

**ETKİNLİK ANALİZİNDEKİ AĞIRLIK DAĞILIMINI GELİŞTİRMEK İÇİN
BİR ÖNCELİKLİ DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI**

Özkan SARIKAYA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İSTATİSTİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009
ANKARA**

Özkan Sarıkaya tarafından hazırlanan “ETKİNLİK ANALİZİNDEKİ AĞIRLIK DAĞILIMINI GELİŞTİRMEK İÇİN BİR ÖNCELİKLİ DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hasan BAL

Tez danışmanı, İstatistik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İstatistik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

(Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı , Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Hasan BAL

(İstatistik Anabilim Dalı ,Gazi Üniversitesi)

Prof. Dr. Salih ÇELEBİOĞLU

(İstatistik Anabilim Dalı , Gazi Üniversitesi)

Tarih:15/06/2009

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Özkan SARIKAYA

ETKİNLİK ANALİZİNDEKİ AĞIRLIK DAĞILIMINI GELİŞTİRMEK İÇİN BİR ÖNCELİKLİ DOĞRUSAL HEDEF PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Özkan SARIKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2009

ÖZET

Etkinlik Analizi, çoklu girdi ve çıktıya sahip eş karar verme birimlerinin göreceli etkinliklerini karşılaştırmak ve ölçmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Etkinlik Analizinin yaygın kullanımına karşın, bazı sakıncaları mevcuttur. Bu sakıncalardan en çok bilineni gerçekçi olmayan ağırlık dağılımıdır. Gerçekçi olmayan ağırlık dağılımı, girdi ve çıktı ağırlıklarına, mantıksız ve istenmeyen bir durum olmasına karşın uç değerlerin veya sıfır değerinin atanması sonucu, hesaplanan karar verme biriminin etkin olarak değerlendirildiği durumlarda ortaya çıkar. Uç ağırlıklara sahip karar verme birimleri potansiyel “false positive” adaylarıdır. Ağırlık dağılımını geliştirmek için önerilen Çok Kriterli Etkinlik Analizi modelinin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile çözülmesi, yeni ağırlık kısıtları eklemeyen, hakkında ön bilgi olmaksızın daha homojen girdi ve çıktı ağırlık dağılımı vermektedir.

Bilim Kodu : 205.1.148
Anahtar Kelimeler : Etkinlik, etkinlik analizi, false positive index, ağırlık dağılımı, hedef programlama.
Sayfa Adedi : 109
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hasan BAL

**AN APPROACH OF LINEAR GOAL PROGRAMMING WITH PRIORITY
FOR IMPROVING WEIGHT DISPERSION
IN THE DATA ENVELOPMENT ANALYSIS
(M. Sc. Thesis)**

Özkan SARIKAYA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2009

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis (DEA) has a widespread usage method for measuring and benchmarking relative efficiency of peer decision making units (DMUs) with multiple inputs and outputs. Beside of its widespread usage, DEA has some drawbacks, the most known of which is the unrealistic weight dispersion. Although this case is unreasonable and undesirable, unrealistic weight dispersion occurs, when some DMUs are rated as efficient because of input and output weights have the extreme or zero values. DMUs which have extreme values have potential to be a false positive. The solution of proposed Multiple Criteria Data Envelopment Analysis by Linear Goal Programming with priority, produces more homogeneous weight dispersion for inputs-outputs without a priori information and without any additional constraints on weights.

**Science Code : 205.1.148
Key Words : Efficiency, data envelopment analysis, false positive index,
weight dispersion, goal programming.
Page Number : 109
Adviser : Prof. Dr. Hasan BAL**

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca bana her zaman anlayıőlı davranarak, değerli bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren hocam Sayın Prof. Dr. Hasan BAL'a, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, ayrıca çalıőmam boyunca desteklerini eksik etmeyen Araş. Gör. H.Hasan ÖRKÜ, Araş. Gör. Abdullah Orman ve Araş. Gör. Irmak ACARLAR'a teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ETKİNLİK ANALİZİ	5
2.1. Verimlilik, Etkinlik ve Etkinlikle İlgili Temel Kavramlar	5
2.2. Etkinlik Ölçüm Yöntemleri	12
2.2.1. Oran analizi	12
2.2.2. Parametrik yöntemler	13
2.2.3 Parametrik olmayan yöntemler	15
2.3. Etkinlik Analizi Yöntemi	17
2.3.1. Temel etkinlik analizi modelleri	19
2.3.2. Etkinlik analizi uygulama aşamaları	28
2.4. Çapraz Etkinlik ve FPI (False Positive Index)	35
3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ.....	38
3.1. Çok Amaçlı Karar Verme.....	38
3.2. Çok Amaçlı Karar Vermenin Tarihsel Gelişim.....	39

Sayfa

3.3. Çok Amaçlı Doğrusal Programlamayı Açıklayıcı Temel Kavramlar	40
3.4.Çok Amaçlı Doğrusal Programlamaya İlişkin Çözüm Yöntemleri.....	42
3.4.1. Hedef programlama	42
4. ÇOK KRİTERLİ ETKİNLİK ANALİZİ	52
4.1. Örnek	58
5. UYGULAMA.....	66
5.1. CCR Modeli ve Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68
5.1.1. CCR modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz-etkinlik matrisi yöntemiyle sıralanması ve FPI değerlerinin belirlenmesi	74
5.1.2. Öncelikli doğrusal hedef programlama ile etkin bulunan bölümlerin sıralanması (CCR tabanlı)	78
5.2. BCC Modeli ve Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	82
5.2.1. BCC modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz-etkinlik matrisi yöntemiyle sıralanması ve FPI değerlerinin belirlenmesi	88
5.2.2. Öncelikli doğrusal hedef programlama ile etkin bulunan bölümlerin sıralanması (BCC tabanlı)	92
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR.....	100
EKLER	104
EK-1 Klasik etkinlik analizi (CCR modeli) ve öncelikli doğrusal hedef programlama sonuçları	105
EK-2 Öncelikli doğrusal hedef programlama (CCR tabanlı)sonuçları	106
EK-3 Klasik etkinlik analizi (BCC modeli) ve öncelikli doğrusal hedef programlama sonuçları	107
EK-4 Öncelikli doğrusal hedef programlama (BCC tabanlı) sonuçları	108
ÖZGEÇMİŞ.....	109

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çok kriterli simpleks tablosu.....	49
Çizelge 4.1. Örnek için veri tablosu	59
Çizelge 4.2. Klasik Etkinlik Analizi (CCR) sonuçları	60
Çizelge 4.3. Minmax Etkinlik Analizi sonuçları	61
Çizelge 4.4. Minsum Etkinlik Analizi sonuçları	62
Çizelge 4.5. Çok Kriterli Etkinlik Analizi (Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama) Sonuçları.....	64
Çizelge 5.1. Etkin anabilim dallarına ilişkin CCR modeli ile elde edilen ağırlıklar ..	73
Çizelge 5.2. Etkin anabilim dallarına ilişkin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (CCR tabanlı) modeli ile elde edilen ağırlıklar	73
Çizelge 5.3. Etkin anabilim dallarına ilişkin BCC modeli ile elde edilen ağırlıklar ..	87
Çizelge 5.4. Etkin anabilim dallarına ilişkin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (BCC tabanlı) modeli ile elde edilen ağırlıklar	87

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Ölçeğin çeşitleri	10
Şekil 2.2. Etkinlik sınırı.....	11
Şekil 3.1. Küçük-eşit biçimindeki hedef	44
Şekil 3.2. Büyük-eşit biçimindeki hedef	44
Şekil 3.3. Eşitlik biçimindeki hedef	45
Şekil 5.1. Etkin olmayan anabilim dallarının etkinlik ve etkinsizlik değerleri (CCR Tabanlı)	72
Şekil 5.2. CCR modeli ile etkin bulunan anabilim dallarının çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri.....	76
Şekil 5.3. CCR modeline göre etkin bulunan anabilim dallarının FPI değerleri.....	77
Şekil 5.4. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (CCR tabanlı) modeli ile etkin bulunan anabilim dallarının çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri.....	80
Şekil 5.5. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (CCR tabanlı) modeli ile etkin bulunan anabilim dallarına ilişkin FPI değerleri	81
Şekil 5.6. Etkin olmayan anabilim dallarının etkinlik ve etkinsizlik değerleri (BCC Tabanlı)	86
Şekil 5.7. BCC modeli ile etkin bulunan anabilim dallarının çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri.....	90
Şekil 5.8. BCC modeline göre etkin bulunan anabilim dallarının FPI değerleri.....	91
Şekil 5.9. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (BCC tabanlı) modeli ile etkin bulunan anabilim dallarının çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri.....	93
Şekil 5.10. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (BCC tabanlı) modeli ile etkin bulunan anabilim dallarına ilişkin FPI değerleri	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıdaki gibi sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklama
DEA	Data Envelopment Analysis
DMU	Decision Making Unit
EA	Etkinlik Analizi
KVB	Karar Verme Birimi
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
CCR	Charnes Cooper Rhodes
BCC	Banker Charnes Cooper
FPI	False Positive Index
MCDEA	Multiple Criteria Data Envelopment Analysis
MOLP	Multiple Objective Linear Programming

1. GİRİŞ

Literatürde Data Envelopment Analysis, DEA, olarak bilinen görelî etkinlik ölçüm yöntemi Türkçede Veri Zarflama Analizi, VZA, veya Etkinlik Analizi, EA, olarak iki farklı isimde tanımlanır. Bu çalışmada yöntem Etkinlik Analizi olarak kullanılmıştır.

Etkinlik Analizi, temelde doğrusal programlama ilkelerine dayanan, aynı girdileri kullanarak aynı çıktıları üreten karar verme birimlerini, KVB, görelî olarak bir bütün içinde karşılaştırma yapmak suretiyle değerlendiren, etkin ve etkin olmayan KVB şeklinde sınıflandıran, etkin olmayan KVB için etkinsizliğin kaynaklarını ve miktarını belirleyerek karar vericiye yardımcı olmak için tasarlanmış parametrik olmayan bir yöntemdir. Ayrıca Etkinlik Analizi, analitik bir fonksiyonel yapıya gerek duymaksızın kullanılabilmesi, çoklu girdi ve çoklu çıktıyı aynı anda değerlendirmesi gibi özellikleriyle de etkinlik ölçümünün yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Gerçekleştirilen ilk Etkinlik Analizi uygulamasında, Charnes ve arkadaşları (1978) A.B.D.'deki devlet okullarının verimliliklerini ölçmede kullanmışlardır. Çalışmalar devam ederken Farrell'ın (1957) "The Measurement of Productivite Efficiency" çalışması, Charnes ve arkadaşları tarafından genişletilerek etkinlik ölçümü için Etkinlik Analizi başarıyla uygulanmıştır. Projenin detayları Charnes ve arkadaşları tarafından 1981 yılında tanımlanmıştır[Charnes ve ark., 1990]. Günümüzde, Etkinlik Analizi Yöneylem Araştırmasının en hızlı gelişen alanlarından biridir. Hem özel sektör hem de kamu kuruluşlarında etkinlik ölçümü için kullanılan güçlü bir yaklaşım haline gelmiştir. Ancak, Etkinlik Analizinin birçok avantajının yanında, uygulamalarında bazı problemler ortaya çıkmıştır. Bu problemler ikisi, uzun zamandır bilinen ve çoğu zaman aynı anda meydana gelen, zayıf ayırt edilebilme gücü ve gerçekçi olmayan ağırlık dağılımı problemleridir. Zayıf ayırt edilebilme gücü problemi genellikle hesaplama altındaki karar verme birimi sayısının, girdi-çıkıtı sayısı ile karşılaştırıldığında yeterli büyüklükte olmamasından meydana gelmektedir. Bu durumda klasik Etkinlik Analizi çoğunlukla çözüm alanında çok fazla etkin birim tanımlamaktadır. Etkinlik Analizinin zayıf ayırt edilebilme gücünü

geliştirmek için literatürde Süper Etkinlik, Çok Kriterli Etkinlik Analizi ve Çapraz-etkinlik teknikleri önerilmiştir. Ancak bazı durumlarda, Süper Etkinlikte uygulanabilirlik problemi ve Çok Kriterli Etkinlik Analizinde ise karmaşıklıklarla karşılaşmak mümkündür [Andersen ve Petersen, 1993]. Sexton (1986)'un önerdiği çapraz etkinlik yaklaşımı daha kullanışlı bir tekniktir. Karar verme birimlerinin değerlerinin belirlenmesi için, tüm karar verme birimleriyle ilişkili çapraz değerlendirme skorları hesaplanır ve böylece en iyi karar verme birimi tanımlanır [Anderson ve ark., 2002]. Çapraz etkinlik çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen, klasik Etkinlik Analizinden kaynaklanan bazı eksiklikleri vardır. Bu durum Doyle ve Green (1994) tarafından, çözümün eşsiz olmaması yani Etkinlik Analizinde optimal ağırlıklarla çoklu çözümler bulunması, (alternatif çözümler), çapraz etkinliğin kullanılabilirliğini azaltır, şeklinde açıklanmıştır. Ayrıca, çapraz-etkinlik matris metodu sadece çapraz etkinlikleri verir, sonuçlara karşılık gelen yeni girdi ve çıktı ağırlıklarını vermez. Bu ağırlıklar, KVB'lerin değerlendirilmesi ve sonuçların yorumlanması için son derece önemli bilgilerdir.

Girdi ve çıktılarda ağırlıklara aşırı veya sıfır değerleri atanması sonucu, hesaplanan karar verme biriminin etkin olarak değerlendirildiği durumlarda, gerçekçi olmayan ağırlık dağılımı problemi meydana gelmektedir. Gerçekçi olmayan ağırlık dağılımı problemi üzerine, koni oranı, güvenli bölge ve profil metodu gibi ağırlık kısıtlayıcı teknikler Etkinlik Analizi literatüründe önerilmiştir [Charnes ve ark., 1990; Bernroider ve Stix, 2007]. Ancak bu girdi-çıkıtı öğelerinin ölçümüne bağlı tekniklerin, ağırlıklar için uygun olmayan çözümler verdiği gözlenmiştir ve bu yaklaşımların hepsinde aynı olan durum şudur ki, hepsi de çok sayıda muhakeme içeren bir ön bilgi gerektirirler. Diğer bir yönden, bu teknikler ek kısıtlarının eklenmesini gerektirmektedir ve bu durum problemin çözümünü daha da zorlaştırmaktadır. Bu durum, mutlak ağırlık sınırları içeren homojen ağırlık kısıtlarının eklenmesi halinde, bazı Etkinlik Analizi modellerinin, karar verme birimleri için maksimum göreceli etkinliği yanlış tanımlayabileceği anlamına gelmektedir [Podinovski ve Athanassopoulos, 1998]. Daha sonra, Bal ve ark. (2008) girdi ve çıktılarda daha homojen ağırlık dağılımı üreten, etkin karar verme birimi sayısını azaltan, girdi ve çıktı ağırlıkları için değişim katsayısını (coefficient of

variation) kapsayan bir Değişim Katsayılı Etkinlik Analizi, CVDEA, önermişlerdir. Ancak, CVDEA modeli birim değişmezliği (unit-invariance) ve doğrusallık özellikleri korunmadığı zaman, daha dikkatli kullanılması gerekmektedir. Son dönemde ise hem kullanım kolaylığı olan hem de klasik Etkinlik Analizine (CCR ve BCC) göre daha dengeli girdi-çıkıtı ağırlık dağılımı içeren ve ek ağırlık kısıtları getirmeden etkin karar verme birim sayısını azaltan Hedef Programlama ile Etkinlik Analizi, GPDEA-CCR ve GPDEA-BCC (Goal Programming DEA models), modelleri önerilmiştir [Bal ve ark, 2009]. Ek olarak önerilen bu modeller birim değişmezlik (unit-invariance) özelliğine sahiptirler.

Bu çalışmada, klasik Etkinlik Analizi yönteminin girdi-çıkıtı ağırlık dağılımını ve zayıf ayırt edebilme gücünü iyileştirmede kullanılabilecek bir Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli ile, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı anabilim dallarının performansları bir uygulama ile incelenmiştir. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli, girdi ve çıkıtı ağırlıklarında daha az esnekliğe izin vererek, hakkında ön bilgi olmaksızın daha mantıklı girdi ve çıkıtı ağırlıkları vermektedir. Bu model klasik modellerden daha geniş anlamda göreceli etkinlik tanımı içermektedir. Ayrıca etkin değerlendirilen anabilim dallarının etkinlikleri, Çapraz Etkinlik ve FPI (False Positive Index) yöntemleri ile tekrar incelenmiş ve sıralaması yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde verimlilik, etkinlik ve ilişkin olduğu temel kavramlar, klasik Etkinlik Analizi yöntemi, çapraz-etkinlik ve FPI yöntemleri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde çok amaçlı karar verme ve çok amaçlı doğrusal programlama teknikleri genel olarak tanıtılmıştır. Özellikle ağırlık dağılımı probleminin çözümünde kullanılacak Hedef Programlama tekniği üzerinde durulmuştur.

Dördüncü bölümde klasik etkinlik analizine alternatif olarak öne sürülen Çok Kriterli Etkinlik Analizi tanıtılmış ve klasik Etkinlik Analizi yöntemiyle karşılaştırılarak incelenmiştir. Wong ve Beasley (1990)'in ağırlık dağılımı ve ayırıcı güç problemleri için önerdikleri çalışmalarında kullandıkları, bir üniversitenin yedi bölümünün

etkinliğinin incelendiği örnek ile Çok Kriterli Etkinlik Analizi ve klasik Etkinlik Analizi modellerinin sonuçları incelenecektir.

Beşinci bölümde yüksek öğretimde performans kavramı üzerinde durularak, klasik Etkinlik Analizi modelleri ile Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı anabilim dallarının performanslarının incelendiği bir uygulama ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu bölümde etkin karar verme birimleri Çapraz Etkinlik ve FPI yöntemleri kullanılarak tekrar değerlendirilmiştir.

2. ETKİNLİK ANALİZİ

2.1. Verimlilik, Etkinlik ve Etkinlikle İlgili Temel Kavramlar

Modern işletme yönetim anlayışlarının temelini oluşturan kavramların başında etkinlik ve verimlilik gelmektedir. Verimlilik ve etkinlik ekonomi yazınında birbirinin yerine kullanılabilen kavramlardır. Dolayısıyla karar birimlerinin performanslarının karşılaştırılmasında ölçüt olarak kullanılan verimlilik ve etkinlik kavramları arasındaki farklılığın ortaya konması gerekmektedir. “Verimlilik” kavramı ekonomik anlamda çıktının girdiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Ancak elde edilen bu verimlilik oranı tek başına işletmenin etkin olduğunu göstermekte yeterli bir ölçü değildir. İşletmelerin verimliliklerini birbirinden bağımsız olarak ölçmek mümkündür. Bu bağlamda da verimlilik göreceli bir kavram değildir [Tarım, 2001]. İşletmenin içinde bulunduğu sektörde benzer girdileri kullanarak benzer çıktıları üreten rakip işletmelerin verimlilikleri de göz önüne alınmalıdır. Bir işletmenin etkin olup olmadığına kendisine rakip olan işletmelerin verimlilikleriyle karşılaştırılarak karar verilebilir. Verimlilik, bireysel ve örgütsel performansta, dolaylı olarak etkililiği(effectiveness) ve etkinliği(eficiency) kapsamaktadır. “Etkililik” belirlenen amaçların başarıma,“Etkinlik” ise sonuçları en az kaynakla elde etme başarısının ölçüsü olarak tanımlanmaktadır . Bu bağlamda, çıktının girdiye oranı söz konusu olduğunda “verimlilik”, çıktının en az kaynakla elde edilme başarısı söz konusu olduğunda “etkinlik” kavramı kullanılmalıdır.

Bu kavramların taşıdıkları öneme rağmen, yönetim sürecinin değerlendirilmesine yönelik çeşitli problem alanları göz önüne getirildiğinde, çoğu kez standart bir biçime gelmiş güvenli ve geçerli ölçüm tekniklerinin bulunmayışının performans ölçümlerinin gerçekleştirilmesini güçleştirdiği görülmektedir. Hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti gibi ölçümü zor faktörlerin olduğu hizmet sektöründe performans ölçümü daha da güçtür. Bu amaçla araştırma yapan birçok araştırmacı, hizmet sektöründe etkinlik ölçüm tekniklerini inceledikleri çalışmalarında, standart yaklaşımların mevcut olmadığını vurgulamakta ve yeni yaklaşımlardan biri olarak Etkinlik Analizi tekniğine yer vermektedirler [Boussofiane, 1991].

Verimlilik

Kullanılan kaynaklar ile elde edilen çıktı miktarı arasındaki ilişki olarak tanımlanır ve basit olarak bir kurumun amacına uygun olarak oluşturdukları ürünün, bu ürünü ortaya koyabilmek için harcadığı kaynağa oranlanmasıyla hesaplanır [Yolalan, 1993]. Ancak, girdi ve çıktılardaki niteliksel farklılıklar bu hesaplamayı zorlaştırmaktadır. Özellikle günümüzde kullanılan birbirinden farklı kaynaklar ve bunların sonucunda elde edilen birçok farklı ürün etkinliğin değerlendirilmesini güçleştirmektedir. Ayrıca, bunların yanında girdi ve çıktıların birimlerinin farklı olması da karşılaşılan zorlukları artırmaktadır.

Verimlilik, çıktının girdiye oranı olup, kaynakların ne ölçüde etkin ve etkili kullanıldığının bir ölçüsüdür. Bu anlamda,

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}} \quad (2.1)$$

olur.

Etkinlik

Eldeki üretim kaynakları veya girdilerin ne derecede iyi kullanılarak çıktı üretilebileceğini gösterir. Yararlı çıktıların üretilmesi için kullanılan işçilik, hammadde ve malzeme, dışardan sağlanan fayda ve hizmetler gibi kaynakların ne kadar etkin kullanıldığını anlatan bir kavramdır. Başka bir deyişle üretim biriminin elde edebileceği maksimum verimliliktir [Boussofiane, 1991].

Etkinlik verimliliğin tamamlayıcı bir unsurudur. Etkinlik çıktılarla ilgilenirken, verimlilik girdilerle ilgilenmektedir. Diğer bir deyişle etkinlik amaç ve hedeflerle ilgilenirken, verimlilik en düşük kaynak tüketimi ile ilgilenmektedir. Bir işletmede var olan tüm imkânlar içindeki erişilebilir en yüksek kuramsal etkinlik düzeyi 1'e

eşittir. Bu düzeyde birim maliyetler en düşük, üretim miktarı (çıktı) ise en yüksek düzeydedir. Bu durumda işletme hem etkindir hem de verimlidir. Sonuç olarak, etkinlik sağlanamadan yüksek verimlilik düzeyine ulaşmak mümkün değildir.

Toplam Etkinlik, Teknik Etkinlik, Fiyat Etkinliği ve Ölçek Etkinliği

Farrell, bir firma ya da işletmenin etkinliğinin teknik etkinlik ve fiyat etkinliği olarak iki bileşene ayrılmasını önermiştir [Farrell, 1957]. Teknik etkinlik, eldeki girdi bileşiminin en uygun biçimde kullanılarak mümkün olan maksimum çıktının elde edilmesindeki başarıyı göstermektedir. Girdilerin verimliliğine ilişkin olan teknik etkinlik, üretim biriminin belirli bir miktar girdiden en fazla çıktıyı elde etme yeteneğini yansıtmaktadır. Fiyat etkinliği, girdi ve çıktı fiyatları göz önüne alınarak üretim maliyetini en küçük yapacak olan en uygun girdi kombinasyonunun seçilmesindeki başarıdır. Teknik etkinlikte fiyat bilgisine ihtiyaç duyulmazken, fiyat etkinliği bu bilgi üzerinden tanımlanmaktadır. Teknik etkinlik ve fiyat etkinliği birlikte toplam etkinliği tanımlamaktadır. Toplam etkinlik,

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

(2.2)

şeklinde ifade edilir [Tarım, 2001].

Banker [1984], Farrell tarafından tanımlanan teknik etkinliğin ölçek etkinliği ile karışmış olduğunu belirlemiş ve teknik etkinliğin, ölçek etkinliği ve saf etkinlik olarak ayrılması gerektiğini belirtmiştir. Buna göre;

$$\text{Teknik Etkinlik} = \text{Ölçek Etkinliği} \times \text{Saf Etkinlik}$$

(2.3)

olmaktadır. Ölçek etkinliği optimal ölçekte üretim yapmaktan kaynaklanan kayıpları ortaya koymaktadır. Teknik etkinlik, maliyet ve fiyattan bağımsız olmasına karşın, ölçek etkinliğinden dolayısıyla üretim büyüklüğünde olabilecek

değişikliklerden ve yönetsel kararlardan etkilenmektedir. Eş. 2.3 yardımı ile toplam etkinlik,

$$\text{Toplam Etkinlik} = \text{Ölçek Etkinliği} \times \text{Saf Etkinlik} \times \text{Fiyat Etkinliği} \quad (2.4)$$

olarak tanımlanabilir.

Pareto Etkinlik

Mal veya hizmete esas girdilerin ya da tüketiciler arasında malların yeniden tahsisi ile en az bir kişinin durumunu kötüleştirmeden, diğer kişilerin durumunu iyileştirmenin mümkün olmaması pareto etkinliktir.

Performans

Önceden belirlenen nicel ve nitel hedeflere ne ölçüde ulaşıldığının göstergesidir. Verimlilik, etkinlik, etkililik, karlılık gibi kavramlar bir işletme performansının boyutlarıdır.

Ölçek ve Ölçeğe Göre Getiri

Bir firmanın, A ve B girdilerinin aynı oranda artırılmaları veya sabit bir sayı ile çarpılmaları üretim ölçeğinin değiştirilmesi anlamına gelir. Bunun sonucu olarak ürün miktarında meydana gelen değişiklik ölçeğe göre getiri olarak adlandırılır [Tarım, 2001]. Ölçeğe göre getirin üç farklı biçimi olan ölçeğe göre sabit getiri, ölçeğe göre artan getiri ve ölçeğe göre azalan getiri kavramları Şekil 2.1' deki gibi tanımlanabilir.

Ölçeğe Göre Sabit Getiri

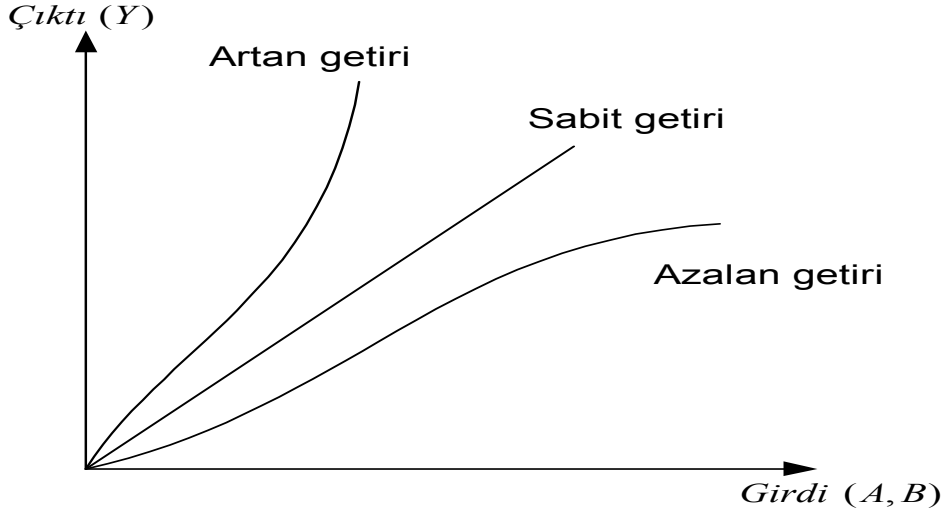
Bir firmanın A ve B girdilerini kullanarak Y ürettiği kabul edilirse, üretim fonksiyonu $y = f(a,b)$ olarak yazılabilir. Üretim ölçeği λ oranında değiştirildiğinde ürettiği çıktı miktarı da λ oranında değişiyorsa, bir başka ifade ile $\lambda = 1$ ise buna ölçeğe göre sabit getiri denir [Cooper ve ark, 1996].

Ölçeğe Göre Artan Getiri

Firmanın üretim ölçeğini λ oranında değiştirdiğinde ürettiği çıktı miktarı λ oranından daha yüksek bir oranda değişebilir. Bir başka deyişle girdi miktarındaki herhangi bir radyal artış çıktı miktarında daha büyük bir radyal artışa neden olabilir. Bu da ölçeğe göre artan getiriyi ifade eder. ($\lambda > 1$) Burada radyal kelimesi ile, girdilerdeki her bir bileşen için aynı oranda girdi azalmasını, çıktılardaki bileşenler için aynı oranda çıktı artışının var olduğu kabul edilmektedir.

Ölçeğe Göre Azalan Getiri

Çıktı miktarı λ oranından daha düşük oranda değişirse, ölçeğe göre azalan getiri gerçekleşmiş olur. ($\lambda < 1$) Bir başka ifade ile üretimde kullanılan girdi miktarı 5 kat arttığında ürettiği çıktı miktarı 3 kat artarsa ölçeğe göre azalan getiri söz konusudur.

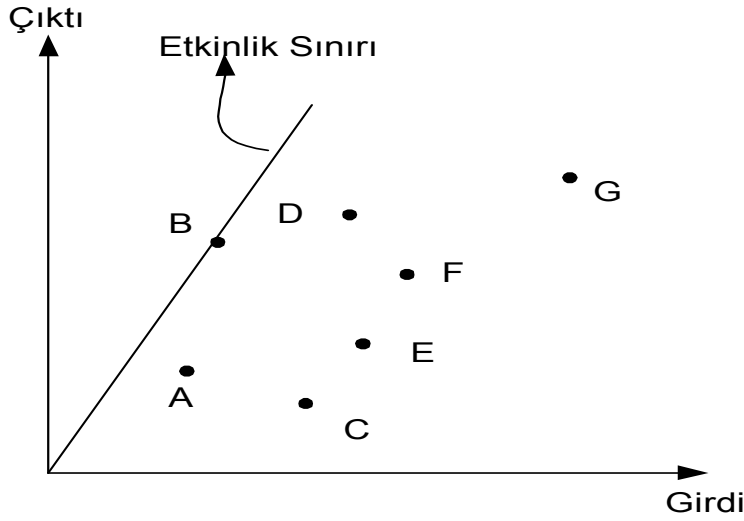


Şekil 2.1. Ölçeğin çeşitleri

Etkinlik Sınırı

Etkin sınır teknik etkin olan tüm mümkün üretim karışımlarının bir kümesidir. Üretim ya da hizmet sisteminin, kaynakları rasyonel olarak etkinliği artırmak suretiyle üretimi ne kadar artırabileceklerinin bilinmesi de önemlidir. Bu üretim etkinliğinin ölçümünde kullanılan, Farrell'in üretim etkinliğinin ölçümü (the measurement of productive efficiency) adlı makalesinde ileri sürülen karşılaştırmalı verimlilik ve etkinlik ölçme metodu, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [Seiford ve Thrall, 1990].

