma_2^- - 22 = 0$$

$$40 \theta_A + 42 \theta_B + 35 \theta_C + 50 \theta_D + \sigma_3^- - 42 = 0$$

$$15 \theta_A + 18 \theta_B + 25 \theta_C + 18 \theta_D - \sigma_1^+ - 18 \mu = 0$$

$$12 \theta_A + 15 \theta_B + 18 \theta_C + 13 \theta_D - \sigma_2^+ - 15 \mu = 0$$

$$\theta_A, \theta_B, \theta_C, \theta_D, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+ \geq 0$$

Modelin çözümü yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

$$F_B = 1, \mu = 1, \theta_A = 1, \theta_B = 0, \theta_C = 0, \theta_D = 0$$

$$\sigma_1^- = 0, \sigma_2^- = 0, \sigma_3^- = 0, \sigma_1^+ = 0, \sigma_2^+ = 0$$

Elde edilen sonuçlara bakıldığında B bankasının, görelî etkinlik değeri % 100 olduğu görülmektedir. Kurulan çıktıya yönelik zarflamalı VZA modelinde, B bankası, karar birimlerinin etkin olabilmesi için gereken tüm koşulları sağlamaktadır. Yani B bankası, A, C ve D bankalarının oluşturduğu gözlem kümesi içerisinde görelî etkinliğe sahiptir.

III. BÖLÜM

ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE FAALİYET GÖSTEREN ŞİRKETLERDE VZA YÖNTEMİ İLE GÖRELİ ETKİNLİK ANALİZİ UYGULAMASI

1. UYGULAMANIN AMACI

Türkiye’de çimento, hazır beton ve benzeri ürünlerin üretimi özel sektör tarafından sağlanmaktadır ve çimento sektöründe faaliyet gösteren 18’i öğütme, 39’u entegre tesis olmak üzere 57 çimento fabrikası bulunmaktadır.

Çimento endüstrisi, nüfus artışı ve kentleşmeye bağlı olarak artış gösteren inşaat ve altyapı faaliyetleri ile önem kazanmaktadır. Artan talebi karşılamak amacı ile yapılan yenileme ve modernizasyon çalışmaları sayesinde ürün kalitesinde uluslararası standartlar yakalanmıştır. Günümüzde çimento sektöründe karşılaşılan yapısal problem kapasite fazlalığıdır. Türkiye çimento piyasalarındaki satış fiyatları, AB ülkeleri içerisinde son yıllarda en düşük rakamı oluşturmaktadır. Fakat sektör, yabancı markalı çimento ürünleri ile başarı ile rekabet edebilecek kapasiteye sahiptir. Çimento şirketlerinde, en önemli maliyet kalemlerini yakıt, elektrik, işçilik, ham madde ve yardımcı madde oluşturmaktadır. Türkiye’de enerji fiyatlarının yüksek oluşu çimento sektörünün karşı karşıya kaldığı en önemli sorunlardan biridir.¹

Yapılan uygulamanın amacı, Türkiye’de son yıllarda büyük önem kazanan, çimento sektörüne dahil olan şirketlerin görelî etkinliklerini ölçmektir.

2. UYGULAMA SÜRECİ

2.1. Gözlem Kümesinin Seçimi:

Yapılan uygulamada, hisse senetleri İ.M.K.B.’ de işlem gören, ve çimento sektöründe faaliyet gösteren anonim şirketler seçilmiştir. Gözlem kümesi içerisinde, 17 adet karar birimi bulunmaktadır. Toplam 15 adet çimento şirketi değerlendirmeye

¹ OYAK Çimento Grubu, “Türkiye Çimento Endüstrisi”, <http://www.oyakcemento.com/turkce/sektorel-turkiye.html>

alınmıştır. Göreli etkinlik ölçümü yapılmak üzere seçilmiş olan çimento şirketleri ve ürettikleri ürünler **Tablo 3.1**'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Çimento Şirketleri

ÇİMENTO ŞİRKETLERİ	ÜRÜNLER
Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton, Sıva
Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş.	Çimento, Klinker
Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton, Agregası
Lafarge Aslan Çimento A.Ş.	Çimento, Klinker
Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton, Mıdır
Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş.	Çimento, Klinker
Bolu Çimento Sanayii A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton, Mıdır
Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton
Çimsa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	Çimento, Hazır Beton
Çimbeton Hazırbeton ve Pre.Yapı Elem. San.ve T.A.Ş.	Çimento, Hazır Beton, Kireç
Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş.	Çimento, Hazır Beton
Göлтаş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş.	Çimento, Klinker
Konya Çimento Sanayii A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton, Agregası
Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	Çimento, Klinker, Hazır Beton
Nuh Çimento Sanayii A.Ş.	Çimento, Klinker, Beyaz Tuğla, Elektrik

2.2. Girdi ve Çıktı Kümelerinin Belirlenmesi:

Değerlendirmeye alınacak 15 adet çimento şirketi belirlendikten sonra, şirketlerin göreli etkinliklerinin ölçülmesinde etkisi olduğu düşünülen girdi ve çıktılar saptanmıştır. Şirketlerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan çok sayıda girdi ve çıktı bulunmaktadır. Özellikle bilanço ve gelir tablosu kalemlerinin çoğu bir girdi veya çıktı olabilmektedir.

Uygulamada, 3 girdi ve 3 çıktı kullanılmıştır. Girdiler sırası ile; Personel Sayısı, Net İşletme Sermayesi ve Stoklardır. Çıktılar ise; Net Satışlar, Dönem Net Karı ve Hisse Senetlerinin Piyasa Değeri olarak belirlenmiştir. Kullanılan girdi miktarları, değerlendirilmesi yapılan şirketler bazında **Tablo 3.2**, çıktı miktarları **Tablo 3.3**'de gösterilmektedir. Personel Sayısı dışındaki tüm veriler milyar TL cinsindedir.

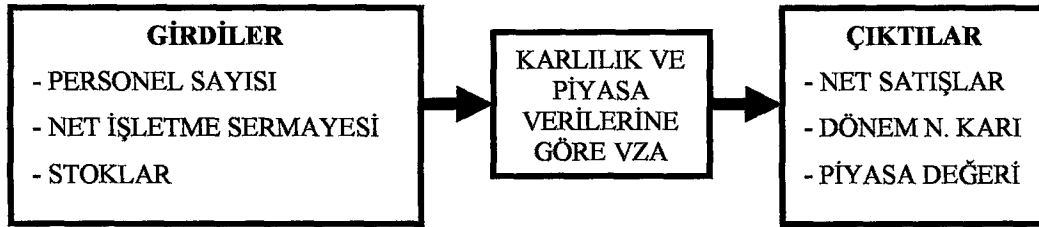
Tablo 3.2 Girdi Miktarları

Çimento Şirketleri	GİRDİLER		
	Personel Sayısı	Net İşl. Sermayesi	Stoklar
Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.	480	216.466	16.314
Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş.	126	8.822	3.831
Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	483	554.775	37.047
Lafarge Aslan Çimento A.Ş.	278	50.241	4.774
Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş.	411	106.320	10.702
Batisöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş.	262	92.852	8.358
Bolu Çimento Sanayii A.Ş.	295	115.553	9.739
Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.	293	56.100	11.822
Çimsa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	489	433.747	30.242
Çimbeton Hazırbeton ve Pre. Yapı Elem. San. ve T.A.Ş.	230	28.987	490
Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş.	605	242.788	19.489
Göлтаş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş.	464	66.591	7.746
Konya Çimento Sanayii A.Ş.	137	73.166	15.883
Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	224	61.418	4.751
Nuh Çimento Sanayii A.Ş.	432	167.364	12.073

Tablo 3.3 Çıktı Miktarları

Çimento Şirketleri	ÇIKTILAR		
	Net Satışlar	Dönem N. Karı	Piyasa Değeri
Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.	149.164	25.263	108.858
Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş.	23.831	1.442	25.080
Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	283.118	35.748	166.476
Lafarge Aslan Çimento A.Ş.	70.667	7.839	106.024
Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş.	163.635	19.064	142.800
Batisöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş.	54.697	4.497	38.813
Bolu Çimento Sanayii A.Ş.	104.339	16.404	131.241
Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.	74.559	7.036	186.941
Çimsa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	242.201	68.651	415.471
Çimbeton Hazırbeton ve Pre. Yapı Elem. San. ve T.A.Ş.	46.147	1.907	14.514
Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş.	169.609	10.445	168.525
Göлтаş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş.	73.024	14.379	53.280
Konya Çimento Sanayii A.Ş.	69.267	16.879	84.311
Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş.	60.682	15.223	130.860
Nuh Çimento Sanayii A.Ş.	137.400	22.063	330.470

Değerlendirilmeye alınan şirketlerde, piyasa ve karlılık ölçütlerinin çıktı olarak kullanılması ile oluşturulacak VZA modellerinin girdi ve çıktı bileşimi Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Girdi ve Çıktı Bileşimleri

2.3. Verilerin Elde Edilebilirliği Ve Güvenirliği:

Uygulamada kullanılan verilerin büyük çoğunluğu İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nın internet sitesinden elde edilmiştir. Personel sayılarına ilişkin veriler, <http://www.verikom.com> ve piyasa değerlerine ilişkin veriler ise, <http://www.paragaranti.com> internet adreslerinden sağlanmıştır.

Şirketlerin 3, 6, 9 ve 12 aylık olarak İ.M.K.B'de yayınlanan bilanço, gelir tablosu ve notlarındaki verilerin güvenilirliği oldukça yüksektir. Analiz için verilerin aynı döneme ait olması gerektiğinden tüm çimento şirketlerinin 31.12.2003 tarihi itibarı ile sahip olduğu değerler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır.

Elde edilen tüm veriler değerlendirmeye alınmamış, bilanço ve gelir tablolarından, analiz için uygun olan girdi ve çıktı verileri kullanılmıştır. Değerlendirmesi yapılacak olan çimento şirketlerinin üretim ve satış miktarları belirlenmiş, fakat şirketlerin ürettiği ürünlerin birbirlerinden farklı olması nedeni ile bu girdi ve çıktılar analize dahil edilmemiştir.

Ayrıca, gözlem kümesi içerisinde 17 adet karar birimi bulunmasına rağmen 2 tanesi değerlendirme dışı bırakılmıştır. Niğde Çimento Sanayii ve Ticaret A.Ş.'nin 31.12.2003 tarihli mali tablolarına ulaşamadığından ve Ünye Çimento Sanayii ve Ticaret A.Ş., 31.12.2003 tarihli gelir tablosundan zarar ettiği anlaşıldığı için, ilgili 2 şirket değerlendirmeye alınmamıştır.

2.4. VZA İle Görelî Etkinlik Ölçümü:

Yapılan uygulamada, 15 adet çimento şirketi için 3 girdi ve 3 çıktıdan oluşan girdiye ve çıktıya yönelik zarflamalı VZA modeli kurulmuş ve çözülmüştür. Bu aşamada, her bir karar biriminin görelî etkinlik değerleri, etkin olmayan karar birimlerinin referans grupları ve sanal hedefler belirlenmiştir. Değerlendirmede kullanılan verilerle zarflamalı VZA modelleri iki şekilde analiz edilmiştir.

1. Her çimento şirketi için belirli bir çıktı düzeyinin etkin olmasını sağlayan, ve girdi bileşimini minimum düzeye indirmeyi amaçlayan “Girdiye Yönelik VZA” modelleri kurulmuş ve çözülmüştür.

2. Her çimento şirketi için belirli bir girdi bileşimi ile, çıktıları maksimum düzeye çıkarmayı amaçlayan “Çıktıya Yönelik VZA” modelleri kurulmuş ve çözülmüştür.

Girdiye ve çıktıya yönelik olarak 15 adet karar birimi için ayrı ayrı kurulmuş olan doğrusal programlama modellerinin çözümü Win QSB bilgisayar programı ile yapılmıştır.

Kurulan modellerde kullanılan kısaltmalar ve değişkenler aşağıda gösterilmektedir:

AD : Adana Çimento Sanayii T.A.Ş.

AF : Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş.

AK : Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.

AS : Lafarge Aslan Çimento A.Ş.

BT : Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş.

BS : Batisöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş.

BO : Bolu Çimento Sanayii A.Ş.

BU : Bursa Çimento Fabrikası A.Ş.

ÇS : Çimsa Çimento Sanayii ve T.A.Ş.

ÇB : Çimbeton Hazır beton ve Pre.Yapı Elem. San.ve T.A.Ş.

ÇT : Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş.

GT : Göлтаş Gölle Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş.

KO : Konya Çimento Sanayii A.Ş.

MD : Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş.

NH : Nuh Çimento Sanayii A.Ş.