Etkinlik tanımında ifade edildiği gibi, bir işletmenin etkinliği söz konusu olduğu zaman genellikle girdi setinden en yüksek çıktının elde edilmesindeki başarı akla gelmektedir. Etkin bir üretim fonksiyonunun bilindiği varsayımı ile, tam etkin bir işletmenin, herhangi bir girdi setinden elde ettiği kar anlaşılır. Şekil 2.2' de gösterilen basit bir grafik ile etkinlik sınırı daha iyi açıklanabilir.



Şekil 2.2. Etkinlik sınırı

Yedi karar verme biriminin kullandığı girdi ve ürettiği çıktılarına göre grafikleri Şekil 2.2'de gösterildiği gibi olsun. Karar verme birimleri ile orijin arasındaki çizilecek doğrulara göre en yüksek eğim, B noktasında sağlanmaktadır. Bu doğruya etkin sınır adı verilir. Bu sınır üzerindeki B noktası karar vericiler arasında en etkin üretimi yapmaktadır. Diğer karar vericiler ise etkinlik sınırında yer alan yani etkin olan karar birimine göre derecelenirler.

Referans Kümesi

Etkinlik analizi karar verme birimlerinin göreceli etkinliklerini ölçen bir tekniktir. Analiz sonucunda etkin olmayan karar verme biriminin etkin konuma gelebilmesi için ölçüt olarak alınacak etkin karar verme birimleri vardır. Bu karar birimlerinin oluşturduğu kümeye referans kümesi denir.

Karar Verme Birimi

Charnes ve ark. [1989], benzer girdileri kullanarak benzer çıktılar üreten kurum, şirket, firma, işletme gibi etkinliği incelenen organizasyonlara “Karar Verme Birimi (Decision Making Unit-DMU)” adını vermişlerdir.

Üretim İmkan Kümesi

Üretim teknolojisi, bir üretim sürecinde girdilerin çıktılarını dönüştürülmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu dönüşümün etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için girdi-çıkıtı dönüşümü en uygun şekilde kullanılmalıdır. Bu iki şekilde gerçekleştirilebilir: belirli bir girdi bileşimi için en çok çıktı üretilmesi veya belirli bir çıktı miktarı için en az girdi kullanılması. Üretim imkan kümesi belirli bir üretim teknolojisi tarafından mümkün kılınan, etkin olsun ya da olmasın tüm girdi-çıkıtı kombinasyonlarını içermektedir.

2.2. Etkinlik Ölçüm Yöntemleri

Etkinlik analizi için kullanılan ölçüm sistemleri yapısal olarak; oran analizleri, parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olmak üzere üç temel gruba ayrılabilir [Cooper ve ark, 2000].

2.2.1. Oran analizi

Etkinlik ölçümünde en basit ve yaygın olarak kullanılan oran analizidir. Oran ölçümleri az bilgiye ihtiyaç duyarlar, fakat genellikle tek bir girdi ve çıktıya sahip olduklarından dolayı dar kapsamlıdır [Yolalan, 1993]. Bu yaklaşımda her bir oran etkinlik ile ilgili tek bir boyutu yansıtmaktadır. Bu yüzden etkinliğin diğer boyutlarını görmek için başka oranların hesaplanması gerekliliği bulunmaktadır. Oran ölçümü yapılan bir işletme ya kendi içerisinde sayısal değerlerle ya da başka işletmelerin benzer değerleriyle ilişkilendirilir. Tek başına bir oran bir işletmenin başarısının ya da başarısızlığının tespitinde yeterli değildir. Oran analizi sonucunda

bazıları işletmenin son derece başarılı olduğunu, diğer taraftan bazıları da işletmenin son derece başarısız olduğu sonucuna varabilir. Bu nedenle etkinlik ölçümünde oran analizi kullanan işletmelerde tek bir etkinlik ölçütü elde etmek için kullanılan oranların uygun bir şekilde ağırlıklandırılması gerekmektedir.

2.2.2. Parametrik yöntemler

Bu yöntemlerde uygulama yapılacak endüstri dalına göre üretim fonksiyonunun analitik bir yapıya sahip olduğu varsayımı yapılır ve bu fonksiyonun parametrelerinin belirlenmesine çalışılır. Cobb-Douglas tipi üretim fonksiyonuna ilişkin parametrelerin belirlenmesi bu tür yöntemlere örnek olarak gösterilebilir. Parametrik yöntemlerde genel olarak regresyon analiziyle tahmin yapılırken, üretim fonksiyonu bir tek çıktı ile birçok girdiyi ilişkilendirerek tanımlanmaktadır. Regresyon analizi, birçok girdi ve çıktıyı içerebildiğinden oran analizine göre daha kapsamlıdır. Buna karşın regresyon analizinde bulunan regresyon denklemi bağımlı değişkenle, bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren fonksiyonel bir biçim koymayı gerektirir. Seçilen fonksiyonel biçim, hata terimlerinin dağılımı hakkında, bağımsız ve aynı normal dağılımlı olmaları gibi bazı özel varsayımları gerektirir [Tofallis, 2001]. Etkinlik ölçümünde, regresyon analizi açıklayıcı değişkenler olan girdi değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak karar verme biriminin çıktı değerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Regresyon analizi ile etkinlik ölçümü regresyon doğrusuna göre yapılmaktadır. Regresyon doğrusunun üzerinde kalan noktalar etkin, doğru altında kalan noktalar ise etkin olmayanlardır.

Parametrik yöntemler rassal hataya izin vermelerinden dolayı avantajlı sayılabilirler. Çünkü bu sayede ölçüm hatalarının ayıklanmasında daha başarılıdırlar. Parametrik yöntemlerin karşılaştıkları en büyük zorluk, rassal hata ve etkinsizliğin nasıl ayırt edileceğidir. Parametrik yöntemler bu ayırımı yapmak için kullandıkları dağılım varsayımıyla birbirinden ayrılırlar. Böylece parametrik yöntemlerde etkinlik sınırından sapmaların, etkinsizlik ve rassal hata gibi iki unsurdan oluştuğu ve bu iki bileşenin birbirinden ayırt edilebilmesinin büyük önem taşıdığı ortaya çıkar.

Etkinliğin hesap edilmesi amacıyla önerilmiş parametrik yöntemler aşağıda özetlenmiştir.

Stokastik sınır yaklaşımı

Ekonometrik yaklaşım olarak ta bilinen Stokastik sınır yaklaşımı (SFA-Stochastic Frontier Approach), maliyet, kar ve üretim gibi bağımlı değişkenlerle, girdi, çıktı ve çevresel faktörler gibi bağımsız değişkenler arasında bir fonksiyon tanımlar ve rassal hata için modelde yer ayırırlar [Adler ve ark, 2002]. Bu teknikte, rassal hata ve etkinsizliğin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Herhangi bir gözlemin etkinlik sınırından sapsmasının ne kadarının rassal hata ne kadarının da etkinsizlik olduğu anlaşılmadan model sonuçlarının güvenilir olmayacağı açıktır. Bu iki unsur genellikle farklı dağılımlara sahip oldukları varsayılarak ayrılırlar.

SFA etkinsizliğin asimetrik dağılıma sahip olduğu varsayımına dayanan bir bileşik hata modeli uygular [Hjalmarsson ve ark, 1996]. Bir maliyet fonksiyonu modelinde verilen hata terimi $\varepsilon = \mu + \nu$ şeklinde ifade edilebilir. Burada $\mu \geq 0$ etkinsizliği temsil eder ve yarı normal dağılıma sahiptir. Yarı normal dağılım olmasının sebebi etkinsizliğin negatif olamayacağındandır. ν ise rassal hatayı temsil eder ve normal dağılıma uyar. Rassal hata maliyet fonksiyonunu hem yükseltici hem de azaltıcı yönde davranabileceğinden simetrik bir dağılıma sahip olması gerektiği ifade edilmektedir.

Berger (1997) bu varsayımların temelsiz olduğunu ve etkinlik ölçümünde büyük hatalara neden olabileceklerini iddia etmiştir. Etkinsizlik ile ilgili yarı normal dağılım varsayımı birimlerin çoğunluğunun etkinlik sınırında yoğunlaşmasına neden olacaktır. Etkinsizliğin normale yakın bir dağılım ve rassal hatanın da normal dağılıma uymayan bir dağılım gösterdiğini bulgulayan birçok araştırma vardır.

Dağılımdan bağımsız yaklaşım

Bu yöntem (DFA-Distribution Free Approach), adından da anlaşılacağı üzere belli kısıtlar altında hata teriminin ve onların bileşenlerinin (etkinsizlik ve rassal hata) herhangi bir dağılıma sahip olabileceğini varsayar. Ancak panel verinin varlığı altında kullanılabilen DFA yönteminde her birimin uzun vadede etkinliği sabittir en azından istikrarlıdır ve ölçüm hataları da sifıra yakınsar [Berger ve Humprey, 1997]. Bu varsayımlar etkinsizliğin pozitif olması şartıyla gerçekleştirilebilir.

Koyu sınır yaklaşımı

Koyu sınır yaklaşımı (TFA-Thick Frontier Approach) yöntemi, SFA ve DFA yöntemlerinden özellikle dağılım üzerine yapılan varsayımlarla farklılaşır. SFA ve DFA yöntemlerinin gözlemlenen değerlerle varsayılan değerler arasındaki farkı oluşturan etkinsizlik ve rassal hata unsurlarının dağılımlarına ilişkin varsayımları iki yöntem arasındaki temel farkı oluşturur. Buna karşılık TFA yönteminde bu iki unsurun beklenen dağılımlarına ilişkin herhangi bir varsayım yoktur. Sadece gözlemlenen ve beklenen değerler arasındaki farkların en büyük ve en küçük değerlerin rassal hatayı, geri kalan değerlerin ise etkinsizliği oluşturduğu varsayılır. Böylece TFA yöntemi bir tek birimin etkinliğinin tahmini için uygun olmayan bir yöntem durumuna gelir. Buna karşın genel etkinlik düzeyinin hesaplanmasında kullanılır.

SFA, DFA ve TFA' da birden fazla bağımsız değişken kullanılabilenkte beraber, ancak bir tane bağımlı değişken kullanmak mümkündür.

2.2.3. Parametrik olmayan yöntemler

Parametrik olmayan yöntemler, parametrik yöntemlerde olduğu gibi üretim fonksiyonunun ardında herhangi bir analitik formun varlığını öngörmeyen esnek bir yapıya sahiplerdir ve çözüm olarak genellikle matematiksel programlama kullanılır. Bu yöntemlerin birden fazla bağımlı ve bağımsız değişken kullanılabilenkte gibi

üstünlükleri vardır. Buna karşın rassal hata terimi içermedikleri için veri ve ölçüm hataları, şans ya da başka faktörlerle oluşan hataları modele aktarır ve etkinlik sınırı yanlış tespit edilebilir.

Etkinliğin hesap edilmesi amacı ile iki temel parametrik olmayan yöntem önerilmiştir.

Etkinlik analizi (Data envelopment analysis)

Parametrik olmayan yöntemlerden en çok bilineni ve yaygın olarak kullanılan Etkinlik Analizidir. Etkinlik Analizi, girdiler ve çıktılar olarak ifade edilen benzer değişkenlere sahip karar verme birimlerinin göreceli etkinliklerini ölçmek amacıyla geliştirilmiş ve temelde doğrusal programlama teorisi prensiplerine dayanan parametrik olmayan bir tekniktir. Etkinlik Analizi, özgün olarak Charnes, Cooper ve Rhodes [Charnes ve ark., 1978] tarafından Farrell'in sınır üretim fonksiyonları kavramına dayanılarak, kamu programlarına katkıda bulunan; önce kar amacı gütmeyen kuruluşların teknik etkinliklerini ölçmek amacıyla geliştirilmiştir. Etkinlik Analizi, geleneksel istatistik yöntemlerin tersine merkezi eğilimler yerine gözlem kümesi içinde iyi performans gösteren uç değerlere sahip gözlemlerin faaliyetlerini araştırmaya çalışmaktadır. Yöntemin ilgi alanı ortalama faaliyet gösteren bir karar verme birimi yerine en iyi performansı, başka bir ifadeyle en büyük etkinliği gösteren karar birimleri olmaktadır. Seiford [1997], 1978-1996 yılları arasında yapılan Etkinlik Analizi çalışmalarının bibliyografyasını çıkartmıştır. Bu yöntem homojen oldukları varsayılan birimleri kendi aralarında kıyaslar. En iyi birim(ler)i etkinlik sınırı kabul ettikten sonra diğer birimler bu etkin birim(ler)e göre değerlendirilir. Dolayısıyla Etkinlik Analizi yönteminde etkinlik sınırı varsayılan bir durum değil, gerçekleşen bir durumdur. Etkinlik sınırı bu şekilde tespit edildiği için rassal hata modelde yer almaz. Modelde rassal hata olmaması bazı güçlüklerle yol açabilir. Rassal hata olmadığı için ölçme hataları ve verilerdeki gürültü (noise) ayıklanamaz. Bu nedenle verilerle ilgili problemler sonuçlar üzerinde etkili olabilir. Örnek olarak, ele alınan birimlerden bir tanesinin verilerinde ölçme hatası, gürültü veya herhangi bir neden sonucu diğer birimlerden çok daha iyi bir etkinlik değerine

sahip olduğunu varsayalım. Eğer bu veri ayıklanmazsa, bu birim etkinlik sınırını belirleyecek ve geri kalan tüm birimler belki de etkinsiz olarak değerlendirilecektir. Bu hatayı gidermenin kesin bir yolu yoktur. Bu nedenle araştırmayı yapan kişinin ele aldığı veri setini ve bu veri setini etkileyen nedenleri, alınan zaman aralığına özgü durumları çok iyi bilmesi ve eğer gerekiyorsa verilerini ayıklaması gerekmektedir.

Serbest düzenleme yüzeyi

Bu yöntem (FDH-Free Disposal Hull), Etkinlik Analizi yönteminin özel bir durumu olup, etkinlik sınırını oluşturan kenarları üretim kümesi içine almaz. Bunun yerine gözlem noktaları ve bunların güneydoğu kısımlarını kapsayan alan üretim kümesi içinde bulunur. Bu alana serbest düzen düzeyi adı verilir. Böylelikle etkinlik sınırı basamak şeklinde oluşturulur. FDH, Etkinlik Analizi yönteminden daha büyük etkinlik sonuçları verir [Berger ve Humprey, 1997].

2.3. Etkinlik Analizi Yöntemi

Etkinlik Analizi, temelde doğrusal programlama ilkelerine dayanan, aynı girdileri kullanarak aynı çıktıları üreten KVB'lerini görelî olarak bir bütün içinde karşılaştırma yapmak suretiyle değerlendiren, etkin ve etkin olmayan KVB şeklinde sınıflandıran, etkin olmayan KVB için etkinsizliğin kaynaklarını ve miktarını belirleyerek karar vericiye yardımcı olmak için tasarlanmış parametrik olmayan bir yöntemdir. Etkinlik Analizi yönteminin, 1978 yılından başlayarak günümüze dek parametresiz verimlilik ölçüm tekniği olarak, hem kuramsal hem de metodolojik olarak oldukça hızlı bir şekilde geliştiği ve yaygın olarak kullanılmaya devam ettiği görülmektedir.

Etkinlik analizi ilk olarak Charnes, Cooper ve Rhodes [1989] tarafından, ürettikleri mal veya hizmet açısından birbirlerine benzer ekonomik karar verme birimlerinin görelî etkinliklerinin ölçülmesi amacı ile geliştirilmiş olan parametrik olmayan bir etkinlik yöntemidir. Bu yöntemin sahip olduğu en önemli özellik, her karar verme birimindeki etkinsizlik miktarını ve kaynaklarını tanımlayabilmesidir. Bu özelliği ile

yöntem etkin olmayan karar verme birimlerinde ne kadarlık bir girdi azaltma ve/veya çıktı miktarının ne kadar artırılması gerektiğine ilişkin olarak yöneticilere yol gösterebilir. Regresyon analizi gibi parametrik yaklaşımlarda bağımlı değişkenin diğer değişkenlere göre bir fonksiyonu tahmin edilmeye çalışılır. Bu ise normallik varsayımı gibi bazı özel varsayımların sağlanmasını gerektirmektedir. Buna karşılık Etkinlik Analizi tekniğini kullanırken herhangi bir fonksiyonel ilişki tanımlamaya gerek yoktur. Metot için gerekli olan tek varsayım ise her bir karar verme biriminin etkinlik sınırının üzerinde veya altında olmasıdır. Sınırdan olmayan her bir karar verme birimi, sınırda kendisine en yakın olan birime göre değerlendirilir.

Farrell'in fikirlerini geliştiren Charnes, Cooper ve Rhodes (1989) tek bir çıktının tek bir girdiye oranlanmasıyla elde edilen etkinlik değerini, çoklu çıktılarının çoklu girdilere oranlanmasına genişletmişlerdir. Buradan her bir KVB için yapay bir çıktı ve yapay bir girdi bulunmakta ve bu yapay çıktı ve girdiler vasıtasıyla KVB'lerin etkinlik değerleri bulunabilmektedir. Bu yapay çıktı ve girdiler, çıktı ve girdilerin ağırlıklı bir ortalaması olarak alınmıştır. Burada ağırlıklar, etkinlik değerlerini 1'den büyük yapmayacak şekilde seçilmektedirler.

Etkinlik analizi tekniğinin önemli bir yanı, her bir KVB'nin etkinlik değeri diğerlerine göre hesaplandığından, hesaplanan etkinliklerin göreceli etkinlikler olmasıdır. Etkinlik değerlerinin her bir karar verici için optimum değerleri hesaplanmakta, bu sayede optimumu veren KVB'ler etkinlik sınırının üzerinde, diğerleri ise sınırın altında kalmaktadırlar. Sınırın altında kalan KVB'ler için, her bir girdi ve çıktı için kullanılmayan kaynaklar ve benzeri bilgiler elde edilebilmektedir. Bunu yapmak için etkin olmayan KVB, benzer girdi ve çıktı miktarları olan ve sınır üzerinde yer alan KVB ya da KVB'lerle karşılaştırılır. Etkin olmayan KVB'nin aynı miktarda girdi ile ne kadar daha çıktı üretebileceği ya da aynı miktarda çıktıyı girdilerindeki ne kadarlık bir azaltma ile üretebileceği, etkin KVB(ler)'e göre hesaplanır. Böylece etkin olmayan KVB için, etkin olan KVB'lere göre bir hedef değeri de belirlenmiş olur.

Etkinlik analizinin ilk uygulaması Amerika 'da ki kamu okullarına giden özürlü çocukların programlarının değerlendirilmesine yönelik olarak federal hükümetin desteğinde gerçekleştirilmiştir. İlk başta kar amacı gütmeyen kurumların (hastane, silahlı kuvvetler, üniversite v.b.) karşılaştırmalı etkinliğinin ölçülmesini hedefleyen bu yöntem, daha sonraları ARGE projelerinde, çok uluslu ya da çok şubeli şirketlerin göreceli performanslarının ölçümünde ve nihayet kar amaçlı üretim ve hizmet sektörlerinde de işletmeler arası göreceli etkinliğin ölçümünde yaygınca kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin getirdiği en önemli yenilik, birçok girdinin kullanılarak birçok çıktının elde edildiği durumlarda; parametrik yöntemlerde olduğu gibi önceden belirlenmiş herhangi bir analitik üretim fonksiyonu varlığının öngörülmesine gereksinim duymadan ölçüm yapılabilmesidir.

2.3.1. Temel etkinlik analizi modelleri

Etkinlik Analizi metodu ile göreceli etkinlik ölçümü, girdiye ve çıktıya yönelik olarak iki yönlü olarak yapılabilmektedir. Girdiye yönelik Etkinlik Analizi modelleri; karar verme birimi girdi karmasını korurken, performansını artırma yoluyla çıktılarında azalma olmadan girdi düzeyinde ne dereceye kadar azaltma yapabileceğini araştırmaktadır. Çıktıya yönelik Etkinlik Analizi modelleri ise karar verme birimi çıktı karmasını korurken performansını artırma yoluyla ek kaynağa gereksinim duymadan çıktı düzeyinde ne dereceye kadar genişleme yapabileceğini araştırır.

Etkinlik Analizinde tüm modellerin ortak yanı, hangi KVB'lerin etkinlik sınırını oluşturduklarını, böylece etkinlik sınırının oluşturulmasıyla, etkin ve etkin olmayan KVB'lerin tespit edilmesidir. Modeller arasındaki fark, kullanılan modele göre bu yüzeyin geometrisinde ortaya çıkmaktadır. Sınırın oluşturulmasıyla birlikte sınırın altında kalan etkin olmayan KVB'ler için kullanılmayan kaynaklar tanımlanabilir.

En çok kullanılan Etkinlik Analizi modeli Charnes Cooper Rhodes (CCR) modelidir.

Charnes Cooper Rhodes (CCR) modeli

Etkinlik Analizinin ilk önerilen modeli olan CCR modeli, Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından önerilmiştir [Seiford, 1990]. Bu model ile ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında teknik etkinlik ölçülmektedir. Bu tip Etkinlik Analiz modellerinde etkinlik sınırı orijinden başlayıp, etkin olan karar verme birim(ler)inden geçen bir doğru ile temsil edilmektedir.

Girdileri çıktılara dönüştüren n tane karar verme birimi olsun. Her karar verme birimi için girdi ve çıktı çoklukları değişmekle birlikte, kullanılan girdi ve üretilen çıktı miktarları aynıdır. Matematiksel gösterimle j . karar verme birimi s boyutlu çıktı vektörü y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$) üretmek üzere m boyutlu girdi vektörü x_{mi} ($i = 1, 2, \dots, m$) kullanır.

Girdi ve çıktı değişkenleriyle ilişkilendirilen etkinlik ölçüsü Eş. 2.5' de verildiği gibi tanımlanabilir.

$$\text{Etkinlik} = \frac{\text{Çıktıların ağırlıklı toplamı}}{\text{Girdilerin ağırlıklı toplamı}}$$

(2.5)

Değerlendirilecek karar verme birimini o indisi ile diğerlerini ise j indisi ile gösterilsin. Etkinlik skorları oran formunda,

$$\max h_o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} &\leq 1 & (2.6) \\ v_i &\geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \\ u_r &\geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \\ & \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

biçiminde tanımlanabilir.

Burada v_i ve u_r sırasıyla girdi ve çıktı ağırlıklarını göstermektedir. $\sum u_r y_{rj}$ çıktı toplamını, $\sum v_i x_{ij}$ girdi toplamını göstermektedir. Çıktı/Girdi oranı h_o , optimal girdi-çıktı ağırlıklarını seçerek maksimum yapılacak amaç fonksiyonudur. Eşitsizlik kısıtı, aynı ağırlıklarla tüm karar verme birimlerinin etkinlik oranlarının birim büyüklükten fazla olmamasını garanti eder. Çözüm sonunda elde edilen etkinlik dereceleri $h_o = 1$ ise o-uncu karar verme birimi “KVB_o” tam etkindir.

Model kesirli programlama formundadır. Kesirli form çözüm zorluğu yarattığından, değişken dönüşümü ile oransal form eşdeğeri olan doğrusal programlama modeline dönüştürülmektedir. Bu nedenle, Charnes ve Cooper [1989] tarafından gerçekleştirilen dönüşümle, Girdi Yönlü CCR Primal modeli;

$$\max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{ro}$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\ v_i &\geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \\ u_r &\geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned}$$

(2.7)

biçiminde önerilmiştir.

Böylece geleneksel doğrusal programlama modeli elde edilmiş ve hesaplama avantajları doğmuştur. Eş. 2.7 modeli, bilgisayar yazılımları ile kolayca çözümlenecek durumdadır.

Eş 2.7' de gösterilen modelden de görüleceği üzere, girdi yönlü CCR modelinde sırasıyla her bir KVB'nin çıktılarının ağırlıklı ortalaması maksimum yapılmaya çalışılır. Kısıtlarda ise ilgilenilen KVB'nin girdilerinin ağırlıklı ortalaması 1'e eşitlenmiştir, böylece girdilerin ağırlıklı ortalaması her bir KVB için 1 olmaktadır. Daha sonraki kısıt çıktıların ağırlıklı ortalamasının girdilerin ağırlıklı ortalamasından küçük olmasını sağlamaktadır. Bu sayede Çıktı/Girdi oranı her bir karar verici için en fazla 1 olabilir. Bu bilgilerin ışığında bir karar verici için bulunabilecek optimum çıktı ortalaması en fazla 1 olabilir ve bu ise karar vericinin etkin olduğu anlamına gelir. Etkin olmayan, yani etkinlik sınırının altında kalan KVB'ler için çıktıların ağırlıklı ortalaması, yani etkinlik değeri 1'den küçük olacaktır.

Ayrıca Eş. 2.7' de verilen modelin ek kullanım ve yorumlara imkan sağlayan dual biçimi de Girdi Yönlü CCR Dual model olarak,

$$\min z_o = \theta$$

Kısıtlar:

$$\theta_o x_{io} - \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- = 0$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = 0$$

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

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad r = 1, 2, \dots, s, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(2.8)

verilebilir.

Eş 2.6 modelinde olduğu gibi Eş 2.7 modelinde de o indisi etkinliği hesaplanacak karar verme birimini x_{ij} ve y_{rj} sırasıyla j . karar verme birimi i . girdi ve r . çıktısını

v_i ve u_r her karar verme biriminin etkinlik değerini maksimum yapacak şekilde ve sırasıyla girdi-çıktı ağırlıklarını gösterir. Verilen Eş 2.7 veya Eş 2.8 modellerinden birinin çözülmesi yeterlidir. Doğrusal programlama teorisine göre,

$$\min z_o = \theta_o^* = \max w_o = w^* \quad (2.9)$$

dır.

Bu, Eş. 2.7 ile Eş. 2.8 modelinin optimal değerlerinin aynı olduğu anlamına gelir. Charnes-Cooper dönüşümü ile Eş 2.6- Eş. 2.8 modelleri eşitliğinden, hangi model ile çözüm bulunursa bulunsun aynı sonuçlar elde edilir.

Etkinlik için referans noktaları $\sum u_r y_{rj} / \sum v_i x_{ij} = 1$ olan karar birimleridir. KVB_o 'ya atanan performans katsayısı w_o , tüm diğer karar vericilerin performansları üzerinden hesaplanır ve v_i^* , u_r^* ağırlıkları bu değeri maksimum yapan ağırlıklardır. Başka v_i , u_r ağırlıkları bu sonucu daha iyi oluşturamaz. $w_o^* = 1$ olduğunda KVB_o diğer karar verme birimlerine göre tam etkin sayılır.

Etkinlik şartları,

$$\theta_o^* = 1 \quad , \quad \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ = 0$$

(2.10)

olarak verilir.

Bu şartları yorumlamak gerekirse; Eş. 2.8 ifadesinde $\theta_o^* < 1$ olması demek öteki karar verme birimlerinin performanslarını göstermektedir ki KVB_o girdilerini $(1 - \theta_o^*)$

oranında azaltabilir. Aylak değişkenler (s_i^-, s_r^+) üzerindeki şart, tümü sıfır olduğunda gerçekleşir. Aylak değişkenler ile ilgili şunları söyleyebiliriz; diğerlerini azaltmadan veya artırmadan $s_i^{-*} > 0$ ise x_{io} girdisi azaltılabilir. $s_r^{+*} > 0$ ise y_{ro} çıktısı artırılabilir.

Tüm bu ifadelere dayanarak şu sonuçlara ulaşılabilir:

Eş. 2.10 şartlarının sağlanması durumunda KVB_0 tam etkindir ve bu KVB_0 için bir kısım girdi ve çıktıyı değiştirmeden diğerlerini iyileştirmek mümkün değildir. Tersine bu şartlardan biri veya her ikisi sağlanmadığında KVB_0 tam etkin değildir. θ^* ve aylak değişkenler üzerindeki şartlar performans azlığını ve kaynağını belirler. Eğer bir karar vericinin herhangi bir s^{+*} değeri sıfırdan farklıysa KVB için ilgili çıktıyı artırarak etkin duruma ulaşabileceği, benzer olarak s^{-*} değeri sıfırdan farklıysa KVB için ilgili girdiyi azaltarak etkin duruma gelebileceği söylenir.

Bazı durumlarda problemin çözümünde $\theta_0^* = 1$ olmasına rağmen, aylak değişkenlerin sıfır olması koşulu sağlanmayabilir. Bir ya da daha fazla aylak değişken sıfırdan farklı olabilir. Genellikle, incelenen karar verme biriminin bir ya da birkaç girdisinin çok az kullanılması veya birkaç çıktısının çok fazla üretilmesi nedeniyle ilgili girdi ya da çıktılara yüksek ağırlık atanması sonucunda ortaya çıkabilen bu gibi durumlardaki karar verme birimlerine zayıf etkin (weakly efficient) adı verilir [Norman ve Stoker, 1991].

Çıktı yönlü CCR modelinin yapısı ve yorumu da girdi yönlü modele benzemektedir. Çıktı yönlü CCR primal ve dual modelleri sırasıyla Eş. 2.11 ve Eş. 2.12' de gösterilmiştir. Dual modelden de görüleceği üzere ağırlıklı girdi toplamı minimum yapılmaya çalışılmaktadır.

Çıktı yönlü CCR Primal Modeli

$$\max z_o = \phi$$

Kısıtlar:

$$\phi y_{ro} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r^+ = 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

ve

Çıktı yönlü CCR Dual Modeli

$$\min q_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1 \quad (2.12)$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\mu, v \geq 0$$

biçimindedir.

Bu modellerde de s tane çıktı, m tane girdi ve n tane karar verici sayılarını ifade eder.

Dual modelde ilgili KVB'nin girdilerinin ağırlıklı toplamının minimum yapılması amaçlanmaktadır. Karar vericinin çıktıların ağırlıklı toplamı 1'e eşitlenmektedir. Ayrıca her KVB için ağırlıklı çıktı toplamının, ağırlıklı girdi toplamlarından küçük olması bir diğer şarttır. Bu şarta göre etkinlik değeri hesaplanmak istenen KVB'nin girdilerinin ağırlıklı toplamı minimum 1 olmaktadır. Böylece etkin bir karar verici için etkinlik değeri 1, etkin olmayan bir karar verici için bu değer 1'den büyük olmaktadır.

Banker Charnes Cooper (BCC) modeli

Banker, Charnes ve Cooper tarafından önerilmiştir [Seiford, 1990]. BCC modeli ölçüğe göre değişen getiri varsayımı altında karar verme birimlerinin etkinliğini ölçmektedir. Banker, Farrell tarafından tanımlanan ve CCR modeli ile bulunan teknik etkinliğin, ölçek etkinliği ile karışmış olduğunu belirlemiş, teknik etkinliğin ölçek etkinliği ve saf etkinlik olarak ayrılması gerektiğini göstermiştir. Bu nedenle ölçüğe göre değişen getiri varsayımı altında BCC modeli ile saf teknik etkinlik bulunabilmektedir.

Girdi yönlü BCC Primal

$$\text{Min } z_0 = \theta$$

Kısıtlar:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s \quad (2.13)$$

$$\theta x_{io} - \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^- = 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda, s^+, s^- \geq 0$$

Girdi yönlü BCC Dual

$$\text{Max } q_0 = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} + u_0$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \quad (2.14)$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u_0 \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\mu, v \geq 0, u_0 \text{ serbest}$$

Dikkat edilirse modeller CCR modellerine oldukça benzemektedir. Primal modeldeki fark, λ 'ların toplamının 1'e eşit olmasıdır. Dual modele ise yeni bir değişken (u_0) eklenmiştir. Bu değişikliklerle etkin sınırın yapısı değişmiştir. CCR modelinde orijinden geçen etkinlik doğrusu BCC modelinde orijinden geçmek zorunda değildir. Bu yapısıyla BCC modeli CCR modelinden ayrılmaktadır. Modellerin diğer değişkenler açısından yorumunda bir farklılık yoktur.

Çıktı yönlü BCC Primal

$$\text{Max } z_0 = \phi$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \phi y_{ro} - \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + s_r^+ &= & r = 1, 2, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{io} & i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1 \\ \lambda, s^+, s^- &\geq 0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Çıktı yönlü BCC Dual

$$\text{Min } q_o = \sum_{i=1}^m v_i x_{io} - v_o$$

Kısıtlar:

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - v_o &\leq 0 & j = 1, 2, \dots, n \\ \mu, v &\geq 0, \quad v_o \text{ serbest} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Görüldüğü gibi girdi yönlü BCC modelinde olduğu gibi burada da model CCR modeline benzemektedir. Çıktı yönlü CCR modelinden farklı olarak primal modelde λ 'ların toplamı 1'e eşittir. Dual modelde ise v_0 değişkeni kullanılmaktadır. Buradaki amaç ölçeğe göre sabit olmayan getiri sağlamaktır.

2.3.2. Etkinlik analizi uygulama aşamaları

Yöntemin etkinlik karşılaştırılması içeren bir çalışmada ölçüm metodu olarak kullanılması kararı, yöntemin amaçlanan çalışmaya uygunluk gösterip göstermediğinin saptanmasını gerektirir. Bunu belirlemek için uygulama aşamalarını ve modelin gereklerini bilmek gerekir.

Karar verme birimlerinin belirlenmesi

Etkinlik Analizi, gözlemlenen girdi ve çıktılarına dayanarak, gözlem kümesinde yer alan karşılaştırılabilen karar birimlerinin göreceli etkinlik değerlerinin hesaplanmasında kullanılan bir tekniktir. Benzer birimler arasında performansta farklılıklar olması doğaldır ve bunlar ölçülebilir. Aynı şartlar altında bile birimlerin yönetim biçimlerinde farklı karar vericiler tarafından yürütüldükleri için farklılıklar vardır. Bir yandan aralarındaki karşılaştırmanın anlamlı olacağı homojen bir birim kümesi ararken diğer yandan aralarındaki farklılıklar da belirlenebilmelidir.

Karar verme birimlerinin seçiminde göz önünde tutulması gereken bazı hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Göz önüne alınan birimlerin aynı görevleri benzer amaçlarla yerine getirmeleri gerekir.
- b) Tüm birimler aynı "Pazar şartları" kümesi altında çalışmalıdırlar. (Bu konu özellikle okullar, ordu birimleri, hastaneler gibi kar amacı gütmeyen organizasyonların analizinde çok önemlidir)

- c) Gruptaki tüm birimlerin performansını karakterize eden faktörler (girdi ve çıktı) yoğunluk ve büyüklükteki farklar dışında aynı olmalıdır.

Karar birimlerinin seçilmesinin yanında, karar birimlerinin sayısının belirlenmesi de önemli bir konudur. Etkinlik sınırını belirlemede kullanılacak yüksek performanslı birimleri yakalama olasılığının artması için birim sayısının fazla olması istenir [Golany, 1988]. Büyük bir birim kümesi, küme içerisindeki girdiler ve çıktılar arasındaki tipik ilişkileri daha kesin olarak belirlenmesine imkân sağlar. Ayrıca birimlerin sayısı arttıkça daha fazla sayıda faktörü incelemeye dâhil etmek mümkün olur. Burada kullanılan bir kural, birim sayısının, girdi ve çıktı sayısının en az üç katı olmasıdır. Diğer yandan kümede incelenen birimlerin sayısı arttıkça genellikle kümenin homojenliği azalır ve bu da ilgilenilmeyen bazı dış faktörlerin sonuçları etkileme olasılığını artırmaktadır. Girdi ve çıktıların seçimi Etkinlik analizinin ayırma gücünü etkilemektedir. Bu nedenle etkin bir ayırma için seçilen faktörlerin toplam sayısı birimlerin toplam sayısı ile karşılaştırıldığında küçük olmalıdır.

Girdi ve çıktıların belirlenmesi

Etkinlik analizinde kullanılan girdi ve çıktılar modeldeki karar birimleri konusundaki karşılaştırmanın temelini oluşturduklarından büyük bir dikkatle seçilmelidir. Her ne kadar fonksiyonel bir varsayım bulunmasa da üretim sürecine nedensel olarak bağlı, girdi ve çıktıların belirlenmesi gereklidir. Aynı karar birimi için farklı girdi ve çıktı grupları farklı etkinlik değerleri alabilir. Eğer modelde önemli bir değişken göz ardı edilirse, göz ardı edilen bu değişken etkin olarak kullanılan karar verme birimlerinin etkinliğini düşürecektir. Ancak çok fazla girdi ve çıktı dahil edilmesi, karar birimlerinin seçilmesi bölümünde de bahsedildiği gibi Etkinlik analizinin ayırma gücünü etkilemektedir. Sonuç olarak bir Etkinlik analizi çalışmasına dahil edilecek girdi ve çıktı sayısı olabildiğince küçük olmalı, ancak çalışmada incelenen karar verme birimlerinin gerçekleştirdiği üretimi de doğru olarak yansıtabilmelidir [Golany, 1988].

Verilerin elde edilebilirliği ve güvenilirliği

Etkinlik analizi için girdi ve çıktılar belirlendikten sonra, tüm karar birimleri için girdi ve çıktıların elde edilmesi gereklidir. Herhangi bir birim için gerekli verilerin elde edilememesi durumunda söz konusu birim modelden çıkarılır. Böyle bir durumun ortaya çıkması görelî etkinliklerin gerçek değerlerini etkileyecektir.

Verilerin elde edilebilmeleri kadar güvenilirlikleri de önemlidir. Doğru olmayan veriler, karar verme birimleri hakkında elde edilen görelî etkinlik değerlerini dolayısıyla tüm çalışmayı tartışmalı hale getirecektir.

Görelî etkinliğin ölçülmesi

Karar verme birimleri ile girdi ve çıktıları olabildiğince güvenilir bir şekilde elde edildikten sonra, karar verme birimlerinin etkinlik değerleri, en uygun Etkinlik analizi modeli kullanılarak hesaplanabilir.

Etkinlik değerleri ve referans grupları

Charnes ve Cooper, Etkinlik Analizi'ndeki etkinliğin tanımını, değerlendirilecek her bir karar birimine aşığıdaki şekilde uygulamışlardır:

Herhangi bir karar birimi için %100 etkinlik ancak aşığıdaki durumlarda söz konusudur:

- a) Hiçbir çıktısı aşığıdaki durumlar haricinde artırılmaz
 - i) Bir ya da birden fazla girdisinin artırılması veya
 - ii) Diğer çıktılarından bazılarının azaltılması.
- b) Hiçbir girdisi aşığıdaki durumlar haricinde azaltılmaz
 - i) Çıktılardan bazılarının azaltılması veya
 - ii) Diğer bazı girdilerinin artırılması.

c) Herhangi bir karar birimi % 100 görelî etkinliğe yalnızca, diğeri ilgili karar birimleri herhangi bir girdi ya da çıktının kullanımında etkinsizliğe dair bir kanıt getirmiyorlarsa ulaşmış sayılır.

Etkinlik hesaplamaları sonucunda her bir karar verme birimi için 0 ve 1 arasında bir etkinlik değeri hesaplanır. Etkinlik değeri 1'e eşit olan birimler en iyi gözlem kümesini, aynı zamanda da etkinlik sınırını oluştururlar. Etkinlik değeri 1'den küçük olan karar verme birimleri görelî olarak etkin değildir ve bu karar verme birimlerinin görelî etkinlik değerleri etkinlik sınırına olan uzaklıklarını temsil eder. En iyi gözlem kümesini oluşturan birimlerin etkinlik değerleri 1 olduğuna göre, görecelî olarak etkin olmayan birimlerin 1'den sapması görelî etkinsizlik ölçüsünü verecektir.

Etkinlik analizinde birimler arasındaki karşılaştırma etkin olan karar vericilere göre yapılır. Etkinlik analizi yöntemi, etkin olmayan karar birimlerinin de etkin karar birimlerinin uyguladığı yönetsel yöntemleri uygulayarak aynı etkinlik seviyesine ulaşabileceklerini kabul etmektedir.

Gözlem grubundaki etkin olmayan karar birimlerinin her biri için Etkinlik analizi, etkin sınır üzerindeki bir grup etkin karar birimini referans grubu olarak belirler ve karşılaştırmanın tüm gözlem grubuna oranla daha küçük bir grup ile yapılmasını sağlar.

Etkin olmayan karar verme birimleri için hedef değeri belirlenmesi

Etkinlik analizindeki, gözlem kümesinde yer alan karar birimlerinin benzerliklerinden hareket eder. Yöntemin uygulanmasından elde edilen en büyük fayda, etkin olmayan karar birimlerinin performanslarını iyileştirebilmeleri için, elde edilebilir hedefler konulmasıdır.

Söz konusu hedefler, genellikle, etkin olmayan karar biriminin referans kümesinde yer alan etkin birimlerin bir ağırlıklı ortalamasıdır.

Hesaplamalarda elde edilen sonuçlar, etkin birimlerin elde edilebilir bir teknoloji kullandıkları kabulünü içerdiğinden, etkin olmayan birim için de ulaşılabilir kabul edilmektedir. Ancak bu pratikte her zaman mümkün olmayabilir. Etkin olmayan karar birimleri üzerinde fiziksel veya kontrol edilemeyen bazı zorlamalar olabilir.

Belirlenen hedefler için göz önünde bulundurulması gereken bir diğer nokta, verimlilik analizinin yapıldığı ve dolayısıyla hedeflerin belirlendiği tarih “t” iken, hedeflere varmak için iyileştirme çalışmalarının muhtemelen “t+1” zamanında yapılacağıdır. Bu tarihler bütçe dönemlerini belirtiyor olabilir ki buna rağmen “t” zamanındaki hedeflere bağlı kalmak etkinliğin zaman içinde sabit olduğu varsayımını yapmak anlamına gelebilir.

Etkin karar verme birimlerinin karşılaştırılması

Etkinlik Analizinde karar verme birimleri, yapılan çözümlenme sonunda bulunan etkinlik skorlarına göre sıralanmaktadır. En yüksek etkinlik değerine göre sahip karar verme birimi birinci sırada yer alırken, en düşük etkinlik değerine sahip karar verme birimi son sırada yer almaktadır. Fakat Etkinlik Analizinde etkin bulunan karar verme birimlerine “1” etkinlik değeri atanması, etkin olan birimlerin kendi aralarında bir sıralama yapılmasına imkân vermemektedir. Bu güçlüğü aşmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunların bir özetini Adler (2002) vermiştir.

Etkin birimlerin sınıflaması için önerilen ilk metot Sexton [1986] tarafından ortaya konulan çapraz etkinlik matrisidir [Doyle ve Green, 1993]. Basitçe her bir KVB'nin etkinliğini optimal ağırlıklara göre n defa tekrar hesaplama esasına dayanır. Bu yaklaşımda, önce her bir karar verme birimi için Etkinlik Analizi ile etkinlik skorları ve ağırlıklar bulunur. Bulunan bu ağırlıklar ile diğer karar verme birimlerinin etkinlik skoru hesaplanır. Bu şekilde elde edilen çapraz etkinlik skorlarının oluşturduğu çapraz etkinlik matrisi bulunur.

$$h_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{rk} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ik} x_{ij}} \quad j, k = 1, 2, \dots, n \quad (2.17)$$

Burada h_{kj} ; k. birimin optimal ağırlıklarına göre etkinliği hesap edilmiş j. birimi göstermektedir. Bu matrisin tüm elemanları $[0,1]$ aralığında değer alıp h_{kk} birimin kendi etkinlik skorunu yansıtmaktadır. Bu aşamadan sonra her bir KVB'nin kendisinin ve diğer KVB'lerin optimal ağırlıklarına göre aldıkları etkinlik sonuçlarının istatistiksel eğilimi o KVB'nin etkinlik sıralaması için kullanılabilir. Burada araştırmacı herhangi bir istatistiksel eğilim ölçüsünü kullanmakta serbest olsa da $\bar{h}_k = h_{kj}/n$ şeklinde tanımlayacağımız aritmetik ortalamanın kullanılması doğal olarak daha hassas sonuçlar verecektir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta bu aşamaya kadar n KVB'nin tümü için genel olmasıdır, büyük çaplı veri kümelerinde etkin olmayan birimleri Etkinlik Analizinin zaten sıraladığından hareketle çapraz etkinlik matrisini sadece etkin birimlere kısıtlayarak uygulamak araştırmacıya önemli bir tasarruf sağlayacaktır.

Etkin karar birimlerin sıralanması için geliştirilen diğer bir yöntem de Andersen ve Petersen (1993) tarafından geliştirilen süper etkinlik modelidir. Bu yöntemdeki temel fikir, incelenen karar verme birimini tüm diğer karar verme birimlerinin doğrusal kombinasyonları ile karşılaştırmaktır. Bu amaçla, incelenen karar verme birimi referans kümeden çıkartılır. Elde edilen süper etkinlik skorunun değeri en yüksek olan karar verme birimi birinci sırada yer alacaktır. Diğer karar verme birimleri de süper etkinlik skor değerine göre büyükten küçüğe sıralanacaktır. İncelenen karar verme birimi için, süper etkinlik modeli, Girdi yönlü CCR Modeli için,

$$\max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} = 1 \quad (2.18)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad j \neq o$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \text{tüm } r \text{ ve } i \text{ ler için}$$

biçiminde ifade edilir.

Eş. 2.18, referans kümeden incelenen karar verme biriminin çıkartılması dışında girdi yönlü CCR modelinin aynısıdır. Benzer biçimde diğer etkinlik Analizi modelleri için de süper etkinlik modelleri oluşturulabilir. Bu yöntemin aldığı en büyük eleştiri, bazı durumlarda sınırsız çözüm vermesi ve dolayısıyla karar verme birimlerinin sıralanamamasıdır.

Karar verme birimlerinin sıralanması için çapraz etkinlik ve süper etkinlik yöntemleri dışında, Kanonik Korelasyon Analizi ve Diskriminant Analizi gibi istatistiksel yöntemlere de dayanan başka yöntemlerde geliştirilmiştir.

Genel olarak Etkinlik analizi metodolojisi kısaca şöyle özetlenebilir:

- a) Aynı kararların uygulandığı ve benzer organizasyona sahip olan karar verme birimlerinin seçilmesi.
- b) Karar verme birimlerinin etkinliğinin ölçülebilmesi için, bu birimlere ait uzmanlardan alınan ve onların verdiği bilgilerin temsil edildiği girdi ve çıktı değişkenlerinin belirlenmesi.
- c) Etkinlik analizi yönteminin uygulanması (uygun görülen bir model ile).
- d) Her bir karar verme biriminin etkinliğinin değerlendirilmesi ve referans kümelerin oluşturulması.

- e) Etkin olmayan karar birimleri için hedef değerler belirlenerek, bu birimlerin de etkin hale getirilmesi.
- f) Sonuçların her bir karar verme birimi için yorumlanması.

2.4. Çapraz Etkinlik ve FPI (False Positive Index)

Çapraz etkinlik değerlendirmesi genellikle iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada klasik Etkinlik Analizi etkinlik hesaplamaları ile her bir karar verme birimi için optimal ağırlıklar elde edilir. Klasik Etkinlik Analizi ile elde edilen optimal ağırlıklar özellikle etkin karar verme birimleri için çoklu çözümlü olmakta ve gerçekçi (mantıklı) olmayan (sıfır ya da ekstrem değerli) durumdadır. İkinci aşama ise bu olumsuzlukları azaltmak ve her bir karar verme birimi için klasik Etkinlik Analizi ile elde edilen etkinlik değerlerini muhafaza edecek uygun bir ağırlık kümesi seçmek üzerinedir.

İlk aşamada klasik Etkinlik Analizi formülasyonu ile her bir karar verme birimi için etkinlik skorları ve optimal ağırlık değerleri hesaplanır. İlk aşamadaki sonuçlar yardımı ile ilgilenilen karar verme biriminin optimal ağırlıklarını kullanarak diğer karar verme birimlerinin eş (çapraz) etkinlik değerleri hesaplanmaktadır. Eş değerlendirme skoru (peer evaluation score), $\theta_{p,j}$, ilk aşamada elde edilen KVB_p 'nin optimal ağırlıklarını kullanarak KVB_j için elde edilen etkinlik skorudur.

$$\theta_{p,j} = \frac{\sum_{r=1}^s u_{r,p} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{i,p} x_{ij}} \quad (2.19)$$

İlk aşamada klasik Etkinlik Analizi ile elde edilen optimal ağırlıklar genellikle çoklu çözümlü olduğundan, ikinci aşamadaki $\theta_{p,j}$ değerleri de bu ağırlık değerlerine bağlı olarak değişecektir. Bu olumsuzluğu azaltmak için ikinci aşamada her bir birim için elde edilen öz etkinlik skorlarının (self efficiency score), $\theta_{p,p}$, muhafaza edildiği

model önerileri yapılmıştır. Sexton ve ark. [1986] tarafından geliştirilen ve Doyle ve Green (1994) tarafından genişletilen aggressive çapraz etkinlik modeli Eş. 2.20 ile verilmektedir. Bu yaklaşımda ilgili karar verme birimi'nun (under evaluation karar verme birimi) etkinlik skoru muhafaza edilirken diğer karar verme birimlerinin etkinliği ise minimum yapılmaya çalışılmaktadır. Benevolent yaklaşımında ise diğer karar verme birimlerinin etkinlikleri de maksimum yapılmaya çalışılmaktadır. Etkinlik Analizinde karar verme birimlerinin birbirinden ayırt edilmesi önemli bir problem olduğundan aggressive modeli benevolent modeline göre ayırma gücü problemi için daha kullanışlı gözükmektedir.

$$\begin{aligned}
 & \min \sum_{r=1}^s \left(u_{rp} \sum_{j=1; j \neq p}^n y_{rj} \right) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \sum_{i=1}^m \left(v_{ip} \sum_{j=1; j \neq p}^n x_{ij} \right) = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \quad j = 1, \dots, n; \quad j \neq p \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rp} - \theta_{p,p} \sum_{i=1}^m v_i x_{ip} = 0 \\
 & u_r \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \\
 & v_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

İkinci aşama $p = 1, \dots, n$ olmak üzere her bir KVB_p için tekrarlanır. Eş. 2.20'de verilen modelden elde edilen $u_{r,p}$ ve $v_{i,p}$ ağırlıkları Eş. 2.19 yardımı ile KVB_j için $\theta_{p,j}$ skorunu hesaplamada kullanılmaktadır. Tüm çapraz değerlendirme skorları hesaplandığında, KVB_k için çapraz etkinlik skoru

$$CE_k = \frac{\sum_{j=1}^n \theta_{j,k}}{n} \tag{2.21}$$

ile elde edilmektedir [Anderson ve ark., 2002].

Klasik Etkinlik Analizi çözümlerinde ağırlıklar için tam bir ağırlık serbestliğinin (complete weight flexibility) olması etkin karar verme birimleri için uygun olmayan ağırlıklar elde edilmesine yol açmaktadır. Extrem ağırlıklara sahip karar verme birimleri potansiyel “false positive” adaylarıdır. Bir “false positive” karar verme birimi çoğu girdi ve çıktısında çok kötü değerlere sahip olmasına rağmen çok az girdi ve çıktısında iyi değerlere sahip olmasından dolayı etkin olarak değerlendirilen karar verme birimidir. Baker ve Talluri (1997) false positive index (FPI) ölçüsünü kullanarak false pozitifliği ölçmenin etkili bir yolunu göstermişlerdir. KVB_k için FPI değeri

$$FPI = \frac{(\theta_{kk} - CE_k)}{CE_k} \quad (2.22)$$

ile hesaplanmaktadır. Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Yüksek FPI değeri bir birim için hesaplanan öz (self) ve eş (peer) etkinlikler arasındaki farkın büyümesiyle gerçekleşmektedir. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir.

3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME VE ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TEKNİKLERİ

Doğrusal programlama ve doğrusal olmayan programlama teknikleri, kısıtlayıcı kümesine bağlı olarak yalnızca bir tek amaç fonksiyonunun maksimizasyonu veya minimizasyonuna yöneliktir. Gerçek hayatta ise karar vericiler, birden fazla olan amaçlarını bir anda gerçekleştirmek istemektedirler. Amaç fonksiyonu sayısının artırılması, dolayısıyla pratikteki problemlerin daha gerçekçi şekilde ele alınması ve bu problemleri çözümü çabaları “çok amaçlı karar verme” yönteminin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Her işletme üretim, finansman, reklam ve işçilik maliyetlerini minimize etmeyi ve kar, satış ve üretim miktarlarını maksimum yapmayı ister. Bu durumda, sadece tek amaç fonksiyonlu klasik optimizasyon modelleri işletmenin çoklu amaçlarına hizmet edemez. Bir anlamda, tek amacın optimizasyonu yerine aynı kısıtlayıcılar kümesi ile birkaç amacı eşanlı olarak optimize etme düşüncesi günümüz işletmelerinde göz ardı edemeyeceği ve etmemesi gereken bir olgudur.

3.1. Çok Amaçlı Karar Verme

Bireyler ve örgütler tanımlanmış amaçlarını gerçekleştirmek ve yaşamlarını sürdürebilmek çabası içerisinde iken karşılaştıkları sorunları çözmede, tarih boyunca üç temel yaklaşım sunmuşlardır. Sorunlar sistemini çözüme kavuşturmada ilk yaklaşım öncülüğünü Bacon’un yaptığı deneysel yaklaşımdır. Buna göre çözüm arayışları, soyut düşüncelere değil gözlem ve deneylere bağlanmalıydı. İkinci yaklaşım ise Descartes’in öncülüğünü yaptığı “Analitik Yaklaşım” olarak bilinir. Buradaki temel düşünce, bir sorunlar sistemini elemanlarına ayırarak her birini ayrı ayrı analiz etmek ve sonuçta onları tekrar birleştirmek üzere kurulmuştur. Zaman içerisinde sorunlar sisteminin ölçeğinin ve karmaşıklığının büyümesi, her iki yaklaşımla çözüm üretme imkanını azaltmış yada ortadan kaldırmıştır. Günümüzde kısaca “Tümdengelim” veya “Bütünsellik” yaklaşımı olarak bilinen ve Bertalanffy’nin “Genel Sistem Teorisi” görüşü ile temelleri kurulan “Sistem

Yaklaşımı” felsefesi, söz konusu imkansızlıkları aşmakta üçüncü yaklaşım olarak yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Bu yeni yaklaşımın ayırıcı özelliklerinden biri, karar vermeyi ve sorun çözmeyi bilimsel yönetime dayandırmasıdır [Evren ve Ülengin, 1992].

Çok amaçlı karar verme süreci ve modelleri bu yaklaşımlar içerisinde Sistem yaklaşımı felsefesinin etkin uygulama alanlarından yöneylem araştırması tekniklerinin önemli bir grubunu içermektedir. Özellikle, karar verme durumunda olan kişi veya grupların (karar vericiler), belirli kısıtlar altında ve birbirleriyle çelişen birden fazla amacı tatminkar düzeyde gerçekleştirmek istemeleri halinde çözümler üretmeye çalışan bir karar modelleri kümesi olma niteliğindedir.

Çevremizde dünyayı tek boyutlu görmek ve görülen her şeyi tek kritere göre değerlendirmek giderek zorlaşmaktadır. Her zaman seçim kriterlerine göre amaçları karşılaştırır, derecelendirir ve sıralarız. Fakat yalnızca basit, açık ve alışılmış durumlarda tek bir seçim kriteri tamamıyla geçerli olabilir [Zeleny, 1982].

3.2. Çok Amaçlı Karar Vermenin Tarihsel Gelişimi

Konu ile ilgili bilimsel yayınlara 1950’li yıllardan itibaren rastlanmaktadır. Örneğin Kaspman’s ilk kez “etkin vektör” kavramını kullanan bilim adamıdır ki bu modern çok amaçlı karar vermede “baskın (etkin) çözüm” kavramıyla eşdeğer anlamda kullanılmaktadır [Evren ve Ülengin, 1992]. Aynı yıllarda Kuhn-Tucker ikilisi “vektör maksimizasyonu” problemini formüle etmiş ve etkin çözümlerin ortaya konması için gerekli optimallik koşullarını çıkarmışlardır. Takibeden yıllarda, konuyla ilgili çalışmalar hızla yaygınlaşmıştır. 1950’li yılların çok amaçlı karar verme alanındaki en önemli gelişmelerinden biri Charnes – Cooper ikilisinin hedef programlama konusundaki çalışmalarıdır. Altmışlı yıllar boyunca gelişmeler devam etmiş ve özellikle “çok amaçlı simpleks metod” ile “fayda fonksiyonu” konularında yoğunlaşmıştır. Yetmişli yılların yöneylem araştırması ve yönetim bilimi alanlarındaki en hızlı gelişen ve yaygınlaşan konuları hiç kuşkusuz, çok amaçlı karar verme ile ilgilidir. Bu konuda yayınlanan binlerce makale ve kitap bir gösterge

olarak ele alınabilir. Zeleny, Charnes, Cooper, Ignizio, Stuer ve Zionts gibi yazarların teorik ve uygulama alanlarındaki katkıları gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte söz konusu gelişime büyük ölçüde neden olmuşlardır [Zeleny 1982].

3.3. Çok Amaçlı Doğrusal Programlamayı Açıklayıcı Temel Kavramlar

Çok amaçlı karar verme modelleri, kendine özgü bazı kavramları ve özellikleri içermektedir. Bu kavramlarla ilgili genel bir değerlendirme aşağıdaki biçimde yapılmaktadır.

Karar verici

Sorunlar sistemini, tanımladığı amaçlar, kriterler ve hedefler doğrultusunda çözüme kavuşturmaya çalışan, yönlendiren ve denetleyen kişi yada gruptur. Karar verici, eldeki alternatifleri sıralayarak “en iyi” yi belirleyen kişi ve gruplar olabilir. Buradan en küçük karar verme biriminin tek kişi olduğu sonucu çıkarılabilir. Büyük bir karar ünitesi ise sistem analistleri, grafik ve hesaplama aletleri, baskı grupları gibi insan ve makineler topluluğudur. Bilgileri alır, kendi içinde bilgi üretir; bilgiyi fikre dönüştürür ve karar üretir.

Analist

Sorunlar sisteminin tanımlanmasından probleme ait modelin kurulmasına kadar karar verici ile etkileşim halinde olan, bazı durumlarda çözüm üretme sürecinin ara aşamalarında da bu etkileşimi sürdüren, problem çözme teknikleri konusunda uzman kişi ya da gruptur. Bazen karar verici ile analist aynı kişi ya da grup olabilir.

Kısıt

Sorunlar sisteminin tanımlanmış amaç veya amaçlarını etkileyen varsayımlar ile içsel ve çevresel kaynaklar veya değişkenler üzerindeki sınırlamalardır.

Amaç

Genel olarak hareket etmek istenilen yön olarak tanımlanır. Ignizio [1976]'ya göre “karar vericinin arzu ettiği genel bir ifadenin yansımasıdır.” Zeleny [1982]'e göre ise “karar vericinin istekleri doğrultusunda maksimize ya da minimize edilmek istenen özelliklerdir.”

Hedef

Genel olarak ulaşılmak istenen, değeri bilinen amaç, hedef olarak tanımlanır. Ignizio (1976) hedefi “istenilen bir seviye ile belirlenmiş amaç” olarak tanımlanmıştır.

Kriter

Etkinlik değerlendirmede temel teşkil eder. Bu yüzden çok amaçlı karar verme literatüründe kriter; amaç, hedef ve nitelik kavramlarını da kapsayacak şekilde kullanılabilir.

Nitelik

Karar vericinin istek ve ihtiyaçlarından kısmen bağımsız bir şekilde tanımlanmış ve belirli bir kararın ne ölçüde gerçekleştirilebildiğinin değerlendirilmesine yarayan bir ölçüdür. Bu şekil ile kriter ve nitelik ortak özellikler göstermektedir.

Karar değişkeni

Karar verici tarafından verilen spesifik kararların her biri, birer karar değişkenidir.

Kısaca özetleyecek olursak, karar bileşenleri veya kriterler, kararda esas alınacak temel kuralları, karar değişkenleri arasında ilişki şeklinde belirlerler. Bu ilişkinin, arzu edilen yöne doğru yönlendirilmesi, bunları amaçlara, amaç fonksiyonlarına

dönüştürürler. Amaçlar için belirli sabit değerler belirlemek ise hedefleri tanımlamaktır.

3.4. Çok Amaçlı Doğrusal Programlamaya İlişkin Çözüm Yöntemleri

Çok amaçlı doğrusal programlama modellerinin çözümü için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlere ardışık optimizasyon yöntemi, çok amaçlı simpleks yöntemi ve hedef programlama örnek olarak verilebilir. Bu kısımda, çalışmanın uygulama bölümünde kullanılan hedef programlama yöntemi tanıtılacaktır.

3.4.1. Hedef programlama

Herhangi bir doğrusal programlama problemi, amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı kümesi şeklinde iki bölümde incelenebilir. Doğrusal programlamada, maksimizasyon veya minimizasyon şeklinde oluşturulan amaç fonksiyonları, kısıtlayıcı kümesine göre optimize edilirler.

Hedef programlama modeli de kısıtlayıcı kümesi ve amaç fonksiyonu şeklinde iki bölümde incelenebilir. Doğrusal programlama modelinde yer alan bütün fonksiyonlar hedef programlamada sadece kısıtlayıcı kümesini oluşturur.