$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{ÇS}, \lambda_{ÇB}, \lambda_{ÇT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD},$

λ_{NH} : Gözlem kümesi içerisindeki çimento şirketlerinin girdiye yönelik olarak aldıkları yoğunluk değerleri

$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{ÇS}, \theta_{ÇB}, \theta_{ÇT}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \theta_{MD},$

θ_{NH} : Gözlem kümesi içerisindeki çimento şirketlerinin çıktıya yönelik olarak aldıkları yoğunluk değerleri

α : Girdiye yönelik büzölme katsayısı

μ : Çıktıya yönelik genişleme katsayısı

s_1^- : Girdiye yönelik VZA modellerinde personel sayısına ait atıl değer

s_2^- : Girdiye yönelik VZA modellerinde net işletme sermayesine ait atıl değer

s_3^- : Girdiye yönelik VZA modellerinde stoklara ait atıl değer

s_1^+ : Girdiye yönelik VZA modellerinde net satışlara ait serbestlik değeri

s_2^+ : Girdiye yönelik VZA modellerinde dönem net karına ait serbestlik değeri

s_3^+ : Girdiye yönelik VZA modellerinde piyasa değerine ait serbestlik değeri

σ_1^- : Çıktıya yönelik VZA modellerinde personel sayısına ait atıl değer

σ_2^- : Çıktıya yönelik VZA modellerinde net işletme sermayesine ait atıl değer

σ_3^- : Çıktıya yönelik VZA modellerinde stoklara ait atıl değer

σ_1^+ : Çıktıya yönelik VZA modellerinde net satışlara ait serbestlik değeri

σ_2^+ : Çıktıya yönelik VZA modellerinde dönem net karına ait serbestlik değeri

σ_3^+ : Çıktıya yönelik VZA modellerinde piyasa değerine ait serbestlik değeri

2.4.1. Adana Çimento Sanayii T.A.Ş. (AD):

2.4.1.1. A.D. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{AD} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{\text{ÇS}} + 230 \lambda_{\text{ÇB}} + 605 \lambda_{\text{ÇT}} + 464 \lambda_{\text{GT}} + 137 \lambda_{\text{KO}} + 224 \lambda_{\text{MD}} + \\ 432 \lambda_{\text{NH}} + s_1^- - 480 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{\text{ÇS}} + 28.987 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \lambda_{\text{ÇT}} + 66.591 \lambda_{\text{GT}} + 73.166 \lambda_{\text{KO}} + 61.418 \lambda_{\text{MD}} + 167.364 \lambda_{\text{NH}} + \\ s_2^- - 216.466 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{\text{ÇS}} + 490 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \lambda_{\text{ÇT}} + 7.746 \lambda_{\text{GT}} + 15.883 \lambda_{\text{KO}} + 4.751 \lambda_{\text{MD}} + 12.073 \lambda_{\text{NH}} + \\ s_3^- - 16.314 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{\text{ÇS}} + 46.147 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \lambda_{\text{ÇT}} + 73.024 \lambda_{\text{GT}} + 69.267 \lambda_{\text{KO}} + 60.682 \lambda_{\text{MD}} + 137.400 \lambda_{\text{NH}} - \\ s_1^+ - 149.164 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{\text{ÇS}} + 1.907 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \lambda_{\text{ÇT}} + 14.379 \lambda_{\text{GT}} + 16.879 \lambda_{\text{KO}} + 15.223 \lambda_{\text{MD}} + 22.063 \lambda_{\text{NH}} - \\ s_2^+ - 25.263 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{\text{ÇS}} + 14.514 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \lambda_{\text{ÇT}} + 53.280 \lambda_{\text{GT}} + 84.311 \lambda_{\text{KO}} + 130.860 \lambda_{\text{MD}} + 330.470 \lambda_{\text{NH}} - \\ s_3^+ - 108.858 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{\text{ÇS}}, \lambda_{\text{ÇB}}, \lambda_{\text{ÇT}}, \lambda_{\text{GT}}, \lambda_{\text{KO}}, \\ \lambda_{\text{MD}}, \lambda_{\text{NH}}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{AD} = 0,7469, \alpha = 0,7551$$

$$\lambda_{BT} = 0,6146, \lambda_{\text{ÇS}} = 0,1717, \lambda_{\text{MD}} = 0,1157, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \\ \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{\text{ÇB}}, \lambda_{\text{ÇT}}, \lambda_{\text{GT}}, \lambda_{\text{KO}}, \lambda_{\text{NH}} = 0$$

$$s_2^- = 16.540,81, s_3^+ = 65.366,46, s_1^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+ = 0$$

Adana Çimento Sanayii A.Ş. (AD)'nin göreceli etkinlik değeri (E_{AD}), 0,7469 ve girdiye yönelik büzülme katsayısı (α), 0,7551'dir. Bu durumda AD gözlem kümesi içerisinde göreceli etkinliğe sahip değildir. Şirketin göreceli etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT), Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS) ve Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD) olmaktadır. BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (λ_{BT}), 0,6146, ÇS'nin aldığı yoğunluk değeri ($\lambda_{\text{ÇS}}$), 0,1717 ve MD'nin aldığı yoğunluk değeri (λ_{MD}) ise 0,1157'dir. AD'nin net işletme sermayesine ilişkin aldığı atıl değer (s_2^-), 16.540,81 ve piyasa değerine ilişkin aldığı serbestlik değeri (s_3^+) ise 65.366,46'dır. AD çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ \text{BT} ; \text{ÇS} ; \text{MD} \}$$

AD çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. A.D. için belirlenecek olan referans (sanal) girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1\text{BT}}, X_{2\text{BT}}, X_{3\text{BT}}) \cdot \lambda_{\text{BT}} + (X_{1\text{ÇS}}, X_{2\text{ÇS}}, X_{3\text{ÇS}}) \cdot \lambda_{\text{ÇS}} + (X_{1\text{MD}}, X_{2\text{MD}}, X_{3\text{MD}}) \cdot \lambda_{\text{MD}} \\ &= (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,6146 + (489, 433.747, 30.242) \cdot 0,1717 \\ &\quad + (224, 61.418, 4.751) \cdot 0,1157 = (363, 146.925, 12.320) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1\text{BT}}, Y_{2\text{BT}}, Y_{3\text{BT}}) \cdot \lambda_{\text{BT}} + (Y_{1\text{ÇS}}, Y_{2\text{ÇS}}, Y_{3\text{ÇS}}) \cdot \lambda_{\text{ÇS}} + (Y_{1\text{MD}}, Y_{2\text{MD}}, Y_{3\text{MD}}) \cdot \lambda_{\text{MD}} \\ &= (163.635, 19.064, 142.800) \cdot 0,6146 + (242.201, 68.651, 415.471) \cdot 0,1717 \\ &\quad + (60.682, 15.223, 130.860) \cdot 0,1157 = (149.177, 25.265, 174.242) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere ve büzülme katsayısına göre, AD'nin girdiye yönelik olarak etkin hale gelebilmesi için mevcut girdi miktarlarının ortalama % 75,5'inin kullanılması gerekmektedir. Girdiye ait atıl değerlerin ve çıktıya ait serbestlik değerlerin var olması nedeniyle AD'nin girdi ve çıktı değerleri aynen kalmamaktadır.

AD'nin görel olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.4**'te gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Adana Çimento Sanayii A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Adana Çimento Sanayii A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	480	363	(117)
Net İşletme Sermayesi	216.466	146.925	(69.541)
Stoklar	16.314	12.320	(3.994)
Çıktılar			
Net Satışlar	149.164	149.177	13
Dönem Net Karı	25.263	25.265	2
Piyasa Değeri	108.858	174.242	65.384

2.4.1.2. A.D. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{AD} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + \\ 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 480 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} + \\ \sigma_2^- - 216.466 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} + \\ \sigma_3^- - 16.314 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\ \sigma_1^+ - 149.164 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\ \sigma_2^+ - 25.263 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{\text{GT}} + 84.311 \theta_{\text{KO}} + 130.860 \theta_{\text{MD}} + 330.470 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_3^+ - 108.858 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}}, \\ \theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{AD} = 1,3352, \mu = 1,3243$$

$$\theta_{BT} = 0,8139, \theta_{\text{ÇS}} = 0,2274, \theta_{\text{MD}} = 0,1532, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BS},$$

$$\theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}}, \theta_{\text{NH}} = 0$$

$$\sigma_2^- = 21.905,62, \sigma_3^+ = 86.567,28, \sigma_1^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+ = 0$$

Adana Çimento Sanayii A.Ş. (AD)'nin çıktıya yönelik göreceli etkinlik değeri, (F_{AD}), 1,3352 ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı (μ), 1,3243'tür. Bu durumda da AD gözlem kümesi içerisinde göreceli etkinliğe sahip değildir. Şirketin göreceli etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri girdiye yönelik VZA sonuçlarında da olduğu gibi, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT), Çimsa Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (ÇS) ve Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD) olmaktadır. BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (θ_{BT}), 0,8139, ÇS'nin aldığı yoğunluk değeri ($\theta_{\text{ÇS}}$), 0,2274 ve MD'nin aldığı yoğunluk değeri (θ_{MD}) ise 0,1532'dir. AD'nin net işletme sermayesine ilişkin aldığı atıl değer (σ_2^-), 21.905,62 ve piyasa değerine ilişkin aldığı serbestlik değeri (σ_3^+) ise 86.567,28'dir. AD çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ BT ; \text{ÇS} ; MD \}$$

AD çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. AD için belirlenecek olan referans (sanal) girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (X_{1ÇS}, X_{2ÇS}, X_{3ÇS}) \cdot \theta_{ÇS} + (X_{1MD}, X_{2MD}, X_{3MD}) \cdot \theta_{MD} \\ &= (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,8139 + (489, 433.747, 30.242) \cdot 0,2274 \\ &+ (224, 61.418, 4.751) \cdot 0,1532 = (480, 194.577, 16.315) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (Y_{1ÇS}, Y_{2ÇS}, Y_{3ÇS}) \cdot \theta_{ÇS} + (Y_{1MD}, Y_{2MD}, Y_{3MD}) \cdot \theta_{MD} \\ &= (163.635, 19.064, 142.800) \cdot 0,8139 + (242.201, 68.651, 415.471) \cdot \\ &0,2274 + (60.682, 15.223, 130.860) \cdot 0,1532 = (197.556, 33.460, \\ &230.751) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere ve genişleme katsayısına göre, belirli olan girdi düzeyi ile üretilebilecek maksimum çıktı düzeyinin elde edilebilmesi, yani A.D. çimento şirketinin çıktıya yönelik olarak görece etkin hale gelebilmesi için çıktı değerlerinin ortalama 1,3 katına çıkarılması gerekmektedir.

AD'nin görece etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.5**'te gösterilmektedir:

Tablo 3.5 Adana Çimento Sanayii A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Adana Çimento Sanayii A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	480	480	0
Net İşletme Sermayesi	216.466	194.577	(21.889)
Stoklar	16.314	16.315	1
Çıktılar			
Net Satışlar	149.164	197.556	48.392
Dönem Net Karı	25.263	33.460	8.197
Piyasa Değeri	108.858	230.751	121.893

2.4.2. Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş. (AF):

2.4.2.1. A.F. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{AF} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + \\ 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 126 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + \\ 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + \\ s_2^- - 8.822 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 3.831 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 23.831 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 1.442 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{\text{ÇS}} + 14.514 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \lambda_{\text{ÇT}} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 25.080 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{\text{ÇS}}, \lambda_{\text{ÇB}}, \lambda_{\text{ÇT}}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{AF} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{AF} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{\text{ÇB}}, \lambda_{\text{ÇS}}, \lambda_{\text{ÇT}}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş. (AF)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. AF çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında % 100 görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve AF'nin girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. AF'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\text{Referans kümesi} = \{ AF \}$$

2.4.2.2. A.F. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{AF} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + \\ 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 126 = 0$$

$$\begin{aligned}
& 216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\
& 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{CS} + 28.987 \theta_{CB} + \\
& 242.788 \theta_{CT} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} + \\
& \sigma_2^- - 8.822 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\
& 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{CS} + 490 \theta_{CB} + \\
& 19.489 \theta_{CT} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} + \\
& \sigma_3^- - 3.831 = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\
& 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{CS} + 46.147 \theta_{CB} + \\
& 169.609 \theta_{CT} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\
& \sigma_1^+ - 23.831 \mu = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\
& 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{CS} + 1.907 \theta_{CB} + \\
& 10.445 \theta_{CT} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\
& \sigma_2^+ - 1.442 \mu = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\
& 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{CS} + 14.514 \theta_{CB} + \\
& 168.525 \theta_{CT} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\
& \sigma_3^+ - 25.080 \mu = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\
& \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0
\end{aligned}$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{AF} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{AF} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CB}, \theta_{CS}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO},$$

$$\theta_{MD}, \theta_{NH} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş. (AF)'nin çıktıya yönelik göreceli etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. AF çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında çıktıya yönelik göreceli etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, göreceli etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve AF'nin çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. AF'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ AF \}$$

2.4.3. Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (AK):

2.4.3.1. A.K. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{AK} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} +$$

$$293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} +$$

$$432 \lambda_{NH} + s_1^- - 483 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} +$$

$$92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} +$$

$$242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} +$$

$$s_2^- - 554.775 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 37.047 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 283.118 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 35.748 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + \\ 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 166.476 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{AK} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{AK} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (AK)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. AK çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve AK'nın girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. AK'nın girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{AK} \}$$

2.4.3.2. A.K. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{AK} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{ÇS} + 230 \theta_{ÇB} + 605 \theta_{ÇT} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + \\ 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 483 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{ÇS} + 28.987 \theta_{ÇB} + \\ 242.788 \theta_{ÇT} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} + \\ \sigma_2^- - 554.775 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{ÇS} + 490 \theta_{ÇB} + \\ 19.489 \theta_{ÇT} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} + \\ \sigma_3^- - 37.047 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\ \sigma_1^+ - 283.118 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\ \sigma_2^+ - 35.748 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\ \sigma_3^+ - 166.476 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\ \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{AK} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{AK} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{GT}, \theta_{KO},$$

$$\theta_{MD}, \theta_{NH} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Akçansa Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (AK)'nin çıktıya yönelik görelilik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. AK çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelilikte sahiptir. Bu nedenle, görelilik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve AK'nın

çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. AK'nın girdilerine ait atıl değeri ve çıktılara ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{AK} \}$$

2.4.4. Lafarge Aslan Çimento A.Ş. (AS):

2.4.4.1. A.S. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{AS} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + \\ 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 278 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + \\ 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + \\ s_2^- - 50.241 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 4.774 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 70.667 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{\text{ÇS}} + 1.907 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \lambda_{\text{ÇT}} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 7.839 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{\text{ÇS}} + 14.514 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \lambda_{\text{ÇT}} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 106.024 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{\text{ÇS}}, \lambda_{\text{ÇB}}, \lambda_{\text{ÇT}}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{AS} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{AS} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{\text{ÇB}}, \lambda_{\text{ÇS}}, \lambda_{\text{ÇT}}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Lafarge Aslan Çimento A.Ş. (AS)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. AS çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında % 100 görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve AS'nin girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. AS'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktıklarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ AS \}$$

2.4.4.2. A.S. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{AS} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 278 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 50.241 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 4.774 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{\text{GT}} + 69.267 \theta_{\text{KO}} + 60.682 \theta_{\text{MD}} + 137.400 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_1^+ - 70.667 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{\text{GT}} + 16.879 \theta_{\text{KO}} + 15.223 \theta_{\text{MD}} + 22.063 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_2^+ - 7.839 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{CS} + 14.514 \theta_{CB} + \\ 168.525 \theta_{CT} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\ \sigma_3^+ - 106.024 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\ \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{AS} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{AS} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CB}, \theta_{CS}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO},$$

$$\theta_{MD}, \theta_{NH} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Lafarge Aslan Çimento A.Ş. (AS)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. AS çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve AS'nin çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. AS'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\text{Referans kümesi} = \{ AS \}$$