1968'de Charnes ve Cooper tarafından geliştirilmiş olan yöntem önceleri doğrusal programlamanın bir genişlemesi olarak kabul edilmiştir. Günümüzde ise hedef programlamanın, doğrusal programlamanın sadece genişlemesi değil, karar vericinin çoklu amaçlarını analiz edebilmesi, model kısıtlarından bazılarını esnetebilmesi ve çoklu çelişen amaçlar için karar vericinin tercihini ve önceliklerini modele yansıtabilmesi gibi birçok yeteneğinden söz etmek mümkündür [Ignizio, 1976]. Bazı bilim adamları hedef programlamaya eniyileme modeli yerine tatmin edici model tabirini de kullanmaktadırlar.

Hedef programlama ile 3 tür analiz yapılabilir:

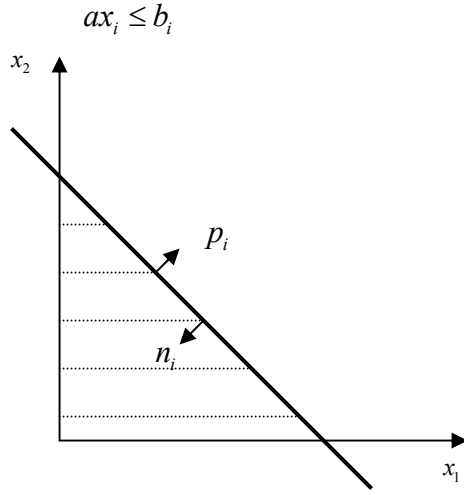
1. Arzu edilen amaçlara ulaşmayı sağlayan kaynak miktarı belirlenebilir.
2. Verilen kaynaklar kullanılarak oluşturulan hedeflerin elde edilme derecesi belirlenebilir.
3. Hedeflerin öncelik yapıları ve kaynak miktarlarının değişimine göre mümkün olduğunca, en iyi tahmin edici sonuçları üretir.

Amaç, karar vericinin istekleri doğrultusunda maksimize ya da minimize edilmek istenen özellikler olarak, hedef ise istenen bir seviye ile belirlenmiş amaç olarak tanımlanmıştır. Hedef programlamada; hedefler önceliklendirildiğinde ya da hedeflerin ağırlıklandırılması söz konusu olduğunda bile bu hedeflerin doyurulması ile ilgili en iyi sonuçların bulunmasında etkin olarak kullanılabilir. Hedef programlamada amaç, hedeflerden oluşacak sapma değerleri toplamını minimize etmektir. Bu nedenle hedef programlamada tek bir optimizasyon problemi vardır o da minimum problemdir.

Hedefler öncelikli verilmişse, önce birinci öncelikli hedefin sapması mümkün olduğunca minimum yapılır. Sonra ikinci öncelikli hedefin sapması mümkün olduğunca minimum yapılır. Bu şekilde devam edilerek en son öncelikli hedefinde sapması mümkün olduğunca minimum yapılarak çözümler araştırılır.

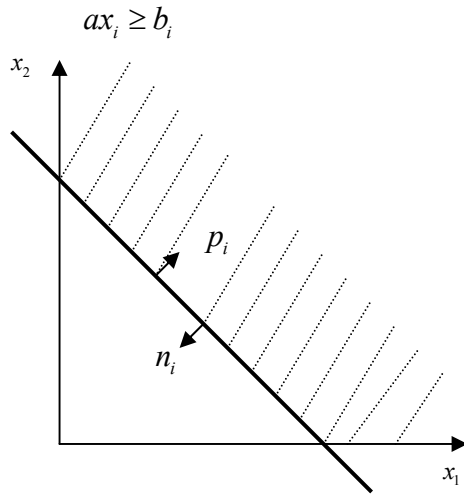
Sapmalar

Negatif sapma n_i veya d_i^- ile pozitif sapma ise p_i veya d_i^+ ile gösterilir. Hedef Programlamada her zaman istenmeyen sapma minimum yapılmak istenir.



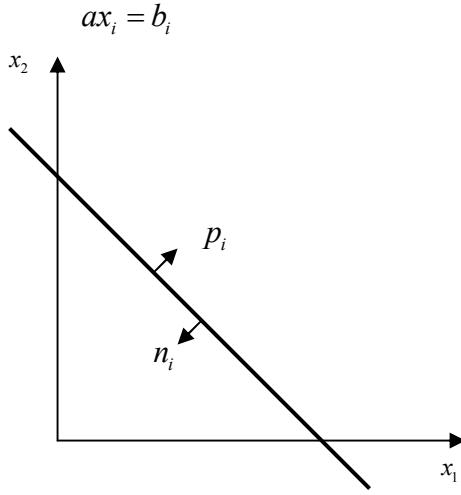
Şekil 3.1. Küçük-eşit biçimindeki hedef

Bu durumda minimum yapılacak sapma p_i 'dir.



Şekil 3.2. Büyük-eşit biçimindeki hedef

Bu durumda istenmeyen sapma n_i 'dir.



Şekil 3.3. Eşitlik biçimindeki hedef

Bu durumda her iki sapma da istenmeyen sapma durumundadır. Minimum yapılmak istenen sapma $n_i + p_i$ 'dir.

Bir amaç uygun sapma değişkenleri konularak hedeflere dönüştürebilir. $ax_i + n_i - p_i = b_i$ gibi bir örnek verilebilir.

Çok sayıda Hedef Programlama tekniğinden söz edebilmek mümkündür. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama, Ağırlıklı Doğrusal Hedef Programlama, Tamsayılı Hedef Programlama, Doğrusal Olmayan Hedef Programlama. Burada Öncelikle Doğrusal Hedef Programlama Modeli incelenecektir.

Öncelikli doğrusal hedef programlama modeli

Hedef programlamada hedef değerlerin belirlenmesi için, ilk olarak problem doğrusal programlama modeli şeklinde ifade edilir. Buradan hareketle, hedef programlama modelinde amaç fonksiyonu, her kısıtlayıcı için belirlenen hedeften oluşacak sapmaları minimize etmeye yönelik bir şekilde oluşturulur. Eş. 3.1 ile

verilen çok amaçlı doğrusal programlama modeli için hedef programlama modeli oluşturulursa:

$$\begin{aligned}
 & \max Z_1 = f_1(x) \\
 & \max Z_2 = f_2(x) \\
 & \textit{kısıtlayıcılar} \\
 & a_{1j}(x) \leq b_1 \\
 & a_{2j}(x) \geq b_2 \quad j=1,2,3,\dots,k \\
 & a_{3j}(x) = b_3 \\
 & x \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Bu durumda hedef programlama modeli için kısıtlayıcı koşulları, Eş. 3.2 ile verilmektedir.

$$\begin{aligned}
 & a_{1j}(x) \leq b_1 \\
 & a_{2j}(x) \geq b_2 \quad j=1,2,3,\dots,k \\
 & a_{3j}(x) = b_3 \\
 & f_1(x) \geq b_4 \\
 & f_2(x) \leq b_5 \\
 & x \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Burada, doğrusal programlama modelinde Z_1 amacı maksimizasyon yönlü olduğu için hedef programlama modelinde bu fonksiyonun belirtilen bir hedef değerini (b_4) aşması istenir. Benzer olarak Z_2 amacı minimizasyon yönlü olduğundan $f_2(x)$ fonksiyonunun b_5 hedef değerini aşmaması istenir. $f_1(x)$ ve $f_2(x)$ amaç fonksiyonları için hedef değerleri belirlemede bireysel optimum çözümler kullanılabilir.

Hedef programlama modeli için oluşturulan kısıtlayıcılara sapma değişkenleri de ekleyerek, Eş. 3.3 ile verilen kısıtlayıcı kümesine ulaşılır.

$$\begin{aligned}
a_{1j}(x) + n_1 - p_1 &= b_1 \\
a_{2j}(x) + n_2 - p_2 &= b_2 \\
a_{3j}(x) + n_3 - p_3 &= b_3 \quad j=1,2,3,\dots,k \\
f_1(x) + n_4 - p_4 &= b_4 \quad i=1,2,3,4,5 \\
f_2(x) + n_5 - p_5 &= b_5 \\
x, n_i, p_i &\geq 0
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Eğer iki sapma değişkeni de (n_i ve p_i) sifıra eşitse, ilgili hedef tamamen karşılanmıştır. Bu, hedef programlama için arzu edilen bir durumdur. Bununla birlikte, amaçların genellikle birbiriyle çelişen yapıda oldukları göz önünde bulundurulduğunda, yukarıda verilen model için beş hedefe birden ulaşmak ve sapma değişkenlerinin tamamını sıfır yapacak bir çözüm elde etmek genellikle zordur [Ignizio, 1976].

Hedef programlama yönteminde amaç fonksiyonu, daha önce belirtildiği gibi hedeflerden oluşacak sapmayı minimize etmeye yöneliktir. Hedef programlama yönteminde, amaç fonksiyonunun oluşturulabilmesi için ulaşılmak istenen hedeflerin hiyerarşik bir yapıda verilmesi gereklidir. Hedef programlama, karar vericinin tercih yapısını kullanarak hedeflerin en önemliden daha az önemliye doğru sıralanmasını gerektirir. Bu sıralama işlemi sözel veya sayısal olarak yapılabilir. Sözel durumda, karar verici kendisi için birinci derecede önemli hedefi, ikinci derecede önemli hedef v.b. belirler. Birinci hedefin öncelik sırasını P_1 ile ifade edersek, P_1 önceliğini diğer önceliklerden birine eşitleyecek herhangi bir sayı yoktur. Yani, modelde ilk olarak birinci öncelikli hedef karşılanmalı, daha sonra sırayla diğer hedeflerin karşılanmasına çalışılmalıdır. Bu durum Eş. 3.4 ile ifade edilebilir.

$$P_1 > P_2 > P_3 > \dots > P_k \tag{3.4}$$

Hedeflerin sıralama işlemi sözel olarak yapıldığında kurulan modele öncelikli hedef programlama modeli denir ve model Eş. 3.5 ile verilmektedir [Ignizio, 1976].

$$\begin{aligned}
\min a &= \{P_1(n, p), P_2(n, p), \dots, P_k(n, p)\} \\
\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + n_i - p_i &= b_i \quad i=1,2,\dots,m \\
x, n, p &\geq 0
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Burada;

x : Karar değişkeni

n : Hedefte negatif sapma

p : Hedefte pozitif sapma

b : Amacın istenen düzeyi

$P_k(n, p)$: k öncelikli hedefin doğrusal fonksiyonu

a_{ij} : i . hedefte j . değişkene ilişkin katsayılar

Amacın istenen düzeyi yani sağ taraf sabiti b_i bilinmiyorsa karar verici tarafından mutlaka belirlenmelidir. Sağ taraf sabitinin bilinmemesi durumu yöntemin zayıf tarafıdır. Bu olumsuz durum haricinde teknik, çok amaçlı programlamanın en güçlü tekniği olarak kabul edilir.

Çözümde önce ilgili hedeflere göre P_1 minimum yapılır ve çözüme bu şekilde devam edilerek en düşük öncelikli hedefin sapmaları da olabildiğince minimum yapıncaya kadar devam edilir.

Bu tür problemler için çeşitli çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. İki karar değişkenli yani iki boyutlu hedef programlama modelinin çözümü için grafik yöntemi oldukça elverişli bir yöntemdir. İkidenden çok karar değişkenli model için grafik yöntemini kullanmak uygun olmaz. Bu durumda çok aşamalı simpleks yöntemi (Modified Simplex Method) kullanılabilir [Ignizio, 1976].

Çok aşamalı simpleks yöntemi

$$\min a = \{P_1(n, p), P_2(n, p), \dots, P_k(n, p)\}$$

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} x_j + n_i - p_i = b_i \quad i=1,2,\dots,m \quad (3.6)$$

$$x, n, p \geq 0$$

Çizelge 3.1. Çok aşamalı simpleks tablosu

	P_k	w_{k1}	.	.	.	w_{kn}	$w_{k\ n+1}$	$w_{k\ n+m}$		
	
	
	P_1	w_{11}	.	.	.	w_{1n}	$w_{1\ n+1}$	.	$w_{1\ n+m}$	
$P_k \ . \ . \ P_1$	V	x_1	.	.	.	x_n	p_1	.	p_m	b
$u_{1k} \ . \ . \ u_{11}$	n_1	e_{11}	.	.	.	e_{1n}	$e_{1\ n+1}$	.	$e_{1\ n+m}$	b_1
$u_{2k} \ . \ . \ u_{21}$	n_2	e_{21}	.	.	.	e_{2n}	$e_{2\ n+1}$	.	$e_{2\ n+m}$	b_2
.
$u_{mk} \ . \ . \ u_{m1}$	n_m	e_{m1}	.	.	.	e_{mn}	$e_{m\ n+1}$	.	$e_{m\ n+m}$	b_m
	P_1	I_{11}	.	.	.	I_{1n}	$I_{1\ n+1}$	.	$I_{1\ n+m}$	a_1

	P_k	I_{k1}	.	.	.	I_{kn}	$I_{k\ n+1}$	.	$I_{k\ n+m}$	a_k

w_{ks} : k. öncelikteki s. değişkene ait pozitif sapmanın ağırlığı

u_{ik} : i. hedefte k. öncelikli negatif sapmanın ağırlığı

I_{ks} : k. öncelikteki s. değişkenin marjinal katkısı

e_{is} : i. hedefteki s. değişkene ilişkin katsayı

b_i : i. hedefteki sağ taraf sabiti veya hedef değeri

a_k : k. öncelikteki hedeflerin başarı seviyesi

$$I_{ks} = \sum_{i=1}^m u_{ik} e_{is} - w_{ks} \quad a_k = \sum_{i=1}^m u_{ik} b_i \quad (3.7)$$

Çok aşamalı simpleks algoritmasının adımları

1.Adım: Verilen herhangi bir öncelikli doğrusal hedef programlama probleminin çözümü varsa bu algoritmanın adımları aşağıdaki gibi kullanılarak bulunur. Sadece 1.öncelik için yani $k=1$ için simpleks tablosu oluşturulur.

2.Adım: “Çözümün optimal olup olmadığının kontrol edilmesi adımı”, $k=1$ için

$a_k = \sum_{i=1}^m u_{ik} b_i$; sıfır ise 6. adıma, değilse gösterge satırındaki pozitif en büyük $I_{ks} (I_{1s})$

seçilir. (eşitlik sözkonusu olduğunda önceliği daha küçük olan alınır veya keyfi seçim yapılır hatta alfabetik sıra takip edilerek de seçim yapılabilir) Bu sütun s^t ile gösterilir.

I_{ks} 'lerin hepsi sıfır ya da negatifse 6. adıma, değilse 3. adıma gidilir.

3.Adım : “Temel çözüme girecek değişkenin belirlenmesi”

s^t sütunundaki değişken temel değişken olarak belirlenir.

4.Adım: “temel çözümden ayrılacak değişkenin belirlenmesi”

Sırayla hedef değerleri s^t sütunundaki değerlere oranlanır.

$\min\{\frac{b_i}{e_{is'}} \mid e_{is'} > 0\}$ ile i satırındaki değişken ayrılacak değişken olarak belirlenir. Bu satır i' ile gösterilir.

5.Adım: “Yeni tablonun oluşturulması”

Burada I_{ks}, b, a_k, e_{is} elemanlarının olduğu alanlar boş olacak şekilde yeni bir tablo kurulur. Bu tabloda i' satırındaki değişkenle s' sütunundaki değişken yer değiştirir.

- Yeni tablonun i' satırındaki elemanları $e_{i's'}$ =pivot dışında $e_{i's'}$ 'ne bölünür.
- Yeni tablodaki pivot elemanların tersi alınır.
- s' sütun elemanları ise pivot dışında $-e_{i's'}$ 'ne bölünür.

Diğer elemanlar ise;

e_{is} ve b_i önceki tablonun elemanları olmak üzere yeni \hat{e}_{is} ve \hat{b}_i değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır.

$$\hat{e}_{is} = \frac{e_{i's} e_{is'}}{e_{i's'}} \quad \text{ve} \quad \hat{b}_i = \frac{b_i e_{is'}}{e_{i's'}} \quad (3.8)$$

- Yeni I_{ks} ve a_k değerleri hesaplanır.

$$I_{ks} = \sum_{i=1}^m u_{ik} e_{is} - w_{ks} \quad a_k = \sum_{i=1}^m b_i u_{ik} \quad (3.9)$$

6.Adım: Öncelik sayısı k bir artırılır yani $k = k+1$ alınır. $k \leq K$ ise adım 2'ye dönülür, değilse ulaşılan çözüm en iyi çözüm olarak alınır [Ignizio, 1976].

4. ÇOK KRİTERLİ ETKİNLİK ANALİZİ

İlk defa Charnes tarafından (1978) yılında bulunan, bir KVB'nin etkinliğinin değerlendirildiği etkinlik analizi modeli aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \max w_o &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0, \quad j=1, 2, \dots, m \\
 u_r, v_i &\geq 0 \quad \text{tüm } r \text{ ve } i \text{ ler için}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Burada j , KVB indeksi, ($j=1, 2, \dots, n$), r çıktı indeksi, ($r=1, 2, \dots, s$), i girdi indeksi ($i=1, 2, \dots, m$), y_{rj} j . KVB için r . çıktısının değeri, x_{ij} j . KVB için i . girdinin değeri, u_r r . çıktıya verilen ağırlık, v_i i . girdiye verilen ağırlık ve KVB_o 'ın görelî etkinliği değerlendirilen KVB'dir. Bu modelde, sadece ve sadece $w_o = 1$ ise KVB_o etkindir.

Bu model aşağıdaki gibi değişik bir formda ifade edilebilir [Li ve Reeves, 1999].

$$\begin{aligned}
 \min d_o &\left(\text{ya da } \max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} \right) \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j &= 0 \\
 j &= 1, 2, \dots, n \\
 u_r, v_i, d_j &\geq 0, \quad \text{tüm } r, i \text{ ve } j \text{ ler için}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Eş. 4.1 veya Eş. 4.2 klasik model olarak adlandırılabilir.

Burada d_o , KVB_o için sapma değişkeni ve d_j , j . KVB için sapma değişkeni (j .orijinal eşitsizlik sabitinde ortaya çıkar) bu modelde, sadece ve sadece $d_o = 0$ veya $w_o = 1$ ise KVB_o etkindir. Bu kolayca görülebilir: Eş. 4.2 ‘deki

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \quad \text{kısıtını} \quad \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - d_j \quad \text{olarak düzenlersek,}$$

ağırlıklı çıktı toplamının $(\sum_{r=1}^s u_r y_{rj})$ ağırlıklı girdi toplamına $(\sum_{i=1}^m v_i x_{ij})$ eşit olabilmesi için d_j ’nin sifira eşit olması gerektiği görülür. Bu nedenle $d_j = 0$

olduğunda $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}$ olacaktır ki bu sonuç, etkinlik tanımından ilgili karar verme biriminin etkin olduğunu gösterir. KVB_o etkin değilse, etkinlik değeri $w_o = 1 - d_o$ ’dır.

[0,1) aralığında sınırlanan d_o değeri “etkinsizlik” değeri olarak dikkate alınabilir. d_o ’ın küçük değerleri, daha etkin KVB_o’lar verecektir. Bu durumda, her bir KVB için çıktıların ağırlıklı toplamlarının girdilerin ağırlıklı toplamlarından küçük veya eşit olması durumu ile sınırlandırılmış şartlarda klasik Etkinlik Analizi metodunun d_o olarak KVB_o’in etkinsizliğini minimize edeceğini söyleyebiliriz. Burada d_o ’in KVB_o’in etkinsizliği için iyi bir ölçüm olduğu şüphesizdir. Tabii tek muhtemel ölçüm de değildir. Aslında, geçmiş çalışmalarda başka etkinsizlik ölçümleri de teklif edilmiştir [Li ve Reeves, 1999].

Çoğu sapma değişkenlerinin fonksiyonları olarak Sexton ve diğerleri tüm sapma değişkenlerinin ağırlıklı toplamını, Etkinlik analizi modellerinin amaç fonksiyonu olarak kullanmışlardır [Li ve Reeves, 1999]. Sapma değişkenlerinin ağırlıklı toplamının minimum yapılmaya çalışıldığı minsum etkinlik kriteri ile ilgili model

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n d_i$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} = 1 \quad (4.3)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, d_j \geq 0, \text{ tüm } r, i, j \text{ ler için}$$

olarak verilebilir.

Stewart [1996] etkinlik analizi probleminin değer fonksiyonu formülasyonunda sapma değişkenlerinin minmax bir formunu dikkate almıştır. Minmax etkinlik kriteri

$$\text{Min } M$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij_0} = 1 \quad (4.4)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0$$

$$M - d_j \geq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i, d_j \geq 0, \text{ tüm } r, i, j \text{ ler için}$$

olarak verilmiştir.

Yine etkinsizliğin diğer formları veya etkinlik ölçümleri Belton ve Vickers'in çalışmasında bulunur. Fakat teklif edilen bu önlemler etkinliğin direkt önlemi

olmayan ikincil amaç fonksiyonlar olarak kullanıldığı gibi etkinliklerin veya etkinsizliklerin klasik Etkinlik Analizi önlemlerine eşit önlemler altında tanımlandığı şekilde yapılandırılmıştır [Li ve Reeves, 1999].

Li ve Reeves [1999] klasik etkinlik kriteriyle beraber minmax ve minsum etkinlik kriterlerinin birleştirildiği birçok kriterli etkinlik yöntemi önermişlerdir. Teklif edilen bu yöntemin tek kriterli yöntemlerden şu şekilde farklılık göstermektedir. Her bir kriter örneğin d_o 'ın minimize edilmesi, maksimum sapmanın minimize edilmesi veya sapmaların toplamının minimize edilebilmesi hepsi bağımsız bir amaç fonksiyonlarıdır. Öyle ki her bir kriter ayrı bir etkinlik fikrini tanımlar ve bu etkinlik kriteri arasında hiçbir ön şart yoktur.

Teklif edilen bu Çok Kriterli Etkinlik Analizi (MCDEA) modelinin şekli benzersiz değildir bu kullanılan etkinlik kriterine bağlıdır [Elkins, 2000]. Üç kriterle sahip bir MCDEA problemi için, yani, d_o 'ın minimize edilmesi, maksimum sapmanın minimize edilmesi ve sapmaların toplamının minimize edilmesi, MCDEA modeli aşağıda ki şekilde ifade edilebilir [Li ve Reeves, 1999].

$$\begin{aligned}
 & \min d_o \left(\text{ya da } \max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o} \right) \\
 & \min M \\
 & \min \sum_{j=1}^n d_j \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij_o} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \\
 & j = 1, 2, \dots, n \\
 & M - d_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & u_r, v_i, d_j \geq 0, \quad \text{tüm } r, i \text{ ve } j \text{ ler için}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Bu bir Çok Amaçlı Doğrusal Programlama modelidir. Bir Çok amaçlı Doğrusal Programlama probleminde genellikle bütün amaçları aynı anda karşılayan bir sonuca ulaşmak imkansızdır. Sonuç olarak bir MOLP çözümü işleminin amacı optimal bir çözüm bulmak değil bunun yerine en çok istenen çözümün seçilmesine yardımcı olmak ve etkin (nondominated, baskın) çözümler bulmaktır [Zeleny, 1982].

Karar değişkeni uzayında amaçlardan en az birine mani olmadan amaç fonksiyon değerini iyileştirmek için uygun bölge içerisindeki noktayı hareket ettirmek mümkün değilse, bu çözüm etkindir. Çok kriterli terminolojisinde nondominated çözüm etkin (baskın) çözüm olarak adlandırılır [Li ve Reeves, 1999].

Eş. 4.5'te verilen modelin ilk amacı Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 modellerinin amaçlarıyla aynıdır. İkinci amaçtaki M değişkeni bütün sapma değişkenleri d_j ($j=1, 2, \dots, n$) arasında maksimum miktarı temsil eder. Üçüncü amaç fonksiyon sapma toplamının kısa yollu bir gösterimidir. Burada Eş. 4.5'teki modelindeki u_r ve v_i karar değişkenleri için uygun bölge, Eş. 4.1 ve Eş. 4.2 modellerindekiler ile aynıdır. $M - d_j \geq 0$, ($j=1, 2, \dots, n$) İlave sınırlamanın etkisi maksimum sapma olan M 'yi meydana getirmektir; karar değişkenlerinin uygun bölgesini değiştiremezler.

Eş. 4.5'in ilk amaç fonksiyonunu optimize eden çözüm, Eş. 4.1 veya Eş. 4.2 modelinin optimal çözümüne eşittir. Bu demektir ki Eş. 4.5 modelinin amaç fonksiyonunu optimize eden çözüme karşılık gelen d_o 'ın değeri sıfır olduğu takdirde KVB_o klasik manada etkindir. Aynı şekilde araştırmayla ikinci ve üçüncü kriter karşılık gelen KVB 'lerin göreceli etkinliğini şu şekilde tanımlayabiliriz. Sadece ve sadece Eş. 4.5 modelinin ikinci amaç fonksiyonunu minimize eden çözüme karşılık gelen d_o 'ın değeri sıfır olduğu takdirde KVB_o minmaks etkindir; benzer şekilde sadece ve sadece Eş. 4.5 modelinin üçüncü amaç fonksiyonunu minimize eden çözüme karşılık gelen d_o 'ın değeri sıfır olduğu takdirde KVB_o minsum etkindir. Yukarıdaki her üç tanımda da, KVB_o yeterli olsun veya olmasın Etkinlik Analizi

etkinlik sonucu $1 - d_o$ 'dır (fakat d_o 'ın değerleri değişik kriterler altında değişebilir) [Li ve Reeves, 1999].

Eş. 4.5 modelinde verilen çok amaçlı doğrusal programlama probleminin çözümü için çok sayıda çözüm yöntemi mevcuttur. Eş. 4.5 modelindeki birinci etkinlik kriteri

$\min d_o$ (ya da $\max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{rj_o}$) ilk öncelikte sağlanması gereken hedef olarak

alınmıştır. Bunun sebebi klasik Etkinlik Analizi ile önerilen çok kriterli modelin çözümünde kullanılan hedef programlama tekniğinin, ağırlık dağılımı probleminde aynı etkinlik kriteri altında karşılaştırılabilmesidir. Klasik Etkinlik Analizi kriterine farklı bir öncelikte yer verilmesi iki yöntemin aynı şartlar altında karşılaştırılmasına olanak vermeyecektir [Örkcü, 2004]. İkinci öncelik olarak Minmax etkinlik kriteri ve son öncelik olarak minsum etkinlik kriteri alınmıştır. Minmax etkinlik kriterinde ki M değişkeninin bütün sapma değişkenleri arasındaki maksimum miktarı ve Minsum

etkinlik kriterindeki $\sum_{j=1}^n d_j$ değişkeni ise tüm sapmalar toplamını temsil etmektedir.

En büyük sapma miktarının minimum edilmesi aynı zamanda tüm sapmalar toplamının minimum edilmesi amacına da yardım edecektir ve bu yüzden öncelik yapısı bu şekilde alınmıştır.

Minmaks ve minsum kriterleri altında tanımlanan etkinlikler, klasik etkinlik analizinde tanımlananlardan daha sınırlayıcıdır. Bu demektir ki bir KVB için minmaks veya minsum etkinliğe ulaşmak klasik etkinlik analizi etkinliğine ulaşmaktan daha zordur. Yani eğer KVB_o minmaks veya minsum etkin ise, klasik etkinlik analizine göre de mutlaka etkindir. Çünkü tanım gereği minmaks veya minsum etkinlik için $d_o = 0$ olmalıdır. Fakat eğer KVB_o, klasik etkinlik analizine göre etkin ise minmaks veya minsum etkinliği olabilirde olmayabilirde, çünkü $d_o = 0$ olması M veya $\sum d_j$ 'nin minimum olduğunu gösteremez. Bu gerçekten yola çıkarak, şu sonuca varılabilir ki minmaks veya minsum kriterleri genellikle daha az etkin KVB'ler verir. Sonuçta klasik etkinlik analizi modelindeki bu yeni

kriterlerle ayırt edebilme gücünde gelişmeler sağlanır. Diğer yandan M ve $\sum d_j$ bütün sapma değişikliklerinin fonksiyonları olduklarından ve her bir sapma değişkeni bir sınırlamaya bağlı olduğundan M veya $\sum d_j$ 'nin minimize edilmesi bazı durumlarda ağırlık değişkenleri üzerinde daha sınırlayıcı anlama gelir. Bu yolla ağırlık esnekliği oldukça kısıtlanmış olur.

4.1. Örnek

Wong ve Beasley(1990) girdi ve çıktı değişkenlerinin aşağıda Çizelge 4.1'de verilen, bir üniversitenin yedi bölümlük kısmını incelemiştir. Burada girdi ve çıktı değişkenleri şu şekilde tanımlanmıştır.

x_1 Akademik personel sayısı

x_2 Bin paund olarak akademik personel ücreti

x_3 Bin paund olarak destek personeli ücreti

y_1 Üniversite öğrencisi sayısı

y_2 Doktora öğrencisi sayısı

y_3 Araştırma tezi sayısı

Çizelge 4.1. Örnek için veri tablosu

KVB	Girdiler			Çıktılar		
	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3
1	12	400	20	60	35	17
2	19	750	70	139	41	40
3	42	1500	70	225	68	75
4	15	600	100	90	12	17
5	45	2000	250	253	145	130
6	19	730	50	132	45	45
7	41	2350	600	305	159	97

Üniversitenin seçilmiş 7 bölümünün etkinliği klasik etkinlik, Minmax Etkinlik, Minsum Etkinlik ve çok kriterli etkinlik modellerine göre araştırılacak ve ağırlık dağılımları incelenecektir.

Doğrusal programlama tarafından çözülen klasik Etkinlik Analizi, Minmax ve Minsum Etkinlik sonuçları sırasıyla Çizelge 4.2- Çizelge 4.4 de belirtilmiştir. Çok Kriterli Etkinlik Analizi modeli için ise Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama kullanılarak elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.5 te verilmiştir.

Klasik Etkinlik Analizi Sonuçları

Birinci karar verme birimi için Klasik Etkinlik Analizi modeli aşağıda verildiği gibidir. Benzer olarak diğer karar verme birimleri içinde modeller çözüldüğünde Çizelge 4.2 elde edilir.

$$\max w = 60u_1 + 35u_2 + 17u_3$$

Kısıtlar:

$$12v_1 + 400v_2 + 20v_3 = 1$$

$$600u_1 + 35u_2 + 17u_3 - 12v_1 - 400v_2 - 20v_3 \leq 0$$

$$139u_1 + 41u_2 + 40u_3 - 19v_1 - 750v_2 - 70v_3 \leq 0$$

$$225u_1 + 68u_2 + 75u_3 - 42v_1 - 1500v_2 - 70v_3 \leq 0$$

$$90u_1 + 12u_2 + 17u_3 - 15v_1 - 600v_2 - 100v_3 \leq 0$$

$$253u_1 + 145u_2 + 130u_3 - 45v_1 - 2000v_2 - 250v_3 \leq 0$$

$$132u_1 + 45u_2 + 45u_3 - 19v_1 - 730v_2 - 19v_3 \leq 0$$

$$305u_1 + 159u_2 + 97u_3 - 41v_1 - 2350v_2 - 41v_3 \leq 0$$

$$u, v \geq 0$$

Çizelge 4.2. Klasik Etkinlik Analizi (CCR) sonuçları

KVB	Etkinlik	Girdi Ağırlıkları			Çıktı Ağırlıkları		
		v_1	v_2	v_3	u_1	u_2	u_3
1	1	0	0.250	0	0.983	1.712	0
2	1	0	0.133	0	0.719	0	0
3	0.827	0	0.067	0.	0.311	0	0.169
4	0.820	6.415	0.006	0	0.911	0	0
5	1	0	0.05	0	0	0.432	0.288
6	1	0	0.137	0	0.639	0	0.347
7	1	0.732	0.030	0	0.121	0.334	0.105

Klasik Etkinlik Analizi sonuçlarına göre 3. ve 4. KVB'leri haricinde tüm KVB'ler etkin çıkmıştır. Ağırlıklar incelendiğinde, birimler tarafından bazı değişkenlerin hiç kullanılmadığı ve bazılarının da diğerlerine göre fazla kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Minmax Etkinlik Sonuçları

Birinci karar verme birimi için model aşağıda verildiği gibidir. Benzer olarak diğer karar verme birimleri içinde modeller çözüldüğünde Çizelge 4.3 elde edilir.

min M

Kısıtlar:

$$12v_1 + 400v_2 + 20v_3 = 1$$

$$600u_1 + 35u_2 + 17u_3 - 12v_1 - 400v_2 - 20v_3 + d_1 = 0$$

$$139u_1 + 41u_2 + 40u_3 - 19v_1 - 750v_2 - 70v_3 + d_2 = 0$$

$$225u_1 + 68u_2 + 75u_3 - 42v_1 - 1500v_2 - 70v_3 + d_3 = 0$$

$$90u_1 + 12u_2 + 17u_3 - 15v_1 - 600v_2 - 100v_3 + d_4 = 0$$

$$253u_1 + 145u_2 + 130u_3 - 45v_1 - 2000v_2 - 250v_3 + d_5 = 0$$

$$132u_1 + 45u_2 + 45u_3 - 19v_1 - 730v_2 - 19v_3 + d_6 = 0$$

$$305u_1 + 159u_2 + 97u_3 - 41v_1 - 2350v_2 - 41v_3 + d_7 = 0$$

$$M - d_1 \geq 0$$

$$M - d_2 \geq 0$$

$$M - d_3 \geq 0$$

$$M - d_4 \geq 0$$

$$M - d_5 \geq 0$$

$$M - d_6 \geq 0$$

$$M - d_7 \geq 0$$

$$u, v, d \geq 0$$

Çizelge 4.3. Minmax Etkinlik Analizi sonuçları

KVB	Etkinlik	Girdi Ağırlıkları			Çıktı Ağırlıkları		
		v_1	v_2	v_3	u_1	u_2	u_3
1	0.742	4.309	0.121	0	0.983	0	0.894
2	0.984	0.484	0.121	0	0.508	0.679	0
3	0.796	0.953	0.040	0	0.276	0.082	0.161
4	0.674	0.605	0.152	0	0.635	0.850	0
5	0.860	0.183	0.046	0	0.192	0.257	0
6	1	0.817	0.116	0	0.560	0.580	0
7	0.864	0.159	0.040	0	0.167	0.223	0

Minmax kriterine göre yapılan Etkinlik Analizi sonuçlarına göre sadece 6. KVB etkin birim olarak belirlenmiştir. Ağırlıklar incelendiğinde, ağırlık dağılımının klasik Etkinlik Analizine göre daha düzgün olmasına rağmen, Klasik Etkinlik Analizi modelince etkin bulunan birimler ile Minmax kriterine göre yapılan Etkinlik Analizi sonuçlarına göre etkin bulunan birimler aynı değildir.

Minsum Etkinlik Sonuçları

Birinci karar verme birimi için model aşağıda verildiği gibidir. Benzer olarak diğer karar verme birimleri içinde modeller çözüldüğünde Çizelge 4.4 elde edilir.

$$\min d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7$$

Kısıtlar:

$$12v_1 + 400v_2 + 20v_3 = 1$$

$$600u_1 + 35u_2 + 17u_3 - 12v_1 - 400v_2 - 20v_3 + d_1 = 0$$

$$139u_1 + 41u_2 + 40u_3 - 19v_1 - 750v_2 - 70v_3 + d_2 = 0$$

$$225u_1 + 68u_2 + 75u_3 - 42v_1 - 1500v_2 - 70v_3 + d_3 = 0$$

$$90u_1 + 12u_2 + 17u_3 - 15v_1 - 600v_2 - 100v_3 + d_4 = 0$$

$$253u_1 + 145u_2 + 130u_3 - 45v_1 - 2000v_2 - 250v_3 + d_5 = 0$$

$$132u_1 + 45u_2 + 45u_3 - 19v_1 - 730v_2 - 19v_3 + d_6 = 0$$

$$305u_1 + 159u_2 + 97u_3 - 41v_1 - 2350v_2 - 41v_3 + d_7 = 0$$

$$u, v, d \geq 0$$

Çizelge 4.4. Minsum Etkinlik Analizi sonuçları

KVB	Etkinlik	Girdi Ağırlıkları			Çıktı Ağırlıkları		
		v_1	v_2	v_3	u_1	u_2	u_3
1	1	3.536	0.144	0	0.583	1.612	0.505
2	0.956	2.019	0.082	0	0.333	0.921	0.288
3	0.765	0.970	0.039	0	0.160	0.442	0.139
4	0.577	2.537	0.103	0	0.418	1.157	0.362
5	1	0.791	0.032	0	0.130	0.361	0.113
6	1	2.053	0.084	0	0.339	0.936	0.293
7	1	0.732	0.030	0	0.121	0.334	0.105

Minsum etkinlik kriterine göre yapılan Etkinlik Analizi sonuçlarına göre 1., 5., 6. ve 7. KVB'ler etkin birimler olarak belirlenmiştir. Ağırlıklar incelendiğinde, ağırlık dağılımının yine oldukça düzgün olarak dağılmış olmasına rağmen bu model ile de etkin bulunan birimler, Klasik Etkinlik Analizine göre etkin bulunan birimlerle aynı değildir.

*Çok Kriterli Etkinlik Analizi Modeli (Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama)
Sonuçları*

Birinci karar verme birimi için model aşağıda verildiği gibidir. Benzer olarak diğer karar verme birimleri içinde modeller çözüldüğünde Çizelge 4.5 elde edilir.

$$\min d_1$$

$$\min M$$

$$\min d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7$$

Kısıtlar:

$$12v_1 + 400v_2 + 20v_3 = 1$$

$$600u_1 + 35u_2 + 17u_3 - 12v_1 - 400v_2 - 20v_3 + d_1 = 0$$

$$139u_1 + 41u_2 + 40u_3 - 19v_1 - 750v_2 - 70v_3 + d_2 = 0$$

$$225u_1 + 68u_2 + 75u_3 - 42v_1 - 1500v_2 - 70v_3 + d_3 = 0$$

$$90u_1 + 12u_2 + 17u_3 - 15v_1 - 600v_2 - 100v_3 + d_4 = 0$$

$$253u_1 + 145u_2 + 130u_3 - 45v_1 - 2000v_2 - 250v_3 + d_5 = 0$$

$$132u_1 + 45u_2 + 45u_3 - 19v_1 - 730v_2 - 19v_3 + d_6 = 0$$

$$305u_1 + 159u_2 + 97u_3 - 41v_1 - 2350v_2 - 41v_3 + d_7 = 0$$

$$M - d_1 \geq 0$$

$$M - d_2 \geq 0$$

$$M - d_3 \geq 0$$

$$M - d_4 \geq 0$$

$$M - d_5 \geq 0$$

$$M - d_6 \geq 0$$

$$M - d_7 \geq 0$$

$$u, v, d \geq 0$$

Çizelge 4.5. Çok Kriterli Etkinlik Analizi (Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama) sonuçları

K V B	Başarı fonksiyonu	Etkinlik	Girdi Ağırlıkları			Çıktı Ağırlıkları		
			v_1	v_2	v_3	u_1	u_2	u_3
1	(0, 0.85, 1.52)	1	3.536	0.144	0	0.583	1.612	0.505
2	(0, 0.42, 1.46)	1	1.276	0.101	0	0.572	0.497	0
3	(0.173, 0.45, 1.09)	0.827	0	0.067	0	0.311	0	0.168
4	(0.180, 0.74, 1.94)	0.820	6.415	0.006	0	0.911	0	0
5	(0, 0.16, 0.53)	1	0.031	0.048	0.014	0.057	0.314	0.307
6	(0, 0.35, 1.16)	1	0.934	0.056	0.164	0.218	0.633	0.103
7	(0, 0.18, 0.32)	1	0.731	0.029	0	0.120	0.333	0.104

Çok Kriterli Etkinlik Analizi sonuçları incelendiğinde etkin bulunan karar verme birimlerinin ve etkinlik değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. Ağırlıklar incelendiğinde ise, ağırlık dağılımının klasik Etkinlik Analizine göre çok daha düzgün dağıtıldığı, yani birimlerin hemen hemen tüm kaynaklardan makul düzeylerde kullandıkları görülmektedir.

Uygulama sonuçları, doğrusal programlama modelleri için WINQSB paket programının Linear and Integer Programming modülü kullanılarak, çok kriterli model için ise Linear and Integer Goal Programming modülü kullanılarak elde edilmiştir. Çözümler arasındaki farklılıklar kolayca görülebilmektedir.

Çok kriterli modelde klasik Etkinlik Analizine göre girdi ve çıktı ağırlıklarının dağılımının çok daha düzgün olduğu görülmektedir. Çizelge 4.5 teki daha düzgün ağırlık dağılımının klasik Etkinlik Analizi modeliyle elde edilip edilmeyeceği tartışılabilir. Bir klasik Etkinlik Analizi probleminde eğer KVB etkin ise optimal (ağırlık) çözüm hemen hemen kesin olarak tek değildir [Li ve Reeves, 1999]. Ancak, tecrübeler doğrusal programlama çözümlerinin çoğunluğunun çözümleri aşırı dağıtılmış ağırlıklar olarak vermeye eğilimli olduğunu göstermiştir [Li ve Reeves, 1999]. Bu sebepten, Çizelge 4.5 teki sonuçların Klasik Etkinlik Analiziyle elde edilmesi ihtimali azalmaktadır.

Etkinlik sonuçları karşılaştırıldığında, Çizelge 4.5'teki etkinlik sonuçlarının klasik Etkinlik Analizi ile elde edilen etkinlik değerleriyle aynı olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak, klasik Etkinlik Analizi sonuçlarının ilişkili ağırlıklarını dikkate almadan sadece etkinlik değerlerini sağlarken, Çok Kriterli Etkinlik Analizi modelinin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile elde edilen sonuçlarının, hem aynı etkinlik değerini sağladığı hem de bu etkinlik değerleriyle birlikte girdi ve çıktı ağırlıklarında da iyileştirme sağladığı gözlenmiştir.

5. UYGULAMA

Etkinlik Analizi doğrusal programlama ilkelerine dayanan, benzer girdileri kullanarak benzer çıktılar üreten karar verme birimlerinin görelî olarak bir bütün içerisinde karşılaştırma yapmak suretiyle değerlendirmek için tasarlanmış bir tekniktir. Etkinlik Analizi ile ilgili birçok uygulama yapılmıştır.

Yüksek öğretimde performans değerlendirmesi diğer birçok alanda değerlendirme yapmaktan daha karmaşık olmasına karşın günümüzde en güncel konulardan birisidir. Kalite değerlendirme göstergeleri arasında akademik çevrelerde yüzde yüzlük bir fikir birliği olmamasından dolayı kaliteyi yansıtacak değişkenlerin seçiminde daha dikkatli olmak gereklidir. Performans değerlendirmesi yapmak için öncelikle ilgili akademik birimin kaynakları, üretkenliği, başarı ortalamaları, mezuniyet oranları v.b. gibi başlıca değişkenliklerinin belirlenip analizin amacına uygun olarak verilerin derlenmesi gerekir.

Diğer ülkelerde Türkiye'den daha önce yüksek öğretim performans ölçümleri üzerine çalışmalar başlamıştır. Ahn (1987 ve 1988), ABD'de yüksek öğrenimde etkinliği, Dündar ve Darrel (1995), Amerikan üniversitelerinde departman verimliliğini ölçmüştür. Susanne (2004), Alman yüksek öğreniminde performans farklılıklarını çalışmıştır. Coelli (1996), Avustralya üniversitelerinde, Arcelus ve ark. (1995) Kanada Devlet Üniversitelerinin fakültelerdeki ana bilim dallarında, Mcmillan (1997) Kanada üniversitelerinde Etkinlik Analizini uygulamışlardır. Ülkemizde ise Kutlar ve ark. (2004), Cumhuriyet Üniversitesi'nin fakülte düzeyinde etkinliğinin analizini, Örkücü (2004) Türkiye'deki Üniversitelerin etkinliğinin Çok Kriterli Etkinlik Analizi yöntemiyle analizini, Kısaer (2004) Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesinin performans analizini, Babacan (2006) Kamu üniversitelerinin etkinlik çalışmasını yapmıştır.

Bu çalışmada 2008 yılı verileri için Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesindeki anabilim dallarının etkinliği 3 girdi ve 4 çıktı değişkeni ile hem Klasik

Etkinlik Analizi modeline hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama yöntemine göre çözümüyle incelenmiştir.

Karar verme birimi olarak alınan bölümler şunlardır: Biyoloji, Fizik, İstatistik, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Mimarlık, Şehir ve Bölge Planlama, Mobilya Dekorasyon Eğitimi, Makine Eğitimi, Metal Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi, Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması anabilim dallarıdır. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı bölümlerden doktora öğrencisi ve doktora mezunu olmayan, Trafik Planlaması ve Uygulaması, Çevre Bilimleri, İleri Teknolojiler ve Bilgisayar Mühendisliği bölümleri, bu özelliklerinden dolayı uygulamaya dahil edilmemiştir.

Bölümlerin performansları üzerine etkili olabileceği düşünülen 3 girdi ve 4 çıktı değişkeni belirlenmiş ve Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne ait 2008 yılı verileri Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bilgi işlem bölümünden alınmıştır. 19 bölüme ait veriler EK te verilmiştir. Karar birimlerinin ve değişkenlerin seçimi Etkinlik Analizi kısmında verilen prosedür takip edilerek yapılmıştır. Kullanılan değişkenler şunlardır:

Girdi Değişkenleri:

X_1 : Öğretim üyesi sayısı

X_2 : Yüksek lisans öğrenci sayısı

X_3 : Doktora öğrenci sayısı

Çıktı Değişkenleri:

Y_1 : Yüksek lisans mezun sayısı

Y_2 : Doktora mezunu sayısı

Y_3 : Yüksek lisans ve doktora tezlerinden çıkan yayın sayısı

Y_4 : Bölüm ortalamaları (Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bilgi işlem bölümünün mezun öğrencilere yaptığı anketler sonucu öğretim üyelerine verilen puanların, her bölüm için ortalamaları alınarak oluşturulmuştur.)

5.1. CCR Modeli ve Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması (Girdi Yönlü)

Bu bölümde incelenen bölümlerin etkinlikleri, hem CCR modeli hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama yöntemiyle değerlendirilecektir. Analiz sonucunda etkin bulunan bölümlerin kendi aralarında sıralanması ise her iki yöntem için ayrı ayrı çapraz-etkinlik matrisi yardımıyla yapılacaktır. Çoğu girdi ve çıktısında çok kötü değerlere sahip olmasına rağmen, çok az girdi ve çıktısında iyi değerlere sahip olmasından dolayı etkin olarak değerlendirilen karar verme birimlerinin varlığı, FPI (false positive index) değerleri belirlenerek her iki yöntem için incelenecektir.

Örnek olarak kimya mühendisliği bölümünün her iki yöntem ile de değerlendirildiği modeller aşağıda verilmiştir. Modellerin çözümünde WINQSB paket programının Linear and Integer programming ve Linear and Integer Goal programming modülleri kullanılmıştır.

Kimya Mühendisliği için klasik Etkinlik Analizi (CCR) Modeli

$$\max 0,964u_1 + 0,154u_2 + 0,833u_3 + 0,964u_4$$

Kısıtlar:

$$0,727v_1 + 0,362v_2 + 0,630v_3 = 1$$

$$u_1 + 0,384u_2 + 0,810u_3 + 0,964u_4 - 0,659v_1 - 0,552v_2 - 0,852v_3 \leq 0$$

$$0,571u_1 + 0,462u_2 + 0,762u_3 + 0,877u_4 - 0,818v_1 - 0,867v_2 - v_3 \leq 0$$

$$0,143u_1 + 0,154u_2 + 0,190u_3 + 0,922u_4 - 0,272v_1 - 0,581v_2 - 0,241v_3 \leq 0$$

$$0,821u_1 + 0,615u_2 + 0,500u_3 + 0,941u_4 - 0,682v_1 - 0,876v_2 - 0,630v_3 \leq 0$$

$$0,357u_1 + 0,154u_2 + 0,238u_3 + 0,869u_4 - 0,500v_1 - 0,714v_2 - 0,278v_3 \leq 0$$

$$0,821u_1 + 0,154u_2 + 0,558u_4 - 0,272v_1 - 0,761v_2 - 0,630v_3 \leq 0$$

$$0,571u_1 + 0,154u_2 + 0,286u_3 + 0,880u_4 - 0,409v_1 - 0,867v_2 - 0,667v_3 \leq 0$$

$$0,464u_1 + 0,154u_2 + 0,071u_3 + 0,890u_4 - 0,545v_1 - 0,629v_2 - 0,296v_3 \leq 0$$

$$0,964u_1 + 0,154u_2 + 0,833u_3 + 0,964u_4 - 0,727v_1 - 0,362v_2 - 0,630v_3 \leq 0$$

$$0,536u_1 + 0,385u_2 + 0,905u_3 + 0,924u_4 - 0,772v_1 - 0,895v_2 - 0,685v_3 \leq 0$$

$$0,643u_1 + 0,308u_2 + 0,971u_4 - 0,568v_1 - 0,581v_2 - 0,426v_3 \leq 0$$

$$0,429u_1 + 0,154u_2 + 0,119u_3 + u_4 - 0,432v_1 - 0,229v_2 - 0,333v_3 \leq 0$$

$$0,107u_1 + 0,154u_2 + 0,143u_3 + 0,896u_4 - 0,295v_1 - 0,200v_2 - 0,278v_3 \leq 0$$

$$0,393u_1 + u_2 + 0,857u_3 + 0,916u_4 - v_1 - v_2 - 0,741v_3 \leq 0$$

$$0,036u_1 + 0,154u_2 + 0,310u_3 + 0,836u_4 - 0,295v_1 - 0,371v_2 - 0,278v_3 \leq 0$$

$$0,250u_1 + 0,154u_2 + 0,961u_4 - 0,182v_1 - 0,352v_2 - 0,315v_3 \leq 0$$

$$0,107u_1 + 0,077u_2 + 0,048u_3 + 0,934u_4 - 0,205v_1 - 0,181v_2 - 0,204v_3 \leq 0$$

$$0,143u_1 + 0,385u_2 + u_3 + 0,909u_4 - 0,295v_1 - 0,219v_2 - 0,315v_3 \leq 0$$

$$0,036u_1 + 0,077u_2 + 0,143u_3 + 0,907u_4 - 0,045v_1 - 0,076v_2 - 0,389v_3 \leq 0$$

$$u, v \geq 0$$

Kimya Mühendisliği için Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama Modeli

$$G_1 : \min d_9$$

$$G_2 : \min M$$

$$G_3 : \min \sum_{i=1}^{19} d_i$$

Kısıtlar:

$$0,727v_1 + 0,362v_2 + 0,630v_3 = 1$$

$$u_1 + 0,384u_2 + 0,810u_3 + 0,964u_4 - 0,659v_1 - 0,552v_2 - 0,852v_3 + d_1 = 0$$

$$0,571u_1 + 0,462u_2 + 0,762u_3 + 0,877u_4 - 0,818v_1 - 0,867v_2 - v_3 + d_2 = 0$$

$$0,143u_1 + 0,154u_2 + 0,190u_3 + 0,922u_4 - 0,272v_1 - 0,581v_2 - 0,241v_3 + d_3 = 0$$

$$0,821u_1 + 0,615u_2 + 0,500u_3 + 0,941u_4 - 0,682v_1 - 0,876v_2 - 0,630v_3 + d_4 = 0$$

$$0,357u_1 + 0,154u_2 + 0,238u_3 + 0,869u_4 - 0,500v_1 - 0,714v_2 - 0,278v_3 + d_5 = 0$$

$$0,821u_1 + 0,154u_2 + 0,558u_4 - 0,272v_1 - 0,761v_2 - 0,630v_3 + d_6 = 0$$

$$0,571u_1 + 0,154u_2 + 0,286u_3 + 0,880u_4 - 0,409v_1 - 0,867v_2 - 0,667v_3 + d_7 = 0$$

$$0,464u_1 + 0,154u_2 + 0,071u_3 + 0,890u_4 - 0,545v_1 - 0,629v_2 - 0,296v_3 + d_8 = 0$$

$$0,964u_1 + 0,154u_2 + 0,833u_3 + 0,964u_4 - 0,727v_1 - 0,362v_2 - 0,630v_3 + d_9 = 0$$

$$0,536u_1 + 0,385u_2 + 0,905u_3 + 0,924u_4 - 0,772v_1 - 0,895v_2 - 0,685v_3 + d_{10} = 0$$

$$0,643u_1 + 0,308u_2 + 0,971u_4 - 0,568v_1 - 0,581v_2 - 0,426v_3 + d_{11} = 0$$

$$0,429u_1 + 0,154u_2 + 0,119u_3 + u_4 - 0,432v_1 - 0,229v_2 - 0,333v_3 + d_{12} = 0$$

$$0,107u_1 + 0,154u_2 + 0,143u_3 + 0,896u_4 - 0,295v_1 - 0,200v_2 - 0,278v_3 + d_{13} = 0$$

$$0,393u_1 + u_2 + 0,857u_3 + 0,916u_4 - v_1 - v_2 - 0,741v_3 + d_{14} = 0$$

$$0,036u_1 + 0,154u_2 + 0,310u_3 + 0,836u_4 - 0,295v_1 - 0,371v_2 - 0,278v_3 + d_{15} = 0$$

$$0,250u_1 + 0,154u_2 + 0,961u_4 - 0,182v_1 - 0,352v_2 - 0,315v_3 + d_{16} = 0$$

$$0,107u_1 + 0,077u_2 + 0,048u_3 + 0,934u_4 - 0,205v_1 - 0,181v_2 - 0,204v_3 + d_{17} = 0$$

$$0,143u_1 + 0,385u_2 + u_3 + 0,909u_4 - 0,295v_1 - 0,219v_2 - 0,315v_3 + d_{18} = 0$$

$$0,036u_1 + 0,077u_2 + 0,143u_3 + 0,907u_4 - 0,045v_1 - 0,076v_2 - 0,389v_3 + d_{19} = 0$$

$$M - d_1 \geq 0$$

$$M - d_2 \geq 0$$

.

.

.

$$M - d_{19} \geq 0$$

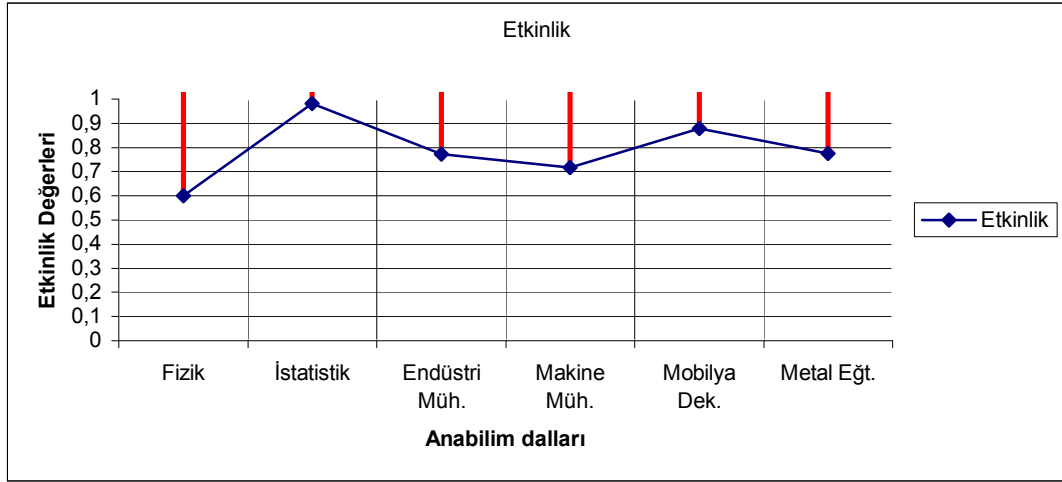
$$u, v, d, M \geq 0$$

Hem klasik CCR modeli sonuçları hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile ulaşılan sonuçlar EK 1’de verilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda etkin çıkan bölümlerin her iki teknikle de elde edilen ağırlıkları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de özetlenmiştir. Etkin olmayan birimlere ilişkin etkinlik ve etkinsizlik değerleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Etkin olan birimler ise Çapraz-Etkinlik Matrisi yöntemiyle sıralaması yapılmış ve Şekil 5.2 ve Şekil 5.4’te gösterilmiştir. Etkin birimlere ilişkin FPI değerleri hesaplanarak Şekil 5.3 ve Şekil 5.5’te gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde Biyoloji, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Mimarlık, Şehir Bölge Planlama Makine Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim dallarının hem klasik Etkinlik Analizi hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modelleri sonucunda etkin KVB’ler oldukları belirlenmiştir. Burada etkin çıkan bölümler var olan çıktı kombinasyonu için, en az girdiyi kullanmaktadır. Var olan çıktı kombinasyonu, maksimum girdi kombinasyonu kullanan bölümler etkinsiz olarak belirlenmiştir.

Kullanılan girdi yönlü modelde, ele alınan karar verme biriminin etkin olması için, ya o karar verme birimine ait ağırlıklı çıktılar toplamının (w_0) “1” ya da o karar verme birimine ilişkin sapma değişkeninin (d_0) “0” olması gerekir. Sadece bu iki durumda karar verme birimi etkin birim olarak değerlendirilebilir. $w_0 = 1 - d_0$ olarak ifade edilir. Eğer ele alınan karar verme birimi etkin değilse, etkinsizlik değeri d_0 ’dır. Bu değer kullanılmayan kaynakları ifade etmektedir. Şekil 5.1’de Etkin olmayan birimlere ilişkin etkinlik ve etkinsizlik değerleri gösterilmiştir.

(CCR)



Şekil 5.1. Etkin olmayan Anabilim dallarının Etkinlik ve Etkinsizlik değerleri

Şekil 5.1.'de Etkinlik değerleri nokta şeklinde gösterilmiştir. Etkinlik değerinden 1'e olan uzaklık ise kırmızıçizgi ile gösterilmiş, ilgili anabilim dalının etkinsizlik değeridir. Örneğin, en etkinsiz anabilim dalı olan, Fizik anabilim dalı etkinlik değeri $w_0 = 0,5995$ olduğu için etkin olmayan bir karar verme birimidir. $w_0 = 1 - d_0$ formülüne göre $d_0 = 0,4005$ 'dir. Bu değer Fizik anabilim dalının etkinsizlik değeridir. Ağırlıklı girdiler toplamında %40,05 oranında bir azaltma yaparsa etkin birim olacaktır. Benzer şekilde, girdilerinde %40,05 oranında kullanılmayan kaynak vardır, bölümler girdilerini azaltmak mümkün olmadığı durumlarda kullanmadıkları kaynakları kullanarak etkin birim olmaları önerilmektedir. Çıktılarına yönelik yorumlama yapılırken ise w_0 'ın dualı (θ) yani $\frac{1}{w_0}$ değeri göz önüne alınabilir.

Çalışmamızda Fizik anabilim dalına ilişkin θ değeri, $\theta = \frac{1}{0,5995} = 1,6681$ 'dir.

Sonuç olarak ağırlıklı girdiler toplamında yapılacak %40,05'lik azaltma çıktıların ağırlıklı ortalamasında %66,81'lik bir artışa neden olacaktır. Benzer şekilde çıktıların ağırlıklı toplamında %66,81'lik artış yapılırsa Fizik anabilim dalı etkin birim olacaktır. Etkin olmayan anabilim dallarından 0,9804 etkinlik değeri ile İstatistik anabilim dalı etkin olmaya en yakın anabilim dalıdır.

Çizelge 5.1. Etkin bölümlere ilişkin CCR modeli ile elde edilen ağırlıklar

KVB	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3
Biyoloji	0,7388	0	0,3225	0	1,0589	0,2695	0,1801
Kimya	0,6352	0,7781	0	0	0,7805	0,3365	0,2745
Matematik	0,9868	0	0,3270	0,6558	0	0	3,5971
El.el.müh.	1,2180	0	0	0	1,1688	0,8963	0
İnş.müh.	1,6093	0	0	0,2874	0	0,3124	2,7145
Kim.müh	0,7479	0	0,3349	0	0,8483	0	0,6084
Mimarlık	1,1949	0,1421	0	0,1935	0	0,2384	2,0223
Ş.B.Plan.	1,2647	0	0	0,4574	0,8391	0	1,9145
Mak. Eğt.	0	1	0	0	0,3082	0	0,9336
Yapı Eğt	1,6734	0	0	0,6052	1,1102	0	2,5331
End.Tek.	0	0	0	1,0707	2,7053	0	2,1834
Elek. Eğt	0	0	1	0	0	0	3,1746
Kazalar.	0	0	0	1,1025	2,7858	0	2,2484

Çizelge 5.2. Etkin bölümlere ilişkin öncelikli doğrusal hedef programlama ile elde edilen ağırlıklar (CCR tabanlı)

KVB	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3
Biyoloji	0,7265	0,4324	0,1327	0	0,6052	0,1527	0,6067
Kimya	0,6352	0,7781	0	0	0,7805	0,3365	0,2745
Matematik	1,0879	0	0,3681	0,6030	0,2257	0	3,1911
El.el.müh.	0,9892	0,3148	0,1342	0,2498	0,7795	0	1,2508
İnş.müh.	1,2936	0,3364	0,2241	0,3731	0,6541	0	2,1740
Kim.müh	0,7302	0,2324	0,0991	0,1844	0,5754	0	0,9233
Mimarlık	0,9585	0,6264	0	0,1964	0,8032	0,3018	0,8649
Ş.B.Plan.	1,3787	0,9919	0	0,2558	1,1944	0,5700	1,0616
Mak. Eğt.	0,3108	0,8779	0	0	0,3281	0	0,9068
Yapı Eğt	1,8202	1,2735	0	0,3630	1,6623	0,8068	1,3126
End.Tek.	1,9670	0,7551	0,1476	0,7755	2,0842	1,2354	1,7114
Elek. Eğt	1,6269	1,9931	0	0	1,9993	0,8620	0,7030
Kazalar.	2,3049	0,8848	0,1729	0,9087	2,4422	1,4476	2,0054

Klasik Etkinlik Analizi sonuçları incelendiğinde girdi ve çıktı ağırlıklarının birçoğunun sıfır değeri aldığı veya diğer ağırlıklara göre uç değerler aldıkları gözlenmiştir. Hedef programlama ile yapılan çözümde, klasik Etkinlik Analizi çözümüne kıyasla ağırlıkların çok daha düzgün dağıldığı gözlenmiştir. Şöyle ki; Endüstriyel Teknolojiler Eğitimi bölümü için, klasik Etkinlik Analizi ile elde edilen ağırlıklar; öğretim üyesi girdisi için 2,7053, yüksek lisans öğrenci sayısı girdisi için 0, doktora öğrenci sayısı girdisi için 2,1834, yüksek lisans mezun sayısı çıktısı için 0, doktora mezun sayısı çıktısı için 0, yayın sayısı çıktısı için 0 ve öğretim üyelerine verilen notların ortalaması çıktısına 1,0707 iken, Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile elde edilen ağırlıklar; öğretim üyesi girdisi için 2,0842, yüksek lisans öğrenci sayısı girdisi için 1,2354, doktora öğrenci sayısı girdisi için 1,7114, yüksek lisans mezun sayısı çıktısı için 1,9670, doktora mezun sayısı çıktısı için 0,7551, yayın sayısı çıktısı için 0,1476 ve öğretim üyelerine verilen notların ortalaması çıktısına 0,7755 olarak atanmıştır. Benzer durumlar diğer bölümler için de gözlemlenebilir.