2.4.5. Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT):

2.4.5.1. B.T. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{BT} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + \\ 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 411 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + \\ 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + \\ s_2^- - 106.320 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 10.702 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 163.635 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 19.064 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - s_3^+ - 142.800 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{BT} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{BT} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. BT çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisine ve girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. BT'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ BT \}$$

2.4.5.2. B.T. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{BT} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{CS} + 230 \theta_{CB} + 605 \theta_{CT} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 411 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} +$$

$$92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{CS} + 28.987 \theta_{CB} +$$

$$242.788 \theta_{CT} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} +$$

$$\sigma_2^- - 106.320 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} +$$

$$8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{CS} + 490 \theta_{CB} +$$

$$19.489 \theta_{CT} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} +$$

$$\sigma_3^- - 10.702 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} +$$

$$54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{CS} + 46.147 \theta_{CB} +$$

$$169.609 \theta_{CT} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} -$$

$$\sigma_1^+ - 163.635 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} +$$

$$4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{CS} + 1.907 \theta_{CB} +$$

$$10.445 \theta_{CT} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} -$$

$$\sigma_2^+ - 19.064 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} +$$

$$38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{CS} + 14.514 \theta_{CB} +$$

$$168.525 \theta_{CT} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} -$$

$$\sigma_3^+ - 142.800 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO},$$

$$\theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{BT} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{BT} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CB}, \theta_{CS}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO},$$

$$\theta_{MD}, \theta_{NH} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT)'nin çıktıya yönelik görelilik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. BT çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında çıktıya yönelik görelilik etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelilik ölçümünde referans kümesi kendisine ve çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. BT'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ BT \}$$

2.4.6. Batisöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. (BS):

2.4.6.1. B.S. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{BS} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} +$$

$$293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} +$$

$$432 \lambda_{NH} + s_1^- - 262 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} +$$

$$92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} +$$

$$242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} +$$

$$s_2^- - 92.852 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + s_3^- - 8.358 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - s_1^+ - 54.697 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - s_2^+ - 4.497 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - s_3^+ - 38.813 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{BS} = 0,4978, \alpha = 0,4987$$

$$\lambda_{AK} = 0,0286, \lambda_{BT} = 0,2825, \lambda_{KO} = 0,0053, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS},$$

$$\lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_2^+ = 2.001,249, s_3^+ = 6.739,102, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+ = 0$$

Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. (BS)'nin görelî etkinlik değeri (E_{BS}), 0,4978 ve girdiye yönelik büzülme katsayısı (α), 0,4987'dir. Bu durumda BS gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip olmadığı görülmektedir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Akçansa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (AK), Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT), ve Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO) olmaktadır. AK'ye ilişkin yoğunluk değeri (λ_{AK}), 0,0286, BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (λ_{BT}), 0,2825 ve KO'nun aldığı yoğunluk değeri (λ_{KO}), 0,0053'tür. BS'nin dönem net karına ilişkin aldığı serbestlik değeri (s_2^+), 2.001,249 ve piyasa değerine ilişkin aldığı serbestlik değeri (s_3^+) ise 6.739,102'dir. BS çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ AK ; BT ; KO \}$$

BS çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. BS için belirlenecek olan referans girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1AK}, X_{2AK}, X_{3AK}) \cdot \lambda_{AK} + (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (X_{1KO}, X_{2KO}, X_{3KO}) \cdot \lambda_{KO} \\ &= (483, 554.775, 37.047) \cdot 0,0286 + (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,2825 \\ &\quad + (137, 73.166, 15.883) \cdot 0,0053 = (131, 46.290, 4.167) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1AK}, Y_{2AK}, Y_{3AK}) \cdot \lambda_{AK} + (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (Y_{1KO}, Y_{2KO}, Y_{3KO}) \cdot \lambda_{KO} \\ &= (283.118, 35.748, 166.476) \cdot 0,0286 + (163.635, 19.064, 142.800) \cdot \\ &\quad 0,2825 + (69.267, 16.879, 84.311) \cdot 0,0053 = (54.691, 6.498, \\ &\quad 45.549) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere ve büzülme katsayısına göre, BS'nin girdiye yönelik olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi miktarlarının ortalama % 50'sinin kullanılması gerekmektedir. Girdiye ait atıl değerlerin ve çıktıya ait serbestlik değerlerin var olması nedeniyle BS'nin girdi ve çıktı değerleri aynen kalmamaktadır.

BS'nin görel olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.6**'da gösterilmektedir.

Tablo 3.6 Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	262	131	(131)
Net İşletme Sermayesi	92.852	46.290	(46.562)
Stoklar	8.358	4.167	(4.191)
Çıktılar			
Net Satışlar	54.697	54.691	(6)
Dönem Net Karı	4.497	6.498	2.001
Piyasa Değeri	38.813	45.549	6.736

2.4.6.2. B.S. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{BS} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{CS} + 230 \theta_{CB} + 605 \theta_{CT} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + \\ 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 262 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{CS} + 28.987 \theta_{CB} + \\ 242.788 \theta_{CT} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} + \\ \sigma_2^- - 92.852 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{CS} + 490 \theta_{CB} + \\ 19.489 \theta_{CT} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} + \\ \sigma_3^- - 8.358 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{CS} + 46.147 \theta_{CB} + \\ 169.609 \theta_{CT} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\ \sigma_1^+ - 54.697 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{CS} + 1.907 \theta_{CB} + \\ 10.445 \theta_{CT} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\ \sigma_2^+ - 4.497 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{CS} + 14.514 \theta_{CB} + \\ 168.525 \theta_{CT} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\ \sigma_3^+ - 38.813 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\ \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{BS} = 2,007, \mu = 2,0053$$

$$\theta_{AK} = 0,0574, \theta_{BT} = 0,5665, \theta_{KO} = 0,0106, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AS}, \theta_{BS},$$

$$\theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{MD}, \theta_{NH} = 0$$

$$\sigma_2^+ = 4.013,052, \sigma_3^+ = 13.513,74, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+ = 0$$

Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. (BS)'nin çıktıya yönelik göreceli etkinlik değeri (F_{BS}), 2,007 ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı (μ), 2,0053'tür. Bu durumda da BS gözlem kümesi içerisinde göreceli ekinliğe sahip değildir. Şirketin göreceli etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Akçansa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (AK), Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT), ve Konya Çimento Sanayii

A.Ş. (KO) olmaktadır. AK'ya ilişkin yoğunluk değeri (θ_{AK}), 0,0574, BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (θ_{BT}), 0,5665 ve KO'nun aldığı yoğunluk değeri (θ_{KO}) ise, 0,0106'dır. B.S.'nin dönem net karına ilişkin aldığı serbestlik değeri (σ_2^+), 4.013,052 ve piyasa değerine ilişkin aldığı serbestlik değeri (σ_3^+) ise 13.513,74'tür. BS çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ AK ; BT ; KO \}$$

BS çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. BS için belirlenecek olan referans (sanal) girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1AK}, X_{2AK}, X_{3AK}) \cdot \theta_{AK} + (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (X_{1KO}, X_{2KO}, X_{3KO}) \cdot \theta_{KO} \\ &= (483, 554.775, 37.047) \cdot 0,0574 + (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,5665 \\ &\quad + (137, 73.166, 15.883) \cdot 0,0106 = (262, 92.850, 8.358) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1AK}, Y_{2AK}, Y_{3AK}) \cdot \theta_{AK} + (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (Y_{1KO}, Y_{2KO}, Y_{3KO}) \cdot \theta_{KO} \\ &= (283.118, 35.748, 166.476) \cdot 0,0574 + (163.635, 19.064, 142.800) \cdot \\ &\quad 0,5665 + (69.267, 16.879, 84.311) \cdot 0,0106 = (109.684, 13.031, \\ &\quad 91.346) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, belirli olan girdi düzeyi ile üretilebilecek maksimum çıktı düzeyinin elde edilebilmesi, yani BS çimento şirketinin çıktıya yönelik olarak görece etkin hale gelebilmesi için çıktı değerlerinin ortalama 2 katına çıkarılması gerekmektedir.

BS'nin görece olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.7'**de gösterilmektedir.

Tablo 3.7 Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Batısöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	262	262	0
Net İşletme Sermayesi	92.852	92.850	(2)
Stoklar	8.358	8.358	0
Çıktılar			
Net Satışlar	54.697	109.684	54.987
Dönem Net Karı	4.497	13.031	8.534
Piyasa Değeri	38.813	91.346	52.533

2.4.7. Bolu Çimento Sanayii A.Ş. (BO):

2.4.7.1. B.O. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{BO} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 295 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + s_2^- - 115.553 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + s_3^- - 9.739 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - s_1^+ - 104.339 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - s_2^+ - 16.404 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - s_3^+ - 131.241 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{BO} = 0,879, \alpha = 0,879$$

$$\lambda_{BT} = 0,4127, \lambda_{CS} = 0,0933, \lambda_{KO} = 0,0075, \lambda_{NH} = 0,0995, \lambda_{AD},$$

$$\lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{MD} = 0$$

$$s_2^+ = 194,1324, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_3^+ = 0$$

Bolu Çimento Sanayii A.Ş. (BO)'nin görelî etkinlik değeri, (E_{BO}), 0,879 ve girdiye yönelik büzülme katsayısı (α), 0,879 'dur. Bu durumda BO gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip değildir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT), Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS), Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO) ve Nuh Çimento

Sanayi A.Ş. (NH) olmaktadır. BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (λ_{BT}), 0,4127, ÇS'nin aldığı yoğunluk değeri ($\lambda_{ÇS}$), 0,0933, KO'nun aldığı yoğunluk değeri (λ_{KO}), 0,0075 ve NH'nin aldığı yoğunluk değeri (λ_{NH}) ise 0,0995'tir. BO'nun dönem net karına ilişkin serbestlik değeri (s_2^+), 194,1324'tür. BO çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ BT ; \text{ÇS} ; KO ; NH \}$$

BO çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. BO için belirlenecek olan referans girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (X_{1ÇS}, X_{2ÇS}, X_{3ÇS}) \cdot \lambda_{ÇS} + (X_{1KO}, X_{2KO}, X_{3KO}) \cdot \lambda_{KO} \\ &\quad + (X_{1NH}, X_{2NH}, X_{3NH}) \cdot \lambda_{NH} \\ &= (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,4127 + (489, 433.747, 30.242) \cdot 0,0933 \\ &\quad + (137, 73.166, 15.883) \cdot 0,0075 + (432, 167.364, 12.073) \cdot 0,0995 \\ &= (259, 101.548, 8.559) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (Y_{1ÇS}, Y_{2ÇS}, Y_{3ÇS}) \cdot \lambda_{ÇS} + (Y_{1KO}, Y_{2KO}, Y_{3KO}) \cdot \lambda_{KO} \\ &\quad + (Y_{1NH}, Y_{2NH}, Y_{3NH}) \cdot \lambda_{NH} \\ &= (163.635, 19.064, 142.800) \cdot 0,4127 + (242.201, 68.651, 415.471) \cdot \\ &\quad 0,0933 + (69.267, 16.879, 84.311) \cdot 0,0075 + (137.400, 22.063, \\ &\quad 330.470) \cdot 0,0995 = (104.320, 16.595, 131.211) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, BO'nun girdiye yönelik olarak etkin hale gelebilmesi için mevcut girdi miktarlarının ortalama % 88'inin kullanılması gerekmektedir. Girdiye ait atıl değerlerin ve çıktıya ait serbestlik değerlerin var olması nedeniyle BO'nun çıktı değerleri değişmektedir.

BO'nun görel olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.8**'de gösterilmektedir.

Tablo 3.8 Bolu Çimento Sanayii A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Bolu Çimento Sanayii A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	295	259	(36)
Net İşletme Sermayesi	115.553	101.548	(14.005)
Stoklar	9.739	8.559	(1.180)
Çıktılar			
Net Satışlar	104.339	104.320	(19)
Dönem Net Karı	16.404	16.595	191
Piyasa Değeri	131.241	131.211	(30)

2.4.7.2. B.O. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{BO} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 295 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 115.553 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 9.739 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \sigma_1^+ - 104.339 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \sigma_2^+ - 16.404 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \sigma_3^+ - 131.241 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{BO} = 1,1377, \mu = 1,1377$$

$$\theta_{BT} = 0,4696, \theta_{\text{ÇS}} = 0,1062, \theta_{KO} = 0,0085, \theta_{NH} = 0,1132, \theta_{AD},$$

$$\theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{GT}, \theta_{MD} = 0$$

$$\sigma_2^+ = 220,8582, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_3^+ = 0$$

Bolu Çimento Sanayii A.Ş. (BO)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri, (F_{BO}), 1,1377 ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı (μ), 1,1377'dir. Bu durumda da BO gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip değildir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri girdiye yönelik VZA sonuçlarında da olduğu gibi, Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT), Çimsa Çimento

Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS), Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO) ve Nuh Çimento Sanayi A.Ş. (NH) olmaktadır. BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (θ_{BT}), 0,4696, ÇS'nin aldığı yoğunluk değeri ($\theta_{ÇS}$), 0,1062, KO'nun aldığı yoğunluk değeri (θ_{KO}), 0,0085 ve NH'nin aldığı yoğunluk değeri (θ_{NH}) ise 0,1132'dir. BO'nun dönem net karına ilişkin serbestlik değeri (σ_2^+), 220,8582'dir. BO çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ BT ; \text{ÇS} ; KO ; NH \}$$

BO çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. BO için belirlenecek olan referans girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (X_{1ÇS}, X_{2ÇS}, X_{3ÇS}) \cdot \theta_{ÇS} + (X_{1KO}, X_{2KO}, X_{3KO}) \cdot \theta_{KO} \\ &\quad + (X_{1NH}, X_{2NH}, X_{3NH}) \cdot \theta_{NH} \\ &= (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,4696 + (489, 433.747, 30.242) \cdot 0,1062 \\ &\quad + (137, 73.166, 15.883) \cdot 0,0085 + (432, 167.364, 12.073) \cdot 0,1132 \\ &= (295, 115.559, 9.739) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (Y_{1ÇS}, Y_{2ÇS}, Y_{3ÇS}) \cdot \theta_{ÇS} + (Y_{1KO}, Y_{2KO}, Y_{3KO}) \cdot \theta_{KO} \\ &\quad + (Y_{1NH}, Y_{2NH}, Y_{3NH}) \cdot \theta_{NH} \\ &= (163.635, 19.064, 142.800) \cdot 0,4696 + (242.201, 68.651, 415.471) \\ &\quad \cdot 0,1062 + (69.267, 16.879, 84.311) \cdot 0,0085 + (137.400, 22.063, \\ &\quad 330.470) \cdot 0,1132 = (118.707, 18.884, 149.307) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, belirli olan girdi düzeyi ile üretilebilecek maksimum çıktı düzeyinin elde edilebilmesi, yani BO çimento şirketinin çıktıya yönelik olarak görece etkin hale gelebilmesi için çıktı miktarlarının yaklaşık 1,14 katına çıkarılması gerekmektedir.

BO'nun görece olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.9'** da gösterilmektedir.

Tablo 3.9 Bolu Çimento Sanayii A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Bolu Çimento Sanayii A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	295	295	0
Net İşletme Sermayesi	115.553	115.559	6
Stoklar	9.739	9.739	0
Çıktılar			
Net Satışlar	104.339	118.707	14.368
Dönem Net Karı	16.404	18.884	2.480
Piyasa Değeri	131.241	149.307	18.066

2.4.8. Bursa Çimento Fabrikası A.Ş. (BU):

2.4.8.1. B.U. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{BU} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + \\ 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 293 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + \\ 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + \\ s_2^- - 56.100 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 11.822 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 74.559 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 7.036 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + \\ 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 186.941 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{BU} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{BU} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Bursa Çimento Fabrikası A.Ş. (BU)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. BU çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve BU'nun girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. BU'nun girdilerine ait atıl değeri

ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{BU} \}$$

2.4.8.2. B.U. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{\text{BU}} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{\text{AD}} + 126 \theta_{\text{AF}} + 483 \theta_{\text{AK}} + 278 \theta_{\text{AS}} + 411 \theta_{\text{BT}} + 262 \theta_{\text{BS}} + 295 \theta_{\text{BO}} + \\ 293 \theta_{\text{BU}} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 293 = 0$$

$$216.466 \theta_{\text{AD}} + 8.822 \theta_{\text{AF}} + 554.775 \theta_{\text{AK}} + 50.241 \theta_{\text{AS}} + 106.320 \theta_{\text{BT}} + \\ 92.852 \theta_{\text{BS}} + 115.553 \theta_{\text{BO}} + 56.100 \theta_{\text{BU}} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 56.100 = 0$$

$$16.314 \theta_{\text{AD}} + 3.831 \theta_{\text{AF}} + 37.047 \theta_{\text{AK}} + 4.774 \theta_{\text{AS}} + 10.702 \theta_{\text{BT}} + \\ 8.358 \theta_{\text{BS}} + 9.739 \theta_{\text{BO}} + 11.822 \theta_{\text{BU}} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 11.822 = 0$$

$$149.164 \theta_{\text{AD}} + 23.831 \theta_{\text{AF}} + 283.118 \theta_{\text{AK}} + 70.667 \theta_{\text{AS}} + 163.635 \theta_{\text{BT}} + \\ 54.697 \theta_{\text{BS}} + 104.339 \theta_{\text{BO}} + 74.559 \theta_{\text{BU}} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{\text{GT}} + 69.267 \theta_{\text{KO}} + 60.682 \theta_{\text{MD}} + 137.400 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_1^+ - 74.559 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{\text{GT}} + 16.879 \theta_{\text{KO}} + 15.223 \theta_{\text{MD}} + 22.063 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_2^+ - 7.036 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{\text{GT}} + 84.311 \theta_{\text{KO}} + 130.860 \theta_{\text{MD}} + 330.470 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_3^+ - 186.941 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}}, \\ \theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{BU} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{BU} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}},$$

$$\theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Bursa Çimento Fabrikası A.Ş. (BU)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. BU çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğerkarar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisine ve çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. BU'nun girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ BU \}$$

2.4.9. Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş.:

2.4.9.1. Ç.S. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{\text{ÇS}} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{\text{AD}} + 126 \lambda_{\text{AF}} + 483 \lambda_{\text{AK}} + 278 \lambda_{\text{AS}} + 411 \lambda_{\text{BT}} + 262 \lambda_{\text{BS}} + 295 \lambda_{\text{BO}} + \\ 293 \lambda_{\text{BU}} + 489 \lambda_{\text{ÇS}} + 230 \lambda_{\text{ÇB}} + 605 \lambda_{\text{ÇT}} + 464 \lambda_{\text{GT}} + 137 \lambda_{\text{KO}} + 224 \lambda_{\text{MD}} + \\ 432 \lambda_{\text{NH}} + s_1^- - 489 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{\text{AD}} + 8.822 \lambda_{\text{AF}} + 554.775 \lambda_{\text{AK}} + 50.241 \lambda_{\text{AS}} + 106.320 \lambda_{\text{BT}} + \\ 92.852 \lambda_{\text{BS}} + 115.553 \lambda_{\text{BO}} + 56.100 \lambda_{\text{BU}} + 433.747 \lambda_{\text{ÇS}} + 28.987 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \lambda_{\text{ÇT}} + 66.591 \lambda_{\text{GT}} + 73.166 \lambda_{\text{KO}} + 61.418 \lambda_{\text{MD}} + 167.364 \lambda_{\text{NH}} + \\ s_2^- - 433.747 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{\text{AD}} + 3.831 \lambda_{\text{AF}} + 37.047 \lambda_{\text{AK}} + 4.774 \lambda_{\text{AS}} + 10.702 \lambda_{\text{BT}} + \\ 8.358 \lambda_{\text{BS}} + 9.739 \lambda_{\text{BO}} + 11.822 \lambda_{\text{BU}} + 30.242 \lambda_{\text{ÇS}} + 490 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \lambda_{\text{ÇT}} + 7.746 \lambda_{\text{GT}} + 15.883 \lambda_{\text{KO}} + 4.751 \lambda_{\text{MD}} + 12.073 \lambda_{\text{NH}} + \\ s_3^- - 30.242 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{\text{AD}} + 23.831 \lambda_{\text{AF}} + 283.118 \lambda_{\text{AK}} + 70.667 \lambda_{\text{AS}} + 163.635 \lambda_{\text{BT}} + \\ 54.697 \lambda_{\text{BS}} + 104.339 \lambda_{\text{BO}} + 74.559 \lambda_{\text{BU}} + 242.201 \lambda_{\text{ÇS}} + 46.147 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \lambda_{\text{ÇT}} + 73.024 \lambda_{\text{GT}} + 69.267 \lambda_{\text{KO}} + 60.682 \lambda_{\text{MD}} + 137.400 \lambda_{\text{NH}} - \\ s_1^+ - 242.201 = 0$$

$$25.263 \lambda_{\text{AD}} + 1.442 \lambda_{\text{AF}} + 35.748 \lambda_{\text{AK}} + 7.839 \lambda_{\text{AS}} + 19.064 \lambda_{\text{BT}} + \\ 4.497 \lambda_{\text{BS}} + 16.404 \lambda_{\text{BO}} + 7.036 \lambda_{\text{BU}} + 68.651 \lambda_{\text{ÇS}} + 1.907 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \lambda_{\text{ÇT}} + 14.379 \lambda_{\text{GT}} + 16.879 \lambda_{\text{KO}} + 15.223 \lambda_{\text{MD}} + 22.063 \lambda_{\text{NH}} - \\ s_2^+ - 68.651 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - s_3^+ - 415.471 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{CS} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{CS} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. ÇS çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve ÇS'nin girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. ÇS'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{ÇS} \}$$

2.4.9.2. Ç.S. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{CS} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{CS} + 230 \theta_{CB} + 605 \theta_{CT} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 489 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{\zeta S} + 28.987 \theta_{\zeta B} + \\ 242.788 \theta_{\zeta T} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} + \\ \sigma_2^- - 433.747 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{\zeta S} + 490 \theta_{\zeta B} + \\ 19.489 \theta_{\zeta T} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} + \\ \sigma_3^- - 30.242 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\zeta S} + 46.147 \theta_{\zeta B} + \\ 169.609 \theta_{\zeta T} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\ \sigma_1^+ - 242.201 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\zeta S} + 1.907 \theta_{\zeta B} + \\ 10.445 \theta_{\zeta T} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\ \sigma_2^+ - 68.651 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\zeta S} + 14.514 \theta_{\zeta B} + \\ 168.525 \theta_{\zeta T} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\ \sigma_3^+ - 415.472 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\zeta S}, \theta_{\zeta B}, \theta_{\zeta T}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\ \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{\text{ÇS}} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{\text{ÇS}} = 1, \theta_{\text{AD}}, \theta_{\text{AF}}, \theta_{\text{AK}}, \theta_{\text{AS}}, \theta_{\text{BT}}, \theta_{\text{BS}}, \theta_{\text{BO}}, \theta_{\text{BU}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}},$$

$$\theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. ÇS çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğ er karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğ e sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve ÇS'nin çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. ÇS'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{ÇS} \}$$

2.4.10. Çimbeton Hazır beton ve Pre.Yapı Elem. San.ve T.A.Ş. (ÇB):

2.4.10.1. Ç.B. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{\text{ÇB}} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{\text{AD}} + 126 \lambda_{\text{AF}} + 483 \lambda_{\text{AK}} + 278 \lambda_{\text{AS}} + 411 \lambda_{\text{BT}} + 262 \lambda_{\text{BS}} + 295 \lambda_{\text{BO}} +$$

$$293 \lambda_{\text{BU}} + 489 \lambda_{\text{ÇS}} + 230 \lambda_{\text{ÇB}} + 605 \lambda_{\text{ÇT}} + 464 \lambda_{\text{GT}} + 137 \lambda_{\text{KO}} + 224 \lambda_{\text{MD}} +$$

$$432 \lambda_{\text{NH}} + s_1^- - 230 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{\text{AD}} + 8.822 \lambda_{\text{AF}} + 554.775 \lambda_{\text{AK}} + 50.241 \lambda_{\text{AS}} + 106.320 \lambda_{\text{BT}} +$$

$$92.852 \lambda_{\text{BS}} + 115.553 \lambda_{\text{BO}} + 56.100 \lambda_{\text{BU}} + 433.747 \lambda_{\text{ÇS}} + 28.987 \lambda_{\text{ÇB}} +$$

$$242.788 \lambda_{\text{ÇT}} + 66.591 \lambda_{\text{GT}} + 73.166 \lambda_{\text{KO}} + 61.418 \lambda_{\text{MD}} + 167.364 \lambda_{\text{NH}} +$$

$$s_2^- - 28.987 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + s_3^- - 490 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - s_1^+ - 46.147 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - s_2^+ - 1.907 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - s_3^+ - 14.514 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{CB} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{CB} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Çimbeton Hazırbeton ve Pre.Yapı Elem. San.ve T.A.Ş. (ÇB)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. ÇB çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisine ve girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. ÇB'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{ÇB} \}$$

2.4.10.2. Ç.B. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{\text{ÇB}} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{\text{AD}} + 126 \theta_{\text{AF}} + 483 \theta_{\text{AK}} + 278 \theta_{\text{AS}} + 411 \theta_{\text{BT}} + 262 \theta_{\text{BS}} + 295 \theta_{\text{BO}} + \\ 293 \theta_{\text{BU}} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 230 = 0$$

$$216.466 \theta_{\text{AD}} + 8.822 \theta_{\text{AF}} + 554.775 \theta_{\text{AK}} + 50.241 \theta_{\text{AS}} + 106.320 \theta_{\text{BT}} + \\ 92.852 \theta_{\text{BS}} + 115.553 \theta_{\text{BO}} + 56.100 \theta_{\text{BU}} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 28.987 = 0$$

$$16.314 \theta_{\text{AD}} + 3.831 \theta_{\text{AF}} + 37.047 \theta_{\text{AK}} + 4.774 \theta_{\text{AS}} + 10.702 \theta_{\text{BT}} + \\ 8.358 \theta_{\text{BS}} + 9.739 \theta_{\text{BO}} + 11.822 \theta_{\text{BU}} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 490 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{\text{GT}} + 69.267 \theta_{\text{KO}} + 60.682 \theta_{\text{MD}} + 137.400 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_1^+ - 46.147 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{\text{GT}} + 16.879 \theta_{\text{KO}} + 15.223 \theta_{\text{MD}} + 22.063 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_2^+ - 1.907 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{\text{GT}} + 84.311 \theta_{\text{KO}} + 130.860 \theta_{\text{MD}} + 330.470 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_3^+ - 14.514 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}}, \\ \theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{\text{ÇB}} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{\text{ÇB}} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}},$$

$$\theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Çimbeton Hazır beton ve Pre. Yapı Elem. San. ve T.A.Ş. (ÇB)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. ÇB çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisine ve çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. ÇB'nin girdilerine ait atıl

değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{ÇB} \}$$

2.4.11. Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. (ÇT):