5.1.1. CCR modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz-etkinlik matrisi yöntemiyle sıralanması ve FPI değerlerinin belirlenmesi

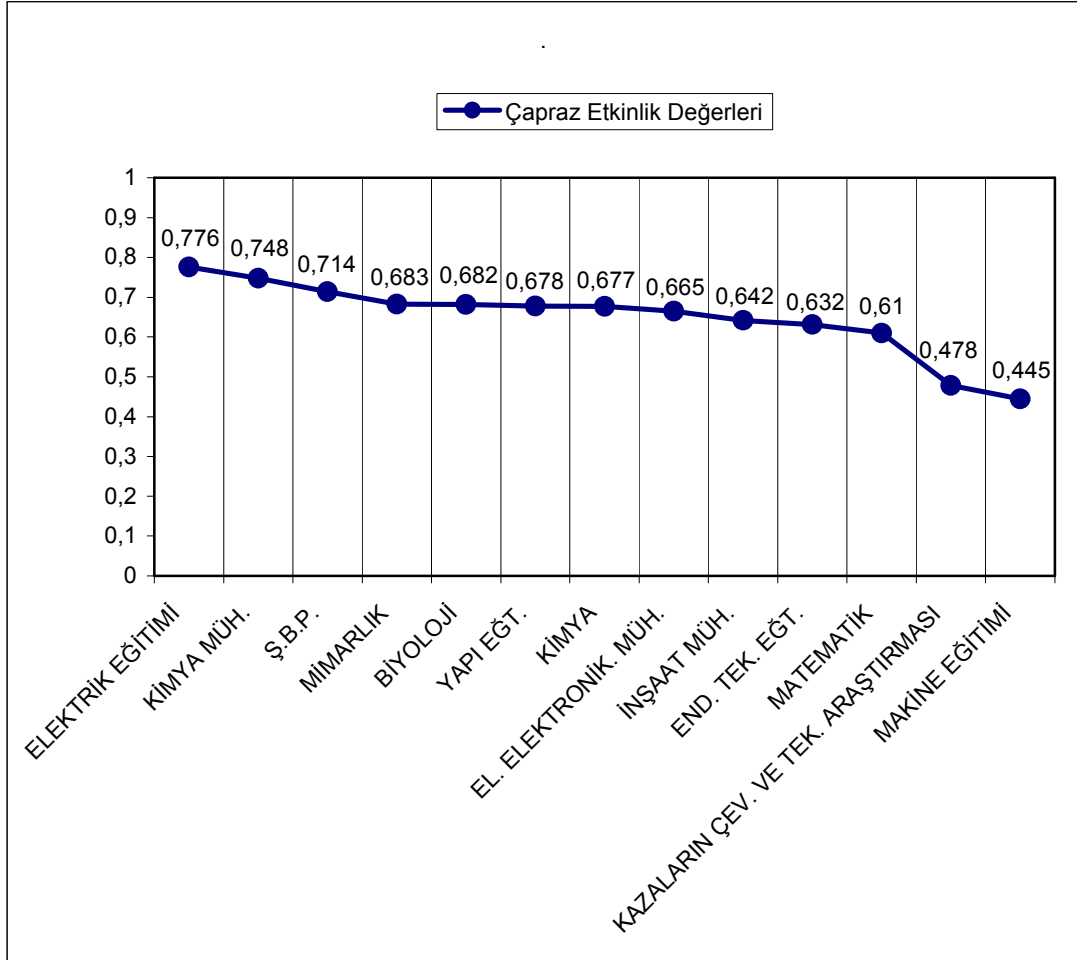
Klasik Etkinlik analizi (CCR modeli) sonucu elde edilen etkin karar verme birimleri; Biyoloji, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Mimarlık, Şehir Bölge Planlama, Makine Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim dalları için çapraz etkinlik matrisi yöntemi kullanılarak bir sıralama yapılmıştır.

Çapraz etkinlik matrisi, ilgili karar verme biriminin çapraz etkinliğinin hesaplamasında, karar verme birimlerinin klasik Etkinlik Analizi ile bulunan ağırlıklar kullanılarak oluşturulmuştur. Etkin olmayan birimler etkinlik skorlarına göre sıralanması mümkün olduğundan çapraz etkinlik matrisi oluşturulurken sadece etkin olan 13 bölüm dikkate alınmıştır. Çapraz etkinlik matrisi aşağıda verildiği gibidir.

	1	0,716	0,441	1	0,457	1	0,569	0,614	0,388	0,536	0,312	1	0,526	Biy.
	1	1	0,490	1	0,577	0,849	0,858	0,776	0,778	0,803	0,462	1	0,494	Kim
	0,615	0,702	1	0,519	1	0,819	0,830	0,933	0,476	0,774	1	0,939	0,484	Mat.
	0,963	0,632	0,355	1	0,471	1	0,661	0,736	0,232	0,576	0,324	0,322	0,363	EEM
	0,759	0,802	0,843	0,761	1	1	0,982	1	0,385	0,703	0,722	0,532	0,295	İnş.M
	0,946	0,812	0,584	1	0,577	1	0,649	0,634	0,447	0,540	0,322	1	0,272	KimM
H=	0,774	0,843	0,842	0,763	1	1	1	1	0,454	0,703	0,701	0,582	0,285	Mim
	0,781	0,826	0,892	0,902	0,971	0,914	0,973	1	0,406	1	1	0,701	0,588	ŞBP.
	0,385	0,770	0,372	0,229	0,347	0,190	0,538	0,347	1	0,440	0,304	1	0,204	MakE
	0,781	0,826	0,892	0,902	0,971	0,914	0,973	1	0,406	1	1	0,701	0,588	YapıE
	0,283	0,313	0,475	0,283	0,449	0,309	0,421	0,565	0,227	0,872	1	0,655	1	ErdTE
	0,299	0,250	0,270	0	0,076	0,417	0	0,113	0,364	0	0,074	1	0,116	ElekE
	0,283	0,313	0,475	0,283	0,449	0,309	0,421	0,565	0,227	0,872	1	0,655	1	KÇTA

H matrisinde birinci sütün; diğer etkin bölümlerin ağırlıkları kullanılarak elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorlarını göstermektedir. Örneğin 0,615 etkinlik skoru, Matematik bölümünün ağırlıklarının kullanılmasıyla elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorudur.

Çapraz etkinlik matrisi etkinlik değerleri her bir bölüme ait sütündeki değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Örneğin, birinci sütündeki değerlerin ortalaması biyoloji bölümünün etkinliğini vermektedir. Etkin karar verme birimleri arasında elde edilen sıralama ve çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen etkinlik değerleri Şekil 5.2'de verilmiştir.

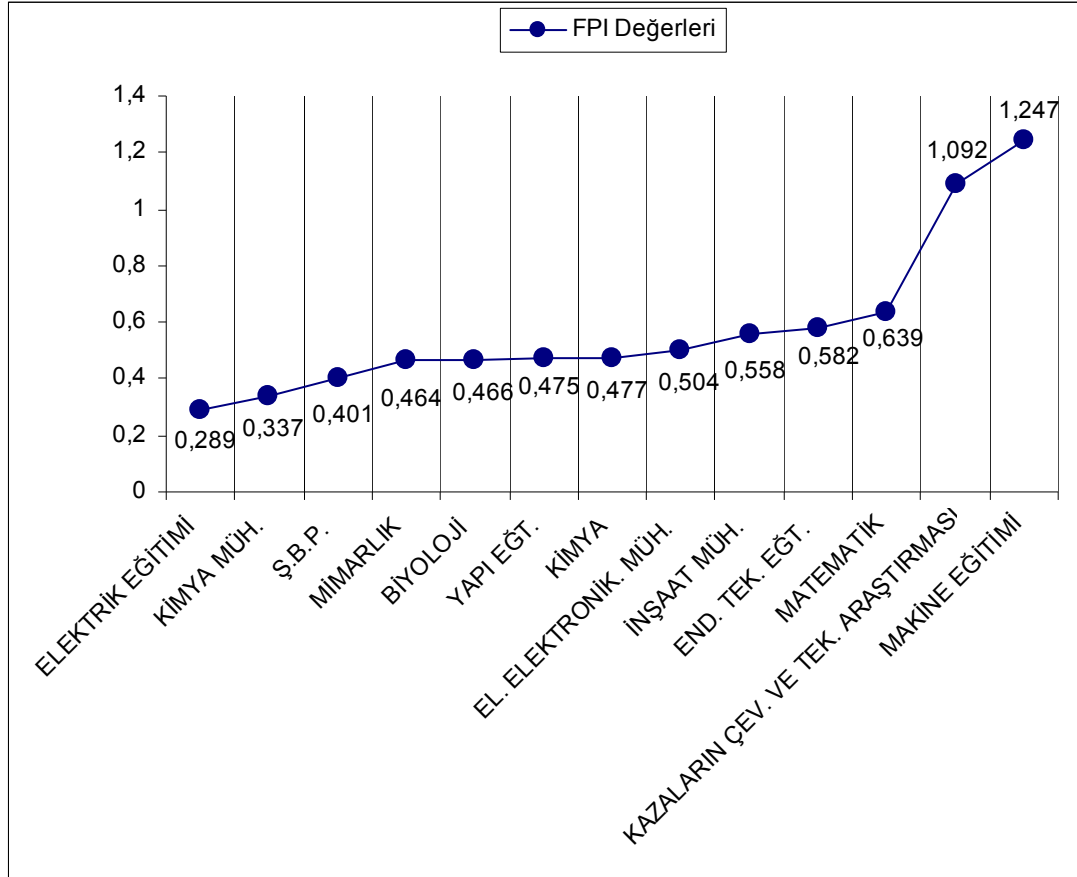


Şekil 5.2. CCR modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri

Şekil 5.2'ye göre etkin bölümler arasındaki çapraz etkinlik skorlarına göre yapılan sıralamada Elektrik Eğitimi bölümü ilk sırayı almıştır. Elektrik Eğitimi bölümü var olan çıktısına göre en az girdi kullanan bölümdür ve bu veri yapısı bölümün en etkin birim olmasını sağlamaktadır.

Klasik Etkinlik Analizi çözümlerinde ağırlıklar için tam bir ağırlık serbestliğinin (complete weight flexibility) olması etkin karar verme birimleri için uygun olmayan ağırlıklar elde edilmesine yol açmaktadır. Ekstrem ağırlıklara sahip karar verme birimleri potansiyel “false positive” adaylarıdır. Bir “false positive” karar verme birimi çoğu girdi ve çıktısında çok kötü değerlere sahip olmasına rağmen çok az girdi

ve çıktısında iyi değerlere sahip olmasından dolayı etkin olarak değerlendirilen karar verme birimidir. Klasik CCR yöntemiyle etkin bulunan birimlerin FPI değerleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Klasik CCR modeline göre etkin birimlerin FPI değerleri

Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Yüksek FPI değeri bir birim için hesaplanan öz (self) ve eş (peer) etkinlikler arasındaki farkın büyümesiyle olmaktadır. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir. Klasik CCR modeline göre etkin olarak belirlenen Makine Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması anabilim dalları, FPI değerlerine bakıldığında

aslında etkin birimler olmadıkları, etkin olarak değerlendirilmelerinin bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından kaynaklandığı gözlenmiştir.

5.1.2. Öncelikli doğrusal hedef programlama ile etkin bulunan bölümlerin sıralanması (CCR tabanlı)

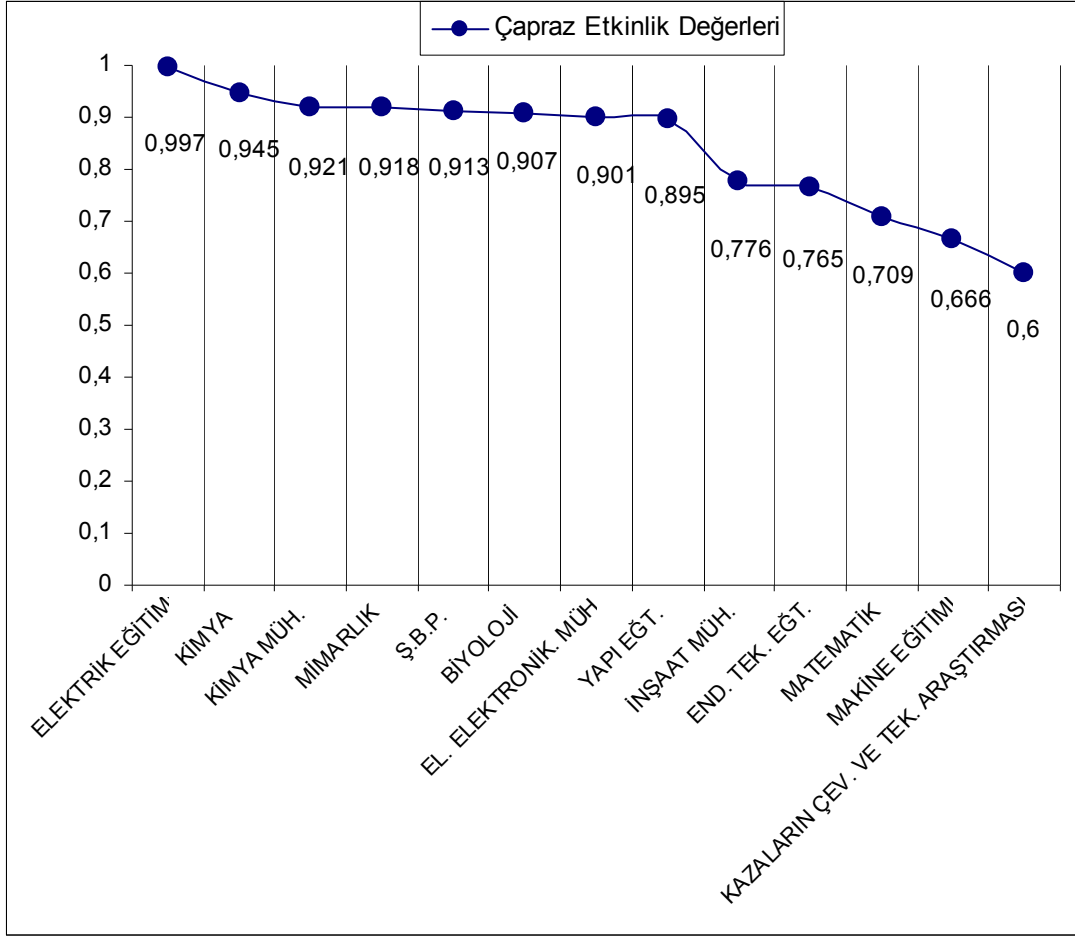
Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama sonucu elde edilen etkin karar verme birimleri; Biyoloji, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Mimarlık, Şehir Bölge Planlama Makine Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim dalları için çapraz etkinlik matrisi yöntemi kullanılarak bir sıralama yapılmıştır.

Çapraz etkinlik matrisi, ilgili karar verme biriminin çapraz etkinliğinin hesaplamasında, karar verme birimlerinin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile bulunan ağırlıklar kullanılarak oluşturulmuştur. Etkin olmayan birimler etkinlik skorlarına göre sıralanması mümkün olduğundan çapraz etkinlik matrisi oluşturulurken sadece etkin olan 13 bölüm dikkate alınmıştır. Çapraz etkinlik matrisi aşağıda verildiği gibidir.

	1	1	0,616	1	0,682	1	0,869	0,791	0,689	0,699	0,426	1	0,285	Biy.
	1	1	0,490	1	0,577	0,849	0,858	0,776	0,778	0,803	0,462	1	0,494	Kim
	0,686	0,760	1,000	0,594	1	0,891	0,864	0,960	0,500	0,814	1	1	0,510	Mat.
	0,924	0,991	0,882	1	0,930	1	1	0,981	0,614	1	0,891	1	0,586	EEM
	0,860	0,954	0,957	0,854	1	1	1	1	0,609	0,913	0,906	1	0,506	İrş.M
	0,924	0,991	0,882	1	0,930	1	1	0,981	0,614	1	0,891	1	0,586	KimM
H=	0,969	1	0,711	1	0,810	0,977	1	1	0,678	1	0,845	0,967	0,660	Mim
	1	1	0,667	1	0,771	0,991	0,985	1	0,693	0,988	0,820	1	0,702	Ş.BP.
	0,655	1	0,592	0,591	0,625	0,537	0,821	0,605	1	0,616	0,400	1	0,214	Mak.E
	1	0,982	0,655	1	0,757	0,988	0,971	1	0,674	1	0,837		0,762	Yapı E
	0,889	0,805	0,636	0,837	0,715	0,948	0,855	1	0,515	1	1	1	1	End.TE
	1	1	0,490	1	0,577	0,849	0,857	0,776	0,778	0,803	0,462	1	0,494	Elek.E
	0,889	0,805	0,636	0,837	0,715	0,948	0,855	1	0,515	1	1	1	1	KÇ.TA

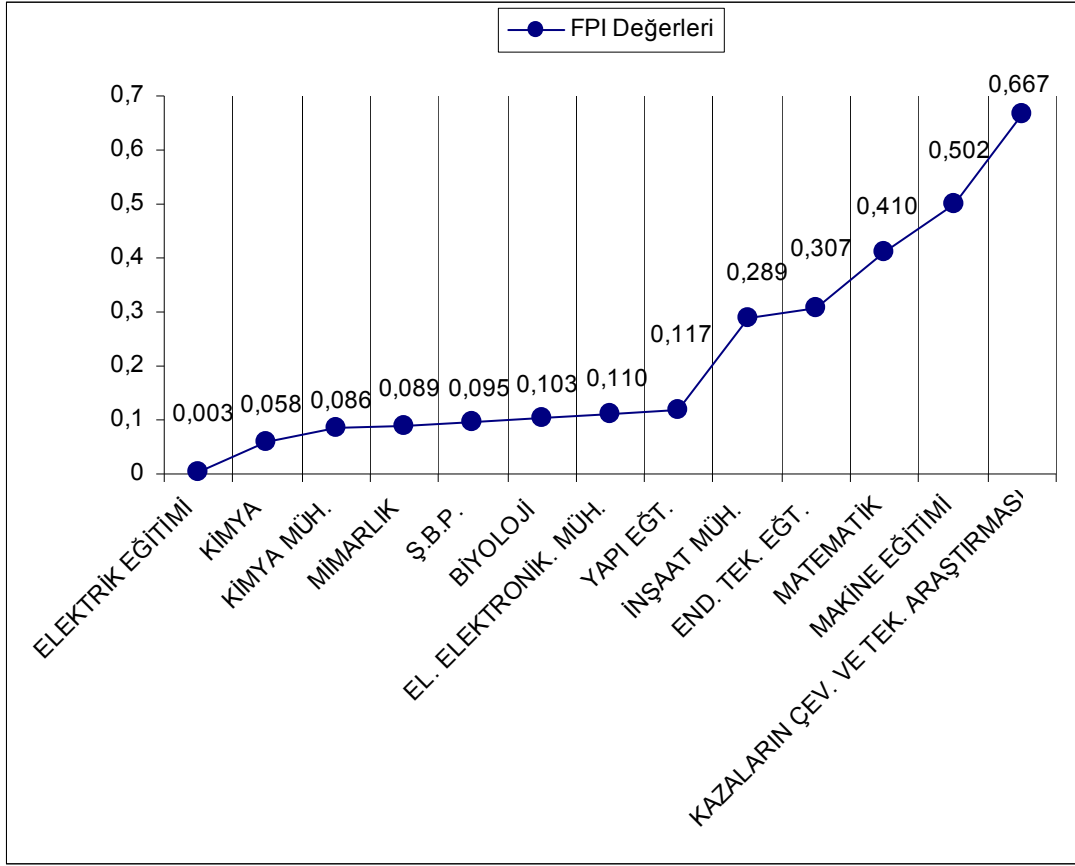
H matrisinde birinci sütün; diğer etkin bölümlerin ağırlıkları kullanılarak elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorlarını göstermektedir. Örneğin 0,686 etkinlik skoru, Matematik bölümünün ağırlıklarının kullanılmasıyla elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorudur.

Çapraz etkinlik matrisi etkinlik değerleri her bir bölüme ait sütündeki değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Örneğin, birinci sütündeki değerlerin ortalaması biyoloji bölümünün etkinliğini vermektedir. Etkin karar verme birimleri arasında elde edilen sıralama ve çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen etkinlik değerleri Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli ile etkin bulunan Anabilim dallarının çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri

Hem Şekil 5.2 hem de Şekil 5.4'e göre etkin bölümler arasındaki çapraz etkinlik skorlarına göre yapılan sıralamada Elektrik Eğitimi bölümü ilk sırayı almıştır. Elektrik Eğitimi bölümü var olan çıktısına göre en az girdi kullanan bölümdür ve bu veri yapısı bölümün en etkin birim olmasını sağlamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modelinin çapraz etkinlik değerlerinin, klasik Etkinlik Analizi modelinin çapraz etkinlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da ağırlık dağılımının daha düzgün olduğunu gösteren bir diğer gösterge olarak değerlendirilebilir. Kimya bölümü, klasik Etkinlik Analizi modeli kullanılarak yapılan çapraz etkinlik sıralamasında 0,677 değeri ile altıncı sırada yer alırken, Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama kullanılarak yapılan çapraz etkinlik sıralamasında 0,945 değeri ile ikinci sırada yer almaktadır.



Şekil 5.5. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli (CCR tabanlı) ile etkin bulunan birimlere ilişkin FPI değerleri

Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Yüksek FPI değeri bir birim için hesaplanan öz (self) ve eş (peer) etkinlikler arasındaki farkın büyümesiyle olmaktadır. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir. Öncelikli doğrusal Hedef Programlama (CCR tabanlı) modeline göre etkin olarak belirlenen özellikle Makine Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması olmak üzere Matematik, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi ve İnşaat Mühendisliği anabilim dalları, diğer anabilim dallarına göre yüksek FPI değerleri aldığı ve buna bağlı olarak aslında diğer anabilim dallarına nazaran çok da etkin olmadıkları gözlenmiştir. Etkin olarak değerlendirilmelerinin bir ya da çok az girdi ve çıktısında

iyi durumda olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Elektrik Eğitimi anabilim dalı 0,003 FPI değeri ile en etkin anabilim dalı olarak gözlenmiştir. Ayrıca Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli ile elde edilen FPI değerlerinin daha düşük olması, klasik CCR modeline göre daha iyi ağırlık dağılımına sahip olduğunun bir göstergesidir. Bu uygulamada, her iki model için FPI değerleri grafiklerinin karşılaştırılması, Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modelinin, klasik Etkinlik Analizi modelinin ayırıcı güç problemine karşı alternatif bir çözüm yaklaşımı getirdiğini desteklemektedir.

5.2. BCC Modeli ve Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde incelenen bölümlerin etkinlikleri, hem BCC modeli hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama yöntemiyle değerlendirilecektir. Analiz sonucunda etkin bulunan bölümlerin kendi aralarında sıralanması ise her iki model için ayrı ayrı çapraz etkinlik matrisi yardımıyla yapılacaktır.

Örnek olarak Kimya Mühendisliği bölümünün her iki yöntem ile de değerlendirildiği modeller aşağıda verilmiştir. Modellerin çözümünde WINQSB paket programının Linear and Integer programming ve Linear and Integer Goal programming modülleri kullanılmıştır.

Kimya Mühendisliği için BCC Modeli

$$\max 0,964u_1 + 0,154u_2 + 0,833u_3 + 0,964u_4 + u_0$$

Kısıtlar:

$$0,727v_1 + 0,362v_2 + 0,630v_3 = 1$$

$$u_1 + 0,384u_2 + 0,810u_3 + 0,964u_4 - 0,659v_1 - 0,552v_2 - 0,852v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,571u_1 + 0,462u_2 + 0,762u_3 + 0,877u_4 - 0,818v_1 - 0,867v_2 - v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,143u_1 + 0,154u_2 + 0,190u_3 + 0,922u_4 - 0,272v_1 - 0,581v_2 - 0,241v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,821u_1 + 0,615u_2 + 0,500u_3 + 0,941u_4 - 0,682v_1 - 0,876v_2 - 0,630v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,357u_1 + 0,154u_2 + 0,238u_3 + 0,869u_4 - 0,500v_1 - 0,714v_2 - 0,278v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,821u_1 + 0,154u_2 + 0,558u_4 - 0,272v_1 - 0,761v_2 - 0,630v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,571u_1 + 0,154u_2 + 0,286u_3 + 0,880u_4 - 0,409v_1 - 0,867v_2 - 0,667v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,464u_1 + 0,154u_2 + 0,071u_3 + 0,890u_4 - 0,545v_1 - 0,629v_2 - 0,296v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,964u_1 + 0,154u_2 + 0,833u_3 + 0,964u_4 - 0,727v_1 - 0,362v_2 - 0,630v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,536u_1 + 0,385u_2 + 0,905u_3 + 0,924u_4 - 0,772v_1 - 0,895v_2 - 0,685v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,643u_1 + 0,308u_2 + 0,971u_4 - 0,568v_1 - 0,581v_2 - 0,426v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,429u_1 + 0,154u_2 + 0,119u_3 + u_4 - 0,432v_1 - 0,229v_2 - 0,333v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,107u_1 + 0,154u_2 + 0,143u_3 + 0,896u_4 - 0,295v_1 - 0,200v_2 - 0,278v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,393u_1 + u_2 + 0,857u_3 + 0,916u_4 - v_1 - v_2 - 0,741v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,036u_1 + 0,154u_2 + 0,310u_3 + 0,836u_4 - 0,295v_1 - 0,371v_2 - 0,278v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,250u_1 + 0,154u_2 + 0,961u_4 - 0,182v_1 - 0,352v_2 - 0,315v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,107u_1 + 0,077u_2 + 0,048u_3 + 0,934u_4 - 0,205v_1 - 0,181v_2 - 0,204v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,143u_1 + 0,385u_2 + u_3 + 0,909u_4 - 0,295v_1 - 0,219v_2 - 0,315v_3 + u_0 \leq 0$$

$$0,036u_1 + 0,077u_2 + 0,143u_3 + 0,907u_4 - 0,045v_1 - 0,076v_2 - 0,389v_3 + u_0 \leq 0$$

$$u, v \geq 0$$

u_0 işaretçe serbest

Kimya Mühendisliği için Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama Modeli (BCC

Tabanlı)

$$G_1 : \min d_9$$

$$G_2 : \min M$$

$$G_3 : \min \sum_{i=1}^{19} d_i$$

Kısıtlar:

$$0,727v_1 + 0,362v_2 + 0,630v_3 = 1$$

$$u_1 + 0,384u_2 + 0,810u_3 + 0,964u_4 - 0,659v_1 - 0,552v_2 - 0,852v_3 + d_1 + u_0 = 0$$

$$0,571u_1 + 0,462u_2 + 0,762u_3 + 0,877u_4 - 0,818v_1 - 0,867v_2 - v_3 + d_2 + u_0 = 0$$

$$0,143u_1 + 0,154u_2 + 0,190u_3 + 0,922u_4 - 0,272v_1 - 0,581v_2 - 0,241v_3 + d_3 + u_0 = 0$$

$$0,821u_1 + 0,615u_2 + 0,500u_3 + 0,941u_4 - 0,682v_1 - 0,876v_2 - 0,630v_3 + d_4 + u_0 = 0$$

$$0,357u_1 + 0,154u_2 + 0,238u_3 + 0,869u_4 - 0,500v_1 - 0,714v_2 - 0,278v_3 + d_5 + u_0 = 0$$

$$0,821u_1 + 0,154u_2 + 0,558u_4 - 0,272v_1 - 0,761v_2 - 0,630v_3 + d_6 + u_0 = 0$$

$$0,571u_1 + 0,154u_2 + 0,286u_3 + 0,880u_4 - 0,409v_1 - 0,867v_2 - 0,667v_3 + d_7 + u_0 = 0$$

$$0,464u_1 + 0,154u_2 + 0,071u_3 + 0,890u_4 - 0,545v_1 - 0,629v_2 - 0,296v_3 + d_8 + u_0 = 0$$

$$0,964u_1 + 0,154u_2 + 0,833u_3 + 0,964u_4 - 0,727v_1 - 0,362v_2 - 0,630v_3 + d_9 + u_0 = 0$$

$$0,536u_1 + 0,385u_2 + 0,905u_3 + 0,924u_4 - 0,772v_1 - 0,895v_2 - 0,685v_3 + d_{10} + u_0 = 0$$

$$0,643u_1 + 0,308u_2 + 0,971u_4 - 0,568v_1 - 0,581v_2 - 0,426v_3 + d_{11} + u_0 = 0$$

$$0,429u_1 + 0,154u_2 + 0,119u_3 + u_4 - 0,432v_1 - 0,229v_2 - 0,333v_3 + d_{12} + u_0 = 0$$

$$0,107u_1 + 0,154u_2 + 0,143u_3 + 0,896u_4 - 0,295v_1 - 0,200v_2 - 0,278v_3 + d_{13} + u_0 = 0$$

$$0,393u_1 + u_2 + 0,857u_3 + 0,916u_4 - v_1 - v_2 - 0,741v_3 + d_{14} + u_0 = 0$$

$$0,036u_1 + 0,154u_2 + 0,310u_3 + 0,836u_4 - 0,295v_1 - 0,371v_2 - 0,278v_3 + d_{15} + u_0 = 0$$

$$0,250u_1 + 0,154u_2 + 0,961u_4 - 0,182v_1 - 0,352v_2 - 0,315v_3 + d_{16} + u_0 = 0$$

$$0,107u_1 + 0,077u_2 + 0,048u_3 + 0,934u_4 - 0,205v_1 - 0,181v_2 - 0,204v_3 + d_{17} + u_0 = 0$$

$$0,143u_1 + 0,385u_2 + u_3 + 0,909u_4 - 0,295v_1 - 0,219v_2 - 0,315v_3 + d_{18} + u_0 = 0$$

$$0,036u_1 + 0,077u_2 + 0,143u_3 + 0,907u_4 - 0,045v_1 - 0,076v_2 - 0,389v_3 + d_{19} + u_0 = 0$$

$$M - d_1 \geq 0$$

$$M - d_2 \geq 0$$

.