2.4.11.1. Ç.T. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{\text{ÇT}} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{\text{AD}} + 126 \lambda_{\text{AF}} + 483 \lambda_{\text{AK}} + 278 \lambda_{\text{AS}} + 411 \lambda_{\text{BT}} + 262 \lambda_{\text{BS}} + 295 \lambda_{\text{BO}} + \\ 293 \lambda_{\text{BU}} + 489 \lambda_{\text{ÇS}} + 230 \lambda_{\text{ÇB}} + 605 \lambda_{\text{ÇT}} + 464 \lambda_{\text{GT}} + 137 \lambda_{\text{KO}} + 224 \lambda_{\text{MD}} + \\ 432 \lambda_{\text{NH}} + s_1^- - 605 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{\text{AD}} + 8.822 \lambda_{\text{AF}} + 554.775 \lambda_{\text{AK}} + 50.241 \lambda_{\text{AS}} + 106.320 \lambda_{\text{BT}} + \\ 92.852 \lambda_{\text{BS}} + 115.553 \lambda_{\text{BO}} + 56.100 \lambda_{\text{BU}} + 433.747 \lambda_{\text{ÇS}} + 28.987 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \lambda_{\text{ÇT}} + 66.591 \lambda_{\text{GT}} + 73.166 \lambda_{\text{KO}} + 61.418 \lambda_{\text{MD}} + 167.364 \lambda_{\text{NH}} + \\ s_2^- - 242.788 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{\text{AD}} + 3.831 \lambda_{\text{AF}} + 37.047 \lambda_{\text{AK}} + 4.774 \lambda_{\text{AS}} + 10.702 \lambda_{\text{BT}} + \\ 8.358 \lambda_{\text{BS}} + 9.739 \lambda_{\text{BO}} + 11.822 \lambda_{\text{BU}} + 30.242 \lambda_{\text{ÇS}} + 490 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \lambda_{\text{ÇT}} + 7.746 \lambda_{\text{GT}} + 15.883 \lambda_{\text{KO}} + 4.751 \lambda_{\text{MD}} + 12.073 \lambda_{\text{NH}} + \\ s_3^- - 19.489 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{\text{AD}} + 23.831 \lambda_{\text{AF}} + 283.118 \lambda_{\text{AK}} + 70.667 \lambda_{\text{AS}} + 163.635 \lambda_{\text{BT}} + \\ 54.697 \lambda_{\text{BS}} + 104.339 \lambda_{\text{BO}} + 74.559 \lambda_{\text{BU}} + 242.201 \lambda_{\text{ÇS}} + 46.147 \lambda_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \lambda_{\text{ÇT}} + 73.024 \lambda_{\text{GT}} + 69.267 \lambda_{\text{KO}} + 60.682 \lambda_{\text{MD}} + 137.400 \lambda_{\text{NH}} - \\ s_1^+ - 169.609 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 10.445 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + \\ 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 168.525 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{CT} = 0,6706, \alpha = 0,6734$$

$$\lambda_{AK} = 0,0241, \lambda_{BT} = 0,832, \lambda_{CS} = 0,11, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS},$$

$$\lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_2^- = 13.950,5, s_2^+ = 13.829,37, s_1^-, s_3^-, s_1^+, s_3^+ = 0$$

Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. (Ç.T.)'nin görelî etkinlik değeri (E_{CT}), 0,6706 ve girdiye yönelik büzülme katsayısı (α), 0,6734'tür. Bu durumda ÇT gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip değildir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Akçansa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (AK), Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT) ve Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS) olmaktadır. AK'nin aldığı yoğunluk değeri (λ_{AK}), 0,0241, BT'ye ilişkin yoğunluk değeri (λ_{BT}), 0,832 ve ÇS'nin aldığı yoğunluk değeri (λ_{CS}), 0,11'dir. ÇT'nin net işletme sermayesine ilişkin atıl değer (s_2), 13.950,5, dönem net karına ilişkin serbestlik değeri

(s_2^+), 13.829,37'dir. ÇT çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ \text{AK} ; \text{BT} ; \text{ÇS} \}$$

ÇT çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. ÇT için belirlenecek olan referans girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1AK}, X_{2AK}, X_{3AK}) \cdot \lambda_{AK} + (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (X_{1ÇS}, X_{2ÇS}, X_{3ÇS}) \cdot \lambda_{ÇS} \\ &= (483, 554.775, 37.047) \cdot 0,0241 + (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,832 + \\ &\quad (489, 433.747, 30.242) \cdot 0,11 = (407, 149.540, 13.124) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1AK}, Y_{2AK}, Y_{3AK}) \cdot \lambda_{AK} + (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (Y_{1ÇS}, Y_{2ÇS}, Y_{3ÇS}) \cdot \lambda_{ÇS} \\ &= (283.118, 35.748, 166.476) \cdot 0,0241 + (163.635, 19.064, 142.800) \\ &\quad \cdot 0,832 + (242.201, 68.651, 415.471) \cdot 0,11 = (169.609, 24.274, \\ &\quad 168.524) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, ÇT'nin girdiye yönelik olarak etkin hale gelebilmesi için mevcut girdi miktarlarının ortalama % 67'sinin kullanılması gerekmektedir. Girdiye ait atıl değerlerin ve çıktıya ait serbestlik değerlerin var olması nedeniyle ÇT'nin çıktı değerleri değişmektedir.

ÇT'nin görelî olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.10'**da gösterilmektedir.

Tablo 3.10 Çimentoş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Çimentoş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	605	407	(198)
Net İşletme Sermayesi	242.788	149.540	(93.248)
Stoklar	19.489	13.124	(6.365)
Çıktılar			
Net Satışlar	169.609	169.609	0
Dönem Net Karı	10.445	24.274	13.829
Piyasa Değeri	168.525	168.524	(1)

2.4.11.2. Ç.T. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{\text{ÇT}} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{\text{AD}} + 126 \theta_{\text{AF}} + 483 \theta_{\text{AK}} + 278 \theta_{\text{AS}} + 411 \theta_{\text{BT}} + 262 \theta_{\text{BS}} + 295 \theta_{\text{BO}} + \\ 293 \theta_{\text{BU}} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 605 = 0$$

$$216.466 \theta_{\text{AD}} + 8.822 \theta_{\text{AF}} + 554.775 \theta_{\text{AK}} + 50.241 \theta_{\text{AS}} + 106.320 \theta_{\text{BT}} + \\ 92.852 \theta_{\text{BS}} + 115.553 \theta_{\text{BO}} + 56.100 \theta_{\text{BU}} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 242.788 = 0$$

$$16.314 \theta_{\text{AD}} + 3.831 \theta_{\text{AF}} + 37.047 \theta_{\text{AK}} + 4.774 \theta_{\text{AS}} + 10.702 \theta_{\text{BT}} + \\ 8.358 \theta_{\text{BS}} + 9.739 \theta_{\text{BO}} + 11.822 \theta_{\text{BU}} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 19.489 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{CS} + 46.147 \theta_{CB} + \\ 169.609 \theta_{CT} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\ \sigma_1^+ - 169.609 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{CS} + 1.907 \theta_{CB} + \\ 10.445 \theta_{CT} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\ \sigma_2^+ - 10.445 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{CS} + 14.514 \theta_{CB} + \\ 168.525 \theta_{CT} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\ \sigma_3^+ - 168.525 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\ \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{CT} = 1,4892, \mu = 1,4851$$

$$\theta_{AK} = 0,0358, \theta_{BT} = 1,2356, \theta_{CS} = 0,1634, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS},$$

$$\theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{MD} = 0$$

$$\sigma_2^- = 20.717,64, \sigma_2^+ = 20.537,76, \sigma_1^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_3^+ = 0$$

Çimentoş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. (ÇT)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri (F_{CT}), 1,4892 ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı (μ), 1,4851'dir. Bu durumda da ÇT gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip değildir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri girdiye yönelik VZA sonuçlarında da olduğu gibi, Akçansa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (AK), Batıçim Batı

Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT) ve Çimsa Çimento Sanayi ve T.A.Ş. (ÇS) olmaktadır. AK'ya ilişkin yoğunluk değeri (θ_{AK}), 0,0358 , BT'nin aldığı yoğunluk değeri (θ_{BT}), 1,2356 , ÇS'nin aldığı yoğunluk değeri ($\theta_{ÇS}$), 0,1634'tür. ÇT'nin net işletme sermayesine ilişkin aldığı atıl değer (σ_2^-), 20.717,64 ve dönem net karına ilişkin serbestlik değeri (σ_2^+), ise 20.537,76'dır. ÇT çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ AK ; BT ; ÇS \}$$

ÇT çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. ÇT için belirlenecek olan referans (sanal) girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1AK}, X_{2AK}, X_{3AK}) \cdot \theta_{AK} + (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (X_{1ÇS}, X_{2ÇS}, X_{3ÇS}) \cdot \theta_{ÇS} \\ &= (483, 554.775, 37.047) \cdot 0,0358 + (411, 106.320, 10.702) \cdot 1,2356 + \\ &\quad (489, 433.747, 30.242) \cdot 0,1634 = (605, 222.104, 19.491) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1AK}, Y_{2AK}, Y_{3AK}) \cdot \theta_{AK} + (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (Y_{1ÇS}, Y_{2ÇS}, Y_{3ÇS}) \cdot \theta_{ÇS} \\ &= (283.118, 35.748, 166.476) \cdot 0,0358 + (163.635, 19.064, 142.800) \\ &\quad \cdot 1,2356 + (242.201, 68.651, 415.471) \cdot 0,1634 = (251.899, 36.053 \\ &\quad , 250.292) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, belirli olan girdi düzeyi ile üretilebilecek maksimum çıktı düzeyinin elde edilebilmesi, yani ÇT çimento şirketinin çıktıya yönelik olarak görece etkin hale gelebilmesi için çıktı miktarlarının yaklaşık 1,49 katına çıkarılması gerekmektedir.

ÇT'nin görece olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.11**'de gösterilmektedir.

Tablo 3.11 Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	605	605	0
Net İşletme Sermayesi	242.788	222.104	(20.684)
Stoklar	19.489	19.491	2
Çıktılar			
Net Satışlar	169.609	251.899	82.290
Dönem Net Karı	10.445	36.053	25.608
Piyasa Değeri	168.525	250.292	81.767

2.4.12. Göltaş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş. (GT):

2.4.12.1. G.T. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{GT} = \text{Minimum } \alpha - \epsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} +$$

$$293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} +$$

$$432 \lambda_{NH} + s_1^- - 464 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} +$$

$$92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} +$$

$$242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} +$$

$$s_2^- - 66.591 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} +$$

$$8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} +$$

$$19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} +$$

$$s_3^- - 7.746 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 73.024 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 14.379 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + \\ 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 53.280 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{GT} = 0,9087, \alpha = 0,9166$$

$$\lambda_{AF} = 0,7334, \lambda_{BT} = 0,0279, \lambda_{MD} = 0,8402, \lambda_{AD}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS},$$

$$\lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^- = 133,2234, s_3^+ = 79.040,35, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+ = 0$$

Göлтаş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş. (GT)'nin görelî etkinlik değeri, (E_{GT}), 0,9087 ve girdiye yönelik büzülme katsayısı (α), 0,9166'dır. Bu durumda GT gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip değildir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Afyon Çimento Sanayii T.A.Ş. (AF), Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT) ve Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD) olmaktadır. AF'nin aldığı yoğunluk değeri (λ_{AF}), 0,7334, BT'ye ilişkin

yoğunluk değeri (λ_{BT}), 0,0279 ve MD'nin aldığı yoğunluk değeri (λ_{MD}), 0,8402'dir. GT'nin personel sayısına ilişkin aldığı atıl değer (s_1^-), 133,2234, piyasa değerine ilişkin serbestlik değeri (s_3^+), 79.040,35'tir. GT çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ \text{AF} ; \text{BT} ; \text{MD} \}$$

GT çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. GT için belirlenecek olan referans girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1AF}, X_{2AF}, X_{3AF}) \cdot \lambda_{AF} + (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (X_{1MD}, X_{2MD}, X_{3MD}) \cdot \lambda_{MD} \\ &= (126, 8.822, 3.831) \cdot 0,7334 + (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,0279 + \\ &\quad (224, 61.418, 4.751) \cdot 0,8402 = (292, 61.040, 7.100) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1AF}, Y_{2AF}, Y_{3AF}) \cdot \lambda_{AF} + (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \lambda_{BT} + (Y_{1MD}, Y_{2MD}, Y_{3MD}) \cdot \lambda_{MD} \\ &= (23.831, 1.442, 25.080) \cdot 0,7334 + (163.635, 19.064, 142.800) \cdot \\ &\quad 0,0279 + (60.682, 15.223, 130.860) \cdot 0,8402 = (73.028, 14.380, \\ &\quad 132.326) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, GT'nin girdiye yönelik olarak etkin hale gelebilmesi için mevcut girdi miktarlarının ortalama % 91'inin kullanılması gerekmektedir. Girdiye ait atıl değerlerin ve çıktıya ait serbestlik değerlerin var olması nedeniyle GT'nin çıktı değerleri değişmektedir.

GT'nin görel olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.12**'de gösterilmektedir.

Tablo 3.12 Göлтаş Gölter Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş. Girdiye Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Göлтаş Gölter Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	464	292	(172)
Net İşletme Sermayesi	66.591	61.040	(5.551)
Stoklar	7.746	7.100	(646)
Çıktılar			
Net Satışlar	73.024	73.028	4
Dönem Net Karı	14.379	14.380	1
Piyasa Değeri	53.280	132.326	79.046

2.4.12.2. G.T. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{GT} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} + \\ 293 \theta_{BU} + 489 \theta_{ÇS} + 230 \theta_{ÇB} + 605 \theta_{ÇT} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} + \\ 432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 464 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} + \\ 92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{ÇS} + 28.987 \theta_{ÇB} + \\ 242.788 \theta_{ÇT} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} + \\ \sigma_2^- - 66.591 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} + \\ 8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{ÇS} + 490 \theta_{ÇB} + \\ 19.489 \theta_{ÇT} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} + \\ \sigma_3^- - 7.746 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} - \\ \sigma_1^+ - 73.024 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} - \\ \sigma_2^+ - 14.379 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} - \\ \sigma_3^+ - 53.280 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \\ \theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{GT} = 1,0996, \mu = 1,0910$$

$$\theta_{AF} = 0,8002, \theta_{BT} = 0,0304, \theta_{MD} = 0,9166, \theta_{AD}, \theta_{AK}, \theta_{AS},$$

$$\theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{GT}, \theta_{KO}, \theta_{NH}, = 0$$

$$\sigma_1^- = 145,3481, \sigma_3^+ = 86.233,84, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+ = 0$$

Göлтаş Göller Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş. (GT)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri (F_{GT}), 1,0996 ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı (μ), 1,091'dir. Bu durumda da GT gözlem kümesi içerisinde görelî ekinliğe sahip değildir. Şirketin görelî etkinliğe ulaşmasında referans oluşturacak çimento şirketleri, Afyon Çimento Sanayii

T.A.Ş. (AF), Batıçim Batı Anadolu Çimento Sanayii A.Ş. (BT) ve Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD) olmaktadır. AF'ye ilişkin yoğunluk değeri (θ_{AF}), 0,8002, BT'nin aldığı yoğunluk değeri (θ_{BT}), 0,0304 ve MD'nin aldığı yoğunluk değeri (θ_{MD}), 0,9166'dır. GT'nin personel sayısına ilişkin aldığı atıl değer (σ_1^-), 145,3481 ve piyasa değerine ilişkin serbestlik değeri (σ_3^+), ise 86.233,84'tür. GT çimento şirketinin referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans Kümesi} = \{ AF ; BT ; MD \}$$

GT çimento şirketinin etkin hale getirilebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında, referans kümesindeki karar birimleri ve aldıkları yoğunluk değerleri kullanılarak, değişiklikler yapılması gerekmektedir. GT için belirlenecek olan referans (sanal) girdi ve çıktı değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned} \text{Sanal Girdiler} &= (X_{1AF}, X_{2AF}, X_{3AF}) \cdot \theta_{AF} + (X_{1BT}, X_{2BT}, X_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (X_{1MD}, X_{2MD}, X_{3MD}) \cdot \theta_{MD} \\ &= (126, 8.822, 3.831) \cdot 0,8002 + (411, 106.320, 10.702) \cdot 0,0304 + \\ &\quad (224, 61.418, 4.751) \cdot 0,9166 = (319, 66.587, 7.746) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sanal Çıktılar} &= (Y_{1AF}, Y_{2AF}, Y_{3AF}) \cdot \theta_{AF} + (Y_{1BT}, Y_{2BT}, Y_{3BT}) \cdot \theta_{BT} + (Y_{1MD}, Y_{2MD}, Y_{3MD}) \cdot \theta_{MD} \\ &= (23.831, 1.442, 25.080) \cdot 0,8002 + (163.635, 19.064, 142.800) \cdot \\ &\quad 0,0304 + (60.682, 15.223, 130.860) \cdot 0,9166 = (79.665, 15.687, \\ &\quad 144.356) \end{aligned}$$

Sanal olarak hesaplanan verilere göre, belirli olan girdi düzeyi ile üretilebilecek maksimum çıktı düzeyinin elde edilebilmesi, yani GT çimento şirketinin çıktıya yönelik olarak görece etkin hale gelebilmesi çıktı miktarları yaklaşık 1,1 katına çıkarılmalıdır.

GT'nin görece olarak etkin duruma gelebilmesi için girdi ve çıktı miktarlarında yapılması gereken değişiklikler **Tablo 3.13**'te gösterilmektedir.

Tablo 3.13 Göлтаş Gölle Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş. Çıktıya Yönelik VZA Değerleri

Girdiler	Göлтаş Gölle Bölgesi Çimento San. ve T.A.Ş.	Sanal Karar Birimi	Fark
Personel Sayısı	464	319	(145)
Net İşletme Sermayesi	66.591	66.587	(4)
Stoklar	7.746	7.746	0
Çıktılar			
Net Satışlar	73.024	79.665	6.641
Dönem Net Karı	14.379	15.687	1.308
Piyasa Değeri	53.280	144.356	91.076

2.4.13. Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO):

2.4.13.1. K.O. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{KO} = \text{Minimum } \alpha - \epsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + \\ 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 137 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + \\ 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + \\ s_2^- - 73.166 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 15.883 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 69.267 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 16.879 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + \\ 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 84.311 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{KO} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{KO} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT},$$

$$\lambda_{MD}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. KO çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisine ve girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk

değeri de 1'e eşit olmaktadır. KO'nun girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{KO} \}$$

2.4.13.2. K.O. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{\text{KO}} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{\text{AD}} + 126 \theta_{\text{AF}} + 483 \theta_{\text{AK}} + 278 \theta_{\text{AS}} + 411 \theta_{\text{BT}} + 262 \theta_{\text{BS}} + 295 \theta_{\text{BO}} + \\ 293 \theta_{\text{BU}} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 137 = 0$$

$$216.466 \theta_{\text{AD}} + 8.822 \theta_{\text{AF}} + 554.775 \theta_{\text{AK}} + 50.241 \theta_{\text{AS}} + 106.320 \theta_{\text{BT}} + \\ 92.852 \theta_{\text{BS}} + 115.553 \theta_{\text{BO}} + 56.100 \theta_{\text{BU}} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 73.166 = 0$$

$$16.314 \theta_{\text{AD}} + 3.831 \theta_{\text{AF}} + 37.047 \theta_{\text{AK}} + 4.774 \theta_{\text{AS}} + 10.702 \theta_{\text{BT}} + \\ 8.358 \theta_{\text{BS}} + 9.739 \theta_{\text{BO}} + 11.822 \theta_{\text{BU}} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 15.883 = 0$$

$$149.164 \theta_{\text{AD}} + 23.831 \theta_{\text{AF}} + 283.118 \theta_{\text{AK}} + 70.667 \theta_{\text{AS}} + 163.635 \theta_{\text{BT}} + \\ 54.697 \theta_{\text{BS}} + 104.339 \theta_{\text{BO}} + 74.559 \theta_{\text{BU}} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{\text{GT}} + 69.267 \theta_{\text{KO}} + 60.682 \theta_{\text{MD}} + 137.400 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_1^+ - 69.267 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{\text{GT}} + 16.879 \theta_{\text{KO}} + 15.223 \theta_{\text{MD}} + 22.063 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_2^+ - 16.879 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{\text{GT}} + 84.311 \theta_{\text{KO}} + 130.860 \theta_{\text{MD}} + 330.470 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_3^+ - 84.311 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}}, \\ \theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{\text{KO}} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{\text{KO}} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}},$$

$$\theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Konya Çimento Sanayii A.Ş. (KO)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. KO çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğêr karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve KO'nun çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. KO'nun girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{KO} \}$$

2.4.14. Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD):

2.4.14.1. M.D. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{MD} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} + \\ 293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} + \\ 432 \lambda_{NH} + s_1^- - 224 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} + \\ 92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} + \\ 242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} + \\ s_2^- - 61.418 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 4.751 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 60.682 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 15.223 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - s_3^+ - 130.860 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{MD} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{MD} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT},$$

$$\lambda_{KO}, \lambda_{NH} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. MD çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve MD'nin girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. MD'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ MD \}$$

2.4.14.2. M.D. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{MD} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{AD} + 126 \theta_{AF} + 483 \theta_{AK} + 278 \theta_{AS} + 411 \theta_{BT} + 262 \theta_{BS} + 295 \theta_{BO} +$$

$$293 \theta_{BU} + 489 \theta_{CS} + 230 \theta_{CB} + 605 \theta_{CT} + 464 \theta_{GT} + 137 \theta_{KO} + 224 \theta_{MD} +$$

$$432 \theta_{NH} + \sigma_1^- - 224 = 0$$

$$216.466 \theta_{AD} + 8.822 \theta_{AF} + 554.775 \theta_{AK} + 50.241 \theta_{AS} + 106.320 \theta_{BT} +$$

$$92.852 \theta_{BS} + 115.553 \theta_{BO} + 56.100 \theta_{BU} + 433.747 \theta_{CS} + 28.987 \theta_{CB} +$$

$$242.788 \theta_{CT} + 66.591 \theta_{GT} + 73.166 \theta_{KO} + 61.418 \theta_{MD} + 167.364 \theta_{NH} +$$

$$\sigma_2^- - 61.418 = 0$$

$$16.314 \theta_{AD} + 3.831 \theta_{AF} + 37.047 \theta_{AK} + 4.774 \theta_{AS} + 10.702 \theta_{BT} +$$

$$8.358 \theta_{BS} + 9.739 \theta_{BO} + 11.822 \theta_{BU} + 30.242 \theta_{CS} + 490 \theta_{CB} +$$

$$19.489 \theta_{CT} + 7.746 \theta_{GT} + 15.883 \theta_{KO} + 4.751 \theta_{MD} + 12.073 \theta_{NH} +$$

$$\sigma_3^- - 4.751 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} +$$

$$54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{CS} + 46.147 \theta_{CB} +$$

$$169.609 \theta_{CT} + 73.024 \theta_{GT} + 69.267 \theta_{KO} + 60.682 \theta_{MD} + 137.400 \theta_{NH} -$$

$$\sigma_1^+ - 60.682 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} +$$

$$4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{CS} + 1.907 \theta_{CB} +$$

$$10.445 \theta_{CT} + 14.379 \theta_{GT} + 16.879 \theta_{KO} + 15.223 \theta_{MD} + 22.063 \theta_{NH} -$$

$$\sigma_2^+ - 15.223 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} +$$

$$38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{CS} + 14.514 \theta_{CB} +$$

$$168.525 \theta_{CT} + 53.280 \theta_{GT} + 84.311 \theta_{KO} + 130.860 \theta_{MD} + 330.470 \theta_{NH} -$$

$$\sigma_3^+ - 130.860 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CS}, \theta_{CB}, \theta_{CT}, \theta_{GT}, \theta_{KO},$$

$$\theta_{MD}, \theta_{NH}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{MD} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{MD} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{CB}, \theta_{CS}, \theta_{CT}, \theta_{GT},$$

$$\theta_{KO}, \theta_{NH} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Mardin Çimento Sanayii ve T.A.Ş. (MD)'nin çıktıya yönelik görelî etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. MD çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve MD'nin çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. MD'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ MD \}$$

2.4.15. Nuh Çimento Sanayi A.Ş. (NH):

2.4.15.1. N.H. Girdiye yönelik VZA modeli:

$$E_{NH} = \text{Minimum } \alpha - \varepsilon (s_1^- + s_2^- + s_3^- + s_1^+ + s_2^+ + s_3^+)$$

$$480 \lambda_{AD} + 126 \lambda_{AF} + 483 \lambda_{AK} + 278 \lambda_{AS} + 411 \lambda_{BT} + 262 \lambda_{BS} + 295 \lambda_{BO} +$$

$$293 \lambda_{BU} + 489 \lambda_{CS} + 230 \lambda_{CB} + 605 \lambda_{CT} + 464 \lambda_{GT} + 137 \lambda_{KO} + 224 \lambda_{MD} +$$

$$432 \lambda_{NH} + s_1^- - 432 \alpha = 0$$

$$216.466 \lambda_{AD} + 8.822 \lambda_{AF} + 554.775 \lambda_{AK} + 50.241 \lambda_{AS} + 106.320 \lambda_{BT} +$$

$$92.852 \lambda_{BS} + 115.553 \lambda_{BO} + 56.100 \lambda_{BU} + 433.747 \lambda_{CS} + 28.987 \lambda_{CB} +$$

$$242.788 \lambda_{CT} + 66.591 \lambda_{GT} + 73.166 \lambda_{KO} + 61.418 \lambda_{MD} + 167.364 \lambda_{NH} +$$

$$s_2^- - 167.364 \alpha = 0$$

$$16.314 \lambda_{AD} + 3.831 \lambda_{AF} + 37.047 \lambda_{AK} + 4.774 \lambda_{AS} + 10.702 \lambda_{BT} + \\ 8.358 \lambda_{BS} + 9.739 \lambda_{BO} + 11.822 \lambda_{BU} + 30.242 \lambda_{CS} + 490 \lambda_{CB} + \\ 19.489 \lambda_{CT} + 7.746 \lambda_{GT} + 15.883 \lambda_{KO} + 4.751 \lambda_{MD} + 12.073 \lambda_{NH} + \\ s_3^- - 12.073 \alpha = 0$$

$$149.164 \lambda_{AD} + 23.831 \lambda_{AF} + 283.118 \lambda_{AK} + 70.667 \lambda_{AS} + 163.635 \lambda_{BT} + \\ 54.697 \lambda_{BS} + 104.339 \lambda_{BO} + 74.559 \lambda_{BU} + 242.201 \lambda_{CS} + 46.147 \lambda_{CB} + \\ 169.609 \lambda_{CT} + 73.024 \lambda_{GT} + 69.267 \lambda_{KO} + 60.682 \lambda_{MD} + 137.400 \lambda_{NH} - \\ s_1^+ - 137.400 = 0$$

$$25.263 \lambda_{AD} + 1.442 \lambda_{AF} + 35.748 \lambda_{AK} + 7.839 \lambda_{AS} + 19.064 \lambda_{BT} + \\ 4.497 \lambda_{BS} + 16.404 \lambda_{BO} + 7.036 \lambda_{BU} + 68.651 \lambda_{CS} + 1.907 \lambda_{CB} + \\ 10.445 \lambda_{CT} + 14.379 \lambda_{GT} + 16.879 \lambda_{KO} + 15.223 \lambda_{MD} + 22.063 \lambda_{NH} - \\ s_2^+ - 22.063 = 0$$

$$108.858 \lambda_{AD} + 25.080 \lambda_{AF} + 166.476 \lambda_{AK} + 106.024 \lambda_{AS} + 142.800 \lambda_{BT} + \\ 38.813 \lambda_{BS} + 131.241 \lambda_{BO} + 186.941 \lambda_{BU} + 415.471 \lambda_{CS} + 14.514 \lambda_{CB} + \\ 168.525 \lambda_{CT} + 53.280 \lambda_{GT} + 84.311 \lambda_{KO} + 130.860 \lambda_{MD} + 330.470 \lambda_{NH} - \\ s_3^+ - 330.470 = 0$$

$$\lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BS}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CS}, \lambda_{CB}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT}, \lambda_{KO}, \\ \lambda_{MD}, \lambda_{NH}, s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$E_{NH} = 1, \alpha = 1$$

$$\lambda_{NH} = 1, \lambda_{AD}, \lambda_{AF}, \lambda_{AK}, \lambda_{AS}, \lambda_{BS}, \lambda_{BT}, \lambda_{BO}, \lambda_{BU}, \lambda_{CB}, \lambda_{CS}, \lambda_{CT}, \lambda_{GT},$$

$$\lambda_{KO}, \lambda_{MD} = 0$$

$$s_1^-, s_2^-, s_3^-, s_1^+, s_2^+, s_3^+ = 0$$

Nuh Çimento Sanayi A.Ş. (NH)'nin girdiye yönelik görelî etkinlik değeri ve girdiye yönelik büzülme katsayısı 1'dir. NH çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğêr karar birimleri ile karşılaştırıldığında görelî etkinliğe sahiptir. Bu nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve NH'nin girdiye yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. NH'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{NH} \}$$