.

.

$$M - d_{19} \geq 0$$

$$u, v, d, M \geq 0$$

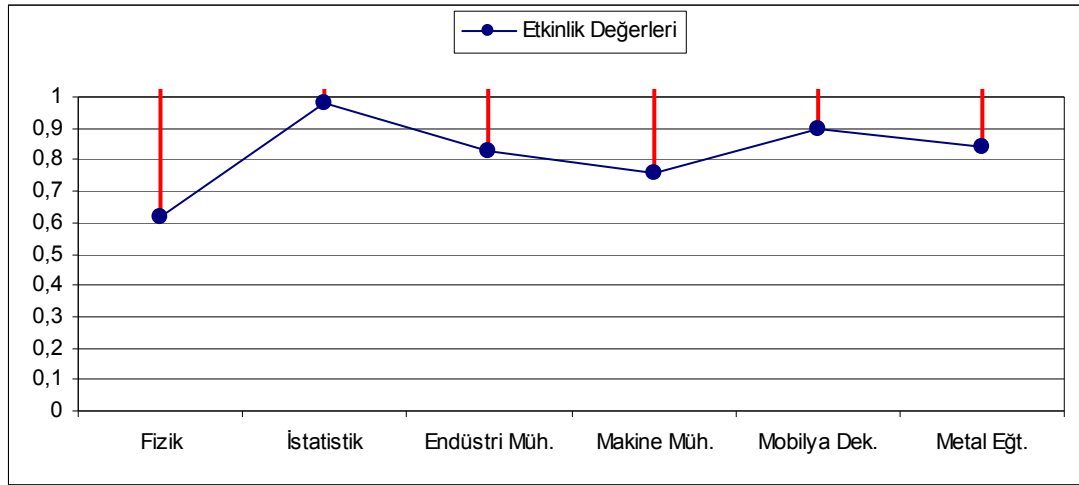
u_0 işaretçe serbest

Hem BCC modeli sonuçları hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile ulaşılan sonuçlar EK 2’de verilmiştir. Ayrıca analizler sonucunda etkin çıkan bölümlerin her iki teknikle de elde edilen ağırlıkları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’de özetlenmiştir. Etkin olmayan birimlere ilişkin etkinlik ve etkinsizlik değerleri Şekil 5.6’te gösterilmiştir. Etkin olan birimler ise Çapraz-Etkinlik Matrisi yöntemiyle sıralaması yapılmış ve Şekil 5.7 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde Biyoloji, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Mimarlık, Şehir Bölge Planlama Makine Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim dallarının hem klasik Etkinlik Analizi (BCC tabanlı) hem de Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (BCC tabanlı) modelleri sonucunda etkin KVB’ler oldukları belirlenmiştir. Burada etkin çıkan bölümler var olan çıktı kombinasyonu için, en az girdiyi kullanmaktadır. Var olan çıktı kombinasyonu, maksimum girdi kombinasyonu kullanan bölümler etkinsiz olarak belirlenmiştir. CCR ve BCC modelleri incelendiğinde, aynı birimler etkin olarak belirlenmiştir. Ancak BCC modelinde, CCR modeline göre, etkinsiz birimlerin etkinlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebi CCR modelinde orijinden geçen etkinlik doğrusu, BCC modelinde orijinden geçmek zorunda değildir.

Kullanılan girdi yönlü modelde, ele alınan karar verme biriminin etkin olması için, ya o karar verme birimine ait ağırlıklı çıktılar toplamının (w_0) “1” ya da o karar verme birimine ilişkin sapma değişkeninin (d_0) “0” olması gerekir. Sadece bu iki durumda karar verme birimi etkin birim olarak değerlendirilebilir. $w_0 = 1 - d_0$ olarak ifade edilir. Eğer ele alınan karar verme birimi etkin değilse, etkinsizlik değeri d_0 ’dır. Bu değer kullanılmayan kaynakları ifade etmektedir. Şekil 5.4’te Etkin olmayan birimlere ilişkin etkinlik ve etkinsizlik değerleri gösterilmiştir.

(BCC)



Şekil 5.6. Etkin olmayan Anabilim dallarının Etkinlik ve Etkinsizlik değerleri

Şekil 5.6.'da Etkinlik değerleri nokta şeklinde gösterilmiştir. Etkinlik değerinden 1'e olan uzaklık ise kırmızı çizgi ile gösterilmiş, ilgili anabilim dalının etkinsizlik değeridir. Örneğin, en etkisiz anabilim dalı olan, Fizik anabilim dalı etkinlik değeri $w_0 = 0,6180$ olduğu için etkin olmayan bir karar verme birimidir. $w_0 = 1 - d_0$ formülüne göre $d_0 = 0,382$ 'dir. Bu değer Fizik anabilim dalının etkinsizlik değeridir. Ağırlıklı girdiler toplamında %38,2 oranında bir azaltma yaparsa etkin birim olacaktır. Benzer şekilde, girdilerinde %38,2 oranında kullanılmayan kaynak vardır, birimlerin girdilerini azaltmak mümkün olmadığı durumlarda kullanmadıkları kaynakları kullanarak etkin birim olmaları önerilmektedir. Çıktılarına yönelik yorumlama yapılırken ise w_0 'ın duali (θ) yani $\frac{1}{w_0}$ değeri göz önüne alınabilir.

Çalışmamızda Fizik anabilim dalına ilişkin θ değeri, $\theta = \frac{1}{0,6180} = 1,6181$ 'dir.

Sonuç olarak ağırlıklı girdiler toplamında yapılacak %38,2'lik azaltma çıktıların ağırlıklı ortalamasında %61,81'lik bir artışa neden olacaktır. Benzer şekilde çıktıların ağırlıklı toplamında %61,81'lik artış yapılırsa Fizik anabilim dalı etkin birim olacaktır. Benzer durumlar diğer bölümler için de gözlemlenebilir. Etkin olmayan anabilim dallarından 0,9823 etkinlik değeri ile İstatistik anabilim dalı etkin olmaya en yakın anabilim dalıdır.

Çizelge 5.3. Etkin bölümlere ilişkin BCC modeli ile elde edilen ağırlıklar

KVB	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	U0
Biyoloji	0,7681	0	0,4209	0	1,0120	0	0,3909	-0,1091
Kimya	0,6204	1,0860	0	0	0	0,7779	0,5056	-0,1772
Matematik	0,9142	0	0,1981	0	0	0	3,5971	0,6265
El.el.müh.	1,1206	0	0	0	1,1455	0,9046	0	0,0800
İnş.müh.	1,5283	0	0	0	0	0,3729	2,5859	0,2909
Kim.müh.	0,7822	0	0,4286	0	1,0305	0	0,3981	-0,1111
Mimarlık	1,1593	0,2202	0	0	0	0,2829	1,9616	0,1867
Ş.B.Plan.	1,2647	0	0	0,4574	0,8391	0	1,9145	0
Mak. Eğt.	0	1,1463	0	0	1	0	0	-0,1463
Yapı Eğt.	1,4950	0	0	0	1,5905	0	2,2556	0,6262
End.Tek.	0	0	0	0	2,6217	0	2,2674	1
Elek. Eğt.	0	0	1	0	0	0	3,1746	0
Kazalar.	0	0	0	0	2,6217	0	2,2674	1

Çizelge 5.4. Etkin bölümlere ilişkin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile elde edilen ağırlıklar (BCC tabanlı)

KVB	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	U0
Biyoloji	0,7485	0,3390	0,2387	0	0,6722	0	0,6537	-0,0720
Kimya	0,6136	0,8575	0	0	0,8704	0,3342	0,1804	-0,0311
Matematik	1,1594	0	0,3160	0	0,5170	0	2,6673	0,5109
El.el.müh.	0,8998	0,5523	0	0	0,8624	0,6609	0,4166	0,1762
İnş.müh.	1,2541	0,2698	0,1815	0,1053	0,8204	0	1,8678	0,2699
Kim.müh.	0,6833	0	0,1547	0,1659	0,6460	0	0,8418	0,0525
Mimarlık	0,9585	0,6264	0	0,1964	0,8032	0,3018	0,8649	0
Ş.B.Plan.	1,3209	0,8280	0	0,1810	1,3276	0,8232	0,7146	0,1248
Mak. Eğt.	0,2855	1,0174	0	0	0,7320	0,1308	0,1852	-0,1296
Yapı Eğt.	1,8381	1,3166	0	0,3928	1,6400	0,7390	1,4012	-0,0398
End.Tek.	2,0971	0,8505	0,0905	0	2,0428	1,2653	1,7265	0,7058
Elek. Eğt.	1,5864	2,2170	0	0	2,2504	0,8640	0,4664	-0,0804
Kazalar.	1,2662	0,2544	0,4050	0	2,9052	0	2,2346	0,8769

Klasik Etkinlik Analizi (BCC) sonuçları incelendiğinde girdi ve çıktı ağırlıklarının birçoğunun sıfır değeri aldığı veya diğer ağırlıklara göre uç değerler aldıkları gözlenmiştir. Öncelikli Doğrusal Hedef programlama ile yapılan çözümde, klasik Etkinlik Analizi (BCC) çözümüne kıyasla ağırlıkların çok daha düzgün dağıldığı gözlenmiştir. Şöyle ki; Endüstriyel Teknolojiler Eğitimi bölümü için, klasik Etkinlik

Analizi (BCC) ile elde edilen ağırlıklar; öğretim üyesi girdisi için 2,6217, yüksek lisans öğrenci sayısı girdisi için 0, doktora öğrenci sayısı girdisi için 2,2674, yüksek lisans mezun sayısı çıktısı için 0, doktora mezun sayısı çıktısı için 0, yayın sayısı çıktısı için 0 ve öğretim üyelerine verilen notların ortalaması çıktısına 0 iken, Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile elde edilen ağırlıklar; öğretim üyesi girdisi için 2,0428, yüksek lisans öğrenci sayısı girdisi için 1,2653, doktora öğrenci sayısı girdisi için 1,7265, yüksek lisans mezun sayısı çıktısı için 2,0971, doktora mezun sayısı çıktısı için 0,8505, yayın sayısı çıktısı için 0,0905 ve öğretim üyelerine verilen notların ortalaması çıktısına 0 olarak atanmıştır. Benzer durumlar diğer bölümler için de gözlemlenebilir.

5.2.1. BCC modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz-etkinlik matrisi yöntemiyle sıralanması ve FPI değerlerinin belirlenmesi

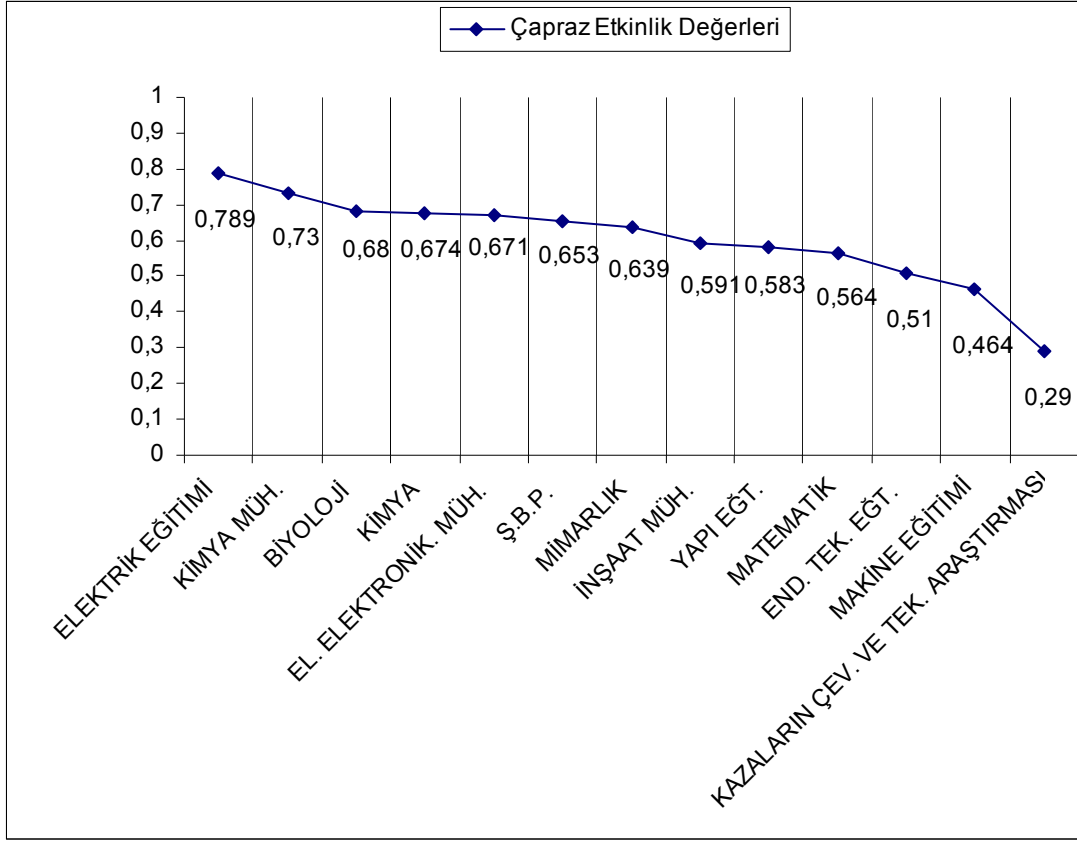
Klasik Etkinlik analizi (BCC modeli) sonucu elde edilen etkin karar verme birimleri; Biyoloji, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Mimarlık, Şehir Bölge Planlama, Makine Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim dalları için çapraz etkinlik matrisi yöntemi kullanılarak bir sıralama yapılmıştır.

Çapraz etkinlik matrisi, ilgili karar verme biriminin çapraz etkinliğinin hesaplamasında, karar verme birimlerinin klasik Etkinlik Analizi ile bulunan ağırlıklar kullanılarak oluşturulmuştur. Etkin olmayan birimler etkinlik skorlarına göre sıralanması mümkün olduğundan çapraz etkinlik matrisi oluşturulurken sadece etkin olan 13 bölüm dikkate alınmıştır. Çapraz etkinlik matrisi aşağıda verildiği gibidir.

	1	0,782	0,432	1	0,415	1	0,519	0,477	0,425	0,270	-0,023	1	-0,108	Biy.
	1	1	0,304	0,548	0,435	0,980	0,833	0,739	1	0,335	-0,111	1	-0,279	Kim
	0,555	0,651	1	0,608	1	0,738	0,792	0,870	0,434	0,755	1	0,843	0,491	Mat.
	0,957	0,635	0,394	1	0,503	1	0,681	0,799	0,254	0,684	0,502	0,448	1	EEM
	0,755	0,790	0,849	0,808	1	1	0,966	1	0,389	0,712	0,764	0,568	0,334	İnş.M
	1	0,782	0,432	1	0,415	1	0,519	0,477	0,425	0,270	-0,023	1,000	-0,108	KimM
H=	0,783	0,859	0,849	0,808	1	1	1	1	0,497	0,711	0,726	0,643	0,313	Mm
	0,781	0,826	0,892	0,902	0,971	0,914	0,973	1	0,406	1	1	0,701	0,588	ŞBP.
	0,446	0,819	0,060	0,111	0,055	0,042	0,364	0,070	1	0,166	-0,283	1	-1,290	MakE
	0,714	0,740	0,816	1	0,860	0,802	0,852	0,881	0,372	1	1	0,712	0,717	YapıE
	0,273	0,311	0,515	0,467	0,476	0,300	0,407	0,530	0,232	0,839	1	0,672	1	EndTE
	0,299	0,250	0,270	0	0,076	0,417	0	0,113	0,364	0	0,074	1	0,116	ElekE
	0,273	0,311	0,515	0,467	0,476	0,300	0,407	0,530	0,232	0,839	1	0,672	1	KÇTA

H matrisinde birinci sütün; diğer etkin bölümlerin ağırlıkları kullanılarak elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorlarını göstermektedir. Örneğin 0,555 etkinlik skoru, Matematik bölümünün ağırlıklarının kullanılmasıyla elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorudur.

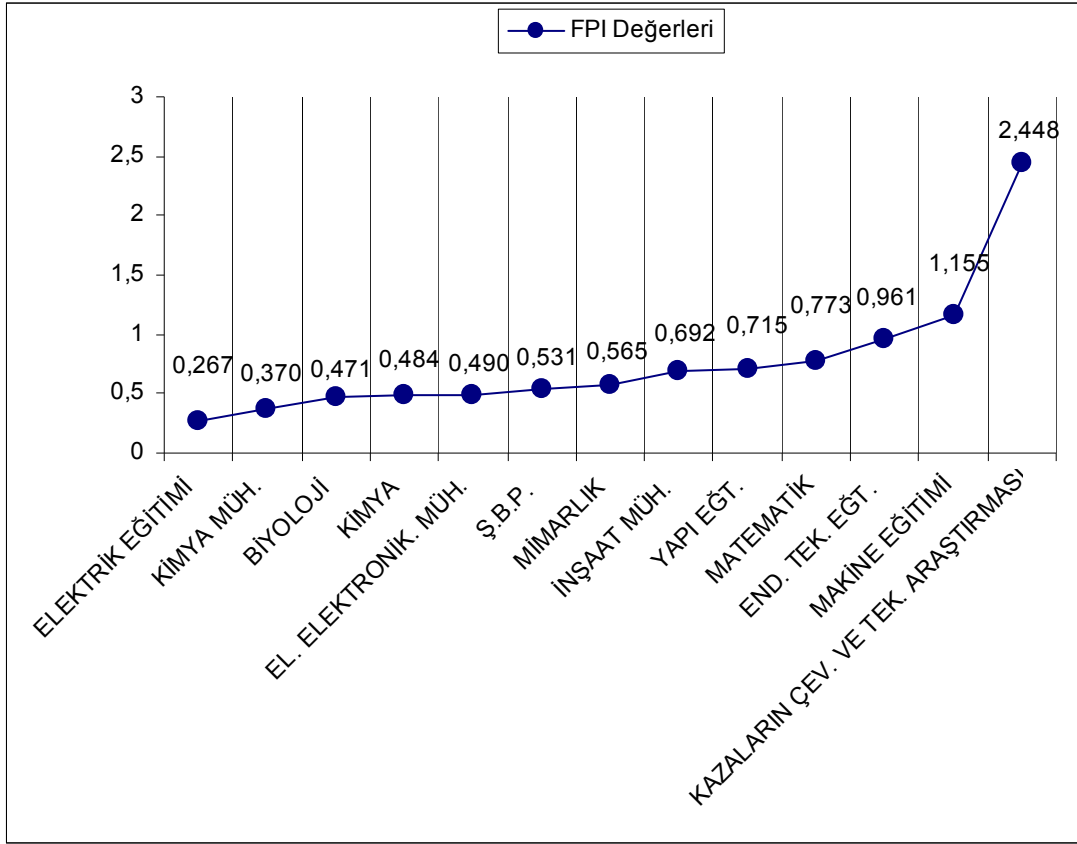
Çapraz etkinlik matrisi etkinlik değerleri her bir bölüme ait sütündeki değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Örneğin, birinci sütündeki değerlerin ortalaması biyoloji bölümünün etkinliğini vermektedir. Etkin karar verme birimleri arasında elde edilen sıralama ve çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen etkinlik değerleri Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. BCC modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri

Şekil 5.7'ye göre etkin bölümler arasındaki çapraz etkinlik skorlarına göre yapılan sıralamada Elektrik Eğitimi Anabilim dalı ilk sırayı almıştır. Elektrik Eğitimi Anabilim dalı var olan çıktısına göre en az girdi kullanan Anabilim dalıdır ve bu veri yapısı Anabilim dalının en etkin birim olmasını sağlamaktadır.

Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Yüksek FPI değeri bir birim için hesaplanan öz (self) ve eş (peer) etkinlikler arasındaki farkın büyümesiyle gerçekleşmektedir. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir.



Şekil 5.8. BCC modeline göre etkin bulunan birimlere ilişkin FPI değerleri

Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Yüksek FPI değeri bir birim için hesaplanan öz (self) ve eş (peer) etkinlikler arasındaki farkın büyümesiyle olmaktadır. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir. Klasik BCC modeline göre etkin olarak belirlenen Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması anabilim dalının, FPI değerlerine bakıldığında aslında etkin birim olmadığı, etkin olarak değerlendirilmesinin bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından kaynaklandığı gözlenmiştir.

5.2.2. Öncelikli doğrusal hedef programlama ile etkin bulunan bölümlerin sıralanması ve FPI değerlerinin belirlenmesi

Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama sonucu elde edilen etkin karar verme birimleri; Biyoloji, Kimya, Matematik, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Mimarlık, Şehir Bölge Planlama Makine Eğitimi, Yapı Eğitimi, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi, Elektrik Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim dalları için çapraz etkinlik matrisi yöntemi kullanılarak bir sıralama yapılmıştır.

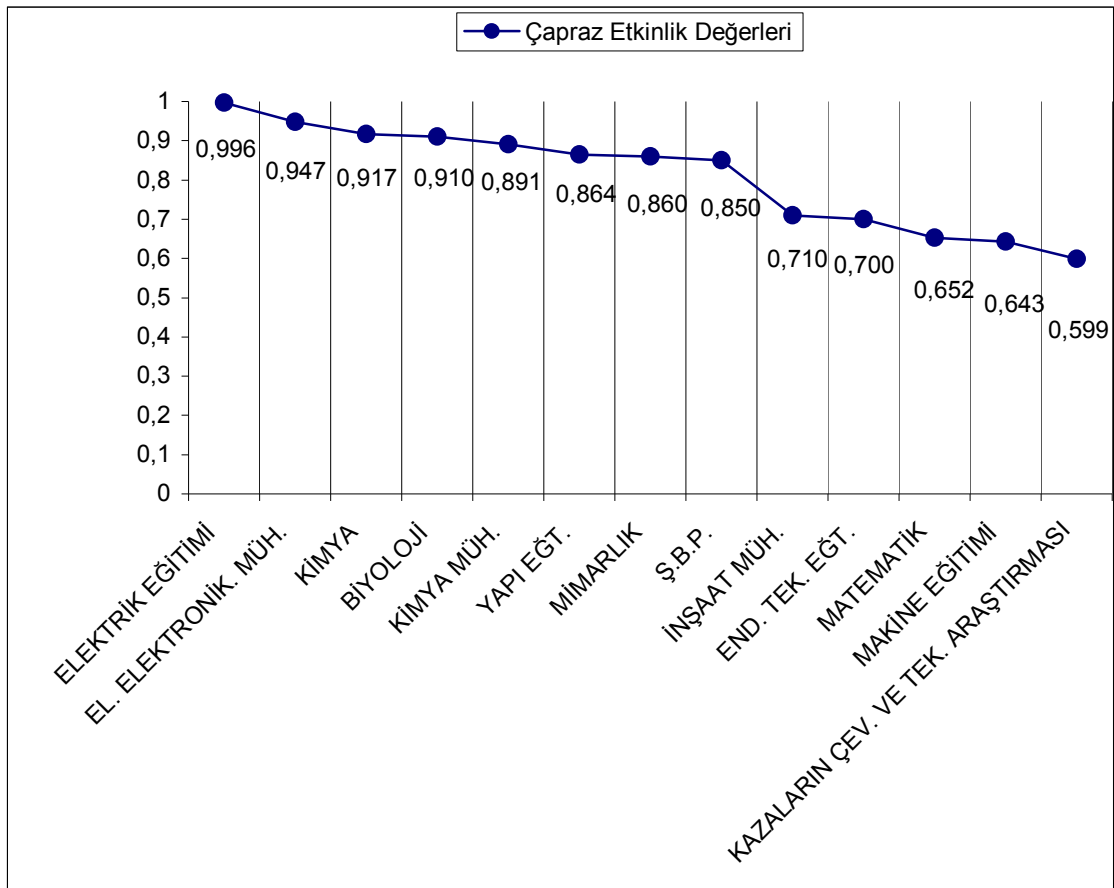
Çapraz etkinlik matrisi, ilgili karar verme biriminin çapraz etkinliğinin hesaplamasında, karar verme birimlerinin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile bulunan ağırlıklar kullanılarak oluşturulmuştur. Etkin olmayan birimler etkinlik skorlarına göre sıralanması mümkün olduğundan çapraz etkinlik matrisi oluşturulurken sadece etkin olan 13 bölüm dikkate alınmıştır. Çapraz etkinlik matrisi aşağıda verildiği gibidir.

	1	1	0,588	1	0,615	1	0,778	0,649	0,662	0,510	0,168	1	0,053	Biy.
	1	1	0,442	1	0,523	0,798	0,820	0,710	0,798	0,764	0,365	1	0,423	Kim
	0,737	0,797	1	0,803	1	0,920	0,879	0,941	0,496	0,857	1	1	0,564	Mat.
	1	0,878	0,572	1	0,673	1	0,880	0,977	0,591	0,934	0,826	0,976	1	EEM
	0,880	0,953	0,962	1	1	1	1	1	0,583	0,984	0,969	1	0,599	İnş.M
	0,893	0,872	0,857	1	0,878	1	0,900	0,947	0,477	1	0,947	1	0,700	KimM
H=	0,969	1	0,711	1	0,810	0,977	1	1	0,678	1	0,845	0,967	0,660	Mim
	1	0,910	0,608	1	0,706	0,992	0,914	1	0,611	1	0,880	1	1	ŞBP.
	0,767	1	0,253	0,630	0,298	0,434	0,644	0,367	1	0,414	-0,098	1	-0,357	MakE.
	1	1	0,668	1	0,770	0,988	0,985	1	0,690	1	0,827	1	0,717	Yapı E.
	0,911	0,835	0,668	0,982	0,750	0,968	0,880	1	0,536	1	1	1	1	EndTE
	1	1	0,442	1	0,523	0,798	0,820	0,710	0,798	0,764	0,365	1	0,423	ElekE.
	0,673	0,671	0,706	0,890	0,683	0,703	0,680	0,754	0,433	1	1	1	1	KÇTA

H matrisinde birinci sütün; diğer etkin bölümlerin ağırlıkları kullanılarak elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorlarını göstermektedir. Örneğin 0,737 etkinlik skoru,

Matematik bölümünün ağırlıklarının kullanılmasıyla elde edilen Biyoloji bölümünün etkinlik skorudur.

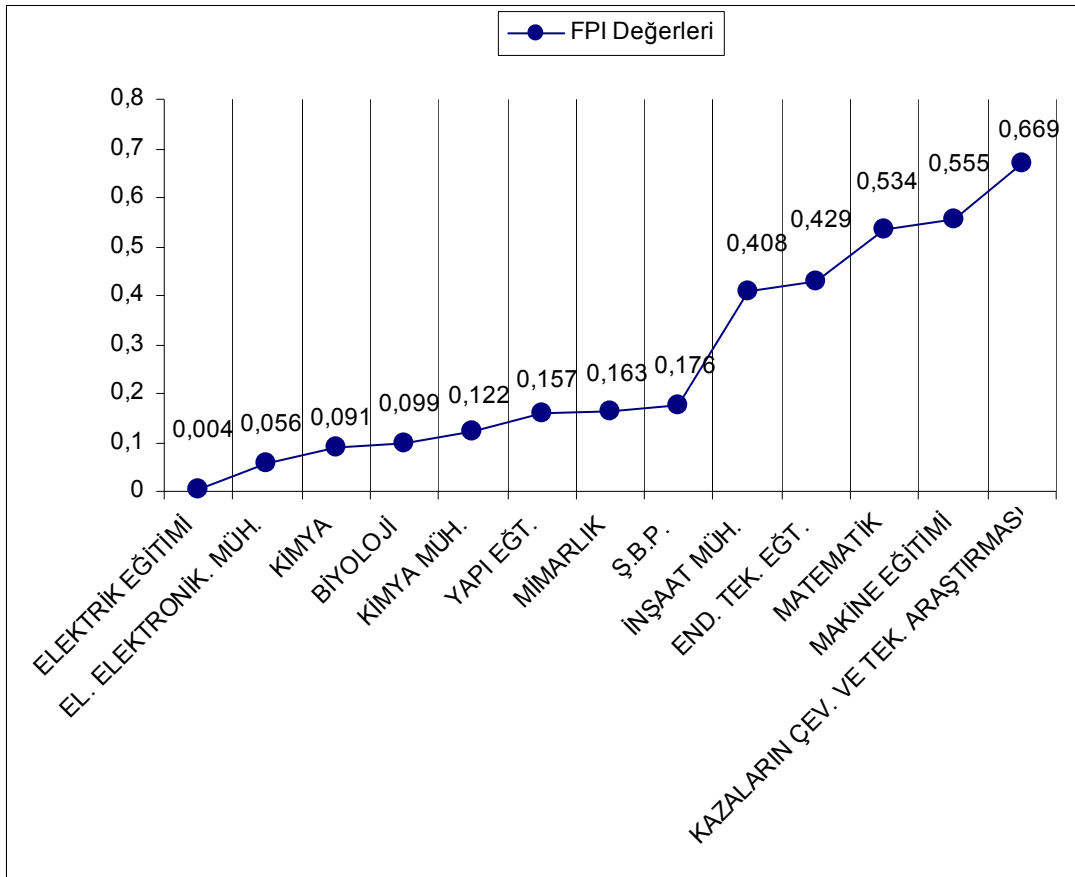
Çapraz etkinlik matrisi etkinlik değerleri her bir bölüme ait sütundaki değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Örneğin, birinci sütundaki değerlerin ortalaması biyoloji bölümünün etkinliğini vermektedir. Etkin karar verme birimleri arasında elde edilen sıralama ve çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen etkinlik değerleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli ile etkin bulunan bölümlerin çapraz etkinlik matrisi ile elde edilen sıralama ve etkinlik değerleri

Hem Şekil 5.7 hem de Şekil 5.9'a göre etkin bölümler arasındaki çapraz etkinlik skorlarına göre yapılan sıralamada Elektrik Eğitimi bölümü ilk sırayı almıştır. Elektrik Eğitimi bölümü var olan çıktısına göre en az girdi kullanan bölümdür ve bu

veri yapısı bölümün en etkin birim olmasını sağlamaktadır. Sonuçlar incelendiğinde Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (BCC tabanlı) modelinin çapraz etkinlik değerlerinin, klasik Etkinlik Analizi (BCC) modelinin çapraz etkinlik değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da ağırlık dağılımının daha düzgün olduğunu gösteren bir diğer gösterge olarak değerlendirilebilir. Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü, klasik Etkinlik Analizi (BCC) modeli kullanılarak yapılan çapraz etkinlik sıralamasında 0,671 değeri ile beşinci sırada yer alırken, Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama kullanılarak yapılan çapraz etkinlik sıralamasında 0,947 değeri ile ikinci sırada yer almaktadır.