2.4.15.2. N.H. Çıktıya yönelik VZA modeli:

$$F_{\text{NH}} = \text{Maksimum } \mu + \varepsilon (\sigma_1^- + \sigma_2^- + \sigma_3^- + \sigma_1^+ + \sigma_2^+ + \sigma_3^+)$$

$$480 \theta_{\text{AD}} + 126 \theta_{\text{AF}} + 483 \theta_{\text{AK}} + 278 \theta_{\text{AS}} + 411 \theta_{\text{BT}} + 262 \theta_{\text{BS}} + 295 \theta_{\text{BO}} + \\ 293 \theta_{\text{BU}} + 489 \theta_{\text{ÇS}} + 230 \theta_{\text{ÇB}} + 605 \theta_{\text{ÇT}} + 464 \theta_{\text{GT}} + 137 \theta_{\text{KO}} + 224 \theta_{\text{MD}} + \\ 432 \theta_{\text{NH}} + \sigma_1^- - 432 = 0$$

$$216.466 \theta_{\text{AD}} + 8.822 \theta_{\text{AF}} + 554.775 \theta_{\text{AK}} + 50.241 \theta_{\text{AS}} + 106.320 \theta_{\text{BT}} + \\ 92.852 \theta_{\text{BS}} + 115.553 \theta_{\text{BO}} + 56.100 \theta_{\text{BU}} + 433.747 \theta_{\text{ÇS}} + 28.987 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 242.788 \theta_{\text{ÇT}} + 66.591 \theta_{\text{GT}} + 73.166 \theta_{\text{KO}} + 61.418 \theta_{\text{MD}} + 167.364 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_2^- - 167.364 = 0$$

$$16.314 \theta_{\text{AD}} + 3.831 \theta_{\text{AF}} + 37.047 \theta_{\text{AK}} + 4.774 \theta_{\text{AS}} + 10.702 \theta_{\text{BT}} + \\ 8.358 \theta_{\text{BS}} + 9.739 \theta_{\text{BO}} + 11.822 \theta_{\text{BU}} + 30.242 \theta_{\text{ÇS}} + 490 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 19.489 \theta_{\text{ÇT}} + 7.746 \theta_{\text{GT}} + 15.883 \theta_{\text{KO}} + 4.751 \theta_{\text{MD}} + 12.073 \theta_{\text{NH}} + \\ \sigma_3^- - 12.073 = 0$$

$$149.164 \theta_{AD} + 23.831 \theta_{AF} + 283.118 \theta_{AK} + 70.667 \theta_{AS} + 163.635 \theta_{BT} + \\ 54.697 \theta_{BS} + 104.339 \theta_{BO} + 74.559 \theta_{BU} + 242.201 \theta_{\text{ÇS}} + 46.147 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 169.609 \theta_{\text{ÇT}} + 73.024 \theta_{\text{GT}} + 69.267 \theta_{\text{KO}} + 60.682 \theta_{\text{MD}} + 137.400 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_1^+ - 137.400 \mu = 0$$

$$25.263 \theta_{AD} + 1.442 \theta_{AF} + 35.748 \theta_{AK} + 7.839 \theta_{AS} + 19.064 \theta_{BT} + \\ 4.497 \theta_{BS} + 16.404 \theta_{BO} + 7.036 \theta_{BU} + 68.651 \theta_{\text{ÇS}} + 1.907 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 10.445 \theta_{\text{ÇT}} + 14.379 \theta_{\text{GT}} + 16.879 \theta_{\text{KO}} + 15.223 \theta_{\text{MD}} + 22.063 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_2^+ - 22.063 \mu = 0$$

$$108.858 \theta_{AD} + 25.080 \theta_{AF} + 166.476 \theta_{AK} + 106.024 \theta_{AS} + 142.800 \theta_{BT} + \\ 38.813 \theta_{BS} + 131.241 \theta_{BO} + 186.941 \theta_{BU} + 415.472 \theta_{\text{ÇS}} + 14.514 \theta_{\text{ÇB}} + \\ 168.525 \theta_{\text{ÇT}} + 53.280 \theta_{\text{GT}} + 84.311 \theta_{\text{KO}} + 130.860 \theta_{\text{MD}} + 330.470 \theta_{\text{NH}} - \\ \sigma_3^+ - 330.470 \mu = 0$$

$$\theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}}, \theta_{\text{KO}}, \\ \theta_{\text{MD}}, \theta_{\text{NH}}, \sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ \geq 0$$

Çözüm Kümesi:

$$F_{\text{NH}} = 1, \mu = 1$$

$$\theta_{\text{NH}} = 1, \theta_{AD}, \theta_{AF}, \theta_{AK}, \theta_{AS}, \theta_{BT}, \theta_{BS}, \theta_{BO}, \theta_{BU}, \theta_{\text{ÇB}}, \theta_{\text{ÇS}}, \theta_{\text{ÇT}}, \theta_{\text{GT}},$$

$$\theta_{\text{KO}}, \theta_{\text{MD}} = 0$$

$$\sigma_1^-, \sigma_2^-, \sigma_3^-, \sigma_1^+, \sigma_2^+, \sigma_3^+ = 0$$

Nuh Çimento Sanayi A.Ş. (NH)'nin çıktıya yönelik göreceli etkinlik değeri ve çıktıya yönelik genişleme katsayısı 1'dir. NH çimento şirketi gözlem kümesi içerisindeki diğer karar birimleri ile karşılaştırıldığında göreceli etkinliğe sahiptir. Bu

nedenle, görelî etkinlik ölçümünde referans kümesi kendisinden oluşmakta ve NH'nin çıktıya yönelik olarak aldığı yoğunluk değeri de 1'e eşit olmaktadır. NH'nin girdilerine ait atıl değeri ve çıktılarına ait serbestlik değeri yoktur. Referans kümesi aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

$$\text{Referans kümesi} = \{ \text{NH} \}$$



SONUÇ

İşletmelerde görelî etkinlik ölçümleri, performans değerlendirmede oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Görelî etkinlik ölçümleri, işletmelerin buldukları sektör içindeki performanslarının belirleyicisi olarak kullanılabilir. İşletmeler arası karşılaştırmalar, her işletmenin sektör içerisindeki konumlarının belirlenmesinde, sorun olduğu düşünülen durumlarda önlemler alınmasında, yenileme ve modernizasyon çalışmalarının yapılmasında önemli birer yol gösterici olmaktadır.

Yapılan uygulamada, işletmeler arası görelî etkinlik ölçümü denemesi VZA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. VZA ile incelemeye alınan tüm karar birimlerinin etkinlik değerleri ve kaynakları tanımlanabilir. Ayrıca VZA, etkin olmayan karar birimleri için referans girdi ve çıktı değerleri belirleyerek, söz konusu karar birimlerinin ne şekilde etkin olabileceklerini saptayabilir. Böylece etkinsizliğin kaynakları ve çözüm yolları hakkında yöneticiler için karar vermede önemli bir araç olarak kullanılabilir.

Çimento sektöründe faaliyet gösteren 15 çimento şirketinin girdiye ve çıktıya yönelik olarak görelî etkinlik değerlerinin ölçüldüğü uygulamada, incelenen şirketlerin yaklaşık % 67'sinin etkin olduğu belirlenmiştir.

Girdiye yönelik olarak kurulan modellerin sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Karar Birimi	Etkinlik Değeri	Büzülme Katsayısı	Sonuç	Referans Kümesi
AD	0,7469	0,7551	Etkin Değil	BT , ÇS , MD
AF	1	1	Etkin	AF
AK	1	1	Etkin	AK
AS	1	1	Etkin	AS
BT	1	1	Etkin	BT
BS	0,4978	0,4987	Etkin Değil	AK , BT , KO
BO	0,879	0,879	Etkin Değil	BT , ÇS , KO , NH
BU	1	1	Etkin	BU
ÇS	1	1	Etkin	ÇS
ÇB	1	1	Etkin	ÇB
ÇT	0,6706	0,6734	Etkin Değil	AK , BT , ÇS
GT	0,9087	0,9166	Etkin Değil	AF , BT , MD
KO	1	1	Etkin	KO
MD	1	1	Etkin	MD
NH	1	1	Etkin	NH

Tabloda görüldüğü gibi, 15 çimento şirketinden 5 şirketin girdiye yönelik olarak etkin olmadığı ve etkin olmama durumunun % 33 oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Söz konusu şirketlerin etkin duruma gelebilmeleri için girdi miktarlarında bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir. Önerilebilecek olan değişikliklerden biri, referans kümelerinde bulunan şirketlere göre, boş zaman yaratmamaları açısından personel sayılarında indirgeme yapmalarıdır. Şirketlerin, personel sayılarında yapacakları indirgemenin yanı sıra referans kümelerindeki diğer şirketlerle net işletme sermayelerini karşılaştırarak, net işletme sermayelerini olması gereken düzeye indirmeleri önerilebilir. Girdiye yönelik etkin olmayan şirketler son olarak stok politikalarını da değiştirmelidirler. İlk madde ve malzeme ile yarı mamul stoklarının fazlalığı etkin olmayan çimento şirketlerine maliyet yüklemekte ve net işletme sermayesinin büyüklüğünü etkilemektedir. Bu etkileşim dengeli bir şekilde ayarlanmalıdır. Bu öneriler uygulandığında, % 33'lük etkinsizlik oranı azalarak etkinlik durumuna dönüşecektir.

Çıktıya yönelik olarak kurulan modellerin sonuçları ise aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Karar Birimi	Etkinlik Değeri	Genişleme Katsayısı	Sonuç	Referans Kumesi
AD	1,3352	1,3243	Etkin Değil	BT , S , MD
AF	1	1	Etkin	AF
AK	1	1	Etkin	AK
AS	1	1	Etkin	AS
BT	1	1	Etkin	BT
BS	2,007	2,0053	Etkin Değil	AK , BT , KO
BO	1,1377	1,1377	Etkin Değil	BT , S , KO , NH
BU	1	1	Etkin	BU
S	1	1	Etkin	S
B	1	1	Etkin	B
T	1,4892	1,4851	Etkin Değil	AK , BT , S
GT	1,0996	1,091	Etkin Değil	AF , BT , MD
KO	1	1	Etkin	KO
MD	1	1	Etkin	MD
NH	1	1	Etkin	NH

ıktıya ynelik sonuçları içeren tabloda görüldüğü gibi, 15 imento Şirketinden, girdiye ynelik VZA sonuçlarındaki 5 Şirketin çıktıya ynelik olarak da etkin durumda olmadığı ve etkinsizlik oranının % 33 olduğu belirlenmiştir. ıktıya ynelik olarak etkin olmayan imento Şirketlerinin etkin duruma gelebilmeleri için çıktı miktarlarında bazı değişiklikler yapmaları gerekmektedir. nerilebilecek değişiklikler, referans kumelerinde yer alan Şirketleri dikkate alarak net satışlarını artırmaları, satış fiyatı ve iskonto politikalarını yeniden gözden geçirmeleri ve daha fazla üretim yaparak satış çabalarına ynelmeleri yönündedir. Girdi maliyetlerindeki azalma ve satış miktarlarında artış sağlanması sonucu etkin olmayan Şirketlerin karlarının yükselmesi beklenilebilecek bir sonuçtur. Şirketler, yapılan bir takım savurganlıklarda tasarruf yoluna giderek net karlarını yükseltmeye alışmaladırlar. Karlılık oranının yükselmesi sonucu etkin olmayan Şirketlerin piyasa değerleri de yükselecektir. Firma değerlerinin yükselmesi, bu Şirketler için piyasada ve sektör içerisinde olumlu sonuçlar yaratarak hisse senedi değerlerinin artmasını sağlayacaktır. Bu neriler ile % 33'lk etkinsizlik durumu azalacaktır.

Yapılan çalışmada, etkinlik oranları artırılarak ve etkinsizlik oranları azaltılarak 5 çimento şirketi için olumlu sonuçlara varılabileceği vurgulanmaktadır.

Görelî etkinliğe sahip olmayan şirketler, girdiye veya çıktıya yönelik olarak hesaplanan sanal girdi ve çıktı değerlerine ulaştıklarında etkin duruma gelebilmektedirler. Bu durum, girdi miktarlarının hesaplanan büzülme katsayılarına göre azaltılması veya çıktı miktarlarının hesaplanan genişleme katsayılarına göre artırılması yolu ile sağlanabilmektedir.

Yapılan uygulamada, çimento şirketlerinden en yüksek iyileştirmeye ihtiyacı olan şirket girdiye yönelik etkinlik değeri en düşük ve çıktıya yönelik etkinlik değeri en büyük olan Batisöke Söke Çimento Sanayii T.A.Ş. (BS) olmaktadır. Girdilerini yaklaşık % 50 oranında azaltması veya çıktılarını yaklaşık olarak 2 katına çıkarması gerekmektedir.

Sektör genelinde, şirketlerin büyük çoğunluğunun *görelî etkin durumda oldukları* görülmektedir. Bu durum etkin olan şirketlerin mükemmel performans gösterdikleri anlamına gelmemektedir. Yalnız çimento şirketlerinin kendi aralarındaki performansları birbirine çok yakındır. Bu yakınlık, sektör içindeki uyumun bir göstergesidir.

Önerilen çözümler uygulandığı takdirde, elde edilebilecek olan olumlu sonuçlar doğrultusunda sektör genelinde, yönetim kararlarında etkili olabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Adam, Nabil R., - Doğramacı, Ali, Productivity Analyses at the Organizational Level, Martinus Nijhoff Publishing, London, 1981.
- Ahn, T., - Charnes, A., - Cooper, W.W., “Using Data Envelopment Analysis To Measure The Efficiency Of Non-For-Profit Organizations: A Critical Evaluation-Comment”, Managerial And Decision Economics, Volume 9, No: 3, 1988, ss. 251-253.
- Akal, Zühal, İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi: Çok Yönlü Performans Göstergeleri, MPM Yayınları, No: 473, Ankara, 2002.
- Akal, Zühal, İmalatçı Kamu Kuruluşlarında İşletmeler Arası Toplam Performans, Verimlilik, Karlılık ve Maliyet Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 538, Ankara, 1994.
- Akgüç, Öztin, Finansal Yönetim, Muhasebe Enstitüsü Yayınları, No: 65, İstanbul, 1998.
- Aktaş, Hüseyin, “İşletme Performansının Ölçümünde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı”, Celal Bayar Üniversitesi Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Sayı: 1, 2001, ss. 163-175.
- Anderson, David R., - Sweeney, Dennis J., - Williams, Thomas A., Study Guide To Accompany An Introduction To Management Science, Quantitative Approaches To Decision Making, West Publishing Company, USA, 1994.
- Aydemir, Zeynep Canan, Bölgesel Rekabet Edebilirlik Kapsamında İllerin Kaynak Kullanım Görece Verimlilikleri: Veri Zarflama Analizi Uygulaması, DPT Yayınları, No: 2667, Ankara, 2002.
- Azofra, Valentin, - Prieto, Begona, - Santıdran, Alicia, “The Usefulness Of A Performance Measurement System In A Daily Life Of An Organization : A Note On A Case Study”, The British Accounting Review, Volume 35, Issue 4, 2003, ss. 367-384.
- Bailey, David, - Hubert, Tony, Productivity Measurement : An International Review of Concepts, Techniques, Programmes and Current Issues, Gower Publishing, England, 1990.
- Bakhshoodeh, Mohammad, - Thomson, Kenneth J., “Input and Output Technical Efficiencies of Wheat Production in Kerman, Iran”, Agricultural Economics, 24, 2001, ss. 307-313.
- Banker, R.D., - Charnes, A., - Cooper, W.W., - Schinnar, A.P., “A Bi-Extremal Principle Of Frontier Estimation And Efficiency Evaluations”, Management Science, Volume 27, No: 12, 1981, ss. 1370-1382.
- Banker, Rajiv D., - Chang, Hsihui, - Janakirman, Surya N., - Konstans, Constantine, “A Balanced Scorecard Analysis Of Performance Metrics”, European Journal Of Operational Research, 154, 2004, ss. 423-436.