Şekil 5.10. Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli (BCC tabanlı) ile etkin bulunan birimlere ilişkin FPI değerleri

Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini

göstermektedir. Yüksek FPI değeri bir birim için hesaplanan öz (self) ve eş (peer) etkinlikler arasındaki farkın büyümesiyle olmaktadır. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir. Öncelikli doğrusal Hedef Programlama (BCC tabanlı) modeline göre etkin olarak belirlenen özellikle Makine Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması olmak üzere Matematik, Endüstriyel Teknoloji Eğitimi ve İnşaat Mühendisliği anabilim dalları, diğer anabilim dallarına göre yüksek FPI değerleri aldığı ve buna bağlı olarak aslında diğer anabilim dallarına nazaran çok da etkin olmadıkları gözlenmiştir. Etkin olarak değerlendirilmelerinin bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Elektrik Eğitimi anabilim dalı 0,003 FPI değeri ile en etkin anabilim dalı olarak gözlenmiştir. Ayrıca Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modeli ile elde edilen FPI değerlerinin daha düşük olması, klasik CCR modeline göre daha iyi ağırlık dağılımına sahip olduğunun bir göstergesidir. Bu uygulamada, her iki model için FPI değerleri grafiklerinin karşılaştırılması, Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama modelinin, klasik Etkinlik Analizi modelinin etkin birimleri ayırma problemine karşı alternatif bir çözüm yaklaşımı getirdiğini desteklemektedir.

Üretim sınırı üzerinde yer alarak diğer karar birimlerine referans olan birimlerin referans olma sayısı, bu karar birimlerinin faaliyet yapılarının güçlü olduğunu göstermektedir. Referans olma sayılarına bakıldığında, en çok referans olan karar birimi, 6 karar birimine referans olan Elektrik Eğitimi anabilim dalıdır. Çapraz-Etkinlik matrisi kullanılarak yapılan tüm sıralamalarda ilk sırada yer alan Elektrik Eğitimi anabilim dalı, referans olma sayısında da ilk sırada yer aldığı gözlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Etkinlik Analizinde ağırlık dağılımı problemi için literatürde önerilmiş olan çok kriterli etkinlik analizi modeli, öncelikli doğrusal hedef programlama yaklaşımı ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne bağlı anabilim dallarının performanslarını konu alan bir uygulama çerçevesinde değerlendirilmiştir. Anabilim dallarının performansları hem klasik Etkinlik Analizi modelleri (CCR ve BCC) hem de çok kriterli modelin öncelikli doğrusal hedef programlama ile çözümü ile değerlendirilmiştir. Öncelikli doğrusal hedef programlama ile çözülen çok kriterli modelin, klasik Etkinlik Analizindeki tek kriterli modellere göre, daha iyi girdi ve çıktı ağırlık dağılımına sahip olduğu söylenebilir.

Çok kriterli model, hakkında hiçbir ön bilgi ve varsayım olmaksızın, klasik Etkinlik Analizindeki olumsuzlukları ortadan kaldırabilmek için her bir kriterin etkinlik kavramıyla ilişkilendirildiği bir modeldir. Bu yüzden klasik Etkinlik Analizindeki etkinlik kavramından daha fazla etkinlik tanımı içerir. Çok kriterli modelin çözümünde kullanılan öncelikli doğrusal hedef programlama tekniği, amaç fonksiyonları arasında bir öncelik yapısına dayanmaktadır. Birinci etkinlik kriteri

$\min d_o \left(\text{ya da } \max w_o = \sum_{r=1}^s u_r y_{r_o} \right)$ ilk öncelikte sağlanması gereken hedef olarak

alınmıştır. Bunun sebebi klasik Etkinlik Analizi ile önerilen çok kriterli modelin çözümünde kullanılan öncelikli doğrusal hedef programlama tekniğinin, ağırlık dağılımı probleminde aynı etkinlik kriteri altında karşılaştırılabilmesidir. Klasik Etkinlik Analizi kriterine farklı bir öncelikte yer verilmesi iki yöntemin aynı şartlar altında karşılaştırılmasına olanak vermeyecektir. İkinci öncelik olarak alınan etkinlik kriterinde ki M değişkeni bütün sapma değişkenleri arasındaki maksimum miktarı ve

üçüncü etkinlik kriterindeki $\sum_{j=1}^n d_j$ değişkeni ise tüm sapmalar toplamını temsil

etmektedir. En büyük sapma miktarının minimum edilmesi aynı zamanda tüm sapmalar toplamının minimum edilmesi amacına da yardım edecektir ve bu yüzden öncelik yapısı bu şekilde alınmıştır. Çeşitli etkinlik kriterleri ve karar vericilerinin de bu kriterler arasındaki farklı öncelikleri de göz önüne alarak çözümler araştırılabilir.

Klasik Etkinlik Analizi modelleri ile etkin bulunan anabilim dalları ile çok kriterli model sonucunda etkin bulunan anabilim dallarının aynı olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi ilk önceliğimiz olarak Etkinlik Analizindeki etkinlik kriterini dikkate almamızdır. CCR modeli ile BCC modeli sonuçları karşılaştırıldığında, etkin anabilim dalları değişmemiştir, ancak etkin olmayan anabilim dallarının etkinlik değerleri incelendiğinde, BCC modeli sonuçlarının CCR modeli sonuçlarına göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Bu durum CCR modelinde orijinden geçen etkinlik doğrusunun BCC modelinde orijinden geçmek zorunda olmamasından kaynaklanmaktadır.

Etkinlik Analizinin uygulaması sonucunda elde edilen, girdi ve çıktılara verilen ağırlıklar incelenen karar verme birimleri için büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu ağırlıklar, kullanılan modelin girdi ve çıktı yönlü olmasına bağlı olarak bir girdi azalımı veya bir çıktı artırımını konusunda karar vericilere yol göstermektedir. Çalışmamızda bu durum açık olarak gözlemlenmiştir. Örneğin; klasik CCR modeli ile etkin bulunan Endüstriyel Teknolojiler Eğitimi anabilim dalı için ağırlıklar; öğretim üyesi girdisi için 2,7053, yüksek lisans öğrenci sayısı girdisi için 0, doktora öğrenci sayısı girdisi için 2,1834, yüksek lisans mezun sayısı çıktısı için 0, doktora mezun sayısı çıktısı için 0, yayın sayısı çıktısı için 0 ve öğretim üyelerine verilen notların ortalaması çıktısı için 1,0707 olarak elde edilmiştir. Bu anabilim dalı etkin bulunmasına karşın yüksek lisans öğrencisi girdisini hiç kullanmazken, doktora öğrencisi sayısı ve öğretim üyesi sayısı girdilerini çok yüksek oranda kullandığı, ve tek bir çıktısına ağırlık atandığı görülmektedir. Buna karşın çok kriterli modelin öncelikli doğrusal hedef programlama ile çözümüyle elde edilen ağırlıklar; öğretim üyesi girdisi için 2,0842, yüksek lisans öğrenci sayısı girdisi için 1,2354, doktora öğrenci sayısı girdisi için 1,7114, yüksek lisans mezun sayısı çıktısı için 1,9670, doktora mezun sayısı çıktısı için 0,7551, yayın sayısı çıktısı için 0,1476 ve öğretim üyelerine verilen notların ortalaması çıktısına 0,7755 olarak elde edilmiştir. Öncelikli doğrusal hedef programlama ile elde edilen ağırlıklar, klasik CCR modeli ile elde edilen ağırlıklara göre daha makuldür. Benzeri durumlar BCC modeli ve BCC modeline göre oluşturulmuş çok kriterli model sonuçlarında da görülebilir.

Klasik CCR modeli sonuçlarına göre yapılan etkin üniversitelerin sıralanmasında çapraz etkinlik yöntemine göre orta sıralarda bulunan Kimya anabilim dalı, CCR tabanlı çok kriterli model sonucunda yapılan çapraz etkinlik sıralamasında ise en etkin anabilim dalı olan Elektrik Eğitimi anabilim dalına çok yakın bir değerle ikinci sırada yer almaktadır. Klasik BCC modeli sonuçlarına göre yapılan etkin üniversitelerin sıralanmasında çapraz etkinlik yöntemine göre orta sıralarda bulunan Elektrik-Elektronik anabilim dalı, BCC tabanlı çok kriterli model sonucunda yapılan çapraz etkinlik sıralamasında ise en etkin anabilim dalı olan Elektrik Eğitimi anabilim dalına çok yakın bir değerle ikinci sırada yer almaktadır. Hem klasik Etkinlik Analizi modelleri hem de çok kriterli modelin öncelikli hedef programlama ile çözümü sonucunda etkin bulunan anabilim dallarının çapraz etkinlik yöntemine göre sıralaması yapıldığında Elektrik Eğitimi anabilim dalı en etkin anabilim dalı olarak belirlenmiştir. Bu durum Elektrik Eğitimi anabilim dalının var olan çıktı kombinasyonu ile en az girdi kullandığını göstermektedir.

Etkin bir birim için yüksek FPI değeri bu birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini göstermektedir. Böyle bir durum birimin diğer birimlerle karşılaştırıldığında aslında çok da iyi bir birim olmadığını göstergesidir. Klasik CCR modeline göre etkin olarak belirlenen Makine Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması anabilim dalları, FPI değerlerine bakıldığında aslında etkin birimler olmadıkları, etkin olarak değerlendirilmelerinin bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Klasik BCC modeline göre yine bu iki anabilim dalının etkin belirlenmesinin, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından kaynaklandığı gözlenmiştir. Hem CCR tabanlı hem de BCC tabanlı çok kriterli modellerin öncelikli doğrusal hedef programlama ile çözümü sonucu etkin bulunan anabilim dallarının FPI değerleri incelendiğinde; sadece Makine Eğitimi ve Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması anabilim dalları değil, bunlarla beraber Matematik, Endüstriyel Teknolojiler Eğitimi ve İnşaat Mühendisliği anabilim dallarının da genelden daha yüksek FPI değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu

sonuç, çok kriterli modelin öncelikli hedef programlama ile çözümünün, klasik Etkinlik analizine göre bir diğer avantajı olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, klasik Etkinlik Analizi modelleri (CCR ve BCC) ile literatürde önerilen çok kriterli modelin öncelikli hedef programlama yaklaşımı ile çözümü karşılaştırılarak değerlendirilmesi dışında, etkin olmayan birimlerin kullanılmayan kaynaklar olarak açıklanan etkinsizlik değerleri de belirlenmiştir. Etkin olmayan anabilim dallarının kaynaklarını, hangi oranlarda daha etkin şekilde kullandığında etkin anabilim dalları olacağı belirtilmiştir.

Sonuç olarak, ağırlık dağılımını geliştirmek için önerilen Çok Kriterli Etkinlik Analizi modelinin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile çözülmesi, yeni ağırlık kısıtları eklemeyen, hakkında ön bilgi olmaksızın daha homojen girdi ve çıktı ağırlık dağılımı vermektedir. Ayrıca bir birimin çoğu girdi ve çıktısının diğer birimlere nazaran kötü durumda olmasına rağmen, bir ya da çok az girdi ve çıktısında iyi durumda olmasından dolayı etkin olarak değerlendirildiğini belirlediğimiz FPI değerleri karşılaştırıldığında, önerilen Çok Kriterli Etkinlik Analizi modelinin Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama ile çözülmesi, klasik Etkinlik Analizine göre daha kullanışlıdır.

Sonuçların yorumlanmasında, anabilim dallarının etkinliklerini hesaplamak için kullandığımız verilerin sadece 2008 yılı için ele alındığı, ancak daha duyarlı ve güvenilir analiz ve yorumlama yapabilmek için daha uzun bir dönemin ele alınması gerekliliği göz ardı edilmemelidir. Bazı anabilim dallarında çok sayıda yüksek lisans ve doktora öğrencisi olmasına rağmen, mezun sayıları çıktılarında düşük değer almaları sadece 2008 yılına ait veriler kullanıldığı içindir. Ayrıca öğretim üyelerine verilen puan ortalamaları çıktısındaki öğrencilerin cevapları incelenerek gerekirse verilerin ayıklanması gerekmektedir. Çünkü öğrencilerin anketleri doldururken öğretim üyelerine karşı olan tutumları büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahn, T., "Efficiency Related Issues in Higher Education: A Data Envelopment Analysis Approach", Ph.D. Thesis, *The University of Texas at Austin*, 8-15 (1987).
- Adler, N., Friedman, L., Sinuany-Stern Z., "Review of ranking methods in the data envelopment analysis context", *European Journal of Operational Research*, 140: 249-265 (2002).
- Arcelus, F.J. and D.R. Coleman., "An Efficiency Review of University Departments," *Faculty of Administration, University of New Brunswick*, mimeographed, 7-25 (1995).
- Andersen P, Petersen N. "A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis." *Management Science*, 39 (10): 1261-1294 (1993).
- Anderson, T., Hollingsworth, R., Inman, L., "The fixed weighting nature of a cross evaluation model", *Journal of Productivity Analysis*, 18(1): 249-255 (2002).
- Babacan, A., "Türkiye'deki Üniversitelerde VZA Yöntemiyle Verimlilik Analizi", *C.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü*. Doktora Tezi, 1-35 (2006).
- Baker, R.C., Talluri, S. "A closer look at the use of data envelopment analysis for technology selection", *Computers and Industrial Engineering*, 32(1): 101-108 (1997).
- Bal, H., Örkçü, H.H., Çelebioğlu, S., "Anew method based on the dispersion of weights in Data Envelopment Analysis", *Computers and Industrial Engineering*, 54(3): 502-512 (2008).
- Bal, H., Örkçü, H.H., Çelebioğlu S, "Improving the Discrimination Power and Weight Dispersion in the Data Envelopment Analysis", *Computers and Operations Research*, in press, April, (2009).
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis", *Management Science*, 30(9): 1078-1092 (1984).
- Berger, A. H., Humprey, D. B, "Efficiency of financial institutions: International survey and directions for future research", *European Journal of Operational Research*, 98: 175-212 (1997).
- Bernroider, E., Stix, V., "A method using weight restriction in data envelopment analysis for ranking and validity issues in decion making", *Computers&Operations Research* 34: 2637-2647 (2007).

Boussofiane, A., Dyson, R.G. and Thanassoulis, E. "Applied Data Envelopment Analysis". *European Journal of Operational Research*, 52, 1-15 (1991).

Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes. "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444 (1978).

Charnes, A., Cooper, W., Li, S. "Using Data Envelopment Analysis to Evaluate Efficiency in Economic Performans of Chinese Cities", *Socio-Economic Planning Science*, 23(6): 325-344 (1989).

Charnes, A., Cooper, W.W., Huang, Z.M., Sun, D.B., "Polyhedral cone-ratio models with an illustrative application to large commerical banks", *Journal of Econometrics*, 46: 93-108 (1990).

Coelli, Tim., "Assessing the performance of Australian universities using data envelopment analysis. Mimeo. Center for Efficiency and Productivity Analysis", *University of New England*, 60-103(1996).

Cooper W., Seiford, L., Tone, K. "Data Envelopment Analysis". *Kluwer Academic Publishers*, Boston USA, 100-175 (2000).

Cooper, W., Thompson, R., Thrall R. "Extension and new developments in DEA", *Annals of Operational Research*, 66: 3-45 (1996).

Doyle, J. Green, R. "Data Envelopment Analysis and multiple criteria decision making", *OMEGA*, 21(6): 713-715 (1993).

Doyle, J. Green, R. "Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meaning and uses", *Journal of Operational Research*, 24(3): 567-578 (1994).

Dundar H, Darrell R. Lewis., "Departmental productivity in American universities", *Economies of scale and scope Economics of Education Review*, 14(2): 119-144 (1995).

Elkins, T.T., "Measuring Performans: A multiple criteria Data Envelopment Analysis approach", *Advanced in Mathematical Programming and Financial Planning*, 6:35-53 (2000).

Evren, R., Ülengin, F., "Yönetimde Çok Amaçlı Karar Verme", *Teknik Üniversite Matbaası*, İstanbul, 15-35 (1992).

Farrell, M.J., "The Measurement of Productivity Efficiency", *Journal of Royal Statistical Society*, A, 120(3): 253-290 (1957).

Golany, B., "An interactive MOLP procedure for the extension of DEA to effectiveness analysis", *Journal of the Operational Research Society*, 39(8): 725-734 (1988).

Hjalmarson, L., Kumbhakar, S.C., Heshmati, A., “DEA, DFA and SFA, A comparison”, *Journal of the Productivity Analysis*, 7: 303-327 (1996).

Ignizio, J. P., “Goal Programming and Extension”, *Lexington Books*, Lexington, 20-55 (1976).

Kisaer H, Karabacakoğlu Ç., “Çukurova Üniversitesi Diş Hekimliği Fak. Performans Analizi”, *MPM Yayınları*, No: 679 (2004).

Kutlar A. Mahmut Kartal., “Cumhuriyet Üniversitesinin Verimlilik Analizi: Fakülte Düzeyinde VZA Yöntemi ile Bir Uygulama”, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2): 49-79 (2004).

Li, X. B., Reeves, G.R., “A multiple criteria approach to data envelopment analysis”, *European Journal of Operational Research*, 115: 507-517 (1999).

McMillan, M.L., Debasish D., “The relative efficiencies of Canadian universities: a DEA perspective”, *Department of Economics*, University of Alberta, Research paper No. 97-4 (1997).

Norman, M., Stoker, B., “Data Envelopment Analysis The Assessment of Performans”, *John Willey&Sons*, West Sussex, England, 1-10 (1991).

Örkçü, H. H., “Etkinlik analizinde ağırlık dağılımı problemine çok kriterli bir yaklaşım”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 1-72(2004).

Podinovski, VV., Athanasopoulos, A., “Assessing the Relative Efficiency of Decision Making Units in DEA Models with Weight Restriction”, *Journal of the Operational Research Society* 49: 500-508 (1998).

Seiford, L. M., Thrall, R. M. “Recent developments in DEA”, *Journal of Econometrics*, 46: 7-38 (1990).

Seiford, L. M., “A Bibliography for data envelopment analysis (1978-1996)”, *Annals of Operational Research*, 73: 393-438 (1997).

Sexton TR, Silkman RH, Hogan AJ 1986. “Data envelopment analysis: Critique and extension. In: Silkman RH (Eds), *Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis*”, *Jossey-Bass*: San Francisco, CA; p. 73-105 (1986).

Stewart, T. J., “Relationships between Data Envelopment Analysis and Multicriteria Decision Analysis”, *Journal of Operational Research Society*, 47: 654-665 (1996).

Susanne W., “Performance Differences in German Higher Education: Empirical

Analysis of Strategic Groups”, *Centre for European Economic Research*, 102-117(2004).

Tarım, A., “Veri Zarflama Analizi : Matematiksel Programlama Tabanlı Görelî Etkinlik Ölçüm Yaklaşımı”, *Sayıştay Yayın İşleri Müdürlüğü*, Ankara, 25-40 (2001).

Tofallis, C., “Combining two approaches to efficiency assessment”, *Journal of Operational Research Society*, 52: 1225-1231 (2001).

Wong, T.H.B., Beasley, J.E., “Restricting Weight Flexibility in Data Envelopment Analysis”, *Journal of Operational Research Society*, 41(9): 829-835 (1990).

Yolalan, R., “İşletmeler arası Görelî Etkinlik Ölçümü”, *MPM Yayınları*, Ankara, 483 (1993).

Zeleny, M., “Multiple Criteria Decision Making”, *McGraw-Hill*, Newyork, USA, 215-280 (1982).

EKLER

EK-1 Klasik etkinlik analizi (CCR modeli) ve öncelikli doğrusal hedef programlama sonuçları

Klasik Etkinlik Analizi (CCR) ile elde edilen Etkinlik Değerleri ve Ağırlıklar									
KVB	Etkinlik	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	
Biyoloji	1	0,7388	0	0,3225	0	1,0589	0,2695	0,1801	
Fizik	0,5995	0,5272	0,6459	0	0	0,6479	0,2793	0,2278	
İstatistik	0,9804	0,8410	1,4531	0	0,6902	0	0	4,1494	
Kimya	1	0,6352	0,7781	0	0	0,7805	0,3365	0,2745	
Matematik	1	0,9868	0	0,3270	0,6558	0	0	3,5971	
Elektrik Elektronik Müh.	1	1,2180	0	0	0	1,1688	0,8963	0	
Endüstri Mühendisliği	0,7734	0,8528	0	0,2032	0,2595	0,8716	0	0,9648	
İnşaat Mühendisliği	1	1,6093	0	0	0,2874	0	0,3124	2,7145	
Kimya Mühendisliği	1	0,7479	0	0,3349	0	0,8483	0	0,6084	
Makine Mühendisliği	0,7182	0,7091	0,3747	0,2142	0	0	0	1,4599	
Mimarlık	1	1,1949	0,1421	0	0,1935	0	0,2384	2,0223	
Şehir Bölge Planlama	1	1,2647	0	0	0,4574	0,8391	0	1,9145	
Mobilya Dekorasyon Eğitimi	0,8770	0,6525	0,8633	0	0,7525	0	3,0749	1,3850	
Makine Eğitimi	1	0	1	0	0	0,3082	0	0,9336	
Metal Eğitimi	0,7742	0	0	0,4395	0,7631	0	0	3,5971	
Yapı Eğitimi	1	1,6734	0	0	0,6052	1,1102	0	2,5331	
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi	1	0	0	0	1,0707	2,7053	0	2,1834	
Elektrik Eğitimi	1	0	0	1	0	0	0	3,1746	
Kazaların Cev. ve Tek. Araş.	1	0	0	0	1,1025	2,7858	0	2,2484	

EK-2 Öncelikli Doğrusal hedef programlama (CCR tabanlı) sonuçları

Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (CCR Tabanlı) ile elde edilen etkinlik değerleri ve ağırlıklar										
KVB	Başarı Fonksiyonu	Etkinlik	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	
Biyoloji	(0, 0,52, 3,26)	1	0,7265	0,4324	0,1327	0	0,6052	0,1527	0,6067	
Fizik	(0,40, 0,41, 2,98)	0,5995	0,5272	0,6459	0	0	0,6479	0,2793	0,2278	
İstatistik	(0,02, 2,39, 11,64)	0,9804	0,8410	1,4531	0	0,6902	0	0	4,1494	
Kımya	(0, 0,48, 3,59)	1	0,6352	0,7781	0	0	0,7805	0,3365	0,2745	
Matematik	(0, 1,95, 9,23)	1	1,0879	0	0,3681	0,6030	0,2257	0	3,1911	
Elektrik Elektro. Müh.	(0, 0,85, 3,29)	1	0,9892	0,3148	0,1342	0,2498	0,7795	0	1,2508	
Endüstri Müh.	(0,23, 0,84, 3,62)	0,7734	0,8528	0	0,2032	0,2595	0,8719	0	0,9648	
İnşaat Müh.	(0, 1,32, 5,22)	1	1,2936	0,3364	0,2241	0,3731	0,6541	0	2,1740	
Kımya Müh.	(0, 0,63, 2,43)	1	0,7302	0,2324	0,0991	0,1844	0,5754	0	0,9233	
Makine Müh.	(0,28, 0,71, 3,96)	0,7182	0,7091	0,3747	0,2142	0	0	0	1,4599	
Mimarlık	(0, 0,77, 3,58)	1	0,9585	0,6264	0	0,1964	0,8032	0,3018	0,8649	
Şehir Bölge Planlama	(0, 1,06, 5,21)	1	1,3787	0,9919	0	0,2558	1,1944	0,5700	1,0616	
Mobilya Dek. Eğt.	(0,12, 2,62, 21,56)	0,8770	0,6525	0,8633	0	0,7525	0	3,0749	1,3850	
Makine Eğitimi	(0, 0,59, 4,07)	1	0,3108	0,8779	0	0	0,3281	0	0,9068	
Metal Eğitimi	(0,23, 2,59, 16,81)	0,7742	0	0	0,4395	0,7631	0	0	3,5971	
Yapı Eğitimi	(0, 1,42, 7,14)	1	1,8202	1,2735	0	0,3630	1,6623	0,8068	1,3126	
Endüstriyel Tek. Eğt.	(0, 2,22, 12,37)	1	1,9670	0,7551	0,1476	0,7755	2,0842	1,2354	1,7114	
Elektrik Eğitimi	(0, 1,24, 9,20)	1	1,6269	1,9931	0	0	1,9993	0,8620	0,7030	
Kazaların Çev. ve Tek. Araş.	(0, 2,60, 14,49)	1	2,3049	0,8848	0,1729	0,9087	2,4422	1,4476	2,0054	

EK-3 Klasik etkinlik analizi (BCC modeli) ve öncelikli doğrusal hedef programlama sonuçları

Klasik Etkinlik Analizi (BCC) ile Elde Edilen Etkinlik Değerleri ve Ağırlıklar										
KVB	Etkinlik	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	U0	
	Biyoloji	1	0,7681	0	0,4209	0	1,0120	0	0,3909	-0,1091
	Fizik	0,6180	0,5682	0,2164	0	1,2225	0	0	-0,2653	
	İstatistik	0,9823	0,7661	1,4059	0	0	0	4,1494	0,6563	
	Kimya	1	0,6204	1,0860	0	0	0,7779	0,5056	-0,1772	
	Matematik	1	0,9142	0	0,1981	0	0	3,5971	0,6265	
	Elektrik Elektronik Müh.	1	1,1206	0	0	1,1455	0,9046	0	0,0800	
	Endüstri Mühendisliği	0,8257	1,0408	0	0,3517	0,7580	1,7783	0	0,4088	-0,5362
	İnşaat Mühendisliği	1	1,5283	0	0	0	0,3729	2,5859	0,2909	
	Kimya Mühendisliği	1	0,7822	0	0,4286	0	1,0305	0	0,3981	-0,1111
	Makine Mühendisliği	0,7604	1,0204	0,9096	0,8627	0	0,3097	0	1,1128	-0,9174
	Mimarlık	1	1,1593	0,2202	0	0	0	0,2829	1,9616	0,1867
	Şehir Bölge Planlama	1	1,2647	0	0	0,4574	0,8391	0	1,9145	0
	Mobilya Dekorasyon Eğitimi	0,9001	0	0,9165	0	0	0	2,7950	1,5863	0,7589
	Makine Eğitimi	1	0	1,1463	0	0	1	0	0	-0,1463
	Metal Eğitimi	0,8437	0	0	0,4194	0	0	0	3,5971	0,7137
	Yapı Eğitimi	1	1,4950	0	0	0	1,5905	0	2,2556	0,6262
	Endüstriyel Teknoloji Eğitimi	1	0	0	0	0	2,6217	0	2,2674	1
	Elektrik Eğitimi	1	0	0	1	0	0	0	3,1746	0
	Kazaların Cev. ve Tek. Araş.	1	0	0	0	2,6217	0	0	2,2674	1

EK-4 Öncelikli doğrusal hedef programlama (BCC tabanlı) sonuçları

Öncelikli Doğrusal Hedef Programlama (BCC Tabanlı) ile elde edilen etkinlik değerleri ve ağırlıklar										
KVB	Başarı Fonksiyonu	Etkinlik	U1	U2	U3	U4	V1	V2	V3	U0
Biyoloji	(0, 0,51, 3,63)	1	0,7485	0,3390	0,2387	0	0,6722	0	0,6537	-0,0720
Fizik	(0,38, 0,52, 5,21)	0,6180	0,5682	0,8525	0,2164	0	1,2225	0	0	-0,2653
İstatistik	(0,02, 2,40, 11,87)	0,9823	0,7661	1,4059	0	0	0	0	4,1494	0,6563
Kımya	(0, 0,47, 3,86)	1	0,6136	0,8575	0	0	0,8704	0,3342	0,1804	-0,0311
Matematik	(0, 1,67, 7,43)	1	1,1594	0	0,3160	0	0,5170	0	2,6673	0,5109
Elektrik Elektronik Müh.	(0, 0,75, 4,59)	1	0,8998	0,5523	0	0	0,8624	0,6609	0,4166	0,1762
Endüstri Mühendisliği	(0,17, 1,21, 5,65)	0,8257	1,0408	0	0,3517	0,7580	1,7783	0	0,4088	-0,5362
İnşaat Mühendisliği	(0, 1,19, 4,34)	1	1,2541	0,2698	0,1815	0,1053	0,8204	0	1,8678	0,2699
Kımya Mühendisliği	(0, 0,66, 2,84)	1	0,6833	0	0,1547	0,1659	0,6460	0	0,8418	0,0525
Makine Mühendisliği	(0,24, 1,13, 10,87)	0,7604	1,0204	0,9096	0,8627	0	0,3079	0	1,1128	-0,9174
Mimarlık	(0, 0,77, 3,58)	1	0,9585	0,6264	0	0,1964	0,8032	0,3018	0,8649	0
Şehir Bölge Planlama	(0, 1,09, 6,08)	1	1,3209	0,8280	0	0,1810	1,3276	0,8232	0,7146	0,1248
Mobilya Dekorasyon Eğitimi	(0,10, 2,82, 24,18)	0,9001	0,2855	1,0174	0	0	0,7320	0,1308	0,1852	-0,1296
Makine Eğitimi	(0, 0,39, 4,36)	1	0,2855	1,0174	0	0	0,7320	0,1308	0,1852	-0,1296
Metal Eğitimi	(0,16, 2,56, 16,46)	0,8437	0	0	0,4194	0	0	0	3,5971	0,7137
Yapı Eğitimi	(0, 1,42, 6,92)	1	1,8381	1,3166	0	0,3928	1,6400	0,7390	1,4012	-0,0398
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi	(0, 2,13, 11,15)	1	2,0971	0,8505	0,0905	0	2,0428	1,2653	1,7265	0,7058
Elektrik Eğitimi	(0, 1,21, 10,01)	1	1,5864	2,2170	0	0	2,2504	0,8640	0,4664	-0,0804
Kazaların Cev. ve Tek. Araş.	(0, 2,59, 15,06)	1	1,2662	0,2544	0,4050	0	2,9052	0	2,2346	0,8769

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SARIKAYA, Özkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 07.07.1984 Kırşehir
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 255 61 23
e-mail : oz_330@hotmail.com

Eğitim Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi/ İstatistik	-
Lisans	Osmangazi Üniversitesi/ İstatistik Bölümü	2006
Lise	Ankara Atatürk Lisesi	2002

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Futbol, Tenis ve Sualtı sporları.