- Banker, R. D., - Charnes, A., - Cooper, W. W., "Some Models For Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", Management Science, Volume 30, No: 9, 1984, ss. 1078-1092.
- Basso, Antonella,- Funari, Stefania, "A Data Envelopment Analysis Approach To Measure The Mutual Fund Performance", European Journal Of Operational Research, Volume 135, Issue 3, 2001, ss. 477-492.
- Başkaya, Zehra, - Akar, Cüneyt, "Çok Amaçlı Karar Verme Tekniği Olan Doğrusal Hedef Programlama Yardımıyla Bir Gıda İşletmesinde Üretim Planlaması", D.E.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 4, Sayı: 2, 2003.
- Bessent, A., - Bessent, W., - Elam, J., - Clark, T., "Efficiency Frontier Determination by Constrained Facet Anaysis", Operations Research, Volume 36, No: 5, 1998, ss. 785-796.
- Bingöl, Şener, Meyve İşleme Sanayiinde Girdi Sorunları ve Verimlilik, MPM Yayınları, No: 485, Ankara, 1993.
- Brinkerhoff, Robert, - Dressler, Dennis E., "A Guide for Manager and Evaluators", Applied Social Research Methods Series, Volume 19, London, 1990.
- Büyükkılıç, Deniz, " Verimlilik Nedir?"
<http://unalsavas.kolayweb.com/5455212892287.html>.
- Can, Ahmet Vecdi, Hedef Maliyetleme Kuram ve Uygulama, Sakarya Kitabevi, Adapazarı, 2004.
- Carr, Joseph J., Measuring Productivity, Arthur Andersen & Co. Publishing, London, 1973.
- Chandra, Pankaj, - Cooper, W. W., - Li, Shanling, - Rahman, Atiqur, "Using DEA To Evaluate 29 Canadian Textile Companies", International Journal Of Production Economics, 54, 1998, ss. 129-141.
- Charnes, A., - Cooper, W.W., - Rhodes, E., "Evaluating Program And Managerial Efficiency: An Application Of Data Envelopment Analysis To Program Follow Through", Management Science, Volume 27, No: 6, 1981, ss. 668-697.
- Charnes, A., - Cooper, W.W., - Rhodes, E., "Measuring The Efficiency Of Decision Making Units", European Journal Of Operational Research, Volume 2, Issue 6, 1978, ss. 429-444.
- Cingi, Selçuk - Tarım, Armağan, "Türk Banka Sisteminde Performans Ölçümü DEA-Malmquist TFP Endeksi Uygulaması", Türkiye Bankalar Birliği Araştırma Tebliği Serisi, Sayı: 2000-01, 2000.
- Coelli, Tim, A Guide To DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program, CEPA Working Paper, Australia, 1996.
- Cooper, William W. - Seidford, Lawrence M. - Tone, Kaoru, Data Envelopment Analysis A Comprehensive Text With Models, Applications, References And DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, USA, 2000.

- Colbert, Amy, - Levary, Reuven R., - Shaner, Michael C., "Theory And Methodology Determining The Relative Efficiency Of MBA Programs Using DEA", European Journal Of Operational Research, Volume 125, Issue 3, 2000, ss. 656-669.
- Çekin, İlknur, Veri Zarflama Yönteminin Uygulamaya Hazırlanması, MPM Verimlilik Ölçme ve İzleme Bölümü, Ankara, 1999.
- Dinler, Zeynel, Mikro İktisat, Ekin Kitabevi Yayınları, Bursa, 2002.
- Emrouznejad, A., "An Extensive Bibliography of Data Envelopment Analysis (DEA), Volume I - V ", <http://www.warwick.ac.uk/~bsrlu>, 2001.
- Esenbel, Mine, - Erkin, Mustafa Onur, - Erdoğan, Fatih Korhan, "Veri Zarflama Analizi İle Dokuma, Giyim Eşyası ve Deri Sektöründe Faaliyet Gösteren Firmaların Etkinliğinin Karşılaştırılması" , <http://www.analiz.com/egitim/gazi001.html> .
- Fried, Harold D., - Lovell, C.A. Knox, - Schmidt, Shelton S., The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications, Oxford University Press, New York, 1993.
- Golany, Boaz, - Yu, Gang, "Theory and Methodology Estimating Returns to Scale in DEA", European Journal of Operations Research, Volume 103, Issue 1, 1997, ss. 28-37
- Golany, B., - Roll, Y., "An Application Procedure For DEA", Omega, Volume 17, No: 3, 1989, ss. 237-250.
- Gülcü, Aslan, "Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Hastanesi Üzerinde Veri Zarflama Analizi (VZA) Yöntemi İle Görece Verimlilik Analizi", Verimlilik Dergisi, Sayı: 2001/4, 2001, ss. 113-138.
- Haas, David, - Murphy, Frederic, - Lancioni, Richard, "Managing Reverse Logistics Channels With Data Envelopment Analysis", Transportation Journal, 42/3, 2003, ss. 59-69.
- Hacıüstemoğlu, Rüstem, - Şakrak, Münir, Maliyet Muhasebesinde Güncel Yaklaşımlar, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 2002.
- Homburg, Carsten, "Using Data Envelopment Analysis To Benchmark Activities", Int. J. Production Economics, Volume 73, Issue 1, 2001, ss. 51-58.
- İnan, E. Alper, "Banka Etkinliğinin Ölçülmesi ve Düşük Enflasyon Sürecinde Bankacılıkta Etkinlik", Bankacılar Dergisi, Sayı 34, 2000, ss. 82-96.
- İnce, Yücel, Verimlilik Ölçümünde Yeni Arayışlar, MPM Yayınları, Ankara, 2001.
- Joro, Tarja, - Korhonen, Pekka, - Wallenius, Jyrki, Structural Comparison Of Data Envelopment Analysis And Multiple Objective Linear Programming, MCDS Publishing, Finland, 1996.
- Kıyaslama Komitesi, Kıyaslama (Benchmarking), KalDer Yayınları, No: 15, İstanbul, 2000.

- Korhonen, Pekka, Searching The Efficient Frontier In Data Envelopment Analysis, Interim Report, International Institute For Applied Systems Analysis Publishing, Austria, 1997.
- Langfield, Kim, - Madden, Smith, FMA - 1999 Article Awards, "Productivity And Performance Indicators In Enterprise Agreements", Financial and Management Accounting Committees Publishing, 1999.
- Linna, Miika, - Nordblad, Anne, - Koivu, Matti, "Technical and Cost Efficiency of Oral Health Care Provision in Finnish Health Centres", Social Science & Medicine, 56, 2003, ss. 343-353.
- Mao, Weining, - Koo, Won W., "Productivity Growth, Technology Progress and Efficiency Change in Chinese Agricultural Production Form 1984 to 1993", Agricultural Economics Report, No: 362, North Dakota, 1996.
- Norman, Michael, - Stoker, Barry, Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance, John Wiley & Sons Publishing, England, 1991.
- Odabaşı, Mesut, Verimlilik Diye Diye Söyleşiler, MPM Yayınları, No: 596, Ankara, 1997.
- Oyak Çimento Grubu, "Türkiye Çimento Endüstrisi",
<http://www.oyakcimento.com/turkce/sektorel-turkiye.html>
- Palia, Darius, - Linchtenberg, Frank, "Managerial Ownership and Firm Performance : A Re-Examination Using Productivity Measurement", Journal of Corporate Finance, Volume 5, Issue 4, 1999, ss. 323-339.
- Prokopenko, Joseph, Verimlilik Yönetimi: Uygulamalı El Kitabı, çev. Olcay, Baykal, Nevada, Atalay, Erdemir, Fidan, MPM Yayınları, No: 476, Ankara, 1995.
- Ross, Anthony - Droge, Cornelia, "An Integrated Benchmarking Approach To Distribution Center Performance Using DEA Modeling", Journal Of Operations Management, 20, 2002, ss. 19-32.
- Ruggiero, John, "Theory and Methodology: Measuring Technical Efficiency", European Journal of Operations Research, Volume 121, Issue 1, 2000, ss. 138-150
- Sabuncuoğlu, Zeyyat, - Tokol, Tuncer, İşletme, Furkan Ofset, Bursa, 2003.
- Sengupta, Jati K., Dynamics of Data Envelopment Analysis: Theory of Systems Efficiency, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1995, s. 15.
- Sevim, Cüneyt, "Eğitimin Üretim Fonksiyonu", K.H.O. Yayınları, Bilim Dergisi, 2/7, Ankara, 2001, ss. 69-76
- Silver, M.S., Productivity Indices: Methods and Applications, Gower Publishing Company, USA, 1996.
- Shao, B.B.M., - Lin, W.T., "Measuring the Value of Information Technology in Technical Efficiency with Stochastic Production Frontiers", Information and Software Technology, Volume 43, 2001, ss. 447-456.

- Sharma, Khem R., - Leung, Pingsun, - Zaleski, Halina M., "Technical, Allocative and Economic Efficiencies in Swine Production in Hawaii: A Comprison of Parametric and Nonparametric Approaches", Agricultural Economics, 20, 1999, ss. 23-35.
- Sheth, Nimish, Measuring and Evaluating Efficiency And Effectiveness Using Goal Programming and Data Envelopment Analysis in a Fuzzy Environment, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, Master's Thesis, Industrial and Systems Engineering, Falls Church Virginia, 1999.
- Silver, M.S., - Lowe, J.F., "An Appraisal of the Performance of Manufacturing Industry in Wales", Journal of Economic Studies, Volume 16, Issue 1, 2001, ss. 31-46.
- Silver, M.S., Productivity Indices: Methods and Applications, Gower Publishing Company, USA, 1996.
- Simith, Peter, "The Use Of Performanse Indicators In The Public Sector", Journal Of The Royal Statistical Society: Series A, Volume 153, No: 1, 1990.
- Tarım, Armağan, Veri Zarflama Analizi: Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı, Sayıştay Yayınları, Ankara, 2001.
- Tarım, Armağan, - Karan, Mehmet Baha, "Data Envelopment Analysis in Performance Evaluation", Journal of Government Auditing, 28/4, 2001, ss. 12-14.
- Tavares, Gabriel, A Bibliography Of Data Envelopment Analysis, Rutcor Research Report, USA, 2002.
- Thanassoulis, E., - Boussofiane, A., - Dyson, R.G. , "A Comparison Of Data Envelopment Analysis And Ratio Analysis As Tools For Performance Assessment", Omega, Volume 24, Issue 3, 1996, ss. 229-244.
- Timör, Mehpare, "Hastane Performansını Belirlemede Veri Zarflama Analizi", İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt 30, Sayı: 1, 2001, ss. 69-79.
- Tomkins, Cyril, - Green, Rodney, "An Experiment In The Use Of Data Envelopment Analysis For Evaluating The Efficiency Of UK University Departments Of Accounting", Financial Accountability And Management, 4 (2), 1988, ss. 147-164.
- Turunç, İdil, Çeşitli Üretim Fonksiyonu Yaklaşımlarıyla Teknolojik Değişmenin Ölçülmesi ve Verimlilik, MPM Yayınları, No: 343, Ankara, 1986.
- Ulucan, Aydın, " ISO500 Şirketlerinin Etkinliklerinin Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Farklı Girdi Çıktı Bileşenleri Ve Ölçeğe Göre Getiri Yaklaşımları İle Değerlendirmeler", <http://yunus.hacettepe.edu.tr/~aulucan/pdf/deamarketcompare.pdf> , ss. 1-19.
- Ulucan, Aydın, "Şirket Performanslarının Ölçülmesinde Veri Zarflama Analizi Yaklaşımı: Genel Ve Sektörel Bazda Değerlendirmeler", H.Ü. İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı: 1, ss. 405-418.

- Worthington, Andrew C., "An Emprical Survey of Frontier Efficiency Measurement Techniques in Education", Education Economics, Volume 9, No: 3, 2001, ss. 245-268.
- Yavuz, İlknur, Verimlilik ve Etkinlik Ölçümünde Yeni Yaklaşımlar ve İllere Göre İmalat Sanayinde Etkinlik Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 667, Ankara, 2003.
- Yavuz, İlknur, Sağlık Sektöründe Etkinlik Ölçümü: Veri Zarflama Analizine Dayalı Bir Uygulama, MPM Yayınları, No: 654, Ankara, 2001.
- Yolalan, Reha, İşletmelerarası Görel Etkinlik Ölçümü, MPM Yayınları, No: 483, Ankara, 1993.
- Yücel, Erhan, - Korkmaz, Adil, İçki Sanayiinde Firmalararası Verimlilik Karşılaştırmaları, MPM Yayınları, No: 409, Ankara, 1990.
- Zhang, Anming, - Zhang, Yimin,- Zhao, Ronald, "Profitability and Productivity of Chinese Industrial Firms Measurement and Ownership Implications", China Economic Review, Volume 13, 2002, ss. 65-88.
- Zhu, J., "Further Discussion on Linear Production Function and DEA", European Journal of Operations Research, Volume 127, Issue 3, 2000, ss. 611-618.
- Zhu, Joe, "Continuous Optimization Efficiency Evaluation With Strong Ordinal Input And Output Measures", European Journal Of Operational Research, Volume 146, Issue 3, 2003, ss. 477-485.